

MÉTODOS PARA RESTAURAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

METHODS FOR RESTORING AND REINFORCING REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Eduardo Melo de Andrade Silva¹
Gustavo Soares Santos²
Igor Rafael Buttignol de Oliveira³
Luiza Ignez Mollica Marotta⁴
Ruan Aparecido de Melo⁵
Vinicius Augusto Pedroso⁶

RESUMO: A necessidade de reabilitação e reforço das estruturas de concreto armado são atualmente importantes estratégias empregadas para aumentar a vida útil das estruturas, principalmente em construções que constituem patrimônio histórico, promovendo também a minimização de geração de resíduos da construção civil. O norte do presente trabalho buscou traçar os principais mecanismos que levam a deterioração de estruturas sejam eles processos físicos, mecânicos, químicos e biológicos e suas possíveis soluções. O objetivo geral pretende analisar as etapas de elaboração e execução do projeto, que desempenham um papel muito crucial para minimizar a deterioração de estruturas. A metodologia adotada foi a de pesquisa bibliográfica. Dentre os principais resultados tem-se que os reforços podem ser aplicados em vários níveis e para diferentes sistemas e utilização de compósitos poliméricos reforçados com fibras tem se mostrado uma técnica eficiente e moderna para reforçar estruturas de concreto armado.

2255

Palavras-chave: Reforço Estrutural. Deterioração. Compósitos.

¹Engenheiro Químico - UNIFAL - MG. Engenheiro Civil - UEMG - Unidade Passos
Mestre em Ciência e Engenharia dos Materiais - UNIFAL - MG.

²Engenheiro Civil - UEMG - Unidade Passos. Mestrando em Ciência e Engenharia dos Materiais - UNIFAL MG.

³Engenheiro Civil - PUC Minas, Mestre em Ciência e Engenharia dos Materiais - UNIFAL - MG.

⁴Engenheira Civil - UEMG - Unidade Passos, Engenheira Ambiental e Sanitarista - UNITAU - MG. Pós-graduada em Saúde e Segurança do trabalho - WPOS Pós-graduada em Estruturas de Concreto Armado - FUNIP - MG, Mestra em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente - UEMG - Unidade Passos.

⁵Engenheiro Civil - UEMG - Unidade Passos, Mestre em Estruturas e Construção Civil - UFSCAR - SP.

⁶Engenheiro Civil - FESP/UEMG, Pós-graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho - UNICSUL SP.

ABSTRACT: The need for rehabilitation and reinforcement of reinforced concrete structures are currently important strategies employed to increase the useful life of structures, especially in buildings that constitute historical heritage, also promoting the minimization of waste generation from civil construction. The north of the present work sought to trace the main mechanisms that lead to the deterioration of structures, whether physical, mechanical, chemical and biological processes and their possible solutions. The general objective is to analyze the design and execution stages of the project, which play a very crucial role in minimizing the deterioration of structures. The methodology adopted was that of bibliographical research. Among the main results is that reinforcements can be applied at various levels and for different systems and the use of polymeric composites reinforced with fibers has proven to be an efficient and modern technique to reinforce reinforced concrete structures.

Keywords: Structural Reinforcement. Deterioration. Composites.

1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas em uma construção finalizada é a deteriorização da estrutura.

O reforço das estruturas de concreto armado é atualmente objeto de estudo de um grandenúmero de pesquisadores, a manutenção estrutural possibilita aumentar a vida útil das estruturas, além disso pode ser utilizada em estruturas que constituem patrimônio histórico, sendo uma opção à demolição e reconstrução da estrutura (JUMAAT; ALAM, 2009).

Assim, é imprescindível entender as influências do ambiente que acaretam na deteriorização das estruturas, bem como buscar soluções sustentáveis e eficazes a esse problema. Logo, o principal objetivo do estudo em lume é analisar as etapas de elaboração e execução dos projeto de reestruturação de construções deterioradas.

A execução de um reforço estrutural consiste no aumento da capacidade resistente do elemento a ser reforçado. Esse elemento pode ser uma laje, vigas, pilares, muros, entre outros. As causas da necessidade de reforço em estruturas de concreto armado são variadas, porém aspreponderantes dizem respeito à falhas de concepção e execução do projeto. Outras causas podem ser citadas, tais como alteração da utilização da edificação, desgaste natural, falhas durante a elaboração dos projetos e terremotos (FERRARI; PADARATZ; LORIGGIO, 2002).

As manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado são causadas por diversos fatores. Se for observada uma falha que pode promover a degradação da

estrutura, deve-se proceder com uma estratégia para promover sua recuperação (SILVA, 2006). Após 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 escolher dentre as diferentes técnicas existentes, aquela que mais se adequa a cada situação. Dentre os inúmeros métodos tradicionalmente utilizados para reforços estruturais, os mais comuns são o reforço por meio de encamisamento, adição de perfis ou chapas metálicas, protensão externa e por colagem de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras (CPRF) (SOTO, 2013).

Ao longo da última década, os CPRF têm ganhado destaque por apresentar boa performance no reforço estrutural. A utilização de compósitos poliméricos externamente colados com uso de adesivo epoxídico tem sido reportada em vários países, sendo observado o desenvolvimento de novos compósitos para tal aplicação. Este trabalho busca realizar uma pesquisa bibliográfica sobre as principais causas de deterioração das estruturas de concreto armado, assim como as técnicas e materiais adotados na reparação e no reforço estrutural, enfatizando seus principais aspectos, vantagens e desvantagens e os novos materiais utilizados no reforço estrutural.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

Muitos fatores podem levar a deterioração do concreto, tipicamente ocorre quando o material é exposto à variação nas condições climáticas, umidade e exposição a reagentes químicos por longos períodos de tempo. O concreto, por ser um material poroso, facilita a penetração dessas substâncias, estando elas no estado líquido e/ou gasoso, através de poros e fissuras. No entanto, quando as estruturas são construídas corretamente e devidamente protegidas destes fatores, elas podem durar por grandes períodos de tempo e com manutenção reduzida (FRANKLIN, 2017). Segundo a ABNT NBR 6118:2014:

A agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto

A norma ABNT NBR 6118:2014 avaliou a agressividade ambiental segundo as condições de exposição da estrutura ou de elementos estruturais, a tabela obtida pode ser observada a seguir na Tabela 1.

Tabela 1 - Risco de deterioração da estrutura em diferentes condições de exposição

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha Industrial	Grande
IV	Muito Forte	Industrial Respingos de maré	Elevado

Fonte: ABNT NRB 6118:2014.

A durabilidade é a capacidade de uma estrutura de suportar as várias formas de ataque a partir do ambiente. As preocupações mais comuns em estruturas de concreto armado são a corrosão da armadura de aço, ataque de sulfatos, cloretos e ácidos, biodeterioração e as reações álcali-agregado. Muitas pesquisas foram dedicadas a estas problemáticas e muitos destes problemas foram resolvidos para novas estruturas. Atualmente, um dos aspectos de maior preocupação para subestruturas pós-tensionadas é corrosão das armaduras (WEST *et. al.*, 1999).

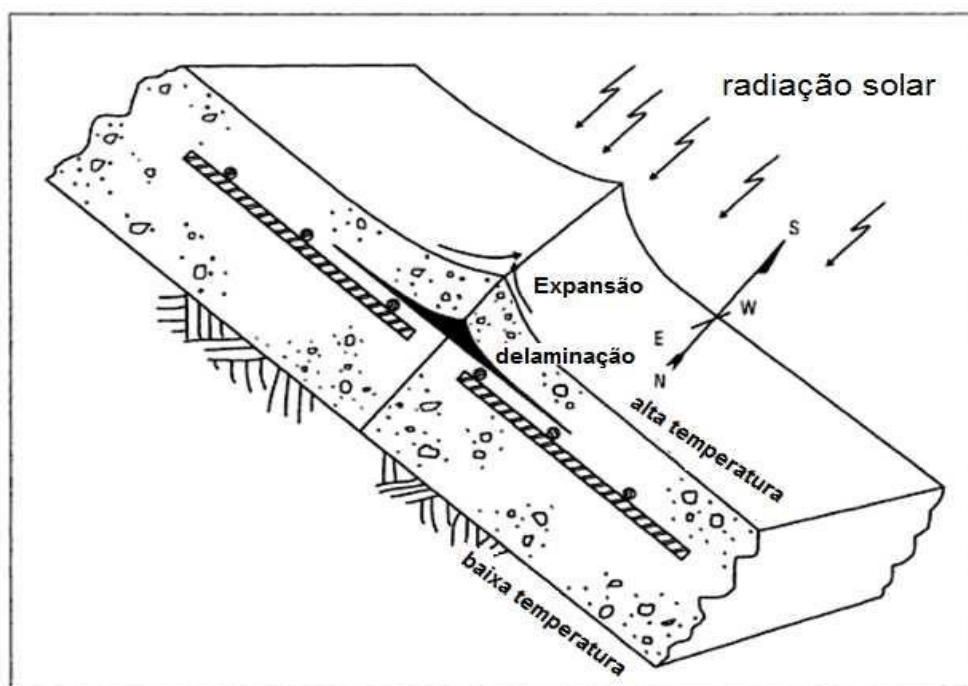
2258

As estruturas de concreto armado podem sofrer diferentes tipos de patologias ao longo do tempo, não só devido aos efeitos ambientais, mas também por falhas humanas cometidas durante as etapas de concepção, elaboração e execução do projeto, além do uso inapropriado e a falta de manutenção. Fatores algumas vezes não levados em consideração, tais como o teor de álcalis presentes no cimento e a agressividade do ambiente no qual a estrutura será executada, podem impedir que as estruturas de concreto atendam aos requisitos básicos de desempenho, durabilidade e vida útil desejados (SANTOS, 2012).

As falhas no projeto podem gerar vários tipos de danos a estrutura. O posicionamento incorreto do aço incorporado ao concreto e a insuficiente cobertura de concreto podem afetar significativamente a durabilidade da estrutura. A expansão e contração do aço no concreto podem causar tensões de tração e provocar rachaduras. Geralmente requer-se um valor mínimo de cobertura com concreto sobre o aço de reforço, no entanto em ambientes corrosivos este valor pode ser insuficiente. Estruturas suscetíveis a efeitos corrosivos de

sulfatos, ácidos ou cloretos devem ter uma maior cobertura para proteger o aço de reforço. Em regiões onde o concreto é submetido diariamente a variação de temperatura proveniente da radiação solar, pode ocorrer o aquecimento na superfície superior das placas, enquanto na região inferior as temperaturas são mais baixas. Esta diferença de temperatura pode provocar uma expansão que pode fazer com que as porções superiores de concreto em lajes adjacentes à extremidade se desloquem uma contra a outra nas juntas entre as placas. A única direção de movimento possível é para cima, resultando em delaminações e na expansão do elemento estrutural. Estas delaminações são comumente localizadas na parte superior do aço de reforço (SMOAK, 2002). Esse efeito pode ser observado na Figura 1:

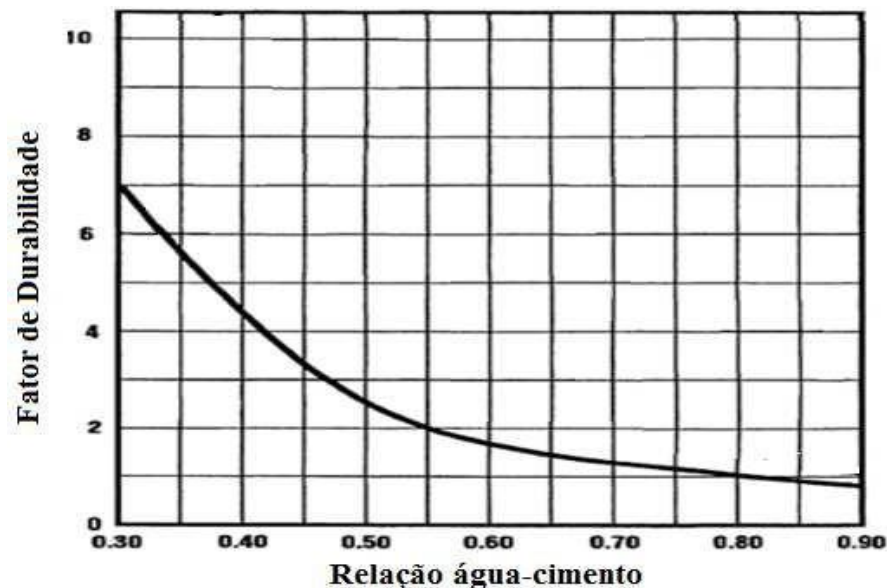
Figura 1 - Delaminação causada por exposição solar



Fonte: Smoak (2002).

O uso excessivo de água em misturas de concreto é um dos fatores que mais promoveu a deterioração de estruturas. O excesso de água reduz a resistência, aumenta a cura, retração por secagem, porosidade e a deformação, além de reduzir a resistência à abrasão do concreto. A Figura mostra os efeitos cumulativos da relação água-cimento sobre a durabilidade do concreto. Nesta figura, uma elevada durabilidade está associada a uma baixa relação de água-cimento (SMOAK, 2002).

Figura 2 - Relação entre durabilidade e relação água-cimento



Fonte: Smoak (2002).

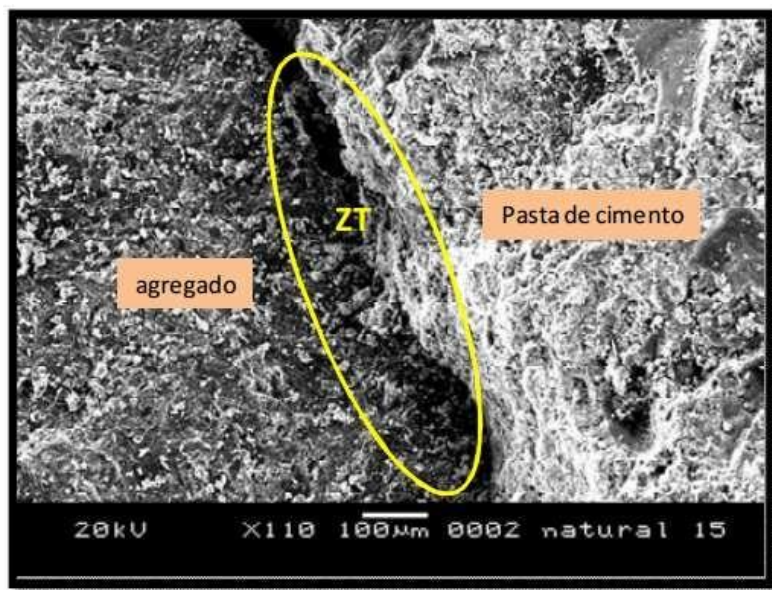
Os danos causados pela mistura excessiva de água no concreto podem ser difíceis de diagnosticar, pois são normalmente mascarados por outros fatores. Rachaduras por congelamento e descongelamento, erosão, abrasão, encolhimento e fissuração, por exemplo, são frequentemente acusados de causar danos ao concreto, quando na realidade a mistura excessiva de água provocou a baixa durabilidade que permitiu que outros fatores pudessem atacar o concreto. Durante o exame petrográfico, casos extremos de excesso de água na mistura de concreto endurecido podem ser detectados pela presença de canais e bolsões de água sob agregados grandes (SMOAK, 2002).

O concreto é conhecido como um material poroso por apresentar vazios em seu interior. Os vazios presentes são de origens diversas, por exemplo, ar incorporado durante a mistura, o excesso de água e erros na dosagem dos componentes. Desta maneira, o concreto é normalmente permeável aos líquidos e gases (BAUER, 2008). A permeabilidade do concreto não é afetada apenas pela porosidade, mas também pela distribuição e tamanho dos poros (DUART, 2008). A degradação das estruturas de concreto armado geralmente acontece devido a penetração de substâncias no estado gasoso e líquido através de poros e fissuras.

A Figura 3 apresenta a microestrutura do concreto obtida por microscopia eletrônica de varredura (MEV), podem ser observados poros no interior do concreto na interface agregado-pasta de cimento, a técnica porosímetro de intrusão de mercúrio é atualmente a técnica mais comum para determinar a distribuição e tamanho dos poros presentes no

concreto (DUART, 2008).

Figura 3 - Imagem da interface concreto-agregado obtido por MEV, ampliação 110 X

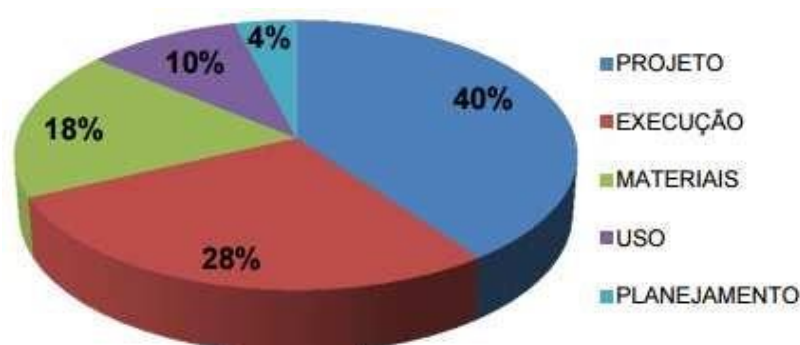


Fonte: Duart (2008).

Um estudo realizado no Brasil por Helene (1992) mostra que os problemas patológicos observados na construção civil brasileira podem ser atribuídos ao projeto, execução, materiais, utilização e o planejamento. A Figura 4 apresenta as respectivas frações.

2261

Figura 4 - Origem das patologias no concreto armado no Brasil



Fonte: Helene (1992).

Percebe-se que no Brasil, as maiores causas de patologias são referentes a erros no projeto, execução e materiais. As falhas de projeto e planejamento são consideradas mais graves que as falhas de qualidades dos materiais ou da má execução. É preferível gastar mais tempo no estudo preliminar da estrutura e seu detalhamento que, por falta de previsão, tomar

decisõesapressadas ou adaptadas durante a execução (HELENE, 1992).

Projetos bem elaborados e detalhados facilitam sua interpretação, evitado muitas falhasna etapa de execução. É importante que o projeto seja elaborado de forma cuidadosa, contendoespecificações apropriadas e completas, principalmente com relação aos materiais a serem empregados. É indispensável conhecer o comportamento dos materiais quando submetidos a severas condições de exposição para que sejam elaboradas especificações mais adequadas (BRANDÃO; PINHEIRO, 1999).

No Brasil, o conhecimento e divulgação das práticas construtivas adequadas não acompanharam o crescimento da atividade da construção civil, além disso a execução das obras também não acompanhou o avanço tecnológico. Visando facilitar a produção e montagem de elementos estruturais em concreto armado, utilizou-se concretos mais fluidos e com materiais mais finos, resultando em um produto final de qualidade inferior (FERREIRA, 2000; VASCONCELOS, 2005).

Um projeto criterioso deve levar em consideração todos os fatores que promovem a deterioração da estrutura, no entanto estruturas antigas que tiveram suas estruturas comprometidas por ação do ambiente e baixa manutenção podem requerer medidas mais robustas e inteligentes para preservar sua estrutura original. É fundamental conhecer todas as causas da deterioração e patologias das estruturas de concreto, não apenas para executar reparosexigidos, mas para garantir que após reparação, a estrutura não volte a apresentar problemas dedeterioração (SOUZA; RIPPER, 1998).

Os principais mecanismos que causam a degradação do concreto podem ser agrupados em químicos, físicos, mecânicos e biológicos. A combinação de diferentes fatores, tanto externos quanto internos, muitas vezes podem promover a deterioração do concreto. São processos complexos e muitas vezes lentos, determinados pelas propriedades físico-químicas do concreto e do ambiente no qual o material está exposto. Os processos de degradação geralmente acarretam na perda das propriedades mecânicas, prejudicando o desempenho de suas funções e dificilmente se manifestam visualmente (LAPA, 2008).

O transporte de calor, umidade e substâncias químicas, seja na troca com o meio ambiente ou no interior da massa de concreto, assim como os fatores que controlam esses processos, estão diretamente relacionados com a durabilidade das estruturas de concreto. A intensidade dos efeitos da degradação do concreto é dependente de vários fatores, por exemplo a composição do concreto e composição química dos agentes causadores. Os

poros e configuração das fissuras determinam o transporte da água dentro do concreto. Portanto é essencial controlar a natureza e a distribuição dos poros e fissuras para atender aos requisitos básicos de durabilidade das estruturas (BRANDÃO, PINHEIRO, 1999).

2.2 REPARAÇÃO, REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

Recentemente, com o desenvolvimento de novos materiais e o aprimoramento das técnicas de execução, associados à maior preocupação com a durabilidade das construções, têm-se feito com que a área de reparos, reforços e recuperação em elementos de concreto seja um dos campos mais estudados na engenharia. Para tratar uma construção que se tornou defeituosa ou que sofreu alterações por seu uso, primeiramente deve-se proceder com o diagnóstico das patologias existentes. Para cada tipo e gravidade, haverá pelo menos uma técnica para realizar o conserto, levando-se em consideração não apenas o atendimento aos quesitos de segurança estrutural, mas também outros fatores envolvidos como características do ambiente, tempo de aplicação e durabilidade (NAKAMURA, 2009).

Para avaliação e detalhamento das patologias deve-se em alguns casos, realizar ensaios, que podem ser semi-destrutivos, como retirada de corpos de prova e testemunhos para avaliação de características mecânicas, de profundidade de carbonatação, de contaminação por cloretos, entre outros. Realizar também ensaios não destrutivos, tais como, pacometria para identificação e potencial de corrosão das armaduras, ultrassonografia, esclerometria, provas de carga e outros que possam detectar problemas que comprometem a estrutura, suas fundações e demais aspectos, partes ou elementos da edificação (RESENDE, 2018).

O principal objetivo de efetuar reparos é trazer de volta a forma arquitetônica do elemento estrutural, a reparação não tem a pretensão de aumentar ou restaurar a força estrutural. Os reparos arquitetônicos às vezes podem ser ilusórios, uma vez que o elemento pode vir a esconder suas fraquezas, conseqüentemente, a construção poder sofrer danos ainda mais graves, tendo em vista a perda de suas capacidades (ARYA et al., 2012). Alguns exemplos de reparação estrutural são a correção de defeitos como rachaduras e queda de reboco, reparação de portas, janelas, substituição de vidraças, reboco de paredes, pintura e decoração.

A partir da identificação da origem e causa da patologia é que são definidas as técnicas de reparo. É importante definir se a estrutura passará por intervenções para recuperação ou se será necessário também um reforço, uma vez que os processos são diferentes para cada tipo de anomalia. Entende-se por recuperação o retorno da integridade dos elementos

estruturais incluindo a vida útil inicial, e a solução é a recomposição da sua geometria, seguindo os passos adequados para tratamento do substrato de concreto deteriorado e, não menos importante, das armaduras, pois geralmente o problema passa pela corrosão das mesmas. Assim, definidas as etapas a serem executadas, a área começa a ser preparada para a intervenção. Para se recuperarum elemento estrutural, a primeira providência deve ser determinar a área a ser recuperada, a partir de inspeção visual e percussão auscultativa (RESENDE, 2018).

Dentre os diversos materiais de reparo disponíveis no mercado, deve-se selecionar o mais conveniente para casos específicos, características como durabilidade, compatibilidade com o substrato, estabilidade dimensional, permeabilidade, aderência, trabalhabilidade e resistência estrutural deve ser analisados (REIS, 1998).

A reabilitação de uma estrutura consiste na restituição da força que a estrutura possuía antes da ocorrência do fenômeno que promoveu a falha estrutural. Este tipo de ação deve ser realizada quando existe a evidência que o dano estrutural pode ser atribuído a fenômenos excepcionais, que não são susceptíveis de acontecer novamente e onde o retorno da capacidade de carga original fornece um nível de segurança adequado. O principal objetivo da reabilitação é a realização de reparos estruturais para restaurar a capacidade dos elementos de rolamento. Pode envolver a inserção de suportes temporários, corte de porções dos elementos e posteriormente sua reconstituição ou simplesmente a adição de mais material estrutural de modo que a resistência original seja restaurada (ARYA; BOEN; ISHIYAMA, 2012). Algumas das abordagens estão listadas a seguir:

- ✓ A remoção de regiões com paredes de alvenaria rachadas e reconstituição com argamassa. A utilização de argamassa sem retração deve ser preferível;
- ✓ A adição de malha de reforço e em seguida efetuar o cobrimento adequado;
- ✓ Injeção de epóxi nas rachaduras, paredes, colunas, vigas, etc.

Caso seja necessário efetuar reparos estruturais, estes devem ser realizados antes ou simultaneamente com os reparos arquitetônicos, o planejamento e execução do trabalho a ser desenvolvido deve ser realizado de forma coordenada para minimizar erros, evitar o desperdício e reduzir a manutenção da estrutura (ARYA; BOEN; ISHIYAMA, 2012).

O reforço estrutural atua promovendo o aumento da resistência estrutural em relação à resistência original, é recomendado quando uma avaliação da estrutura indica que a força disponível é insuficiente para atender as necessidades básicas de segurança. A extensão das

modificações deve ser determinada pelos princípios gerais de concepção do projeto, métodos selecionados e não deve ser limitada a aumentar a força de elementos que tenham sido danificados (ARYA; BOEN; ISHIYAMA, 2012). A seguir serão listados alguns procedimentos adotados no reforço estrutural:

- ✓ Aumentar a resistência lateral, em uma ou ambas as direções, com a inserção de um reforço ou através do aumento da área de parede ou do número de colunas e paredes.
- ✓ Promover a ligação da estrutura, fornecendo uma conexão adequada entre os seus elementos resistentes, de tal maneira que as forças de inércia geradas pela vibração da estrutura possam ser transmitidas para os membros que têm a capacidade de resistir. Típicos aspectos importantes são as conexões entre vigas, pilares, lajes.
- ✓ Eliminar a concentração de tensões que resultam de modos de falha frágeis através de um reforço adequado e realizando a conexão de elementos com capacidade resistente.

Antes de realizar a reparação, reabilitação e reforço das estruturas deve ser realizada uma avaliação da estrutura envolvida, de forma a estabelecer, da maneira mais exata possível e com margem de segurança confiável, a sua capacidade resistente naquele instante, identificando quaisquer deficiências ou anomalias que existam e que possam influenciar na segurança da estrutura, determinando as suas origens e pesquisando a integridade do substrato de concreto. Em seguida, proceder com o diagnóstico do problema, análise da viabilidade do projeto, seleção das técnicas e materiais adequados. A elaboração de um projeto detalhado e sua execução com rigoroso controle de qualidade são fundamentais para obter resultados satisfatórios (MACHADO, 2010).

Os métodos de reparação e reforço naturalmente dependem do sistema estrutural e dos materiais utilizados. Devido ao crescente número de materiais desenvolvidos recentemente e opiniões divergentes sobre os procedimentos mais adequados, cada situação requer um estudo detalhado e o desenvolvimento de uma estratégia específica. A utilização de materiais deve ser realizada de forma eficiente e econômica. Antes de um elemento estrutural receber um reforço adicional deve ocorrer uma preparação da superfície onde será inserido o sistema de reforço. Uma vez concluída a etapa de reparo e recuperação do concreto, pode ser iniciada a aplicação do sistema para reforço.

2.3 MATERIAIS E MÉTODOS PARA REPARAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS

Nem todo concreto danificado requer reparo imediato. Muitos fatores precisam ser levados em consideração antes da decisão de executar a reparação. Obviamente, a reparação é necessária se o dano afeta a segurança ou a operação segura da estrutura. Da mesma forma, os reparos devem ser realizados se a deterioração atingiu um estado, ou está a progredir a um ritmo tal que possa provocar uma falha estrutural. Os danos ao concreto geralmente progridem lentamente, várias opções estão disponíveis se a deterioração for detectada precocemente. Com a detecção precoce, pode ser possível prever a taxa de deterioração utilizando os procedimentos de manutenção. Mesmo se o reparo for necessário, a detecção precoce de dano permitirá ordenada orçamentação dos custos da reparação (SMOAK, 2002).

Antes de selecionar materiais de reparação, deve ser realizado um levantamento sobre os custos e disponibilidade dos materiais, a logística sobre a instalação, custo-eficácia e viabilidade técnica, entre outros fatores que podem determinar os materiais mais eficientes para cada situação. É importante uma pesquisa cuidadosa sobre os materiais de reparação a fim de escolher os mais apropriados para o projeto.

Ao selecionar materiais de reparação, o objetivo principal é combinar as propriedades do material de reparação com o concreto a ser reforçado. Em particular, a resistência, o módulo de elasticidade e o coeficiente de expansão térmica devem apresentar valores o mais próximo possível do concreto original (PAUL, 2002).

Para efetuar a recuperação e reforço de elementos estruturais são utilizados diferentes materiais, classificados em matrizes cimentícias, poliméricas e metálicas. Dentre as matrizes cimentícias mais comuns estão a argamassa, gesso e concreto. As poliméricas podem ser epoxidicas, acrílicas, com base poliuretana, entre outras. Entre as metálicas estão as ligas metálicas e grampos e a soldagem (ALMEIDA, 2006). Alguns exemplos de reparação estrutural são a correção de defeitos como rachaduras e queda de reboco, reparação de portas, janelas, substituição de vidraças, reboco de paredes, pintura e decoração.

2.3.1 Argamassas

Encontram-se neste grupo, as argamassas e concretos usuais. O concreto convencional deve ter dosagem que considere as diferenças de retração entre o concreto a ser aplicado e o concreto existente na peça a recuperar. Os traços muito ricos em cimento também devem ser evitados, pois apresentam grande retração. Muitas vezes é conveniente

utilizar-se de argamassas pré-misturadas com polímeros, quando o trabalho de recuperação ou reforço for pequeno. Existe uma grande variedade de produtos oferecidos no mercado. Destacam-se as argamassas de base mineral (cimento), argamassas de base resina epóxi, argamassas de resina poliéster, argamassas de base de resina furânica e base resina fenólica (REIS, 1998).

Argamassa cimentícia modificada com polímeros (Figura 5) é comumente utilizada pararecomposição estrutural. Em reparos localizados geralmente são utilizadas argamassas com consistência seca (tixotrópicas). Nos casos de aplicação em grandes áreas utilizam-se argamassas modificadas com polímeros e com consistência adequada para aplicação com equipamento de projeção. Em ambos os casos apresentam alta aderência ao substrato e elevada resistência mecânica (NAKAMURA, 2009).

Figura 5 - Aplicação de Argamassa no reparo estrutural



Fonte: Nakamura (2009).

As argamassas de base mineral têm uso recomendado em reparos superficiais, ou de arestas e revestimentos superficiais e ainda são úteis para preenchimento de pequenas cavidades e nivelamentos. Apresentam-se normalmente em duas modalidades: a tixotrópica, ou seja, não escorre, podendo ser aplicadas em superfícies com qualquer inclinação; ou autonivelante, com grande fluidez, usadas em superfícies planas. Apresentam ainda como propriedade o fato de não serem retráteis ou seja, não apresentam retração, o que é fundamental para serviços de recuperação ou reforço; não são corrosíveis, não são inflamáveis, têm pH alcalino e alguns casos, dispensam adesivo como ponte de aderência.

São apresentadas na forma de dois componentes, que devem ser misturados na hora da aplicação (REIS, 1998).

2.3.2 Resinas Epoxídicas

As resinas epóxi são amplamente utilizadas para revestimento e encapsulamento de diferentes sistemas. A resina epóxi é usada para isolar eletricamente e impermeabilizar vários tipos de dispositivos. São eficientes contra gases atmosféricos, umidade, fuga de corrente, solventes, microrganismos, choque mecânico e vibrações. Em aplicações mais recentes, como a embalagem micro-eletrônica, eles fornecem o isolamento necessário entre elementos intimamente embalados, apresentando boa aderência e a proteção de dispositivos elétricos minúsculos e sensíveis (JOHARI, 1993).

As resinas epóxi são geralmente fabricadas pela reação da epícloridrina com bisfenol-A. São dois líquidos viscosos no seu estado termoplástico, diferem significativamente do poliéster e da resina de éster de vinilo por não apresentar nenhum componente monomérico volátil. Diferentes resinas são formadas através da variação das proporções de epícloridrina e bisfenol-A. Ao reduzir a epícloridrina o peso da resina é aumentado.

2268

Atualmente diferentes monômeros e agentes de cura são adicionados para produzir resinas com propriedades distintas para aplicações específicas. A seguir serão discutidas a utilização da resina epóxi no pré-tratamento de superfícies de concreto, como agente adesivo para colagem de reforço estrutural, recuperação de trincas e fissuras e na confecção de materiais compósitos.

2.3.3 Argamassa tipo Graúte

Podem ser de base mineral ou epoxídica. apresentam fácil aplicação, elevada resistência mecânica e a ausência de retração. São recomendados para reparos em geral, inclusive subaquáticos, reforços estruturais, preenchimento de cavidades, bases de equipamentos, ancoragem de chumbadores e injeção de fissuras. São auto nivelantes, apresentam alta fluidez, não retráteis, apresentando altas resistências iniciais e finais, e com demais especificações estabelecidas pelos fabricantes. O graute de base mineral é constituído de cimento, agregados miúdos, quartzos, aditivos superplastificantes e aditivo expensor (pó de alumínio). O graute epoxidico é indicado para ancoragens de máquinas e equipamentos,

para ancoragem de tirantes,fixação de placas de apoio e reparos em geral. É composto de cimento, areia de quartzo selecionada e aditivos especiais. Apresenta alta resistência mecânica e fluidez (NAKAMURA,2009). A Figura 6 apresenta a aplicação de graute em uma estrutura de concreto.

Figura 6 - Aplicação de graute sobre uma estrutura de concreto



Fonte: Russell (2015).

2.3.4 Spray De Concreto

O spray de concreto foi usado pela primeira vez em 1914, desde então vem sendo amplamente estudado, utilizado e melhorado. O termo spray de concreto compreende uma tecnologia que consiste em pulverizar concreto sobre um material ou elemento estrutural, poder ser aplicado em novas construções, na reparação e no reforço de estruturas. O spray de concreto é atraente por causa da flexibilidade do processo de aplicação e a eliminação de formas (SCHLUMPF; HÖFLER, 2006). Os materiais constituintes do spray de concreto são semelhantes aos do concreto normal. Na década de 1980, a maior parte do spray de concreto na Europa apresentava em sua composição cimento Portland e de mistura de areia em proporções de aproximadamente 1: 3. Desde então, materiais de cimentação complementares tais como sílica ativa e cinzas, misturas especiais como retardadores e superplastificantes vem sendo utilizados (AUSTIN; ROBINS; GOODIER, 2002).

Existem dois tipos diferentes de processos envolvendo o concreto em spray, a via seca e via úmida. Em casos de baixos volumes é comumente utilizado o processo seco, no entanto a pulverização úmida vem crescendo, devido uma melhor consistência do material e a redução da dependência da habilidade de um operador. O processo úmido tornou-se dominante para a construção de túneis em grande escala. O processo seco é capaz de produzir concreto de alta qualidade, no entanto apresenta vários inconvenientes, incluindo a

dificuldade de alcançar a qualidade e consistência, as perdas de material e um ambiente de trabalho empoeirado e sujo. O processo por via úmida tem o potencial para produzir concreto mais consistente, com menor desperdício, e em um ambiente de trabalho mais saudável. Ambos os métodos têm suas vantagens, antes de uma decisão sobre o tipo de processo a ser adotado deve ser considerada as características e preço de ambos processos (SCHLUMPF; HÖFLER, 2006). A Figura 7 a seguir ilustra o processo via seco e via úmido.

Figura 7 - Aplicação do spray de concreto por via seca (1) e via úmida (2)



Fonte: Schlumpf e Höfler (2006).

O concreto em spray pode ser utilizado em diferentes tipos de projeto. A flexibilidade e eficiência deste material podem ser observadas na reparação e no reforço de edifícios subterrâneos e túneis.

2270

2.3.5 Recuperação De Fissuras e Trincas Estruturais

De acordo com a norma DNIT 083/2006:

As trincas e fissuras são fenômenos próprios e inevitáveis do concreto armado e que podem se manifestar em cada uma das três fases de sua vida: fase plástica, fase de endurecimento e fase de concreto endurecido. Na fase plástica podem surgir trincas em virtude da retração plástica e do assentamento plástico; na fase de endurecimento, em virtude de restrições à precoce movimentação térmica, à precoce retração do endurecimento e ao assentamento diferencial dos apoios; na fase de concreto endurecido, as principais causas do aparecimento das trincas e fissuras são o sub- dimensionamento, o detalhamento inadequado, a construção sem os cuidados indispensáveis, as cargas excessivas, o ataque de sulfatos ao cimento do concreto, a corrosão das armaduras devida ao ataque de cloretos, a carbonatação e a reação álcali-agregado.

As trincas existentes na estrutura a ser reforçada devem ser recuperadas antes que o trabalho de reforço seja realizado. Além delas, as fissuras com aberturas superiores a 0,25 mm também devem ser tratadas. Para estabelecer o tratamento de fissuras, deve-se verificar, no estudo patológico, qual o tipo de fissura. Uma fissura é chamada ativa quando possui

variação de espessura, caso contrário, é passiva. Conhecendo-se a natureza das fissuras pode-se, então, realizar um tratamento mais eficiente (MACHADO 2010; FORTES, 2000).

As fissuras ativas devem ser tratadas com aplicação de material elástico, por exemplo mástiques. Nas fissuras passivas podem ser utilizados diferentes tipos de resinas, por exemplo resinas epóxi, através de injeção (Figura 8) ou colmatção. Nos casos em que a causa das fissuras tenha relação com a falta de armaduras, deve-se restabelecer a capacidade resistente da peça com a adição da armadura adequada (FORTES, 2000).

Figura 8 - Reparação de fissura pela injeção de resina epoxidica sob pressão



Fonte: Injection SF (2018).

2.3.6 Preparação Da Superfície

Para se obter uma ligação satisfatória entre o reforço e a superfície do elemento estrutural deve ser realizado o tratamento da superfície de ligação. A superfície de contato deve ser rugosa, isenta de poeira, graxa ou óleo, em casos específicos, deve ser saturada por um período de tempo ou receber uma camada prévia de agentes adesivos. A aplicação do novo material deve imprimir algum tipo de compactação e garantir certa 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 (REIS, 1998).

Os processos mais comumente aplicados para reparação e tratamento de superfícies segundo Almeida (2000) são:

- ✓ Polimento;
- ✓ Lavagem e limpeza de superfície;

- ✓ Remoção de resíduos com uso de soluções ácidas ou alcalinas;
- ✓ Remoção de resíduos com uso de jatos de água, areia, vapor e ar comprimido;
- ✓ Escovação e apicoamento;
- ✓ Saturação e corte de concreto.

A preparação da superfície do elemento estrutural (Figura 9) onde será aplicado o sistema de reforço deve ser determinada em função da predominância da condição crítica de colagem e de contato íntimo. As aplicações com o objetivo de reforço para os esforços de flexão e de cisalhamento em vigas, lajes ou pilares de concreto armado exigem que seja estabelecido um sistema de colagem bastante eficiente para que seja possível uma adequada transferência de esforços entre os meios aderidos, o que caracteriza a condição crítica de colagem. O confinamento de colunas, por sua vez, exige mais uma condição de contato eficiente entre o concreto e o material de reforço, caracterizando a condição de contato íntimo. No caso da colagem crítica, deve ser efetuada a limpeza da superfície que receberá o sistema de reforço, recomenda-se a utilização de abrasivos, jatos de areia ou limalhas metálicas. Para superfícies pequenas ou limitadas, podem ser utilizadas politrizes, usualmente acopladas com aspiradores de pó, permitindo uma limpeza sem a contaminação do ambiente. Esta limpeza deve contemplar a remoção de partículas sólidas não totalmente aderidas como poeira, pó, substâncias orgânicas e recobrimentos diversos como pinturas e argamassas. Também deverão ficar totalmente expostas quaisquer brocas ou imperfeições superficiais significativas (MACHADO, 2010).

Figura 9 - Etapas de limpeza da superfície de concreto



Fonte: Zucchi (2015).

Para que as demais etapas possam ser implantadas de forma eficiente, as superfícies sobre as quais será implantado o sistema de reforço deverão estar em condições secas, uma

vezque a presença de água pode inibir a penetração das resinas e reduzir drasticamente a eficiência na aderência entre os materiais. No entanto nos casos de filamentos unidirecionais, também conhecidos como tecidos, a aplicação pode ser executada tanto em via seca quanto úmida, a diferença está na impregnação do tecido, o processo de via úmida pode ser realizado com umamáquina de saturação (FORTES 2000).

No caso de contato crítico, nas aplicações que envolvem o confinamento das peças de concreto armado, a preparação das superfícies deve ser direcionada no sentido de que seja estabelecido um contato íntimo e contínuo entre as superfícies envolvidas. Essas superfícies não devem apresentar concavidades ou convexidades que impeçam o carregamento correto do sistema compósito. As irregularidades superficiais expressivas devem ser corrigidas através dopreenchimento com material de reparação compatível com as características mecânicas e físicasdo concreto existente (MACHADO, 2010).

2.4 REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

As estruturas manufaturadas na engenharia civil são designadas para suportar cargas dediferentes ordens, no entanto apresentam um tempo de vida útil finito. As estruturas de concretoarmado podem sofrer perda no desempenho por vários motivos, como por exemplo características do ambiente, erros de projeto e no processo construtivo, alterações funcionais, falta de manutenção, mudança no sistema estrutural, explosões, danos acumulados ao longo do tempo, danos por acidente, sobrecarga, incêndios, eventos sísmicos, tsunamis, entre outros. Uma vez que a substituição de estruturas comprometidas requer grandes investimentos, a utilização de reforço tornou-se um caminho promissor para aumentar a capacidade de carga deestruturas e prolongar sua vida útil (HEIZA *et. al.*, 2014).

Quando se faz a opção de reforçar uma estrutura, todos os modos de falha devem ser avaliados. Ao reforçar uma estrutura à flexão pode-se provocar uma falha no cisalhamento ao invés do aumento de capacidade de carga. Com a alteração da integridade estrutural de um sistema, a estrutura em sua totalidade deve ser investigada e o reforço designado para aumentar a capacidade resistente, minimizar a manutenção e necessidades de reparo (ALKHRDAJI; THOMAS, 2002).

Os reforços podem ser aplicados em vários níveis e para diferentes sistemas, a seleção do métodos e materiais de reforço deve considerar o tempo de implementação, sua relação custo-eficácia, e uma comparação com a reconstrução destes elementos. O passo seguinte é

a realização de projeto de engenharia para chegar à estimativa detalhada de custos. As soluções podem ser simples ou complexas, alguns resultados experimentais disponíveis na literatura mundial podem auxiliar no processo de tomada de decisões sobre os métodos de reforço a serem implementados (TEYMOURIAN et al., 2004).

Nos países em desenvolvimento a qualidade da mão de obra no setor da construção civil é considerada inferior quando comparada aos países desenvolvidos, uma provável explicação é a presença de trabalhadores pouco qualificados e do material provavelmente de menor qualidade. O programa de reforço estrutural nos países em desenvolvimento deve ser um processo gradual começando com as soluções mais simples; tais como paredes de fixação, folheados, parapeitos, entre outros, para os mais complicados e dispendiosos, é importante permitir às autoridades alocar o orçamento adequado sem impor um grande fardo sobre as prioridades de despesa da obra (TEYMOURIAN et al., 2004).

As aplicações do reforço estrutural incluem pontes, construções, garagens, túneis, chaminés, tanques de água, contêineres industriais, silos, paredes de escoramento, estruturas marinhas, entre outros. A aplicação em pontes são as mais importantes do ponto de vista econômico. Vigas, colunas e lajes são os elementos mais comumente reforçados (WU; WANG; IWASHITA, 2007).

2274

Estruturas antigas podem precisar ser reabilitadas e reforçadas para manter os atuais níveis de segurança. No entanto qualquer tipo de reparo ou alteração na estrutura deve minimizar qualquer tipo de alteração visual e evitar a destruição de elementos estruturais. Na realização de trabalhos de reabilitação de edifícios históricos, é necessário considerar o cumprimento dos códigos de segurança, saúde, operacionalidade, e a minimização dos efeitos de arquitetura. O projeto deve considerar as consequências sobre os caracteres, características e acabamentos tendo em vista a preservação do patrimônio histórico (MORTON *et. al.*, 1992). Estes materiais podem também ser combinados para obtenção de sistemas ainda mais robustos. A seguir serão abordados os materiais e técnicas mais frequentemente usados no reforço e reparação de estruturas de concreto:

2.4.1 Adição De Armaduras

A adição de armaduras a um elemento estrutural, para complementação ou reforço, tem a função de restabelecer as condições de desempenho e segurança de estruturas afetadas pela corrosão de armaduras. É uma técnica adotada quando há deficiência nas armaduras

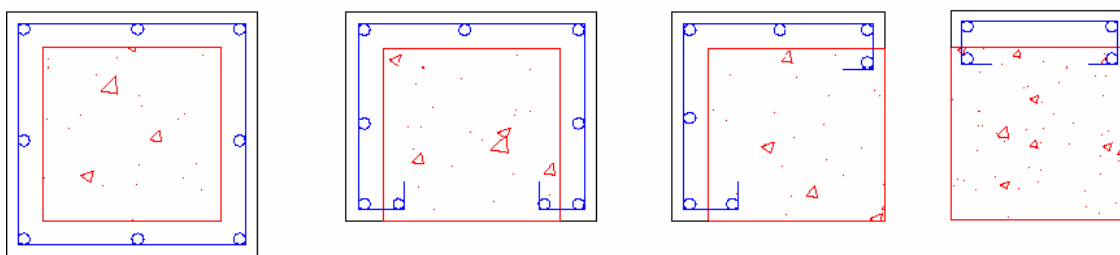
existentes, no entanto as dimensões dos elementos estruturais e a qualidade do concreto armado se consideram ser adequadas (HELENE, 1992; APPLETON; GOMES, 1997).

A superfície do concreto existente deve ser preparada de modo a remover as impurezas depositadas, a retirar o concreto deteriorado e a aumentar a sua rugosidade. Esta operação pode ser realizada com martelos de agulhas (pneumáticos ou eléctricos). As propriedades mais relevantes da resina epóxi para este tipo de aplicação são a sua viscosidade, o período de aplicação e de endurecimento e as suas propriedades mecânicas.

Em geral, são utilizadas chapas de aço ou perfis metálicos. Estes elementos podem ser ligados por colagem com resina epóxi, a ligação pode e deve ser complementada com buchas metálicas. É importante realizar uma cuidadosa preparação das superfícies do concreto para garantir condições de boa ligação entre o material de reforço e o concreto. A espessura da resina deve ser controlada, espessuras elevadas conduzem a uma ligação menos eficiente. Durante a execução do reforço a estrutura deverá ser aliviada de todas as cargas que possam ser removidas, garantindo assim que as armaduras de reforço estejam mobilizadas para as cargas de serviço (APPLETON; GOMES, 1997).

A Figura 10 apresenta configurações usuais deste tipo de reforço em pilares, o reforço pode ser realizado nas quatro, três, duas ou única face (HELENE, 1992).

Figura 10 - Configurações de reforço com adição de armadura e concreto em pilares



Fonte: Helene (1992).

Este tipo de reforço é geralmente usado em estruturas danificadas, requer um tratamento prévio na superfície, a substância responsável pela ligação armadura-concreto comumente adotada é a resina epóxi. O inconveniente desta técnica é o acréscimo da armadura ao elemento estrutural, podendo ocasionar um aumento da seção.

A espessura da camada de concreto a ser adicionada a estrutura depende da facilidade de execução e dimensão do agregado. Cánovas (1988) sugere não usar espessura inferior a 10 cm, a não ser que se faça uso de concretos com superplastificantes ou concretos projetados, e agregados com diâmetro máximo superior a 20 mm. Tal espessura contribuirá para que o

pilartenha a seção necessária para resistir aos esforços.

A relação da área de aço corroída pela área de aço da seção original, deve haver a complementação dessa área perdida pela adição de uma nova área de aço, pois segundo Souza e Ripper (1998) deve-se adotar o princípio de complementar uma nova barra de aço caso tenha um redução acima de 15% da área de aço corroída.

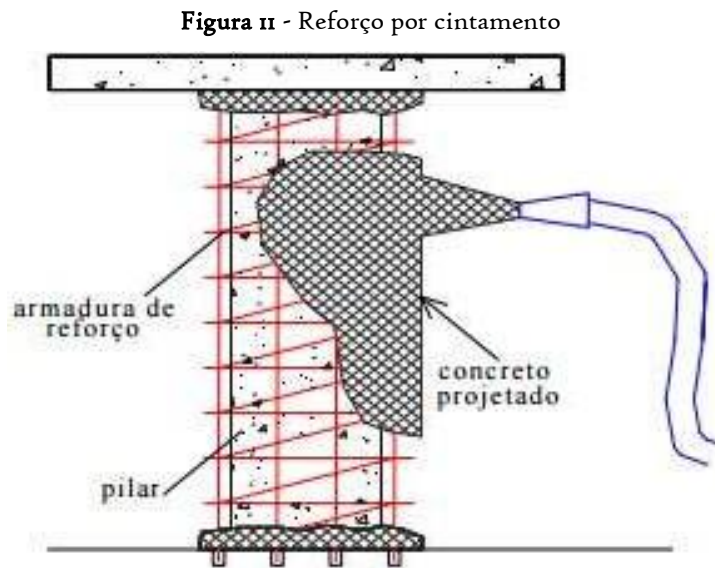
2.4.2 Reforço Por Aumento da Seção Transversal

O aumento da seção transversal é um dos métodos tradicionais utilizados no reforço de elementos estruturais. A técnica consiste em acrescentar concreto/argamassa armada às peças a serem reforçadas até alcançar as propriedades de seção e desempenho desejados. Dessa forma, o material adicionado passará a trabalhar unido ao concreto existente através da aderência entre ambos. A eficiência desse reforço é garantida, desde que sejam tomados os devidos cuidados durante sua realização. As principais vantagens deste método são o baixo custo dos materiais e o maior conhecimento sobre materiais empregados. As principais desvantagens deste sistema são o aumento das dimensões finais dos elementos reforçados, tempo de cura e a necessidade de formas (HEIZA, 2014; CANOVAS, 1998; ALMEIDA, 2001).

2276

Existem várias técnicas que podem ser empregadas para o aumento da seção transversal, é recomendado o concreto projetado no caso de grandes volumes de concreto, enquanto para pequenos volumes a concretagem deve ser realizada com uso de formas (TAKEUTI, 1999). O reforço por meio de concreto armado é eficiente para o reforço ao momento fletor e o reforço ao esforço cortante. Este tipo de reforço pode ser utilizado em vigas com insuficiência de armadura na zona tracionada. O reforço realizado com concreto adequadamente preparado apresenta boa eficiência. (REIS, 1998; ALMEIDA, 2001).

Outro método usado para reforçar estruturas de concreto armado é o encamisamento, método que consiste no reforço de elementos de concreto armado com o aumento da seção transversal existente, pela adição de armaduras de aço (longitudinal e transversal) inseridas numa camada de concreto ou argamassa que envolve a seção original. O método garante um aumento da capacidade resistente do pilar original, seja ela por compressão triaxial ou protensão fazendo com que o concreto colabore na resistência aos esforços atuantes, viabilizando o uso de seções menores (CANOVAS, 1998; GUERRANTE, 2013). A Figura II ilustra a utilização do encamisamento de um pilar.



Fonte: Helene (1992)

A técnica de encamisamento apresenta as vantagens de ser econômica, utilizar materiais comumente usados na construção civil, minimizando a necessidade de mão de obra especializada, além de ser eficiente e possibilitar aos elementos reforçados os modos de ruína clássicos de peças de concreto armado, desde que devidamente projetada e executada. Nas vigas, o reforço por encamisamento pode ser efetuado apenas por flexão (Figura 12a), em casos onde a viga apresenta quantidade insuficiente de armadura na zona tracionada ou por flexão e cisalhamento (Figura 12b). Para ambos os casos, a eficiência do método é bastante satisfatória (GUERRANTE, 2013).

2277

Figura 12 - Variações da técnica de encamisamento

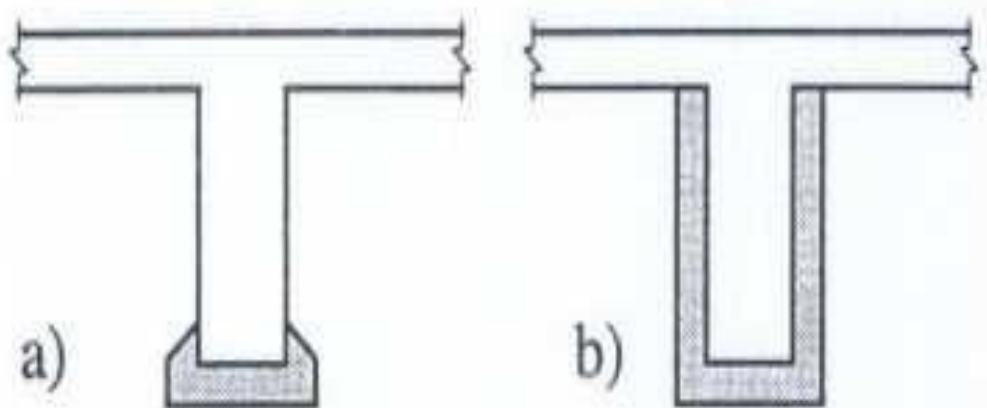


Figura 2.6 - Variações da técnica de encamisamento

Fonte: Guerrante (2013).

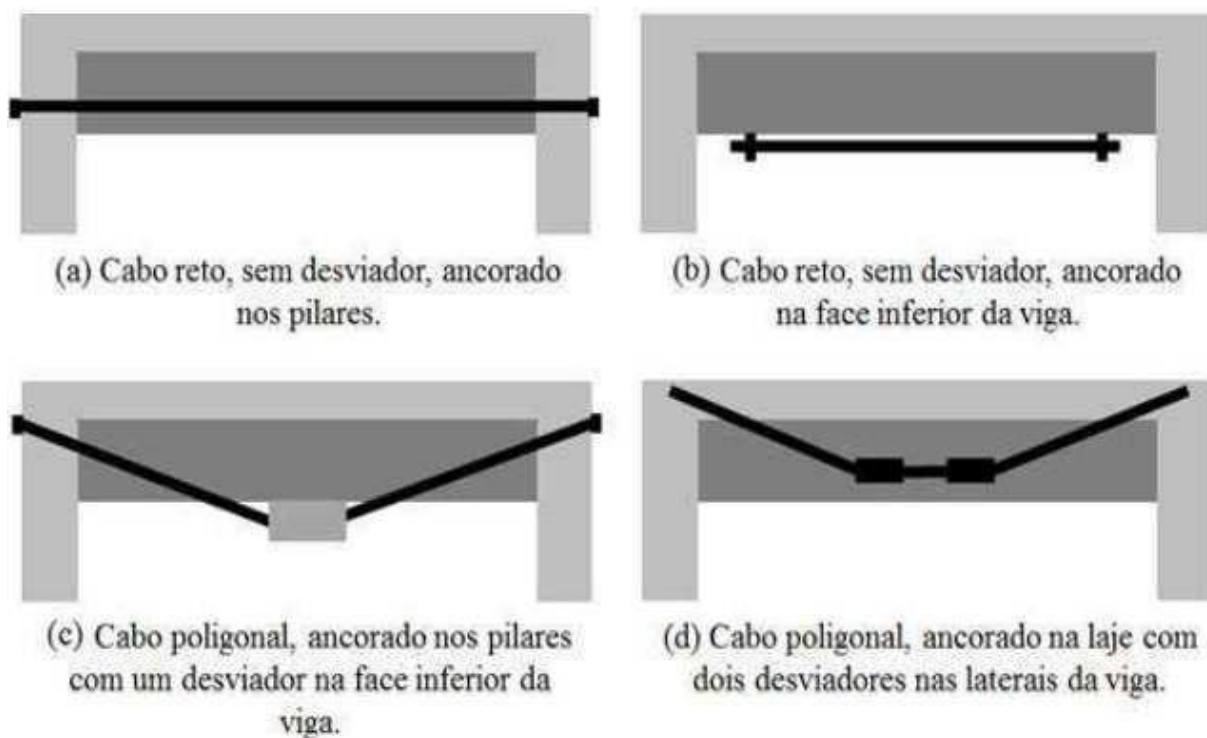
2.4.3 Reforço Por Meio De Protensão Externa

Protensão externa refere-se a um método de pós-tensão em que os cabos são colocados do lado de fora de um elemento estrutural, introduzindo numa estrutura um estado prévio de tensões capaz de melhorar seu comportamento sob diversas condições de carga. É um método atrativo na reabilitação e reforço de estruturas por acrescentar pouco de peso para a estrutura original, representar pouca perturbação para os usuários e permitir um monitoramento constante, enfatizando a substituição dos cabos (NORDIN, 2005).

Um dos aspectos mais importantes sobre a protensão é seu caráter ativo, não sendo necessário a deformação da viga para que o reforço comece a atuar sobre ela. A reabilitação de uma viga ou laje por meio da protensão, pode ser utilizada em diversos casos: deterioração ao longo do tempo, acidentes, falhas de projeto e de construção, além de alterações no uso da estrutura. A aplicação da protensão resulta em uma melhora no comportamento em serviço e proporciona um aumento da capacidade portante das vigas. A protensão pode também contribuir na resistência ao cisalhamento. O aumento de rigidez proporcionado pela protensão pode reduzir as flechas e a vibração de pontes, além de reduzir a variação de tensões melhorando a resistência à fadiga (ALMEIDA, 2001).

A utilização de cabos de aço externos começou na década de 1950. Atualmente, técnicas de pré-esforço externo têm sido amplamente utilizados em estruturas de países como os Estados Unidos, Japão e Suíça. Devido aos problemas provenientes da corrosão do aço, são necessários procedimentos de proteção à corrosão do aço nos cabos externos. Esta problemática impulsionou pesquisas para o desenvolvimento novos materiais em substituição ao aço, sendo importante enfatizar a aplicação de PRFs. Pesquisas para o desenvolvimento e aplicação destes materiais no reforço protendido tem sido conduzidas desde o início dos anos 1970. Os compósitos de aramida e de carbono são atualmente as opções mais utilizadas, principalmente por possuírem um módulo de elasticidade mais elevado. No entanto, é importante enfatizar que os PRFs e o aço apresentam propriedades e comportamento diferentes quando sob ação de uma carga (NORDIN, 2005). Os esquemas geométricos e traçados dos cabos de protensão que podem ser utilizados são ilustrados na Figura 13.

Figura 13 - Esquema de geometria dos cabos de protensão



Fonte: Almeida (2001).

2.4.4 Reforço Com Aplicação De Chapas Metálicas

2279

Tradicionalmente placas de aço são usados para reforçar vigas. A técnica de reforço com aplicação de placa metálicas provou ser útil para trabalhos de reforço estrutural. No entanto, a susceptibilidade de aço à corrosão e dificuldades de instalação de placas de aço pesados em congestionado e espaços confinados e restrições impostas pelos dispositivos de içamento e manipulação de torná-lo desejável procurar outras alternativas viáveis.

Dentre as vantagens da utilização de chapas metálicas no reforço de estruturas de concreto estão: a rapidez na execução, a não utilização de materiais molhados ou úmidos, a ausência de vibração, o baixo nível de ruídos, a não necessidade de instalações auxiliares importantes e a pouca interferência no uso da estrutura durante a execução da reabilitação (APPLETON; GOMES, 1997).

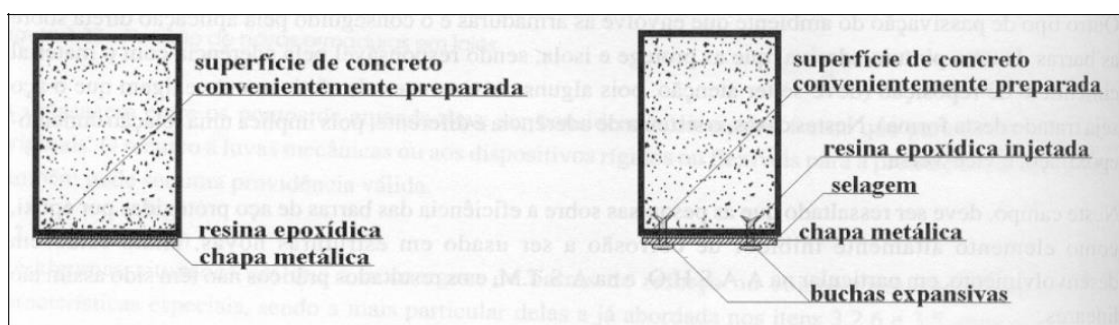
Para garantir a perfeita transferência de carga do conjunto, durante a montagem deve-se procurar obter uma perfeita e rígida união de todos os elementos estruturais ao reforço comolajes, vigas, pilares, fundações, etc. A união do aço com o concreto pode ser feita por materialde alta resistência a compressão, formando uma camada rígida podendo transmitir os esforços eliminando contatos pontuais (CÁNOVAS, 1988).

Os reforços com aplicação de chapas metálicas têm como objetivo suportar novas solicitações de cortante, flexão e torsão. Nesta técnica utiliza-se chapas finas de materiais metálicos diversos coladas com resina epóxi ao concreto, é conhecida por ser eficiente quando o trabalho é bem executado. As chapas metálicas devem ser coladas ou chumbadas ao concreto, colocadas de maneira a promover uma eficiente união da chapa e do concreto pela resina epóxi ou pelos chumbadores, para que as tensões sejam distribuídas e continuem atuando mesmo após o estado limite último (ELU). Essa técnica é adotada quando em casos de emergência ou quando não são permitidas grandes alterações na geometria da estrutura, é uma técnica que pode adicionar capacidade resistente a peça, de fácil execução e baixo custo comparado a outras técnicas de reforço. É importante mencionar que a espessura da cola deve ser pequena, da ordem de milímetro (ALMEIDA, 2000; SOUZA, RIPPER, 1998).

A utilização de resinas epóxi nos reforços metálicos propicia uma união eficiente entre o aço e o concreto. Mediante aplicação de resinas epóxi, a armadura suplementar introduzida n'uma ou elemento danificado é incorporada em forma de chapas de aço coladas ao concreto no lugar adequado (REIS, 1998).

Os defeitos mais frequentes em relação às falhas de aderência acontecem por efeito de esforço cortante superficial na interface chapa-adesivo e tensão de tração na união adesivo- concreto. O adesivo deve apresentar módulo de elasticidade transversal inferior nos apoios de vigas para combater o efeito de resistência à tração e esforço cortante, pois esta é a região onde os esforços de flexão-tração são maiores. Figura 14 ilustra a utilização do reforço com chapa colada e com adição de buchas expansivas (ALMEIDA, 2000).

Figura 14 - Ilustração de reforço com chapas colada (esquerda) e com buchas expansivas (direita)



Fonte: Souza e Ripper (1998).

As chapas metálicas são comumente protegidas contra corrosão por meio de galvanização e pinturas de proteção. As chapas devem estar limpas para garantir a aderência da resina à chapa. Para garantir proteção contra o fogo, pintura e revestimento em argamassa compacta são os métodos mais adotados atualmente.

2.4.5 Reforço Com Aplicação De Materiais Compósitos

Recentemente, diversos materiais estão sendo utilizados para confecção de placas e tecidos para reforço em substituição das placas metálicas, sendo importante destacar o uso de materiais compósitos. Estes materiais podem ser produzidos por diversos métodos, e suas propriedades são dependentes da composição do material e orientação de seus constituintes. Compósitos contendo fibras de carbono e uma matriz polimérica (PRFC), são materiais que apresentam excelente desempenho, são amplamente utilizados para promover o reforço estrutural de estruturas de concreto armado. Essa técnica de reforço tem se mostrado um sistema de fácil execução e com ótima performance, aumentando a ductilidade das estruturas assim como a capacidade resistente dos elementos estruturais (ALMEIDA, 2000).

Os polímeros reforçados com fibras são os materiais mais utilizados na aplicação de reforço com PRF. Os polímeros reforçados com fibras de carbono (PRFC) foram amplamente utilizados no Japão na década de 90 em ocorrência dos constantes terremotos que provocou o abalo na cidade de Kobe nos meados do século 90. As autoridades japonesas optaram por reforçar as construções existentes, principalmente estruturas do sistema viário, como pontes e viadutos com PRFC. Atualmente é uma técnica considerada eficiente e de fácil execução, com resultados impressionantes, tanto no aumento da ductilidade, quanto em relação a capacidade resistente dos elementos estruturais (RIGAZZO, 2003).

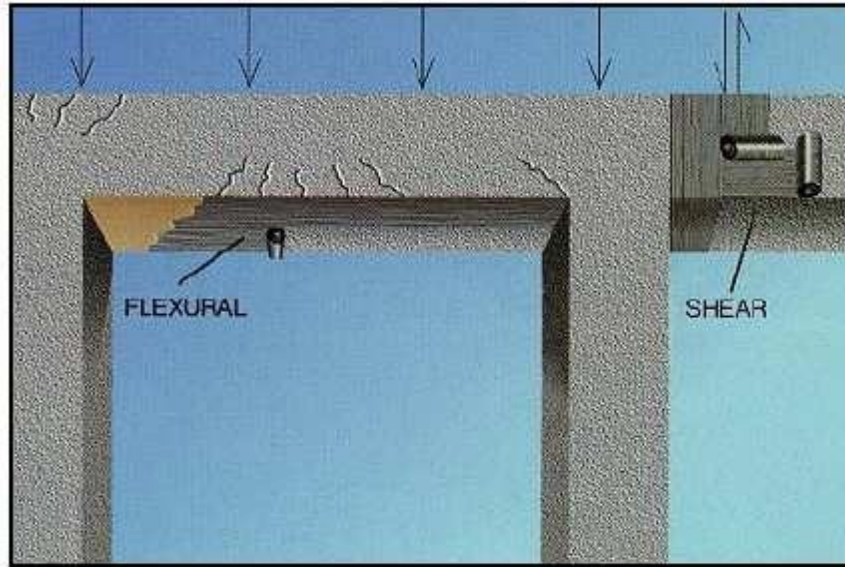
2281

Existem muitos elementos estruturais de concreto armado onde o sistema de reforço usando fibras de carbono podem ser empregados. Principalmente, em elementos de estruturas onde surgem momentos fletores, com suas correspondentes tensões de tração e compressão, esforços cortantes e de torção com suas tensões tangenciais e em casos específicos de confinamento os sistemas compostos que podem ser usados para reforço de lajes, vigas e pilares (MACHADO, 2010).

2.4.5.1 Reforço de Vigas a Flexão e Cortante

O uso das fibras de carbono como reforço absorve as tensões de tração dos elementos estruturais consequente de momentos fletores negativos e positivos, além das tensões tangenciais (cisalhamento), consequente dos esforços cortantes, como pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 - Reforço de vigas à flexão e ao corte



Fonte: Chaves (2010).

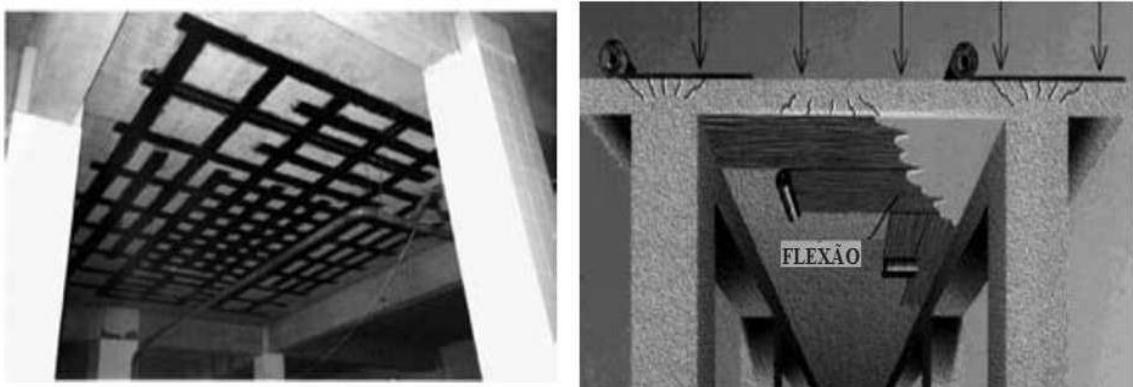
2.4.5.2 Reforço de Lajes a Flexão

O procedimento comum de reforço à flexão de lajes usando compostos PRF é a colagem de faixas ou tecidos na região tracionada da laje. As faixas podem cobrir regiões da superfície da laje, enquanto os tecidos podem cobrir toda a superfície da peça. A cobertura completa da superfície pelo reforço pode criar dificuldades para verificar a qualidade da colagem/aderência, além de impedir o livre movimento de saída da umidade, fatores que combinados podem promover o processo de descolamento (TENG *et. al.*, 2002).

2282

O reforço de lajes é semelhante ao reforço das vigas, materiais como PRFC e PRFV podem ser dispostas segundo uma ou duas direções, como ilustrado na 16.

Figura 16 - Lajes de concreto armado reforçadas com sistema de fibras de carbono dispostas em duas direções

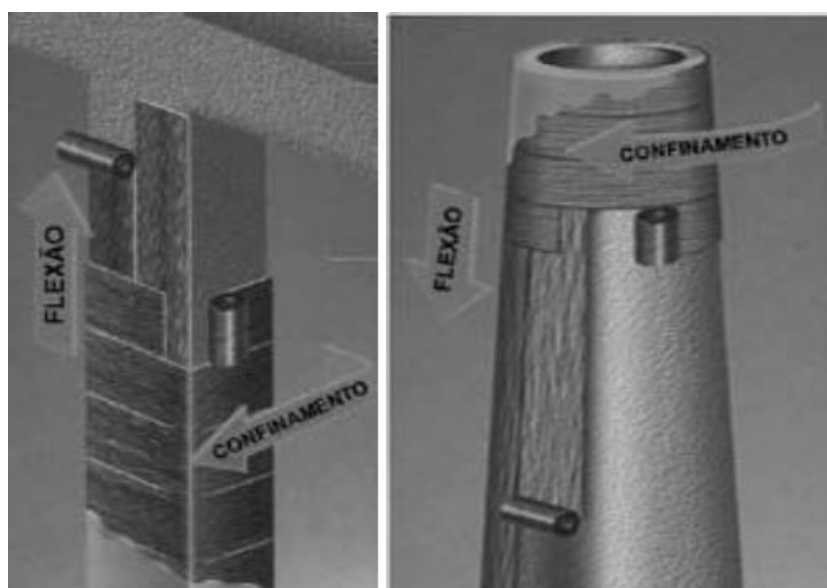


Fonte: Machado (2010).

2.4.5.3 Reforço de Pilares e Vigas

A grande maioria dos reforços utilizando PRFC é executada em pilares, com função de melhorar o seu desempenho em pontes e viadutos. O reforço de pilares e colunas pode ser feito de duas maneiras distintas: com o aumento de sua resistência à flexão ou o aumento da sua resistência à compressão axial por meio de confinamento. A figura 17 mostra em seu lado esquerdo os reforços possíveis para os pilares e colunas e no lado direito os possíveis para as chaminés.

Figura 17 - Reforço de pilares à flexão e confinamento



Fonte: Machado (2010).

O reforço por flexão deve sempre ser instalado antes dos reforços para o corte e para o confinamento, os dois últimos reforços serão aplicados sobre o reforço por flexão. Este seguimento de execução tem como objetivo de garantir para o reforço à flexão e para o reforço ao corte a condição denominada “colagem crítica”, onde é necessária uma aderência íntima entre o concreto e o sistema composto, e para o reforço por confinamento a condição denominada de “contato íntimo”, onde as necessidades de aderência entre o sistema composto e o concreto não são mandatórias (MACHADO, 2010).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muitos fatores estão relacionados à necessidade da reabilitação ou reforço de uma estrutura, durante o planejamento e execução devem ser tomadas todas as precauções, visando minimizar os prejuízos acarretados na deterioração e no mal-uso de estruturas de concreto armado.

As diferentes metodologias e materiais atualmente disponíveis para promover a reabilitação e o reforço estrutural possibilitam o desenvolvimento de uma estratégia eficiente e viável para prolongar a vida útil de uma estrutura. A reabilitação e reforço estrutural desempenham um papel de grande importância na conservação de estruturas que constituem patrimônio histórico, além disso minimizam os resíduos gerados pela construção civil.

A utilização de polímeros reforçados com fibras no reforço estrutural tem se mostrado uma alternativa eficiente para promover o reforço estrutural, apresentando boa performance e simples aplicação. Novos materiais estão sendo desenvolvidos para esta finalidade, utilizando diferentes combinações de polímeros e fibras. Desta forma as técnicas e materiais utilizados no reforço podem se tornar mais populares e ter seus custos reduzidos.

REFERÊNCIAS

ALKHRDAJI, T.; THOMAS, J. Techniques and Design Considerations for Upgrade of Parking Structures. **National Parking Association**, v. 41, n. 5, p. 6, 2002.

ALMEIDA, I. R. **Influência da resistência à abrasão do agregado na resistência à abrasão de concretos de alto desempenho**. In: Congresso Brasileiro do Concreto – REIBRAC, 42, 2000, Fortaleza. Anais. São Paulo: IBRACON, 2000.

ALMEIDA, T. G. M. **Reforço de Vigas de Concreto Armado por Meio de Cabos Externos Protendidos**. 2001. 201 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos.

APPLETON, J.; GOMES, A. Reforço de Estruturas de Betão Armado por Adição de Armaduras Exteriores. **Revista Portuguesa de Engenharia de Estrutura**, n. 41, 1997

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

ARYA, A. S.; BOEN, T.; ISHIYAMA Y. **Guidelines for Earthquake Resistant NonEngineered Construction**. Paris, 2013.

AUSTIN S. A, ROBINS P, GOODIER C. I. Construction and repair with wet-process sprayed concrete and mortar. Technical Report 56. **The Concrete Society UK**, 2002.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. iv. 488p.

BRANDÃO, A. M. S.; PINHEIRO, L. M. P. **Caderno de Engenharia de Estruturas**. 1999. 26 p. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Estruturas, São Carlos, 1999.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. São Paulo: PINI, 1988.

CHAVES, Luciano Pereira. **Estudo da distribuição do reforço de lajes de concreto armado**

com fibras de carbono, usando otimização topológica. 2010. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

DUART, M. A. Estudo da Microestrutura do concreto com adição de cinza de casca de arroz residual sem beneficiamento. 2008. 134 p. Dissertação (mestrado em engenharia civil). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, 2008.

FERREIRA, R. M. Avaliação dos Ensaios de Durabilidade do Betão. 2000. 246 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães, 2000.

FRANCKLIN, H. M. Produção e análise de compósitos epóxi e fibras vegetais para reforço à flexão em vigas de concreto armado. 2017. 176p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

FORTES, A. S. Vigas de concreto armado reforçadas com fibras de carbono. 2000. 246p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

GUERRANTE, I. C. Análise numérica de vigas de concreto armado reforçadas por encamisamento parcial. 2013. 121p. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

HELENE, P. R. L. Manual para Reparo, Reforço, e proteção de Estruturas de Concreto. Pini, ed. 2, São Paul, 1992.

2285

HEIZA, K.; NABIL, A.; MELEKA N.; TAYEL, M. State-of-the Art Review: Strengthening of Reinforced Concrete Structures – Different Strengthening Techniques. Sixth International conference on Nano-Technology in Construction, Egypt, 2014.

JOHARI, G.P. Chemistry and Technology of Epoxy Resins Edited by Bryan Ellis Department of Engineering Materials University of Sheffield. Springer Science+Business Media Dordrecht, 1993.

MACHADO, A. P. Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono. Edição BASF, 2010.

MORTON, W. B. et al. The Secretary of the Interior's standards for rehabilitation and illustrated guidelines for rehabilitating historic buildings United States. Secretary of the Interior. National Park Service. Preservation Assistance Division, 1992.

NAKAMURA, J. Reparo, reforço e recuperação de concreto. Ed 146. 2008.

NORDIN, H. Strengthening structures with externally prestressed tendons. Literature review. Luleå University of Technology, Technical Report, Department of Civil and Environmental Engineering Division of Structural Engineering, Luleå, 2005.

PAUL, H. H. Repair, Renovation And Strengthening Of Concrete Structures “Evaluation and Rehabilitation of Concrete Structures” Mexico City, September 11-13, 2002.

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.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

RIGAZZO, A. O. **Reforço em pilares de concreto armado por cintamento externo com mantas flexíveis de fibras de carbono.** 2003. 143p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual De Campinas, Campinas.

RUSSELL, P. **Basics of Concrete Repair and Structural Strengthening.** MAPEI, 2015.

SANTOS, M. R. G. **Deterioração das Estruturas de Concreto Armado – Estudo de Caso.** 2012. 122p. Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

SCHLUMPF, J.; HÖFLER J. Shotcrete in Tunnel Construction Introduction to the basic technology of sprayed concrete AG. **Reinhardt+ Reichenecker GmbH.** Ed. 11, p. 10–43, 2006.

SMOAK W. G. **Guide To Concrete Repair.** United States department of the interior. Bureau of reclamation, 2002.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto.** São Paulo:PINI, 1998.

TAKEUTI, A. R. **Reforço de Pilares de Concreto Armado por Meio de Encamisamento com Concreto de Alto Desempenho.** 1999. 205p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Carlos, São Carlos.

2286

TENG, J. G. et al. FRP strengthened RC structures. **London: John Wiley & Sons,** p. 266, 2002.

TEYMOURIAN, J.; MOINFAR, A. A.; NADERZADEH, A. **Strengthening Of Existing Buildings Against Earthquake With Consideration Of Economic Constraints In Developing Countries.** 13th World Conference on Earthquake Engineering, Canada, Paper No. 2283, 2004.

VASCONCELOS, A. C.; CARRIERI JÚNIOR, R. **A Escola Brasileira do Concreto Armado.** 1. ed., p.207, São Paulo: Axis Mundi, 2005

WEST, J. S.; LAROSCHE, C. J.; KOESTER B. D.; BREEN J. E.; KREGER M. E. **State-Of-The-Art Report About Durability Of Post-Tensioned Bridge Substructures.** Center for transportation research bureau of engineering research the University of Texas, Austin, 1999.

WU, Z., WANG, X.; IWASHITA, K. State-of-the-Art of Advanced FRP Applications in Civil Infrastructure in Japan. **Composites & Polycon: American Composites anufacturers Association,** 17-19, 2007.

ZUCCHI, F. L. **Técnicas Para O Reforço De Elementos Estruturais.** 2015. 50p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.