

Monografia

“Concreto Protendido - Vantagens e desvantagens dos diferentes processos de protensão do concreto nas estruturas”

Autor: Sérgio Vannucci de Castro

Prof. Orientador: Aldo Giuntini de Magalhães

Abril/2011

Sérgio Vannucci de Castro

**“Concreto Protendido - Vantagens e desvantagens dos diferentes
processos de protensão do concreto nas estruturas”**

Monografia apresentada ao Curso de
Especialização em Construção Civil
da Escola de Engenharia da UFMG

Ênfase: Concreto Protendido

Prof. Orientador: Aldo Giuntini de Magalhães

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG

2011

Sérgio Vannucci de Castro

**“Concreto Protendido - Vantagens e desvantagens dos diferentes
processos de protensão do concreto nas estruturas”**

Monografia apresentada ao Curso de
Especialização em Construção Civil
da Escola de Engenharia da UFMG

Aldo Giuntini de Magalhães

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2011

Agradeço a Deus pela presença constante em
minhas decisões.

AGRADECIMENTOS

A minha família pelo apoio, carinho, dedicação e paciência.

Ao Engenheiro Tiago Santos Coutinho pela gentileza, presteza e esclarecimentos.

Aos colegas de curso pela alegria e convivência prazerosa além do apoio nos trabalhos.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 Breve histórico	14
2.2 Definição de protensão.....	16
2.3 Os dez mandamentos do Engenheiro de concreto protendido	19
2.3.1 Ao projetar	19
2.3.2 Ao construir	20
2.4 Protensão aplicada ao concreto	20
2.5 Sentido econômico do concreto protendido.....	23
2.6 Vantagens e desvantagens técnicas do concreto protendido	24
2.6.1 Vantagens.....	24
2.6.2 Desvantagens	26
2.7 Tipos de protensão	27
2.7.1 Protensão aderente	27
2.7.2 Protensão não aderente	29
2.8 OUTRAS VANTAGENS	33
2.8.1- Utilização do Sistema DRY WALL	33
2.8.2- Nas fundações	34
3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	35
3.1 Projeto	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5. CONCLUSÃO	43
6. ANEXO 1	44
ANEXO 2	45
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 : Cordoalhas Engraxadas e Plastificadas armazenadas em rolos para posterior corte na medida da laje	16
Figura 2.2 : Levantamento de uma linha de livros	17
Figura 2.3 : Distribuição das tensões.....	18
Figura 2.4 : Comportamento de uma viga sob efeito de cargas.....	21
Figura 2.5 : Comportamento de uma viga tracionada	22
Figura 2.6 : Distribuição das tensões em uma viga protendida.....	23
Figura 2.7 : Exemplo de edificação com lajes protendidas – sem vigas e com menos pilares.....	24
Figura 2.8 : Corte da laje em concreto armado.....	25
Figura 2.9 : Corte da laje em concreto protendido.....	26
Figura 2.10 : Laje com Protensão Aderente – Monte Rushmore – USA	27
Figura 2.11 : Bainha Metálica e Purgadores	28
Figura 2.12 : Cordoalha Engraxada e Plastificada	29
Figura 2.13 : Seção Transversal de Uma Cordoalha Engraxada e Plastificada	30
Figura 2.14 : Máquina de corte de cordoalhas.....	31
Figura 2.15 : Sistemas de apoio para armadura convencional “cadeirinhas” e treliças para apoiar as cordoalhas.....	31
Figura 2.16 : Sistemas de apoio para as cordoalhas	32
Figura 3.1 : Grandes vãos proporcionados pela laje protendida.....	36
Figura 3.2 : Armazenagem das cordoalhas.....	37

Figura 3.3 : Instalação das cordoalhas.....	37
Figura 3.4 : Ancoragem passiva.....	38
Figura 3.5 : Ancoragem ativa.....	38
Figura 3.6 : Marcação das cordoalhas após a protensão.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 : Consumo de materiais – Concreto Armado	40
Tabela 3.2 : Consumo de materiais – Concreto Protendido	41
Tabela 3.3 : Resultado Final	42

LISTA DE NOTAÇÕES, ABREVIATURAS

A = área de atuação de uma força

d = diâmetro de barra

E = módulo de elasticidade

ε = deformação específica

ρ = densidade do material

σ = tensão

MPa = Mega Pascal

DIN = Deutsches Institut für Normung, Berlin (Alemanha)

NBR = Norma Brasileira

RESUMO

Este trabalho visa à aplicação da protensão em lajes planas, através do desenvolvimento de novas técnicas construtivas e necessidade de soluções práticas na área da construção.

Muitos estudos foram e estão sendo realizados com o intuito de se conhecer bem o comportamento de lajes protendidas, de forma a tirar o maior proveito, e com segurança, de suas possibilidades construtivas.

Aqui faremos a comparação de dois métodos de análise, o processo convencional (laje com concreto armado) e as lajes com concreto protendido, aplicados em modelos de lajes planas, apresentando resultados numéricos.

Visa também tentar sintetizar os princípios do dimensionamento e detalhamento de lajes em concreto protendido, sem grandes aprofundamentos teóricos, servindo como orientação resumida, porém objetiva, sobre o assunto apresentando resultados numéricos e a comparação entre eles.

Contêm, de forma sintética e clara, resultados e conclusões mais importantes, destacando-se os valores achados e a originalidade.

Revela também a conveniência ou não de se usar um ou outro método de construção seja ele o convencional ou o de proteção.

Objetiva, portanto apresentar aos empreendedores e aos projetistas, as vantagens e as desvantagens de cada processo, visando principalmente à utilização de tecnologia de ponta para obter melhores resultados e custos.

1. INTRODUÇÃO

A aplicação da protensão em lajes tem sido difundida cada vez mais no Brasil principalmente no Ceará e Espírito Santo.

Muitos estudos estão sendo realizados com o intuito de se conhecer bem o comportamento de lajes protendidas, de forma a tirar o maior proveito, com segurança, de suas possibilidades construtivas.

Este trabalho visa proporcionar e sugerir o uso deste procedimento construtivo, aos empreendedores do mercado imobiliário, uma vez que é pouco difundido ainda em nosso meio.

Apresenta também suas vantagens e desvantagens para que possam definir sobre a utilização ou não deste método.

Resolvi me dedicar especificamente, ao concreto protendido *não aderente* em lajes de edifícios residenciais e comerciais, uma vez que este método é mais fácil de executar e também é o mais recomendado para o objetivo proposto.

A aplicação da protensão nas lajes tem apresentado um crescimento muito grande nestes últimos tempos, mas existem regiões no Brasil que ainda podem crescer muito mais através de uma maior divulgação desta aplicação entre os profissionais da área, principalmente os que ainda não tiveram contato com tal sistema.

Devido ao aumento do interesse de profissionais da área de engenharia civil e de arquitetura sobre o tema “Lajes Protendidas” e suas vantagens, este trabalho vem contribuir como literatura sobre o assunto, apresentando estudo comparativo entre os modelos de cálculo de lajes planas e aspectos relativos ao projeto destas.

A metodologia empregada é simples e foi adotado o método comparativo tendo-se como base um projeto de edifício residencial onde foi calculada sua estrutura para ser executada tanto no método convencional quanto para ser executado com a protensão.

Espero que ao final deste trabalho, possa ter contribuído para que mais profissionais da área possam usar desta ferramenta para difundir este procedimento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Breve histórico

Desde o final do século 19, tem-se notícias de experiências do uso de concreto protendido. Ocorre que foram fracassadas estas primeiras iniciativas uma vez que as forças iniciais de protensão eram praticamente eliminadas pela retração e fluência do concreto.

Em 1928 o engenheiro francês, Eugène Freyssinet com o objetivo de vencer a fraca resistência à tração que o concreto possui, utilizou-se de arames de alta resistência ao concreto armado e desta forma começou a resolver estes problemas.

Em 1936 o Engenheiro Alemão Dischinger projetou a primeira ponte utilizando deste conceito tecnológico utilizando-se da protensão sem aderência com cabos externos.

Com o desenvolvimento e fabricação de novos equipamentos e a criação de sistemas de ancoragens, o uso do concreto protendido passou a ser utilizado com mais frequência nas obras.

Embora algumas estruturas com lajes protendidas tenham sido concebidas e executadas primeiramente por engenheiros europeus, o real desenvolvimento dessas estruturas se deu nos EUA e Austrália que “abraçaram” a idéia e investiram forte neste seguimento.

As primeiras lajes protendidas foram erguidas nos EUA em 1955, já usando protensão não aderente.

Nos anos seguintes numerosas obras com lajes protendidas foram projetadas e executadas em conjunto com o método “lift slab” (lajes elevadas), que consiste em fundir diversas lajes umas sobre as outras, apoiadas sobre o solo, que depois são içadas e ancoradas nos pilares.

A protensão possibilitou a redução do peso a ser elevado (no método lift slab) e um melhor desempenho da laje com melhor controle de deformações e fissuração além de proporcionar maior velocidade de execução de edifícios.

No Brasil, a primeira ponte protendida foi construída no Rio de Janeiro em 1949 e projetada por Freyssinet.

Foram feitos vários estudos teóricos e experimentais em placas protendidas para ampliar o conhecimento a respeito destas objetivando assim seu uso em maior escala.

O esforço comum de pesquisadores, engenheiros projetistas e construtores resultaram em recomendações e padronizações que ajudaram a promover e difundir o uso desta forma de construção.

As lajes protendidas com cordoalhas não aderentes têm sido empregadas nos Estados Unidos (desde a década de 50), inicialmente com cabos engraxados e envolvidos em papel.

Posteriormente desenvolveu-se uma tecnologia de proteção anticorrosiva formada por um tubo de polietileno ou polipropileno e uma proteção secundária constituída por uma graxa especial que envolve a cordoalha (cordoalhas engraxadas e plastificadas).

No Brasil, a utilização das cordoalhas engraxadas e plastificadas só se tornou viável a partir de 1997, com a fabricação destas pela Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira (em Belo Horizonte/MG) que atualmente é controlada pela Arcelor Mittal.

Desde então, esta nova tecnologia vem tendo grande utilização principalmente em lajes planas lisas, possibilitando um controle adequado às flechas e praticamente eliminando o efeito da fissuração, obtendo-se uma estrutura de excelente qualidade.



FIGURA 2.1 –Cordoalhas Engraxadas e Plastificadas armazenadas em rolos para posterior corte na medida da laje.

As lajes lisas protendidas apresentam alta resistência e por não possuírem vigas, permitem uma total flexibilidade quer na distribuição de tubulações e dutos, quer na disposição das paredes divisórias, sendo, portanto, indicadas tanto nos edifícios de escritórios como nos de apartamentos.

2.2 Definição de protensão

A palavra protensão significa “pré-tensão” portanto, é o artifício de se introduzir, numa estrutura, um estado prévio de tensões, de modo a melhorar sua resistência ou seu comportamento, sob ação das diversas solicitações que as estruturas serão submetidas, quando postas a estas solicitações.

Veja a figura a seguir:

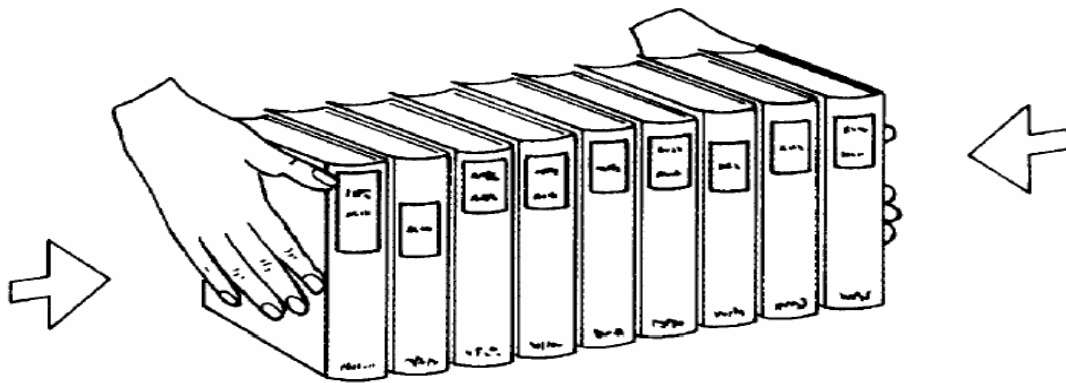


Figura 2.2 : Levantamento de uma linha de livros

Uma maneira simples de se entender o princípio básico da protensão, é pensar em uma linha de livros conforme a figura acima.

Como os livros são peças soltas, para levantá-los é imprescindível que se aplique uma força horizontal de forma a comprimir uns contra os outros. Quanto mais pressionarmos os livros uns contra os outros, maior a força de atrito entre eles, maior vai ser a capacidade deles, de sustentarem uma possível carga vertical aplicada sobre os mesmos.

É sabido que o concreto tem resistência à compressão várias vezes maior que a resistência a tração. É sabido também que o aço tem resistência à tração várias vezes maior que sua resistência a compressão.

Portanto, se completam, utiliza-se a alta resistência do aço à tração, para comprimir o concreto e assim formar, da laje, um conjunto altamente resistente a esforços de carga a ela impostos.

Veja demonstração na figura abaixo:

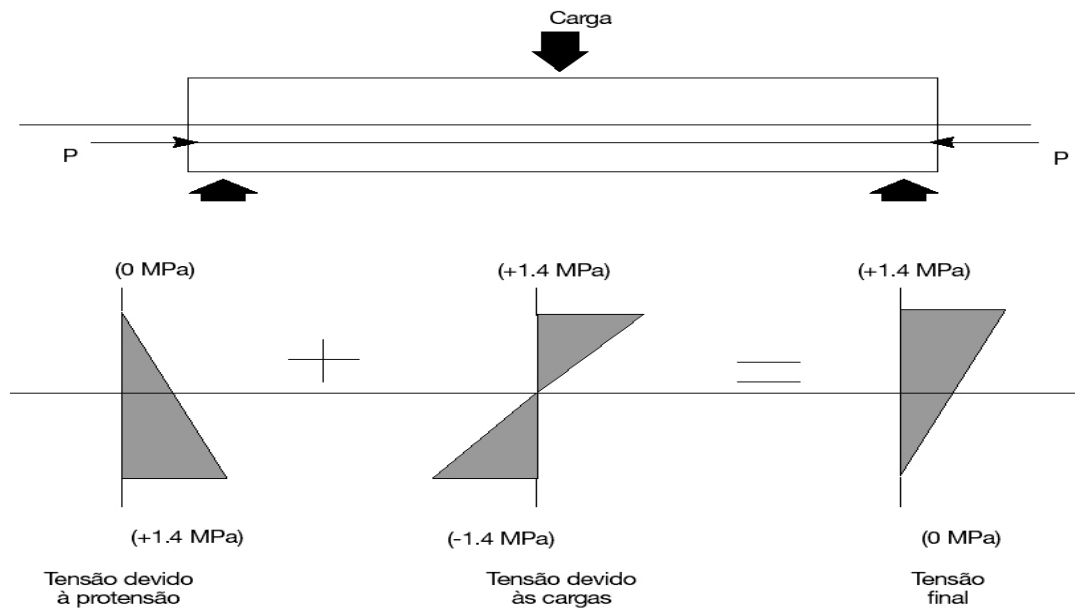


Figura 2.3 : Distribuição das tensões.

O concreto protendido é o tipo de concreto armado no qual a armadura ativa sofre um pré-alongamento, gerando um sistema de compressão do concreto e tração da armadura.

Quando a protensão é aplicada, cria-se uma carga de aperto que faz com que se crie uma força de compressão que compensa a tensão que o concreto exibiria face aos esforços de carregamento.

Essa é a principal diferença entre o concreto armado e o concreto protendido, responsável pelo seu sucesso.

Desse modo, a estrutura protendida apresenta melhor desempenho perante as cargas externas a ela expostas.

2.3 Os dez mandamentos do Engenheiro de Concreto protendido

O engenheiro Antônio Carlos Reis Laranjeiras professor emérito da Universidade da Bahia comenta um sábio decálogo escrito pelo Prof. Fritz Leonhardt, dirigido aos engenheiros calculistas e de estruturas.

Como deve se comportar o engenheiro ao projetar e ao executar uma obra concebida em concreto protendido.

2.3.1 Ao projetar

- 1- Protender significa comprimir o concreto. A compressão acontece apenas onde o encurtamento é possível. Cuide-se para que a sua estrutura possa encurtar-se na direção da protensão.
- 2- Em cada mudança de direção do cabo de protensão, surgem forças internas radiais ao aplicar a protensão. Mudanças de direção do eixo das peças geram por sua vez, forças internas de desvio. Pense nisto ao proceder à análise e o dimensionamento.
- 3- As altas tensões admissíveis a compressão do concreto não devem ser incondicionalmente utilizadas! Escolha a seção transversal de concreto adequada a acomodar os cabos de protensão, de modo a permitir sua boa concretagem, do contrário não se consegue na obra executar o concreto de consistência seca a ser vibrado, necessário ao concreto protendido.
- 4- Evite tensões de tração sob peso próprio e desconfie da resistência à tração do concreto.
- 5- Disponha armadura passiva de preferência na direção transversal à da protensão e especialmente nas regiões de introdução das forças de protensão.

2.3.2 Ao construir

- 6- O aço de protensão é mais resistente que o comum e sensível a corrosão, moissas, dobras e aquecimento. Manipule-o com cuidado. Assente os cabos de protensão com exatidão, impermeáveis e indeslocáveis, para não ser penalizado pelo atrito.
- 7- Planeje seu programa de concretagem de modo que todo concreto possa ser bem vibrado, e que as deformações do escoramento não provoquem fissuras no concreto ainda jovem. Execute a concretagem com o maior cuidado, senão as falhas de concretagem se vingarão por ocasião da protensão.
- 8- Teste a mobilidade da estrutura ao encurtamento na direção da protensão, antes de sua aplicação.
- 9- Aplique a protensão prematuramente em peças longas, mas apenas parcialmente, de modo a obter moderadas tensões de compressão, capazes de evitar fissuras de retração e temperatura. Só aplique a força total de protensão quando o concreto apresentar resistência suficiente. As solicitações mais desfavoráveis no concreto têm lugar, geralmente, por ocasião da protensão. Execute a protensão sob controle contínuo dos alongamentos e da força aplicada. Preencha cuidadosamente o protocolo de protensão.
- 10- Só aplique a protensão após controle de sua exequibilidade e sob estrita observância das Normas de Procedimento.

2.4 Protensão aplicada ao concreto

O uso da protensão tem uma importância crucial no caso do concreto, por algumas razões como se segue:

2.4.1- O concreto tem excelente resistência à compressão.

2.4.2- O concreto tem pequena resistência à tração, (da ordem de 10% de resistência à compressão). Além de pequena, a resistência à tração, o concreto é pouco confiável devido às fissuras provocadas, geralmente pela retração do mesmo, que gera em médio longo prazo, corrosão das armaduras devido à exposição das mesmas ao contato com o ar (Oxigênio).

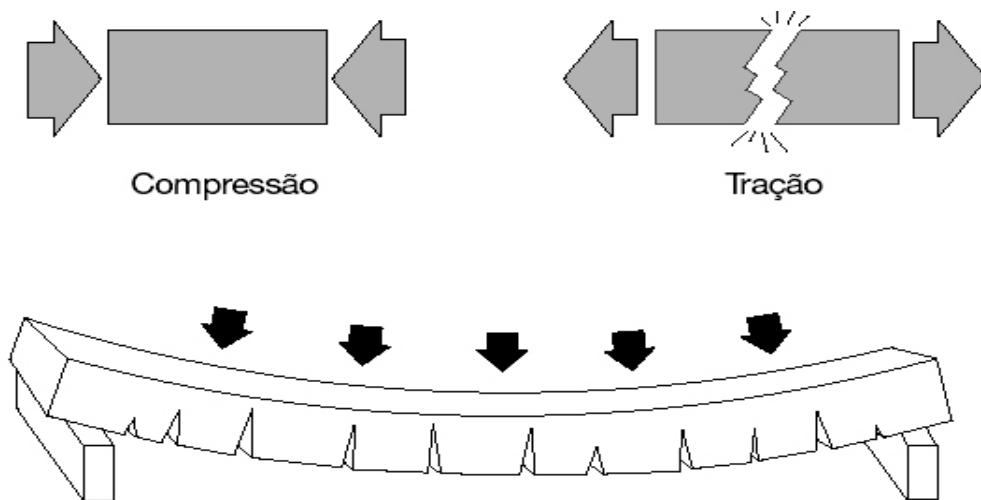


Figura 2.4 : Comportamento de uma viga sob efeito de cargas.

Sendo o concreto um material de propriedades tão diferentes a compressão e a tração, o seu comportamento pode ser melhorado aplicando-se compressão prévia (isto é, protensão) nas regiões onde as solicitações produzem tensões de tração.

A protensão do concreto é realizada, na prática, por meio de cabos de aço de alta resistência, tracionados e ancorados no próprio concreto. O artifício da protensão desloca a faixa de trabalho do concreto para o âmbito das compressões, onde o material é mais eficiente. Com a protensão, aplicam-se tensões de compressão nas partes da seção tracionadas pelas solicitações dos carregamentos.

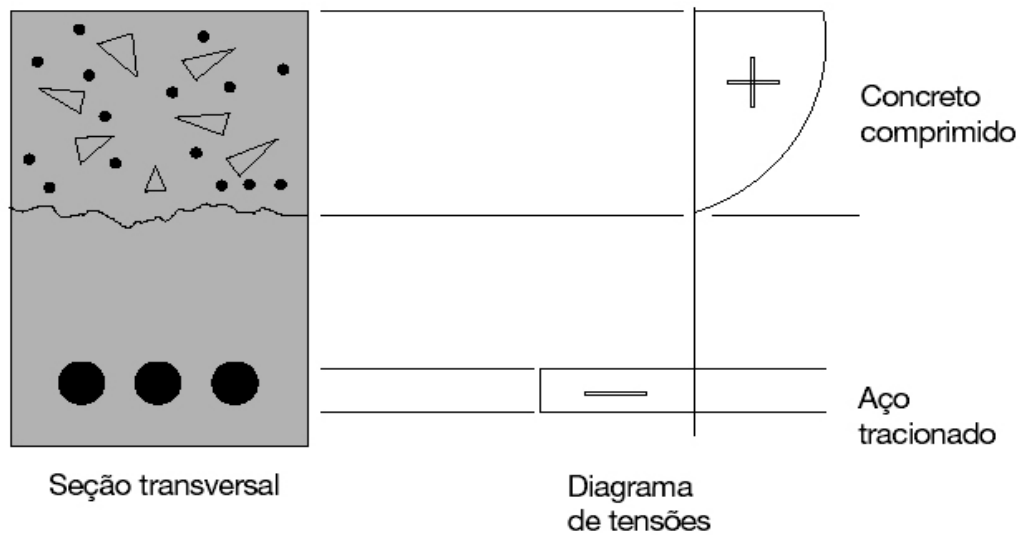


Figura 2.5 : Comportamento de uma viga tracionada

Sob ação de cargas, uma viga protendida sofre flexão, alterando-se as tensões de compressão aplicadas previamente. Quando a carga é retirada, a viga volta à sua posição original e as tensões prévias são restabelecidas.

Se as tensões de tração provocadas pelas cargas forem inferiores às tensões prévias de compressão, a seção continuará comprimida, não sofrendo fissuração.

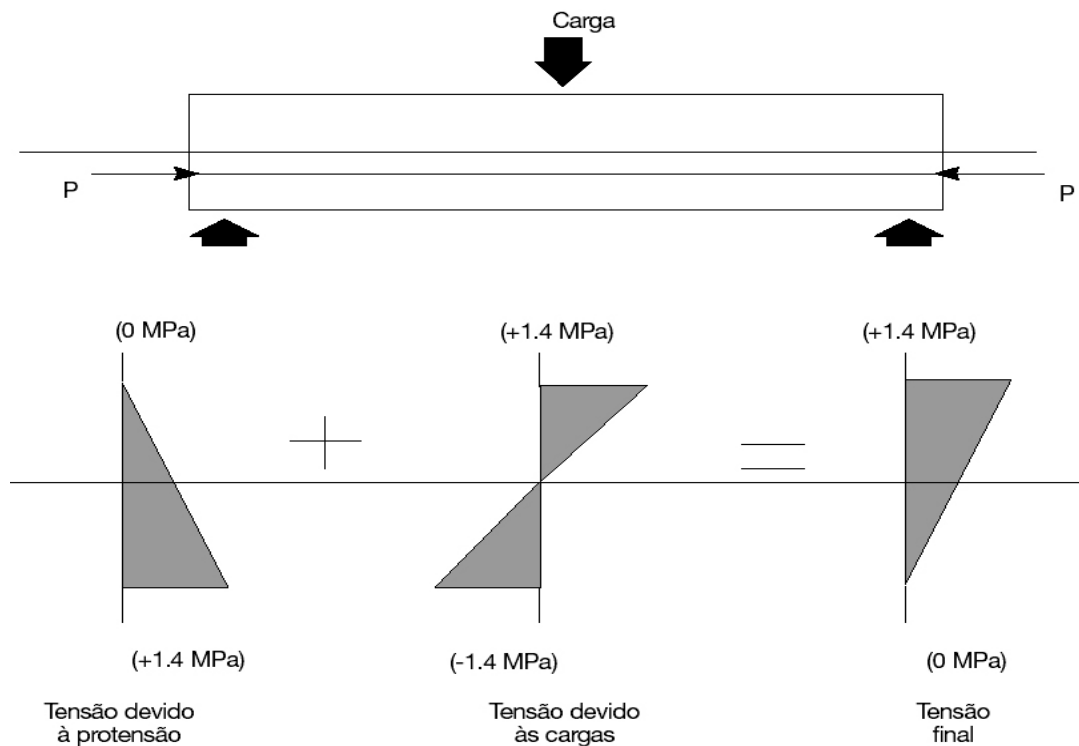


Figura 2.6 : Distribuição das tensões em uma viga protendida.

2.5 Sentido econômico de concreto protendido

As resistências de concreto, utilizadas em concreto protendido, são duas a três vezes maiores que as utilizadas em concreto armado. Os aços utilizados nos cabos de protensão têm resistência três a cinco vezes superiores às dos aços usuais do concreto armado.

O sentido econômico do concreto protendido consiste no fato de que os aumentos percentuais de preço em relação ao custo das cordoalhas de protensão e também em relação ao custo de um concreto de melhor qualidade podem ser inferiores a estes acréscimos.



Figura 2.7 : Exemplo de edificação com lajes protendidas – sem vigas e com menos pilares.

2.6 Vantagens e desvantagens técnicas do concreto protendido

2.6.1. Vantagens

2.6.1.1 Reduz as tensões de tração provocadas pela flexão e pelos esforços cortantes aplicadas nas lajes;

2.6.1.2. Reduz a incidência de fissuras muito comuns em lajes submetidas à forte sobrecarga;

2.6.1.3. Em comparação com o concreto armado, há uma considerável economia de concreto e aço, em função da utilização da seção transversal plena em serviço (protensão completa ou limitada) e da utilização de materiais mais resistentes (Tanto o concreto quanto o aço). As lajes protendidas são mais esbeltas que as de concreto armado, possibilitando menor altura do edifício, ou melhor, aproveitamento da altura total, permitindo até o acréscimo de um ou mais pavimentos dependendo da altura da edificação;

2.6.1.4. A laje protendida vence vãos que seriam inviáveis de serem vencidos com concreto armado, acarretando maiores possibilidades arquitetônicas com menores restrições ao aproveitamento dos espaços, devido à maior distância entre os pilares;

2.6.1.5. Reduz as cargas impostas às fundações devido à estrutura se tornar mais leve;

2.6.1.6. Durante a operação de protensão, o concreto e o aço são submetidos a tensões em geral superiores às que poderão ocorrer nas cargas de serviço. A operação de protensão constitui, neste caso, uma espécie de prova de carga da laje;

2.6.1.7. Redução também no tempo de construção devido da facilidade de execução das formas, seu reaproveitamento e a não utilização de vigas nas estruturas.

Corte da Laje: Concreto Armado

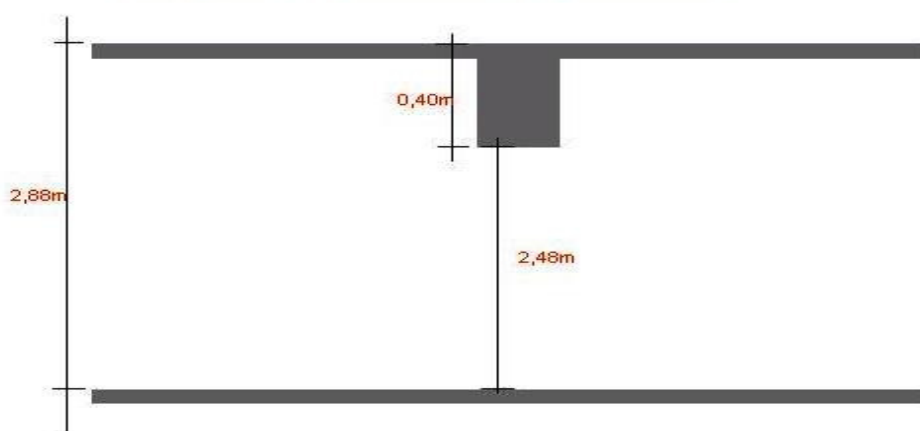


FIGURA 2.8 – Corte da laje em concreto armado.

As vigas ocupam 40 cm do teto do andar obrigando quase sempre aos arquitetos, a instalarem paredes ali, para disfarçar ou encobrir estas saliências, e exigindo também à utilização de pé direito maior.

Corte da Laje: Concreto Protendido

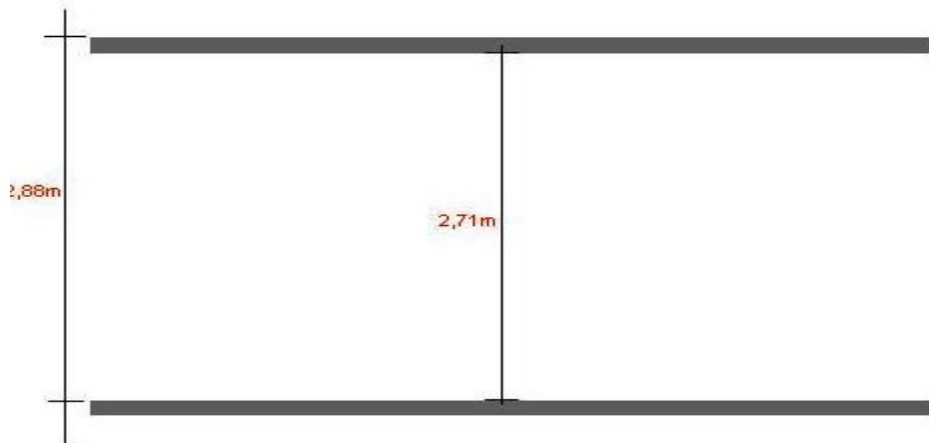


FIGURA 2.9 – Corte da laje em concreto protendido.

Neste caso com a laje em concreto protendido, o vão fica livre e as paredes podem ser colocadas em qualquer local, pois não existem vigas.

2.6.2. Desvantagens

2.6.2.1. Carência de mão de obra especializada.

2.6.2.2. Dependendo da geometria da estrutura pode ser inviável técnica ou financeiramente.

2.6.2.3. Carência de profissionais da área de projetos e cálculo estrutural devido possivelmente a falta de uma maior divulgação deste procedimento.

2.7 TIPOS DE PROTENSÃO

Existem dois tipos de sistemas de protensão, a protensão aderente (com cabos envoltos em bainhas metálicas) e a protensão não aderente (com cabos envoltos por bainhas engraxadas), que serão descritas a seguir:

2.7.1. Protensão Aderente

A protensão aderente consiste na utilização de cabos em bainhas metálicas que podem ser lisas ou onduladas, nas quais se faz a injeção de calda de cimento a fim de permitir a aderência necessária ao sistema.



FIGURA 2.10 Laje com Protensão Aderente – Monte Rushmore – USA

Este tipo é indicado quando necessitamos de formar um conjunto com alta densidade de cabos metálicos como no caso de pontes por exemplo.

As bainhas possuem tubos acoplados que espaçados adequadamente permitem que se injete a calda de cimento, e outros que funcionam como purgadores que tem a finalidade de permitir a saída de ar e controlar o perfeito preenchimento dos espaços vazios entre o cabo e a bainha internamente conforme mostra a figura a seguir.

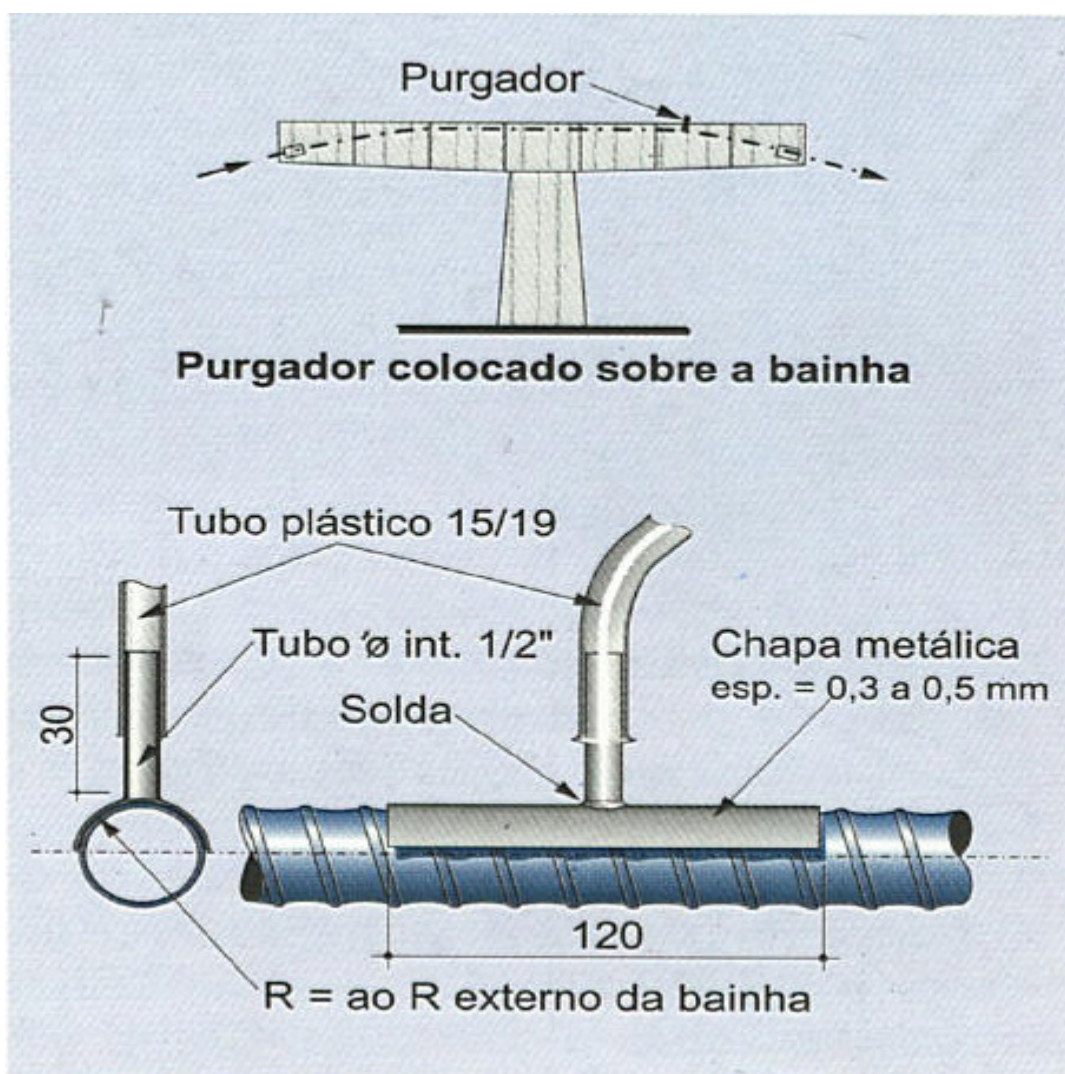


FIGURA 2.11 - Bainha Metálica e Purgadores

2.7.2. Protensão não Aderente

A protensão não aderente utiliza-se de cabos engraxados e cobertos por bainhas plásticas (polietileno ou polipropileno) de alta aderência que proporcionam proteção contra corrosão.

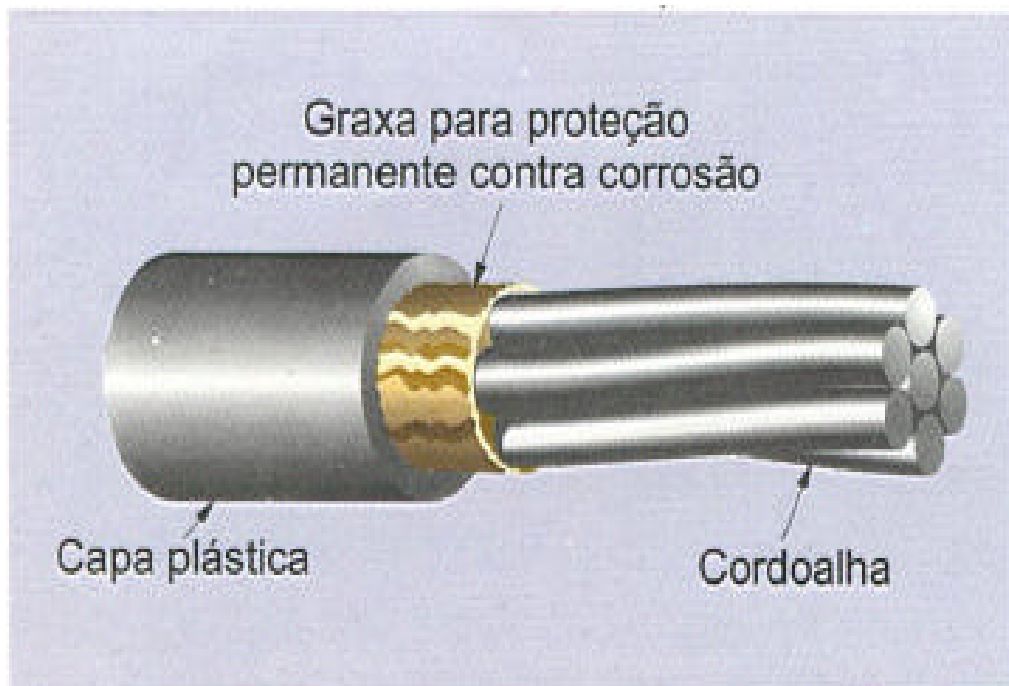


FIGURA 2.12 – Cordoalha Engraxada e Plastificada

Este sistema proporciona colocar os cabos diretamente sobre a laje e concretá-los de forma convencional tornando mais fácil, ágil e simples os procedimentos durante a montagem.

Esta proteção plástica protege os cabos da corrosão e dos impactos de manuseio tanto no transporte quanto na instalação.

São mais utilizados para resolver problemas de deformidade excessiva e para diminuir a utilização de pilares e vigas proporcionando assim melhor desempenho das lajes em edifícios comerciais e residenciais.

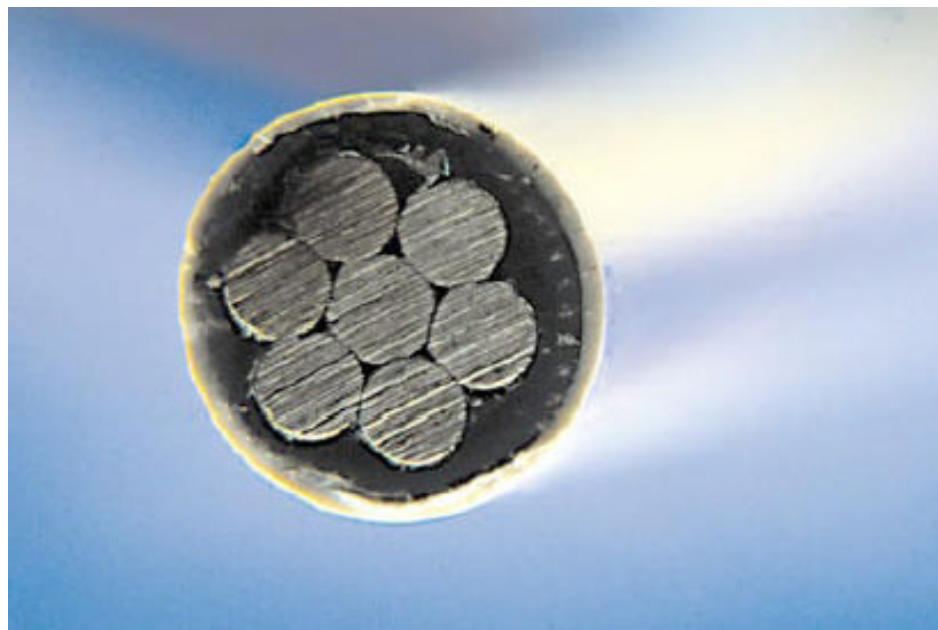


FIGURA 2.13 – Seção Transversal de Uma Cordoalha Engraxada e Plastificada

As cordoalhas são fabricadas com cabos de aço e armazenadas em rolos que posteriormente serão cortados sob medida para cada laje conforme solicitado pelo cliente.

Elas serão assim devidamente etiquetadas e numeradas para serem enviadas à obra, de forma a serem posicionadas e instaladas de acordo com sua exata posição na estrutura.

Os fornecedores possuem um sistema de controle que permite fazer com que o projeto seja executado de forma confiável e com controle absoluto sobre o produto e sua execução e localização na estrutura.

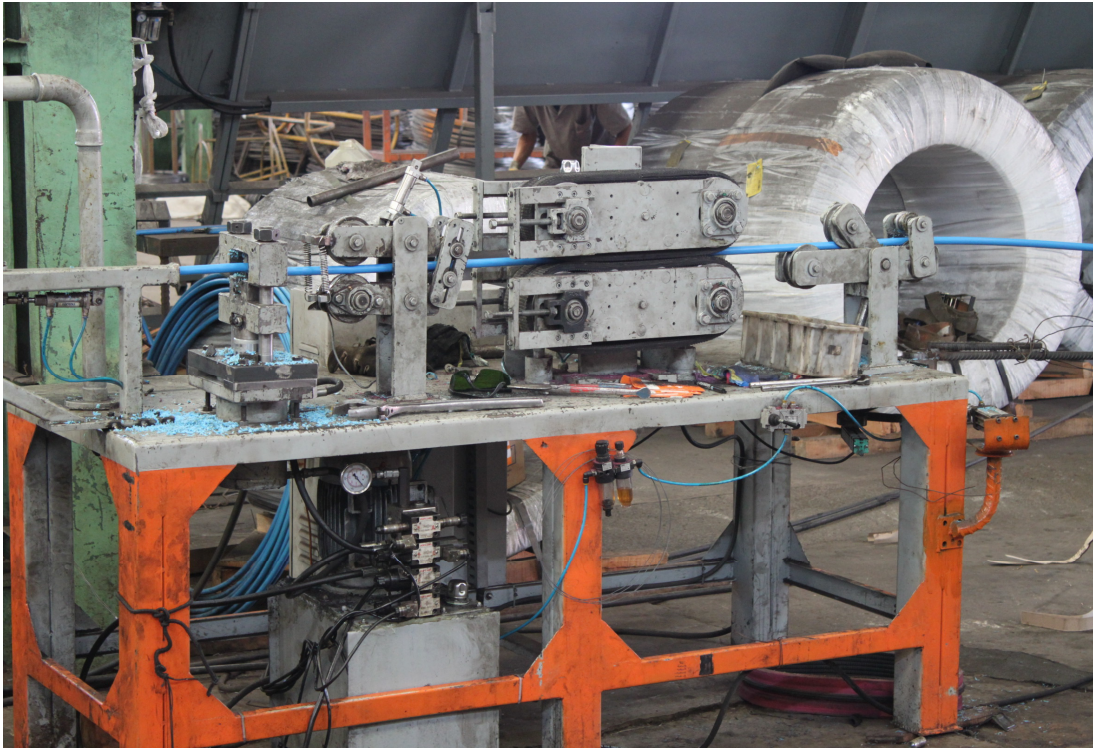


FIGURA 2.14 – Máquina de corte de cordoalhas.



FIGURA 2.15 – Sistemas de apoio para armadura convencional “cadeirinhas” e treliças para apoiar as cordoalhas.



FIGURA 2.16 – Sistemas de apoio para as cordoalhas

2.8 OUTRAS VANTAGENS

2.8.1- UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DRY WALL

Com a utilização do concreto protendido nas lajes, os vãos ficam mais livres e proporcionam a utilização de outra opção tecnológica que ainda está “engatinhando” no Brasil que é o sistema Dry Wall.

O uso do gesso acartonado já completa mais de vinte anos, e no Brasil ainda está se iniciando, graças à vinda de empresas fabricantes de renome mundial.

Sua grande vantagem é permitir que o usuário tenha facilidades maiores com a parede pronta do que com a alvenaria convencional.

Este sistema proporciona as construtoras a oferecerem apartamentos que podem ser divididos ao gosto do cliente, pois, a ausência total de vigas permite a colocação das paredes onde o cliente quiser sem comprometer sua funcionalidade.

Para o construtor as vantagens também são as relacionadas com a redução de peso na estrutura que passa a ser de vinte a trinta kg/m^2 , contra cento e quarenta kg/m^2 da alvenaria convencional.

Mais vantagens do sistema Dry Wall:

- a) Elimina totalmente o pedreiro nas paredes internas;
- b) Torna a obra mais limpa e com menos desperdício;
- c) Dá maior flexibilidade à Arquitetura;
- d) Garantia de dimensões das paredes e dos cômodos;
- e) Pode ser colocada mais para o final da obra;
- f) Mesmas qualidades de isolamento térmico e acústico;
- g) Qualidade técnica de desempenho já comprovada há mais de 30 anos.
- h) Tecnologia de ponta na produção dos materiais.

2.8.2 FUNDAÇÕES

Devido ao sistema de protensão tornar as estruturas mais leves e também considerando-se a utilização do sistema Dry Wall, as fundações conseqüentemente se tornarão menos exigidas.

Acredita-se que pode-se reduzir substancialmente tanto a quantidade de estacas utilizadas para a edificação quanto a sua robustez e profundidade.

3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Este trabalho visa apresentar um comparativo entre as duas formas de executar lajes de edificações residenciais ou comerciais com vãos e medidas que podem ser aplicadas em qualquer projeto.

Baseado nestes dados, os profissionais da área da construção civil sejam eles arquitetos, calculistas e evidentemente os empreendedores poderão ter base de dados para optar ou não por este processo construtivo.

Os sistemas de lajes protendidas apresentam diversas vantagens em relação ao sistema convencional conforme foi apresentado anteriormente como leveza, ganho de tempo com a maior velocidade de execução, maior resistência, eliminação de vigas, etc...

Serão apresentados também dados comparativos do sistema convencional e do de concreto protendido.

Através do desenvolvimento de novas técnicas construtivas e da necessidade de soluções práticas na área da construção é que este desenvolvimento tem alcançado melhores resultados.

Este trabalho consiste na comparação de dois métodos de análise, aplicados em dois modelos de lajes planas lisas diferentes, apresentando resultados numéricos, mas sem grandes aprofundamentos.

Tentamos aqui sintetizar os princípios do detalhamento de lajes em concreto protendido, e convencional sem grandes aprofundamentos teóricos, servindo como orientação resumida, porém objetiva, sobre o assunto.

Propõe, portanto, ser mais uma ferramenta e material para pesquisa dos profissionais interessados neste processo, pois, existe vasto material de conceituados professores e pesquisadores que também, serviram de base para esta pesquisa.

Foram utilizados também materiais e livros técnicos de fornecedores de materiais e de equipamentos.

Importante também foi às visitas a canteiros de obras em execução na região metropolitana de Belo Horizonte e também a empresas de fornecimento de cordoalhas e acessórios.

As lajes tornam-se mais limpas e os vãos livres dão uma sensação de amplitude e segurança.



FIGURA 3.1 – Grandes vãos proporcionados pela laje protendida.

O transporte de material na obra pode ser feito de forma mecânica conforme figura abaixo, o que proporciona mais rapidez e versatilidade.

Na obra visitada utilizou-se de uma Grua que rapidamente colocava as cordoalhas sobre a laje com segurança e mobilidade.

Desta forma todo o material utilizado não sofria qualquer tipo de avaria, que pode provocar cortes na proteção de plástico e assim promover a corrosão.



FIGURA 3.2 – Armazenagem das cordoalhas

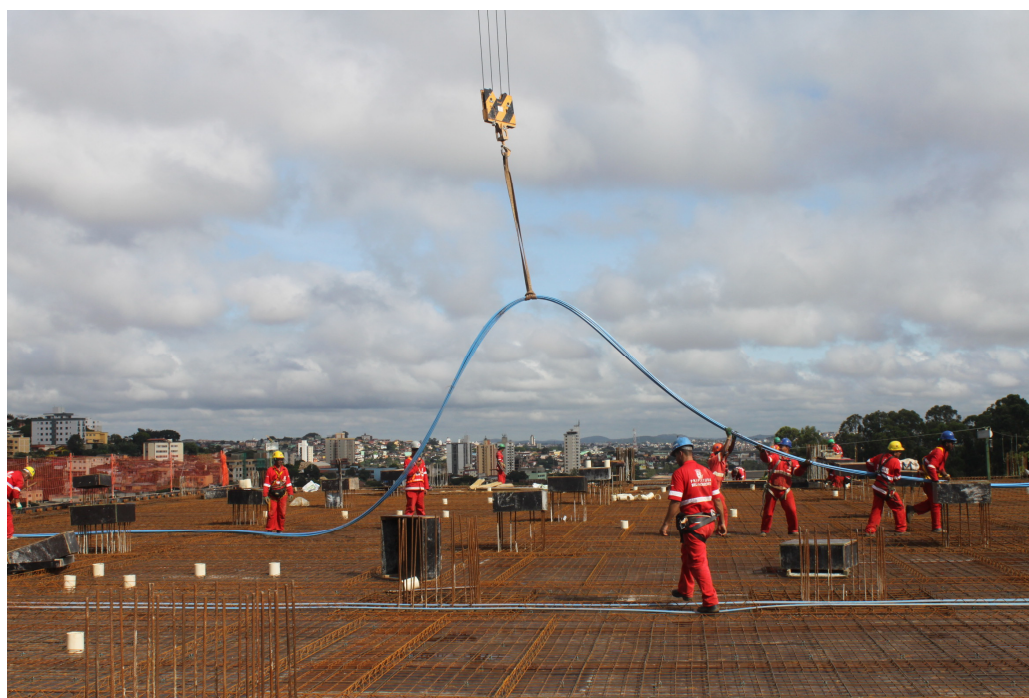


FIGURA 3.3 – Instalação das cordoalhas.



FIGURA 3.4 – Ancoragem passiva.



FIGURA 3.5 – Ancoragem ativa.

Na obra pudemos observar as cordoalhas já protendidas, através da marcação em amarelo que indica a posição da cordoalha antes da protensão, conforme figura abaixo.



FIGURA 3.6 – Marcação das cordoalhas após a protensão.

3.1 PROJETO

A seguir serão apresentados detalhes do projeto que servirá de base de dados para este trabalho que estão nos anexos 01 e 02 respectivamente.

Foi utilizado um projeto de uma edificação com 15 andares e 179,76 m² cada laje e com 14 pavimentos tipo, sendo que os nomes dos autores do projeto e dos clientes foram preservados.

Esta edificação foi executada em concreto protendido devido aos resultados comparativos favoráveis para tal.

Conforme o projeto, a laje convencional apresenta espessura de laje de 12 cm de concreto com Fck de 25,0 MPa, para uma sobrecarga de 350 Kg/m².

Também conforme o projeto a laje protendida apresenta espessura de laje de 14 cm de concreto com Fck de 30,0 MPa, para uma sobrecarga de 350 Kg/m².

Podemos observar que comparando os dois projetos, como a laje protendida ficou mais leve, limpa e proporcionou vãos mais livres, principalmente pela ausência das vigas, e os resultados estão representados conforme os quadros comparativos abaixo:

Solução Original: Concreto Armado			
Item	Consumo por m2	Custo unitário	TOTAL
Concreto	0,158 m3/m2	250,0 R\$/m3	39,51 R\$/m2
Cordoalha	0 Kg/m2	8,0 R\$/kg	0,00 R\$/m2
CA50	23,04 Kg/m2	4,5 R\$/kg	103,69 R\$/m2
Forma	1,62 m2/m2	50,0 R\$/m2	81,22 R\$/m2
Total			224,42 R\$/m2

Tabela 3.1 : Consumo de materiais – Concreto Armado

Solução 2 Laje plana concreto protendido			
Item	Consumo por m2	Custo unitário	TOTAL
Concreto	0,185 m3/m2	250,0 R\$/m3	46,25 R\$/m2
Cordoalha	2,8 Kg/m2	8,0 R\$/kg	22,40 R\$/m2
CA50	11,28 Kg/m2	4,5 R\$/kg	50,76 R\$/m2
Forma	1,46 m2/m2	50,0 R\$/m2	73,00 R\$/m2
Total			192,41 R\$/m2

Tabela 3.2 : Consumo de materiais – Concreto Protendido

Obs.: Nos custos unitários estão incluídos a mão de obra de confecção e de instalação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após análise, chegou-se à seguinte conclusão:

1- O projeto com laje protendida ficou 14% (quatorze por cento) mais barato que o projeto com laje convencional.

2 - A laje convencional ficou 17% (dezessete por cento) mais leve que a laje protendida, mas, não foram consideradas aí as vigas.

3 - A laje convencional consumiu 61% (sessenta e um por cento) mais aço que a laje protendida.

4 - A laje convencional consumiu 11% (onze por cento) mais forma que a laje protendida.

O resultado de tudo isto foi proporcionar uma construção mais limpa, leve, barata, versátil e rápida.

Economia	32,01 R\$/m²
	-14 %

Tabela 3.3 : Resultado Final

5. CONCLUSÃO

O mercado da construção de edifícios está cada vez mais competitivo e com outros métodos e processos aí presentes, nos obrigam seguir rapidamente na direção da qualidade e da produtividade.

Fica muito difícil obter qualidade com o sistema tradicional de estruturas com vigas.

Com a cordoalha engraxada possibilitando obras com lajes totalmente planas, as chances de erros na execução da estrutura são muito menores.

As obras ficam limpas, rápidas, seguras, com as instalações e alvenarias em posições garantidas.

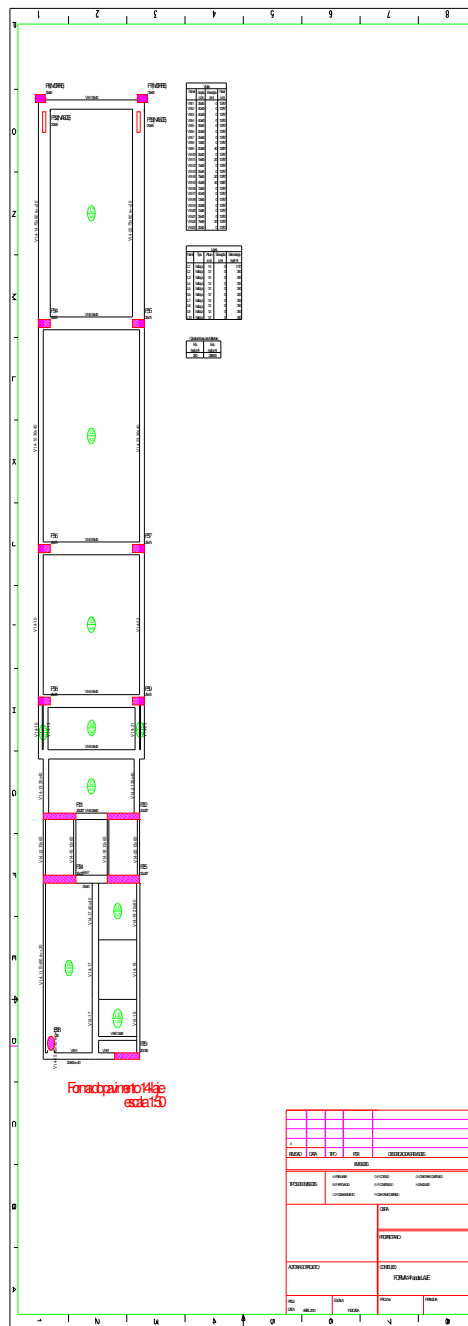
Seguramente partiremos na direção da simplificação da estrutura, com maior rapidez, maior economia e conseqüentemente maior redução de custo.

Já surgiram no mercado nesses últimos dez anos, espalhadas por todo o Brasil, diversas novas empresas de protensão especializadas nessa atual e simples tecnologia, o que tornará a protensão de fácil acesso até ao pequeno construtor.

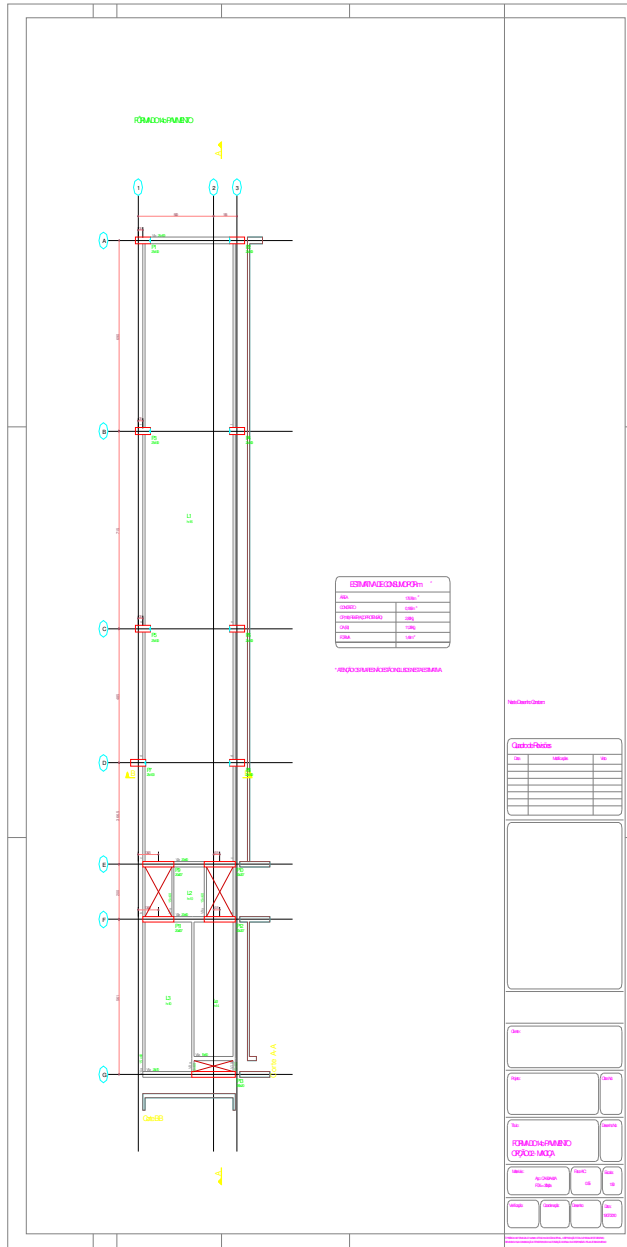
Os preços e resultados falam por si, penso ser um caminho sem volta e cada vez mais o mercado migrará para este excelente processo construtivo.

6. ANEXOS

formato A1
escala de plotagem 1:50



ANEXO 01



ANEXO 02

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MEHTA, P. K. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. Universidade Federal de Minas Gerais, 1994 (Mimeografado).

BELGO MINEIRA – Catálogo Técnico, Disponível em www.belgo.com.br

CAUDURO, EUGENIO LUIZ. Manual para a Boa Execução de Estruturas Protendidas Usando Cordoalhas de Aço Engraxadas e Plastificadas, Disponível em www.belgo.com.br.

CAUDURO, EUGENIO LUIZ. Em favor da leveza. *Revista Técnica*, Jan/Fev 1997, nº 26.

Impacto Protensão. www.impactoprotensão.com.br

LOUREIRO, GIORDANO JOSÉ. Projeto de Lajes Protendidas com Cordoalhas Engraxadas. *IBRACON, 44º Congresso Brasileiro do Concreto*, Belo Horizonte, 2002.

HANAI, JOÃO BENTO DE. Fundamentos do concreto protendido. USP – Universidade de São Carlos, 2005.

FARIA, ELVES LINCOLN. "Projeto de Lajes planas protendidas via método dos elementos finitos e pórticos equivalentes" Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.