

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

VINÍCIUS DANCIGER VALLIN DE MAGALHÃES

**ANÁLISE SELETIVA E COMPARATIVA DA EXECUÇÃO DE  
PROTENSÃO NÃO ADERENTE EM VIGAS FAIXAS EM UM EDIFÍCIO  
DE CAMPO MOURÃO-PR**

(PROJETO)  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO  
2013

VINICIUS DANCIGER VALLIN DE MAGALHAES

**ANÁLISE SELETIVA E COMPARATIVA DA EXECUÇÃO DE  
PROTENSÃO NÃO ADERENTE EM VIGAS FAIXAS EM UM EDIFÍCIO  
DE CAMPO MOURÃO-PR**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 1, do Curso Superior em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, para aprovação de viabilidade.

Orientador (a): Prof. MSc. Douglas Fukunaga Surco.

CAMPO MOURÃO

2013



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Coordenação de Engenharia Civil



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### Trabalho de Conclusão de Curso Nº 30

### ANÁLISE SELETIVA E COMPARATIVA DA EXECUÇÃO DE PROTENSÃO NÃO ADERENTE EM VIGAS FAIXAS EM UM EDIFÍCIO DE CAMPO MOURÃO-PR

Por

**Vinícius Danciger Vallin de Magalhães.**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 10h do dia 04 de setembro de 2013 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

**Prof. Msc Luiz Becher**  
(UTFPR)

---

**Prof. Msc Roberto Widorski**  
(UTFPR)

---

**Prof. Msc Douglas Fukunaga Surco**  
(UTFPR)  
**Orientador**

Responsável pelo TCC: **Prof. Msc. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

**Profº Dr. Marcelo Guelbert**

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.*

Dedico este trabalho ao meu Deus, à  
minha família e a minha noiva, e agradeço  
a paciência pelos momentos de ausência.

## **AGRADECIMENTOS**

É evidente que estes parágrafos não irão constar todos que de alguma forma fizeram parte dessa importante fase da minha vida. Portanto, peço desculpas e sou extremamente grato aos que fizeram parte e não estão presentes entre essas palavras.

Em primeiro lugar agradeço a Deus pelo apoio e por sempre ter mantido a minha esperança e perseverança. Depois, sou grato a minha família que sempre me deu os melhores conselhos nos meus momentos de dificuldade. Também sou grato aos meus amigos de sala que ajudaram a construir essa parte da minha história.

Sou grato ao meu orientador Prof. MSc. Douglas Fukunaga Surco, pela sabedoria com que me guiou nessa trajetória.

Por fim sou grato à minha noiva por me apoiar no desenvolvimento dessa pesquisa.

## RESUMO

MAGALHÃES, Vinícius Danciger Vallin de. **Análise seletiva e comparativa da execução de protensão não aderente em vigas faixas em um edifício de Campo Mourão – PR. 2013.** 59 p. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

Esta pesquisa apresenta uma análise seletiva e comparativa do processo executivo do sistema de pós-tensão, através do estudo de uma laje protendida em uma obra no município de Campo Mourão - PR. Os dados apresentados são referentes à pesquisa bibliográfica e de campo. Discute-se ainda a relevância da protensão em obras, os modelos utilizados e as características dos materiais empregados na execução da protensão sem aderência. O estudo selecionou as práticas e técnicas cabíveis e o “Manual para boa execução de estruturas protendidas usando cordoalhas de aço engraxadas e plastificadas”(2002) para análise seletiva e comparativa através do acompanhamento da execução de uma laje protendida. Foi elaborado um quadro comparativo para facilitar a compreensão e comparação do teórico com o praticado. Como resultado final foram feitas sugestões que possam ser somadas ao método executivo de protensão.

**Palavras-chave:** Protensão, execução, análise comparativa.

## ABSTRACT

MAGALHÃES, Vinícius Danciger Vallin de. **Selective and comparative analysis of prestressed beams nonadherent tracks in a building of Campo Mourão - PR. 2013.** 59 p. Monograph of Course Completion (Graduation) – Civil Engineering, Federal Technological of Paraná, Campo Mourão, 2013.

This research presents a selective and comparative analysis to enforcement proceedings to systems pos-tension, by study to a slab prestressed in city Campo Mourão - PR. The data presented are for to related and to camp. It also discusses the relevance of prestressing works on the models used and the characteristics of the materials used in the execution of prestressing without grip. The study selected practices and techniques and reasonable" Manual for proper execution of prestressed structures using steel ropes greased and plastificas" (2002) for comparative analysis by monitoring the execution of a prestressed slab. Has drawn up a comparative table to facilitate understanding and comparison of the theoretical with the practiced. As a final result suggestions were made that could be added to the method of prestressing executive.

**Keywords:** Prestressing. Execution. Comparative analysis.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ESQUEMA ANTIGO DOS CABOS COM PINTURA DOS FIOS COM.....	15
FIGURA 2 – FILA HORIZONTAL DE LIVROS.....	16
FIGURA 3 – BARRIL DE MADEIRA .....	17
FIGURA 4 – PROTENSÃO EM PISTAS( PRÉ-TRAÇÃO) .....	20
FIGURA 5 – PROTENSÃO COM ADERÊNCIA POSTERIOR E CORPO DE PROVA .....	21
FIGURA 6 – PROTENSÃO COM CABOS EXTERNOS.....	22
FIGURA 7 - SEÇÃO DE CORTE DA MONOCORDOALHA ENGRAXADA DE .....	25
FIGURA 8 – CADEIRA METÁLICA .....	26
FIGURA 9 – ANCORAGEM ATIVA (BLOCO, CUNHA E NICHOS PLÁSTICO) .....	27
FIGURA 10 – ANCORAGEM MORTA .....	28
FIGURA 11 – DISPOSITIVO DE ANCORAGEM PROVISÓRIA E.....	29
FIGURA 12 – CONJUNTO MOTO BOMBA .....	30
FIGURA 13 – NICHOS PLÁSTICO .....	31
FIGURA 14 – PLACA DE ANCORAGEM .....	31
FIGURA 15 – FLUXOGRAMA METODOLÓGICO PARA A EXECUÇÃO DO PROJETO .....	34
FIGURA 16 – BAINHA DANIFICADA .....	40
FIGURA 17 – IÇAMENTO DOS ROLOS .....	41
<b>FIGURA 18 – BLOCOS DE ANCORAGEM AO FUNDO DA FIGURA DESALINHADOS.....</b>	<b>42</b>
<b>FIGURA 19 – BLOCOS, NICHOS PLÁSTICOS .....</b>	<b>43</b>
FIGURA 20 – DISPOSITIVO METÁLICO .....	43
FIGURA 21 – LUVA PLÁSTICA .....	44
FIGURA 22 – FIXAÇÃO DOS CABOS COM ARAME RECOZIDO.....	45
FIGURA 23 – PONTO COM ARAME, FIXAÇÃO DOS CABOS .....	46
FIGURA 24 – BARRA DE AÇO COM FUNÇÃO DE FRETAGEM .....	47
FIGURA 25 – CUNHAS E DISPOSITIVO METÁLICO .....	48
FIGURA 26 – MARCAÇÃO COM SPRAY PARA ANO- .....	49
FIGURA 27 – DISPOSITIVO PLÁSTICO FIXADO NAS EXTREMIDADES DOS CABOS.....	50
FIGURA 28 – RELAÇÃO ENTRE O TRAÇADO DOS CABOS COM OS DIAGRAMAS .....	52



## LISTA DE TABELA

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS DOS FIOS PRODUZIDOS PELA BELGO MINEIRA .....	24
TABELA 2 – CARACTERÍSTICAS DAS CORDOALHAS COM RELAXAÇÃO BAIXA (RB).....	26

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVOS</b>	<b>12</b>
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
<b>3 JUSTIFICATIVA</b>	<b>13</b>
<b>4 CONCRETO PROTENDIDO</b>	<b>14</b>
4.1 BREVE HISTÓRICO DO CONCRETO PROTENDIDO NO BRASIL	14
4.2 CONCEITO DE PROTENSÃO	16
4.3 CONCRETO	18
4.4 ARMADURA PASSIVA	18
4.5 ARMADURA ATIVA	19
4.6 TIPOS DE PROTENSÃO	19
4.6.1 Protensão com Aderência Inicial	19
4.6.2 Protensão com Aderência Superior	21
4.6.3 Protensão sem Aderência	22
4.7 MATERIAIS, EQUIPAMENTOS EMPREGADOS NA PROTENSÃO NÃO ADERENTE	23
4.7.1 Aços de Protensão	23
4.7.2 Cabo	24
4.7.3 Cordoalha	25
4.7.4 Apoio ou Cadeira	26
4.7.5 Ancoragem	27
4.7.5.1 Ancoragem ativa	27
4.7.5.2 Ancoragem Intermediária	28
4.7.5.3 Ancoragem Morta	28
4.7.5.4 Cunhas	29
4.7.5.5 Dispositivos para Ancoragem Provisória	29
4.7.5.6 Conjunto Macaco-Bomba	29
4.7.5.7 Nicho Plástico	30
4.7.5.8 Placa de Ancoragem	31
<b>5 METODOLOGIA</b>	<b>34</b>
<b>6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A opção pelo concreto protendido para solução de estruturas tem sido intensificada por atender construções com lajes esbeltas, favorecendo a arquitetura. O grande crescimento desse uso está vinculado em grande parte à utilização do sistema de protensão não aderente com a entrada das monocordoalhas engraxadas e plastificadas no mercado brasileiro.

A protensão não aderente chegou ao mercado brasileiro após 30 anos como alternativa de operação fácil e de baixo custo, impulsionando a tecnologia de projeto e execução de estruturas de concreto (CAUDURO, 1997).

Com a crescente aplicação do concreto protendido em todo país, faz-se necessário estudos para a elaboração de trabalhos, normas e manuais que orientem como deve ser feita a execução do concreto protendido a fim de garantir o bom funcionamento da protensão nas estruturas. Diante de estudos como esse, os métodos são aprimorados e novas soluções podem surgir no canteiro de obras para facilitar a execução do projeto.

Neste intuito, o trabalho foi realizado em um canteiro de obras na cidade de Campo Mourão onde se empregava a tecnologia do concreto protendido. Foi feito o levantamento de dados através de fotos e medidas a fim de estudar a protensão não aderente nas vigas de uma laje.

O Manual para boa execução de cordoalhas de aço engraxadas e plastificadas desenvolvido por Cauduro (2002) foi utilizado como parâmetro para fazer a análise comparativa e seletiva do que foi executado "in loco" com as recomendações e instruções propostas pelo Manual.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar o método de execução de protensão em vigas faixas apoiadas em pilares em um edifício multifamiliar.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Caracterizar os materiais de protensão;
- II. Descrever os tipos de protensão;
- III. Estudar o processo construtivo da execução de protensão não aderente;
- IV. Apresentar as peculiaridades construtivas no momento da colocação das cordoalhas e os cuidados a serem tomados durante a concretagem;
- V. Realizar a análise comparativa e seletiva do método executivo “in loco” com as recomendações propostas por Cauduro (2002).

### 3 JUSTIFICATIVA

O cenário das construções acompanhou a mudança da última troca de século. Do século XX para o XXI tecnologias novas surgiram, bem como o aprimoramento das milenares já existentes.

O método convencional de construção em concreto armado vem perdendo destaque, isso porque atende com dificuldade as exigências impostas pela atual arquitetura. Em virtude disso, novos métodos construtivos vêm sendo desenvolvidos para atender com maior precisão as necessidades do mercado.

O mercado demanda vãos livres maiores e redução do número de pilares no espaço interno, proporcionando melhor aproveitamento espacial. O aproveitamento garante, por exemplo, maior disponibilidade de vagas em garagens e liberdade para diversificar a arquitetura de escritórios e/ou apartamentos em um mesmo edifício.

De acordo com Cauduro (2002) é possível alcançar esses benefícios quando se faz a escolha da utilização do concreto protendido. Além disso, com a especulação imobiliária e o alto custo dos terrenos, o emprego de tecnologias alternativas passa a ser uma opção interessante, pois proporciona estruturas leves, esbeltas e com maior número de pavimentos. Sendo assim, tais benefícios aliados a pouca empregabilidade dessa tecnologia nas obras em Campo Mourão – PR faz-se necessário o estudo dos detalhes construtivos a serem executados para esse tipo de protensão.

## 4 CONCRETO PROTENDIDO

### 4.1 BREVE HISTÓRICO DO CONCRETO PROTENDIDO NO BRASIL

Em 1948 iniciou-se a história do concreto protendido no Brasil com a construção da ponte do Galeão no Rio de Janeiro. No entanto, não se tinha conhecimento e experiência de aplicação dessa tecnologia e por isso foi utilizado o sistema de protensão francês conhecido como sistema de Freyssinet. Todos os dispositivos (aços, ancoragens e os equipamentos) e projetos empregados, foram importados da França (VERÍSSIMO; CÉZAR JUNIOR, 1998, p. 5).

Com a crescente utilização e opção pelo concreto protendido, STUP<sup>1</sup> (Sociedade Técnica para Utilização da Protensão) brasileira foi fundada em 1950. Dando representatividade ao concreto protendido no mercado brasileiro, outras empresas como a VSL, e a Dywidag fundaram filiais no país (ALMEIDA, 1999, p. 8).

A ponte do Juazeiro construída em 1952 foi a segunda obra de concreto protendido realizada com tecnologia estrangeira. Simultaneamente a isso, a Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira iniciou a fabricação do aço de protensão propiciando a primeira construção com aço genuinamente brasileiro (VERÍSSIMO; CÉZAR JÚNIOR, 1998, p. 5).

Conforme Vasconcelos (1992, p.130) em 1954, José Rudloff Manns<sup>2</sup> fez alto investimento em experiências para definir como seria uma forma de ancoragem para fixação dos fios após o tensionamento dos mesmos. Depois de estudos e experimentos, Rudloff atingiu resultados satisfatórios e patenteou o seu sistema de protensão, promovendo então o primeiro sistema de protensão brasileiro. No entanto, o sistema ainda seria aperfeiçoado para chegar a uma ancoragem que fosse competitiva com a de Freyssinet.

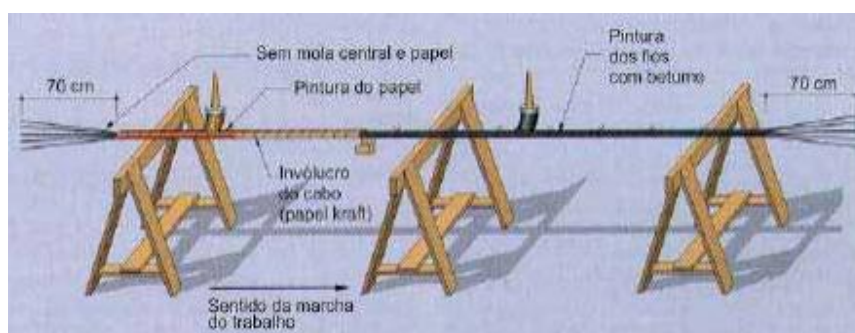
---

<sup>1</sup> STUP: Essa empresa surgiu na França. Nessa empresa foram desenvolvidos vários tipos de ancoragens para o sistema de Freyssinet (VERÍSSIMO; CÉZAR JUNIOR, 1998).

<sup>2</sup> “José Rudloff Manns, nascido no Chile, mas radicado no Brasil, foi pioneiro no desenvolvimento e aplicação do sistema de protensão que leva o seu nome.”(OLIVEIRA, 2012).

Vasconcelos (1992, p. 135) afirma que a primeira ponte protendida pelo sistema Rudloff, foi construída pela Construtora Mauá em 1956/7 Em Porto Ferrão sobre o Rio Tietê. As vigas com 24 toneladas foram pré-fabricadas no canteiro de obras.

Com a crescente aplicação do concreto protendido, os sistemas e materiais utilizados nessa tecnologia foram sendo aperfeiçoados. Em 1956, os fios de aço que iam dentro da bainha ainda eram pintados com tinta betuminosa<sup>3</sup>. No entanto, as bainhas passaram a ser produzidas com fitas plásticas enroladas helicoidalmente nos fios. Em 1958, iniciou-se no Brasil a utilização de bainhas flexíveis metálicas que tinham como propriedade a estanqueidade eliminando assim a necessidade de utilizar os fios com pinturas ou lubrificantes. A utilização dessa bainha propiciou a realização de protensão com aderência posterior, com a injeção da nata de cimento dentro das bainhas através de purgadores (CAUDURO, 1997). A Figura 1 apresenta como era feito a fabricação dos cabos no Brasil na década de 50.



**Figura 1 – Esquema antigo dos cabos com pintura dos fios com betume**  
**Fonte: Cauduro (1997).**

Conforme Cauduro (1997), os sistemas de fios paralelos foram utilizados até o fim da década de 70 no Brasil. Com o tempo a cordoalha com diâmetro de 12,7 mm passou a ser mais utilizada no sistema de pós-tensão, pois essas cordoalhas têm resistência eleva (de 20 toneladas de força).

---

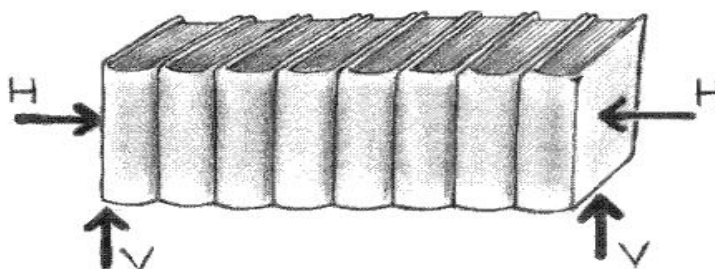
<sup>3</sup> Betume: “Substância mineral escura e viscosa, resultante da decomposição da matéria orgânica.” (HOUAISS; VILLAR, 2001).

A protensão sem aderência foi patenteada nos EUA (Estados Unidos da América) na década de 60 e desde aquela época vem sendo empregada em edificações de pequeno, médio e grande porte como edifícios residenciais, comerciais e industriais. Essa tecnologia só chegou ao Brasil em 1997 quando a Siderúrgica Belgo-Mineira começou a fabricar as cordoalhas engraxadas e plastificadas (CAUDURO, 2002).

#### 4.2 CONCEITO DE PROTENSÃO

Veríssimo e César Junior (1998) afirmam que a técnica protensão também pode ser denominada de pré-tensão e, tem como fundamento a aplicação prévia de tensões em um determinado material ou conjunto de materiais. No estudo referido a protensão é aplicada em peças estruturais.

O concreto é um material frágil quando submetido à tração, no entanto a sua resistência à compressão é satisfatória. Sobre isso, Buchaim (2007) propõe que a ideia de protensão consiste em comprimir a zona que será tracionada pela carga, tornando toda a peça comprimida.



**Figura 2 – Fila horizontal de livros**  
**Fonte: Hanai (2005).**

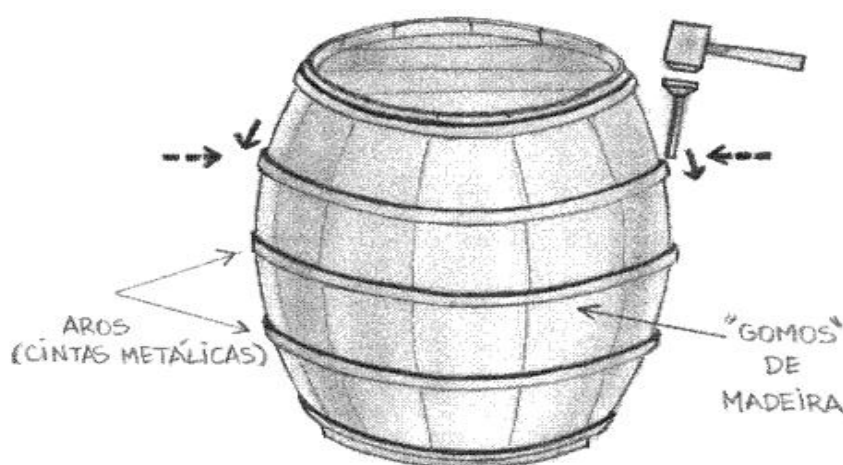
Um exemplo clássico de estrutura protendida é o transporte de um conjunto de livros colocados na forma de uma fila horizontal conforme a Figura 2. Para que se mova esse conjunto de livros de um local para outro, é imprescindível que num



primeiro momento seja feita a aplicação da força normal (H), e, somente após essa ação, aplicar a força vertical. Em outras palavras, a aplicação da força normal irá garantir a compressão prévia dos livros gerando um maior atrito entre eles, permitindo que os livros permaneçam unidos enquanto se aplica a força vertical(V) (HANEI, 2005).

A aplicação de força normal no exemplo referido de uma pilha de livros, nada mais é do que a aplicação de tensão prévia a fim de viabilizar e evitar que seja prejudicado o futuro uso ou a operação desejada (VERÍSSIMO; CÉZAR JÚNIOR, 1998; HANEI, 2005).

O barril apresentado na Figura 3 é formado por peças de madeira protendidas por cintas metálicas, sendo outro exemplo clássico de protensão. As percintas metálicas fazem a compressão dos gomos madeira que compõem o barril, formando assim um estado de compressão, que irá resistir às tensões periféricas produzidas pela pressão interna do líquido (PFEIL, 1980).



**Figura 3 – Barril de madeira**  
Fonte: Hanai (2005).

Tanto é assim que, Pfeil (1983, p. 5) descreve:

“O artifício da protensão, aplicado ao concreto, consiste em introduzir esforços que anulem ou limitem drasticamente as tensões de tração do concreto, reduzindo a importância da fissuração como condição determinante do dimensionamento da viga.”

### 4.3 CONCRETO

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil há muito tempo. O seu emprego é ocasionado em virtude de seus agregados (cimento, areia e pedra) serem acessíveis em todo mundo. A aplicação do concreto junto à protensão requer um controle rigoroso do concreto e mão de obra especializada. Segundo Veríssimo e César Júnior (1998, p. 24) o empregador deve cobrar ensaios prévios, e ter uma fiscalização incansável durante a elaboração do concreto.

De acordo com a NBR 6118 (2003, p. 17) “a durabilidade das estruturas é altamente dependente das características do concreto e da espessura e qualidade do concreto do cobrimento da armadura”.

Conforme Veríssimo e César Júnior (1998, p. 24) a resistência do concreto protendido em condições usuais variam entre 30 Mpa (Mega Pascal) a 40 Mpa. A NBR 6118 (2003, p. 18) recomenda que a resistência mínima a se adotar para o concreto protendido é de 25 Mpa. Hanai (2005, p. 21) destaca três motivos que explicam a utilização do concreto com elevada resistência, sendo eles:

- Com a introdução de forças de protensão (antes da colocação em serviço) na peça de concreto, este pode sofrer com as solicitações prévias (soluções), sendo necessário que o concreto atinja a resistência em um curto período de tempo.
- Com o aumento da resistência do concreto e do aço, torna-se possível moldar peças de concreto mais leves e esbeltas, sendo esses fatores primordiais para a fabricação de peças pré-moldadas.
- Concretos de alta resistência também possuem módulo de deformação elevado, diminuindo assim as deformações imediatas e as deformações devido à fluência e retração do concreto, o que reduz a perda de protensão.

### 4.4 ARMADURA PASSIVA

Conforme Hanai (2005) a armadura passiva é qualquer armadura que não

seja previamente alongada, isto é, não é utilizada para produzir forças de protensão. A armadura passiva sempre deve estar aderente ao concreto.

De maneira geral, Ishitani, Leopoldo e França (2002, p. 22) afirma que, usualmente as armaduras passivas são constituídas de armaduras que combatem o cisalhamento (estribos), facilitem a montagem (armaduras construtivas), combatem a fissuração lateral (armadura de pele), que controlem a abertura de fissuras e por fim, uma armadura que garanta a resistência à última flexão, dando apoio e complementando a parcela da armadura principal correspondente à armadura de protensão.

#### 4.5 ARMADURA ATIVA

Quando se fala em armadura ativa, imediatamente se faz menção das cordoalhas, fios e barras de aços utilizados na protensão. Quando o aço da armadura ativa é submetido às tensões de protensão, torna-se mais suscetível à corrosão, sobretudo à chamada "corrosão sob tensão". Uma maneira de suavizar o risco de corrosão da armadura ativa é aumentando a resistência do concreto (HANAI, 2005, p. 22).

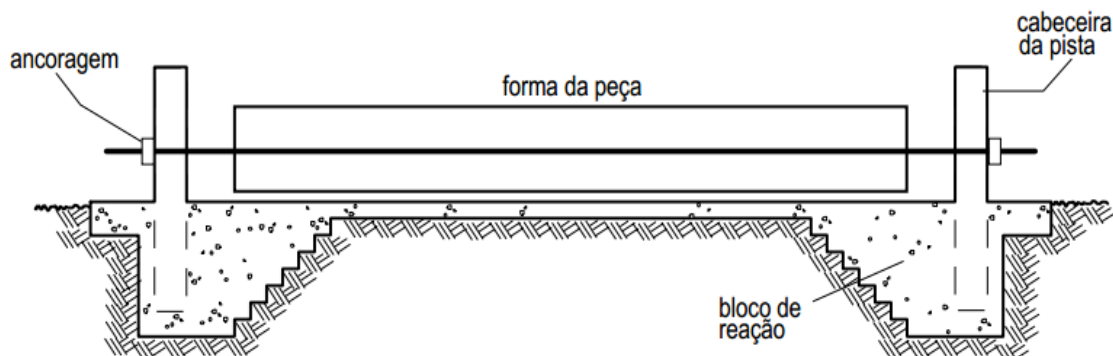
Descrevendo de maneira técnica, a armadura ativa será tracionada (previamente alongada) e simultaneamente a isso ela irá comprimir o concreto gerando assim, um sistema autoequilibrado de esforços (ISHITANI; LEOPOLDO; FRANÇA, 2002, p. 2).

#### 4.6 TIPOS DE PROTENSÃO

##### 4.6.1 Protensão com Aderência Inicial

Também é chamada de protensão com aderência direta. Esse tipo de protensão é obtido nas pistas de protensão, onde é realizada a fabricação de peças

pré-moldadas (BUCHAIM, 2007, p. 9). A Figura 4 ilustra a fabricação de uma peça protendida.



**Figura 4 – Protensão em pistas (pré-tração)**  
Fonte: Veríssimo e César Junior (1998, p. 7).

A utilização de protensão em peças pré-moldadas vem se intensificando consideravelmente. Juntamente a isso, intensifica-se na mesma proporção, a necessidade de disponibilidade de equipamentos e materiais específicos e um controle de qualidade rígido sobre o concreto. A execução desse tipo de protensão requer a construção de um canteiro de obras apropriado que disponha de condições favoráveis garantindo a qualidade do processo construtivo (VERÍSSIMO; CÉZAR JUNIOR, 1998, p. 6).

A aplicação da tensão feita por macacos hidráulicos nas cordoalhas ou nos fios de aço antecede o lançamento do concreto nas formas, sendo feita a ancoragem em apoios independentes da peça (cabeceira da pista). Concluído a pré-tensão ao ar livre e lançado o concreto nas formas, os fios ou cordoalhas só serão liberados após o concreto ter ganhado resistência suficiente. Por fim, as cordoalhas ficam em contato direto com o concreto, e a transferência de tensões é apenas pelo atrito entre o aço e o concreto (VERÍSSIMO; CÉZAR JUNIOR, 1998, p. 7; BUCHAIM, 2007, p. 9).

#### 4.6.2 Protensão com Aderência Superior

O sistema de pós-tração implica que a protensão poderá ser com aderência posterior. Usualmente, os cabos são pós-tracionados pelo conjunto macaco-bomba que se apoia nas próprias peças de concreto. De maneira geral, os sistemas de protensão com aderência posterior são patenteados em virtude das suas particularidades (dispositivos de ancoragem, o método e equipamentos para realizar o tensionamento) (VERÍSSIMO; CÉZAR JUNIOR, 1998, p. 36).

Após a concretagem da peça, os cabos são colocados nas bainhas, protendidos e fixados na peça por meio de dispositivos mecânicos. Junto à cordoalha, uma mangueira é instalada dentro das bainhas para que, após a protensão dos cabos, a calda de cimento (que proporcionará a aderência posterior) seja injetada (ALMEIDA, 1999).

A Figura 5 ilustra a execução de protensão não aderente e o detalhe abaixo representa um corpo de prova de ensaio de aderência.



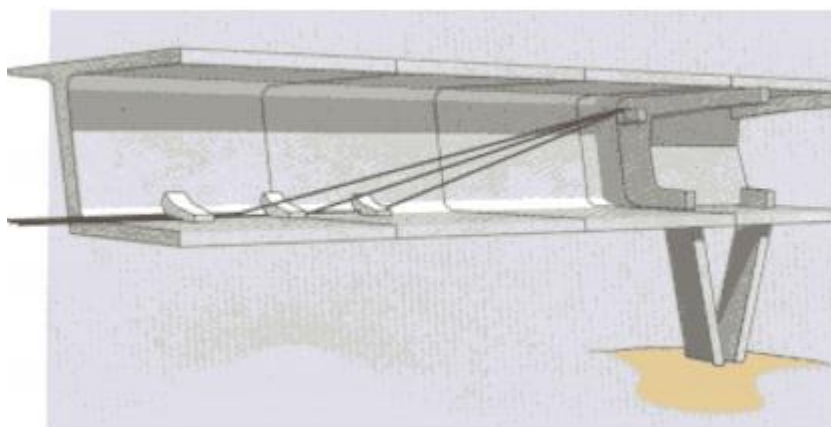
**Figura 5 – Protensão com aderência posterior e corpo de prova**  
Fonte: Catálogo Rudloff (2012).

Não há necessidade de ter um local específico para a utilização dessa tecnologia. Pautado nisso, Hanai (2005) afirma que a fabricação de peças pré-moldadas se torna flexível quando este sistema de protensão é aplicado, por exemplo, na execução de pontes, as vigas pré-moldadas podem ser moldadas in-loco.

#### 4.6.3 Protensão sem Aderência

É semelhante ao sistema de protensão com aderência posterior, no entanto, neste sistema não há transferência de esforços por atrito entre a cordoalha e o concreto. Os esforços de protensão são transferidos para a peça de concreto unicamente por dispositivos mecânicos e a colocação dos cabos pode ser externa ou interna à peça de concreto. Para garantir maior durabilidade à cordoalha, é injetada graxa no interior da bainha (ALMEIDA, 1999, p. 20). A utilização de graxa no interior da bainha segundo Menezes de Almeida Filho (2002) irá propiciar ao aço perdas mínimas por atrito durante o ato da protensão.

Conforme Hanai (2005) “atualmente, aplicações da protensão com cabos não-aderentes tem sido desenvolvidas, sobre tudo tendo em vista a melhoria das condições de manutenção das estruturas.” A Figura 6, mostra a protensão com cabos externos evidenciando a facilidade de manutenção.



**Figura 6 – Protensão com cabos externos**  
Fonte: Hanai, 2005 ( apud CAUDURO, 1997).

NBR 6118 (2003, p. 4) descreve concreto protendido sem aderência da seguinte forma:

“Concreto protendido em que o pré-alongamento da armadura ativa é realizado após o endurecimento do concreto, sendo utilizados, como apoios, partes do próprio elemento estrutural, mas não sendo criada aderência com o concreto, ficando a armadura ligada ao concreto apenas em pontos localizados.”

## 4.7 MATERIAIS, EQUIPAMENTOS EMPREGADOS NA PROTENSÃO NÃO ADERENTE

### 4.7.1 Aços de Protensão

O aço de protensão utilizado para protender peças de concreto é usualmente formado por cordoalhas de sete fios e tem alta resistência. Quando tracionado a 75% da sua carga de ruptura, que gira em torno de 15 toneladas, esse aço irá se alongar entre 6 e 7 mm/metro. Feito o tensionamento, o aço tenderá a voltar à sua posição inicial, no entanto como o aço fora ancorado, a peça de concreto será comprimida (CAUDURO, 2002).

As características e propriedades do aço de protensão são especificadas e regulamentadas pela Associação Brasileira de Normas técnicas, sendo elas:

- NBR 7482: Fios de aço para concreto protendido.
- NBR 7483: Cordoalhas de aço para concreto protendido.

Ainda segundo Cauduro (2002, p. 58), o aço de protensão utilizado nos cabos de tensão posterior deve estar sempre limpo e livre de corrosão (uma oxidação leve que pode ser retirada com estopa, é aceitável).

O cabo de protensão não aderente ilustrado na Figura 7 também pode ser utilizado em silos e reservatórios, e, com o coeficiente de atrito baixo (0,07) as bainhas plastificadas e engraxadas levam grande vantagem sobre as bainhas metálicas (coeficiente de atrito igual a 0,24) devido à perda de protensão por atrito (CAUDURO, 2002).

Os fios de relaxação<sup>4</sup> baixa (RB) quando submetido a uma carga de 80% (porcentos) da carga de ruptura durante 1000 horas a uma temperatura de 20 graus Celsius, apresenta relaxação de 3%. Já os fios de relaxação normal (RN) quando submetido ao mesmo procedimento apresentou relaxação de 8,5%.

A Tabela 1 apresenta as características dos fios de RB e RN utilizados para a fabricação de cordoalhas.

**Tabela 1 – Características dos fios produzidos pela Belgo Mineira**

Produto	Diâmetro nominal (mm)	Área aprox. (mm <sup>2</sup> )	Área mínima (mm <sup>2</sup> )	Massa aprox. (kg/km)	Carga mínima a 1% de deformação (kN)	Carga mínima de ruptura (kN)	Along. após ruptura (%)
CP 145 RB L	9,0	63,6	62,9	500	82,1	91,2	6,0
CP 150 RB L	8,0	50,3	49,6	395	67,0	74,5	6,0
CP 170 RB E	7,0	38,5	37,9	302	58,0	64,5	5,0
CP 170 RB L	7,0	38,5	37,9	302	58,0	64,5	5,0
CP 170 RN E	7,0	38,5	37,9	302	54,8	64,5	5,0
CP 175 RB E	4,0	12,6	12,3	99	19,3	21,4	5,0
CP 175 RB E	5,0	19,6	19,2	154	30,3	33,7	5,0
CP 175 RB E	6,0	28,3	27,8	222	43,8	48,7	5,0
CP 175 RB L	5,0	19,6	19,2	154	30,3	33,7	5,0
CP 175 RB L	6,0	28,3	27,8	222	43,8	48,7	5,0
CP 175 RN E	4,0	12,6	12,3	99	18,2	21,4	5,0
CP 175 RN E	5,0	19,6	19,2	154	28,6	33,7	5,0
CP 175 RN E	6,0	28,3	27,8	222	41,4	48,7	5,0

Fonte: Catálogo ArcelorMittal (2010).

#### 4.7.2 Cabo

Segundo Cauduro (2002), o cabo de protensão não aderente é constituído de ancoragens, aço de protensão (cordoalha), revestimento de graxa e bainha plástica (material de cobertura que impossibilitará a aderência do aço com o concreto).

<sup>4</sup> “Os testes de relaxação que medem a redução da força aplicada ao aço com o correr do tempo. Cada teste tem duração de 1.000 horas e é efetuado sob temperatura e umidade controladas em estreita faixa, de acordo com a NBR 7483 (1990)” (CATÁLOGO ARCELORMITALL, 2010).



Emerick (2002, p. 8) relata que as cordoalhas de protensão não aderente são iguais às cordoalhas tradicionais, no entanto, nesse sistema, à adição de um revestimento de PEAD-polietileno de alta densidade, que é extremamente resistente, durável e impermeável à água. No processo de fabricação, esse revestimento é extrudado diretamente sobre a cordoalha já engraxada.

A Figura 7 ilustra a seção de corte de cabo monocordoalha engraxada e plastificada.

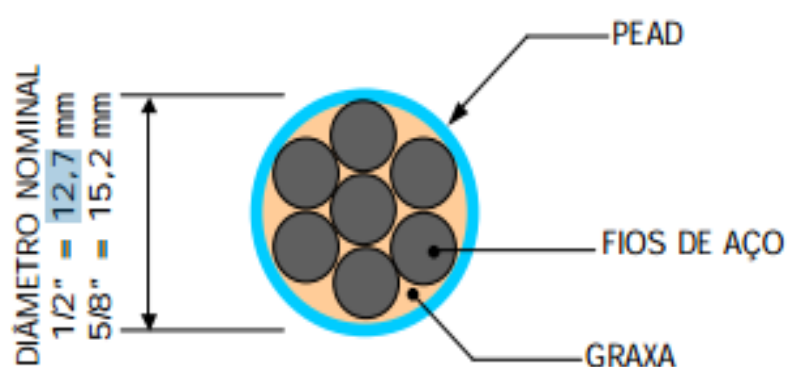


Figura 7 - Seção de corte da monocordoalha engraxada de sete fios

Fonte: Emerick (2002, p. 8).

#### 4.7.3 Cordoalha

Segundo Hanai (2005, p. 29) as cordoalhas fornecidas no Brasil tem diâmetro nominal de 12,7 mm e 15,2 mm e são constituídas pelo aço CP-190 RB (relaxação baixa). São normalmente fornecidos em rolos de 2.100 Kg.

Observam-se na Tabela 2 as características do aço das monocordoalha engraxadas e plastificadas.

Tabela 2 – Características das cordoalhas com relaxação baixa (RB)

Categoria	Designação <sup>1</sup>	Diâmetro Nominal da Cordoalha (mm)	Tolerância no diâmetro nominal (mm)	Área da seção de aço da cordoalha nominal (mm <sup>2</sup> )			Massa nominal kg/1 000m	Carga de ruptura mínima kN	Carga a 1% de deformação mínima <sup>2</sup> kN	Alongamento total na ruptura mínimo <sup>3</sup> (%)	Relaxação máxima após 1 000 h <sup>4</sup> (%)
				Mínimo	Nominal	Máximo					
RB 190	CP 190 RB 9,5	9,5	+ 0,4 - 0,2	54,9	56,2	57,3	441,0	104,3	93,9	3,5	3,5
	CP 190 RB 12,7	12,7		98,6	100,9	102,9	792,0	187,3	168,6		
	CP 190 RB 15,2	15,2		139,9	143,4	146,3	1126,0	265,8	239,2		
RB 210	CP 210 RB 9,5	9,5	54,9	56,2	57,3	441,0	115,3	103,8			
	CP 210 RB 12,7	12,7	98,6	100,9	102,9	792,0	207,0	186,3			
	CP 210 RB 15,2	15,2	139,9	143,4	146,3	1126,0	293,8	264,4			

Fonte: NBR 7483 (2004).

#### 4.7.4 Apoio ou Cadeira

São dispositivos metálicos ou plásticos utilizados para conferir apoio e garantir que os cabos de pós-tração mantenham a posição de projeto antes, durante e depois da concretagem (CAUDURO, 2002, p. 13). A Figura 8 mostra as cadeiras metálicas.



Figura 8 – Cadeira metálica  
Fonte: Cauduro (2002, p. 13).

#### 4.7.5 Ancoragem

Cauduro (2002) afirma que a ancoragem dos cabos é um conjunto de componentes que objetivam fixar a cordoalha e manter permanentemente a força aplicada pela protensão. Já para Almeida (1999, p.29), a escolha do sistema de protensão e/ou do fabricante que irá determinar qual o tipo da ancoragem a ser utilizada.

##### 4.7.5.1 Ancoragem ativa

Esse tipo de ancoragem é instalado na extremidade ativa do cabo que irá tensionar e ao mesmo tempo ancorar a cordoalha (CAUDURO, 2002). A Figura 9 mostra a ancoragem ativa que é constituída por placa de ancoragem, cunhas tronco-cônicas e nicho plástico.



**Figura 9 – Ancoragem ativa (Bloco, cunha e nicho plástico)**  
Fonte: Cauduro (2002, p. 11).

#### 4.7.5.2 Ancoragem Intermediária

Conforme Cauduro (2002, p. 11) a utilização dessa ancoragem é indicada, quando o intuito é realizar o tensionamento em um dado comprimento do cabo sem necessariamente cortá-lo. Opta-se por essa ancoragem quando existe a necessidade de intercalar a concretagem e/ou para antecipar a protensão e a remoção de formas.

Quando se realiza a protensão, a distância das ancoragens não deve ser maior que 40 metros. A esse respeito, Emerick (2002, p. 9) propõe a utilização de ancoragens intermediárias para que o cabo possa ter mais de 40 metros.

#### 4.7.5.3 Ancoragem Morta

Para Cauduro (2002, p. 11), neste tipo de ancoragem não se realiza a protensão do cabo e normalmente a ancoragem morta é fixada no final do cabo. Essa ancoragem dificilmente é feita em obra. A Figura 10 representa um exemplo de ancoragem morta para monocordoalhas.



**Figura 10 – Ancoragem morta**  
**Fonte: Cauduro (2002, p. 11).**

#### 4.7.5.4 Cunhas

Cauduro (2002, p. 14) define cunha da seguinte maneira: “Peça de metal tronco-cônico com dentes que mordem o aço de protensão (cordoalha) durante a transferência da força de protensão do macaco hidráulico para a ancoragem.”

#### 4.7.5.5 Dispositivos para Ancoragem Provisória

Esse dispositivo especial é usualmente utilizado quando se faz necessário promover mudanças estruturais ou a manutenção dos cabos existentes. Contém um dispositivo removível que possibilita colocá-lo sobre o cabo existente (CAUDURO, 2002, p. 14). Segue na Figura 11 o dispositivo de ancoragem provisória.



**Figura 11 – Dispositivo de ancoragem provisória e cunhas tronco-cônicas**  
**Fonte: Cauduro (2002, p. 14).**

#### 4.7.5.6 Conjunto Macaco-Bomba

A protensão normalmente é realizada por macacos hidráulicos especiais, os quais são fabricados a partir de uma tecnologia sofisticada que fora criada no fim da

segunda guerra mundial para o acionamento de trens de aterrissagem de avião. A bomba transfere a força de protensão para o macaco e este repassa a força de protensão para o cabo (VERISSIMO E CÉSAR JUNIOR, 1998, p. 41). A Figura 12 apresenta um exemplo de conjunto moto-bomba.



**Figura 12 – Conjunto moto bomba**

#### 4.7.5.7 Nicho Plástico

É uma peça plástica provisória utilizada para ligar a placa de ancoragem ao meio externo (contato direto com intempéries) após a concretagem, permitindo assim ao equipamento de protensão acessar a cavidade da placa de ancoragem e realizar o tensionamento dos cabos (CAUDURO, 2002, p. 15). A Figura 13 apresenta um exemplo de nicho plástico.



**Figura 13 – Nicho plástico**  
Fonte: Cauduro (2002, p. 15).

#### 4.7.5.8 Placa de Ancoragem

Segundo Cauduro (2002, p. 17), a placa de ancoragem para cabos monocordoalha é formada por um ferro fundido dúctil na qual contém um furo tronco-cônico onde é feito o alojamento das cunhas. A função da placa de ancoragem é transferir a força de protensão para o concreto. A Figura 14 mostra a placa de ancoragem.



**Figura 14 – Placa de ancoragem**  
Fonte: Cauduro (2002, p. 17).

#### 4.8 VANTAGENS

Segundo Emerick (2002) algumas das vantagens de se utilizar a execução de pós-tensão é o ganho de liberdade no momento da elaboração do projeto arquitetônico e o aumento da área útil por pavimento em virtude da redução do número de pilares.

Para Istahini, Leopoldo e França (2002) a utilização de concreto protendido irá proporcionar o emprego de aços de alta resistência, o qual quando exigido, elimina as tensões de tração imposta na estrutura em virtude do carregamento atuante e o peso próprio, também poderá reduzir as dimensões das peças de concreto quando utilizado o aço de alta resistência junto ao concreto de maior resistência e por fim irá diminuir as flechas em virtude de que a protensão praticamente elimina a presença de seções fissuradas eliminando assim a queda de rigidez correspondente à seção fissurada.

#### 4.9 DESVANTAGENS E PATOLOGIAS

Istahini, Leopoldo e França (2002, p. 16) apontam as principais desvantagens e patologias do concreto protendido:

- O aço de protensão sofre corrosão sob-tensão (stress-corrosion) em virtude da elevada força de protensão aplicada sobre os cabos. Essa corrosão pode levar à ruptura frágil e por esse motivo a armadura deve estar muito bem protegida.
- A perda de tensão nos cabos se divide em perdas imediatas que ocorre durante o ato da protensão e ancoragens dos cabos, perdas por atrito onde ocorre o contato da cordoalha com peças adjacentes durante a protensão e a perda por encurtamento elástico do concreto.
- Ao longo dos anos, a protensão sofre perda de tensão por retração e fluência do concreto, oriunda do encurtamento lento do concreto decorrente das reações químicas, além da perda por relaxação do aço, produzida quando submetido à altas tensões durante um longo período de tempo.



Segundo Cichinelli (2012) as principais patologias que podem ocorrer no concreto protendido é a relaxação do aço ao longo do tempo, corrosão do aço por vícios de obra, erros de execução e danificação da bainha, falhas na injeção de calda de concreto em casos de protensão com aderência posterior, aplicação de cargas não previstas no projeto estrutural e infiltração de água ou agentes químicos que venham iniciar ou acelerar a corrosão das bainhas.

## 5 METODOLOGIA

Durante os meses de abril a junho de 2013 foi realizado o acompanhamento da execução de uma obra na cidade de Campo Mourão – PR durante o período de execução de uma laje nervurada com vigas faixas protendidas. Esse sistema construtivo permitiu atingir vãos livres de 20 metros com uma laje de espessura de 40 cm. A laje em estudo contém uma área de 1,212.75 m<sup>2</sup>, sendo que apresenta apenas 10 pilares no interior da sua respectiva área. Pautado nisso, foi possível coletar todos os dados necessários para o embasamento da pesquisa.

Características da obra analisada:

1. Número de pavimentos: 20;
2. Número de apartamentos: 60 unidades;
3. Área total a ser construída: 16.007,32 m<sup>2</sup>.

Para a proposta em questão, o método de estudo foi esquematizado conforme fluxograma metodológico mostrado na Figura 14:

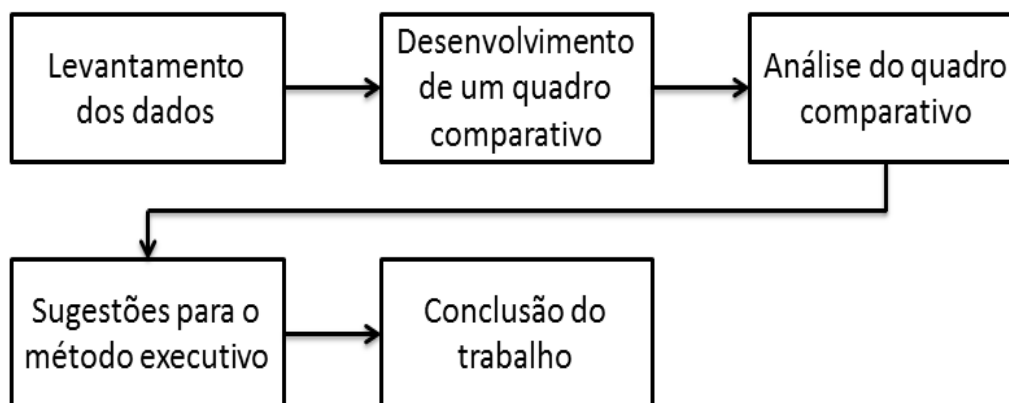


Figura 15 – Fluxograma metodológico para a execução do projeto

- Num primeiro momento foram colhidos todos os dados e fotografias necessários através de visitas na obra em estudo para embasamento da pesquisa;
- Na sequência, foi desenvolvido um quadro comparativo onde foi relacionada a execução dos procedimentos construtivos (ancoragens, fixação dos cabos ao

longo da viga, fretagens) da armadura ativa nas vigas em questão com as recomendações propostas no Manual para boa execução de concreto protendido usando cordoalhas de aço engraxadas e plastificadas (2002).

- Foi Feita a análise seletiva e comparativa através do quadro desenvolvido a fim de mostrar diferenças do Manual com o executado "in loco".

## 6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os principais resultados da pesquisa realizada.

O estudo é pautado na armadura ativa das vigas (protensão) sobre o qual foi feita a análise comparativa e seletiva tendo sempre como referência o “Manual para boa execução de concreto protendido usando cordoalhas de aço engraxadas e plastificadas” (CAUDURO, 2002). De acordo com os dados recolhidos em obra, iniciou-se a análise individual dos detalhes.

Para aperfeiçoar a apresentação dos dados, foi elaborado um quadro que estabelece comparação entre o que foi executado em obra e o recomendado por Cauduro (2002). O quadro foi dividido em 6 etapas, sendo elas:

1. Informações Gerais;
2. Manuseio e estocagem dos materiais;
3. Montagem do sistema de pós-tensão;
4. Concretagem;
5. Protensão dos cabos;
6. Acabamento dos cabos.

Segue o quadro abaixo:

QUADRO 1 - COMPARATIVO ENTRE CAUDURO(2002) E A OBRA REFERIDA (continua)			
Etapas	Itens	Cauduro	Obra
1	1	Encarregados com 5 anos de experiência em protensão	Engenheiro de execução com 10 anos de experiência e mestre de obra sem experiência na área
	2	Mão de obra especializada e certificada	A mão de obra é especializada
	3	Uma única equipe realize a execução em toda obra	A mesma equipe foi contratada para fazer a execução de toda a obra

QUADRO 1 - COMPARATIVO ENTRE CAUDURO(2002) E A OBRA REFERIDA (continua)			
Etapas	Itens	Cauduro	Obra
2	1	Descarregar os rolos com cuidados para não os danificar	Utilizou-se uma empilhadeira para levar os rolos até o estoque
	2	É recomendado o uso da correia de nylon	Utilizou-se correias de nylon para descarregar os rolos de cordoalhas
	3	É proibido utilização de correntes e correias de aço para manusear as cordoalhas	Não houve a utilização de correias e correntes
	4	Os cabos não devem ficar em exposição ao sol por longos períodos	Os rolos foram estocados em baixo da laje garantindo a não exposição ao sol
	5	As cunhas e as ancoragens devem ser estocadas em área limpa e seca	Os dispositivos de ancoragens (cunhas, bolcos) foram estocados no almoxarifado
	6	É responsabilidade da construtora garantir a integridade do material até o instante da sua utilização	No momento da sua utilização os materiais estavam íntegros
	7	O manômetro da bomba deve constar o registro de calibração através de um romaneio	Não foi apresentado nenhum romaneio de calibragem do macaco-bomba
3	1	Recomenda-se que a montagem das fôrmas laterais da laje antes da instalação do sistema de pós-tensão	Foi feita a montagem da fôrma lateral e da armadura passiva antes da instalação do sistema de pós-tensão
	2	Deve ser feita a marcação do centro de cada bloco na fôrma de borda conforme indica o projeto	Não houve esse cuidado e os blocos ficaram visualmente desalinhados
	3	Realizar a perfuração dos orifícios de borda conforme indica o projeto	Foi feito a perfuração dos orifícios
	4	Fixar com pregos corretamente o nicho plástico e o bloco na fôrma para não permitir a entrada de pasta de concreto	A fixação do conjunto foi feita com arame recozido número 18.
	5	A colocação dos cabos deve ser feita a partir da extremidade passiva em direção a ativa	As passagens dos cabos foi iniciada da extremidade passiva para a ativa com auxílio de um dispositivo metálico
	6	Espaçar os cabos conforme mostra a planta do projeto	Não se utilizou o projeto para verificar os espaçamentos
	7	Recomenda-se que seja feita uma marcação no assoalho das fôrmas indicando o local das barras de apoio	Não foram utilizadas barras de apoio
	8	Recomenda-se que seja feita uma marcação no assoalho da fôrma indicando a altura da cadeira definida no projeto	As mudanças de altura no traçado dos cabos não tiveram marcação e foram fixados com arame recozido número 18
	9	Em casos de ambientes agressivos, utilizar uma luva de conexão impermeável que ligue a parte revestida com bainha plástica à face do bloco de ancoragem	Foi feita a utilização de uma luva impermeável para garantir a proteção da parte exposta da cordoalha atrás do bloco de ancoragem

QUADRO 1 - COMPARATIVO ENTRE CAUDURO(2002) E A OBRA REFERIDA (continua)			
Etapas	Itens	Cauduro	Obra
	10	Deve ser feita a fixação dos cabos para evitar qualquer movimento durante a concretagem	Os cabos foram fixados com arame recozido permitindo que houvesse a movimentação durante a concretagem
	11	Os desvios verticais do traçado do cabo devem ser de +/- 1 cm em concreto com espessura de 40 cm	Não houve a utilização do projeto no momento da fixação dos cabos
	12	A posição horizontal dos cabos não é re-levante , no entanto se deve evitar oscilações excessivas	A fixação dos cabos foi feita apenas no intervalo entre pilares e conforme a mudança de altura no traçado do cabo
	13	Recomenda-se que os conduítes elétricos e hidráulicos sejam instalados após a colocação do sistema de pós-tensão	Os sistemas elétricos e hidráulicos foram fixados após a instalação do sistema de pós-tensão
	14	Durante a montagem da ancoragem morta se faz necessário aplicar uma tensão de 15 toneladas afim de evitar escorregamento na pós-tensão	A cordoalha foi tracionada conforme o solicitado durante a montagem
	15	Ao fim da montagem do sistema de pós-tensão é obrigatório a colocação das barras de aço para fretagem, caso contrário poderá ocorrer o rompimento do concreto durante a protensão	Os aço de fretagem foram colocados tanto na ancoragem passiva quanto na ancoragem ativa. Também foi seguido o detalhamento apresentado no projeto de fôrmas
4	1	Durante o lançamento do concreto, os cabos não devem mover-se de suas posições, e caso ocorrer volta-los ao Lugar	Os cabos se moveram em virtude da força de concretagem, no entanto não foram voltados ao lugar
	2	Instruir a equipe de concretagem para não super/subvibrar o concreto na zona de ancoragem dos cabos	A equipe de concretagem vibraram adequadamente o concreto
	3	Não colocar os vibradores sobre os cabos	Os vibradores dificilmente tocavam nos cabos
5	1	Deve haver o acompanhamento de um profissional experiente durante a operação de protensão	Os profissionais que realizam a protensão são especializados
	2	Só deve ser iniciada a operação de protensão quando o resultado dos corpos de prova tiverem atingido a resistência mínima à compressão de 21 Mpa	As operações de protensão só eram iniciadas após o resultado de resistência À compressão dos corpos de prova ter sido apresentada
	3	Verificar o macaco de protensão e a mandíbula do macaco antes de usá-lo	A verificação do macaco-bomba não foi feita no canteiro de obras
	4	Remover a fôrma e o nicho plástico assim que possível	As fôrmas e o nicho plástico foram removidas somente no dia da protensão

QUADRO 1 - COMPARATIVO ENTRE CAUDURO(2002) E A OBRA REFERIDA (conclusão)			
Etapas	Itens	Cauduro	Obra
5	5	É necessária a inspeção dos blocos de ancoragens para verificar se estão limpos	Foi feita a verificação visual dos blocos e estavam limpos
	6	O par de cunhas deve ser colocado dentro da cavidade do bloco de ancoragem Simultaneamente	As cunhas foram colocadas simultaneamente
	7	Os profissionais da protensão devem ter uma área própria para trabalho próxima aos locais de protensão	Não foi feito andaime para os profissionais da protensão pudessem trabalhar
	8	A protensão deve ser acompanhada pelos inspetores	O engenheiro responsável acompanhou toda a operação
	9	Antes da protensão dos cabos é preciso utilizar um gabarito para marcação e depois da protensão anotar o alongamento dos cabos para análise	Foi feito a marcação com spray, e após a protensão anotado o alongamento
6	1	Após a protensão e depois da aprovação da medida do alongamento o corte da ponta dos cabos deve ser efetuada	Após a protensão os valores de alongamento eram anotados em uma prancheta e o corte logo após a protensão
	2	Deve ser aplicado uma pintura de combate a corrosão na extremidade do cabo onde foi realizado o corte	Após o corte foi encaixado um dispositivo plástico na extremidade da cordoalha
	3	A aplicação do graute é extremamente necessária para garantir a integridade das Cordoalhas	A aplicação de graute não foi feita

A partir desse quadro é possível realizar a seguinte análise:

Partindo da comparação do que houve na obra em estudo com o Manual de Cauduro (2002), o Item 1.1 não contempla o esperado segundo o Manual, que é a demanda de profissionais treinados. Na obra, faltou um mestre de obras com experiência na área de execução do sistema de pós-tensão. O ideal seria prover um curso de execução de protensão aos funcionários, que fosse direcionado à condicionar de inspeção desse sistema construtivo.

A mão de obra de execução de protensão é especializada, conforme recomenda Cauduro (2002) e é listado no Item 1.2.

Está relacionado no Item 1.3 a recomendação de Cauduro (2002) da necessidade de a execução de protensão ser feita por uma mesma equipe. Na obra em estudo, uma mesma equipe realizou a execução evitando que houvesse divergências no momento da execução da pós-tensão.

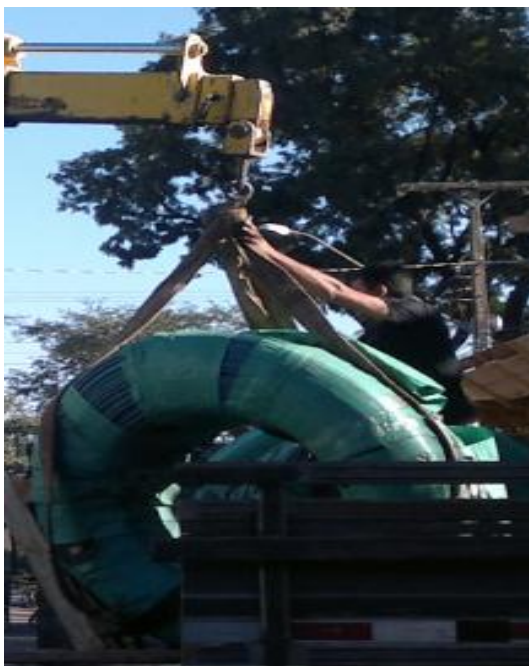
Na segunda etapa referente ao Item 2.1, a falta de experiência dos profissionais permitiu que houvesse prejuízos relativamente consideráveis durante o manuseio dos rolos de cordoalhas. Como o peso dos rolos varia entre de 1500 a 2500 quilogramas, a empilhadeira teve dificuldade para transportar os rolos para baixo da laje, e houve comprometimento parcial da integridade das bainhas das cordoalhas devido ao esmagamento (Figura 16). Visualmente é possível perceber que somente a bainha foi danificada, o que possibilita o reparo da mesma sem comprometimento funcional.



**Figura 16 – Bainha danificada**

A Figura 17 ilustra o transporte das cordoalhas com a correia de nylon para evitar que ocorra um possível esmagamento das bainhas conforme atenta Cauduro (2002), abordado no Item 2.2.





**Figura 17 – Içamento dos rolos**

Conforme descrito no Item 2.2 e ilustrado na Figura 17 não foi feita a utilização de correntes e correias de aço conforme instrui Cauduro (2002), apresentado no Item 2.3.

O Item 2.4 é referente à afirmação de Cauduro (2002) de que as cordoalhas não devem ficar expostas ao sol. Os rolos foram estocados sob a laje evitando o contato direto com o sol e garantindo a integridade das bainhas poliméricas.

Os dispositivos de ancoragem ficaram estocados dentro do almoxarifado garantindo a integridade e durabilidade dos materiais atendo às recomendações impostas por Cauduro (2002), descrita no Item 2.5.

A empresa responsável pela estocagem os apresentou em condições adequadas para utilização atendendo ao descrito por Cauduro (2002) e relacionado no item 2.6.

Diferente do Item 2.7, em que segundo a indicação do Manual não foi semelhante com o ocorrido em obra. Segundo Cauduro (2002), deveria ser apresentado romaneio no canteiro de obras, o que não ocorreu na obra em questão, embora houvesse a garantia da calibragem pelos profissionais atuantes na obra do macaco-bomba.

Na Etapa 3 foi analisada a montagem dos sistema de pós tensão. Na obra foi feita a montagem do assoalho e após isso a instalação dos painéis laterais

atendendo às recomendações impostas por Cauduro (2002), descrito no Item 3.1. Vale lembrar que a colocação da armadura passiva deve vir antes da instalação da armadura ativa, para evitar que não ocorra danos nos cabos (arranhões causados pela armadura passiva) e, facilitar a fixação das alturas dos cabos no traçado vertical.

O Item 3.2 diz respeito aos cuidados que devem ser tomados para que os blocos de ancoragem não fiquem desalinhados. É possível notar através da Figura 18 que os blocos não ficaram como é recomendado pelo Manual. A falta desse cuidado pode acarretar alterações no comportamento da peça estrutural. Por exemplo, caso a ancoragem sofra uma excentricidade de dois centímetros a uma força aplicada de 15 toneladas isso gerará um momento de 300 quilogramas sobrecarregando a estrutura.

O Item 3.3 traz a instrução que seja feita a perfuração dos orifícios nas laterais das formas para otimizar a fixação do nicho plástico. Na obra foi feita a perfuração das formas, no entanto não se teve o cuidado de deixar os orifícios alinhados na horizontal.

A Figura 1 ilustra o descrito nos itens 3.2.



**Figura 18 – Blocos de ancoragem ao fundo da figura desalinhados**

O Item 3.4 contém a recomendação de Cauduro (2002) de que o nicho plástico seja fixado junto ao bloco com pregos. Na obra a fixação foi feita com arame recozido número 18 porque a armadura passiva dificulta o manuseio do martelo. O resultado da utilização desse artifício após a retirada da forma foi satisfatório porque

impediu o contato da nata de concreto com a cordoalha e assim não prejudicou a protensão.

A Figura 20 retrata num primeiro momento a preparação do bloco e do nicho plástico e posteriormente a fixação à forma.



**Figura 19 – Blocos, nichos plásticos**

Na execução das vigas a presença da armadura passiva é permanente. Devido à dificuldade em trabalhar com a presença dessa armadura, foi desenvolvido um dispositivo metálico (Figura 21) a fim de facilitar a colocação dos cabos dentro da armadura passiva partindo da ancoragem passiva para ancoragem ativa conforme aborda o Item 3.5.



**Figura 20 – Dispositivo metálico**

O Item 3.7 consta da instrução que sejam utilizadas barras de apoio para a fixação dos cabos. Na obra não foi feita a utilização dessas barras, sendo notável a movimentação dos cabos durante a concretagem. A fixação inadequada dos cabos acarreta em prejuízo de alterações das posições verticais e horizontais dos cabos. Essas alterações podem provocar a mudança de direção das cordoalhas aumentando também a perda da tensão por atrito.

Consequente ao Item 3.8, não foi possível utilizar a cadeirinha como determina Cauduro (2002). A alta densidade das vigas faixas da armadura passiva dificulta o uso da cadeirinha, e partindo dessa justificativa, optou-se na obra pela fixação dos cabos com arame número 18.

Cauduro (2002) recomenda que seja feita a utilização de uma luva plástica impermeável quando o ambiente for agressivo e houver distância entre a bainha plástica e o bloco em mais de 2,5 cm. Na obra, a utilização dessa luva plástica (Figura 22) foi feita em todas as cordoalhas. Foi possível notar que essa utilização facilitou a execução e garantiu que o concreto não dificultou a protensão necessária dos cabos. Portanto, o Item 3.9 elucida a concordância entre o Manual e o executado em obra.

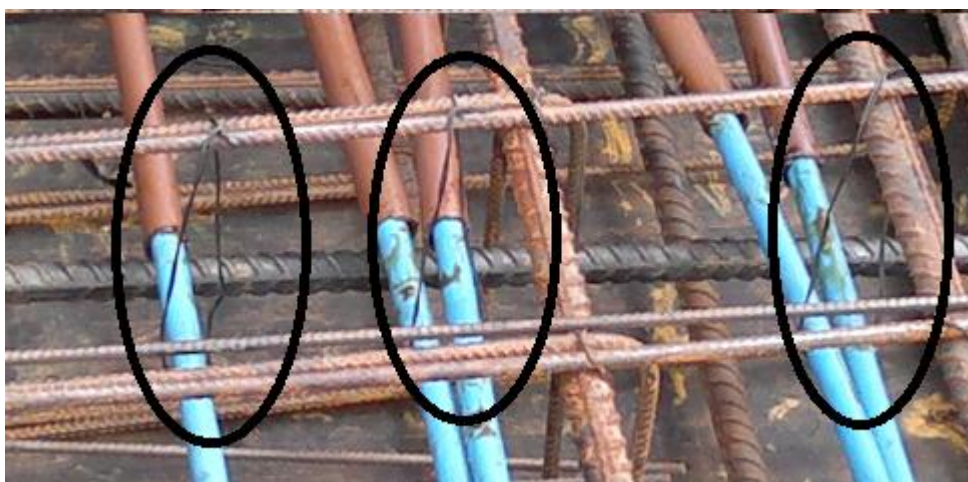


Figura 21 – Luva plástica

Segundo o Item 3.10 os cabos deveriam estar devidamente fixados para

evitar deslocamentos excessivos durante a concretagem, isso de acordo com o Manual de Cauduro (2002). O processo na obra foi feito somente com arame recozido diferindo do Manual, uma opção para contornar essa situação seria utilizar barras de apoio na fixação da armadura ativa.

A Figura 23 retrata a armadura passiva juntamente com os cabos fixados com arame recozido.



**Figura 22 – Fixação dos cabos com arame recozido**

O Item 3.11 contém a recomendação de que os desvios verticais no traçado do cabo devem ser evitados. E caso ocorram, podem ser no máximo 01 centímetro para cima ou para baixo em vigas de 40 centímetros. Na obra, os profissionais responsáveis pela protensão não utilizaram o projeto de corte das vigas, o qual indicava a altura das cordoalhas, esse descuido compromete a averiguação e avaliação da colocação dos cabos.

A fixação dos cabos foi feita nas mudanças de altura e nos intervalos entre pilares (Item 3.12). Com isso os cabos ficavam mal fixados podendo se movimentar tanto na horizontal como na vertical.

A Figura 23 ilustra a fixação dos cabos entre os pilares.



**Figura 23 – Ponto com arame, fixação dos cabos**

A instalação dos sistemas hidráulicos e elétricos foi feita após toda a armadura estar pronta conforme orienta Cauduro (2002) abordada no Item 3.13.

A cordoalha foi tracionada com uma força aplicada de 15 toneladas durante a montagem da ancoragem morta conforme instrui Cauduro (2002) relacionado no Item 3.14.

Para finalizar a execução da instalação do sistema de pós-tensão nas vigas, foram feitas a colocação de fretagem conforme relata Cauduro (2002) descrito no Item 3.15. As barras de aço da fretagem inferior e superior deviam ser de, no mínimo, 12,5mm, no entanto na obra foi feita a reutilização das sobras do corte de aço para armadura passiva permitindo reaproveitamento ao aço considerado perdido e atendendo às exigências de projeto. A Figura 25 ilustra uma ancoragem passiva com barras de aço com função de fretagem.



**Figura 24 – Barra de aço com função de fretagem**

A Etapa 4 elucida acerca dos cuidados a serem tomados no momento da concretagem da laje. Durante a concretagem foi nítida a movimentação dos cabos, contrariando as orientações de Cauduro (2002) relatadas no Item 4.1. No entanto, a movimentação é ocasionada parte pela força do concreto e parte pela fixação dos cabos. Se a fixação dos cabos fosse reforçada com as barras de apoio os cabos ficariam firmes, fixados e se movimentariam menos.

Durante a concretagem da laje foram utilizados dois vibradores que garantiram o bom adensamento do concreto evidenciado pela não aparição de “bicheiras” e pelo comportamento satisfatório dos blocos de ancoragem durante a protensão dos cabos. Sendo assim, atendendo às recomendações de Cauduro (2002) colocadas no Item 4.2.

Cauduro (2002) Recomenda que não haja o contato entre o vibrador e os cabos (Item 4.3), algo que não foi possível durante a execução visto que, os cabos ficaram bem próximos uns dos outros. Isso impossibilitou a vibração para o adensamento do concreto sem tocar na armadura ativa.

Na etapa 5 foi feita a análise do ato da pós-tensão. Os profissionais da execução de protensão eram especializados conforme recomenda Cauduro (2002), relatado no Item 5.1, no entanto não apresentaram nenhum comprovante.

O Item 5.2 relata que segundo o Manual (2002) os cabos só podem ser protendidos após o resultado do rompimento dos corpos de prova em laboratório e resistência mínima de 21 Mpa. Na obra em questão sempre houve um controle rígido do concreto e os laudos da resistência eram apresentados antes da concretagem. Esse controle garantiu uma boa execução da protensão e durante a análise das vigas não houve rompimento do concreto.

A verificação do macaco-bomba não foi realizada na obra, no entanto o profissional responsável pelo manuseio garantiu que foi feita a sua verificação antes de leva-lo a obra. No Item 5.3 é descrito a necessidade da verificação da bomba e da mandíbula do macaco.

Na obra a fôrma e o nicho plástico só foram removidos 7 dias após a concretagem e no momento da protensão. Como se passava desmoldante nas fôrmas elas eram fáceis de serem removidas. Cauduro (2002) recomenda que as formas sejam removidas o mais rápido possível descritas no Item 5.4.

Foi feita a verificação visual dos blocos e foi possível notar que os mesmos estavam limpos atentando ao recomendado por Cauduro (2002) no Item 5.5.

No Item 5.6 é descrito que o par de cunhas deve ser colocado simultaneamente. Na obra os pares de cunha foram colocados simultaneamente, no entanto foi utilizado de um dispositivo metálico para fixar essas cunhas no bloco de ancoragem momentos antes da protensão. Com alguns golpes aleatórios o dispositivo metálico fixava as cunhas.

A Figura 25 mostra no primeiro momento a colocação das cunhas e no segundo momento o dispositivo metálico para fixação das mesmas.



**Figura 25 – Cunhas e dispositivo metálico**

Na laje em análise não foram montados andaimes conforme a recomendação abordada no Item 5.7. Essa recomendação não foi atendida, no entanto foram colocados “cabos linha de vida” e os profissionais ficaram presos a esses cabos.

O Item 5.8 descreve que segundo Cauduro (2002) é recomendável que haja um profissional acompanhando a obra durante toda a atividade de protensão dos



cabos. Na obra em estudo o engenheiro responsável pela protensão só se apresentou na montagem dos cabos.

O Item 5.9 traz a abordagem que segundo o Manual deve ser anotado o alongamento dos cabos para posterior análise. Na obra utilizou-se um sarrafo e um spray com pigmentação amarelada para verificar o quanto cada cabo alongou durante a protensão. As anotações dos cabos foram feitas em uma prancheta e até esse ponto atendendo as recomendações sugeridas por Cauduro (2002).

A Figura 27 ilustra como é feito a marcação das cordoalhas antes da pós-tensão.



**Figura 26 – Marcação com spray para anotação do alongamento**

A etapa 6 retrata o último processo do sistema de pós-tensão com cordoalhas engraxadas e plastificadas. Cauduro (2002) recomenda que, após a protensão e aprovação do alongamento dos cabos, seja feito o corte das pontas dos cabos, além de a distância entre o cabo e o bloco de ancoragem não deve ser menor que 20mm após o corte, relatado no Item 6.1. Depois da protensão dos cabos os valores de alongamento foram anotados, no entanto não foi feita a verificação do alongamento pelo engenheiro no ato da protensão e o corte extremidades dos cabos foi realizado

assim mesmo. Esse ato pode ser bastante prejudicial, uma vez que caso o alongamento dê abaixo do esperado inviabiliza qualquer reparo.

No Item 6.2 é relatado que após o tensionamento e corte das pontas dos cabos deve ser aplicada uma pintura de combate à corrosão. Na obra em questão não foi feita essa pintura, no entanto foi fixado um dispositivo plástico na extremidade cortada para evitar que ocorra o contato direto da cordoalha com o meio externo. Esse dispositivo plástico não tem uma boa estanqueidade, mas visualmente, reduz o contato da extremidade da cordoalha com sujeira e principalmente água. Sendo assim, esse dispositivo deve ser provisório e posteriormente retirado para aplicação de graute.

A Figura 28 ilustra o acabamento final dos cabos sem a aplicação de graute.



**Figura 27 – Dispositivo plástico fixado nas extremidades dos cabos**

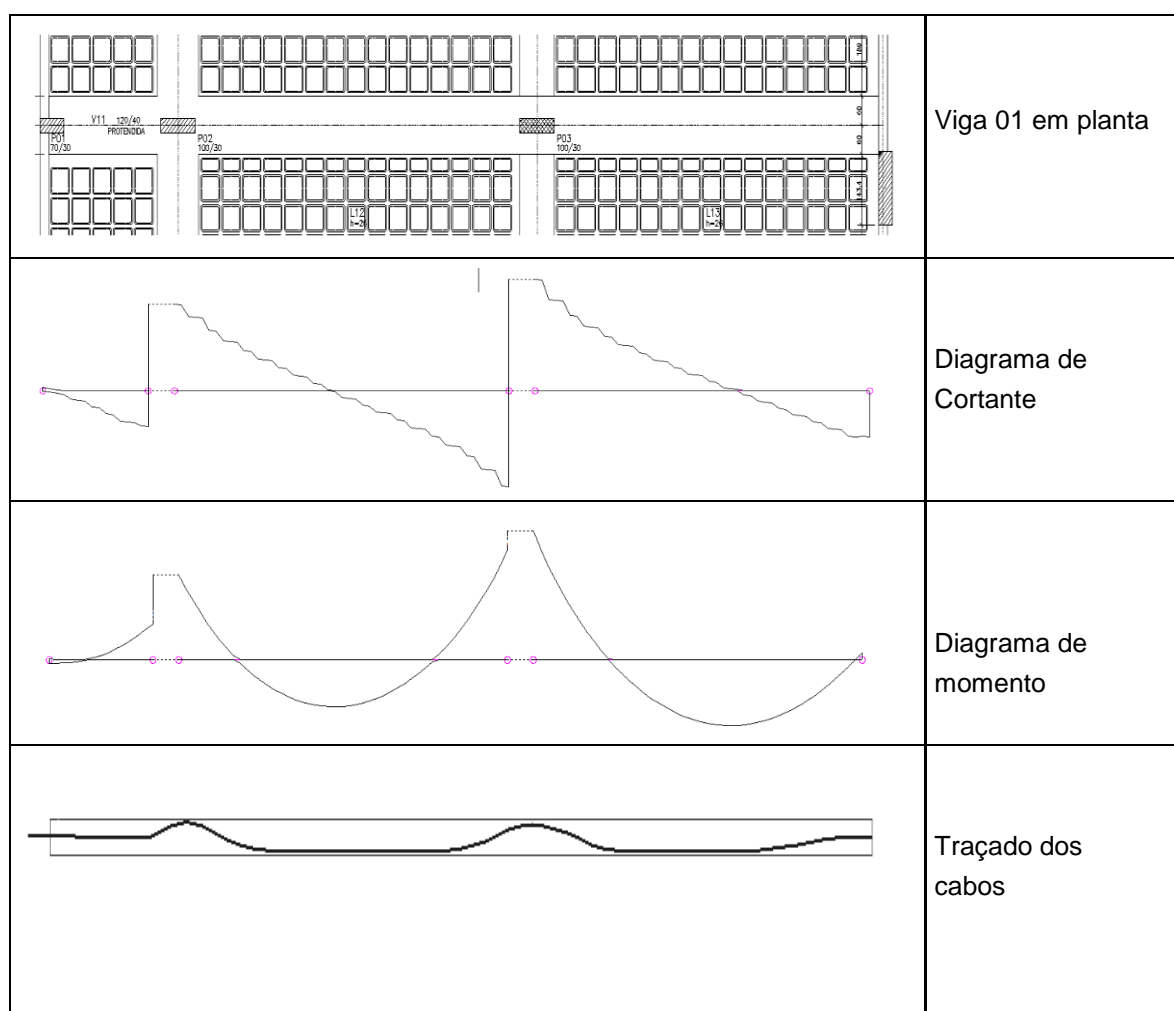
Cauduro (2002) informa que a aplicação de graute é extremamente necessária, relatada no Item 6.3. Contudo, a aplicação do graute não foi feita. Caso a cordoalha ficar muito tempo exposta, pode iniciar a corrosão da extremidade do aço.

Através dessa análise percebeu-se que a execução em obra se assemelha ao manual de Cauduro (2002), no entanto a presença da armadura passiva induziu a utilização de novas técnicas para colocação e fixação dos cabos. Cauduro (2002)

relata apenas a execução de protensão em lajes planas. Técnicas que poderiam ser detalhadas a fim de melhor orientar e facilitar a execução de protensão:

- Utilizar de um dispositivo metálico no intuito de facilitar no instante da colocação dos cabos dentro da armadura passiva da viga. Relatado no Item 3.5;
- Fixar com arame recozido o bloco e o nicho plástico junto à forma lateral. Analisado no Item 3.4;
- Descrever como movimentar os rolos dentro do layout da obra sem que haja danos significativos nas bainhas plásticas. Analisado no Item 2.1;
- Relatar que a fixação dos cabos no traçado do mesmo pode ser feita com arame recozido caso seja utilizadas barras de apoio para garantir o travamento dos cabos. Analisado no Item 3.8;
- Recomendar que seja utilizada luva plástica impermeável em todos os cabos para garantir que não haja erros de inspeção e execução. Verificado no Item 3.9;
- Treinar tanto os profissionais de pós-tensão, quanto os profissionais que executam a concretagem. Observado na Etapa 4;
- Em casos de protensão em edifício com múltiplos pavimentos, passar cabos “linha de vida” para garantir que o trabalhador esteja com o cinto de segurança tipo paraquedista preso a “linha de vida”. Analisado no Item 5.7;
- Durante o acabamento dos cabos pode ser que não seja possível a aplicação de graute nesse período, sendo necessária a utilização do dispositivo plástico até o momento da aplicação do graute;
- Também há de ser reforçados os cuidados que devem ser tomados durante a disposição dos cabos, pois um eventual erro pode acarretar graves danos estruturais.
- Cabe ressaltar que a protensão também é importante no momento dimensionamento e permite atingir grandes vãos com lajes esbeltas. A viga detalhada (p. 53) tem a distância entre os pilares próximo de 11 metros e espessura de apenas 40 cm.

Outra situação na qual o engenheiro pode se deparar é a dúvida ou a necessidade de se fazer a conferência dos traçados dos cabos em uma determinada viga. Então para se entender as mudanças de sentido vertical dos cabos, uma viga semelhante à de estudo foi modelada em cad e exportada para o Eberick V6. Feito isso, foram obtidos os esforços de momentos e cortante nas vigas. Também foi modelado em cad a viga em corte longitudinal com o traçado dos cabos (medidas do traçado retiradas em obra). A Figura 15 ilustra a relação entre o diagrama de momento e cortante com o traçado do cabo.



**Figura 28 – Relação entre o traçado dos cabos com os diagramas**

Segue no Anexo A o detalhamento aleatório das mudanças de altura dos cabos.

Essa simulação é bastante eficaz para entender o comportamento dos cabos em função do diagrama de momento. Caso o engenheiro de execução tenha alguma dúvida no traçado do cabo, a sugestão é realizar a simulação dos momentos para verificar se os cabos estão corretamente locados.

## 7 CONCLUSÃO

Por meio dessa pesquisa foi feita a análise comparativa e seletiva do método executivo no qual foi possível observar que a execução de vigas com protensão não aderente na obra em questão precisa ser melhorada, isso em relação ao Manual para conferir maior garantia do retorno esperado. Também foram levantadas sugestões que podem ser utilizadas em obras futuras para otimizar e facilitar a execução mantendo ou até melhorando a qualidade.

O objetivo do trabalho era realizar uma análise seletiva comparando o Manual de Cauduro (2002) da execução de protensão não aderente em vigas faixas à um edifício na cidade de Campo Mourão, no qual se empregou essa tecnologia. Objetivo tal que foi alcançado com êxito, partindo do princípio que o que era plausível de estabelecer comparação de modo seletivo afim de impulsionar propostas futuras.

Essa pesquisa - direcionada à execução de protensão não aderente - facilitou o entendimento de como é o procedimento da aplicação dessa tecnologia. Também proporcionou o conhecimento de ajustes técnicos que facilitam na execução.

Por meio desse estudo se observou que a utilização do concreto protendido se torna necessária quando a arquitetura é prioridade. Sendo assim, os demais projetos são forçados a se adequarem ao exigido pela arquitetura.

O concreto protendido mostrou ser uma alternativa barata e eficaz sendo evidenciada pela sua fácil execução no canteiro de obras. A aplicação desse tecnologia se faz necessária em obras onde o foco é propiciar vãos livres maiores, ganhos de espaços internos com ausência de pilares e acelerar o processo executivo da obra. Por fim, a elaboração dessa pesquisa teve como intuito reunir mais experiências de execução de protensão não aderente a fim de apoiar estudantes e também profissionais interessados na área, considerando a relativa raridade dessa tecnologia nas proximidades de Campo Mourão.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Tatiana Gesteira Martins de. **Noções de concreto protendido**. 1999, 47f. Trabalho apresentado à disciplina de Concreto armado II. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999. Disponível em: <<http://www.set.eesc.usp.br/cursos/SET5863/old/Concreto%20Protendido/Protendido%20-%20Texto.doc>> Acesso em: 10 mar. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto armado e protendido. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 7482**: Fios de aço para concreto protendido, Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 7483**: Cordoalhas de aço para concreto protendido, Rio de Janeiro, 1990.

\_\_\_\_\_. **NBR 7483**: Cordoalhas de aço para concreto protendido, Rio de Janeiro, 2004.

BUCHAIM, Roberto. **Concreto protendido**: Tração Axial, Flexão Simples e Força Cortante. Londrina: Editora da Universidade Estadual de Londrina, 2007.

CAUDURO, Eugenio Luiz. Protensão: em favor da leveza. **Revista Techné**. São Paulo, ano 6, n. 26, p. 1-6, jan/fev 1997. Disponível em: <[https://www.belgo.com.br/solucoes/artigos/pdf/leves\\_puxam\\_mercado.pdf](https://www.belgo.com.br/solucoes/artigos/pdf/leves_puxam_mercado.pdf)> Acesso em: 10 mar. 2013.

CAUDURO, Eugenio Luiz. **Manual para boa execução de concreto protendido usando cordoalhas de aço engraxadas e plastificadas**. 2. Ed. São Paulo, 2002. Disponível em: <[http://www.deecc.ufc.br/Download/TB812\\_Estruturas%20de%20Concreto%20Protendido/Manual.pdf](http://www.deecc.ufc.br/Download/TB812_Estruturas%20de%20Concreto%20Protendido/Manual.pdf)> Acesso em: 10 Mar. 2013.

CICHINELLI, Gisele. Como fiscalizar protensões em tabuleiros de pontes. **Infraestrutura Urbana**. São Paulo, ano 2, n. 19, p. 58-61, out 2012. Disponível em: <<http://www.infraestruturaurbana.com.br/solucoes-tecnicas/19/artigo267610-3.asp>> Acesso em: 20 abril. 2013.

CONCRETO PROTENDIDO, **Catálogo Rudloff**. São Paulo, 2012. Disponível em: <[http://www.rudloff.com.br/downloads/catalogos/catalogo\\_concreto\\_protendido-site.pdf](http://www.rudloff.com.br/downloads/catalogos/catalogo_concreto_protendido-site.pdf)> Acesso em 15 mar. 2013.

EMERICK, Alexandre Anozé. **Projeto e execução de lajes protendidas**. Brasília, 2002. Disponível em:  
<[http://www.deecc.ufc.br/Download/TB812\\_Estruturas%20de%20Concreto%20Protendido/LP.pdf](http://www.deecc.ufc.br/Download/TB812_Estruturas%20de%20Concreto%20Protendido/LP.pdf)> Acesso em 15 mar. 2013.

FIOS E CORDOALHAS PARA CONCRETO PROTENDIDO, **Catálogo ArcelorMittal**. 2010. Disponível em:  
<[https://www.belgo.com.br/produtos/construcao\\_civil/fios\\_cordoalhas/pdf/fios\\_cordoalhas.pdf](https://www.belgo.com.br/produtos/construcao_civil/fios_cordoalhas/pdf/fios_cordoalhas.pdf)> Acesso em 30 mar. 2013.

HANAI, João Bento de. **Fundamentos do concreto protendido**. São Carlos, SP, 2005. Disponível em:  
<<http://www.set.eesc.usp.br/cursos/SET411/hanai/Apostila%20SET411-2009.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2013.

HOUAISS, Antônio; VILLAR, Mauro de Salles. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ, 2001. 2317 p.

ISHITANI, Hideki; LEOPOLDO, Ricardo; FRANÇA, Silva. **Concreto protendido: fundamentos iniciais**. 2002. 30f. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em:<[http://www.lem.ep.usp.br/pef2304/protendido\\_c1e2.pdf](http://www.lem.ep.usp.br/pef2304/protendido_c1e2.pdf)> Acesso em: 10 Mar. 2013.

OLIVEIRA, Nildo Carlos. Quem construiu o Brasil moderno. **Revista O Empreiteiro**. São Paulo, 2012. Disponível em:  
<[http://www.oempreiteiro.com.br/Publicacoes/11248/Quem\\_construiu\\_o\\_Brasil\\_moderno.aspx](http://www.oempreiteiro.com.br/Publicacoes/11248/Quem_construiu_o_Brasil_moderno.aspx)> Acesso em 04 de Abri. 2013.

PFEIL, Walter. **Concreto protendido: processos construtivos, perda de protensão**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1983.

PFEIL, Walter. **Concreto protendido: processos construtivos, perda de protensão e sistemas estruturais**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1980.



MENEZES DE ALMEIDA FILHO, Fernando Menezes de. **Estruturas de pisos de edifícios com a utilização de cordoalhas engraxadas**. 2002, 191f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-26052006-153328/pt-br.php>> Acesso em 10 mar. 2013.

VASCONCELOS, Augusto Carlos de. **O concreto no Brasil: recordes – realizações – história**. São Paulo: Pini, 1992.

VERÍSSIMO, Gustavo de Souza; JUNIOR, Kléos M Lenz César. (1998). **Concreto protendido**. Fundamentos Básicos. 4. ed. Universidade Federal de Viçosa – UFV. 1998 – Viçosa. 72 p. Disponível em <[http://www.dcc.ufpr.br/wiki/images/5/52/TC-038\\_CProtendido.pdf](http://www.dcc.ufpr.br/wiki/images/5/52/TC-038_CProtendido.pdf)>. Acesso em: 25 fev. 2013.

## Apêndice A – Viga

