

CENTRO UNIVERSITARIO DE ANÁPOLIS
UNIEVANGÉLICA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LAJES LISAS EM CONCRETO PROTENDIDO

Análise e Relatório de Inspeção de Execução

**PAULO EDUARDO BARROSO CAIXETA
WASHINGTON RODRIGO DE MORAIS**

ANÁPOLIS

2018

PAULO EDUARDO BARROSO CAIXETA
WASHINGTON RODRIGO DE MORAIS

**LAJES LISAS EM CONCRETO
PROTENDIDO**

Análise e Relatório de Inspeção de Execução

Monografia apresentada na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso I do Curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis.

Orientador: Aurélio Caetano Feliciano

ANÁPOLIS

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

CAIXETA, Paulo Eduardo Barroso/ MORAIS, Washington Rodrigo

Lajes lisas em concreto protendido – Análise e Relatório de inspeção de execução

----- (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CAIXETA, Paulo Eduardo Barroso; MORAIS, Washington Rodrigo. Lajes lisas em concreto protendido. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, Xp. 2018.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Paulo Eduardo Barroso Caixeta
Washington Rodrigo de Moraes

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Lajes lisas em concreto protendido.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2018

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



Paulo Eduardo Barroso Caixeta
E-mail: paulo_eduard_obr@hotmail.com



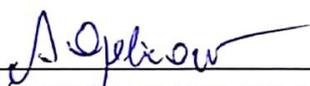
Washington Rodrigo de Moraes
E-mail: washington-morais@hotmail.com

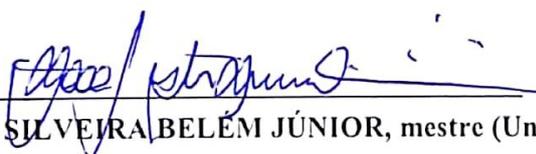
PAULO EDUARDO BARROSO CAIXETA
WASHINGTON RODRIGO DE MORAIS

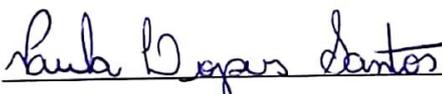
LAJES LISAS EM CONCRETO PROTENDIDO
Análise e Relatório de Inspeção de Execução

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

APROVADO POR:


AURÉLIO CAETANO FELICIANO, especialista (Unievangélica)
(ORIENTADOR)


JOÃO SILVEIRA BELEM JÚNIOR, mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)


PAULA LOPES SANTOS, especialista (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 06 de Junho de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele nada seria possível. Agradeço ao meus pais e minha família por todo apoio dado , em todas as situações. Agradeço a toda a instituição UniEvangélica pelos servidos prestados ao decorrer do curso.

Paulo Eduardo Barroso Caixeta

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me guiado até aqui. A toda minha família por sempre terem acreditado em mim e nunca me deixado desistir dos meus objetivos. A minha namorada e sua família que também sempre me deram suporte. E por fim a faculdade UniEvangélica por ser uma ótima instituição e por todos seus serviços prestados.

Washington Rodrigo de Moraes

RESUMO

A construção civil tem exigido cada vez mais o desenvolvimento de novas tecnologias. O sistema de laje lisa protendida é um exemplo já usado mundialmente e que vem tomando espaço no Brasil. Dito isso esse trabalho visa à inspeção e relatório de execução da laje protendida em um edifício de 36 pavimentos em construção. O método escolhido para esse projeto foi o não aderente que utiliza monocordoalhas engraxadas que fazem a função de armadura positiva. Esse método tem como característica seu fácil manuseio pelo fato de utilizar materiais considerados leves. A revisão bibliográfica detalha o surgimento do concreto protendido. Sobre o concreto protendido, são expostas as vantagens e desvantagens sobre esse processo além de uma breve explicação sobre a sua história e como ele chegou ao Brasil. Além disso, são feitas as explicações necessárias a classificação da protensão, sendo elas quanto aos níveis de protensão e quanto a aderência sendo elas aderentes (utilizada geralmente em obras de grande porte como pontes, viadutos) e não aderentes (utilizadas na construção de residências de pequeno, médio e grande porte). São abordadas ainda as perdas de protensão, estas sendo divididas em imediatas (no ato da protensão) e progressivas (ao longo do tempo de serviço da peça protendida). São especificados também os materiais utilizados sendo eles as monocordoalhas engraxadas (cabos metálicos engraxados envolvidos em uma bainha de polietileno), a ancoragem (conjunto de peças de ferro responsáveis por transferir a força de protensão para o concreto), o macaco hidráulico (equipamento responsável pela aplicação da carga de protensão) e o concreto (responsável por fazer a cobertura das armaduras).

Palavras-chave: Concreto protendido; Protensão não-aderente; Lajes Lisas; Monocordoalhas Engraxadas.

ABSTRACT

Civil construction has increasingly required the development of new technologies. The plain slab system is an example already used worldwide and has been taking place in Brazil. That said, this work is aimed at the inspection and execution report of the prestressed slab in a 36-storey building under construction. The method chosen for this project was the non-adherent one that uses greased monocordos that make the reinforcement function positive. This method has as its characteristic its easy handling by the use of materials considered light. The bibliographic review details the appearance of the prestressed concrete. On the prestressed concrete, the advantages and disadvantages of this process are exposed, as well as a brief explanation of its history and how it came to Brazil. In addition, the necessary explanations are made for the classification of the pretension, being they regarding the levels of pretension and the adhesion being adherent (used generally in large works like bridges, viaducts) and non adherent ones (used in the construction of residences of small, medium and large). The losses of pretension are also discussed, being divided into immediate (at the moment of pretension) and progressive (along the time of service of the pretended part). Also specified are the materials used, such as greased monocordels (greased metal cables wrapped in a polyethylene sheath), anchorage (assembly of iron parts responsible for transferring the pretension force to the concrete), the hydraulic jack (equipment responsible for application of the pretension load) and concrete (responsible for covering the reinforcement).

KEYWORDS: Prestressed concrete; Non-adherent pretension; Smooth slabs; Greased rope.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comparação de custos entre lajes protendidas e em concreto armado.	12
Figura 2 – Obra executada com sistema de protensão aderente	20
Figura 3 – Monocordoalhas engraxadas	24
Figura 4 – Cadeirinhas plásticas	25
Figura 5 – Esquema de ancoragem ativa	28
Figura 6 – Macaco hidráulico com pistões paralelos	30
Figura 7 - Etapa atual da obra	32
Figura 8 – Maquete do empreendimento.	33
Figura 9 – Componentes da torre metálica.....	35
Figura 10 – Vigamento primário e secundário	36
Figura 11 – Escoraço 1	36
Figura 12 – Escoraço 2	37
Figura 13 – Escoraço 2T.....	37
Figura 14 - Colocação das chapas compensadas	38
Figura 15 – Malha soldada.	39
Figura 16 – Espaçador centopeia.....	40
Figura 17 – Ancoragem passiva	41
Figura 18 – Ancoragem ativa	41
Figura 19 – Cadeirinhas plásticas de 5 a 12 cm	42
Figura 20 – Clipe de fio 16 mm.....	43
Figura 21 - Armadura de punção	43
Figura 22 – Armadura negativa e caranguejo.....	44
Figura 23 – Shaft para tubulações hidráulicas e elétricas.....	45
Figura 24 – Tubulação de esgoto e prumada.....	46
Figura 25 – Teste de abatimento (slump test)	47
Figura 26 – Corpos de prova para ruptura	48
Figura 27 – Cunhas metálicas.....	49
Figura 28 - Macaco hidráulico	50
Figura 29 – Deslocamento das chapas compensadas.....	51
Figura 30 – Colocação da tela para proteção da periferia	52
Figura 31 – Linha de vida.....	53
Figura 32 – Tela SLQA	54
Figura 33 – Escoramento em 3 níveis	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura.. 18

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA	12
1.2 OBJETIVOS GERAL	13
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICO	13
1.4 METODOLOGIA	14
2 CONCRETO PROTENDIDO	15
2.1 HISTORIA	16
2.2 CLASSIFICAÇÃO DA PROTENSÃO	17
2.2.1 Quanto aos níveis de protensão	17
2.2.2 Quanto a aderência	19
2.2.2.1 Protensão aderente	19
2.2.2.1.1 <i>Aderência inicial</i>	19
2.2.2.1.2 <i>Aderência posterior</i>	19
2.2.2.2 Protensão não aderente	20
2.3 TIPOS DE PERDAS DE PROTENSÃO	20
2.3.1 Perdas imediatas	21
2.3.1.1 Perdas por atrito	21
2.3.1.2 Perdas por acomodação de ancoragem	21
2.3.1.3 Perdas por encurtamento plástico do concreto	22
2.3.2 Perdas progressivas	22
2.3.2.1 Perdas por retração e fluência do concreto	22
2.3.2.1.1 <i>Perdas por retração do concreto</i>	22
2.3.2.1.2 <i>Perdas por fluência do concreto</i>	23
2.3.2.2 Perdas por relaxação do aço	23

2.4 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	23
2.4.1 Monocordoalhas Engraxadas	24
2.4.2 Ancoragem	27
2.4.3 Macaco Hidráulico	29
2.4.4 Concreto	30
3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE EXECUÇÃO DA LAJE PROTENDIDA ...	32
3.1 CARACTERÍSTICAS DA OBRA	32
3.2 PROCESSO DE EXECUÇÃO	34
3.2.1 Forma de laje	34
3.2.2 Armação	39
3.2.3 Instalações	45
3.2.4 Concretagem	47
3.2.5 Protensão	49
3.2.6 Desforma	50
3.2.7 Procedimentos de segurança	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

1. INTRODUÇÃO

Recentemente o Brasil passou por um crescimento acelerado na indústria civil. Tal crescimento passou a exigir o desenvolvimento de novos modelos e técnicas para que estes satisfizessem as necessidades econômicas, arquitetônicas e ambientais. Durante esse período surgiram novas formas de gestão, produção de materiais, tudo com visão voltada à sustentabilidade e foram inseridas no mercado brasileiro buscando atender plenamente todos esses requisitos que a indústria da construção, em crescimento desenfreado, exigia.

Dito isso uma das alternativas desenvolvidas através do concreto armado foi o concreto protendido. O concreto protendido apesar de ser bastante comum em outros países começou a ser utilizado no Brasil de forma mais expressiva a partir da década de 90 e ainda é considerado pouco difundido no país pela falta de conhecimento do engenheiro gestor ou pela falta de mão de obra qualificada. O concreto protendido é uma técnica utilizada para aumentar a resistência do concreto minimizando as chances do aparecimento de fissuras através do uso monocordoalhas engraxadas de aço que atuam como armadura ativa aplicadas na peça estrutural com o concreto ainda não curado. Estes cabos atravessam toda a estrutura em diferentes alturas definidas a partir do momento fletor (positivo ou negativo). Feito isso esses cabos são tensionados após o concreto ter atingido uma resistência mínima calculada pelo projetista. Esse tensionamento se dá através de um macaco hidráulico gerando um sistema equilibrado de esforços onde há tração no aço e compressão no concreto. É considerado um sistema vantajoso pelo fato de utilizar materiais leves e de fácil manuseio. Além disso, ele permite trabalhar com grandes vãos e menor quantidade de pilares, o que o torna altamente apreciado pelos arquitetos pela sua liberdade arquitetônica.

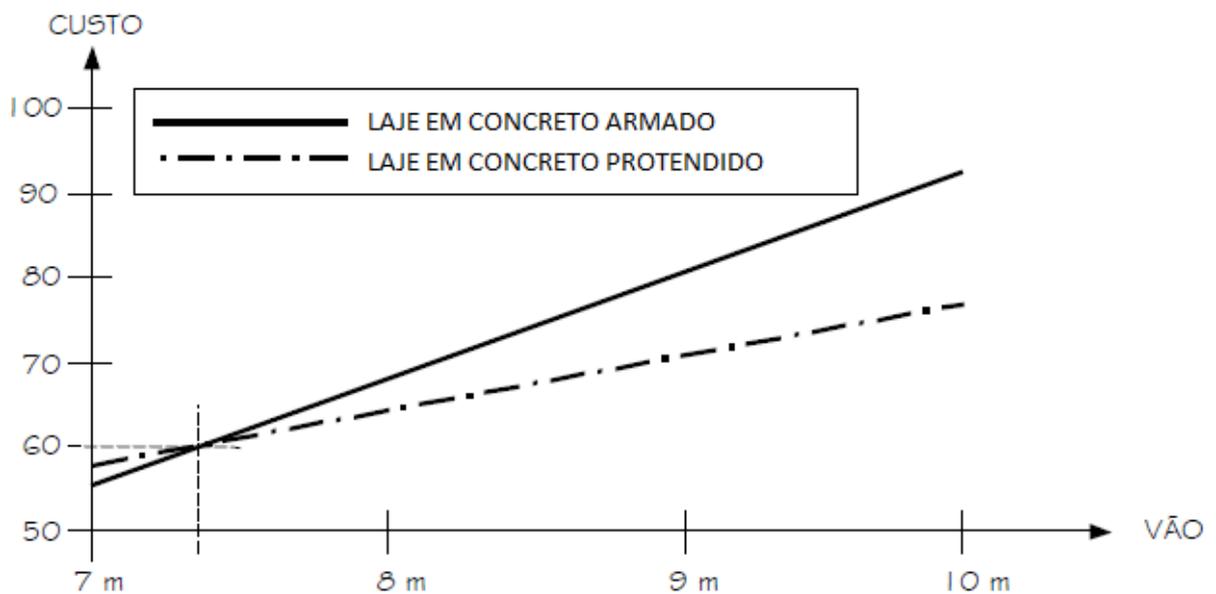
Este trabalho visa a inspeção e execução de um prédio multipavimentos utilizando um sistema não aderente de protensão. O capítulo 2 traz todo o embasamento teórico para acompanhamento dessa execução sendo ele dividido na classificação da protensão, os tipos de perdas e os materiais utilizados. Relata também uma breve explicação sobre o surgimento desse sistema e de como ele passou a ser utilizado no Brasil.

1.1 JUSTIFICATIVA

O uso de estruturas protendidas através de cabos ou cordoalhas apesar de ser pouco utilizado no Brasil vem se mostrando cada vez mais presente no mercado da construção civil brasileira, devido a algumas características como a facilidade e agilidade na aplicação da protensão, e uma grande opção para o vencimento de grandes vãos entre pilares.

É um processo considerado viável, pois além da grande economia de formas devido à ausência de vigas, possui maior rapidez na desforma e retirada de escoramento. Além dessas características se destacam também os maiores vãos entre pilares, possibilitando projetos arquitetônicos diferenciados. Segundo, Emerick (2005) os custos das lajes protendidas tornam-se significativamente menores a partir de vãos maiores que 7 metros, conforme a figura 1.1:

Figura 1 - Comparação de custos entre lajes protendidas e em concreto armado.



Fonte: EMERICK (2005)

1.2 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral analisar, executar e verificar viabilidade da construção de um edifício multipavimentos com a execução de lajes lisas de concreto protendido em pós-tração não aderente, isto é, com a utilização de monocordoalhas engraxadas.

1.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Para atingir-se tal objetivo, os objetivos específicos são:

- a. Detalhar os materiais utilizados na protensão;
- b. Execução do processo de montagem das escoras e formas;
- c. Mostrar a colocação das armaduras positivas, negativas e punções;
- d. Demonstrar a colocação das monocordoalhas e o tensionamento dos cabos;
- e. Mostrar as vantagens e desvantagens em se utilizar esse método de construção de lajes lisas com protensão através de cabos.

1.4 METODOLOGIA

O seguinte trabalho apresenta por meio de um estudo de caso, o processo executivo de uma laje em concreto protendido e suas particularidades na construção. Por meio da apresentação de todos aspectos teóricos iniciais que caracterizam os elementos construtivos em lajes, evidencia-se em parâmetros técnicos a execução do sistema construtivo em estudo.

Com a utilização e auxílio de relatório fotográfico, apresentação de projetos em anexo e demais laudos e/ou certificações da obra em estudo, a pesquisa se baseia na certificação da

construção de lajes protendidas na obra Applause New Home.

Por fim, apresenta-se um relatório de inspeção de execução da laje protendida na obra e uma discussão e conclusão frente a todas as observações pertinentes à sistematização da execução da peça em protensão.

2. CONCRETO PROTENDIDO

O concreto protendido é um sistema conhecido mundialmente e que já é bastante comum em países europeus. No Brasil esse sistema passou a ser utilizado a partir da década de 90, mas só tomou notoriedade recentemente. Esse sistema passou a ser utilizado por satisfazer as necessidades econômicas, arquitetônicas e ambientais. Ele permite maiores vãos e menor quantidade de pilares o que é bastante apreciado pelos arquitetos, que buscam cada vez mais liberdade arquitetônica da estrutura.

Pfeil (1984) define protensão como um sistema onde são introduzidas tensões prévias na estrutura que tem como objetivo melhorar o comportamento do concreto sob a ação de cargas. A protensão então é utilizada no concreto através de cabos distribuídos na estrutura e estirados por um macaco hidráulico que provoca essas tensões.

Schmid (M. R. L., 2007, p. 33-35) define a protensão de uma estrutura de concreto como uma tecnologia inteligente, eficaz e duradoura. Inteligente pelo fato de reduzir a quantidade de materiais devido ao aproveitamento da resistência mecânica do aço e do concreto. Eficaz, pois possui uma tecnologia superior as estruturas convencionais de concreto armado, sendo seguras e confortáveis. Duradoura pelo fato de precisar de pouca ou quase nenhuma manutenção ao longo da sua vida útil. Por esses motivos o concreto protendido tem como uma das suas principais vantagens à relação custo-benefício. Schmid ([2007]) cita também outras vantagens como:

- a) Maiores vãos entre pilares;
- b) Redução de deformação;
- c) Redução de fissuração;
- d) Possibilidade da utilização em ambientes agressivos;
- e) Projetos arquitetônicos diferenciados;
- f) Possibilidade de utilização em peças pré-moldadas;
- g) Utilização em reforços de estruturas;
- h) Em caso de lajes, são mais esbeltas que as equivalentes em concreto armado, reduzindo:
 - a altura total da edificação
 - o peso próprio da estrutura, diminuindo as cargas na fundação.

Apesar das grandes vantagens citadas acima, esse método necessita ser fiscalizado corretamente durante sua execução, pois o menor dos erros pode ser prejudicial à estrutura pelo fato da mesma ser submetida a grandes forças de protensão. Considerando que muitos engenheiros não possuem domínio desse método, esse se apresenta como a maior desvantagem no concreto protendido. Cauduro ([2002]) explica que na obra que utiliza protensão a mão de obra envolvida no processo construtivo deve ser treinada e fiscalizada por um profissional qualificado, pois qualquer improvisação nesse método pode trazer grandes riscos.

2.1 HISTÓRIA

O concreto surgiu junto com o desenvolvimento do cimento Portland, na Inglaterra, em 1824. Desde então, o concreto passou a se desenvolver e dessa forma surgiram novas técnicas e tecnologias. No início do século XIX, o concreto começa a ser reforçado com armadura de aço, surgindo o concreto armado. Em 1886, o americano P. J. Jackson faz a primeira tentativa de pré-tracionar a armadura do concreto. No final do século, já existiam diversos ensaios e pedidos de patente, porém esse método não obteve sucesso devido a perdas na protensão pela retração e fluência do concreto, que naquela época eram propriedades desconhecidas (PEREIRA et al., 2005). Além disso, propriedades do aço, como a relaxação, também eram desconhecidas.

Segundo Veríssimo e César Junior (1998a), os estudos de Mörsh, no começo do século XX, foram fundamentais para o desenvolvimento dos conceitos do concreto protendido. Esse estudo, que foi iniciado por Koenen, ganhou fundamento através de inúmeros ensaios realizados por Mörsh. Em 1912, Koenen e Mörsh verificaram que ocorriam perdas na protensão devido à retração e deformação lenta do concreto.

De acordo com os mesmos autores, Freyssinet em 1928 desenvolveu o primeiro trabalho sobre concreto protendido afirmando a importância da protensão na construção civil. Freyssinet alegou que, para evitar as perdas na protensão e assegurar a durabilidade da estrutura, se deve aplicar forças de protensão elevadas. Ele patenteou diversos métodos de protensão.

No final da Segunda Guerra Mundial, em 1945, foi criado o STUP (*Société Technique pour l' Utilization de La Précontrainte*). Com a criação dessa Sociedade, engenheiros qualificados puderam seguir os estudos de Freyssinet, dando destaque para Yves Guion e Pierre Labelle. A partir disso, o concreto protendido passou a se desenvolver (BARBOSA¹, 2008 apud LAZZARI, 2011).

Em 1948 foi realizada a primeira obra no Brasil, a ponte do Galeão, na cidade do Rio de Janeiro. Para essa obra, o projeto e todo o material foram importados da França. Em 1952 a companhia siderúrgica Belgo começou a produzir o aço de protensão, dessa forma, a segunda obra no Brasil já foi realizada com aço brasileiro (VERÍSSIMO; CÉSAR JUNIOR, 1998a).

2.2 CLASSIFICAÇÕES DA PROTENSÃO

Os tipos de classificação da protensão são detalhados a seguir, quanto:

2.2.1 Quanto aos níveis de protensão

De acordo com a norma NBR6118:2014 a protensão no concreto pode ser dividida em três níveis, sendo eles: nível 1 (protensão parcial), nível 2 (protensão limitada) e nível 3 (protensão completa). Em cada desses níveis há condições a serem verificadas, relacionando as classes de agressividade ambiental e os estados limites de serviço.

Os estados limites de serviço para a verificação em cada nível de protensão, de acordo com a norma brasileira 6118/2014, são:

- **Estado Limite de Abertura de Fissuras (ELS-W):** estado em que limita os valores máximos para a abertura de fissuras do elemento estrutural.
- **Estado Limite de Formação de Fissuras (ELS-F):** estado em que se inicia a formação de fissuras, admite-se que o mesmo é atingido quando a tensão de tração máxima na seção transversal for igual a resistência à tração $f_{ct,f}$.

- **Estado Limite de Descompressão (ELS-D):** estado no qual, em um ou mais pontos da seção transversal, a tensão normal é nula, não havendo tração no restante da seção.

No quadro 2.1 se encontra as seguintes informações: relação entre os níveis de protensão, a classe de agressividade ambiental e as condições a serem verificadas em cada situação.

Quadro 1 - Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	–
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação frequente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação frequente
		ELS-D ^a	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D ^a	Combinação frequente

Fonte: NBR6118:2014 (*fac-símile*)

2.2.2 Quanto à aderência

A protensão pode também ser caracterizada quanto a sua aderência, como aderente e não aderente, considerando a aderência dos cabos de protensão com a estrutura.

2.2.2.1 Protensão aderente

Protensão com aderência e caracterizada por ter como ancoragem da armadura ativa no concreto, podendo ser pré-tracionada, quando ocorre a protensão antes da concretagem, ou pós-tracionada, quando a protensão ocorre depois da concretagem, tendo assim aderência inicial e posterior, que irá ser citada mais à frente. Protensão aderente possibilita a montagem de um maior número de cabos em uma única bainha metálica.

Esse tipo de protensão é indicado em obras de pontes, viadutos e vigas de grandes vãos, onde necessita de uma protensão de alta densidade.

2.2.2.1.1 Aderência inicial

A aderência inicial é caracterizada no momento em que a força de protensão é passada ao concreto pela aderência que deve estar suficientemente desenvolvida.

2.2.2.1.2 Aderência posterior

Segundo Cezár Jr e Verissimo (1995), aderência posterior pode ser observada quando a protensão é aplicada no concreto já endurecido, resultando assim uma adesão posterior a cura do concreto, geralmente através da injeção de nata de cimento nas bainhas.

Figura 2 -Obra executada através de sistema de protensão aderente



Fonte: <http://www.impactoprotensao.com.br/protensao-aderente/>

2.2.2.2 Protensão não aderente

Segundo Pfeil (1984) protensão sem aderência é aquela que tem sua armadura ativa tracionada depois do lançamento e endurecimento do concreto. Nesse tipo de protensão os apoios são parte da sua própria estrutura sendo assim os únicos pontos de ligação entre a armadura ativa e o concreto. Na protensão não aderente as cordoalhas engraxadas têm função de armadura ativa.

Outro ponto interessante sobre a protensão sem aderência, é que ela é a principal concorrente das estruturas de concreto armado, por ter simples execução e utilizar materiais leves, tornando se assim uma viável opção de laje para pequenos vãos.

2.3 TIPOS DE PERDAS DE PROTENSÃO

De acordo com os conceitos de Pfeil (1984) perdas de protensão são todas as perdas de força quando se aplica uma tensão inicial nos cabos de protensão das lajes, devido a algum

fator que vamos falar no decorrer desse assunto. Essas tais perdas devem ser previstas na elaboração de um projeto estrutural, quando for projetado uma laje protendida. Essas perdas podem ocorrer no início do ato protensão, ou ao longo desse ato , que são denominadas de perdas imediatas e perdas progressivas , respectivamente.

2.3.1 Perdas Imediatas

Perdas imediatas são aquelas forças que são dissipadas no ato da protensão, e nesse tipo de perda observa-se alguns fatores que influenciam nesse decréscimo da tensão inicial, que são eles; por atrito, por acomodação de ancoragem ou pelo encurtamento elástico do concreto.

2.3.1.1 Perdas por atrito

Perdas por atrito tem grande relevância na variação da tensão aplicada nos cabos de protensão Segundo Pfeil (1984), quando os cabos são esticados desenvolve-se um atrito entre os cabos e as peças , de maneira que a força aplicada na extremidade sofre uma redução a cada ponto de atrito. Confere-se essas perdas ao longo do cabo, na ancoragem e nos macacos.

2.3.1.2 Perdas por acomodação de ancoragem

Baseando-se em Pfeil (1984) esse tipo de perdas acontece no momento em que o esforço é transferido do elemento flexor para a placa de apoio . As perdas nas ancoragens resultam em reduções nas tensões de protensão ao longo do cabo. A extensão do cabo influenciada pela perda na ancoragem depende do valor dessa perda , da geometria do cabo e do coeficiente de atrito do cabo com a bainha.

Segundo a NBR6118:2014, estas perdas devem ser determinadas experimentalmente ou adotados os valores indicados pelos próprios fabricantes.

2.3.1.3 Perdas por encurtamento elástico do concreto

As perdas por encurtamento do concreto segundo a Pfeil (1984), pode se dar diferentemente dependendo do tipo de peça de armadura que estará sendo usada. No caso das peças de armadura pré-tracionadas, onde os cabos são protensionados antes da concretagem, no instante em que os fios tem contato com o concreto, ocorre uma perda na protensão ocorrida devida ao encurtamento elástico do concreto. Já nas peças pós-tracionadas, quando o protensão ocorre após a concretagem, nesse momento, o elemento flexor se apoia no concreto resultando assim em um encurtamento elástico antes do ancoramento do cabo.

2.3.2 Perdas Progressivas

São aquelas definidas segundo Pfeil (1984) como aquelas que aparecem a longo prazo, no decorrer dos anos. E como as perdas imediatas, também pode se dividir em alguns tipos, como : por retração e fluência do concreto e por relaxação do aço.

2.3.2.1 Perdas por retração e fluência do concreto

2.3.2.1.1 *Perdas por retração do concreto*

Perdas por retração e recorrente de um encurtamento dos cabos de protensão, devida a uma redução volumétrica do concreto, tendo assim como resultado um decréscimo no valor da tensão nos cabos de protensão.

Segundo Pfeil (1984), o valor dessa retração é dependente de diversos fatores, como: espessura da peça, grau de umidade, e temperatura do meio ambiente.

2.3.2.1.2 Perdas por fluência do concreto

Perdas de protensão ocasionadas pela fluência do concreto, ocorre quando esse concreto é submetido a esforços de longa duração, essas perdas se manifestam ao longo do tempo, resultando em deformações plásticas e elásticas progressivas das fibras nas regiões solicitadas.

Como as perdas por retração, existem também importantes fatores que influem no valor desse tipo de perda causado pela fluência do concreto, como exemplo: : espessura da peça, grau de umidade, e temperatura do meio ambiente.

2.3.2.2 Perdas por relaxação do aço

Perda por relaxação do aço é caracterizada por um alívio de tensão ocorrido na armadura de protensão, ao longo do tempo.

Segundo Pfeil (1984), os principais fatores que influencia nessa perda de protensão são: o tipo de aço, o tipo de tratamento térmico sofrido pela peça, a tensão a qual o aço é ancorado, e a temperatura a qual está ambientado.

2.4 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Os materiais e equipamentos utilizados na protensão não aderente são citados a seguir:

2.4.1 Monocordoalhas Engraxadas

Para a execução desse projeto foi escolhido um sistema não aderente de protensão utilizando monocordoalhas engraxadas. Essas monocordoalhas são cabos metálicos idênticos aos utilizados na protensão aderente, entretanto, eles são envolvidos por uma graxa, que vai envolto ainda em uma bainha de polietileno de alta densidade (PEAD) semelhante a uma mangueira para depois serem inseridos na peça estrutural. A graxa tem como função proteger o cabo da corrosão e ainda mitigar o atrito entre o cabo e a bainha. “As cordoalhas mais utilizadas são as de sete fios, diâmetro nominal de 1/2 ou 5/8”, posicionando as cordoalhas no interior das bainhas formam-se os cabos (PFEIL, 1984).

Figura 3 – Monocordoalhas engraxadas



Fonte: o autor (2017)

A utilização das monocordoalhas, em comparação à protensão aderente, é mais eficaz em elementos esbeltos, como lajes lisas, pois as cordoalhas permitem grandes curvaturas no plano horizontal, podendo ser desviadas para a passagem de instalações elétricas e hidráulicas ou devido ao formato da própria estrutura.

Durante a fase de projeto, as cordoalhas são dimensionadas para passarem em diferentes níveis de altura. Para assegurar seu posicionamento antes e durante o lançamento de concreto, são utilizados dispositivos chamados “cadeirinhas”. Cadeirinhas são apoios plásticos ou metálicos que tem a finalidade de apoiar e segurar os cabos na posição correta de projeto (PEREIRA et al., 2005). As cadeirinhas utilizadas em lajes lisas protendidas possuem diferentes níveis de altura, geralmente considerando cotas altas perto dos pilares, para evitar esforços de puncionamento, e cotas baixas nos vãos, para evitar a deformação.

Figura 4 – Cadeirinhas plásticas



Fonte: o autor (2017)

As cordoalhas são fabricadas com uma resistência à tração de 190 e 210 kgf/mm² e relaxação baixa (NBR7483/2008). Cauduro ([2002]) afirma que os cabos devem ser fabricados com comprimento maior que a fôrma de borda para permitir a tração dos cabos.

Essa folga no comprimento é necessária em cada ponto de protensão.

Cauduro ([2002], p. 30) explica a fabricação das cordoalhas:

A cordoalha nua é coberta com graxa inibidora de corrosão e então revestida com a bainha plástica [...]. O processo começa passando a cordoalha por um aplicador de graxa que recobre a cordoalha uniformemente com a quantidade exata de graxa inibidora de corrosão.

A cordoalha coberta de graxa segue pela máquina extrusora, que aplica e regula a espessura adequada de plástico derretido. Posteriormente a cordoalha passa por uma canaleta de água para que seja resfriada antes de ser novamente enrolada.

Pfeil (1984) explica que as armaduras de protensão são designadas pelas letras CP, logo após é indicada a resistência característica à ruptura por tração, f_{ptk} , em kgf/mm². A NBR 7483/2008 exemplifica a designação da seguinte maneira:

- cordoalha de 7 fios: CP 190 RB 12,7 significa cordoalha para concreto protendido, categoria 190, relaxação baixa e diâmetro nominal de 12,7 mm;
- cordoalha de 3 fios: CP 190 RB 3 x 3,0 significa cordoalha para concreto protendido, categoria 190, relaxação baixa, 3 fios e diâmetro nominal de cada fio 3 mm.

No processo de fabricação, as cordoalhas são enroladas em bobinas e são nomeadas com nome da obra, pavimento e alguma identificação sobre qual local será utilizada na peça estrutural. No caso da obra analisada, a ancoragem que fica situada na extremidade do cabo é pintada de uma ou duas cores e citada como legenda no projeto para informar sua posição exata para quem for executar o projeto. Feito o processo de identificação, as bobinas são entregues no canteiro de obras. Após a entrega, a conservação das cordoalhas é responsabilidade da empresa construtora (CAUDURO, [2002]).

As cordoalhas engraxadas são leves, flexíveis e de fácil manuseio. Elas são entregues geralmente em bobinas, logo isso torna seu armazenamento simples e de fácil acesso. O armazenamento deve ser feito em local seco, coberto e afastado do solo, por um estrado. Em caso de armazenamento em longos períodos de tempo deve ser evitada exposição à luz do sol. Contato com água, sal ou algum outro tipo de elemento corrosivo, também não é recomendado (CAUDURO, [2002]). Em alguns casos as cordoalhas já chegam na obra com os cabos cortados de acordo com comprimento especificado em projeto, facilitando o processo.

Emerick (2002) destaca a importância da conservação das cordoalhas, que devem estar limpas e livres de corrosão. Falhas ou rasgos na bainha de PEAD não podem ser admitidos, deve-se reparar qualquer falha com fita plástica para que cordoalha não tenha contato com o concreto. Esse procedimento deve ser feito antes do lançamento do concreto.

Após a concretagem e ao tensionamento das cordoalhas, as pontas junto às ancoragens ativas devem ser cortadas por maçarico, tendo cuidado para que a chama não tenha contato com as cunhas, peça que prende a cordoalha na estrutura. Ela deve se cortada deixando uma pequena ponta para fora da cunha de modo que seja possível um cobrimento de 25 mm em relação à face do concreto (EMERICK, 2002).

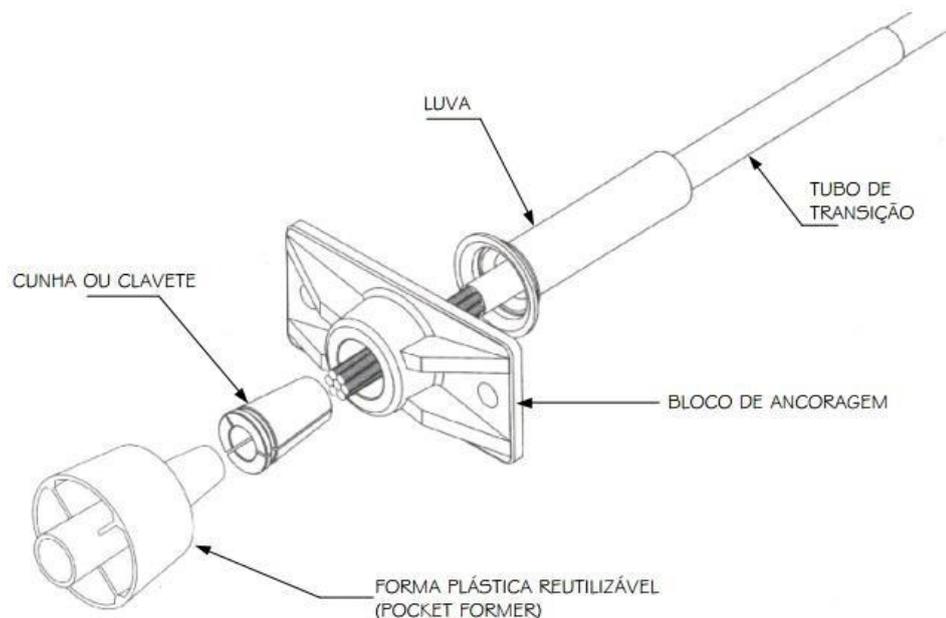
2.4.2 Ancoragem

Toda a armadura ativa da estrutura deve ser ancorada de modo que todo esforço aplicado a ela seja transmitido ao concreto. Essa ancoragem pode ser feita por aderência ou por equipamentos mecânicos (NBR 6118/2007)

Cauduro ([2002], p. 11) define ancoragem como “Conjunto de peças mecânicas incluindo todos os componentes requeridos para ancorar (fixar) o aço para protensão e transmitir permanentemente a força de protensão ao concreto.”. As ancoragens são constituídas de placas de ancoragem e cunhas. As placas de ancoragem são peças de ferro, como mostra figura 2.3, que alojam as cunhas e tem como finalidade transferir a força de protensão para o concreto. O furo em que a cunha é alojada tem a superfície rugosa. Como o próprio nome já diz esse sistema possui uma baixa aderência. Para obter sucesso na sua

execução a tensão que é transmitida para o concreto depende primordialmente da ancoragem dos cabos em suas extremidades e de sua integridade ao longo da sua vida útil, pois esses cabos atuam na estrutura substituindo a função das vigas. Para isso são utilizadas cunhas metálicas que são colocadas nas extremidades dos cabos. Essa peça deve ser de ótima qualidade, já que a mesma é submetida a grandes esforços de flexão e tração, sendo então de fundamental importância o cumprimento do desempenho ao qual elas são solicitadas. A cunha consiste em uma peça de metal, dotada de dentes que são posicionados na cordoalha durante a transferência da força do equipamento de protensão para a ancoragem (PEREIRA et al., 2005).

Figura 5 – Esquema de ancoragem ativa



Fonte: PEREIRA et al., 2005, p. [22]

As ancoragens são classificadas de acordo com sua aplicação em:

- a) ativa;
- b) passiva;
- c) intermediária
- d) morta.

A ancoragem ativa está localizada na extremidade dos cabos e tem a finalidade de tensionar e fixar a armadura ativa. O macaco hidráulico – que é caracterizado a seguir – é posto nessa extremidade. A ancoragem passiva é equivalente à ativa na outra extremidade do cabo, porém ela não é utilizada para fazer a tração da armadura, somente para fixar (CAUDURO, [2002]).

São utilizados, como equipamento auxiliar, na extremidade ativa, uma forma plástica (figura 09) para moldar uma abertura no concreto que permita com que o macaco hidráulico possa acessar a cavidade e a placa de ancoragem. Essa peça é usada temporariamente durante o lançamento do concreto (PEREIRA et al., 2005).

Cauduro ([2002], p. 11) define ancoragem intermediária como:

Uma ancoragem localizada em qualquer ponto ao longo do comprimento do cabo, que pode ser usada para tensionar um dado comprimento do cabo sem a necessidade de cortá-lo. Normalmente usada em intervalos de concretagem para possibilitar a antecipação da protensão e remoção da fôrma.

2.4.3 Macaco hidráulico

Após a colocação das cunhas, inicia-se o processo de protensão. Para esse processo é utilizado um macaco hidráulico que é colocado na extremidade do cabo. Após a sua colocação aplica-se uma tensão que será explicada posteriormente. Trata-se de um aparelho de fácil manuseio por ser leve, cerca de 19 kg, e de tamanho que facilita o transporte.

Segundo Veríssimo e César Junior (1998a), o macaco hidráulico é o equipamento que aplica a força de protensão no concreto. Esse equipamento foi desenvolvido para o acionamento de trilhos de aterrissagem de aviões no final da Segunda Guerra Mundial, por esse motivo eles são produzidos com uma tecnologia sofisticada.

Os mesmos autores explicam que, como as forças de protensão são de valores

elevados, o macaco hidráulico é a maneira mais simples de se obter essas forças. Cauduro ([2002], p. 3) caracteriza o macaco hidráulico utilizado na protensão sem aderência como “[...] engenhoso e leve (19 kg), que pode ser posicionado e protender em qualquer parte do comprimento do cabo, tensionando uma cordoalha de cada vez a cada 30 segundos.”.

Figura 6 - Macaco hidráulico com pistões paralelos



Fonte: o autor (2017)

O conjunto de equipamentos de protensão é constituído por macaco e bomba. Deve ser disponibilizado para a equipe de protensão, junto com os equipamentos, uma tabela de calibração, para que seja conhecida a pressão necessária para aplicar a força na armadura ativa. O manômetro deve vir regulado (CAUDURO, [2002]).

2.4.4 Concreto

O concreto protendido utiliza técnicas mais aprimoradas que o concreto armado, logo

o concreto utilizado deve ser de melhor qualidade e o controle de qualidade mais rigoroso. Em obras de estrutura convencional, geralmente, se utiliza concretos com f_{ck} , resistência característica à compressão do concreto, menores que no concreto protendido (HANAI, 2005).

Hanai (2005) afirma que o concreto deve ter boa compactidade e baixa permeabilidade, isso faz com que ele tenha uma proteção contra a corrosão da armadura, que, quando solicitado por maiores tensões, como no caso do concreto protendido, é mais suscetível à corrosão. Esse fenômeno denomina-se corrosão sob tensão.

Segundo Cauduro ([2002]), devem-se tomar cuidados específicos no lançamento do concreto:

- a) no lançamento direto da calha do caminhão, deve ser verificado se os cabos não foram deslocados e se o concreto foi adensado corretamente;
- b) por grua ou guindaste, deve-se adotar uma altura mínima a fim de evitar que o concreto desloque os cabos na queda;
- c) com a utilização de bomba, não se deve apoiar o duto da bomba nos cabos, e ela deve ficar em posição que evite o deslocamento deles;
- d) os vibradores não devem ser colocados sobre os cabos durante o adensamento do concreto.

Procedimentos de controle de qualidade do concreto, como mapeamento, rastreabilidade e moldagem de corpos de prova também devem ser tomados. A protensão dos cabos só é feita depois dos ensaios de resistência a compressão para confirmar que o concreto já atingiu o um f_{ck} mínimo especificado em projeto para que a estrutura resista à tensão aplicada nas cordoalhas.

3. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE EXECUÇÃO DA LAJE PROTENDIDA

Neste capítulo, será apresentado todo o processo executivo de uma laje protendida em uma obra que foi acompanhada até atingir o sexto pavimento tipo.

3.1 CARACTERÍSTICAS DA OBRA

A obra está localizada na Avenida Perimetral com a Rua 243 e Rua 231, Quadra 05, Lotes 1/113, 3, 5/160, 111, 153, 156 e 158, Setor Coimbra, cidade de Goiânia-GO. A obra é composta de apenas uma torre, a qual foi utilizada para estudo desse trabalho. O terreno para construção possui 3298,40 m².

Figura 7 – Etapa atual da obra



Fonte: o autor (2018)

A torre conta com 38 lajes sendo subsolo2, subsolo 1, térreo, mezanino garagem, mezanino lazer, 28 pavimentos tipo, duplex superior e inferior, terraço vip, casa de máquinas e barrilete. Cada pavimento possui 1427 m² e 8 apartamentos por pavimento, o que soma um total de 232 unidades.

Para a realização desse projeto a empresa optou por terceirizar os serviços de armação, carpintaria, instalações hidro-sanitárias e protensão. Ainda assim, a empresa contou com mão de obra própria para a realização de serviços como segurança e organização do canteiro.

Figura 8 – Maquete do empreendimento



Fonte: o autor (2018)

3.2 PROCESSO DE EXECUÇÃO

O processo de execução foi acompanhado até o sexto pavimento tipo, tendo seus procedimentos descritos a seguir.

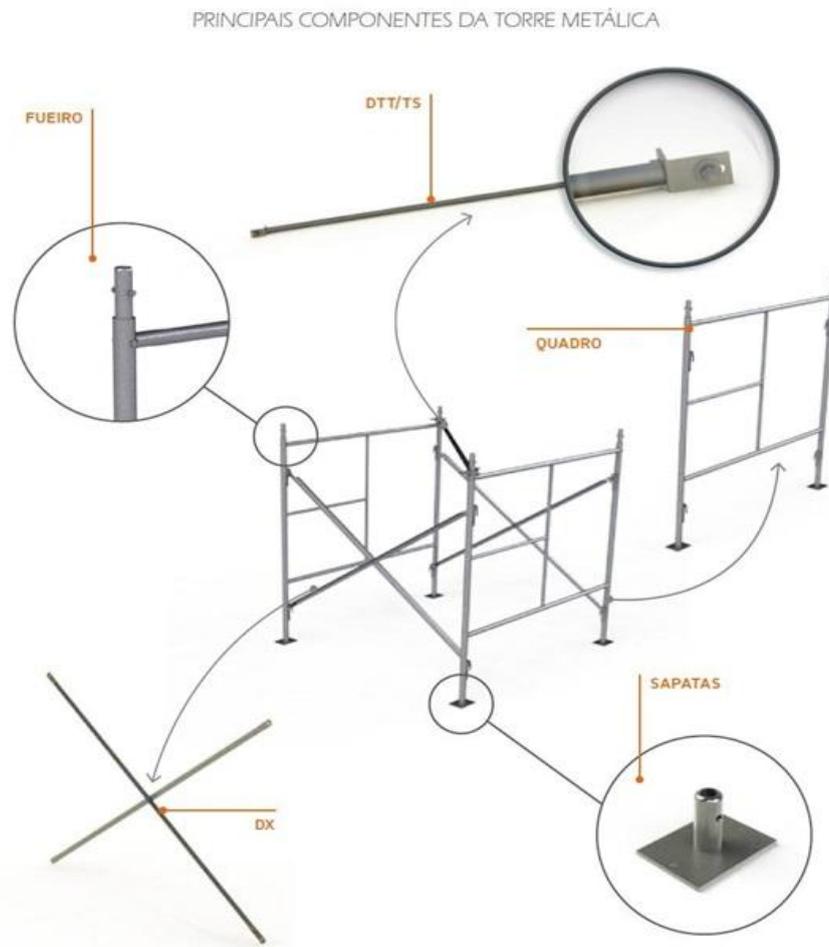
3.2.1 Forma de laje

Para esse processo executivo foi utilizado um sistema composto por torres metálicas (figura 9), escoras metálicas (aço/alumínio) e vigas em alumínio. Foi escolhido esse sistema pois ele é ideal para escoramento de lajes e vigas de obras prediais por possibilitar um alto índice de produtividade devido a facilidade de manuseio, a leveza de seus componentes e flexibilidade do sistema, que atende a todas as geometrias.

As torres metálicas são compostas de estruturas formadas por quadros tubulares que se diferenciam entre si no tamanho e largura, contraventados por diagonais em 'X'. O conjunto formado por dois quadros e duas diagonais é chamado módulo. Esses quadros são apoiados em bases ajustáveis denominadas sapatas que transmitem as cargas dos postes para o solo. A montagem dessas torres é realizada pela equipe de carpintaria que espalha os módulos por todo o perímetro da laje de acordo com o projeto. Para o nivelamento das peças é utilizado um nível a laser e usadas como referências medidas dadas pela topografia.

Após a colocação das torres inicia-se o processo de montagem das vigas de alumínio (figura 10). Elas atuam como uma grade que suporta as chapas de madeira compensadas, recebendo as cargas atuantes e distribuindo para os elementos verticais. Elas possuem canaletas que são preenchidas por sarrafos de madeira, utilizados para pregar as chapas compensadas.

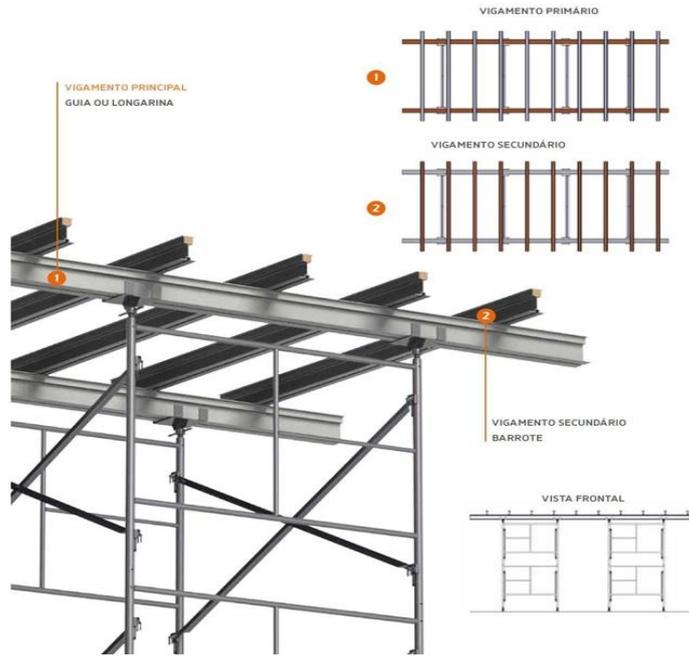
Figura 9 – Componentes da torre metálica



Fonte: Mills (2017)

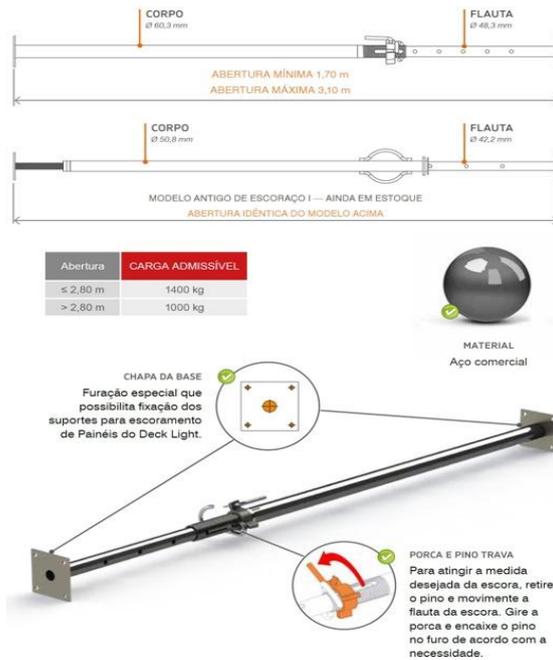
Além das torres metálicas, utiliza-se também escoras metálicas que são distribuídas entre os quadros tubulares para apoio das vigas e tem como função transmitir as cargas verticais para o apoio. É composto por tubo base, tubo telescópico, rosca e pino trava. O tubo telescópico possui furação contínua, que com o auxílio do pino permite a regulagem da altura. A regulagem fina é feita através da rosca. Para a realização desse projeto foram utilizados três tipos de escora sendo denominados escoraço 1 (figura 11), escoraço 2 (figura 12) e escoraço 2T (figura 13).

Figura 10 – Vigamento primário e secundário



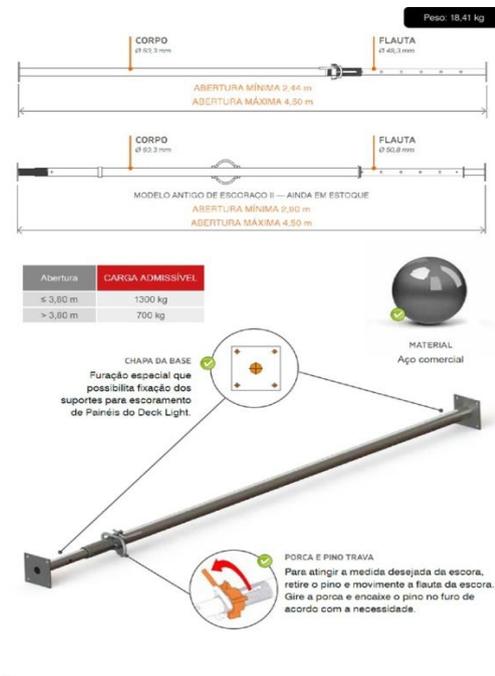
Fonte: Mills (2017)

Figura 11 – Escorço 1



Fonte: Mills (2017)

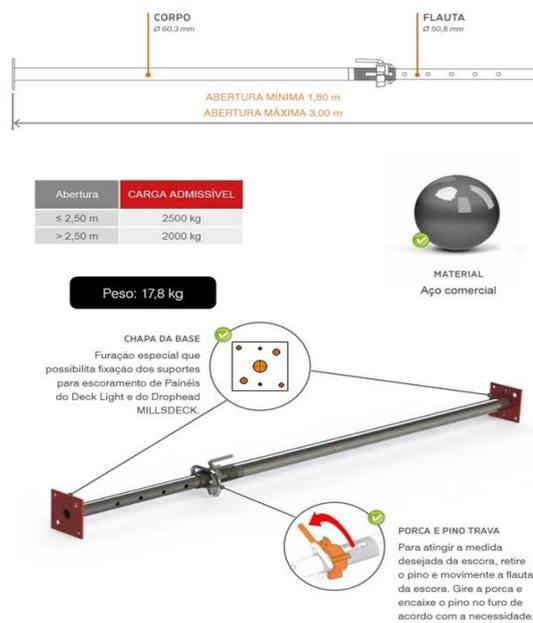
Figura 12 – Escorçoço 2



Fonte: Mills (2017)

Figura 13 – Escorçoço 2T

Escora fabricada em aço. Possui uma elevada capacidade de carga (ver tabela abaixo).



Fonte: Mills (2017)

Terminado a montagem das estruturas inicia-se o processo de colocação das chapas compensadas (figura 14), superfície onde é montada a armação para receber o concreto. Essas chapas possuem 17mm de espessura e tamanho 1,22x2,44m e são apoiadas sobre as vigas secundárias. Elas são fixadas nos sarrafos de madeira existentes nas vigas com a utilização de pregos.

Após a colocação é passado um desmoldante líquido que facilita a desforma e isola as chapas do concreto para que essas peças sejam utilizadas novamente em outras concretagens. Elas são aplicadas com a ajuda de uma bomba

Figura 14 – Colocação das chapas compensadas

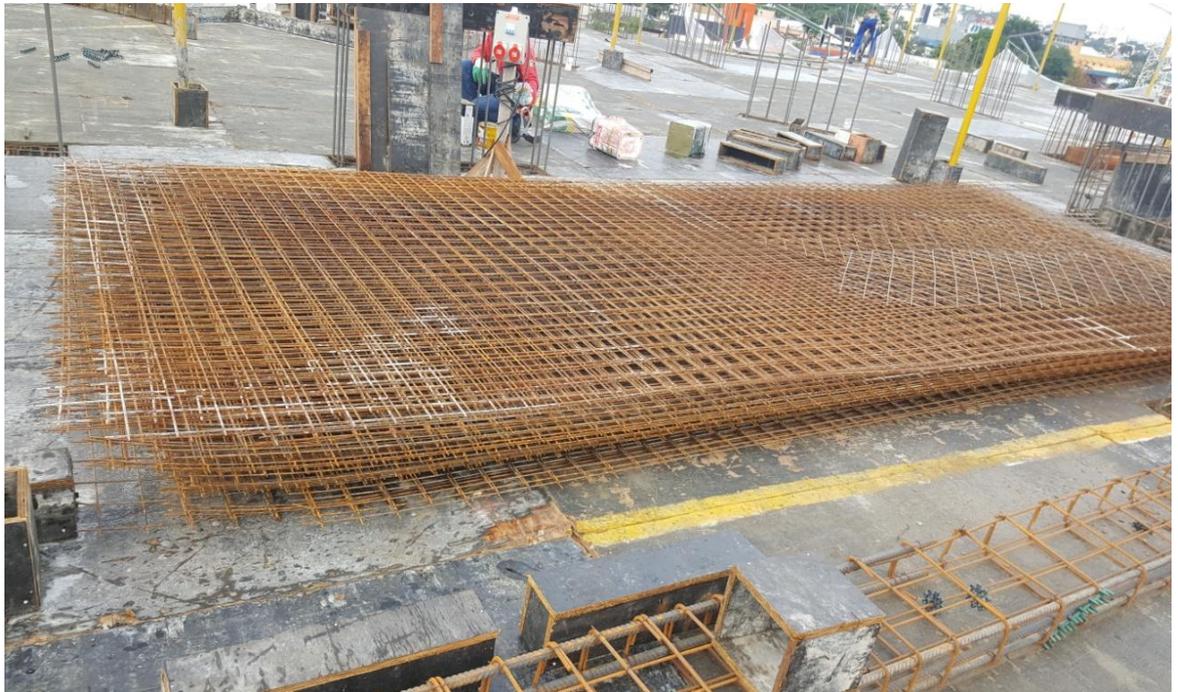


Fonte: o autor (2018)

3.2.2 Armação

Após o término de colocação das formas inicia-se o processo de armação. O primeiro passo nesse processo é a colocação da armadura positiva composta por uma malha soldada (figura 15) que é levada a cada pavimento com a ajuda de uma mini grua. A equipe de armação estende essa malha por todo o perímetro da laje e faz o uso de espaçadores para que ela não fique em contato com a forma (figura 16). Para a execução desse projeto foram utilizados dois tipos de malhas de diferentes diâmetros já montadas em fábrica. A primeira, com fios de 4,5mm, foi utilizada nos subsolos, térreo e mezaninos enquanto a outra, com fios de 4,2mm, nos pavimentos tipo. Ambas possuem 2,45x6m e malhas de 10x10cm.

Figura 15 – Malha soldada



Fonte: o autor (2018)

Figura 16 – Espaçador centopeia



Fonte: o autor (2018)

Terminado esse processo, inicia-se a colocação das monocordoalhas engraxadas, atuantes como armadura ativa da estrutura. Elas são classificadas em horizontais e verticais e possuem uma ancoragem na extremidade que é pintada de cores diferentes. A equipe de armação estende as cordoalhas por todo o perímetro da laje de acordo com a posição indicada no projeto e utiliza essas cores como legenda para diferenciar uma cordoalha da outra.

A cordoalha vem de fábrica enrolada e possui uma placa de ancoragem em uma de suas extremidades que é chamada de ancoragem passiva (figura 17) para que essa seja presa a um dos lados da laje e a protensão ocorra na extremidade oposta. A placa é presa no espelho através de barras de aço transversais chamadas de fretagem. A extremidade onde ocorrerá a protensão é denominada de ancoragem ativa (figura 18). Para a colocação dessa extremidade é feito um furo no espelho onde é colocado um nicho plástico pelo lado de fora e a placa de ancoragem é fixada pelo lado de dentro. Depois é retirada a capa da cordoalha e essa é passada pelo furo onde futuramente ocorrerá a protensão.

Figura 17 – Ancoragem passiva



Fonte: o autor (2018)

Figura 18 – Ancoragem ativa



Fonte: o autor (2018)

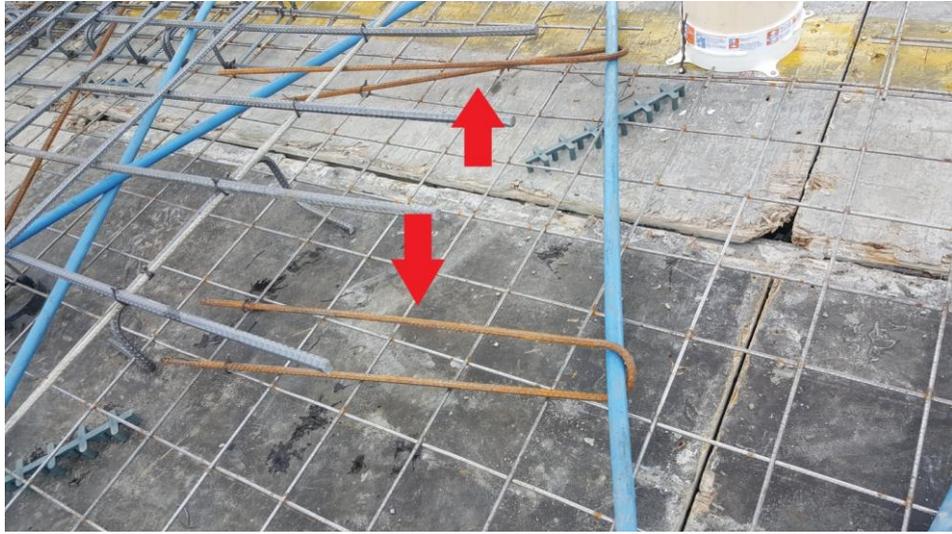
Como próximo passo, são colocadas as cadeirinhas (figura 19) que tem como função manter a altura exata da cordoalha no sentido vertical dimensionada em projeto. As cadeirinhas podem ser de plástico, metálicas ou até mesmo de concreto e possuem diferentes tamanhos que variam de 3,5cm até 14,5 cm. Para a execução desse projeto foram utilizadas cadeirinhas plásticas de 5 a 12 cm que foram colocadas na estrutura pela equipe de armação. Elas possuem uma base que é colocada abaixo da malha para que não se mova e a cordoalha é presa com o uso de arame. Como algumas cordoalhas fazem curvas durante seu percurso, é utilizado um clipe composto por fio de 16 mm (figura 20) que prende a cordoalha na armadura positiva impedindo que ela se mova no sentido horizontal durante a protensão. Durante a concretagem da laje um funcionário da equipe de armação fica a disposição para fazer a troca das cadeirinhas que são quebradas ou retiradas do local devido à movimentação de pessoas ou até mesmo pelo golpe do mangote.

Paralelo à colocação das cordoalhas é feito também a colocação das armaduras de punçoamento ou punções (figura 21) que tem como função resistir às forças verticais concentradas que originam esforços transversos elevados. Elas são fabricadas no próprio canteiro de obra pela equipe de armação e são posicionadas nos arranques dos pilares.

Figura 19 – Cadeirinhas plásticas de 5 a 12 cm



Figura 20 – Clipe de fio 16mm



Fonte: o autor (2018)

Figura 21 – Armadura de punção

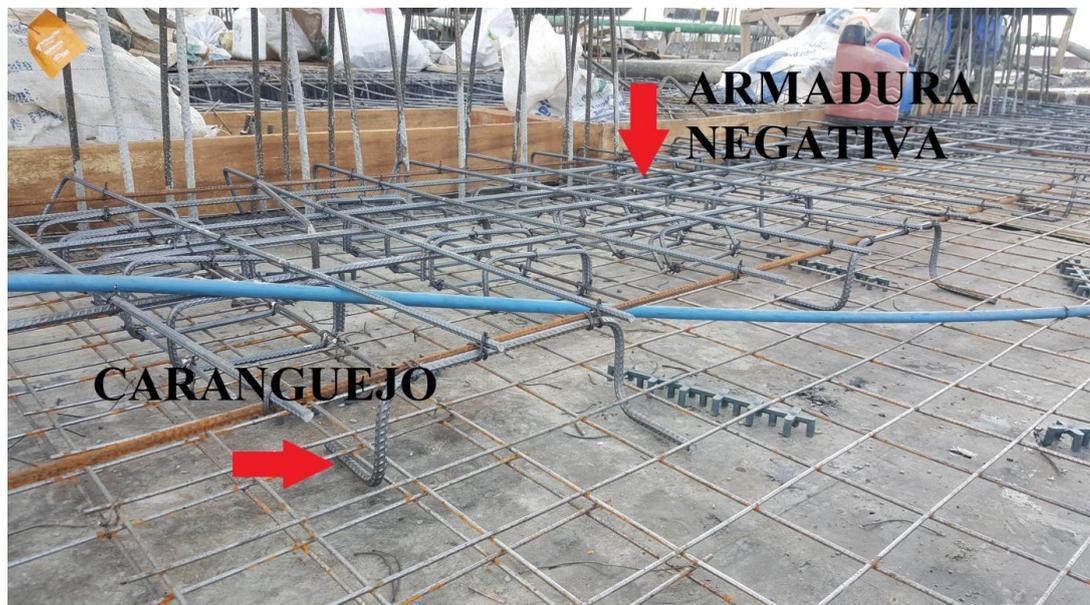


Fonte: o autor (2018)

Por fim são colocadas as armaduras negativas (figura 22) que ficam posicionadas na parte superior da estrutura e servem para absorver os esforços provenientes do momento fletor negativo, combatendo as fissuras que aparecem nas proximidades dos apoios. Para o seu posicionamento são utilizadas espaçadores produzidos com o próprio aço da armadura chamados de caranguejos (figura 22).

Devido à necessidade de ter áreas para mobilização, estoque de materiais e máquinas e espaço para produção, não foi possível concretar toda a área dos subsolos, térreo e mezaninos. Para isso foi dividido a execução do processo em quatro etapas de forma que não prejudicasse o andamento da obra onde inicialmente foi feito a maior parte da área total, área essa que posteriormente abrangeria toda a área dos pavimentos tipos. A área restante foi dividida em três periferias para serem concretadas posteriormente. Essa divisão afetou a colocação dos cabos, pois as cordoalhas são dimensionadas para todo o perímetro da laje sem nenhuma emenda. Portanto para as áreas onde a colocação se iniciava em alguma das periferias foi deixado os cabos de acordo com o tamanho necessário para a futura concretagem.

Figura 22 – Armadura negativa e caaranguejo



Fonte: o autor (2018)

3.2.3 Instalações

Paralelamente a colocação das armaduras positivas é feito a colocação das instalações hidro-sanitárias e elétricas. A laje lisa em concreto protendido é um tipo de laje onde não se permite a perfuração da mesma, pois existe o risco de romper um dos cabos. Por esse motivo para a execução desse projeto foi explorado o uso de shafts (figura 23) onde são passadas todas as tubulações hidráulicas e elétricas. A tubulação desce pelo shaft e entra nos apartamentos entre a laje e o teto rebaixado.

Figura 23 – Shaft para tubulações hidráulicas e elétricas



Fonte: o autor (2018)

Como as tubulações de esgoto precisam ser colocadas no meio da laje, a equipe de instalações hidro-sanitárias corta a malha e prega uma luva no compensado de madeira de acordo com o indicado no projeto. Depois é colocado um tubo de 25 cm de comprimento de forma que ele fique acima do nível da laje (figura 24). Esse tubo é fechado na parte superior para que durante a concretagem não caia concreto ou quaisquer outros elementos que venham obstruir a passagem. Para a prumada (figura 24) dessas tubulações são feitas caixas de compensado, como mostra a figura. Devido a enorme quantidade de cabos e barras de aço que compõe toda a armadura, algumas tubulações foram deslocadas de forma que não atrapalhasse a execução do projeto.

Figura 24 – Tubulação de esgoto e prumada



Fonte: o autor (2018)

3.2.4 Concretagem

O concreto utilizado na concretagem foi usinado e oferecido por empresa terceirizada. Para executar esse projeto e fazer o lançamento na laje, a mão de obra também foi de empresa terceirizada. O concreto chega à obra por um caminhão betoneira e é arremessado na laje através de um caminhão bomba. Foi utilizada bomba lança apenas na fundação e bomba estacionária para os demais pavimentos. A bomba arremessa o concreto por uma tubulação metálica com um mangote flexível na ponta. Devido o seu peso é necessário um grande número de pessoas para manusear o equipamento. O concreto é arremessado e vibrado até atingir uma altura de 18 cm onde um pedreiro fica responsável por nivelar a laje utilizando um nível a laser.

Figura 25 – Teste de abatimento (Slump test)



Fonte: o autor (2018)

Usou-se um concreto com fck de 35 MPa que atingia de 22 a 25 MPa em 48 horas sendo que o previsto em projeto era pra atingir 25 MPa em 96 horas e slump test (figura 25), abatimento de cone, de 12 ± 2 cm. Para cada caminhão de concreto é retirado oito corpos de prova (figura 26) onde é feita a ruptura de dois corpos com 2 dias, dois corpos com 4 dias, dois corpos com 7 dias e dois corpos com 28 dias após a concretagem.

É feito um mapa onde é indicado cada caminhão de concreto arremessado na laje. Esse mapeamento serve para identificar caso algum concreto não atinja a resistência desejada em projeto. Caso isso aconteça, é enviado um relatório para a empresa responsável pelo projeto onde eles identificam se é necessário fazer um reforço na laje. Até o pavimento atingido durante esse estudo não houve nenhum caso onde o concreto não tenha atingido o desejado.

Figura 26 – Corpos de prova para ruptura



Fonte: o autor (2018)

3.2.5 Protensão

Após a concretagem inicia-se o processo de protensão dos cabos. Para isso, a equipe responsável pela protensão retira os nichos plásticos das ancoragens ativas e faz a limpeza do ponto onde serão colocadas as cunhas metálicas. As cunhas metálicas (figura 27) possuem dentes que prendem os cabos garantindo que após a aplicação da força os cabos não retornem para a posição de origem. Após elas serem colocadas, é feito uma marcação no cabo onde será encaixado o macaco hidráulico. Essa marcação serve como referência para medir a distância que o cabo foi alongado.

Figura 27 – Cunhas metálicas



Fonte: o autor (2018)

Para que ocorra a protensão é necessário aguardar os resultados do rompimento dos corpos de prova. A resistência necessária para a protensão determinada em projeto equivale a 21 Mpa sendo então necessário aguardar até que seja atingido, seja no rompimento de 2, 4, 7 ou 28 dias. Após o resultado, o macaco hidráulico (figura 28) é encaixado no cabo e aplicado uma força de 15 toneladas em todos os cabos. Em cada um é anotado a medida de alongamento que varia de acordo com o comprimento de cada um.

Figura 28 – Macaco hidráulico



Fonte: o autor (2018)

3.2.6 Desforma

Um dia após a concretagem são retiradas as formas dos pilares. A desforma da laje inicia-se após o concreto atingir 70% do fck pedido em projeto que geralmente são alcançados

em 4 dias após a concretagem. Para isso os quadros tubulares são abaixados através das sapatas para a retirada do vigamento primário e secundário de um por um para então fazer o deslocamento das chapas compensadas (figura 29). Depois são colocados escorações 1 ou 2 para os procedimentos de segurança que serão apresentados a seguir.

Figura 29 – Deslocamento das chapas compensadas



Fonte: o autor (2018)

3.2.7 Procedimentos de segurança

Para a execução desse projeto foram adotados alguns procedimentos de segurança. De acordo com a evolução do empreendimento, os pavimentos tiveram as periferias fechadas com o uso de tela de proteção e peitoril de madeira (figura 30).

Figura 30 – Colocação de tela para proteção de periferia



Fonte: o autor (2018)

A partir do térreo, foram implantadas linhas de vida com cabo de aço presas em tubos metálicos (figura 31) para que os funcionários içassem os cintos de segurança para trabalhar próxima a periferia. Para a colocação desses tubos metálicos são colocadas caixas de chapa compensada em forma de prumada que são desformadas juntamente com as lajes. Os tubos possuem furos contínuos e são fixados com o uso de fios de aço.

Outro sistema de segurança adotado foi o uso de bandejão. O projeto exigia o uso de bandejão primário e secundário, porém até a etapa de construção atingida, foi utilizado apenas bandejão primário e telas SLQA (figura 32) que servem para capturar materiais que venham a cair da laje e substituem o uso do bandejão secundário. Assim que atingir o sétimo pavimento será implantado bandejão primário nesse pavimento e bandejão secundário no quarto pavimento de acordo com a NR 12.

Figura 31 – Linha de vida



Fonte: o autor (2018)

Figura 32 – Tela SLQA



Fonte: o autor (2018)

Outro fator de suma importância é a questão dos escoramentos de segurança. Segundo o projetista cada pavimento deveria ser concretado com 3 níveis de escoramento sendo o pavimento de nível 1, pavimento a ser concretado, com 100% de escoramento, o pavimento abaixo com 50% e o pavimento em terceiro nível com 25%. Por medida de segurança para a execução desse projeto foram utilizados 100% no primeiro nível 1 e 50% nos níveis 2 e 3 (figura 33). Após a protensão as escoras metálicas poderiam ser substituídas por escoras de madeira, porém não foi utilizado esse sistema. O reescoramento foi introduzido a medida que o escoramento era retirado evitando assim que a laje ficasse em algum momento sem escoras.

Figura 33 – Escoramento em 3 níveis



Fonte: o autor (2018)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para prosseguir com esse capítulo é importante ressaltar que esse empreendimento inicialmente foi projetado para a utilização de laje nervurada. Fez-se a fundação e a empresa optou por paralisar a obra pelo fato de estarem construindo outros três empreendimentos em outro setor. Como uma dessas três obras utilizava o sistema de protensão e o processo era ágil, a empresa optou por alterar o projeto inicial para que pudesse ser adaptado o uso de cabos na sua estrutura quando a construção fosse retomada. A obra ficou parada por quase quatro anos e foi retomada no início do ano 2017. Como já havia sido feito a fundação, o processo teve que seguir com a quantidade de pilares projetados para laje nervurada.

Com isso a obra acabou ficando superdimensionada, pois para o uso da protensão seria necessário uma quantidade menor de pilares com vãos maiores entre si, quantidade essa que poderia ser reduzida pela metade. Por outro lado, isso aumentou o consumo de concreto e exigiu uma equipe maior de armação para entregar a obra no prazo determinado. Isso acaba indo contra os conceitos de viabilidade da utilização da protensão em obras, pois como foi mostrado na figura 1, o concreto protendido tem um custo menor que o concreto convencional.

Outro fator contra os conceitos a ser evidenciado é a aglomeração de pilares do projeto inicial. Devido à necessidade de uma quantidade significativa de pilares para o uso de laje nervurada, os subsolos tiveram a construção de 123 pilares. Isso acabou prejudicando no dimensionamento das garagens e a mobilidade nas mesmas, pois o empreendimento conta com um número grande de apartamentos e conseqüentemente uma grande quantidade de garagens. Como foi citado anteriormente o uso de protensão permite maiores vãos e conseqüentemente maior liberdade arquitetônica. Mesmo assim, a facilidade e rapidez na execução do concreto protendido torna esse empreendimento viável.

Como foi citado anteriormente, o fato do empreendimento tomar todo o espaço do terreno, as lajes dos subsolos, térreo e mezaninos foram divididas em quatro etapas. Atualmente, além da área que abrange o corpo da torre, somente uma das periferias foi concretada até o térreo. Essa é uma das vantagens da utilização de cabos na estrutura pois permite que uma área seja feita em diversas etapas. É feita a protensão da área concretada e deixado os cabos com tamanhos necessários para as futuras etapas.

A empresa segue um modelo de gestão à vista utilizando uma linha de balanço onde é determinado o início e término de cada passo da construção onde está previsto a entrega da obra para o mês de agosto de 2020. Atualmente a obra encontra-se atrasada em uma semana, pois o período chuvoso dos meses anteriores acabou adiando algumas concretagens. Esse atraso nem é considerado preocupante, porém mesmo assim, a empresa está correndo atrás do prejuízo trabalhando em dias de sábado para alcançar a linha de balanço e evitar que futuros problemas atrasem ainda mais a execução.

Outro fator importante a ser ressaltado foi o fato de nenhum teste de ruptura não ter atingido a resistência desejada. Isso permitiu que a execução do processo não atrasasse tanto pois quando acontecesse uma situação assim é necessário aguardar posicionamento do projetista para solução do problema. Em alguns casos onde a resistência fica próxima do desejado, é feito apenas um reforço na estrutura. Porém esse problema pode ser ainda mais grave podendo chegar a demolir a parte concretada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desse trabalho foi mostrar o processo de execução de uma laje em concreto protendido em uma obra em andamento. Foi feita a revisão bibliográfica baseada nos conceitos de protensão e os materiais utilizados. Foi citado também algumas vantagens e desvantagens na utilização da protensão.

Para a realização do estudo, foi feito o acompanhamento da obra até atingir o sexto pavimento tipo. O terceiro capítulo demonstrou detalhadamente o passo a passo de cada etapa do processo de execução, além de relatório fotográfico.

Embora o concreto protendido seja de grande viabilidade devido sua ágil execução a empresa encontrou dificuldades em encontrar mão de obra especializada. Com isso foi necessário contratar uma empresa do estado do Espírito Santo para a leitura de projeto e realização da protensão. Isso mostra que ainda que seja um método construtivo com vários pontos favoráveis, esse tipo de construção ainda não é conhecido como o modelo tradicional das construções em lajes apoiadas em vigas devido a falta de mão de obra especializada e pelas pessoas já estarem adaptadas a esse estilo.

É questão de tempo até que esse tipo de construção se popularize pelo simples fato da sua facilidade em ser executada e pela economia de recursos quando comparada a outros tipos de construção. Além disso, esse tipo de construção pode ser aplicado tanto em obras de grande dimensão como em pequenas obras. Conforme for surgindo mão de obra especializada, a protensão passará a ser utilizada até mesmo em casas residenciais de pequeno porte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto - procedimento. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7483**: cordoalhas de aço para concreto protendido – requisitos. Rio de Janeiro, 2008.

CAUDURO, E. L. **A protensão em edifícios sem vigas**: novas técnicas aumentam a qualidade e reduzem o custo total do edifício. [S. l.]: Belgo – Acelor Brasil, [1999].

Disponível em:

<https://www.belgo.com.br/solucoes/artigos/pdf/protensao_edificios.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2018.

EMERICK, A. A. **Projeto e execução de lajes protendidas**. Brasília: [s. n.], 2002. Disponível em:

<http://www.deecc.ufc.br/Download/TB812_Estruturas%20de%20Concreto%20Protendido/LP.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2018.

HANAI, J. B. de. **Fundamentos de Concreto Protendido**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2005. Disponível em:

<http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/protendido/arquivos/cp_ebook_2005.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2018.

LAZZARI, P. M. **Implementação de rotinas computacionais para o projeto automático de peças em concreto com protensão aderente e não aderente**. 2011. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

PEREIRA, J. L. S.; CARVALHO, R. G. de; LACERDA, I. G. de; ALVES NETO, E. S.; CUNHA, M. **Concreto protendido e lajes protendidas com monocordoalhas engraxadas**: noções gerais, solução estrutural e correta execução. [São Paulo]: Comunidade da Construção, 2005. Disponível em:

<http://xa.yimg.com/kq/groups/2354326/788122937/name/Apostila_Curso_Concreto_Protendido.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2018.

PFEIL, W. **Concreto Protendido**: Introdução. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984. v. 1.van

SCHMID, M. T. **Lajes planas protendidas**. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Rudloff Sistema de Protensão Ltda., 2009. Publicação técnica n. 1.

SCHMID, M. R. L. Concreto protendido: por que protender uma estrutura de concreto?

Revista Concreto & Construções, São Paulo, v. 34, n. 45, p. 33-36, jan./fev./mar.

2007. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/130571024/Revista-Concreto-45>>.

Acesso em: 4 mar 2018.

VERÍSSIMO, G. S.; CÉSAR JUNIOR, K. L. M. **Concreto Protendido:**
fundamentos básicos. 4. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1998a.
Disponível em:
<<http://pessoal.utfpr.edu.br/amacinrm/protendido/arquivos/CP1.pdf>>. Acesso em: 15
abr. 2018.