

## ANÁLISE DE UMA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL E DE CONCRETO PROTENDIDO EM UM PAVIMENTO DE UM EDIFÍCIO

REINISCH, Willian Grotto<sup>1</sup>

ROCHEDO, Cristiano Sesti.<sup>2</sup>

### RESUMO

Com o grande avanço da Engenharia Civil nos últimos anos, a protensão teve seu crescimento no mercado, abrangendo grandes construções como pontes e viadutos até pequenos edifícios, vindo com o intuito de melhorar a engenharia das estruturas, tendo melhores aproveitamentos estruturais, de resistência e maior durabilidade na vida útil da estrutura. Entretanto, ainda é um método pouco utilizado em nossa realidade. Assim, este trabalho visa trazer um pouco mais sobre o sistema de protensão, utilizando o método de lajes lisas e comparando-o com o sistema de concreto armado convencional, que é o mais usado nas construções atualmente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Protensão, Laje Lisa, Concreto Armado, Materiais.

### 1 INTRODUÇÃO

Ao longo do último século, observamos uma grande evolução da engenharia na área das estruturas civis. Segundo Luiz Cholfe e Luciana Bonilha (2013), a protensão teve grande influência na indústria da construção civil, atingindo obras de grande porte (pontes, viadutos) até médio e pequeno porte (edifícios, pré-moldados), proporcionando um maior aproveitamento estrutural, com maiores capacidades de resistência, menores deformações e melhorias de durabilidade e uso.

Cauduro (2002), diz que concreto protendido é o concreto armado ao qual se acrescenta mais um carregamento através de cabos de protensão. São peças estruturais nas quais são introduzidas tensões prévias por meio de aço de protensão, melhorando a resistência da peça.

Pfeil (1984), comenta sobre as vantagens técnicas da protensão, apontando que em relação ao concreto armado convencional, o concreto protendido apresenta vantagens como redução das tensões de tração na peça, redução de fissuras ocasionando maior durabilidade da estrutura, menores quantidades de concreto e aço, maiores vãos e menores seções dos elementos estruturais.

A operação de protensão consiste no estiramento da armadura de protensão, feita geralmente por cilindro hidráulico. Existem dois tipos de protensão: a pré-tração, realizada antes do lançamento

---

<sup>1</sup> Acadêmico do 10º Período de Engenharia Civil do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz. E-mail: Willian-grotto@hotmail.com

<sup>2</sup> Engenheiro Civil e Especialista em Estruturas de Concreto do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz. E-mail: [cristiano.rochedo@gmail.com](mailto:cristiano.rochedo@gmail.com)

do concreto, e a pós-tração, realizada após o lançamento e endurecimento do concreto, a qual se separa em dois tipos: pós-tração com aderência posterior e pós-tração sem aderência posterior (BASTOS, 2015).

Atualmente, a pós-tração sem aderência posterior, com o sistema de execução utilizando cordoalhas engraxadas, está presente na maioria dos projetos de lajes planas e lajes cogumelo dos edifícios residenciais e comerciais. Este sistema simplificou a construção e a execução da protensão no canteiro de obras, por possuir equipamentos e acessórios mais acessíveis e de fácil manuseio (CHOLFE e BONILHA, 2013).

Segundo Loureiro (2006), as lajes cogumelo protendidas, com cordoalhas engraxadas são lajes que não possuem vigas, e são capazes de vencer grandes vãos utilizando espessuras pequenas. Em edifícios comerciais e residenciais possibilitam melhor utilização dos espaços, já que o número de pilares é menor do que nas estruturas de concreto armado.

A protensão veio como auxílio para quebrar as barreiras da construção civil, entretanto os investidores ainda possuem um baixo conhecimento sobre este sistema, dificultando o uso da protensão em edifícios em geral.

O objetivo deste trabalho foi realizar a análise de uma estrutura de concreto armado convencional e uma estrutura de concreto protendido em um mesmo pavimento, de um edifício residencial; visando mostrar um pouco mais sobre o método de protensão, ainda pouco usual no Brasil.

A análise foi feita em um projeto já existente em concreto armado convencional, em um edifício já existente, o Edifício Bellatrix situado na Rua Presidente Kennedy, 717 - Centro, Cascavel – PR. O estudo foi realizado por meio do dimensionamento de estrutura protendida, com o auxílio do *software* TQS. Também foi feita a comparação dos materiais utilizados em cada estrutura e a análise da nova estrutura.

Com a realização desta pesquisa, a questão a ser respondida foi: Quais as diferenças entre uma mesma estrutura projetada em concreto armado convencional e em concreto protendido?

De acordo com as informações expostas anteriormente, o objetivo geral deste trabalho foi analisar uma estrutura de concreto armado convencional e uma estrutura de concreto protendido em um pavimento de um edifício.

Para que este trabalho possa ter pleno êxito, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

- a) Dimensionar em concreto protendido utilizando o *software* TQS, um pavimento de um edifício existente projetado em concreto armado convencional;

- b) Analisar estruturalmente o novo projeto de protensão;
- c) Comparar os materiais utilizados em cada estrutura.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será abordado o conceito de concreto armado e concreto protendido, tipos de protensão, protensão sem aderência posterior, protensão por cordoalhas engraxadas e lajes lisas protendidas.

#### 2.1.1 Definição de concreto armado e concreto protendido

A norma regulamentadora de estruturas de concreto (NBR-6118, 2014), diferencia concreto armado de concreto protendido. Concreto armado são elementos cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, sem aplicação de forças nas armaduras antes da materialização dessa aderência, as chamadas armaduras passivas. Concreto protendido são elementos nos quais partes das armaduras são previamente alongadas, com finalidade de reduzir fissuras e deslocamentos e propiciar melhor aproveitamento de aços especiais, as chamadas armaduras ativas.

Segundo Leonhardt e Mönning (1977), entende-se por concreto armado, o concreto com barras de aço nele imersas. É um material composto, no qual a ligação entre o concreto e a armadura de aço é devida à aderência do cimento e a efeitos de natureza mecânica. As barras da armadura devem absorver os esforços de tração que surgem nas peças submetidas à flexão ou tração.

Uma peça é considerada de Concreto Protendido quando é submetida à ação de forças especiais e permanentemente aplicadas, chamadas forças de protensão, quando a peça é submetida à ação simultânea dessas forças, e o concreto não for solicitado à tração ou só for dentro dos limites permitidos (BASTOS, 2015).

### 2.1.2 Tipos de Protensão

A protensão é feita por meio de cabos de aço, que são esticados e ancorados nas extremidades da peça. Os cabos, também denominados armaduras de protensão, podem ser pré-tracionados ou pós-tracionados. Na pré-tração o estiramento da armadura protendida é feito antes do concreto ser lançado. Já na pós-tração, os cabos são esticados após a cura do concreto, a armadura protendida é ancorada nas extremidades, podendo ficar aderente ao concreto por meio de injeção de uma nata de cimento (PFEIL, 1984).

Segundo Leonhardt (1983), protensão com aderência inicial, ou pré-tração, obtém-se tensionando a armadura de protensão antes do endurecimento do concreto. Os cabos são tensionados entre blocos de ancoragem fixos e são assim concretados. Desta maneira se obtém uma aderência imediata entre a armadura de protensão e o concreto. Após o concreto ter resistência suficiente, os fios são desligados dos blocos de ancoragem de modo que a força de protensão transfira-se para o concreto por aderência ou por dispositivos de ancoragem.

Na pós-tração existem duas formas de execução: pós-tração com aderência posterior e pós-tração sem aderência posterior. Leonhardt (1983), diz que protensão com aderência posterior é a armadura de protensão colocada solta em dutos, ou bainhas, dispostos no interior da peça a concretar. Após o concreto ter uma resistência necessária, a armadura de protensão é tensionada e ancorada nas extremidades da peça, obtendo-se a aderência injetando nas bainhas nata de cimento.

A pós-tração sem aderência posterior, a qual iremos trabalhar neste projeto, é segundo Leonhardt (1983), a armadura de protensão que fica solta no interior das bainhas, sendo capaz de deslizar. Esta situação ocorre também durante o período de construção entre a protensão e a obtenção da aderência posterior.

### 2.1.3 Protensão sem aderência posterior

Sobre pós-tração sem aderência posterior, a NBR 6118 (2014), diz tratar-se de peças protendidas onde não existe a aderência entre a armadura ativa e o concreto. A ligação entre a armadura e o concreto ocorre nas ancoragens nos portos, exatamente onde a força de protensão é transferida ao elemento estrutural.

Segundo Hanai (2005), protensão sem aderência é a protensão em que o pré-alongamento da armadura ativa é realizado após o endurecimento do concreto, sendo utilizadas as partes do elemento

estrutural como apoio, mas não sendo criada aderência com o concreto, ficando apenas esses pontos de apoio ligados ao concreto.

Nos sistemas de pós-tração, as armaduras de protensão são esticadas após o concreto estar endurecido, ficando ancoradas na face da peça. Esses sistemas podem apresentar grande variedade, dependendo dos tipos de cabos, percursos, tipos e posicionamento das ancoragens, etc (PFEIL, 1984).

#### 2.1.4 Protensão por cordoalhas engraxadas

A principal característica do sistema sem aderência é a não formação de aderência entre o cabo e o concreto. O cabo é feito com uma única cordoalha, coberta com uma camada de graxa inibidora de corrosão com uma capa plástica que passa em torno da cordoalha. Cabos não-aderentes são chamados de monocordoalhas, uma vez que cada cabo tem seu próprio par de ancoragens nas extremidades e são protendidos individualmente (ZANETTE, 2006).

No sistema de cordoalhas engraxadas, devido ao fato do atrito ser muito baixo, há uma maior força de protensão na peça. E tendo as ancoragens individuais para cada cordoalha, as tensões concentradas são minimizadas, diminuindo as armaduras de fretagem (LOUREIRO, 2006).

Na protensão sem aderência a armadura ativa é tracionada após a execução da peça de concreto. A armadura é colocada dentro de dutos e ancorada nas extremidades da peça. A inexistência da aderência refere-se somente à armadura ativa, a armadura passiva estará sempre aderida ao concreto (VERÍSSIMO e CÉSAR JR, 1998).

#### 2.1.5 Lajes lisas protendidas

Lajes lisas são lajes de concreto em que as cargas e outras ações são transferidas diretamente aos pilares, sem intermédio de apoios nas bordas (BASTOS, 2015).

Souza e Cunha (1994), diz que em uma laje lisa os cabos possuem um traçado em forma de parábola. A excentricidade criada tende a criar um carregamento dirigido para o centro da curvatura desses cabos. Desse modo a protensão gera um pré-carregamento transversal, de sentido oposto ao carregamento externo. E quando submetido à carregamentos externos tende a equilibrar as forças.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### 3.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

O trabalho tratou-se de um estudo de caso com a análise entre duas estruturas de um Edifício Residencial localizado no centro da cidade de Cascavel, Paraná. O Edifício Bellatrix possui 28 apartamentos com áreas de 169 m<sup>2</sup> a 189 m<sup>2</sup> e possui uma área total de 4986,673 m<sup>2</sup>.

O estudo foi realizado por meio de dados obtidos por meio do projeto final de protensão e concreto armado. Para o pavimento de concreto armado foram utilizados os dados disponibilizados pelo projeto existente do edifício. Os dados do pavimento em protensão foram obtidos através do dimensionamento deste pavimento.

O dimensionamento foi feito utilizando o *software* TQS, que mostrou os dados de estado limite último (ELU) e estado limite de serviço (ELS) da peça. Através desses dados foi analisado o comportamento da estrutura protendida. Depois de estabelecidos os parâmetros de quantidade de aço utilizado e seção da estrutura, foram comparados a quantidade de materiais (aço, concreto e formas) utilizados em cada projeto.

#### 3.2 Caracterização da amostra

O estudo de caso foi feito utilizando um projeto de um edifício existente executado em concreto armado convencional. O edifício residencial foi executado pela Construtora Bastian e Lora e está localizado no centro de Cascavel, na Rua Presidente Kennedy – 717, possui 10 andares, sendo 7 com apartamentos tipo, 2 andares para área comum e 1 andar para a garagem. Os pavimentos tipo do edifício possuem sua estrutura formada por lajes de 14cm de espessura, 42 pilares com seções variadas e 3 metros de comprimento e 42 vigas com seções e tamanhos variados.

#### 3.3 Instrumentos e procedimentos para coleta de dados

A coleta de dados foi realizada nos meses de Julho e Agosto. Logo após foi realizado o dimensionamento da estrutura protendida, obtidos os dados estruturais e quantificados verificou-se os materiais que foram utilizados.



### 3.3.1 Dimensionamento do projeto de protensão

O projeto foi realizado com o auxílio do *software* de dimensionamento estrutural TQS. As readequações dos lançamentos de pilares foram feitas pelo acadêmico, tendo como objetivo diminuir a quantidade total de pilares buscando obter-se o melhor e mais eficaz uso da protensão e foram retiradas todas as vigas presentes no pavimento, formando uma laje lisa.

Para definição das características do concreto e aço utilizados no projeto e para nova altura útil da laje do pavimento, foi utilizada a NBR 6118/2014 como base. E para a definição das cargas do pavimento, foi utilizada como referência a NBR 6120/2017.

Para o dimensionamento das cordoalhas de protensão, foi utilizado o método de protensão parcial com aço CP-190 RB, passando os feixes da direção principal da laje por cima dos pilares, e da direção secundária distribuídos uniformemente ao longo da laje.

### 3.4 Análise estrutural e comparativo de materiais

A análise estrutural aconteceu com a verificação dos estados limites último e de serviço (ELU e ELS) da estrutura protendida, utilizando o auxílio do *software* para realizá-las. Para verificação do Estado Limite de Serviço foram analisadas as deformações e as aberturas de fissuras da laje, e para Estado Limite Último foi analisado o estado limite no ato da protensão.

O comparativo de materiais utilizados foi feito a partir do método quantitativo, calculando a quantidade de aço e concreto utilizado em cada estrutura e inserido os valores em tabelas feitas pelo acadêmico. Após obtidos os valores de concreto e aço utilizados, foi realizada a comparação entre as estruturas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Dimensionamento da protensão

Para realizar o dimensionamento, foram estabelecidos a princípio, as características do pavimento e dos materiais utilizados, tendo como referência as normas NBR 6118/2014 para o

concreto, aço, espessura e cobrimento utilizado na laje e a NBR 6120/2017 para as cargas atuantes. Sendo:

- Concreto: 30MPa
- Aço de protensão (Monocordoalha engraxada): CP 190-RB c/ Ø12,7mm
- Altura útil da laje: 17cm
- Cobrimento das armaduras passivas: 3cm
- Cobrimento das armaduras ativas principal: 3,5cm
- Cobrimento das armaduras ativas secundária: 3,7cm
- Sobrecarga Permanente: 0,15 tf/m<sup>3</sup>
- Sobrecarga Variável: 0,15 tf/m<sup>3</sup>
- Peso das paredes: 0,18 tf/m
- Altura dos pilares: 3m

Em seguida, a readequação dos pilares do pavimento foi realizada, removeu-se todos os pilares de seus locais originais e o novo lançamento foi feito. Os novos pilares locados tiveram suas seções aumentadas, passando a ter 20x70cm, seções que anteriormente variavam entre 20x50cm a 20x70cm. Com a relocação, houve uma diminuição de 20 pilares entre as duas estruturas, acarretando a maiores vãos entre os apoios e chegando a distâncias de 9m entre eles.

Como foi utilizado o método de laje plana para o pavimento, todas as vigas que integravam o projeto original foram removidas, ocorrendo a diminuição de 42 vigas, com seções que variavam de 20x50cm a 20x70cm.

Para a distribuição das faixas de protensão, utilizou-se o método que passa no sentido principal da laje, cabos concentrados na direção dos apoios, e no sentido secundário, cabos distribuídos uniformemente na laje.

Os cálculos para o efeito da protensão na laje são feitos pelo software, sendo função de quem está projetando analisar a melhor maneira de protender a peça. O traçado dos cabos de proteção é gerado pelo software, sendo eles readequados conforme necessidade, para melhor atender a protensão. O dimensionamento dos pilares do pavimento e da armadura passiva da laje foi feito pelo software, gerando todas armaduras necessárias para execução.



## 4.2 Análise estrutural da protensão

A análise da estrutura foi feita a partir da verificação dos estados limites. Para o Estado Limite de Serviço, foi verificado este nas suas fases, Estado Limite de Deformações (ELS-DEF), e o Estado Limite de Abertura das Fissuras (ELS-W). Já para o Estado Limite Último, foi verificado o estado limite no ato da protensão. Para evitar repetições dos conceitos, para a análise do ELS-W e ELU no ato da protensão, será analisado apenas um feixe de protensão que passa pela direção principal da laje por cima dos pilares.

### 4.2.1 Estado Limite de Deformações (ELS-DEF)

As deformações limites são ditadas pela NBR 6118/2014. Para este projeto, a deformação está limitada em 1,2cm (L/250).

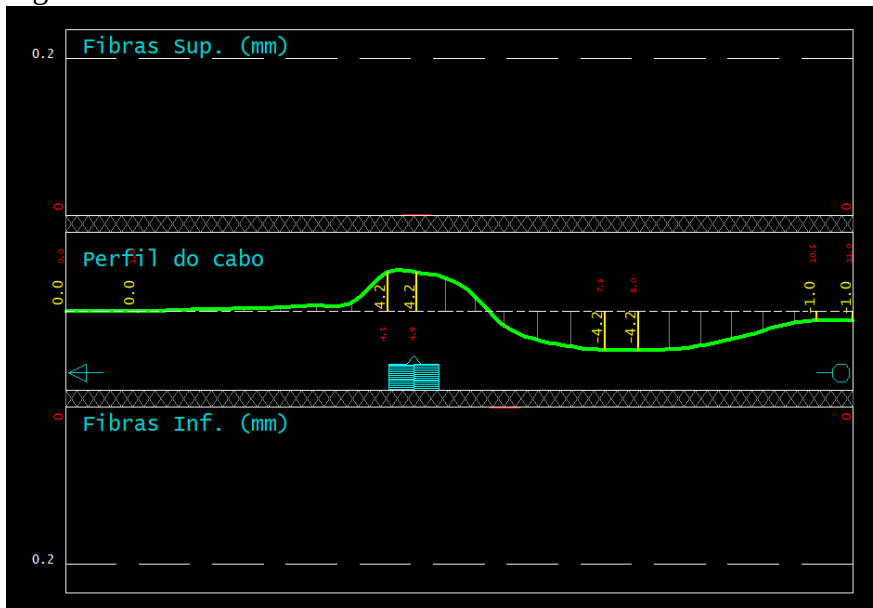
Para verificação das deformações da laje, foi utilizado o gráfico de deslocamento apresentado pelo TQS, as deformações variam de 0,1cm a 1,0cm, ocorrendo a maior deformação na parte central da laje onde a distância entre os apoios é de 9 metros.

### 4.2.2 Estado Limite de Abertura das Fissuras (ELS-W)

Como o método utilizado para dimensionamento foi protensão parcial (Nível 1), a NBR6118/2014 diz que temos que verificar a abertura das fissuras na laje, sendo elas necessariamente menores que 0,2mm.

Na laje projetada não houve nenhum limite superado, passando então, na protensão nível 1. Na Figura 1 vemos o exemplo de uma faixa de protensão.

Figura 1: Estado Limite de Abertura de Fissuras.



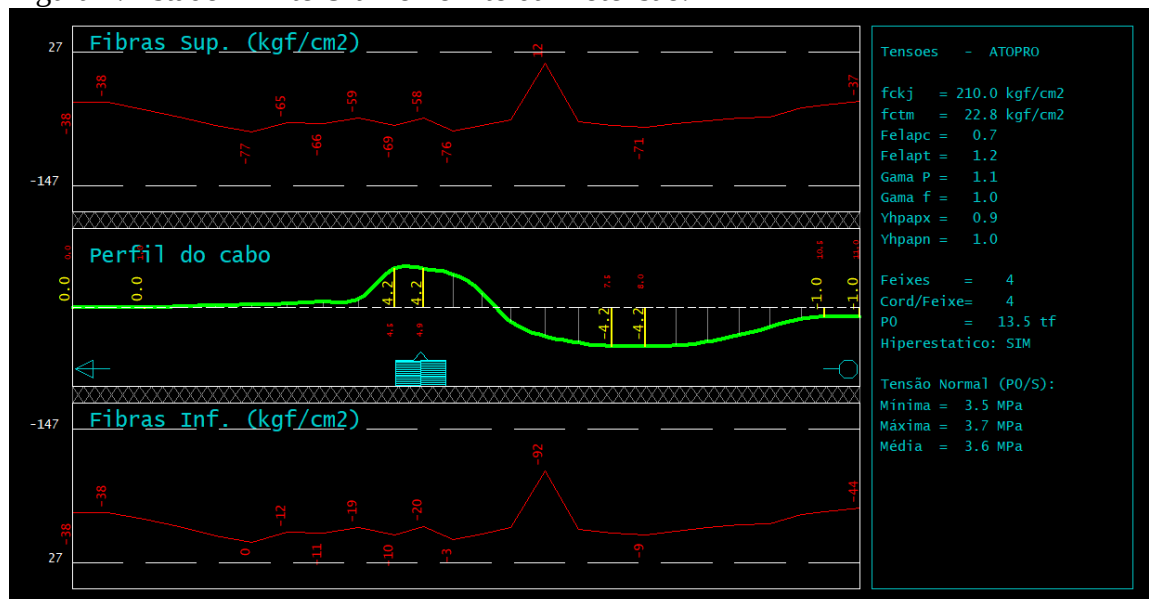
Fonte: Autor (2019).

Conforme visto no gráfico, o limite de fissuração de 0,2mm foi respeitado, não ultrapassado em nenhum dos pontos da laje.

### 4.2.3 Estado Limite no Ato da Protensão

Ao realizar a protensão, a mesma irá gerar uma tensão na peça, por isso, ao executar o projeto, deve-se ter um cuidado para esta tensão não ultrapassar o limite de resistência do concreto. O TQS limitou no ato da protensão, tensões de  $-147 \text{ kgf/cm}^2$  a  $27 \text{ kgf/cm}^2$ . Conforme a Figura 2, vemos essas tensões atuando no feixe de protensão.

Figura 2: Estado Limite Último no Ato da Protensão.



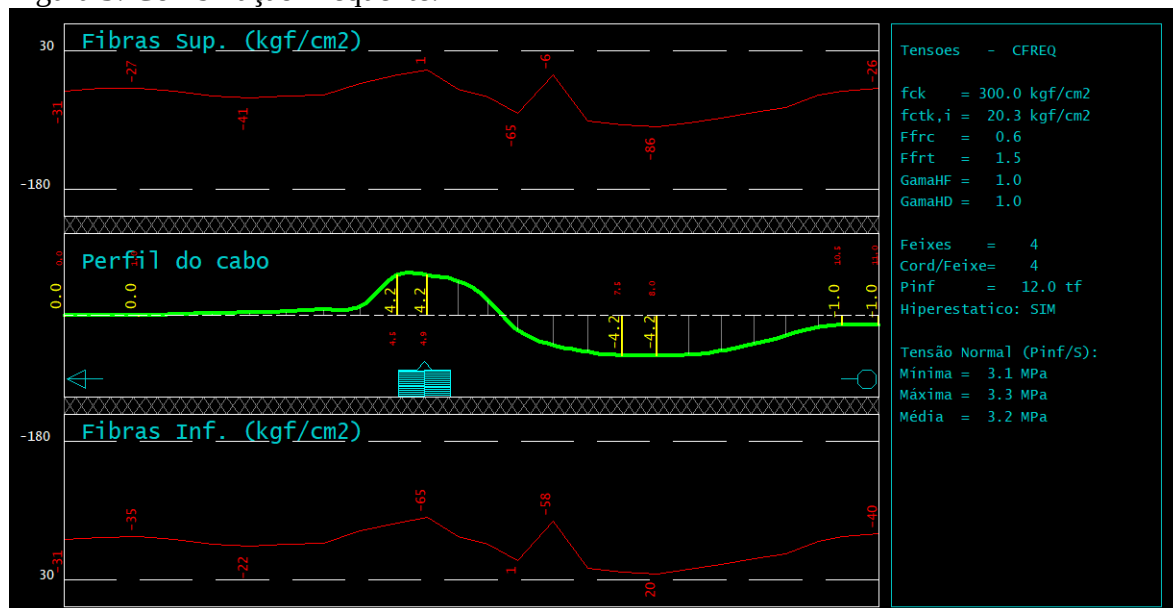
Fonte: Autor (2019).

As tensões de ELU no ato da protensão não foram ultrapassadas em nenhum ponto, portando ao realizar a protensão na peça, não irá ocorrer a ruptura do concreto.

#### 4.2.4 Tensões na Combinação Frequente

A última verificação a ser feita para atender a protensão parcial, é as tensões limites na combinação frequente da peça. As mesmas não podem ultrapassar o limite imposto pelo programa. Vemos na Figura 3, o exemplo em um feixe de protensão.

Figura 3: Combinação Freqüente.



Fonte: Autor (2019).

Como nas outras verificações, as tensões na combinação freqüente não ultrapassam os limites estabelecidos. Portanto, para a protensão nível 1 está ok.

#### 4.3 Comparativo de materiais

Por fim, será apresentado o consumo de materiais para cada um dos tipos de laje, a quantidade de formas, concreto e aço utilizado, que foi obtida por meio de dados quantitativos gerados pelo software.

##### 4.3.1 Volume de concreto

O projeto original é formado por lajes apoiadas sobre vigas, executado em concreto armado convencional com resistência de 25MPa, tendo como quantidade utilizada os valores mostrados na Tabela 1:

Tabela 1: Concreto projeto original.

| Concreto Armado Convencional |            |                |
|------------------------------|------------|----------------|
| CONCRETO                     | QUANTIDADE | UNIDADE        |
| Lajes                        | 55,76      | m <sup>3</sup> |
| Vigas                        | 16,9       | m <sup>3</sup> |
| Pilares                      | 13,42      | m <sup>3</sup> |
| TOTAL                        | 86,08      | m <sup>3</sup> |

Fonte: Autor (2019).

O projeto de protensão teve como volume de concreto os resultados apresentados na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2: Concreto projeto protensão.

| Concreto Protendido |            |                |
|---------------------|------------|----------------|
| CONCRETO            | QUANTIDADE | UNIDADE        |
| Lajes               | 73,19      | m <sup>3</sup> |
| Pilares             | 9,24       | m <sup>3</sup> |
| TOTAL               | 82,43      | m <sup>3</sup> |

Fonte: Autor (2019).

Portanto, o projeto de protensão apresentou uma redução de 3,65m<sup>3</sup> em relação ao de concreto armado convencional.

#### 4.3.2 Área de Formas

O quantitativo de formas utilizadas foi gerado pelo TQS, sendo para o projeto original os valores a seguir (Tabela 3):

Tabela 3: Formas projeto original.

## Formas Concreto Armado Convencional

| FORMAS | QUANTIDADE | UNIDADE        | FORMAS  | QUANTIDADE | UNIDADE        |
|--------|------------|----------------|---------|------------|----------------|
| Lajes  | 398,27     | m <sup>2</sup> | Pilares | 189,66     | m <sup>2</sup> |
| Vigas  | 242,16     | m <sup>2</sup> | TOTAL   | 830,09     | m <sup>2</sup> |

Fonte: Autor (2019).

Para o projeto de protensão, como não contem vigas, serão necessárias formas apenas para as lajes e os pilares, sendo os valores mostrados na Tabela 4 a seguir:

Tabela 4: Formas projeto protensão.

## Formas Concreto Protendido

| FORMAS  | QUANTIDADE | UNIDADE        |
|---------|------------|----------------|
| Lajes   | 430,53     | m <sup>2</sup> |
| Pilares | 118,80     | m <sup>2</sup> |
| TOTAL   | 549,33     | m <sup>2</sup> |

Fonte: Autor (2019).

Observa-se que em comparação com o projeto original, a laje lisa protendida acarreta a uma diminuição de 280,76 m<sup>2</sup> de área de formas utilizadas para executar o pavimento.

## 4.3.3 Quantidade de Aço

A comparação de aço foi feita a partir da quantidade de armaduras utilizadas, sendo as passivas para o projeto original e para o projeto de protensão, as passivas e ativas.

Para o projeto original as armaduras passivas utilizadas foram (Tabela 5):



Tabela 5: Aço projeto original.

| Armaduras Concreto Armado Convencional |            |         |           |            |         |
|----------------------------------------|------------|---------|-----------|------------|---------|
| MATERIAIS                              | QUANTIDADE | UNIDADE | MATERIAIS | QUANTIDADE | UNIDADE |
| LAJES                                  |            |         | VIGAS     |            |         |
| Aço CA-50                              | 3433       | kg      | Aço CA-50 | 812        | kg      |
| Aço CA-60                              | 169        | kg      | Aço CA-60 | 167        | kg      |
| PILARES                                |            |         | TOTAL     |            |         |
| Aço CA-50                              | 708        | kg      | Aço CA-50 | 4953       | kg      |
| Aço CA-60                              | 404        | kg      | Aço CA-60 | 740        | kg      |

Fonte: Autor (2019).

O projeto de protensão, além das armaduras passivas utilizadas, também contou com as cordoalhas, conforme mostra a Tabela 6:

Tabela 6: Aço projeto protensão.

| Armaduras Concreto Protendido |            |         |
|-------------------------------|------------|---------|
| MATERIAIS                     | QUANTIDADE | UNIDADE |
| LAJES                         |            |         |
| Aço CA-50                     | 5910       | kg      |
| Aço CA-60                     | 171        | kg      |
| Aço CP 190-RB                 | 2630       | kg      |
| PILARES                       |            |         |
| Aço CA-50                     | 475        | kg      |
| Aço CA-60                     | 224,65     | kg      |
| TOTAL                         |            |         |
| Aço CA-50                     | 6385       | kg      |
| Aço CA-60                     | 695,65     | kg      |
| Aço CP 190-RB                 | 2630       | kg      |

Fonte: Autor (2019).

Comparando os valores mostrados acima, nota-se que o projeto de protensão utiliza uma quantidade maior de aço que o de concreto armado convencional, sendo 1432kg para aço CA-50, 44,35kg para aço CA-60 e 2630kg para as cordoalhas que só são utilizadas neste projeto.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo estrutural de lajes apoiadas sobre vigas é, sem dúvidas, o mais utilizado em nossa realidade na construção civil, fato que ocorre por questões de praticidade, levando em consideração que este método é utilizado a mais de décadas por nossos construtores, e a demora dos avanços tecnológicos nas estruturas, quando se referindo a obras de médio porte como edifícios residenciais e comerciais.

Porém observamos que, atualmente, a protensão vem surgindo cada vez mais em nosso cenário. Nos edifícios de médio porte, a protensão alia-se ao sistema de lajes lisas, proporcionando agilidade na construção, economia significativa de formas, maior flexibilidade dos ambientes do pavimento, redução da quantidade de pilares e das flechas na estrutura.

Para este projeto, o dimensionamento da laje protendida foi feito utilizando o software TQS, e as normas brasileiras NBR 6118/2014 e NBR 6120/2017 como referência. Como visto no item 4.1, para o projeto de laje lisa protendida, houve uma redução significativa de 20 pilares no pavimento, comparando-o com o projeto original, o que consequentemente acarreta um menor tempo de execução, melhor utilização dos espaços no pavimento e menor quantidade de fundações no edifício.

A análise da estrutura teve como objetivo verificar o efeito da protensão no pavimento, tendo como uso a protensão parcial. Foi verificada a abertura das fissuras na laje, as flechas máximas, o ato da protensão e as tensões na combinação frequentes. Todas as verificações foram respeitadas, para assim, ao realizar a execução do pavimento, não ocorrer nenhum problema na estrutura.

O comparativo de materiais tem como objetivo apresentar as diferenças econômicas entre os métodos, porém como não será introduzido valores aos materiais, será analisado apenas as quantidades utilizadas em ambos pavimentos.

Com a eliminação de todas as vigas do pavimento e a redução dos pilares, o volume de concreto utilizado foi menor no projeto de protensão, com redução de 3,65m<sup>3</sup>, mas a resistência do concreto passou a ser 30MPa, devido a norma limitar este valor como o mínimo para uso em sistemas protendidos, o que em termos de custo seria mais oneroso.

As fôrmas utilizadas sofreram uma redução significativa no projeto de protensão, foram 280,76m<sup>2</sup> de fôrmas economizadas, que geraria um aumento na produtividade da execução e economia de material utilizado.

A quantidade de aço utilizado no projeto de protensão foi maior que no projeto original. Aumento originado por motivos como, maior seção da laje, incidindo a maiores taxas de armaduras mínimas usadas e pela inclusão das armaduras ativas na estrutura.

A Tabela 7 mostra todos os materiais utilizados em ambas estruturas.

Tabela 7: Consumo de materiais nas estruturas.

|                  | Concreto Armado<br>Convencional | Concreto Protendido          |
|------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Concreto         | 86,08 m <sup>3</sup> (25 MPa)   | 82,43 m <sup>3</sup> (30MPa) |
| Fôrmas           | 830,09 m <sup>2</sup>           | 549,33 m <sup>2</sup>        |
| Aço CA-50        | 4953 kg                         | 6385 kg                      |
| Aço CA-60        | 740 kg                          | 695,65 kg                    |
| Aço CP190-<br>RB | 0 kg                            | 2630 kg                      |

Fonte: Autor (2019).

Verificando os resultados, observa-se que a laje lisa protendida apresenta maior gasto com materiais que o projeto original em concreto armado convencional. Contudo, ao analisar fatores como tempo de execução associado ao custo global do edifício, esta opção pode se tornar viável, tendo em vista que o pavimento ao qual foi aplicado a protensão é repetido em 7 andares do edifício. Além das mudanças nas locações dos pilares, que acarretam a maiores vãos no pavimento, podendo dar mais flexibilidade no arranjo dos apartamentos. A protensão também gera uma maior durabilidade na estrutura do edifício, pelo fato das incidências das fissuras serem controladas em projeto.

## REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações, NBR 6120**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

BASTOS, P. S. **Concreto Protendido**. Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, UNESP. São Paulo, 2015.

CHOLFE, L.; BONILHA, L. **Concreto protendido: teoria e prática**. São Paulo: Pini, 2013.

CAUDURO, E. L. **Manual para a boa execução de estruturas protendidas usando cordoalhas de aço engraxadas e plastificadas**. 2.ed. Disponível em [http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/protendido/arquivos/manual\\_para\\_a\\_boa\\_execucao\\_de\\_estruturas\\_protendidas.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/protendido/arquivos/manual_para_a_boa_execucao_de_estruturas_protendidas.pdf)>acesso em: 13/03/2019.

HANAI, J. B. **Fundamentos do Concreto Protendido**. Departamento de Engenharia de Estruturas – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2005.

LEONHARDT, F; MONNIG, E. **Construções de Concreto: princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado**. Rio de Janeiro: Interciência, 1977.

LEONHARDT, F. **Construções de concreto: Concreto Protendido**. Rio de Janeiro: Interciência, 1983.

LOUREIRO, G. J. Projeto de lajes protendidas com cordoalhas engraxadas. In: **Anais do VI Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto**, 2006, São Paulo. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

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

SOUZA, V. M.; CUNHA, A. P. **Lajes em concreto Armado e Protendido**. Rio de Janeiro: Eduff, 1994.

VERÍSSIMO, G. S.; CÉSAR JR, K. L. **Concreto Protendido: Fundamentos Básicos**. Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1998.

ZANETTE, D. S. **Projeto de vigas de pequeno porte parcialmente protendidas com monocordoalhas engraxadas.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.