



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO  
CENTRO DE ENGENHARIAS  
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ACHILLES PINHEIRO BASTOS JUNIOR

**A IMPORTÂNCIA DO USO DE ESPAÇADORES INDUSTRIALIZADOS PARA  
CORDOALHAS ENGRAXADAS**

MOSSORÓ

2022

ACHILLES PINHEIRO BASTOS JUNIOR

**A IMPORTÂNCIA DO USO DE ESPAÇADORES INDUSTRIALIZADOS PARA  
CORDOALHAS ENGRAXADAS**

Trabalho Final de Graduação apresentado a  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Valmiro Quefrén  
Gameleira Nunes

MOSSORÓ

2022

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

BB327 BASTOS JUNIOR, Achilles Pinheiro.  
ai A IMPORTÂNCIA DO USO DE ESPAÇADORES  
INDUSTRIALIZADOS PARA CORDOALHAS ENGRAXADAS /  
Achilles Pinheiro BASTOS JUNIOR. - 2022.  
41 f. : il.

Orientador: VALMIRO QUEFRÉN GAMELEIRA NUNES.  
Monografia (graduação) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Curso de , 2022.

1. posicionamento das cordoalhas. 2.  
deslocamento das cordoalhas. 3. protensão não  
aderente. 4. traçado do cabo. I. NUNES, VALMIRO  
QUEFRÉN GAMELEIRA, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade  
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência  
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva  
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ACHILLES PINHEIRO BASTOS JUNIOR

**A IMPORTÂNCIA DO USO DE ESPAÇADORES INDUSTRIALIZADOS PARA  
CORDOALHAS ENGRAXADAS**

Trabalho Final de Graduação apresentado a  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 24 / 11 / 2022.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Valmiro Quefrén Gameleira Nunes, Prof. Dr. (UFERSA)  
Presidente

---

Christiane Mylena Tavares de Menezes Gameleira, Profa. Dra. (UFERSA)  
Membro Examinador

---

Raimundo Gomes de Amorim Neto, Prof. Dr. (UFERSA)  
Membro Examinador

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Sr. Achilles e Sra. Genesis, responsáveis pela educação a que me foi concedida desde a infância, entendendo e respeitando a insistência dessa longa caminhada a qual escolhi e sempre me apoiando. Obrigado.

À Sr. Francisca, por sua hospitalidade, que manteve sua porta aberta sem olhar a quem entra, que em sua humilde casa me recebeu, com dádivas do que tem de melhor, e por ter um coração do tamanho do mundo. Sou grato por ter me recebido com todo afeto, como se fosse um filho, e por fazer com que me sentisse bem e confortável, levarei a senhora em meu coração e serei eternamente grato. Minha casa será a vossa também, quando quiser, e por quanto tempo desejar.

À Prof.(a). Dra. Maria Aridenise Macena Fontenelle, docente das disciplinas de Tecnologia das Edificações e Gestão da Produção na Construção Civil, e quem sugeriu a temática para o trabalho de conclusão de curso, bem como outras ideias.

Ao Prof. Dr. Valmiro Quefrén Gameleira Nunes, professor de Estruturas de Concreto Armado 2, e orientador, por sempre estar disponível, tirando dúvidas, contribuindo para a feitura do presente trabalho.

À empresa pesquisada Impacto Protensão e Termite Engenharia Inovativa, sem a qual esta pesquisa não teria se concretizado, que disponibilizaram dados adicionais.

A todos (as) os (as) Professores (as) que contribuíram para o meu desenvolvimento e aprendizado na universidade, obrigado.

“Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a beleza libertadora do intelecto para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer”.

Albert Einstein

## RESUMO

O presente trabalho visa realizar uma avaliação da influência de variações das alturas e do deslocamento das cordoalhas de um modelo de viga/longarina protendida, a fim de verificar a importância do uso de espaçadores industrializados do tipo cadeirinha. O correto posicionamento das cordoalhas durante a montagem de vigas e lajes protendidas é de extrema importância para que o sistema estrutural tenha desempenho e segurança adequados e sigam as diretrizes de projeto. Assim, foram realizadas avaliações em dois modelos distintos de vigas/longarinas com protensão não aderente, os quais as alturas das cordoalhas foram modificadas a cada metro em um dos modelos, e no outro modelo foi mantido o correto traçado parabólico do cabo. Foi utilizado o software ALLPLAN – BIM para a criação do modelo de viga/longarina, bem como o detalhamento das fôrmas e de protensão, onde o dimensionamento foi orientado pelas normas ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 7188:2013, ABNT NBR 14931:2004 e ABNT NBR 12655:2015. E através do software de planilha Microsoft Office Excel, foi realizado os cálculos para as análises dos momentos da cordoalha, levando em consideração a força de protensão e as alturas a cada metro. Apurou-se que para o modelo que foi considerado imperfeições, os momentos da cordoalha revelaram-se valores e comportamentos bem distintos do modelo de situação real, proporcionando o surgimento de curvaturas reversas no traçado parabólico do cabo, as quais em uma situação real poderia causar estilhaçamento do concreto durante a operação de protensão.

**Palavras-chave:** posicionamento das cordoalhas; deslocamento das cordoalhas; protensão não aderente; traçado do cabo.

## ABSTRACT

The present work aims to carry out an evaluation of the influence of height variations and the displacement of the strands of a prestressed beam/stringers model, in order to verify the importance of using industrialized spacers of the chair type. The correct positioning of the strands during the assembly of prestressed beams and slabs is extremely important for the structural system to have adequate performance and safety and to follow the design guidelines. Thus, evaluations were carried out on two different models of beams/stringers with non-adherent prestressing, in which the heights of the strands were modified every meter in one of the models, and in the other model the correct parabolic cable layout was maintained. The ALLPLAN – BIM software was used to create the beam/string model, as well as the details of the formwork and prestressing, where the design was guided by the norms ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 7188:2013, ABNT NBR 14931:2004 and ABNT NBR 12655: 2015. And through the Microsoft Office Excel spreadsheet software, the calculations were performed for the analysis of the moments of the strand, taking into account the prestressing force and the heights at each meter. It was found that for the model that was considered imperfections, the moments of the strand revealed to be values and behaviors very different from the model of the real situation, providing the appearance of reverse curvatures in the parabolic cable layout, which in a real situation could cause concrete spalling during the prestressing operation.

**Keywords:** **Keywords:** positioning of the cords; displacement of the cordoals; non-adherent prestressing; cape layout.

## LISTA DE FIGURAS

|           |   |                                                                               |    |
|-----------|---|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1  | – | Conceito de protensão .....                                                   | 15 |
| Figura 2  | – | Redução da altura útil total da edificação – laje com vigas vs. laje plana .. | 17 |
| Figura 3  | – | Montagem de uma laje lisa com monocordoalhas engraxadas .....                 | 19 |
| Figura 4  | – | Processo de revestimento com graxa protetora contra corrosão do cabo ....     | 19 |
| Figura 5  | – | Composição da cordoalha engraxada .....                                       | 20 |
| Figura 6  | – | Acessórios para a protensão não aderente .....                                | 21 |
| Figura 7  | – | Detalhe da placa de ancoragem .....                                           | 21 |
| Figura 8  | – | Espaçador industrializado do tipo cadeirinha para cordoalhas engraxadas       | 22 |
| Figura 9  | – | Espaçador metálico para cordoalhas de protensão .....                         | 22 |
| Figura 10 | – | Bomba e atuador hidráulico .....                                              | 23 |
| Figura 11 | – | Traçado parabólico indesejado da cordoalha engraxada .....                    | 28 |
| Figura 12 | – | Espaçador utilizado para afastar as cordoalhas da fôrma .....                 | 30 |
| Figura 13 | – | Espaçador utilizado para separar as armaduras e posicionar as cordoalhas      | 30 |
| Figura 14 | – | Espaçador industrializado do tipo cadeirinha para cordoalhas .....            | 31 |
| Figura 15 | – | Traçado parabólico cabo modelo 1 .....                                        | 33 |
| Figura 16 | – | Traçado parabólico cabo modelo 2 .....                                        | 34 |

## LISTA DE TABELAS

|          |   |                                                                                          |    |
|----------|---|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 | – | Especificações técnicas das cordoalhas .....                                             | 20 |
| Tabela 2 | – | Especificações dos produtos – cordoalhas para protensão engraxadas e plastificadas ..... | 25 |
| Tabela 3 | – | Relação entre altura da seção e momento da cordoalha .....                               | 26 |
| Tabela 4 | – | Relação entre alturas da seção e momento da cordoalha .....                              | 27 |

## SUMÁRIO

|                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                          | <b>12</b> |
| <b>1.1. Objetivos .....</b>                                         | <b>13</b> |
| 1.1.1. Objetivo geral.....                                          | 13        |
| 1.1.2. Objetivos específicos.....                                   | 13        |
| <b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                                 | <b>14</b> |
| <b>2.1. Materiais de protensão.....</b>                             | <b>14</b> |
| 2.1.1. Conceito e história da protensão .....                       | 14        |
| 2.1.2. Protensão Não Aderente .....                                 | 18        |
| 2.1.3. Cordoalha Engraxada .....                                    | 19        |
| <b>3. METODOLOGIA .....</b>                                         | <b>24</b> |
| <b>3.1. Caracterização.....</b>                                     | <b>24</b> |
| <b>3.2. Cálculo de verificação .....</b>                            | <b>24</b> |
| 3.2.1. Modelo 1 .....                                               | 25        |
| 3.2.2. Modelo 2 .....                                               | 27        |
| <b>3.3. Avaliação do uso de espaçadores industrializados .....</b>  | <b>28</b> |
| 3.3.1. Espaçadores Industrializados .....                           | 29        |
| 3.3.2. Classificação.....                                           | 29        |
| 3.3.2.1. Função .....                                               | 29        |
| 3.3.2.2. Formato .....                                              | 31        |
| <b>3.4. Importância do Uso de Espaçadores Industrializados.....</b> | <b>31</b> |
| 3.4.1. Funcionamento Estrutural .....                               | 31        |
| 3.4.2. Durabilidade.....                                            | 32        |
| <b>4. RESULTADOS.....</b>                                           | <b>33</b> |
| <b>4.1. Resultados Modelo 1 .....</b>                               | <b>33</b> |
| <b>4.2. Resultados Modelo 2 .....</b>                               | <b>34</b> |
| <b>5. CONCLUSÃO .....</b>                                           | <b>35</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                            | <b>36</b> |
| <b>ANEXO 1 – FÔRMA VIGA/LONGARINA PROTENDIDA .....</b>              | <b>38</b> |
| <b>ANEXO 2 – MODELO 1 VIGA/LONGARINA.....</b>                       | <b>39</b> |
| <b>ANEXO 3 – MODELO 2 VIGA/LONGARINA.....</b>                       | <b>40</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

A protensão é um recurso que consiste em introduzir numa estrutura um estado prévio de tensões, sob diversas condições de carga, melhorando o comportamento estrutural do sistema. Assim, cabos de aço nas estruturas introduzem um estado prévio de tensões no concreto, a fim de reduzir ou anular completamente o efeito de tração na estrutura.

O conceito para criar o concreto protendido é uma ideia totalmente diferente do concreto armado, já que numa viga bi-apoiada em concreto armado, sua armadura é definida pelo momento fletor máximo e posicionada ao longo da região de tração e logo após é concretada a estrutura. Para o concreto protendido, nessa mesma viga, serão inseridas cordoalhas engraxadas em seu interior de modo a criar um estado prévio de tensões, e a posição do cabo é colocado de acordo com o diagrama de momento fletor.

Segundo (DUARTE, 2015), um dos problemas da estrutura em concreto armado é que sua armadura só começa a trabalhar quando a mesma é solicitada e, com isso, pelo efeito da aderência, a deformação do concreto acompanha a do aço, ocasionando tensões de tração não apenas no aço, bem como no concreto, gerando fissuras e, com isso a perda de capacidade de proteção da armadura e a perda da seção colaborante, diminuindo a inércia.

Nas vigas que utilizam a protensão não aderente, durante a fase de projeto as cordoalhas engraxadas possuem na maioria das vezes traçados parabólicos, o que resulta um aumento da eficiência das forças de protensão aplicadas pelos cabos, bem como um aumento da capacidade de balanceamento das cargas, (PELLEGRINO, 2020). O mesmo autor, ainda ressalta que o conceito de carga balanceada, tem como princípio básico propiciar que as cargas verticais equivalentes da protensão equilibrem uma fração das cargas permanentes atuantes, tornando a estrutura para esse nível de carregamento, submetidas apenas a tensões de compressão.

Com base nisso, esse fator gera a necessidade de montagem das cordoalhas o mais próximo possível das alturas prescritas em projeto, pois um posicionamento das alturas das cordoalhas equivocado pode ocasionar o surgimento de fissuras decorrentes do estilhaçamento do concreto, bem como de flechas diferentes das previstas em projeto, ou até mesmo em caso mais extremos, o colapso da estrutura, (AALAMI and BOMMER, 1999; ROMANICHEN and SOUZA, 2019).

Assim, para manter as cordoalhas engraxadas na posição especificada em projeto, são utilizados espaçadores de apoio pontuais, os quais não são industrializados. Quando se faz o uso de espaçadores industrializados, os quais são geralmente em modelos plásticos ou de aço, com controle rigoroso no seu processo de produção, visto que segue corretamente as alturas

prescritas em projeto da curvatura parabólica do cabo. Entretanto, a produção dos espaçadores de apoios pontuais não industrializados é realizada na própria obra, através da dobra de barras de aço, não apresentando nenhum controle de produção, consequentemente ocasionando uma variabilidade das alturas das cordoalhas, (AALAMI, 2014). Outras situações como falta de atenção em seu correto manuseio e montagem das vigas, é associada com os danos causados nas operações de concretagem, podendo causar o deslocamento horizontal do espaçador.

Desta forma, o presente estudo é justificado primeiramente por fornecer parâmetros para à tomada de decisão, a respeito dos acessórios utilizados no sistema de protensão. Assim, buscou-se apresentar uma verificação sobre a importância de se usar espaçadores industrializados para o correto posicionamento das cordoalhas de engraxadas, a fim de evitar o surgimento de curvaturas reversas e o estilhaçamento do concreto durante o ato de tracionamento do cabo pelo atuador hidráulico. Tal verificação será realizada através de um estudo de dois modelos de vigas/longarinas, onde em um modelo será atribuído um traçado parabólico do cabo sem alterações, e no outro, será atribuído alterações no posicionamento das alturas do cabo.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo geral**

Realizar um estudo sobre a importância do uso de espaçadores industrializados para cordoalhas engraxadas que são utilizadas no concreto protendido não aderente.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Realizar um levantamento bibliográfico sobre o concreto protendido;
- Estudar as consequências do deslocamento da cordoalha engraxada, em uma viga de concreto protendido;
- Avaliar o uso dos espaçadores industrializados.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Materiais de protensão**

Ao longo dos tempos as construções vêm se desenvolvendo de acordo com a demanda de cada população, bem como dos materiais disponíveis em cada região. Materiais aos quais antes se encontrava com vasta facilidade na natureza, como a pedra natural e a madeira, os quais foram os primeiros a serem utilizados em construções. Com base nisso, surgiu o concreto como uma opção às limitações que os materiais rudimentares ofereciam, auxiliando no desenvolvimento das construções como conhecemos hoje.

O concreto armado junto à protensão, foi utilizado a partir da criação do cimento Portland, em 1824, na Inglaterra, (VERÍSSIMO, 1998). O aço do concreto armado é considerado um material que trabalha passivamente, pois seu trabalho só se inicia quando a estrutura começa a trabalhar, isto é, o aço do concreto armado só ativa sua função após a retirada do escoramento e inicia a deformação do concreto, (CARVALHO, 2012).

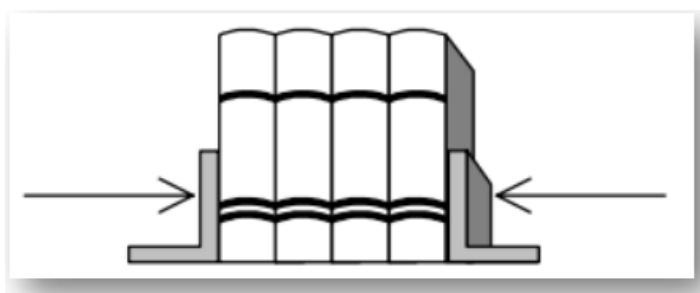
No caso do concreto protendido, o aço é previamente tracionado, antes da retirada do escoramento. E a aplicação de tensão de protensão ocorre através dos atuadores hidráulicos, que tracionam a cordoalha engraxada e comprimem a peça. Desta forma, esse aço sempre estará ativo, independente se as escoras não forem retiradas, ou se o concreto estiver ou não trabalhando ou se deformando. Para isso, é necessário que haja a perfeita aderência entre os materiais de protensão e o concreto, bem como o correto posicionamento das alturas das cordoalhas engraxadas, e que possam trabalhar em conjunto, absorvendo os esforços e evitando efeitos de deslocamentos horizontais dos cabos e curvaturas reversas.

#### **2.1.1. Conceito e história da protensão**

O conceito de protensão já era utilizado muito antes do conceito que se tem hoje em dia. A ideia da tensão prévia era utilizada em arcos de barris pressionados em si, bem como em rodas de carroças, isto é, de forma bem rústica. Desta forma, de acordo com (VASCONCELOS, 2010), a protensão consiste em aplicar em uma estrutura um estado prévio de tensões com o

propósito de melhorar sua resistência ou seu comportamento diante de diversas condições. A maneira mais simples de compreender o conceito de tensão prévia na engenharia, é por meio de um exemplo clássico utilizando uma pilha de livros. Assim para se carregar um conjunto de livros em fila, dispostos de forma horizontal, que posteriormente devem ser levantados sem que caiam, é realizada a aplicação de uma força na horizontal a qual estabeleça uma compressão contra os livros, como é mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Conceito de Protensão.



Fonte: VERÍSSIMO, 1998.

Com base nisso, e se tratando do concreto que é um dos materiais mais utilizados na construção civil, constatou-se que a sua limitação em vencer grandes vãos se justificava pelo material possuir uma baixa resistência à tração. Desta forma, buscou-se eliminar essas tensões de tração no concreto empregando os conceitos de protensão, e aplica-las na solução de lajes e vigas de concreto armado.

A primeira obra em concreto protendido foi executada pelo engenheiro francês Eugène Freyssinet, o qual executou os processos que conhecemos hoje, se tornando uma das figuras mais importantes e que contribuiu em larga escala para a evolução dos processos construtivos na engenharia civil. No Brasil a primeira obra a fazer o uso do concreto protendido foi a Ponte do Galeão, localizada no Rio de Janeiro, em 1948, utilizando o sistema Freyssinet, importando projetos da França com especificações do aço e ancoragem. Somente em 1952, quando a Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira iniciou suas atividades de fabricação de aço destinadas a protensão, que o Brasil passou a executar sua primeira obra em protensão com aço nacional, sendo a Ponte de Juazeiro que liga os municípios de Petrolina – PE e Juazeiro – BA, (MACEDO; SOUZA, 2016).

De acordo com (SANTOS, 2017), mesmo com todos os avanços tecnológicos, o concreto protendido tem seu uso restrito no Brasil, mesmo que seu uso seja em maior concentração no Nordeste, Curitiba, São Paulo e Minas Gerais, na região sudeste já se observa

uma procura por treinamentos e qualificação de engenheiros para essa técnica, visto que os projetos arquitetônicos estão tendo formas mais ousadas. Mesmo que a técnica da protensão apresente inúmeras vantagens e seu processo construtivo seja muito utilizado em vários países do mundo, no Brasil, a cultura do concreto armado ainda prevalece.

Com isso, dentre os maiores benefícios da solução da protensão, tem-se um maior controle sobre as fissurações, possibilitando uma maior durabilidade das peças que estão submetidas a esse processo. Vigas e lajes protendidas conseguem vencer longos vãos, reduzindo a quantidade de pilares por pavimento, característica a qual é muito apreciada pelos arquitetos, os quais instigam a criatividade de um ambiente com menos elementos estruturais que interferem na ambientação, proporcionando assim a liberdade arquitetônica da estrutura. Para (MACEDO; SOUZA, 2016), esse tipo de vão é observado na utilização de lajes planas e lisas as quais possuem uma altura única para toda a laje, sendo que quando aliadas à utilização do concreto protendido, conseguem otimizar mais o efeito de leveza da estrutura, sem que deixe de atender seus requisitos estruturais e de serviço, os quais são exigidos e prescritos por norma.

O sistema de protensão está ligado diretamente ao concreto, pois é o único material que permite realizar a tensão prévia internamente. Em vigas e lajes de madeira e aço, a protensão geralmente é utilizada como reforço estrutural, sempre de forma externa e aparente. Com isso, é importante existir uma boa relação entre os dois materiais constituintes, o concreto e o aço de alta resistência, de forma a garantir o bom desempenho das estruturas.

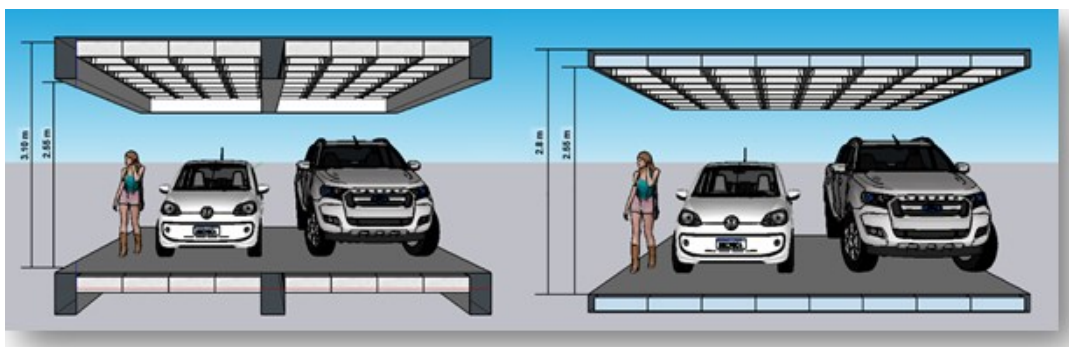
Segundo (FRANCO, 1994), o concreto protendido vem encontrando uma aplicação cada vez maior em estruturas de edifícios devido à necessidade de vencer vãos livres de grandes dimensões com elementos de altura reduzida.

O uso do sistema de protensão com pós-tração em lajes e vigas representam algumas vantagens em relação ao sistema convencional em concreto armado, as quais são:

- liberdade arquitetônica devido à possibilidade de vencer grandes vãos ou vãos fortemente carregados mantendo uma grande esbeltez da laje;
- maior eficiência de área útil do pavimento devido a menor quantidade de pilares;
- maior economia em relação às estruturas de concreto armado para vãos superiores a 7,0 metros;

- redução das espessuras das lajes ocasionando significativa redução da altura útil total da edificação, bem como menor peso total da estrutura, podendo possivelmente reduzir os custos com fundações, como é mostrado na Figura 2;
- maior eficiência e velocidade na desforma e retirada dos escoramentos;
- diminuição e até a possível eliminação de flechas e fissurações nas lajes;
- resistência ao puncionamento em lajes lisas ou cogumelo, resultado da colocação adequada dos cabos de protensão em regiões próximas dos pilares.
- vãos maiores com menor número de pilares, permitindo maior mobilidade de layout e, flexibilização do projeto arquitetônico;
- redução do peso total ou partes do edifício, diminuindo o custo das fundações;
- possibilidade de uso de divisórias com gesso acartonado, decorrente da redução expressiva de deformações nas lajes;
- simplifica as instalações hidrosanitárias, elétricas, incêndio e de ar condicionado, em função da inexistência do vigamento;
- fôrmas mais simples e de fácil montagem/desmontagem, acarretando na diminuição da mão-de-obra, rapidez na execução e economia;
- melhor organização do canteiro de obras;
- menor custo de manutenção;
- menor custo de vida útil da estrutura.

Figura 2 – Redução da altura útil total da edificação – laje com vigas vs. laje plana.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

### 2.1.2. Protensão Não Aderente

A execução do concreto protendido faz uso de ações diferentes além dos utilizados em estruturas de concreto armado convencionais. A chamada *armadura passiva* utilizada no concreto protendido é a mesma utilizada no concreto armado convencional, porém seu uso não é aplicado com a mesma finalidade, já a *armadura ativa* como se tornou conhecida, tem a função de suportar o tensionamento que é aplicado na peça, fazendo com que o concreto em contato com a mesma fique em estado de compressão.

Segundo (ALMEIDA FILHO, 2002), neste sistema, são utilizadas cordoalhas engraxadas plastificadas com adição de um revestimento de PEAD-Polietileno de Alta Densidade, impermeável à água, muito resistente e durável, extrudado diretamente sobre a cordoalha já engraxada em toda sua extensão, fazendo com que haja livre movimentação da cordoalha em seu interior. A protensão não aderente ocorre quando as armaduras de protensão só estão ancoradas no concreto nas extremidades das peças estruturais. A falta de aderência acarreta negativamente ou até pode não impedir a fissuração da peça, sendo necessário utilizar armaduras aderentes (passiva) para prevenir a fissuração.

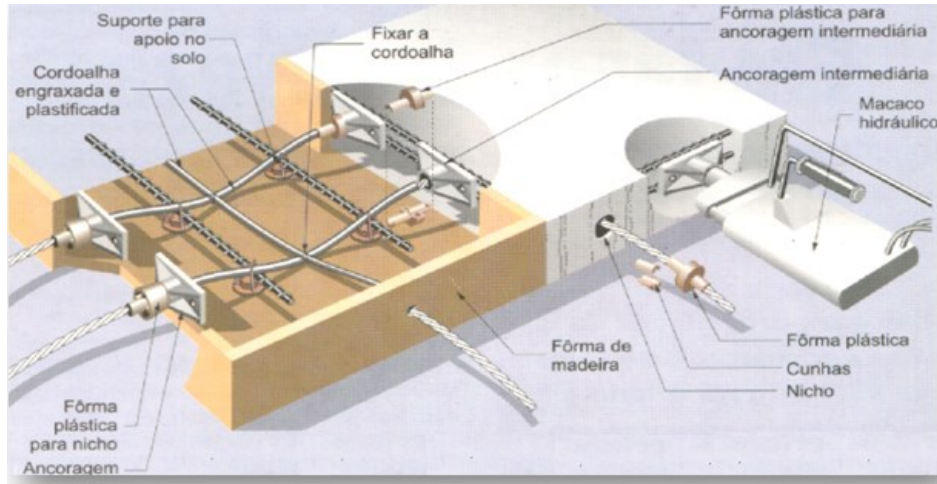
Entretanto, apesar do sistema com aderência possuir em tese um comportamento melhor quanto à distribuição das fissuras e à segurança à ruptura para efeitos localizados, os cabos constituídos por cordoalhas engraxadas plastificadas oferecem maiores vantagens, tais como:

- rapidez na montagem;
- aumento da excentricidade que se obtém com a monocordoalha em relação à bainha achatada;
- redução das perdas por atrito;
- eliminação do serviço de injeção de calda de cimento;
- economia em relação a protensão aderente;
- proteção contra a corrosão devido a graxa envolvida no cabo.

Os procedimentos progridem de forma semelhante, tanto para a pré-tensão como para a pós-tesão, a aplicação da protensão da armadura será realizada após a cura do concreto lançado na estrutura, isto é, todas as formas, ancoragens e armaduras passivas e ativas serão posicionadas respectivamente de acordo com o projeto, após tal posicionamento as peças são então concretadas para que após atingir a resistência necessária, as forças de tensionamento de

tração exercidas pelo macaco hidráulico sejam finalmente aplicadas ao aço, como é mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Montagem de uma laje lisa com monocordoalhas engraxadas.

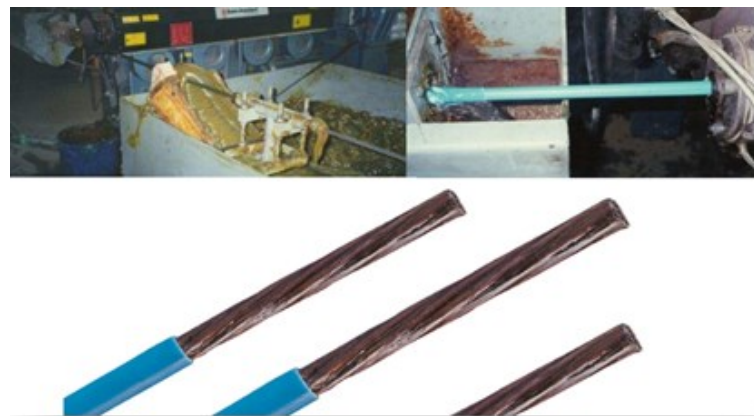


Fonte: Revista Técnica, 1997.

### 2.1.3. Cordoalha Engraxada

A característica principal deste tipo de protensão é a não aderência entre o concreto e o cabo. Esses cabos não aderentes são geralmente formados por monocordoalhas compostas de três a sete fios de aço de alta resistência. As cordoalhas de aço em sua fabricação, são revestidas com graxa protetora contra corrosão e em seguida com uma bainha de PEAD (Polietileno ou Polipropileno de alta densidade), sendo realizados em um processo contínuo, como é mostrado na Figura 4.

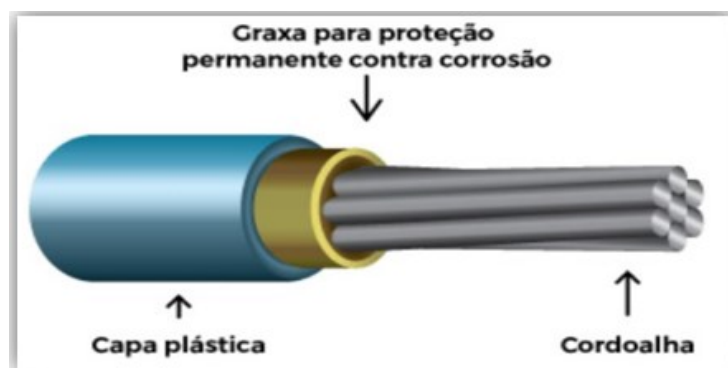
Figura 4 – Processo de revestimento com graxa protetora contra corrosão do cabo.



Fonte: BELGO BEKAERT ARAMES, 2018.

A Figura 5 mostra a composição de uma cordoalha engraxada e plastificada.

Figura 5 – Composição da cordoalha engraxada.



Fonte: BELGO BEKAERT ARAMES, 2018.

Assim, a graxa compõe a proteção secundária contra corrosão do aço, além de servir como lubrificante entre cordoalha e a capa plástica, reduzindo o atrito. A graxa também forma uma película protetora para exposição a baixas temperaturas, onde é quimicamente estável e não reage com o aço da cordoalha, nem com a capa plástica, bem como o concreto.

As cordoalhas engraxadas utilizadas para protensão não aderente são compostas por sete fios de aço, o qual é fabricado pela Belgo Bekaert Arames S. A. Algumas especificações técnicas dos tipos de cordoalha, estão presentes na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Especificações técnicas das cordoalhas.

|                 | Diâmetro nominal (mm) | Área (mm <sup>2</sup> ) | Área Mínima (mm <sup>2</sup> ) | Peso (Kg/m) | Carga mínima de ruptura (kN) | Carga mínima a 1% de deformação (kN) |
|-----------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------|------------------------------|--------------------------------------|
| CP-190RB 7x12,7 | 12,7                  | 101,4                   | 98,7                           | 0,792       | 187,3                        | 168,6                                |
| CP-190RB 7x15,2 | 15,2                  | 143                     | 140                            | 1,126       | 266                          | 239                                  |
| CP-210RB 7x12,7 | 12,7                  | 101                     | 99                             | 0,792       | 203                          | 183                                  |
| CP-210RB 7x15,2 | 15,2                  | 143                     | 140                            | 1,126       | 288                          | 259                                  |

Módulo de elasticidade: 202.000 MPa:  $\pm 3\%$

Fonte: BELGO BEKAERT ARAMES, 2018.

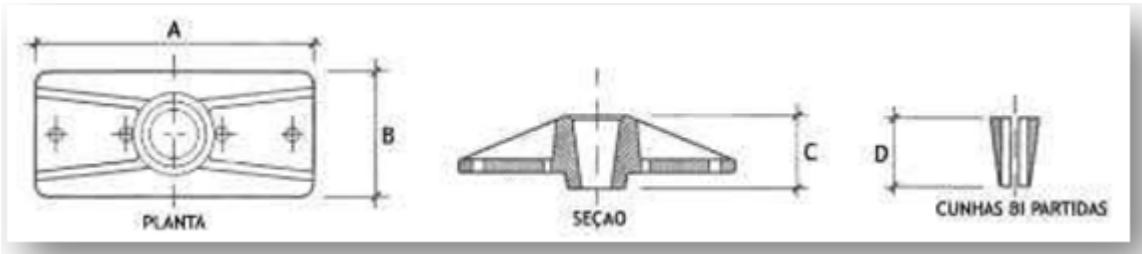
Para o uso das cordoalhas engraxadas em estruturas protendidas não aderentes, são necessários alguns acessórios, tais como: ancoragens, cunhas, adaptador de ancoragem (pocket form), tubo PEAD, espaçadores industrializados e o atuador hidráulico para a protensão, como é mostrado nas Figuras 6 e 7.

Figura 6 – Acessórios para a protensão não aderente.



Fonte: Impacto Protensão, 2022.

Figura 7 – Detalhe da placa de ancoragem.



| Diâmetro da Cordoalha (mm) | Dimensão A (mm) | Dimensão B (mm) | Dimensão C (mm) | Dimensão D (mm) |
|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 12,7                       | 127             | 57              | 35              | 33              |

Fonte: Impacto Protensão, 2022.

Os espaçadores industrializados são fabricados de acordo com o traçado parabólico que é especificado no projeto de protensão, e são enviados em conjuntos prontos para o canteiro de obras. Não havendo a necessidade de realizar medidas das alturas do posicionamento das

cordoalhas engraxadas, apenas o posicionamento do espaçador, evitando erros e dispensando a mão de obra específica para esta função, como é mostrado na Figura 8.

Figura 8 – Espaçador industrializado do tipo cadeirinha para cordoalhas engraxadas.



Fonte: Adaptado, Termite Engenharia Inovativa, 2022.

Os espaçadores não industrializados, ou seja, os espaçadores metálicos são adaptados no canteiro de obra, moldados a fim de favorecer que haja a amarração perfeita entre eles, a armadura e as cordoalhas de protensão. Não garantindo fidelidade quanto ao deslocamento horizontal das cordoalhas, como é mostrado na Figura 9.

Figura 9 – Espaçador metálico para cordoalhas de protensão.



Fonte: ENGINEME, 2022.

Uma das razões do barateamento da protensão é devido ao desenvolvimento de novos acessórios, principalmente da ancoragem de aço fundido, o qual uma só peça constitui de placa distribuidora de tensões no concreto e reforço radial ao bloco-fêmea conjugado com o furo tronco-cônico (espaço que aloja as cunhas bi-partidas de ancoragem). Outro ponto são as bombas e os atuadores hidráulicos para a protensão, os quais são mais simples de se operar, mais leves e mais fáceis de se adquirir em termos de custo, como é mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Bomba e atuador hidráulico.



Fonte: Impacto Protensão, 2022.

Com base nisso, durante a fase de execução desse tipo de estrutura, é de suma importância que se tenha um excelente controle em todos os pontos da estrutura, a fim de garantir a qualidade dos materiais empregados, bem primordialmente do espaçador industrializado utilizado para garantir o correto posicionamento da cordoalha engraxada, atendendo assim os requisitos de projeto e as normas técnicas, (HANAI, 2015).

Assim, com tudo que foi apresentado, vale destacar que o uso na construção civil das estruturas de concreto protendido não aderente, exigem rigorosos requisitos advindos inicialmente das normas técnicas, bem como de projetos que são realizados por especialistas responsáveis.

### **3. METODOLOGIA**

Os objetivos básicos da protensão estão a limitação ou eliminação das tensões de tração no concreto, melhor aproveitamento dos materiais e a redução dos deslocamentos (flechas). Isso é garantido a partir da aplicação de forças de tração (força de protensão) na armadura, as quais transmitem os esforços de compressão ao concreto, de forma a melhorar o seu desempenho frente às diversas solicitações durante sua vida útil.

#### **3.1. Caracterização**

A viga/longarina tem seção variável, e foi utilizado o software ALLPLAN – BIM (licença estudante) para a criação do modelo, bem como o detalhamento das fôrmas e de protensão, onde as especificidades desse modelo está presente no Anexo 1.

A cordoalha utilizada é engraxada e a protensão é não aderente. Para o Modelo 1 de verificação, que foi considerado como uma situação real, a cordoalha possui um traçado curvo nos terços extremos da viga/longarina e traçado retilíneo no terço médio, utilizando espaçadores industrializados do tipo Cadeirinha para a correta posição de altura da cordoalha engraxada. Já para o Modelo 2, que foi considerada uma situação com imperfeições, a curvatura da cordoalha de protensão teve algumas modificações decorrentes do deslocamento dos cabos (não uso de espaçadores industrializados). Nos Anexos 2 e 3 respectivamente, estão contidos o detalhamento da cordoalha de protensão das vigas/longarinas.

#### **3.2. Cálculo de verificação**

Para a realização dos cálculos dos momentos da cordoalha, foi utilizado o software de planilha eletrônica Microsoft Office Excel, onde foi levando em consideração a força de protensão e as alturas da cordoalha de protensão a cada metro, em dois modelos distintos como descrito no tópico anterior.

De acordo com a (ARCELORMITTAL, 2019), as cordoalhas de 3 a 7 fios estabilizados (RB) são fornecidos de acordo com as normas ABNT NBR 7483, ASTM A416, ASTM A886, ASTM A910 e PR-EN 10138-3. Desta forma, a partir do Catálogo da ArcelorMittal, foi extraído alguns dados essenciais para os cálculos, como é mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Especificações dos produtos – cordoalhas para protensão engraxadas e plastificadas.

| <b>TABELA CORDOALHA ENGRAXADA CP190RB 12.7</b> |             |               |                 |                  |                      |                    |               |
|------------------------------------------------|-------------|---------------|-----------------|------------------|----------------------|--------------------|---------------|
| <b>CABO</b>                                    | <b>TIPO</b> | <b>BAINHA</b> |                 | <b>CORDOALHA</b> |                      | <b>ALONGAMENTO</b> |               |
|                                                |             | Diâmetro (mm) | Comprimento (m) | Comprimento (m)  | Força Protensão (kN) | Lado “A” (cm)      | Lado “B” (cm) |
| C.01                                           | 7 Ø 12.7    | 80            | 23,9            | 20,39            | 187                  | 5                  | 5             |

Fonte: Autoria Própria, 2022.

### 3.2.1. Modelo 1

O objetivo do cálculo do momento da cordoalha é dar ao projetista uma boa referência quanto ao nível de tensões resultantes nas seções, facilitando assim o anulamento das tensões na borda inicialmente tracionada através do correto posicionamento das cordoalhas de protensão.

No ato da montagem dessa viga/longarina, considerando uma situação real, as cordoalhas engraxadas foram posicionadas com espaçadores industrializados do tipo cadeirinha, os quais certificam que o cabo estará na posição/altura de projeto, e garantindo sua precisão.

De posse dos valores de força de protensão da cordoalha engraxada que foi obtido a partir do catálogo da ArcelorMittal, e as posições das alturas por seções da viga/longarina presente no Anexo 2, isto é, a cada 100 centímetros. Foi então determinado os valores dos momentos que a viga/longarina poderá resistir, como é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Relação entre Altura da Seção e Momento da Cordoalha.

| CÁLCULO SEÇÕES MODELO 1 |                         |                         |                          |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| SEÇÃO                   | FORÇA DE PROTENSÃO (kN) | ALTURA DA CORDOALHA (m) | MOMENTO CORDOALHA (kN.m) |
| 1                       | 187,00                  | 1,160                   | 216,92                   |
| 2                       | 187,00                  | 0,991                   | 185,32                   |
| 3                       | 187,00                  | 0,827                   | 154,65                   |
| 4                       | 187,00                  | 0,688                   | 128,66                   |
| 5                       | 187,00                  | 0,553                   | 103,41                   |
| 6                       | 187,00                  | 0,446                   | 83,40                    |
| 7                       | 187,00                  | 0,346                   | 64,70                    |
| 8                       | 187,00                  | 0,272                   | 50,86                    |
| 9                       | 187,00                  | 0,208                   | 38,90                    |
| 10                      | 187,00                  | 0,169                   | 31,60                    |
| 11                      | 187,00                  | 0,149                   | 27,86                    |
| 12                      | 187,00                  | 0,149                   | 27,86                    |
| 13                      | 187,00                  | 0,149                   | 27,86                    |
| 14                      | 187,00                  | 0,169                   | 31,60                    |
| 15                      | 187,00                  | 0,208                   | 38,90                    |
| 16                      | 187,00                  | 0,272                   | 50,86                    |
| 17                      | 187,00                  | 0,356                   | 66,57                    |
| 18                      | 187,00                  | 0,446                   | 83,40                    |
| 19                      | 187,00                  | 0,553                   | 103,41                   |
| 20                      | 187,00                  | 0,688                   | 128,66                   |
| 21                      | 187,00                  | 0,827                   | 154,65                   |
| 22                      | 187,00                  | 0,991                   | 185,32                   |
| 23                      | 187,00                  | 1,160                   | 216,92                   |

Fonte: Autoria Própria, 2022.

É importante salientar que a formulação utilizada para o cálculo do momento da cordoalha por seção, foi considerado somente a parcela isostática, isto é,  $M_c = F_p \cdot a_s$ .

Onde:

$M_c$ : é o momento fletor atuante, por metro, da cordoalha engraxada;

$F_p$ : é a força de protensão total, disponível no catálogo do fornecedor da cordoalha;

$a_s$ : é a altura, em metros, da seção espaçada a cada metro da viga/longarina, do fundo da fôrma até o furo da bainha da seção.

Durante a execução da viga/longarina utilizando os espaçadores industrializados do tipo Cadeirinha, fazendo com que o cabo de protensão se acomode em sua posição ideal de projeto. Como o traçado do cabo não alterou, foi considerado apenas 12 seções na Tabela 3 acima, pois os mesmos valores são espelhados para o outro lado da viga.

### 3.2.2. Modelo 2

Durante a montagem desse modelo, foi considerado uma situação com imperfeições e as alturas da cordoalha foram alteradas, onde as mesmas foram posicionadas através de espaçadores não industrializados, os quais certificavam que a cordoalha estaria na posição/altura de projeto, porém na região entre espaçadores não industrializados ela irá se deformar de forma indesejada, visto que o uso de soluções improvisadas para reduzir custos não é a mais ideal, como foi mostrado na Figura 9 anteriormente.

De posse dos valores de força de protensão da cordoalha engraxada que foi obtido a partir das tabelas do catálogo da ArcelorMittal, e as posições das alturas da viga/longarina presente no Anexo 3, isto é, a cada 100 centímetros. Foi então determinado os valores dos momentos que a viga/longarina poderá resistir, como é mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Relação entre Alturas da Seção e Momento da Cordoalha.

| CÁLCULO SEÇÕES MODELO 2 |                         |                         |                          |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| SEÇÃO                   | FORÇA DE PROTENSÃO (kN) | ALTURA DA CORDOALHA (m) | MOMENTO CORDOALHA (kN.m) |
| 1                       | 187,00                  | 1,143                   | 213,74                   |
| 2                       | 187,00                  | 0,971                   | 181,58                   |
| 3                       | 187,00                  | 0,827                   | 154,65                   |
| 4                       | 187,00                  | 0,688                   | 128,66                   |
| 5                       | 187,00                  | 0,553                   | 103,41                   |
| 6                       | 187,00                  | 0,446                   | 83,40                    |
| 7                       | 187,00                  | 0,346                   | 64,70                    |
| 8                       | 187,00                  | 0,272                   | 50,86                    |
| 9                       | 187,00                  | 0,202                   | 37,77                    |
| 10                      | 187,00                  | 0,163                   | 30,48                    |
| 11                      | 187,00                  | 0,143                   | 26,74                    |
| 12                      | 187,00                  | 0,143                   | 26,74                    |
| 13                      | 187,00                  | 0,143                   | 26,74                    |
| 14                      | 187,00                  | 0,163                   | 30,48                    |
| 15                      | 187,00                  | 0,202                   | 37,77                    |
| 16                      | 187,00                  | 0,272                   | 50,86                    |
| 17                      | 187,00                  | 0,346                   | 64,70                    |
| 18                      | 187,00                  | 0,446                   | 83,40                    |
| 19                      | 187,00                  | 0,553                   | 103,41                   |
| 20                      | 187,00                  | 0,688                   | 128,66                   |
| 21                      | 187,00                  | 0,827                   | 154,65                   |
| 22                      | 187,00                  | 0,991                   | 185,32                   |
| 23                      | 187,00                  | 1,160                   | 216,92                   |

Fonte: Autoria Própria, 2022.

Durante a concretagem da viga/longarina, com os espaçadores não industrializados mesmo ponteados, eles ainda permitem que o cabo de protensão se mexa horizontalmente. Assim, no momento da execução, o traçado do cabo pode não ser exatamente o especificado no projeto, apresentando algumas imperfeições em algumas seções e variando os resultados dos momentos da cordoalha obtidos, como é exemplificado na Figura 11.

Figura 11 – Traçado Parabólico indesejado da cordoalha engraxada.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Desta forma, a fim de obter resultados precisos e iguais os de projeto é essencial que se utilizem acessórios de protensão certificados e padronizados para cada tipo de projeto.

Vale salientar que a força de protensão é ao longo de um cabo curvo/parabólico perfeito. Entretanto, quando a execução é realizada utilizando espaçadores de alturas para as cordoalhas de modo improvisado e não seguindo fielmente as diretrizes de projeto, o traçado do cabo pode não ser exatamente o desejado, fazendo com que apresente imperfeições ao longo do percurso.

### 3.3. Avaliação do uso de espaçadores industrializados

De acordo com a (Termite Engenharia Inovativa, 2022), o efeito gerado pelas cordoalhas de protensão depende apenas de três fatores: quantidade de cabos, força aplicada pela bomba e atuador hidráulico e o traçado do cabo. Os dois primeiros fatores são controlados tanto pelo projetista, bem como pelo fornecedor da cordoalha engraxada. Entretanto, o traçado do cabo ainda está sujeito a soluções artesanais ou improvisos, ocasionando a diminuição da eficiência projetada.

No presente capítulo será apresentado a avaliação do uso dos espaçadores industrializados.

### 3.3.1. Espaçadores Industrializados

Conhecidos como distanciadores ou posicionadores de alturas das cordoalhas, são pequenos dispositivos utilizados a fim de garantir o espaçamento correto entre o fundo da fôrma da viga ou laje e a cordoalha, garantindo que a mesma fique estabilizada durante a concretagem e garanta o traçado parabólico que foi projetado.

De acordo com a (ABNT NBR 14931:2004, item A.6.1), recomenda seu uso como uma forma de garantir que as cotas (verticais e horizontais) dos eixos das cordoalhas em relação à peça, sejam espaçadas a cada metro. Ainda segundo a norma, determina alguns cuidados que devem ser tomados durante o posicionamento das cordoalhas de protensão na fôrma, com o objetivo de garantir as posições estabelecidas no projeto, bem como a sua manutenção nestas posições durante as operações de concretagem, salientando-se:

- localizar as cordoalhas de protensão em relação à fôrma, de acordo com o projeto;
- fixar as cordoalhas em suas posições, mediante o uso de travessas fixadas às armaduras passivas, ou através do uso de suportes independentes especiais que se fizerem necessários;
- verificar se os estribos ou os suportes são capazes de suportar o peso das cordoalhas de protensão sem correr o risco de flambagem;
- verificar se os pontos de suporte oferecem uma superfície adequada de contato com as cordoalhas, a fim de evitar moissas ou outros danos, devendo além disso possibilitar a fixação que evite possíveis deslocamentos horizontais ou verticais;
- fixar as ancoragens à fôrma, a fim de não permitir deslocamentos durante os trabalhos subsequentes ou penetrações de argamassa no interior das cordoalhas;
- trechos da cordoalha de protensão que estão próximos à ancoragem devem ter seu posicionamento rigorosamente assegurado, de acordo com as especificações do sistema de protensão utilizado.

### 3.3.2. Classificação

Os espaçadores podem ser classificados de diferentes maneiras, sendo elas:

#### 3.3.2.1. Função

De acordo com (BÉRGAMO, 2013), a função dos espaçadores pode ser dividida em duas grandes categorias, sendo elas:

- a) Afastamento das cordoalhas de protensão da fôrma, a fim de garantir tanto o cobrimento do aço, como garantir que as cotas do traçado parabólico da cordoalha sejam atendidas, conforme projeto, como é mostrado na Figura 12.

Figura 12 – Espaçador utilizado para afastar as cordoalhas da fôrma.



Fonte: Plastfer, 2022.

- b) Separar as armaduras entre si, proporcionando o adequado posicionamento da armadura, bem como da cordoalha, como é mostrado na Figura 13.

Figura 13 – Espaçador utilizado para separar as armaduras e posicionar as cordoalhas.

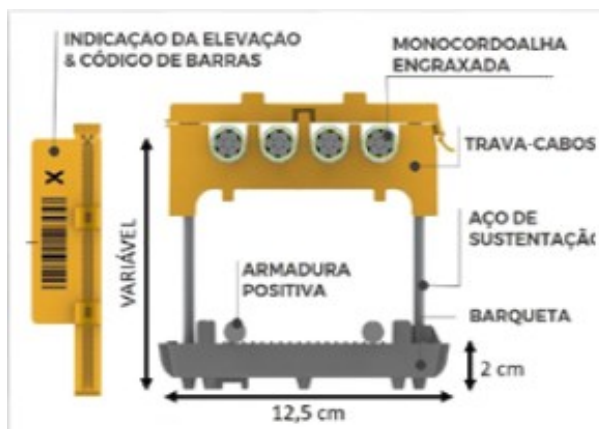


Fonte: Termite Engenharia Inovativa, 2022.

### 3.3.2.2. Formato

De acordo com (ABNT NBR 14931:2004, item A.6.1), os espaçadores não precisam necessariamente possuir formatos, e apenas garantir o correto posicionamento das cotas das cordoalhas de protensão, obedecendo fielmente o projeto. Dentre os disponíveis, destacam-se os espaçadores industrializados, que são específicos para o posicionamento das cotas de projeto, bem como espaçamento do fundo da fôrma, como é mostrado na Figura 14. Segundo a (TERMITE ENGENHARIA INOVATIVA, 2022), são dispositivos constituídos por *trava-cabos*, que é um dispositivo plástico com tampa e com a indicação da cota;  *aço de sustentação* que é uma barra feita sob medida para atender e estruturar a elevação da cordoalha; *barqueta* que é uma base plástica de apoio, que atua como um espaçador para a armadura positiva.

Figura 14 – Espaçador Industrializado do Tipo Cadeirinha para Cordoalhas.



Fonte: Termite Engenharia Inovativa, 2022.

## 3.4. Importância do uso de espaçadores industrializados

A disposição dos espaçadores industrializados utilizados para posicionar as cordoalhas de protensão são importantes por diversas razões, as quais são apresentadas a seguir.

### 3.4.1. Funcionamento estrutural

O correto posicionamento das cotas das cordoalhas de protensão permite sua correta locação como é especificado em projeto, bem como permite que haja a segura transmissão de forças entre a armadura ativa, cordoalha engraxada e o concreto, assegurando assim o funcionamento da estrutura.

Quando o posicionamento das cordoalhas de protensão não segue o projeto do traçado parabólico, isto é, segue os espaçamentos das cotas, após a concretagem e aplicação da força de protensão, a estrutura pode deformar de forma indesejada, alterando completamente os valores dos momentos derivados da cordoalha e/ou aumento indesejado das flechas.

#### 3.4.2. Durabilidade

De acordo com o Comitê Euro-Internacional do Concreto e a Federação Internacional da Protensão (CEB-FIP, 1993), as estruturas de concreto protendidas devem ser projetadas, construídas e operadas a fim de que, sob esperadas influências ambientais, mantenha a sua segurança, facilidade de manutenção e aparência aceitável durante um período explícito ou implícito de tempo sem que haja a necessidade de alto custo não previsto para possíveis manutenções e reparos.

A durabilidade do sistema estrutural consiste em conservar a segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil. Este requisito é altamente dependente da forma que o traçado do cabo de protensão terá na execução. Desta forma, vale salientar que o uso de acessórios específicos para a protensão, garantirá a segurança, estabilidade e aptidão dessa estrutura.

## 4. RESULTADOS

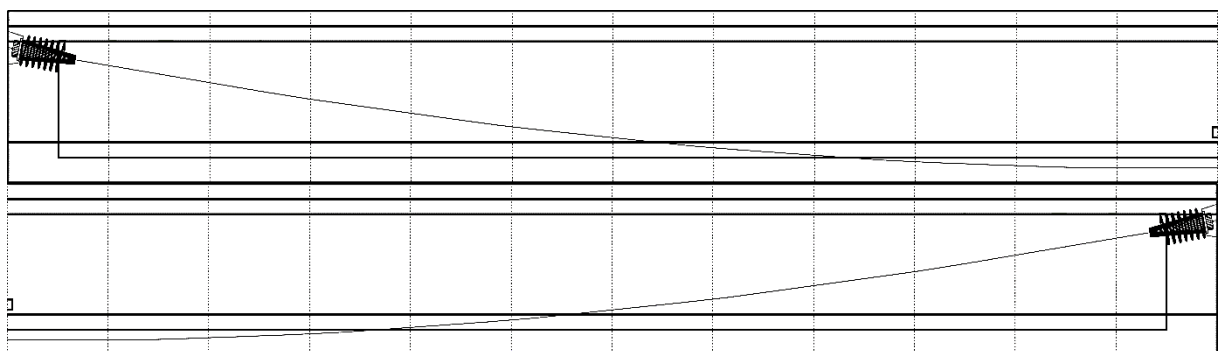
De acordo com (CAUDURO, 2002), a montagem das cordoalhas de protensão não aderente é crítica para a performance da estrutura na qual elas estão incorporadas. Visto que o uso desses cabos proporciona muitas vantagens tanto no custo, quanto no nível de melhoria da performance das estruturas de concreto, quando elas são propriamente projetadas e montadas.

### 4.1. Resultados Modelo 1

Como dito anteriormente no capítulo 3, item 3.1, foi criado um modelo considerando uma situação real de projeto, sendo projetado e dimensionado utilizando a versão estudante do software ALLPLAN – BIM. Com isso o traçado parabólico do cabo foi corretamente dimensionado utilizando a programação do próprio software, que se baseia na linguagem de programação Python, mas que também pode ser realizada utilizando planilhas eletrônicas. Com o objetivo de mostrar que a utilização dos espaçadores industrializados do tipo cadeirinha é de suma importância para a garantia do cumprimento do traçado parabólico da cordoalha.

Após a realização dos cálculos dos momentos da cordoalha, através do uso de planilha eletrônica, foi comprovado que os valores são coerentes e condizentes com o projeto. Visto que não apresentou nenhum tipo de curvatura reversa, como é mostrado na Figura 15.

Figura 15 – Traçado parabólico cabo modelo 1.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

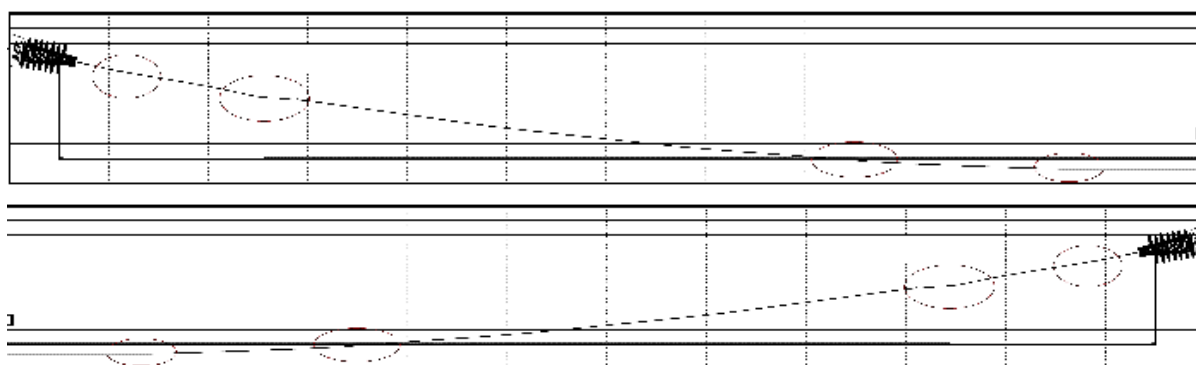
Desta forma, os resultados obtidos foram satisfatórios.

## 4.2. Resultados Modelo 2

Como no modelo anterior, o mesmo foi utilizado para esse modelo 2, diferindo apenas na questão de que esse em questão sofreu algumas modificações nas alturas da cordoalha engraxada, o qual derivou algumas imperfeições, bem como uma curvatura exagerada no centro da viga/longarina. Tais modificações simulavam os efeitos do deslocamento horizontal da cordoalha engraxada, em virtude do uso de espaçadores não industrializados.

Em decorrência da modificação das alturas do traçado do cabo os resultados dos momentos da cordoalha para esse modelo, revelam valores um pouco distintos do modelo 1. O qual durante o processo de concretagem da viga/longarina contribuiu para o deslocamento horizontal da cordoalha em virtude da movimentação do espaçador, como é mostrado na Figura 16.

Figura 16 – Traçado parabólico cabo modelo 2.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Na Figura acima pode ser visto que ocorreu o surgimento de curvaturas reversas em alguns pontos do traçado parabólico do cabo, tais curvaturas podem causar estilhaçamento do concreto durante a operação de protensão.

Desta forma, de acordo com (CAUDURO, 2002), quando os cabos em alguns casos são tracionados, as curvaturas pretendidas tendem a se retificar. Fazendo com que este processo imponha uma grande tensão de tração em malhas e severas fissuras podem se desenvolver, caso ocorra esse deslocamento horizontal do cabo.

## 5. CONCLUSÃO

Neste trabalho realizou uma avaliação da influência das variações das alturas e do deslocamento das cordoalhas de dois modelos de vigas/longarinas protendidas, a fim de verificar a importância do uso de espaçadores industrializados do tipo cadeirinha, e através da modificação das alturas do posicionamento das cordoalhas, simular possíveis erros de montagem no posicionamento dos espaçadores não industrializados.

Através dessa verificação e dos resultados obtidos, foi possível concluir que a modificação das alturas do posicionamento das cordoalhas no modelo 2, interferiu diretamente nos resultados dos momentos, fazendo com que os mesmos sofressem uma leve diminuição, o que pode influenciar tanto na redução da parcela de tensões normais que são combatidas pela protensão, bem como pode colaborar para que deslocamentos (flechas) surjam em locais que não foram previstos, ou até mesmos a presença de fissuras, decorrentes do estilhaçamento do concreto.

Assim, o correto posicionamento das cordoalhas durante a montagem de vigas e lajes protendidas é de extrema importância para que o sistema estrutural tenha desempenho e segurança e sigam as diretrizes de projeto.

Uma possível solução para curvaturas dos cabos não previstas em projeto e a resultante das tensões de tração em malhas podem ser minimizadas amarrando-se os cabos com firmeza nos estribos que estão rigidamente presos no lugar por outros elementos da gaiola de armação, de modo que garanta que o cabo não mexerá tanto verticalmente, como horizontalmente.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118 – **Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7188 – **Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12655 – **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7197 – **Projeto de Estruturas de Concreto Protendido**. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7483 – **Cordoalhas de aço para estruturas de concreto protendido – Especificações**. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14931 – **Execução de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

ASTM A416/A416M-18 – **Standard Specification for Low-Relaxation, Seven-Wire Steel Strand for Prestressed Concrete**. 2021.

ASTM A886 – **Standard Specification for Steel Strand, Indented, Seven-Wire Stress-Relieved for Prestressed Concrete**. 2017.

ASTM A910 – **Standard Specification for Uncoated, Weldless, 2-Wire and 3-Wire Steel Strand for Prestressed Concrete**. 2018.

AALAMI, B. O. **Post-Tensioned Manual**. California: ADAPT, v.1, p. 500. 2014.

AALAMI, B. O., BOMMER, A. **Design Fundamentals of Post-Tensioned Concrete Floors**. Post-Tensioning Institute (PTI), Farmington Hills, USA. 1999.

ALMEIDA FILHO, Fernando Menezes. **Estruturas de pisos de edifícios com a utilização de cordoalhas engraxadas**. 2002. 191 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

ARCELORMITTAL. **Fios e Cordoalhas para Concreto Protendido**. Brasil, 2020.

BÉRGAMO, L. R. **Espaçadores para armadura**. In: Revista Construção Mercado, Editora Pini, ed.: 140, São Paulo, 2013.

BELGO BEKAERT ARAMES. **Cordoalhas Nuas e Engraxadas**. Brasil, 2022.

CAUDURO, E.L. – **Recomendações para a Boa Execução de Construções em Concreto Protendido com Cordoalhas Engraxadas e Plastificadas (Protensão Não Aderente)**. Revista IBRACON Nº. 28, 2002.

COMITE EURO-INTERNACIONA DU BETON (CEB) e FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE LA PRÉCONTRAÎTE (FIP). **CEB-FIP Model Code 1990. Design Code**. Lausanne: CEB, p.437, 1993.

DUARTE, E. P. **Projeto e cálculo de uma viga isostática de concreto protendido**. Revista Concreto & Construções. Ed.:78, pag. 92. 2015.

EMÉRICK, A. A. **Projeto e Execução de Lajes Protendidas**. Brasília, 2002.

ENGINEME. **Todos os acessórios para sua obra em Concreto Protendido (com Cordoalha Engraxada)**. Aula Explicativa dos principais acessórios e cuidados de montagem de uma laje ou viga protendida no sistema de pós-tração não aderente. Youtube, 22 de março de 2022. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=Sw9xssa6Z4Q&t=524s&ab\\_channel=engine](https://www.youtube.com/watch?v=Sw9xssa6Z4Q&t=524s&ab_channel=engine)

FRANCO, M. **Concreto Protendido em Edifícios: Problemas Particular**. In: SIMPÓSIO IBERO-LATINO AMERICANO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, São Paulo, 1994. **Anais**. São Paulo, 1994.

HANAI, J. B. **Fundamentos do Concreto Protendido**. E-book. São Carlos, 2005.

IMPACTO PROTENSÃO. **Empresa**. Impacto, 2022. Disponível em: <https://impactoprotensao.com.br/empresa/>.

MACEDO, SOUZA; **Lajes lisas em concreto protendido: Análise e Dimensionamento Estrutural**. Monografia. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

PELLEGRINO, J. N.; MELO, C. **Estruturas pré-moldadas de concreto**. 2º ciclo 2020.

PLASTFER. **Empresa**. Disponível em: [www.plastfer.com.br](http://www.plastfer.com.br)

PROTENDE SISTEMAS E MÉTODOS. **Catálogo Técnico**. 4<sup>a</sup> ed. 2013.

RODRIGUES, Glauco. **Concreto Protendido**. Apostila, 2008.

ROMANICHEN, R. M., SOUZA, R. A. **Reinforced concrete corbels strengthened with external prestressing**. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais. V. 12. N. 4, p. 812 – 831. 2019.

SANTOS, José Sérgio. **Desconstruindo o projeto estrutural de edifícios**. Fortaleza-Ceará, 2017.

SOFTWARE ALLPLAN – BIM. Software para detalhamento de estruturas e compatibilização. Software versão estudante, 2022. Disponível em: <https://info.allplan.com/en/demo-download/cad-software-v2.html>

SOFTWARE MICROSOFT OFFICE EXCEL. Software de planilha eletrônica. Versão Estudante, 2021.

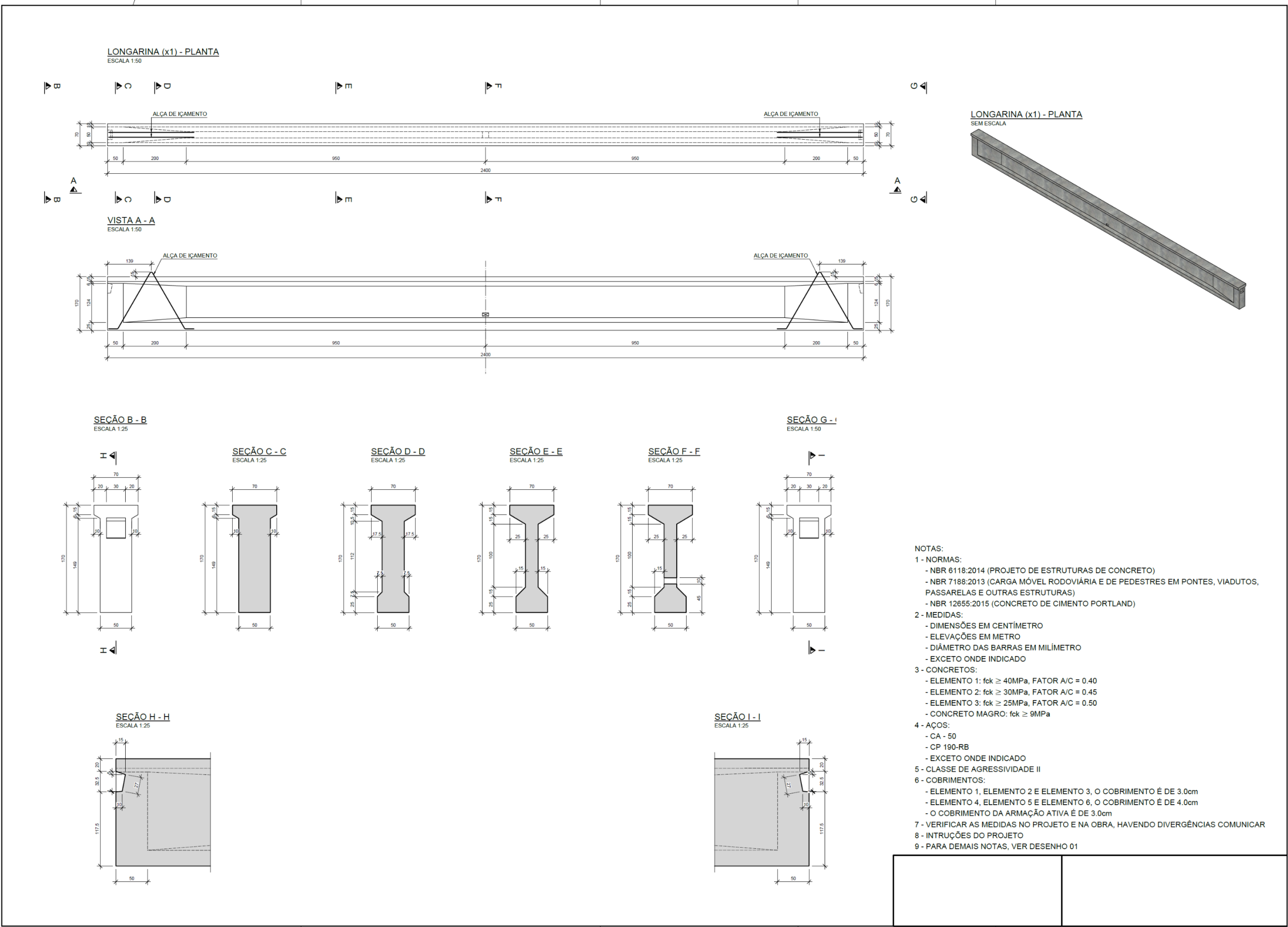
REVISTA TÉCHNE, Edições: Janeiro de 1997 e Junho de 1999.

VASCONCELOS, K. SILVA. **Análise comparativa entre lajes nervuradas em concreto armado e concreto protendido**. Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

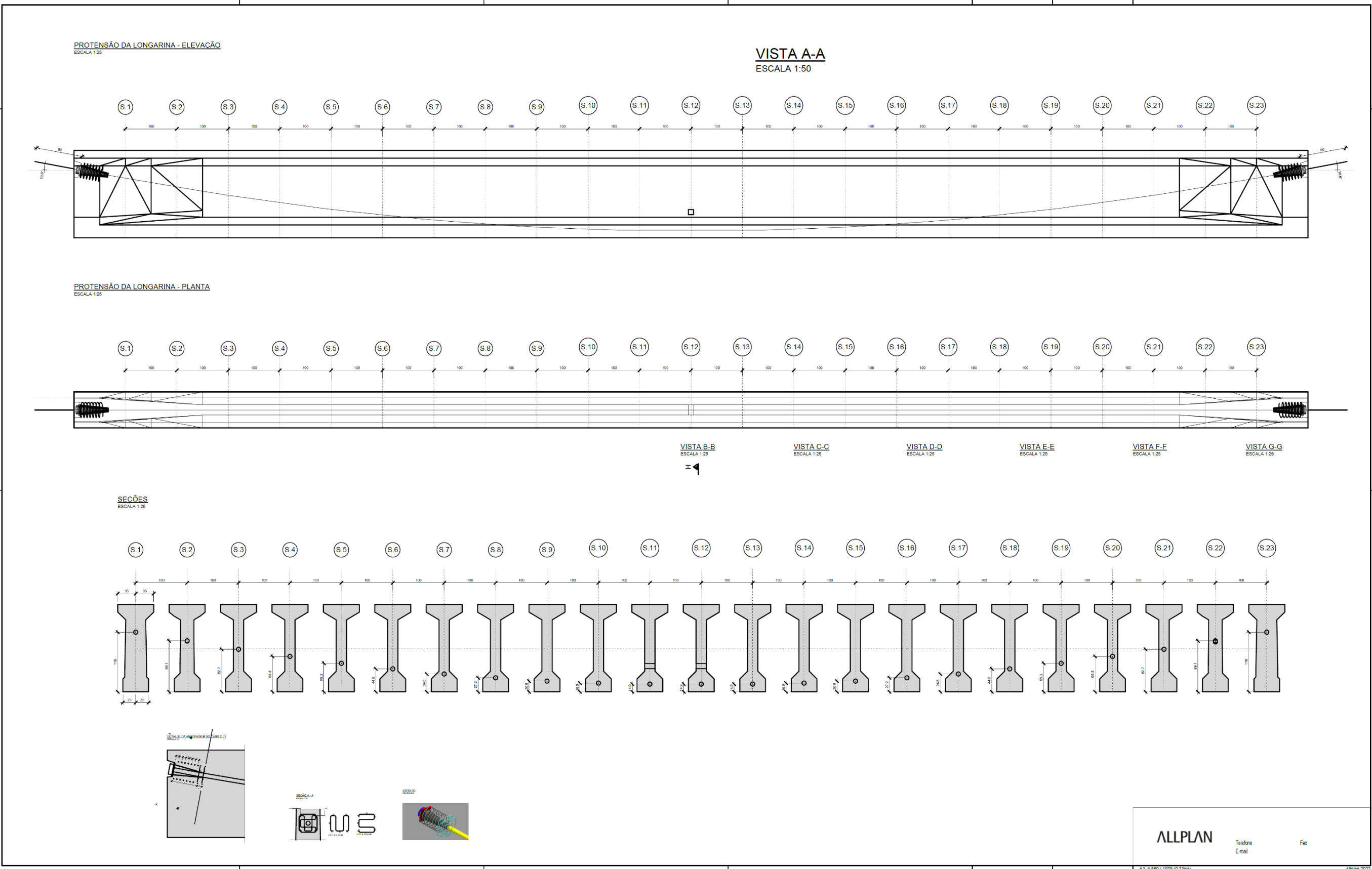
VERÍSSIMO, Gustavo de Souza; CÉSAR JUNIOR, Kléos M Lenz. **Concreto Protendido: fundamentos básicos**. 4. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1998a. 72 p.

TERMITE ENGENHARIA INOVATIVA. **“Spin-off” grupo Impacto Protensão**. 2022. Disponível em: <https://www.termite.com.br/>

ANEXO 1 – FÔRMA VIGA/LONGARINA PROTENDIDA

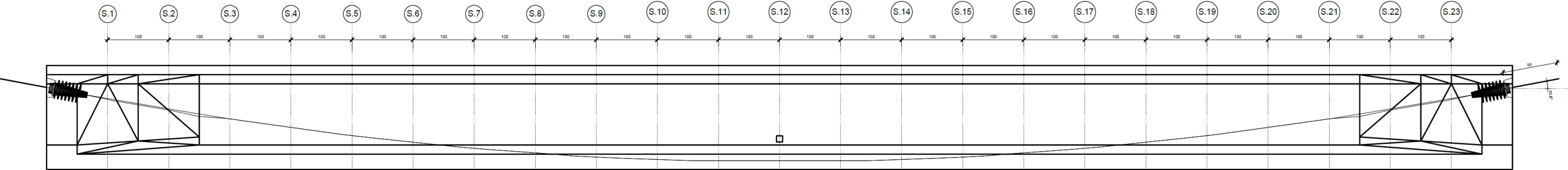


ANEXO 2 – MODELO 1 VIGA/LONGARINA

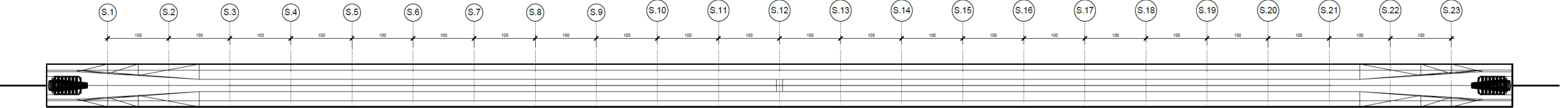


ANEXO 3 – MODELO 2 VIGA/LONGARINA

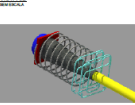
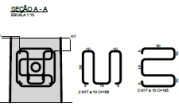
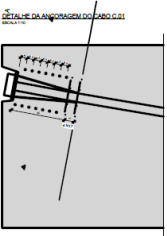
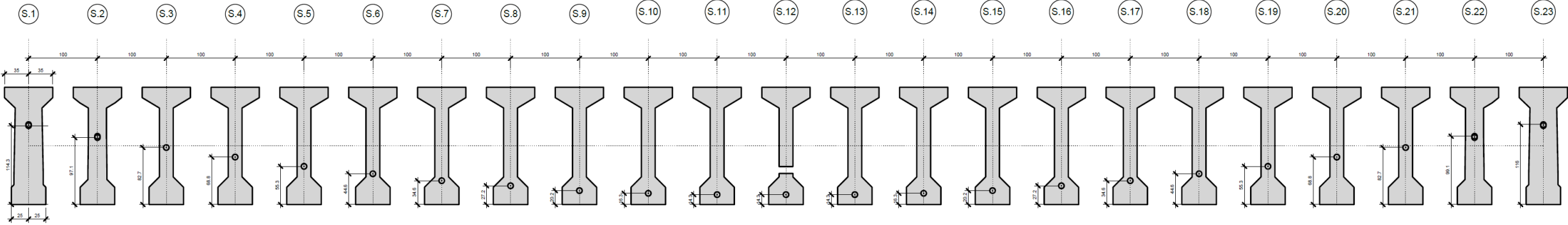
PROTENSÃO DA LONGARINA - ELEVÇÃO  
ESCALA 1:25



PROTENSÃO DA LONGARINA - PLANTA  
ESCALA 1:25



SEÇÕES  
ESCALA 1:25



ALLPLAN

Telefone

E-mail

Fax

A4L = 680 / 1075 (0.73m²)

Allplan 2022