

Monografia

“RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL COM ÊNFASE NO MÉTODO DA PROTENSÃO EXTERNA”

Autor: José Roberto Mariano

Orientador: Prof. Adriano de Paula e Silva

Belo Horizonte

Agosto/2015

José Roberto Mariano

**“RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL COM ÊNFASE NO MÉTODO DA
PROTENSÃO EXTERNA”**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em
Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade
Federal de Minas Gerais.

Enfase: Gestão e Tecnologia na Construção Civil

Orientador: Prof. Adriano de Paula e Silva

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG

2015

Dedico este trabalho à minha esposa Geralda e aos meus filhos Mariela e Pedro, que são a inspiração para que eu continue esta caminhada. E por fim, a meus pais que permitiram a minha existência para completar este feito.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Adriano pela disponibilidade, atenção e presteza na minha orientação;

Aos meus novos amigos do curso de Pós-Graduação, que fizeram comigo esta caminhada gratificante, em especial aos colegas Rodrigo Oliveira Aguiar e Warley Ricardo dos Santos, pela ajuda no fornecimento de informações e materiais para esta monografia;

À ARCELOR MITTAL que me propiciou, através do patrocínio, esta grande oportunidade de ganho profissional e pessoal;

À MASCARENHAS BARBOSA ROSCOE pelo apoio necessário proporcionado durante vários momentos que precisei de tempo e dedicação na realização deste trabalho;

À UFMG, através dos seus professores e colaboradores, que nos proporcionaram toda a estrutura para esta possibilidade de crescimento profissional.

Ao Colega e amigo Ubirajara Alvim Camargos, pela ajuda com várias informações durante esta monografia;

E por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram nesta caminhada importante de minha vida.

RESUMO

O grande número de obras estruturais em concreto armado, aliado à falta de conhecimento ou de cuidados por parte dos profissionais técnicos, tem levado ao aparecimento de diversas patologias, demandando necessidade de manutenções e recuperações constantes. Também o aumento das cargas/esforços vem solicitando o aprimoramento das técnicas de reforço estrutural para atendimento dessas necessidades. Neste trabalho serão abordados vários métodos de recuperação/reforço estrutural, objetivando aumentar o conhecimento e o campo de pesquisa para os profissionais do ramo da Construção Civil, dando maior destaque para a utilização do método da protensão externa por mostrar-se alternativa eficiente, prática e econômica para a recuperação e reforço de estruturas em concreto armado.

Palavras chave: Estruturas de concreto, patologias, protensão externa, recuperação, reforço, reabilitação.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Generalidades e Justificativas.....	1
2. OBJETIVO.....	2
3. PATOLOGIAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	3
3.1 Conceitos e Generalidades.....	3
3.2 Recuperação Estrutural: Conceitos e Métodos Executivos.....	5
3.2.1 Reforço pelo método do aumento da seção transversal.....	6
3.2.2 Reforço pelo método da Incorporação de chapas metálicas.....	8
3.2.3 Reforço estrutural com fibra de carbono.....	11
3.2.4 Concreto protendido. Breve histórico.....	13
3.2.5 Reforço estrutural pelo método da protensão externa.....	18
3.2.6 Protensão em pontes de madeira.....	22
4. ESTUDO DE CASOS.....	26
4.1 Problemas de acessibilidade em garagens de edifícios.....	26
4.1.1 Melhoria da acessibilidade.....	27
4.2 Protensão de passarela em rua de Belo Horizonte.....	32
4.3 Protensão Externa. Cobertura Adicional do Mineirão.....	33
4.3.1 Protensão Externa da Cobertura Existente.....	34
5. CONCLUSÕES.....	37
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Vida útil de projeto para estruturas.....	4
Figura 3.2 – Patologia devido ao cobrimento insuficiente em viga de concreto.....	5
Figura 3.3 – Colocação da armação de reforço para o encamisamento do pilar...	7
Figura 3.4 – Concretagem do encamisamento de outro pilar.....	7
Figura 3.5 – Exemplo de escoramento para reforço de pilares.....	8
Figura 3.6 – Detalhe esquemático para fixação de chapa metálica.....	10
Figura 3.7 – Fixação de chapa metálica.....	11
Figura 3.8 – Foto ilustrativa do composto de fibra de carbono.....	12
Figura 3.9 – Piso protendido em galpão industrial.....	14
Figura 3.10 – Ponte Rio-Niteroi.....	15
Figura 3.11 – Museu do MASP em São Paulo.....	16
Figura 3.12 – Mausoléu Castelo Branco em Fortaleza/CE.....	16
Figura 3.13 – Nova Sede Administrativa do Governo de Minas Gerais	17
Figura 3.14 – Detalhe de uma viga protendida externamente	18
Figura 3.15 – Facilidade de inspeção visual do sistema de protensão externa...	19
Figura 3.16 – Protensão de tanque industrial.....	20
Figura 3.17 – Foto da ponte de referência (BR 316/PI).....	21
Figura 3.18 – Corte longitudinal na ponte de referência.....	22
Figura 3.19 – Desenho esquemático de ponte protendida de madeira.....	23
Figura 3.20 – Construção e protensão da ponte.....	24
Figura 3.21 – Lançamento do tabuleiro da ponte de madeira.....	24
Figura 3.22 – Prova de carga da ponte de madeira.....	25
Figura 3.23 – Ponte concluída e em utilização.....	26
Figura 4.1 – Acessibilidade difícil. Necessidade da retirada de parte do pilar.....	27
Figura 4.2 – Detalhe esquemático para reforço de pilar com chapa metálica.....	28
Figura 4.3 – Aresta a ser suprimida conforme detalhado na Figura 4.2.....	28
Figura 4.4 – Demolição de parte da seção do pilar.....	29

Figura 4.5 – Preparação e regularização da superfície do pilar.....	30
Figura 4.6 – Instalação da chapa metálica no pilar.....	31
Figura 4.7 – Passarela em rua de Belo Horizonte.....	32
Figura 4.8 – Passarela protendida em utilização.....	33
Figura 4.9 – Perspectiva artística do Estádio do Mineirão.....	34
Figura 4.10 – Mineirão. Macaqueamento e protensão das vigas invertidas.....	35
Figura 4.11 – Ancoragens ativas das vigas invertidas.....	36
Figura 4.12 – Ancoragens passivas das vigas invertidas.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas

CFC = Compósito de Fibra de Carbono

CFRP = Carbon Fiber Reinforced Polymers

FIFA = Fédération Internationale de Football Association

MG = Minas Gerais

NBR = Norma Brasileira

UFMG = Universidade Federal de Minas Gerais

UV = Ultra Violeta

VUP = Vida Útil de Projeto

1. INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades e Justificativas

Desde os primórdios da humanidade, a construção de estruturas para abrigos, transposição e/ou condução de cursos d'água e outros obstáculos se fez necessária para atendimento a objetivos diversos dos povos tais como: mobilidade, proteção e conforto. Com a invenção do cimento Portland, na Inglaterra em 1824, houve um grande salto no desenvolvimento das técnicas construtivas, principalmente com a possibilidade da inclusão de fios e/ou barras metálicas, dando início à era das construções de estruturas em concreto armado. Junto vieram as patologias da construção. Essas patologias podem ocorrer por fatores diversos como falhas de projetos, falhas executivas, problemas com a mão de obra e com materiais. Diversas técnicas e processos foram desenvolvidos, ao longo do tempo, visando à manutenção e/ou reabilitação das estruturas de concreto, objetivando a correção destas patologias.

A entrada em vigor da norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013) passou a exigir maior cuidado, por parte dos profissionais, com a vida útil e conceitos de sustentabilidade das estruturas de edificações prediais, o que acabará servindo como referência para as demais áreas da construção tais com: obras industriais, comerciais, pontes e obras públicas. Peritos e juízes certamente utilizarão essa norma como referência para o julgamento de demandas envolvendo patologias em estruturas de edificações não prediais.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é fazer um breve relato sobre as causas das patologias nas estruturas de concreto armado e discorrer sobre algumas técnicas de recuperação e reforço dessas estruturas, analisando vantagens e desvantagens de cada uma, com maior destaque para o método da protensão externa.

3. PATOLOGIAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

3.1 Conceitos e Generalidades

Na construção civil o termo patologia refere-se às anomalias que podem ocorrer durante ou após a execução da obra, podendo comprometer a vida útil da estrutura.

“Desde o último século, tem-se usado comumente o termo patologia das construções, em analogia com as enfermidades da medicina” (SANTOS, 2014).

Com a entrada em vigor da norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013), o tempo de vida útil das estruturas prediais (VUP) deve ser projetado para atingir no mínimo 50 anos, conforme mostrado na tabela 7, página 32 da norma citada. Segundo GRANDISKI (2014), o termo vida útil não deve ser confundido com tempo de garantia da estrutura, tempo este que leva em consideração outros fatores como manutenção, tipo de exposição à intempéries e forma de utilização da edificação.

A Figura 3.1 mostra a tabela 7 da norma NBR 15.575 (ABNT, 2013) página 32. Nesta tabela, é mostrado que o tempo de vida útil das estruturas das edificações prediais deve ser igual ou superior a 50 anos e leva em consideração a norma NBR 8681 (ABNT, 2004), que fixa os requisitos exigíveis para a verificação da segurança das estruturas e estabelece critérios de resistências a serem considerados nos projetos. Ainda na tabela 7 da Figura 3.1, são citadas as normas NBR 5674 (ABNT, 2012) que define a periodicidade e processos para manutenção da edificação, e a NBR 14037 (ABNT, 2014) que preconiza as diretrizes para a elaboração do manual a ser entregue para o proprietário, com as informações sobre o uso, operação e manutenção da edificação.

ABNT NBR 15575-1:2013	
Tabela 7 – Vida útil de projeto (VUP)*	
Sistema	VUP mínima em anos
Estrutura	≥ 50 Conforme ABNT NBR 8681
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

* Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT NBR 5674 e especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à ABNT NBR 14037.

Figura 3.1 – Vida útil de projeto para estruturas.

Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Segundo AGUIAR (2014), alguns fatores são preponderantes para o aparecimento das patologias estruturais tais como:

- Problemas na execução do projeto, (projetos sem detalhamento adequado, com especificações equivocadas ou com falhas que possam levar a erro de interpretação por parte dos profissionais de campo);
- Problemas com materiais comprados fora da especificação do projeto ou com qualidade inferior ao especificado;
- Mão de obra não qualificada para a execução dos serviços dentro das técnicas necessárias;
- Fiscalização falha, ou inexistente, permitindo que os serviços ocorram fora da condição desejada e da boa técnica da construção civil;
- Falta de cobrimento adequado.

A Figura 3.2 mostra uma viga de concreto armado com a ferragem totalmente exposta e oxidada. Segundo Aguiar (2014), a oxidação aconteceu devido a falta de cobrimento adequado.



Figura 3.2 – Patologia devido ao cobrimento insuficiente em viga de concreto.

Fonte: AGUIAR, (2014).

3.2 Recuperação Estrutural: Conceitos e Métodos Executivos

Por recuperação entende-se fazer intervenções com a intenção de recuperar as propriedades para as quais a estrutura foi projetada. Já o reforço determina intervenções no sentido de aumento da capacidade da estrutura para atendimento a novas solicitações de uso (REIS, 1998). De maneira geral, podemos utilizar a palavra *reabilitação* que pode significar tanto recuperação, quanto reforço de uma estrutura de concreto (ALMEIDA, 2001). São vários os processos utilizados atualmente para reabilitação de estruturas de concreto, cada um com suas vantagens e limitações.

3.2.1 Reforço pelo método do aumento da seção transversal

Também conhecido como *encamisamento*, é o processo mais antigo e mais utilizado ainda hoje, segundo CAMARGOS (2013). Consiste no aumento da seção da peça incorporando uma ou mais camadas de armação e de concreto, para a recuperação e/ou aumento da capacidade de carga da estrutura, podendo assim ser utilizado tanto para a recuperação quanto para o reforço dessas estruturas.

CAMARGOS (2013) cita algumas vantagens e desvantagens do método de reforço com aumento da seção transversal da estrutura.

Vantagens:

- Não necessita de mão de obra especializada;
- Facilidade na aquisição dos materiais (fôrma, concreto e armação), próximo às obras;
- Permite a execução com a edificação em uso sem necessidade de demolição da estrutura existente.

Desvantagens:

- Perda de área livre devido ao aumento da seção das peças;
- Aumento considerável do peso da estrutura sendo um problema, principalmente, para estruturas elevadas;
- Consumo excessivo de materiais e mão de obra;
- Grande mobilização de equipamentos como fôrmas, escoramentos e equipamentos de transportes.

A Figura 3.3 mostra um profissional instalando a armação de encamisamento para o reforço de um pilar.



Figura 3.3 – Colocação da armação de reforço para o encamisamento do pilar.

Fonte: CAMARGOS, (2013).

A Figura 3.4 mostra três profissionais trabalhando na concretagem durante o reforço por encamisamento de outro pilar.



Figura 3.4 – Concretagem do encamisamento de outro pilar.

Fonte: CAMARGOS, (2013).

Dependendo do tipo de intervenção poderá ser necessário o escoramento da estrutura. A Figura 3.5 mostra um escoramento feito com dormentes de madeira para permitir os trabalhos necessários ao reforço dos pilares que aparecem no interior da estrutura de madeira.



Figura 3.5 – Exemplo de escoramento para reforço de pilares.
Fonte: CAMARGOS, (2013).

3.2.2 Reforço pelo método da Incorporação de chapas metálicas

Técnica muito utilizada que consiste na incorporação de chapas e perfis metálicos à estrutura por meio de fixação com resinas epoxídicas, parafusos ou chumbadores metálicos. Segundo SANTOS (2006), estudos apontam necessidade de cuidados especiais para se evitar o aparecimento de corrosões na interface chapa e resina, podendo comprometer a ligação chapa-resina-concreto.

Vantagens, segundo AGUIAR (2014):

- Facilidade executiva;
- Aumento irrelevante na seção das peças estruturais, não comprometendo o espaço da área a ser recuperada;
- Obra rápida e limpa, causando menor transtorno aos usuários;
- Permite utilização parcial da edificação durante a obra.

Desvantagens, segundo SANTOS (2006):

- Peso excessivo das chapas limitando a utilização para vãos maiores e o manuseio por parte da mão de obra;
- Incorporação de grande peso à estrutura em relação a outros métodos;
- Limitações decorrentes da temperatura;
- Necessidade de aplicação de proteção contra incêndio e corrosão;
- Dificuldade na detecção e localização de possíveis corrosões na ligação entre a chapa e o adesivo;
- Necessidade da criação de juntas de dilatação nas chapas devido às limitações do comprimento;
- Tendência de descolamento dos bordos da chapa devido à concentração de tensões.

A Figura 3.6 mostra detalhe esquemático da fixação de chapas metálicas por meio de adesivo epóxico, chumbadores químicos e ancoragem com parafusos passantes. A ancoragem consiste na passagem de parafuso e travamento com porca metálica nas duas extremidades da peça a ser reforçada.

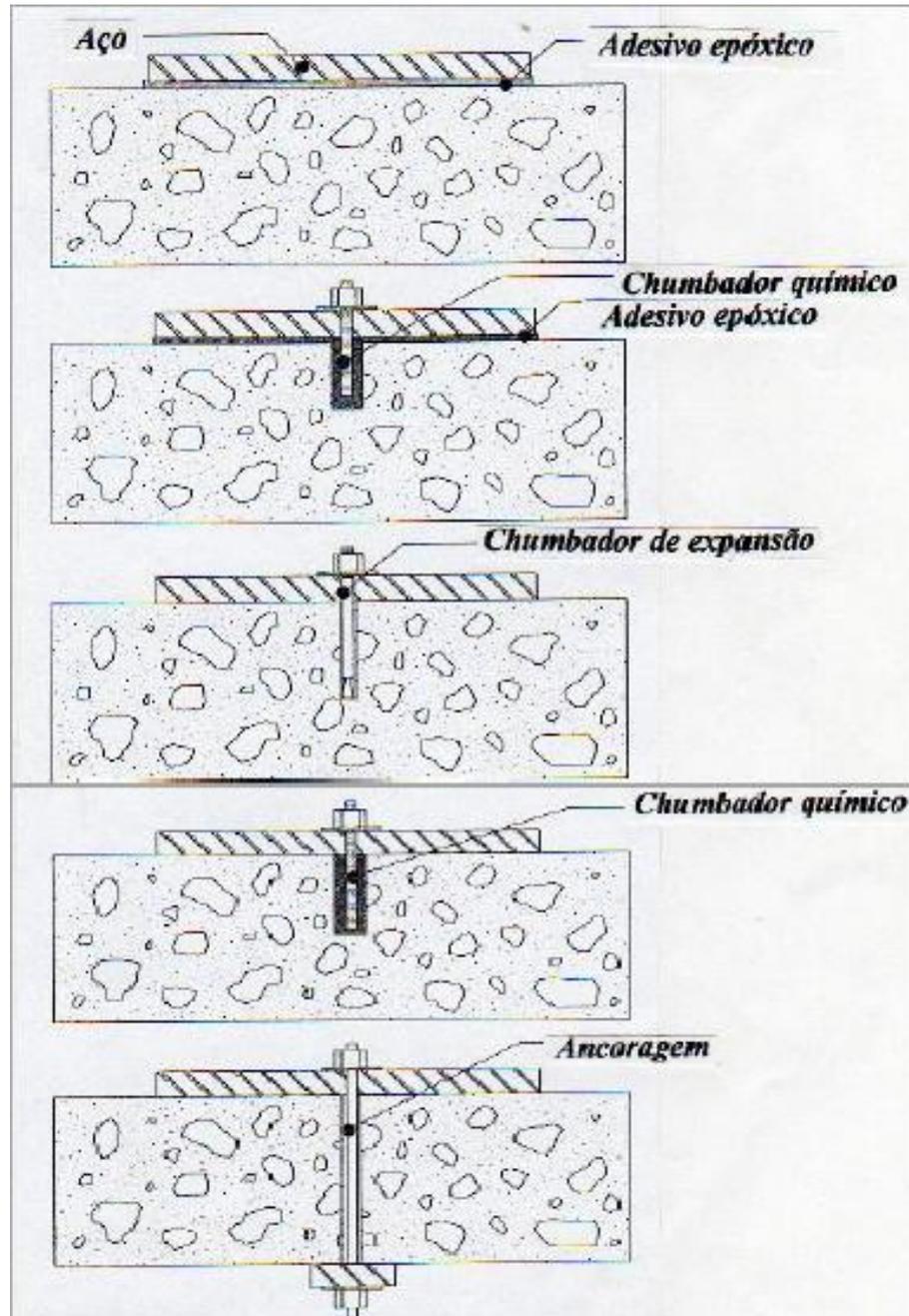


Figura 3.6 – Detalhe esquemático para fixação de chapa metálica.

Fonte: AGUIAR (2014)

A Figura 3.7 mostra a execução de reforço estrutural, utilizando o método da incorporação de chapa metálica em uma viga de concreto armado. Neste caso a solda elétrica foi utilizada nas cabeças dos parafusos e nas porcas metálicas, para enrijecimento total do sistema.



Figura 3.7 – Fixação de chapa metálica.

Fonte: AGUIAR (2014).

3.2.3 Reforço estrutural com fibra de carbono

Existem no mercado vários tipos de fibras sintéticas, que podem ser utilizadas para reforço de estruturas de concreto armado, com maior destaque para os compósitos de fibras de carbono, de aramida e de vidro. Materiais compósitos são aqueles constituídos por dois ou mais componentes que, neste caso, é a união da manta de fibra com uma resina aderente. Segundo ESCOBAR (2003), estes materiais surgiram na década de 1980. Já SANTOS (2006), informa que estes compósitos eram utilizados, com êxito na engenharia, desde a década de 1940.

Devido suas características, o compósito de fibra de carbono (CFC) ou (Carbon Fiber Reinforced Polymers - CFRP), tem sido o mais utilizado em reparos de vigas, pilares, lajes e outras estruturas de concreto armado. Segundo CAMARGOS (2013), a manta de fibra de carbono pode ser unidirecional (todas

as fibras alinhadas em uma única direção), ou bidirecional (fibras alinhadas perpendicularmente em duas direções). ALMEIDA (2001) informa que, apesar de as resinas epoxídicas serem as mais utilizadas, em caso de reforço confinado deve se usar resinas de poliuretano. Segundo SOUZA e RIPPER (1998), a quantidade de resina aplicada não deve ser mais nem menos que o necessário. Quanto maior a quantidade, menor a resistência do processo.

Os compósitos de carbono em matrizes de resina epoxídica apresentam, em comparação com o aço de construção, para uma mesma espessura, um quarto do peso e resistência à tração oito a dez vezes maior, para o mesmo módulo de elasticidade (SOUZA e RIPPER, 1998).

A Figura 3.8 mostra a representação esquemática de um composto estruturado com CFC, onde as fibras estão imersas em uma matriz de resina polimérica (MACHADO, 2006).

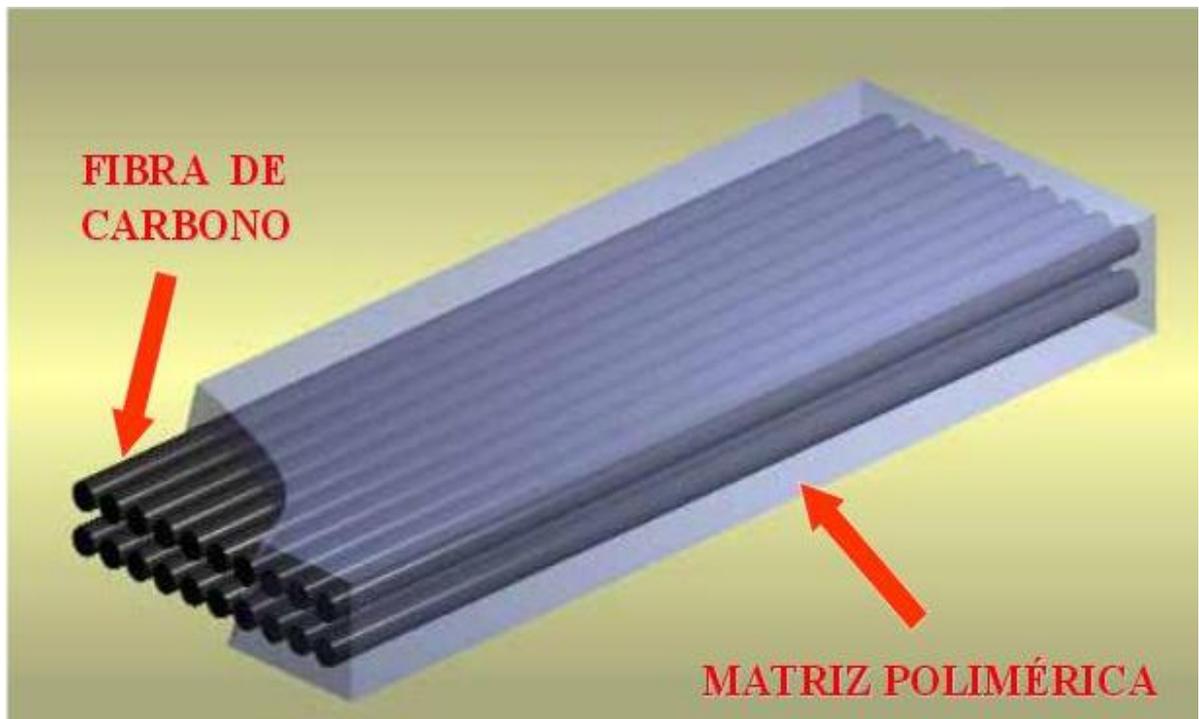


Figura 3.8 – Foto ilustrativa do composto de fibra de carbono.

Fonte: MACHADO (2006).

A literatura cita algumas vantagens e limitações da utilização do compósito de fibra de carbono como reforço estrutural.

Vantagens:

- Leveza e facilidade de manuseio;
- Grande resistência a ataques químicos;
- A manta de carbono resiste a temperaturas em torno de 1000°C;
- Execução do trabalho de forma limpa não necessitando de fôrmas e escoramentos;
- Baixo coeficiente de expansão térmica. Segundo ALMEIDA (2001), na fibra de carbono este coeficiente é 50 vezes menor que o do aço;
- Adaptação às diversas formas da peça a ser reforçada.

Limitações:

- Necessidade de proteção devido à vulnerabilidade a acidentes e ao vandalismo;
- Necessidade de proteção contra fogo e raios ultravioletas segundo SANTOS, (2006). Apesar da fibra de carbono suportar altas temperaturas as resinas suportam temperaturas da ordem de 60°C (AGUIAR, 2014);
- Dificuldade de aplicação em superfícies irregulares.

3.2.4 Concreto protendido. Breve histórico

Desde o surgimento do cimento Portland na Inglaterra em 1824, e com a posterior criação do compósito de concreto armado, vários profissionais iniciaram no mundo diversas tentativas da utilização de métodos para protensão de peças de concreto. Citado como um dos pioneiros, o engenheiro americano P. A. Jackson patenteou, em 1872, um sistema de travamento com hastes de ferro tensionadas, conforme descreve SCHMID (2008). Também Thaddeus Hyatt, Matthias Koenen e Mörsche fizeram várias tentativas, mas sem muito sucesso. Em 1928 o engenheiro francês, Eugène Freyssinet, apresentou o primeiro

trabalho consistente sobre protensão em estruturas de concreto.

Principalmente depois da 2ª grande Guerra Mundial, várias pontes foram construídas na Europa utilizando este novo método, com grandes vantagens como: estruturas mais esbeltas, alcance de vãos maiores, diminuição do consumo de materiais e agilidade no tempo de execução das obras.

Atualmente a protensão é utilizada, com sucesso, em quase todo tipo de estrutura de concreto tais como: pontes, vigas, lajes e até pisos de galpões industriais.

A Figura 3.9 mostra um piso de galpão industrial onde foi utilizada a protensão com cordoalhas engraxadas.



Figura 3.9 – Piso protendido em galpão industrial.

Fonte: próprio autor.

VITÓRIO e BARROS (2011) enumeram várias vantagens do concreto protendido, tais como: redução significativa da quantidade de aço e concreto (devido ao aumento do comprimento dos vãos resultando em menor número de pilares, e maior esbeltez das peças), diminuição do fissuramento e aplicação, durante a protensão, de tensões maiores que as solicitadas durante a vida útil da estrutura.

Ainda segundo esses autores o sistema também apresenta algumas desvantagens e cuidados a serem observados antes da opção pelo método como: exigência de maior controle executivo em relação ao sistema convencional, necessidade de equipamentos sofisticados, mão de obra especializada e cuidados contra a possível corrosão das cordoalhas que, por estarem tracionadas, correm maior risco de oxidação.

No Brasil algumas obras importantes foram executadas com o método do concreto protendido. Podemos citar, entre outras, a ponte Rio Niterói no estado do Rio de Janeiro, o museu do MASP em São Paulo, que segundo KIEFER,(1998), tem um dos maiores vãos livres do mundo (70m entre pilares), e o arrojado projeto arquitetônico do Mausoléu Castelo Branco em Fortaleza/CE com 30m de balanço protendido, segundo RUOSO, (2008).

A Figura 3.10 mostra a construção da ponte Rio-Niterói em 1973, evidenciando pilares e vãos com comprimentos suficientes para passagem de navios e embarcações de grande porte.



Figura 3.10 – Ponte Rio-Niterói.

Fonte: DANTAS, (1973) Acervo O Globo. Disponível em:

<<http://acervo.oglobo.globo.com/fotogalerias/ponte-liga-rio-niteroi-9358171>>.

Acesso em: 17 set. 2015.

A Figura 3.11 mostra o imponente edifício que abriga o Museu de Arte de São Paulo (MASP). Na época de sua inauguração em 1968 contava com o maior vão livre do mundo (70 metros entre pilares) em concreto protendido (KIEFER,1998).



Figura 3.11 – Museu do MASP em São Paulo.

Fonte: Site sampaonline.com.br. Disponível em:

<<http://www.sampaonline.com.br/postais/masp2005jan09.htm>>. Acesso em: 17 set. 2015.

A Figura 3.12 mostra o projeto arrojado do arquiteto Sérgio Bernardes. Inaugurada em 1972, o Mausoléu Castelo Branco em Fortaleza tem 30 metros de balanço protendido, conforme informado por RUOSO, (2008).



Figura 3.12 – Mausoléu Castelo Branco em Fortaleza/CE.

Fonte: Disponível em:

<<http://pontoshpontoshistoricosdefortalezacea.blogspot.com.br/2010/03/mausoleu-castelo-branco.html>>. Acesso em: 17 set. 2015.

Nova sede do governo de Minas Gerais.

Obra recente, e também muito importante, foi a construção da nova Sede Administrativa do Governo do Estado de Minas Gerais. Segundo a Revista Técnica (janeiro/2010), o projeto de Oscar Niemeyer contém uma caixa suspensa com o maior vão livre flutuante em concreto protendido do mundo (147,50 m).

A Figura 3.13 mostra o prédio ainda em construção, evidenciando detalhes da caixa suspensa por tirantes metálicos protendidos com largura de 17,20 m e comprimento de 147,50 m, segundo a revista Técnica (janeiro, 2010).



Figura 3.13 – Nova Sede Administrativa do Governo de Minas Gerais.

Fonte: revista Técnica (janeiro/2010). Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/154/caixa-suspensa-palacio-projetado-por-niemeyer-apresenta-o-maior-vao-286670-1.aspx>>.

Acesso em: 17 set. 2015.

3.2.5 Reforço estrutural pelo método da protensão externa.

Muito utilizado na década de 1950, este método é uma excelente alternativa para o reforço de estruturas de concreto armado. A necessidade do aumento da carga de estruturas antigas, aumento na largura do tabuleiro de pontes para adequação a novos gabaritos, reabilitação de silos e tanques, fazem com que essa técnica seja cada vez mais utilizada hoje em dia, com grande competitividade em relação aos sistemas convencionais existentes.

O método consiste na incorporação de cordoalhas externas à estrutura, longitudinal ou transversalmente, utilizando desviadores metálicos de forma a reestabelecer as condições originais ou reforçando a mesma para suportar cargas superiores às projetadas.

A Figura 3.14 mostra detalhe esquemático do reforço de protensão externa de uma viga fissurada de concreto armado. As cordoalhas são passadas através de desviadores e tensionadas comprimindo o concreto e eliminando o fissuramento.

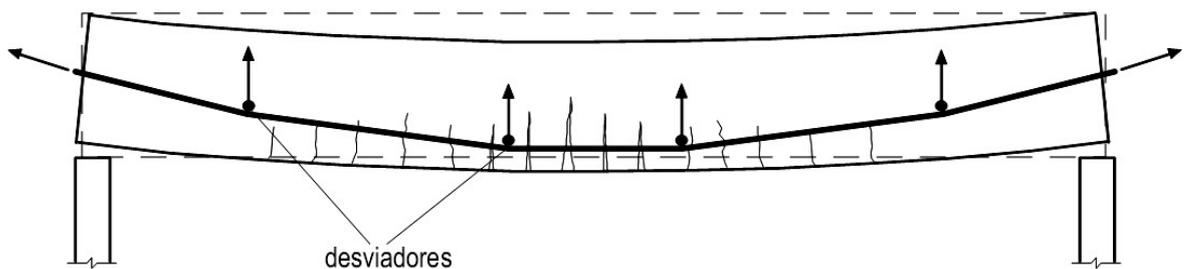


Figura 3.14 – Detalhe de uma viga protendida externamente.

Fonte: VERÍSSIMO e CÉSAR JÚNIOR, (1998).

Segundo VITÓRIO e BARROS (2011), o método também pode ser aplicado às fundações, principalmente em situações em que novas estacas são cravadas, tornando necessário a criação de bloco de coroamento para solidarização destas novas estacas ao bloco existente, e assim garantir uma solidarização do sistema que seria difícil ser conseguida com os métodos tradicionais.

A aplicação da protensão externa reduz as deformações da estrutura existente e aumenta sua capacidade portante com algumas vantagens e desvantagens, conforme CAMARGOS, (2013):

Vantagens:

- Relativa simplicidade do método construtivo;
- Ausência de problemas com o cobrimento dos cabos;
- Possibilidade de inspeção visual e eventual troca dos cabos durante a vida útil da estrutura;
- Possibilidade, na maioria dos casos, da execução da reabilitação com a estrutura em uso;
- Pouca ou nenhuma necessidade de demolições durante a obra;
- As perdas por atrito dos cabos externos são menores que as dos internos.

A Figura 3.15 mostra os cabos e desviadores de uma ponte em concreto armado, reforçada pelo método da protensão externa. Facilidade de inspeção visual para possível manutenção do sistema protendido.



Figura 3.15 – Facilidade de inspeção visual do sistema protendido externamente.

Fonte: VITÓRIO e BARROS (2011).

Desvantagens:

- Necessidade de análise criteriosa, por parte do projetista, em função de fatores diversos como: possível falta de qualidade do concreto (normalmente antigo), para suportar as tensões necessárias. Se as novas tensões não forem calculadas de forma adequada, poderá ocorrer a ruptura da peça protendida.
- Vulnerabilidade a atos de vandalismo, ação do fogo e corrosão eletroquímica, demandando necessidade de proteção do sistema;
- Necessidade de mão de obra altamente qualificada para os serviços.

A proteção de um sistema de protensão externa normalmente é feita com o encapsulamento dos cabos com argamassa, revestimento com concreto convencional ou projetado, CAMARGOS (2013).

A Figura 3.16 mostra a proteção inadequada feita em tanque protendido. As cordoalhas foram protegidas somente com o encapsulamento feito com bainhas metálicas. Com o tempo, e devido à agressividade do ambiente, essas bainhas sofreram oxidação e perderam a eficácia da proteção, expondo as cordoalhas aos riscos do ambiente agressivo.



Figura 3.16 – Protensão externa de tanque industrial.

Fonte: próprio autor.

VITORIO e BARROS (2012), fizeram estudo comparativo entre o método de reforço convencional e o da protensão externa para o alargamento e reforço de uma ponte cuja extensão era de 35,80m e largura do tabuleiro igual à 10m. Considerando a largura do novo tabuleiro igual a 12,80m foram feitas três simulações: para o comprimento de 30m com vão de 20m, para o comprimento de 35,80m com vão de 23,40m e para o comprimento de 40m com vão de 25m.

A Figura 3.17 mostra a ponte situada na BR 316 no estado do Piauí, utilizada como referência nos estudos de VITORIO e BARROS, (2012).



Figura 3.17 – Foto da ponte de referência (BR 316/PI).

Fonte: fonte VITÓRIO e BARROS, (2012).

A Figura 3.18 mostra o corte longitudinal de projeto da ponte de referência.

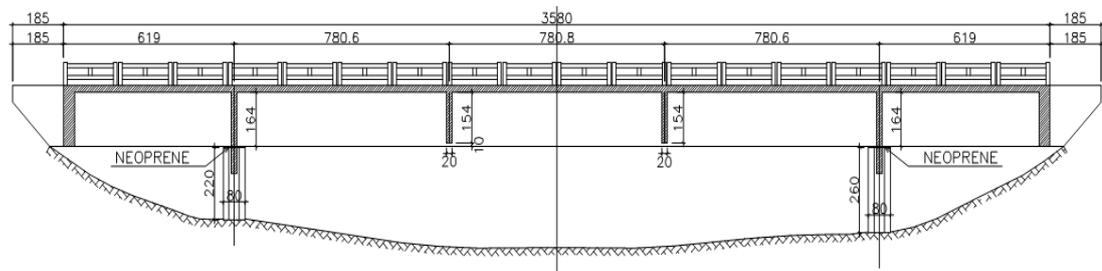


Figura 3.18 – Corte longitudinal na ponte de referência.

Fonte: fonte VITÓRIO e BARROS, (2012).

VITORIO e BARROS, (2012) concluíram que:

- Para a ponte com extensão de 30m o sistema convencional ficou 13% mais econômico que o protendido;
- Para ponte de 35,80m o sistema convencional ficou 2% mais econômico;
- Para a ponte de 40m o sistema de protensão externa ficou 4% mais econômico em relação ao sistema convencional.

Esses estudos mostraram que, quanto maior o vão da ponte, mais econômico fica fazer o reforço com a protensão externa.

3.2.6 Protensão em pontes de madeira

Outra alternativa interessante é a técnica de protensão transversal em pontes laminadas de madeira, principalmente para rodovias rurais ou secundárias onde as pontes são de pequeno e médio portes.

Surgida no Canadá em meados da década de 1970 (FONTE e CALIL JÚNIOR, 2006), esta técnica pode ser utilizada, tanto para recuperação e reforço de pontes antigas quanto para execução de novas pontes, com grande competitividade de custo e técnica em relação a outros sistemas executivos existentes. Grande quantidade de pontes de pequeno e médio portes feitas de

concreto ou de madeira, são danificadas ou levadas pelas enchentes todos os anos, causando enormes prejuízos aos órgãos públicos municipais, estaduais e federal. Segundo FONTE e CALIL JÚNIOR (2004), o custo médio dos materiais para a execução de uma ponte laminada de madeira protendida transversalmente, é cerca de um quinto do custo dos materiais necessários para a execução de uma ponte equivalente em concreto armado.

Ainda segundo esses autores, algumas vantagens como: baixo peso da estrutura (cerca de 0,3 m³/m² de ponte construída), facilidade do processo de protensão, curto prazo executivo em relação a outros processos, utilização de madeira de reflorestamento e a possibilidade da pré-montagem em outro local, viabilizam a utilização dessa técnica com grande economia e praticidade. Devidamente tratada e preparada, juntamente com a eficiência e conhecimento dos profissionais técnicos envolvidos, a estrutura de madeira terá longa vida útil e preservação de suas propriedades para desempenho dos serviços a que foi destinada.

Segundo FONTE e CALIL JÚNIOR (2004), estas conclusões foram tiradas da análise de custos e monitoramento da construção de um protótipo, em escala real, na cidade de São Carlos/SP. Segundo os autores, esta foi a primeira ponte da América Latina a utilizar este sistema.

Na Figura 3.19 é mostrado o desenho esquemático da estrutura da ponte protendida de madeira.



Figura 3.19 – Desenho esquemático de ponte de madeira laminada protendida.

Fonte: FONTE e CALIL JÚNIOR, (2006).

Segundo FONTE e CALIL JÚNIOR (2004), o protótipo foi montado, protendido em laboratório e analisado durante 5 meses para verificações preliminares de perda de protensão, antes de ser transportado para o local da instalação.

A Figura 3.20 mostra detalhes da construção e protensão da ponte de madeira. A montagem consistiu em introduzir lâminas de madeira em um gabarito executado com as barras de protensão, realizando-se os ajustes necessários.



Figura. 3.20 – Construção e protensão da ponte.

Fonte: FONTE e CALIL JÚNIOR, (2006)

A Figura 3.21 mostra o içamento e lançamento do tabuleiro da ponte de madeira no local definitivo.



Figura 3.21 – Lançamento do tabuleiro da ponte de madeira.

Fonte: FONTE e CALIL JÚNIOR, (2006).

Segundo FONTE e CALIL JÚNIOR (2004), foram feitas provas de carga em várias fases da montagem da ponte, para avaliação do comportamento do tabuleiro e verificação de possíveis deslocamentos no centro do vão. As provas de carga consistiam na colocação de caminhão carregado, com peso conhecido, no meio do vão da ponte. Foram feitas várias provas de carga sendo uma logo após a instalação do tabuleiro, outra após a instalação dos guarda-rodas, outra após a instalação das defensas e outra seis meses após a ponte estar concluída e em uso. A conclusão que chegaram é que o comportamento da ponte ficou muito próximo do projetado.

A Figura 3.22 mostra o posicionamento do caminhão sobre a ponte durante execução da primeira prova de carga feita logo após a montagem do tabuleiro.



Figura 3.22 – Prova de carga da ponte de madeira.

Fonte: FONTE e CALIL JÚNIOR, (2006).

Concluída a montagem do tabuleiro foi aplicada uma manta geotêxtil, uma camada de concreto asfáltico como cobertura final e pintura penetrante à base de *stain* em toda a madeira exposta, para maior longevidade da estrutura da ponte, FONTE e CALIL JÚNIOR, (2006).

A Figura 3.23 mostra a ponte concluída e em utilização, com suas defensas, guarda-rodas e passarela lateral para pedestres.



Figura 3.23 – Ponte concluída e em uso.
Fonte: FONTE e CALIL JÚNIOR (2006).

4. ESTUDO DE CASOS

4.1 Problemas de acessibilidade em garagens de edifícios.

Um edifício comercial situado no centro de Belo Horizonte foi projetado para conter três níveis de garagens. Quando de sua entrada em operação, verificou-se grande dificuldade na utilização das garagens por parte dos usuários, devido as

áreas de acesso e circulação de veículos terem sido construídas com dimensões inadequadas, rampas com raio de circunferência insuficiente e alguns pilares salientes ao longo do trajeto.

A Figura 4.1 mostra a dificuldade de manobra do veículo na rampa de acesso e a existência de pilares salientes ao longo do percurso.

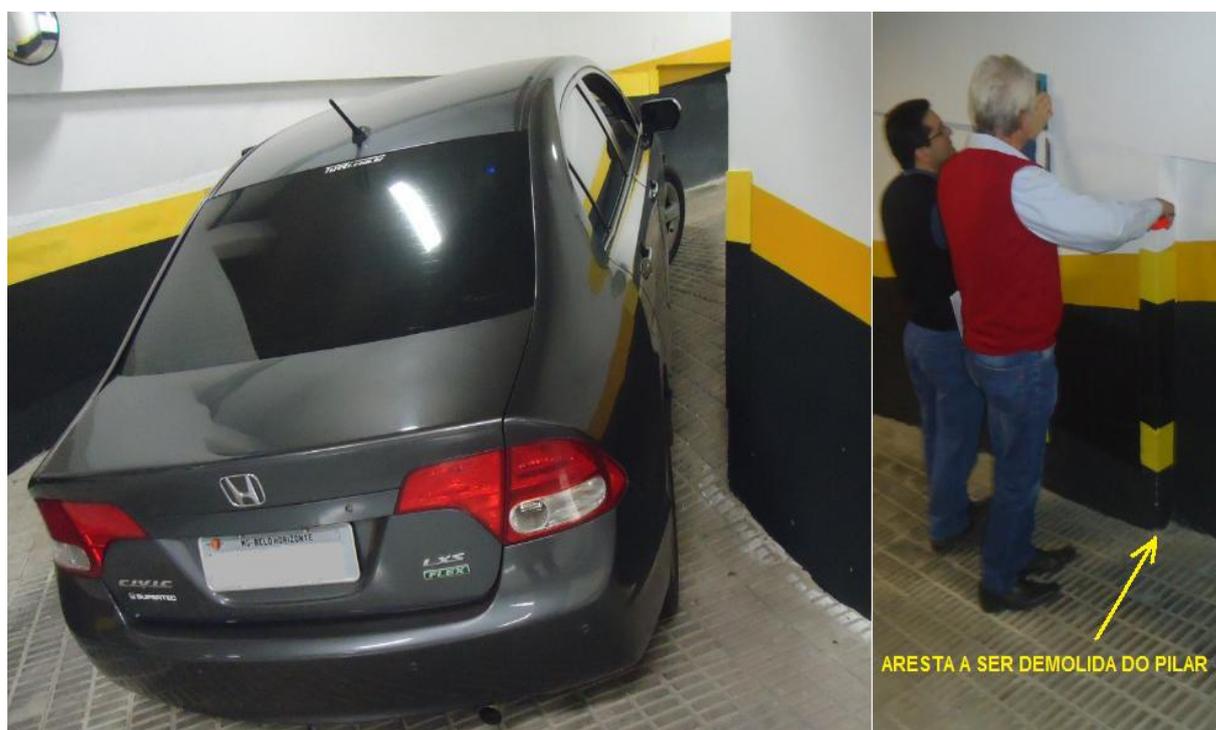


Figura 4.1 – Acessibilidade difícil. Necessidade da retirada de parte do pilar.

Fonte: próprio autor.

4.1.1 Melhoria da acessibilidade

Foi elaborado um estudo para a melhoria da acessibilidade de veículos ao condomínio, e uma empresa foi contratada para a elaboração do projeto estrutural das intervenções necessárias. Em alguns pilares foi necessária a demolição de parte da seção e, neste caso, foi utilizado o método do reforço com chapa metálica para compensação da parte suprimida.

A Figura 4.2 mostra detalhe esquemático do projeto elaborado, detalhando a fixação e características da chapa metálica utilizada para o reforço dos pilares.

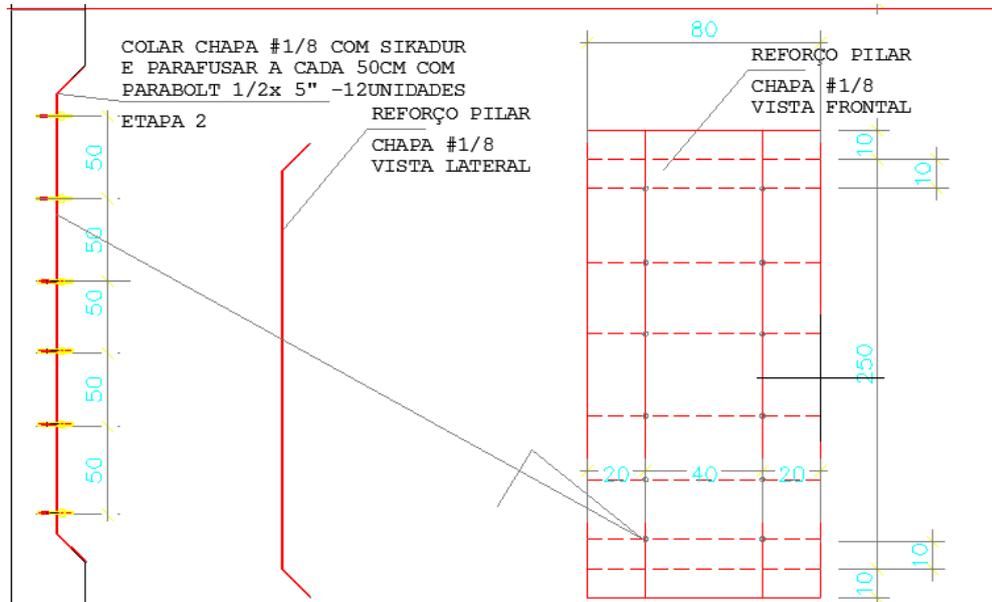


Figura 4.2 – Detalhe esquemático para reforço de pilar com chapa metálica.

Fonte: empresa projetista.

A Figura 4.3 mostra pilar saliente dificultando a manobra e acesso dos veículos durante a entrada na garagem do prédio.



Figura 4.3 – Aresta a ser suprimida conforme detalhado na Figura 4.2.

Fonte: próprio autor.

A Figura 4.4 mostra o pilar com parte da seção demolida e preparada para recebimento da argamassa de regularização. A argamassa a ser utilizada deve apresentar resistência à compressão igual ou superior à do concreto existente.



Figura 4.4 – Demolição de parte da seção do pilar.

Fonte: próprio autor.

A Figura 4.5 mostra o pilar com a superfície regularizada e preparada para recebimento da chapa metálica de reforço.



Figura 4.5 – Preparação e regularização da superfície do pilar.

Fonte: próprio autor.

A Figura 4.6 mostra a chapa metálica instalada para o reforço do pilar que teve parte da seção suprimida. A chapa foi adesivada com resina epoxídica e fixada com parabolts, conforme detalhado na Figura 4.2.



Figura 4.6 – Instalação da chapa metálica no pilar.

Fonte: próprio autor.

Após a conclusão das intervenções, houve melhora considerável na acessibilidade das garagens do edifício. A utilização do método de reforço com a incorporação de chapas metálicas permitiu que os trabalhos fossem feitos com as garagens em utilização, causando níveis aceitáveis de transtornos aos usuários.

4.2 Protensão de Passarela em Rua de Belo Horizonte

Passarela antiga situada em Belo Horizonte, teve parte de sua estrutura demolida e ampliada com estrutura metálica, para atender às obras de alargamento da avenida onde está localizada. A parte que permaneceu em estrutura de concreto armado foi reforçada com a utilização do método da protensão externa. Os cabos de protensão foram posicionados e passados por desviadores metálicos instalados na plataforma da passarela (CAMARGOS, 2013).

A Figura 4.7 mostra a passarela depois da conclusão das obras. A parte antiga permaneceu com estrutura de concreto armado e a parte nova foi executada com estrutura metálica.



Figura 4.7 – Passarela em rua de Belo Horizonte: parte em concreto armado, parte em estrutura metálica.

Fonte: próprio autor.

A Figura 4.8 mostra os cabos protendidos e os desviadores metálicos da passarela reforçada pelo método da protensão externa.

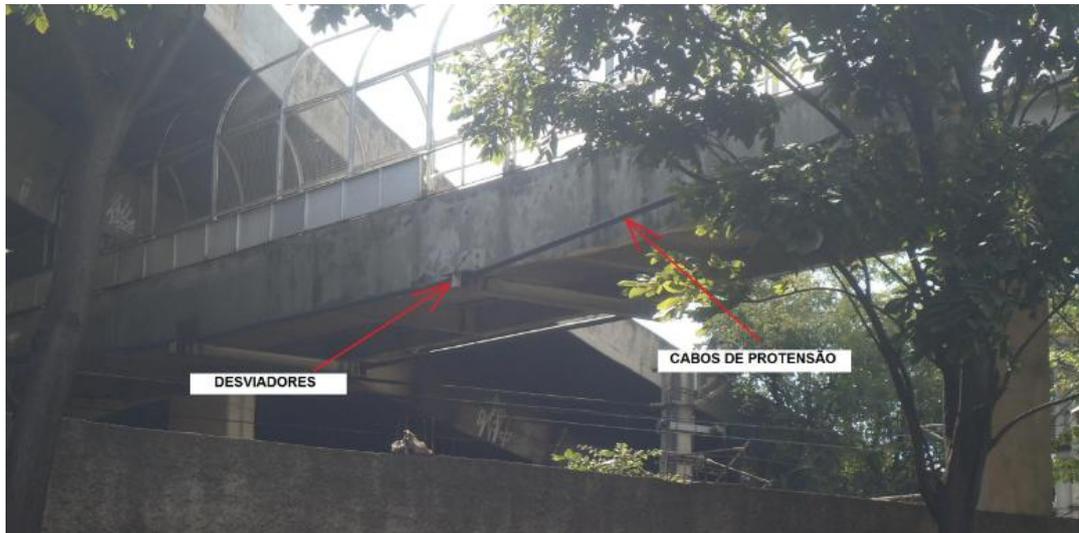


Figura 4.8 – Passarela protendida em utilização.

Fonte: próprio autor.

A passarela reforçada vem sendo utilizada por grande fluxo populacional, desde sua reinauguração em 2009.

4.3 Protensão Externa. Cobertura Adicional do Mineirão

As obras de reforma e revitalização do Estádio Governador Magalhães Pinto (Mineirão), localizado em Belo Horizonte/MG, foram feitas visando adequação do estádio para atendimento às normas da FIFA, por ocasião da disputa das Copas das Confederações em 2013 e Copa do Mundo de 2014. Uma das obras executadas foi a extensão da cobertura interna do estádio passando de 29m para 55m, conforme ARAÚJO, GUERRA, LIRA e REZENDE (2012). Ainda segundo esses autores, o prolongamento foi feito com estrutura metálica composta de treliças planas fixadas nas vigas de concreto armado existentes e contraventadas por perfis tubulares circulares. Sobre a estrutura metálica foi colocada uma cobertura de membrana composta por fibra de vidro e politetrafluoretileno auto limpante na cor branca.

A Figura 4.9 mostra uma perspectiva artística do estádio, destacando sua arquitetura original e a cobertura estendida feita com solução integrada aço, concreto e membrana composta.



Figura 4.9 – Perspectiva artística do Estádio do Mineirão.
Fonte: ARAÚJO, GUERRA, LIRA e REZENDE, (2012).

4.3.1 Protensão externa da cobertura existente.

A estrutura da cobertura existente em concreto armado teve que ser reforçada para incorporar a nova cobertura e os respectivos carregamentos adicionais, mantendo os coeficientes de segurança sempre acima dos valores normativos.

Para atingir este objetivo primeiramente foi aplicada protensão nas vigas de concreto invertidas, usando cordoalhas engraxadas, reduzindo-se os esforços em 10%, além de comprimir o balanço existente. Um alívio de esforços adicional de 27% foi implementado com o macaqueamento da estrutura em balanço. (ARAÚJO, GUERRA, LIRA e REZENDE, 2012).

A estrutura da cobertura original é composta por 88 vigas invertidas de concreto armado em balanço, apoiadas nos pilares externos formando 88 pórticos. Segundo ARAÚJO, GUERRA, LIRA e REZENDE (2012), a protensão de reforço foi feita com cinco cordoalhas em cada face das 88 vigas. Foram utilizadas cordoalhas engraxadas, galvanizadas, diâmetro 15.7mm em aço CP-177-RB para estais Belgo Bekaert, protegidas por revestimento plástico de alta densidade. A tensão foi aplicada da ponta do balanço para a extremidade oposta.

A Figura 4.10 mostra detalhe esquemático da viga invertida com as ancoragens das cordoalhas, e detalhe do macaqueamento feito para alívio da estrutura durante a protensão.

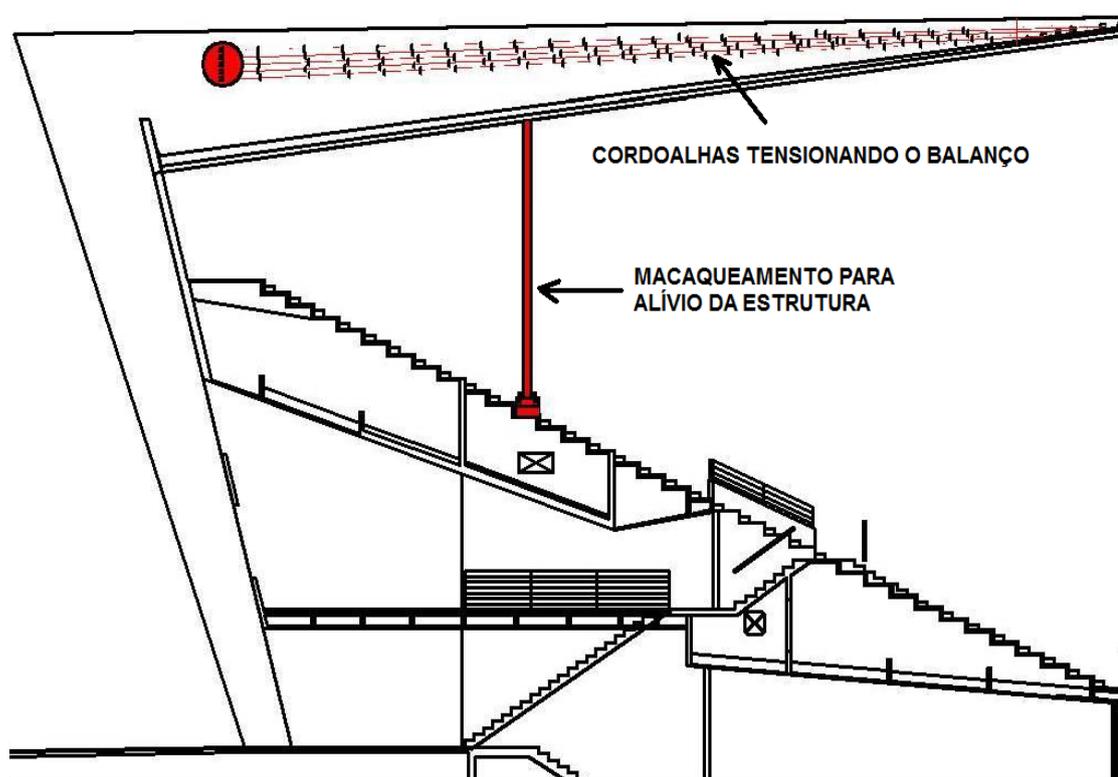


Figura 4.10 – Mineirão. Macaqueamento e protensão das vigas invertidas.

Fonte: ARAÚJO, GUERRA, LIRA e REZENDE, (2012).

A Figura 4.11 mostra as cordoalhas posicionadas e protendidas, e detalhe das placas das ancoragens ativas dos pórticos (face externa do Estádio).



Figura 4.11 – Ancoragens ativas das vigas invertidas.
Fonte: ARAÚJO, GUERRA, LIRA e REZENDE, (2012).

A Figura 4.12 mostra detalhes das placas das ancoragens passivas posicionadas na ponta da viga invertida em balanço.



Figura 4.12 – Ancoragens passivas das vigas invertidas.
Fonte: ARAÚJO, GUERRA, LIRA e REZENDE, (2012).

A solução inovadora de engenharia (integração aço-concreto), permitiu a ampliação da cobertura em 26m possibilitando a realização de outros trabalhos simultaneamente, viabilizando o cumprimento do cronograma solicitado para a obra na época (ARAÚJO, GUERRA, LIRA e REZENDE, 2012).

5. CONCLUSÕES

Conhecer os motivos e erros que levam ao aparecimento dos diversos tipos de patologias nas estruturas de concreto armado, bem como os processos adequados para recuperação e reforço dessas estruturas é de fundamental importância para a qualidade e prolongamento da vida útil das edificações prediais, comerciais ou industriais.

Utilizando bibliografia reconhecida pelos meios acadêmicos, este trabalho discorreu sobre alguns erros e falhas nos processos da construção civil tais como: erros na fase de projeto, falhas na compra e/ou na escolha dos materiais, falhas na fase de execução, falta de manutenção pós entrega e mau uso da edificação. A escolha correta do processo é fundamental para o sucesso das operações de recuperação e reforço das estruturas de concreto armado. Para ajuda na escolha foram apontadas vantagens e limitações de alguns métodos de recuperação estrutural, tais como: recuperação com aumento de seção, utilização de manta de fibra de carbono, incorporação de chapas metálicas e protensão externa.

Tema central deste trabalho, o método de reforço/recuperação utilizando a protensão externa foi bem explorado. Foram mostrados casos de utilização do método e principais vantagens como facilidade de execução, possibilidade de intervenção com a edificação em uso, pouca ou nenhuma necessidade de demolições e prazos executivos geralmente menores que em outros processos.

A protensão em pontes de madeira também foi citada como alternativa interessante para o reforço, substituição ou construção de novas pontes, principalmente em rodovias rurais e/ou secundárias onde estas são de pequeno e médio portes, com grande ganho econômico e no prazo da execução em relação aos processos convencionais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, J. E. *Patologia e Durabilidade das Estruturas de Concreto*. Notas de aula (especialização em construção civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte: 2014.

ALMEIDA, T. G. M. *Reforço de vigas de concreto armado por meio de cabos externos protendidos*. Dissertação (mestrado em engenharia de estruturas) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos: 2001. 201 p.

ARAÚJO, A. H. M(A); GUERRA, E. O.(B); LIRA, A. F.(C); REZENDE, A. S. *Cobertura Mineirão – Solução Integrada Concreto-Aço*. 2012. Disponível em: <http://www.abcem.org.br/construmetal/2012/arquivos/Cont-tecnicas/27-Construmetal2012-cobertura-mineirao-solucao-integrada-concreto-aco.pdf>.

Acesso em: 28 set. 2015, 13:40.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674: Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003 Versão Corrigida: 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14037. Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações – Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-2: Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

CAMARGOS, U. A. Patologia nas obras civis (palestra sobre reforço estrutural) - Instituto IDD, Belo Horizonte: 2013.

ESCOBAR, C. J. *Avaliação do Desempenho Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Lâminas de CFRP Tensionadas*. Dissertação (mestrado em construção civil) - Universidade Federal do Paraná, setor de Engenharia Civil, Curitiba/PR: 2003. 206 p.

FONTE, R. F., CALIL JÚNIOR, C. Pontes Protendidas de Madeira: Alternativa Técnico-Econômica Para Vias Rurais. *Resumo apresentado no XXXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*. São Pedro/SP, 8p. Agosto / 2004

FONTE, R. F., CALIL JÚNIOR, C. Desempenho Estrutural de Ponte Protendida Transversalmente de Eucalipto Citriodora. *Cadernos de Engenharia de Estruturas*, São Carlos/SP, v. 8, n. 33, p. 149-178, 2006.

GRANDISKI, P. Prazos para reclamar e falhas construtivas, nas relações de consumo, e as novas disposições das Normas de Desempenho. PINI, Março/2014. Disponível em <[http://blogs.pini.com.br/posts/normas-tecnicas-pericias/\[14\]-prazos-para-reclamar-e-falhas-construtivas-nas-relacoes-de-308701-1.aspx](http://blogs.pini.com.br/posts/normas-tecnicas-pericias/[14]-prazos-para-reclamar-e-falhas-construtivas-nas-relacoes-de-308701-1.aspx)>. Acesso em: 15 set. 2015, 13:40.

ISAIA, G. C. *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. São Paulo: Editora Ibracon, 2005. V1 e 2. 1574p.

KIEFER, F. *MAM Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro, MASP Museu de Arte de São Paulo: paradigmas brasileiros na arquitetura de museus*. Dissertação (mestrado em arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Arquitetura, Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura. Porto Alegre/RS: 1998. 99 p. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/1313>>. Acesso em: 28 setembro 2015.

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

MASON, J. *Concreto Armado e Protendido*. Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1975. 203p.

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) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos: 1998. 239 p.

REVISTA TÉCNICA. Obras. *Caixa suspensa. Palácio projetado por Niemeyer apresenta o maior vão livre flutuante do mundo em concreto protendido*. São Paulo, n. 154, jan/2010, Editora Pini. Disponível em:

<<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/154/artigo286670-4.aspx>>. Acesso em: 28 setembro 2015.

RUOSO, C. *Museu Histórico e Antropológico do Ceará (1971 - 1990). Uma história do trabalho com a linguagem poética das coisas: objetos, diálogos e sonhos nos jogos de uma arena política*. Dissertação (apresentada ao Programa de Pós Graduação em História do Norte e Nordeste, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em História) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Departamento de História Programa de Pós-Graduação. Recife: 2008. 140 p. Disponível em: <http://repositorio.ufpe.br/bitstream/handle/123456789/7263/arquivo3308_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 28 setembro 2015.

SANTOS, E. W. F. *Reforço de vigas de concreto armado à flexão por Encamisamento parcial*. Dissertação (pós-graduação para obtenção do grau de mestre em ciências em engenharia civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro: 2006. 168 p.

SCHMID, M. R. L. Um pouco da história do uso do aço no concreto protendido no Brasil e no mundo. *Revista Concreto & Construções*. Nº. 50, p. 50-55 6p. junho/2008. Editora IBRACON. Disponível em:

<http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_50.pdf>. Acesso em: 28 setembro 2015.

SOUZA, V. C. M; RIPPER, T. *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. São Paulo: Editora PINI, 1998.

VERÍSSIMO, G. S., CÉSAR JÚNIOR, K. M. L. *Concreto Protendido: Fundamentos Básicos*. Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Engenharia Civil. 4ª Edição. 78p. Novembro / 1998.

Disponível em:

<https://scholar.google.com.br/scholar?start=10&q=verissimo+%26+j%C3%BAnio+r+1998-+concreto+protendido+fundamentos+b%C3%A1sicos&hl=pt-BR&as_sdt=0,5>. Acesso em: 28 setembro 2015.

VITÓRIO, J. A. P., BARROS, R. C. Reforço e Alargamento de Pontes Rodoviárias com a Utilização de Protensão Externa. *7º Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas*. Fortaleza, 14p. Junho / 2011.