

02/04/2015

PUC-RIO

ANÁLISE MECÂNICA E ESTRUTURAL DE BALANÇOS SUCESSIVOS APLICADOS À CONSTRUÇÃO DE PONTES



Trabalho de Conclusão de Curso | Engenharia Mecânica

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Análise Mecânica e Estrutural de Balanços Sucessivos Aplicados à
Construção de Pontes

por

Rodolfo de Oliveira da Paixão

Trabalho de conclusão apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Rio de Janeiro, 02 abril de 2015



Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

Análise mecânica e estrutural de balanços sucessivos aplicados à
construção de pontes

por

Rodolfo de Oliveira da Paixão

ESTE TRABALHO DE CONCLUSÃO FOI JULGADO E ADEQUADO COMO
PARTE DOS REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA
BANCA EXAMINADORA DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
MECÂNICA.

Prof. MARCELO DREUX

Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: ESTÁTICA DE CORPOS RÍGIDOS, MECÂNICA DOS SÓLIDOS,
MATERIAIS DE ENGENHARIA E COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS MATERIAIS.

ORIENTADOR: Prof. Ivan Menezes

Rio de Janeiro, 02 de abril de 2015.

DEDICATÓRIA

Dedico a Deus, primeiramente, por não me deixar desistir, mesmo nos momentos de dificuldade e de cansaço extremo. Por me iluminar nas decisões mais difíceis e por me guiar ao longo do curso para trilhar o caminho mais correto possível e por ter apresentado sua infinita misericórdia e graça todas as vezes em que falava com Ele, através de orações que buscavam exprimir minhas dificuldades e fraquezas ao durante essa trajetória.

Aos meus pais, Claudia Francis de Oliveira da Paixão e Cícero da Paixão, pelo amor e dedicação e por me proporcionar essa oportunidade de um futuro promissor, pois apesar de não me deixarem heranças financeiras me deixaram o maior legado, as maiores riquezas que são: educação, garra, humildade, honestidade e perseverança.

Em memória ao meu pai que, apesar de ter falecido, seria honrado por ter a mim concludente de curso de graduação em uma renomada instituição de ensino sem sequer possuir condições de custeá-la. Sei que, se estivesse vivo, diria: “Esse é o meu filhão!”. À minha irmã Nicole de Oliveira da Paixão, que apesar das diferenças, me ensinou valores importantes para a vida tais como dar sem esperar nada em troca, de ter visão para lutar e vencer e de que não devemos trocar o interior pela aparência. A qual me concedeu o prazer de ser tio das mais alucinantes e extraordinárias sobrinhas: Gyovana, Marya Clara e Emanuely, as quais amo muito.

À Igreja Universal do Reino de Deus, em a qual desenvolvo o trabalho voluntário de obreiro, o qual me proporciona ajudar os mais variados e marginalizados tipos de pessoas da nossa sociedade, além de ser um lugar em que encontro paz e renovo interior, sem os quais não seria possível suportar os momentos de dor profunda, perdas e de lutas. Dedico o meu TCC para todos aqueles que fizeram do meu sonho realidade, me incentivando para que eu não desistisse

de perseguir o que eu buscava para minha vida. Muitos obstáculos foram impostos para mim durante esses últimos anos, mas graças a vocês eu não fraquejei.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor orientador Ivan Menezes pelo apoio concedido durante a elaboração deste trabalho.

Agradeço ao meu supervisor de estágio Erick Barros por ter sido a pessoa que me sugeriu este como a abordagem do tema do trabalho.

Paixão, R. O Análise mecânica e estrutural de balanços sucessivos aplicados à construção de pontes. 2015. 81 folhas. Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

RESUMO

O presente trabalho visa avaliar a influência das propriedades mecânicas dos materiais no equilíbrio estático dessa classe de estruturas (balanços sucessivos). O estudo será realizado com o auxílio de programas de análise de estruturas.

PALAVRAS-CHAVE:

PONTE, BALANÇO SUCESSIVO, ESTRUTURAS.

Paixão, R. O **Mechanical and structural analysis applied to the cantilever bridge construction**. 2015. 81 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia

Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the influence of mechanical properties of materials in static equilibrium structures of this class (cantilever). The study will be conducted with the aid of structural analysis programs.

KEYWORDS:

BRIDGE, SUCCESSIVE CANTILEVER, STRUCTURE.

Sumário

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	v
PALAVRAS-CHAVE:	v
ABSTRACT	vi
KEYWORDS:	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
3.1 Definições	3
3.2 História da Construção de Pontes	3
3.3 Tipos de Sistemas Construtivos	4
3.3.1 Execução Sobre Escoramentos	4
3.3.2 Sistema por Empurramentos Sucessivos	6
3.3.3 Sistema por Balanços Sucessivos	7
4. TÉCNICA DO BALANÇO SUCESSIVO	8
4.1 Componentes a serem analisados	13

4.2 Etapas de Cálculo	17
4.3 Exemplo de Montagem	21
4.4 Etapas de Concretagem	30
5. CONCLUSÕES	34
BIBLIOGRAFIA	35
APÊNDICE	36
Memória de Cálculo	36
Parte I) Dimensionamento de perfis	36
Parte II) Dimensionamento de treliças	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 - Modelo esquemático de uma ponte	3
Figura 3.3.1- Lançamento de viga por treliça	5
Figura 3.3.2- Seção transversal de uma treliça	5
Figura 3.3.3 – Ponte sobre a Represa Guarapiranga executada com vigas pré-moldadas com treliça metálica	6
Figura 3.3.2.1 – Esquema de execução do método de empurramentos sucessivo (França, 2011)	7
Figura 3.3.2.2 – Seção transversal da aduela posicionada para execução do empurramento (França, 2011)	7
Figura 3.3.4 - Primeira ponte construída por meio de balanços sucessivos sobre o rio Peixe, SC.	8
Figura 3.3.5- Execução de balanço sucessivo com aduelas pré-moldadas SH Formas (2015)	10
Figura 3.3.6 – Escoramento superior para balanço sucessivo – tipo treliçado 1) viga principal, formado por treliças moduladas; 2) vigamento transversal superior; 3) vigamento transversal inferior; 4) tirantes reguláveis de suspensão. (SOMAQ, 2015)	11
Figura 3.3.7 – Avanço das treliças na execução das aduelas (Dnit, 1996)	12

Figura 3.3.8 – Sequência de aduelagem de uma ponte feita em BricsCad da aduela 4 ao fechamento-----	12
Figura 4.1.1 – Setas indicando Perfil de Desforma, Adaptador de base, Perfil Transversal e Perfil Longitudinal-----	13
Figura 4.1.2 – Seta indicando Rótula-----	14
Figura 4.1.3 – Setas indicando Perfil Longitudinal Laje-----	14
Figura 4.1.4 – Setas indicando Roda e Trilho-----	15
Figura 4.1.5 – Perfil de Ligação e Perfil de Movimentação-----	15
Figura 4.1.6 – Setas indicando Rolamento e Trava-Perfil de Ligação-----	16
Figura 4.1.7 – Setas indicando Prolongador de Apoio-----	16
Figura 4.1.8 – Setas indicando Tripé de Movimentação-----	17
Figura 4.2.1: Área da aduela para cálculo de concreto na região de influência dos tirantes -----	18
Figura 4.2.2: Exemplo de resposta do Ftool-----	19
Figura 4.3.1 – Posicionamento de calços-----	21
Figura 4.3.2 – Posicionamento de treliças-----	21
Figura 4.3.3 – Posicionamento de perfis-----	21
Figura 4.3.4 – Travamento de tirantes e bases-----	22
Figura 4.3.5 – Posicionamento de perfis transversais superiores-----	22
Figura 4.3.6 – Posicionamento de perfis transversais superiores-----	22
Figura 4.3.7 – Posicionamento de perfis transversais superiores-----	22
Figura 4.3.8 – Posicionamento de perfis transversais superiores-----	22
Figura 4.3.9 – Posicionamento de perfis transversais superiores-----	22
Figura 4.3.10 – Posicionamento de barra de ligação-----	23
Figura 4.3.11 – Detalhe de união do perfil-----	23

Figura 4.3.12 – Posicionamento de perfil-----	23
Figura 4.3.13 – Posicionamento de perfis de ligação transversais superiores-----	23
Figura 4.3.14 – Içamento de perfis longitudinais externos-----	23
Figura 4.3.15 – Içamento de perfis longitudinais externos-----	23
Figura 4.3.16 – Travamento fixo na laje-----	23
Figura 4.3.17 – Etapa de posicionamento concluída-----	23
Figura 4.3.18 – Içamento de perfis inferiores-----	24
Figura 4.3.19 – Içamento de perfis inferiores-----	24
Figura 4.3.20 – Posicionamento de tirantes-----	24
Figura 4.3.21 – Local de aplicação de perfil de reforço-----	24
Figura 4.3.22 – Perfil de reforço-----	24
Figura 4.3.23 – Perfis de reforço-----	25
Figura 4.3.24 – Fixação de bases-----	25
Figura 4.3.25 – Fixação de perfis-----	25
Figura 4.3.26 – Estrutura sem painéis-----	25
Figura 4.3.27 – Montagem dos perfis de movimentação-----	25
Figura 4.3.28 – Perfis de movimentação-----	25
Figura 4.3.29 – Perfis de movimentação-----	25
Figura 4.3.30 – Posicionamento dos macacos para levantamento da estrutura-----	26
Figura 4.3.31 – Posicionamento dos macacos para levantamento da estrutura-----	26
Figura 4.3.32 – Vista para visualização dos calços-----	26
Figura 4.3.33 – Remoção dos calços-----	26
Figura 4.3.34 – Apoio dos carros sobre os trilhos -----	26
Figura 4.3.35 – Movimentação do carro-----	26

Figura 4.3.36 – Posição para encaixe de formas-----	27
Figura 4.3.37 – Levantamento da estrutura-----	27
Figura 4.3.38 – Levantamento de estrutura-----	27
Figura 4.3.39 – Levantamento de estrutura-----	27
Figura 4.3.40 – Colocação de fôrmas pré-montadas-----	27
Figura 4.3.41 – Colocação de fôrmas pré-montadas-----	27
Figura 4.3.42 – Colocação de fôrmas pré-montadas-----	27
Figura 4.3.43 – Fechamento de etapa-----	27
Figura 4.3.44 – Colocação de ferragens-----	28
Figura 4.3.45 – Montagem das formas de parede-----	28
Figura 4.3.46 – Armação das ferragens das paredes e fundo de aduela-----	28
Figura 4.3.47 – Fechamento de fôrma-----	28
Figura 4.3.48 – Fechamento de fôrma-----	28
Figura 4.3.49 – Ferragens de paredes e fundo de aduela-----	28
Figura 4.3.50 – Barras de ancoragem-----	29
Figura 4.3.51 – Posicionamento de perfis de laje-----	29
Figura 4.3.52 – Posicionamento de perfis de laje-----	29
Figura 4.3.53 – Fechamento com compensado-----	29
Figura 4.3.54 – Sistema de balanços sucessivos completo-----	29
Figura 4.4.5.1 – Formas metálicas-----	30
Figura 4.4.5.2 – Após concretagem-----	30
Figura 4.4.5.3 – Esquema em CAD da etapa-----	30
Figura 4.4.5.4 – Preparo para as formas superiores-----	31
Figura 4.4.5.5 – Formas superiores-----	31

Figura 4.4.5.6 – Esquema em CAD da etapa-----	31
Figura 4.4.5.7 – Esquema em CAD da etapa exibindo a aduela e carro-----	31
Figura 4.4.5.8 – Aduelagem das demais etapas-----	32
Figura 4.4.5.9 – Posicionamento de macacos hidráulicos-----	32
Figura 4.4.5.10 – Esquema em CAD da etapa-----	33

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, a indústria da construção civil sofreu diversas alterações com a finalidade de melhorar as técnicas de construção e atender as requisições do mercado. A busca por redução de custos e tempo de construção, juntamente com a necessidade de aumento da qualidade, impulsionou ao longo dos anos o desenvolvimento de várias técnicas para o emprego de estruturas de pontes (Rocha, 2012).

O sistema de transporte rodoviário, mesmo não sendo o mais econômico, recebe um grande investimento por parte do Estado. Um fator que pode ajudar a elevar o preço da execução de uma rodovia é a existência de pontes e viadutos (Oliveira, 2009) .

A escolha de um método executivo de construção de uma ponte passa, a princípio, pelo aspecto técnico, buscando a solução ideal para a situação geográfica existente. Ao mesmo tempo, é preciso enquadrar-se dentro de uma realidade econômica que torne o projeto viável (Oliveira, 2009) .

A execução de uma ponte sobre uma superfície aquática de longa extensão é possível através de alguns sistemas estruturais, bem como métodos construtivos. O sistema estrutural em “vigas-caixão” através do método construtivo de “balanços sucessivos” é um dos mais utilizados, sendo largamente comprovada sua eficiência do ponto de vista técnico e também financeiro (Oliveira, 2009).

As pontes executadas em aduelas são ideais em situações onde é exigida a existência de gabarito para navegação fluvial. Essa situação não seria possível se a ponte fosse executada com vigas pré-moldadas, servindo como escoramentos, devido à limitação do comprimento das vigas longas (Oliveira, 2009).

A escolha pela execução de aduelas pré-moldadas ou moldadas no local passa por uma escolha de ordem técnica, financeira e de prazo para execução. Do ponto de vista técnico a execução das aduelas moldadas no local se sobressai em relação às aduelas pré-moldadas (Oliveira, 2009).

A utilização do método construtivo em “balanços sucessivos” é reconhecida também, além das situações que exigem a existência de grandes vãos, em situações onde a ponte ou viaduto precisam ser executados sem a interdição do local ao redor (zona urbana) (Oliveira, 2009).

2. OBJETIVOS

O enfoque do trabalho se dará na apresentação de toda a influência das propriedades mecânicas no equilíbrio estático da classe de balanços sucessivos, tendo em vista todas as montagens desde o posicionamento da treliça, montagem das armações e das formas. O estudo será realizado com o auxílio do programa Ftool e de aplicativos de desenho técnico tais como SolidEdge e BricsCad.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Há diversos tipos de pontes e estas podem ser edificadas a partir do uso de diferentes métodos. O dimensionamento das mesmas está condicionado a vertentes técnicas, geográficas e também econômicas.

3.1 Definições

Uma estrutura é chamada Ponte, quando ela é construída com a finalidade de vencer obstáculos como um rio, um braço de mar ou um vale, constituindo um elemento de um sistema viário (Marchetti, 2008).

Propriamente, denomina-se ponte quando o obstáculo transposto é um rio. Denomina-se Viaduto quando o obstáculo transposto é um vale ou outra via. Quando temos um curso d'água de grandes dimensões, a ponte necessita de uma parte extensa antes de atravessar o curso d'água. Esta parte em seco é denominada de Viaduto de acesso, conforme definido pelo referido autor. Vide Figura 3.1.

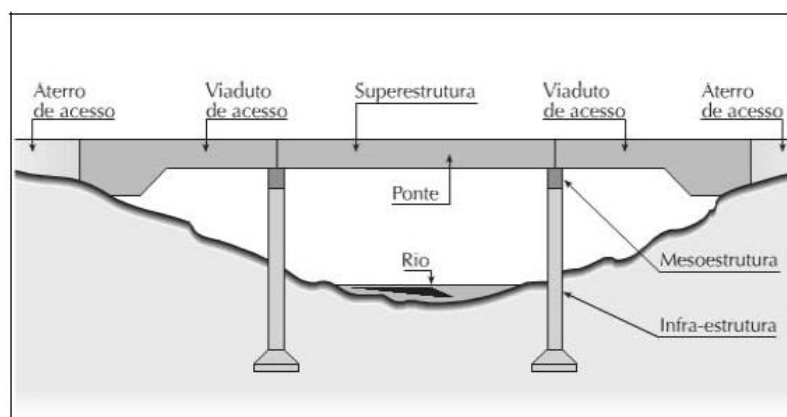


Figura 3.1 - Modelo esquemático de uma ponte

3.2 História da Construção de Pontes

Desde a Antiguidade são encontradas pontes de madeira ou de cordas, feitas na forma de vigas. Os chineses construíram pontes com vigas de granito, vencendo vãos de até 18 m. Alemães e suíços construíram com perfeição pontes de madeira. As pontes de ferro fundido em forma de arco surgiram no fim do século XVII. Posteriormente, surgiram as pontes feitas em ferro forjado e o aço. Em 1850 foi construída a ponte sobre o rio Vístula, na atual Polônia, com 6 vãos de 124

m cada um em treliças metálicas. Nesse mesmo período surgiram as pontes pênséis (Leonhardt, 1979).

Conforme mencionou o referido autor, as primeiras pontes em concreto surgiram a partir de 1900, porém o concreto somente substituiu a pedra como material de construção. Somente em 1912 surgiram as pontes em viga e pontes em pórtico. As pontes em concreto protendido surgiram a partir de 1938, sendo largamente utilizada a partir de 1948.

3.3 Tipos de Sistemas Construtivos

O método construtivo adotado para a execução de uma ponte será influenciado por diversos fatores como: o comprimento da obra; a altura do escoamento; regime e profundidade do rio; a velocidade do rio; a capacidade de suporte do terreno de fundação, que definirá o custo financeiro da infraestrutura; disponibilidade de equipamento da empresa que executará o projeto; o cronograma físico da obra; além da economia (Almeida, 2000).

3.3.1 Execução Sobre Escoramentos

Numa ponte constituída por vigas pré-moldadas de peso elevado, é recomendável a utilização de treliças de lançamento. O sistema, formado por um par de treliças, desloca-se longitudinal e transversalmente, sendo a viga a ser posicionada suportada por guinchos que, por sua vez, possuem um sistema de deslocamento longitudinal independente, sobre a treliça. O posicionamento de uma viga é feito através do deslocamento inicial da treliça para o vão de lançamento, com viga ancorada na região correspondente ao vão anterior; após ancoragem da treliça no pilar subsequente, a viga é deslocada entre o par de treliças e colocada na sua posição definitiva (Figuras 3.3.1, 3.3.2 e 3.3.3) (Dnit, 1996)

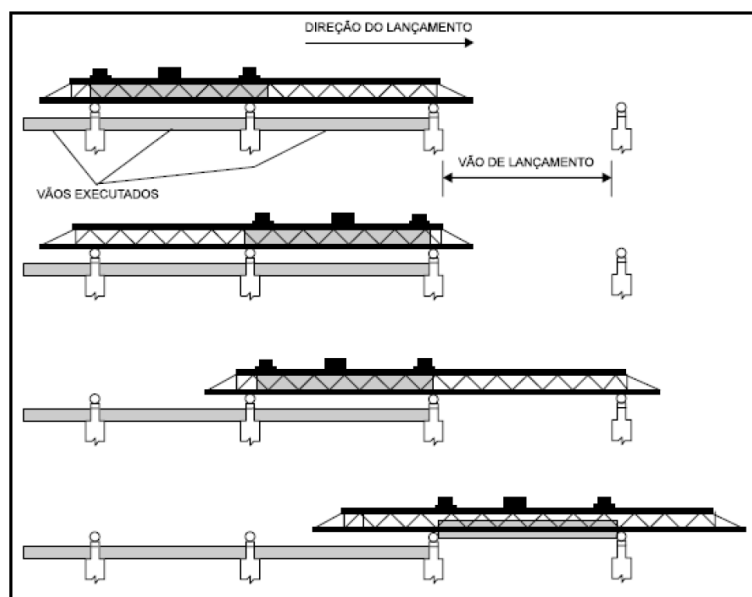


Figura 3.3.1- Lançamento de viga por treliça Dnit(1996)

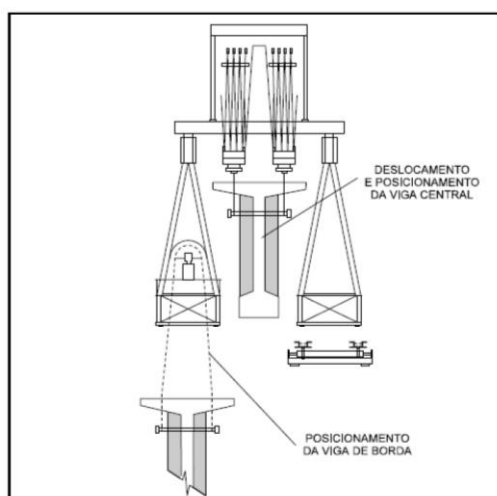


Figura 3.3.2- Seção transversal de uma treliça. Dnit (1996)



Figura 3.3.3 – Ponte sobre a Represa Guarapiranga executada com vigas pré-moldadas com treliça metálica. Dersa (2009)

3.3.2 Sistema por Empurramentos Sucessivos

Neste método, a superestrutura é fabricada nas margens e empurrada para sua posição ao longo dos vãos, funcionando em balanço à medida que vai avançando, até encontrar o próximo apoio. Cada segmento é executado sobre fôrmas metálicas fixas, sendo concretado contra o anterior já concluído, o que permite a continuidade da armadura na região das juntas. A estrutura é empurrada por macacos hidráulicos e sobre aparelhos de apoio deslizantes de teflon sobre os pilares, que podem ser permanentes ou provisórios, dependendo do tamanho do vão. Uma vez que o trecho dianteiro da estrutura fica em balanço até alcançar os apoios, utiliza-se uma treliça metálica fixada no trecho dianteiro que alcança o apoio antes da estrutura, diminuindo o balanço e reduzindo o momento negativo durante a fase construtiva (figuras 3.3.2.1 e 3.3.2.2). (Oliveira, 2009)

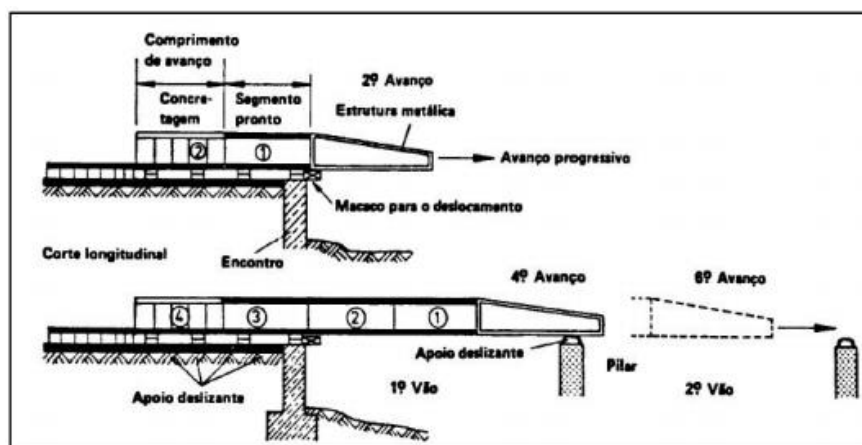


Figura 3.3.2.1 – Esquema de execução do método de empurramentos sucessivos (França, 2011)

O local de fabricação dos segmentos deve incluir uma área para execução das formas, central de armadura ativa e passiva, central de concreto, guindaste sobre trilhos e o equipamento de lançamento da estrutura.

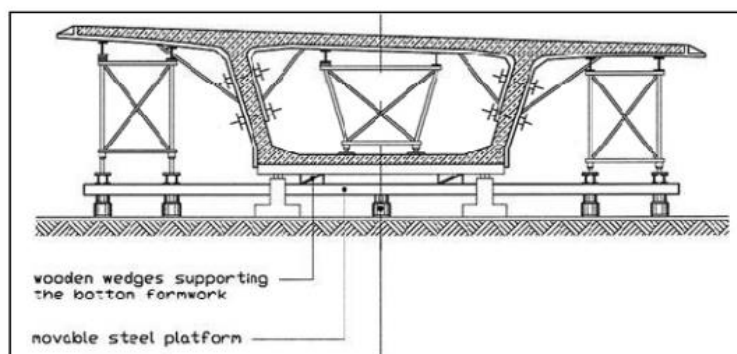


Figura 3.3.2.2 – Seção transversal da aduela posicionada para execução do empurramento (França, 2011)

3.3.3 Sistema por Balanços Sucessivos

Como se trata do foco deste trabalho será analisado detalhadamente no capítulo 4 a seguir.

4. TÉCNICA DO BALANÇO SUCESSIVO

O processo executivo de balanços sucessivos tem sido muito utilizado e desenvolvido nos últimos anos. O processo consiste na execução da estrutura em segmentos, aduelas de comprimento variável de 3 a 10 metros, constituindo balanços que, em geral, são equilibrados pelo avanço simultâneo dos balanços dos vãos vizinhos (Dnit, 1996)

É atribuído ao engenheiro Emílio Baumgart, a construção da primeira ponte em concreto empregando a técnica de balanços sucessivos. Trata-se da ponte sobre o rio do Peixe ligando as cidades de Herval do Oeste e Joaçaba, em Santa Catarina. Construída em 1930, com um vão central de 68m. Esta ponte (Figura 3.3.4) foi destruída pela enchente que ocorreu na região em 1983.



Figura 3.3.4 - Primeira ponte construída por meio de balanços sucessivos sobre o rio Peixe, SC.

Posteriormente, com o desenvolvimento da tecnologia de concreto protendido, no início da década de 1950, o processo teve um grande impulso, principalmente na Alemanha, de forma a consagrá-lo como um dos principais processos para construção de pontes.

O processo é particularmente indicado para as seguintes situações:

- Quando a altura da ponte em relação ao terreno é grande;
- Em rios com correnteza violenta e súbita;
- Em rios e canais onde é necessário obedecer a gabaritos de navegação

durante a construção.

Geralmente, a execução ocorre de forma simétrica em relação ao próprio apoio até metade dos vãos adjacentes a ele, logo depois o vão é fechado, não havendo assim a necessidade de se utilizar articulações centrais; esse procedimento é, então, repetido para os vãos vizinhos. Ocorrem, assim, poucos momentos de equilíbrio podendo-se projetar os dispositivos de engastamento no apoio, sempre exigidos no processo, de uma maneira mais econômica (Dnit, 1996).

Quando os balanços são desiguais, ou se pretende partir de um apoio para os seguintes em execução contínua, é usual a utilização de apoios provisórios intermediários ou estais ajustáveis ao desenvolvimento do vão, suportados por torres provisórias e ancorados no apoio anterior (Dnit, 1996).

Os seguimentos de aduela podem ser concretados no local ou podem ser pré-moldadas. No método executivo feito no local, a concretagem é executada através de formas deslocáveis em balanço, suportadas pelos trechos já concluídos (Dnit, 1996).

No caso das aduelas pré-moldadas, estas são moldadas contra a face frontal da aduela imediatamente anterior, de modo a obter-se o maior ajustamento possível nas superfícies a serem ligadas futuramente (Dnit, 1996).

Na ligação das aduelas pré-moldadas, estas são moldadas contra a face frontal da aduela imediatamente anterior, de modo a obter-se o maior ajustamento possível nas superfícies a serem ligadas futuramente (Dnit, 1996).

A ligação entre as aduelas pré-moldadas é feita por meio de cabos de protensão, que podem ou não fazer parte da cablagem definitiva do trecho, e com o auxílio de cola polimerizável à base de resina epóxi, aplicada às juntas dos elementos a serem ligados (Dnit, 1996).

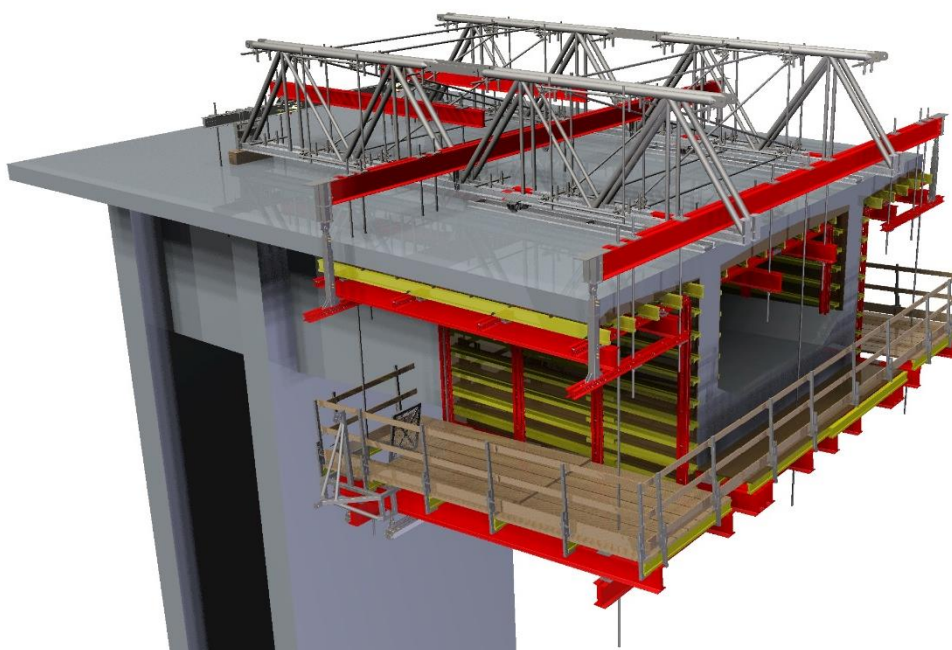


Figura 3.3.5- Execução de balanço sucessivo com aduelas pré-moldadas SH Formas (2015)

Parte ou totalidade dos cabos definitivos podem ser passados posteriormente e protendidos em aberturas deixadas nas aduelas, fora das juntas, permitindo maior rendimento e independência das operações de montagem de protensão definitiva. Essa, por sua vez, e também a operação de injeção dos cabos, podem assim, ser efetuadas no interior do caixão, com maior conforto, segurança e controle. É possível, também, executar os vãos continuamente, sem obedecer à simetria sem relação aos diversos apoios, através de solução em estais provisórios (Dnit, 1996).

Estruturalmente, a diferença entre os processos em aduelas pré-moldadas e aduelas concretadas no local reside essencialmente na grande dificuldade de, no primeiro caso, prover as juntas de armadura passiva, destinada a manter a homogeneidade da seção transversal no controle da fissuração da peça; daí resulta a necessidade de serem projetadas seções com protensão completa, aumentando o consumo de materiais (Dnit, 1996).

O número e o comprimento das treliças são determinados em função da geometria e peso da aduela a ser concretada. Os vigamentos transversais e os pendurais são também dimensionados em função da aduela (Dnit, 1996).

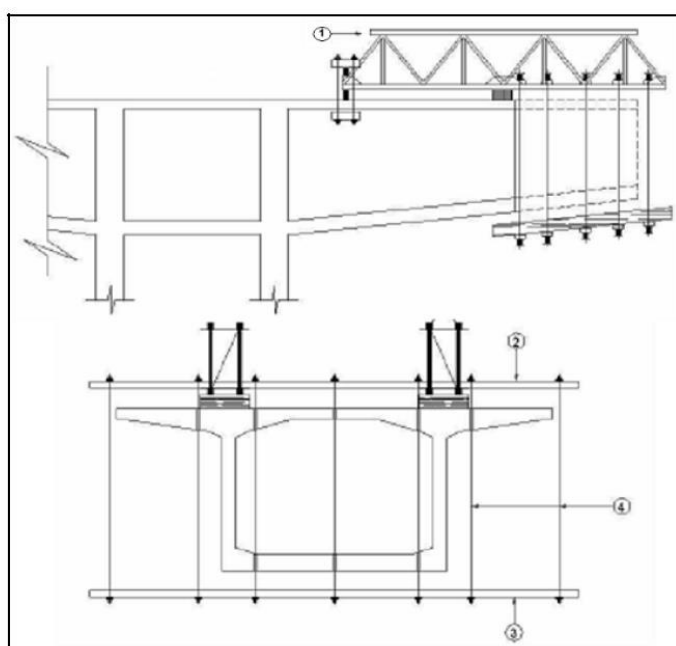


Figura 3.3.6 – Escoramento superior para balanço sucessivo – tipo treliçado 1) viga principal, formado por treliças moduladas; 2) vigamento transversal superior; 3) vigamento transversal inferior; 4) tirantes reguláveis de suspensão. (SOMAQ, 2015)

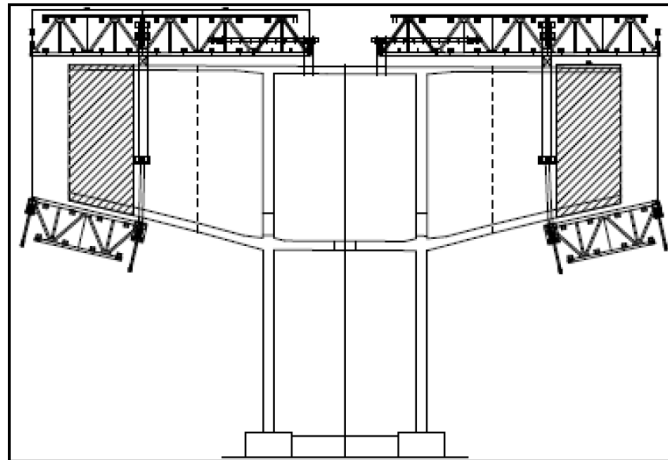


Figura 3.3.7 – Avanço das treliças na execução das aduelas (Dnit, 1996)

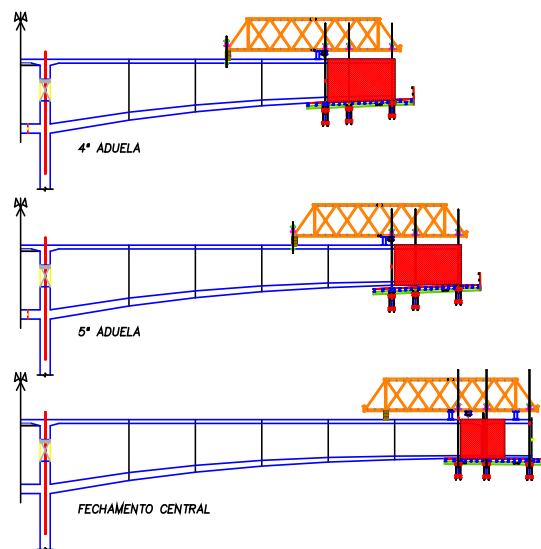


Figura 3.3.8 – Sequência de aduelagem de uma ponte feita em BricsCad da aduela 4 ao fechamento

4.1 Componentes a serem analisados

As imagens a seguir ilustram os componentes mecânicos mais comuns que são utilizados para montagem de um carro para balanço sucessivo. Vale a pena lembrar que os nomes dados para as peças variam de acordo com a empresa que projetou o balanço. Os nomes que surgem nas figuras que seguem se referem imagens extraídas do SolidEdge de um balanço sucessivo inseridas com base em um projeto da empresa SH Formas.

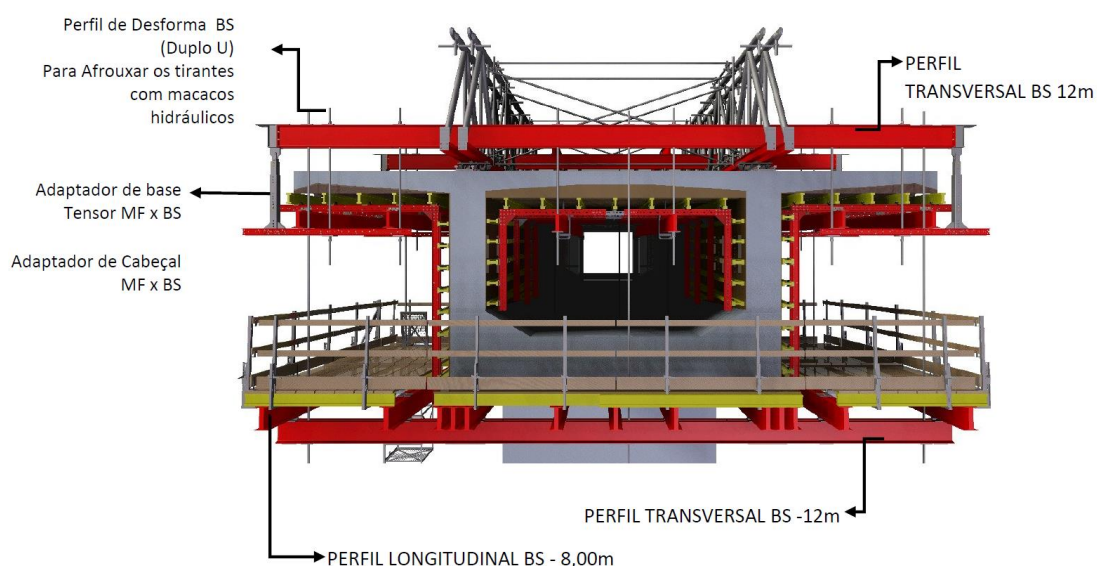


Figura 4.1.1 – Setas indicando Perfil de Desforma, Adaptador de base, Perfil Transversal e Perfil Longitudinal

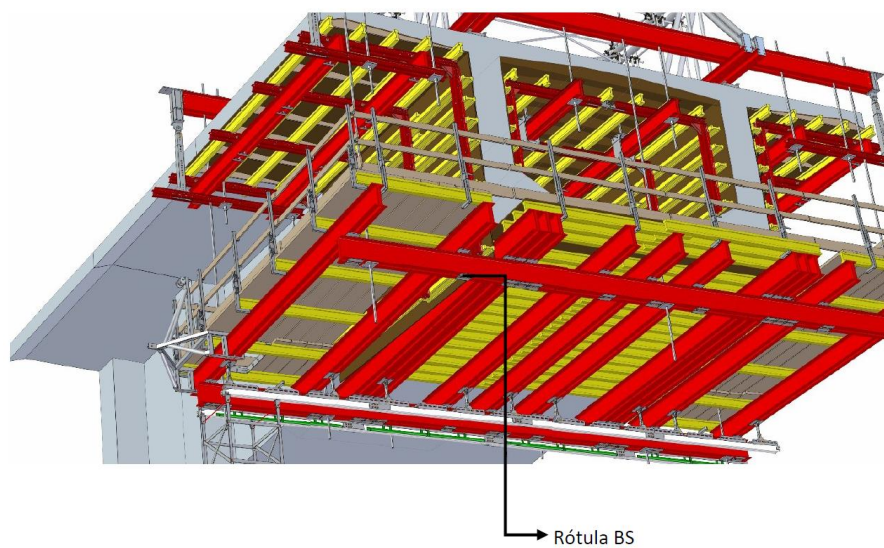


Figura 4.1.2 – Seta indicando Rótula

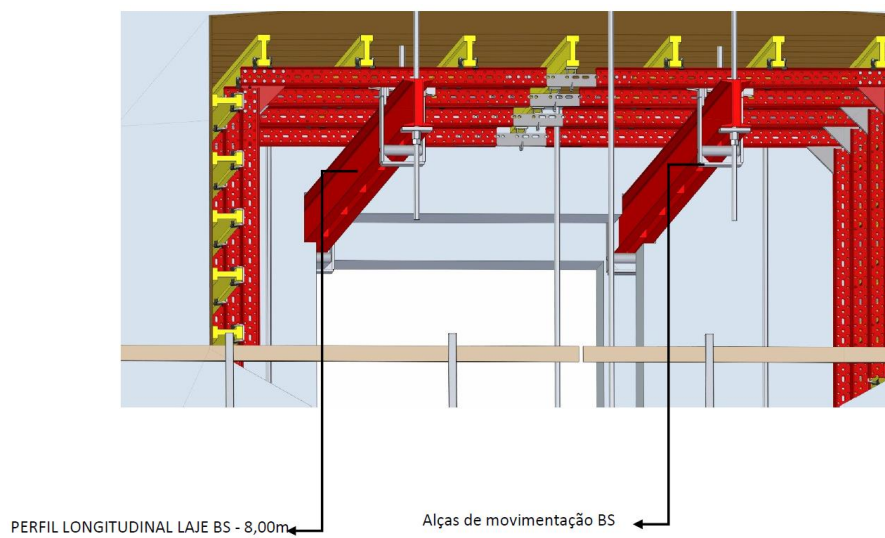


Figura 4.1.3 – Setas indicando Perfil Longitudinal Laje

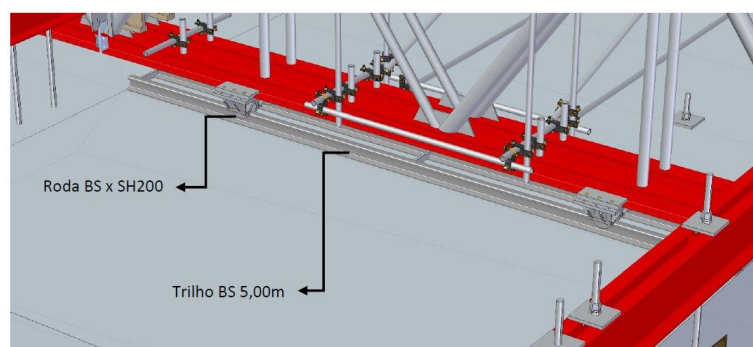


Figura 4.1.4 – Setas indicando Roda e Trilho

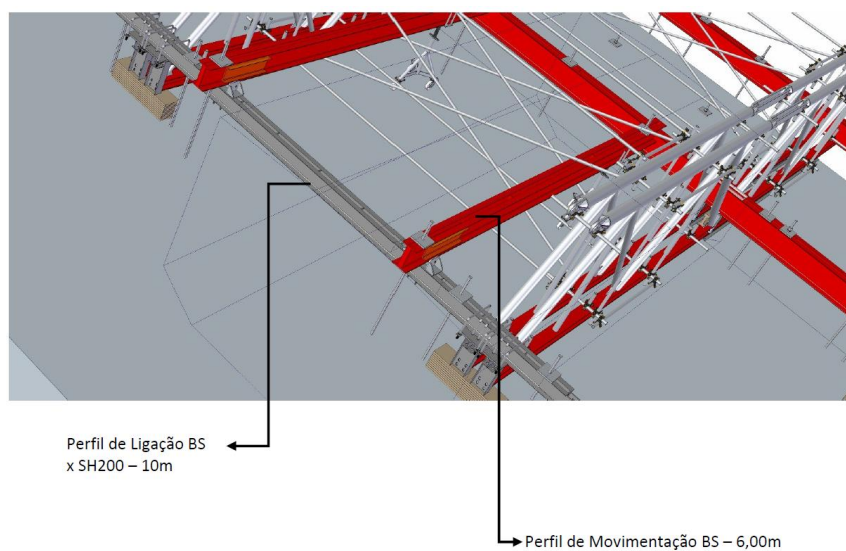


Figura 4.1.5 – Perfil de Ligação e Perfil de Movimentação

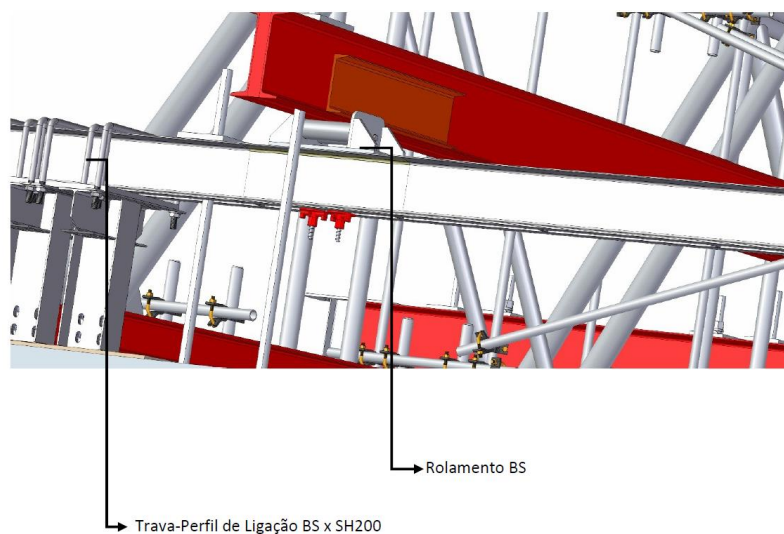


Figura 4.1.6 – Setas indicando Rolamento e Trava-Perfil de Ligação

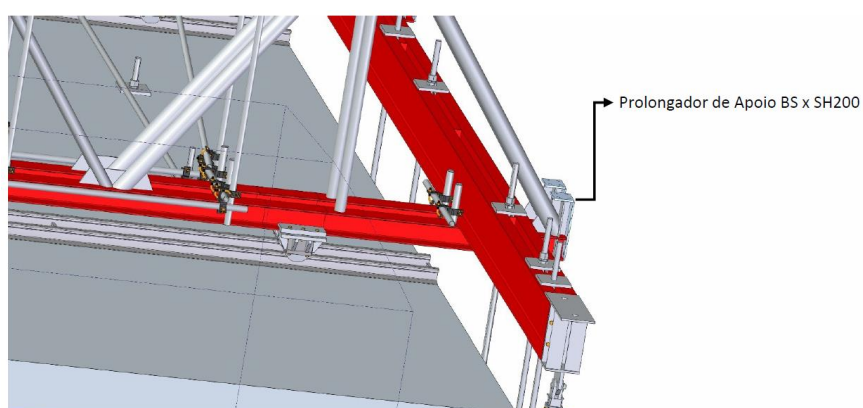


Figura 4.1.7 – Setas indicando Prolongador de Apoio

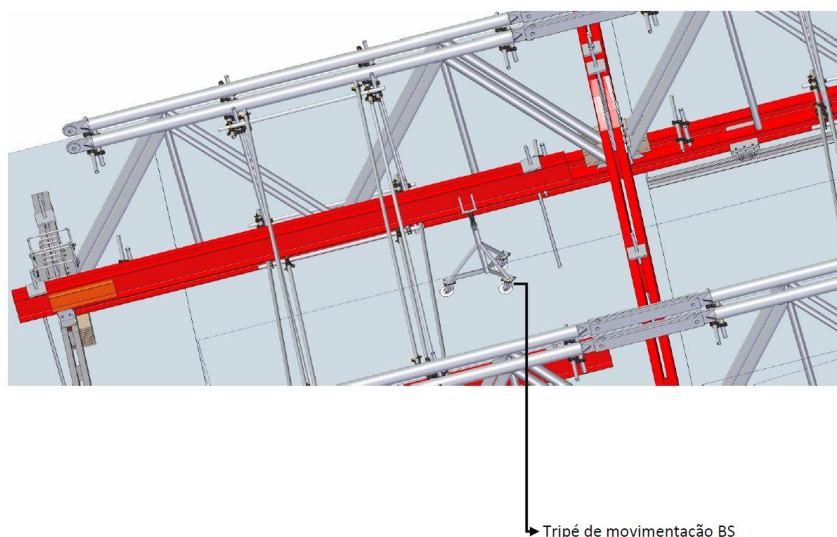


Figura 4.1.8 – Setas indicando Tripé de Movimentação

4.2 Etapas de Cálculo

Como mais um diferencial, o presente trabalho detalha o procedimento de dimensionamento através do método de Estados Limites e Últimos de Serviço dos componentes a serem utilizados na montagem do balanço.

A memória de cálculo completa para o estudo de caso de uma ponte definida arbitrariamente encontra-se no tópico Apêndice. Aqui trataremos de explicá-la e justificaremos os resultados apresentados.

Todos os cálculos foram realizados tendo em vista o valor de área da seção transversal de uma aduela adotada arbitrariamente e que atenderia uma demanda para construção de uma ponte que aceite a passagem de veículos de pequeno e grande porte, tendo em vista que o cálculo foi obtido através de comandos em BricsCad. Todo o dimensionamento foi baseado no posicionamento das peças apresentadas no item anterior. Apesar de ser um dimensionamento extenso, ele conta com um auxílio que é o programa Ftool, o qual simplifica bastante os cálculos.

No caso de treliças, o dimensionamento varia em relação ao que será visto em perfis devido à sua geometria diferenciada.

Resumidamente, as etapas são apresentadas a seguir:

1) Define-se primeiramente a área da seção transversal que a aduela da ponte terá. Como a estrutura apresenta total simetria analisar-se-á apenas metade da mesma, portanto será considerada para efeitos de cálculo apenas metade da área da seção transversal da aduela conforme pode ser verificado na Figura 4.2.1.

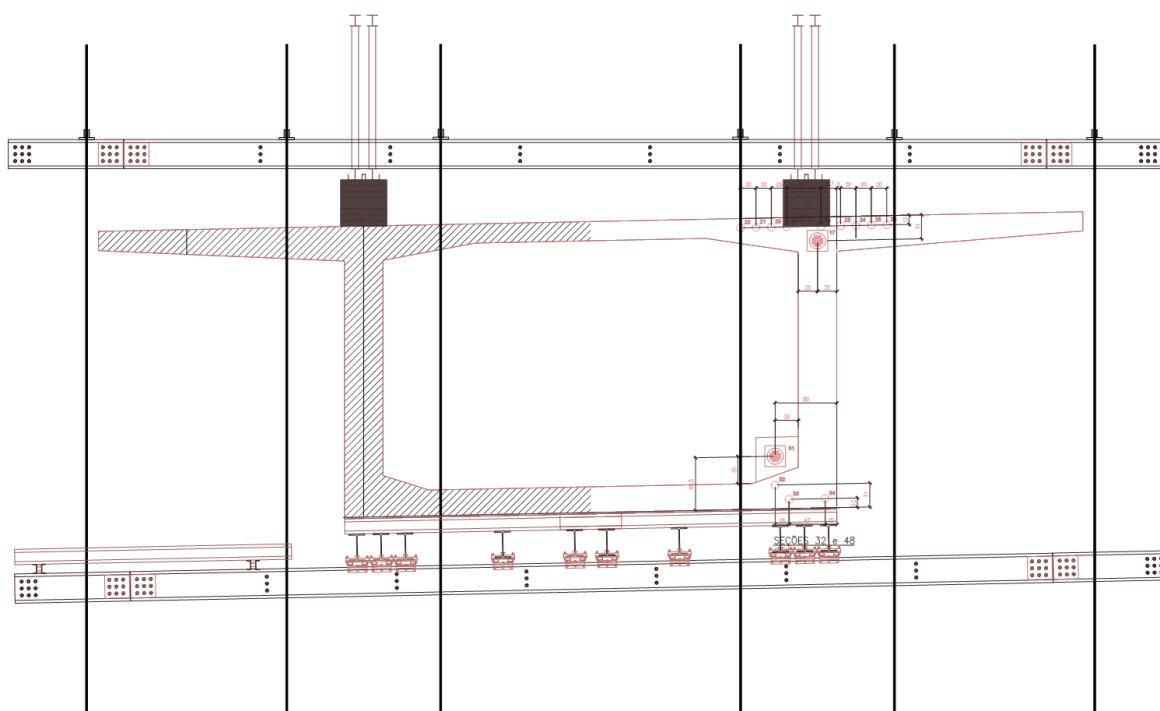


Figura 4.2.1: Área da aduela para cálculo de concreto na região de influência dos tirantes

2) Em seguida encontramos o peso dos perfis, o peso do concreto, o peso da forma, e a carga de trabalho (princípiois cargas de trabalho) através da carga

distribuída dos perfis, do peso específico do concreto, do peso da fôrma e da carga de trabalho respectivamente.

3) O Ftool exerce então a sua função, tendo em vista que concede, através da inserção de um desenho da situação contendo as cargas calculadas no item 2 exposto anteriormente, os diagramas completos de momento fletor, esforço cortante e todas as forças atuantes no sistema. A imagem 4.2 exemplifica uma resposta dada pelo programa e as fórmulas (1) e (2) representam os mecanismos internos ao programa.

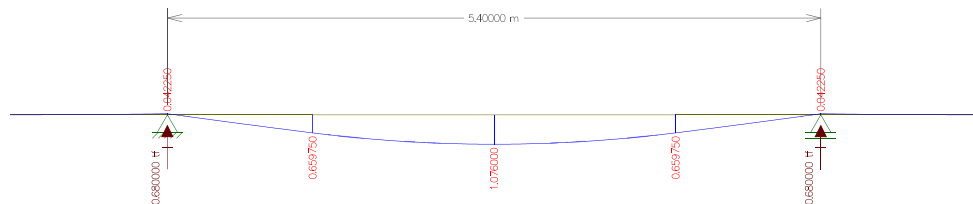


Figura 4.2.2: Exemplo de resposta do Ftool

As equações internas ao programa são:

$$\sum M_x = 0 \quad (1)$$

$$\sum V_x = 0 \quad (2)$$

1) Segunda etapa: verificação de esforços solicitantes e resistentes

Para isto são utilizadas as equações a seguir:

$$W_x = \frac{M_{máx}}{f_y} \quad (3)$$

$$W_{perfis} = \frac{I}{y} \quad (4)$$

$$\varepsilon_y = \frac{L}{500} + 1 \quad (5)$$

$$\varepsilon_{perfis} = \frac{PL^3}{48EI} \quad (6)$$

A únicas equações que variam para o dimensionamento da estrutura treliçada são as equações (5) e (6) que se tornam nas equações (7) e (8).

$$\varepsilon_y = \frac{L}{250} + 1 \quad (7)$$

$$\varepsilon_{perfis} = \frac{PL^3}{3EI} \quad (8)$$

No dimensionamento da treliça não será necessário o cálculo do momento fletor, pois tudo é baseado na comparação entre esforços solicitantes e resistentes. Toma-se o esforço solicitante calculado para o projeto e compara-se com suportado quanto os banzos, diagonais, perfis e tubos- esta resistência é calculada com base nas propriedades do material.

Através das equações (1) a (8) pode-se dizer se o uso dos componentes é ideal ou não. As equações (3) e (4) calculam o módulo resistente, enquanto as equações (5) a (8) indicam a deformação existente no componente. Os cálculos realizados são comparativos, devendo-se tomar o valor solicitado pelo projeto e comparar com o admissível dos componentes mecânicos. Com isto garantimos que o projeto será viável e que as estruturas não irão falhar. Vale a pena ressaltar que em todos os cálculos deve ser aplicado um coeficiente de segurança com o valor de 1,65 para limites de escoamento e de 2,025 para limites de ruptura (valores arbitrários).

4.3 Exemplo de Montagem

Seguem abaixo as imagens que contêm a sequência construtiva de um sistema para balanços sucessivos, todas renderizadas com o uso de solidEdge.

- 1) A preparação da área é exibida na Figura 4.3.1.

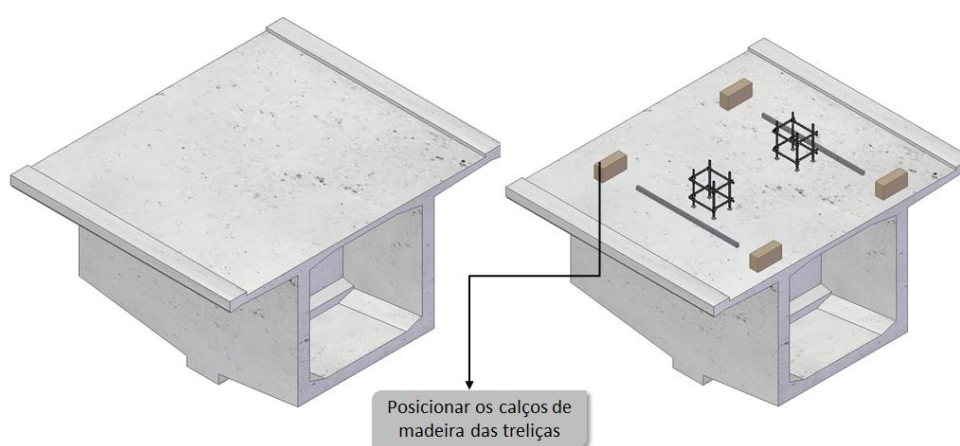


Figura 4.3.1 – Posicionamento de calços

- 2) O posicionamento dos perfis é ilustrado das figuras 4.3.2 a 4.3.17.

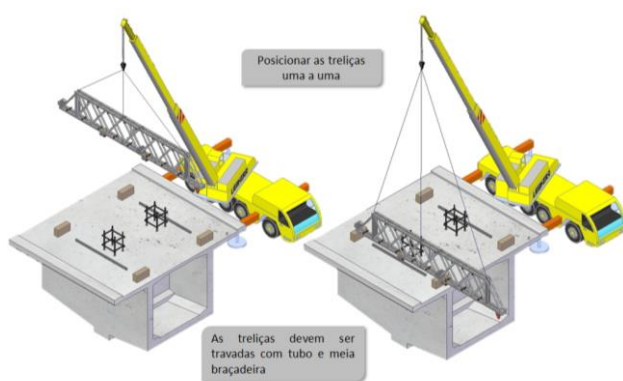


Figura 4.3.2 – Posicionamento de treliças

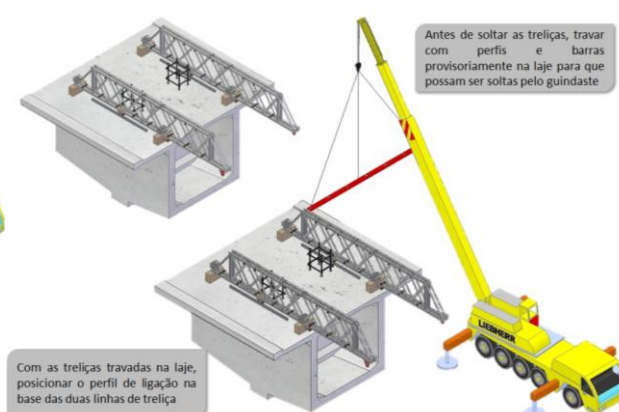


Figura 4.3.3 – Posicionamento de perfis

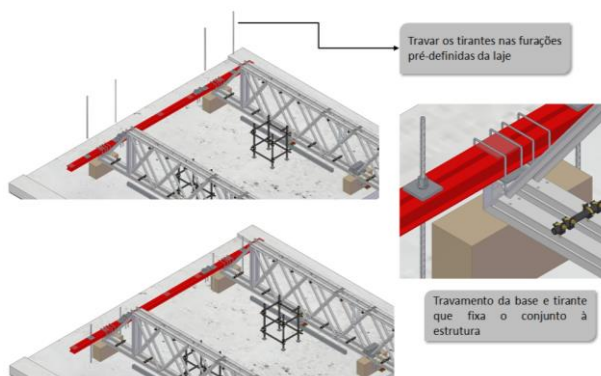


Figura 4.3.4 – Travamento de tirantes e bases

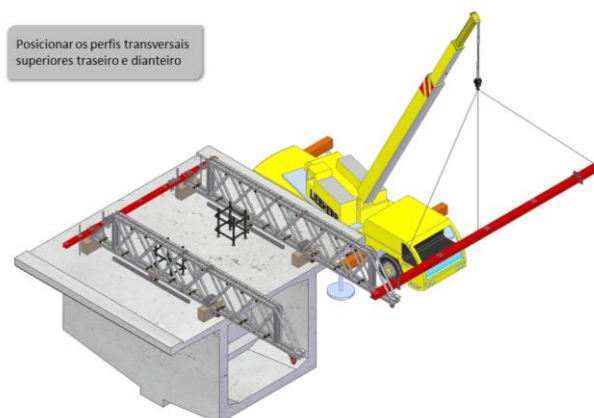


Figura 4.3.5 – Posicionamento de perfis transversais superiores

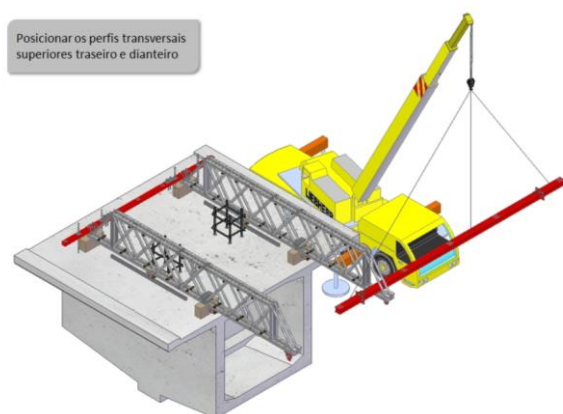


Figura 4.3.6 – Posicionamento de perfis transversais superiores

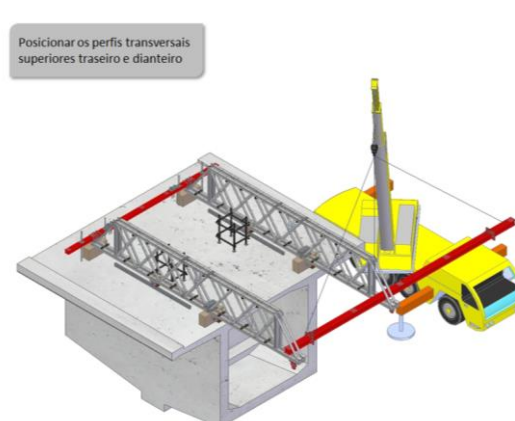


Figura 4.3.7 – Posicionamento de perfis transversais superiores

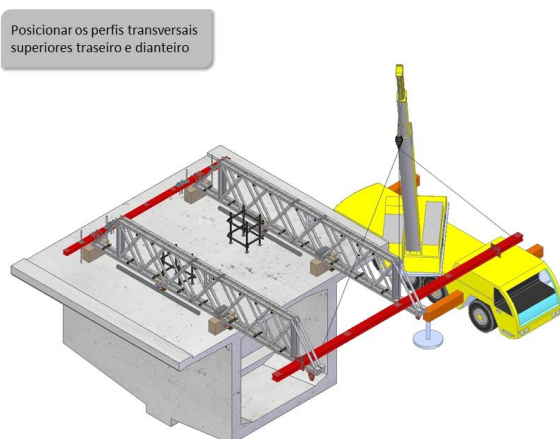


Figura 4.3.8 – Posicionamento de perfis transversais superiores

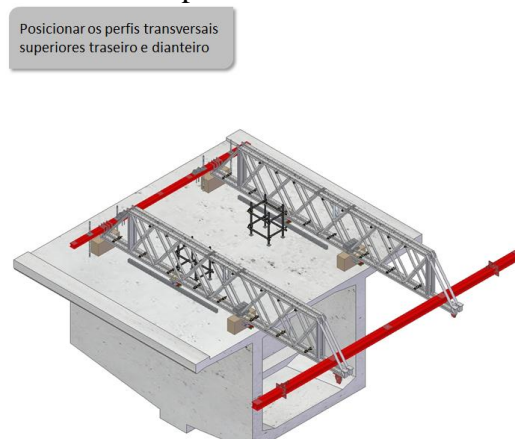


Figura 4.3.9 – Posicionamento de perfis transversais superiores

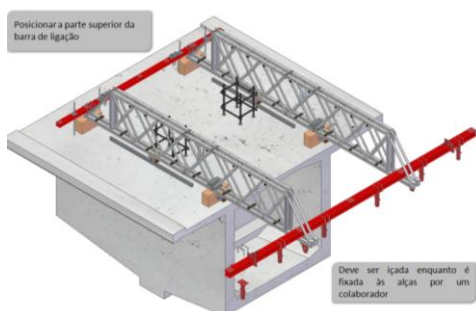


Figura 4.3.10 – Posicionamento de barra de ligação

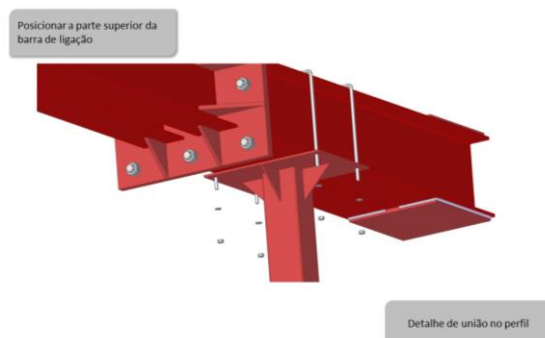


Figura 4.3.11 – Detalhe de união do perfil

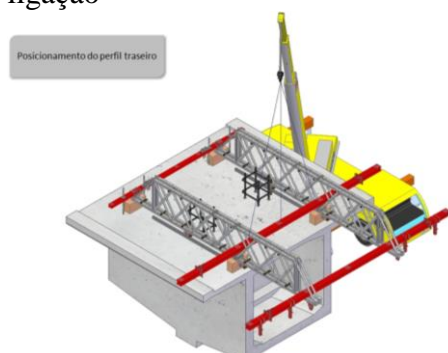


Figura 4.3.12 – Posicionamento de perfil traseiro

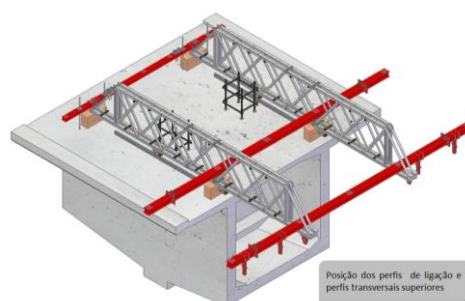


Figura 4.3.13 – Posicionamento de perfis de ligação transversais superiores

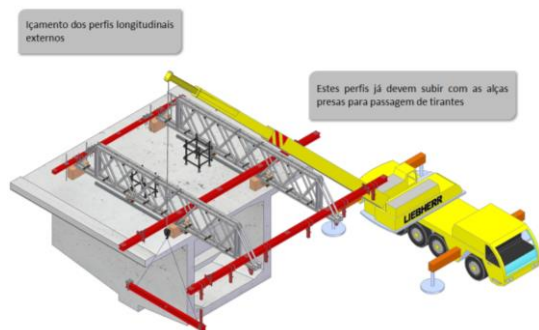


Figura 4.3.14 – Içamento de perfis longitudinais externos

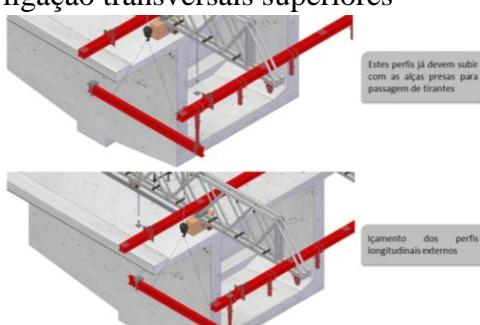


Figura 4.3.15 – Içamento de perfis longitudinais externos

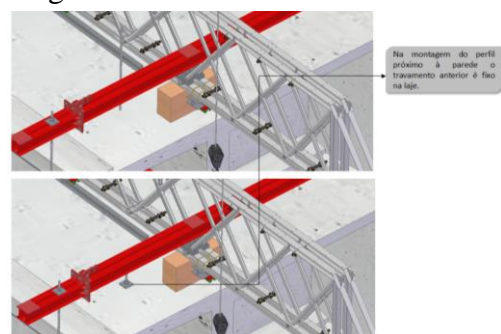


Figura 4.3.16 – Travamento fixo na laje

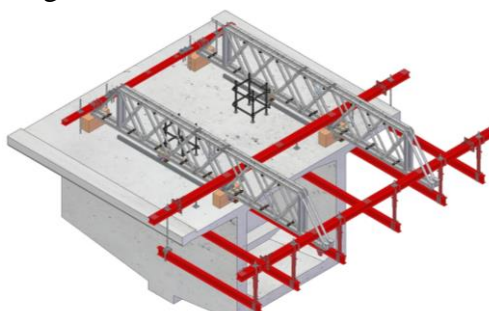


Figura 4.3.17 – Etapa de posicionamento concluída

3) O içamento de perfis inferiores é ilustrado na figura 4.3.18.

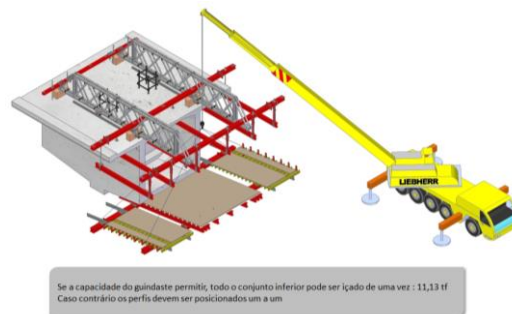


Figura 4.3.18 – içamento de perfis inferiores

4) A passagem das barras de ancoragem é dada pelas figuras 4.3.19 e 4.3.20.

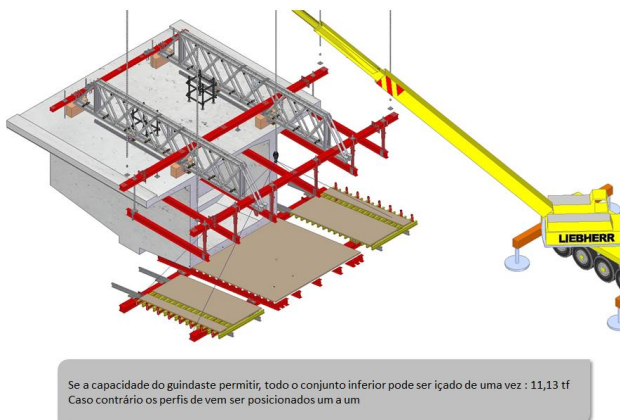


Figura 4.3.19 – içamento de perfis inferiores

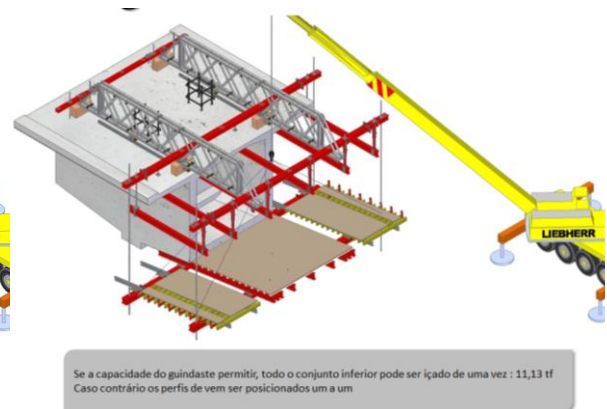


Figura 4.3.20 – Posicionamento de tirantes

5) A montagem da estrutura superior de apoio é dada pelas imagens 4.3.21 a 4.3.26.

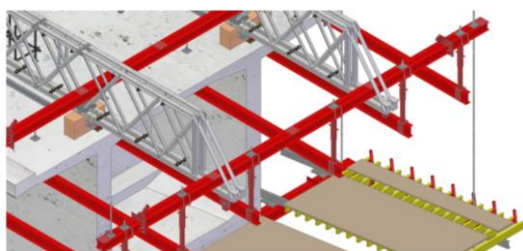


Figura 4.3.21 – Local de aplicação de perfil de reforço

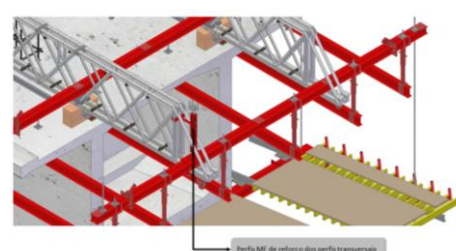


Figura 4.3.22 – Perfil de reforço

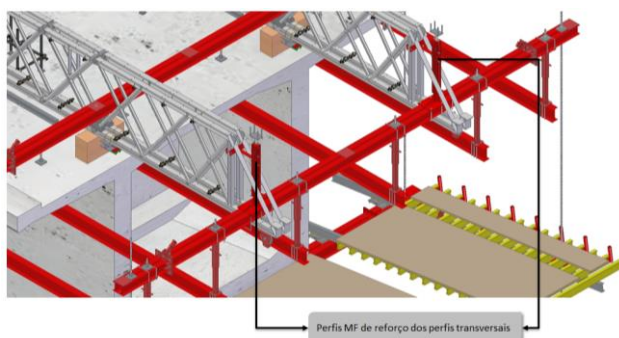


Figura 4.3.23 – Perfis de reforço



Figura 4.3.24 – Fixação de bases

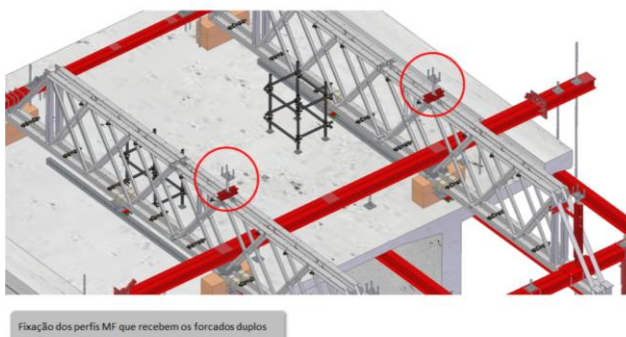


Figura 4.3.25 – Fixação de perfis

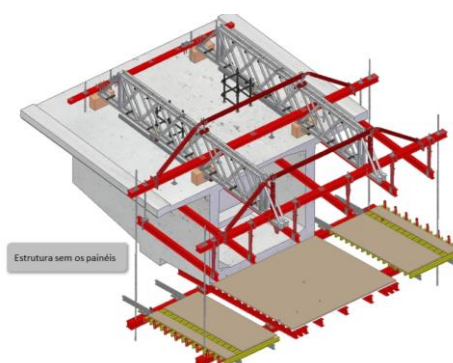


Figura 4.3.26 – Estrutura sem painéis

6) A montagem dos perfis de movimentação é dada pela figuras 4.3.27 a 4.3.29

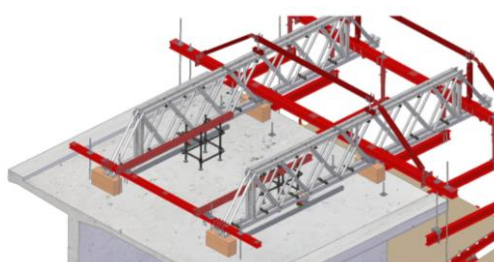


Figura 4.3.27 – Montagem dos perfis de movimentação



Figura 4.3.28 – Perfis de movimentação



Figura 4.3.29 – Perfis de movimentação

- 7) A movimentação para posicionamento das formas é dada pela figuras 4.3.30 a 4.3.39.

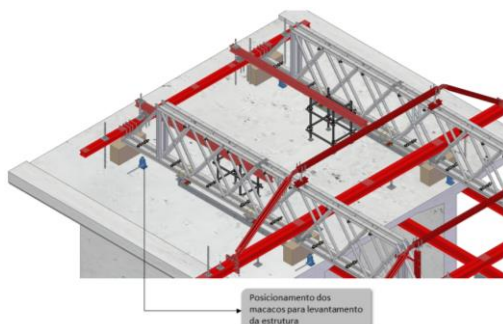


Figura 4.3.30 – Posicionamento dos macacos para levantamento da estrutura

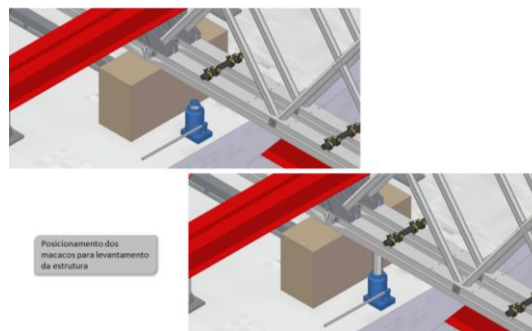


Figura 4.3.31 – Posicionamento dos macacos para levantamento da estrutura

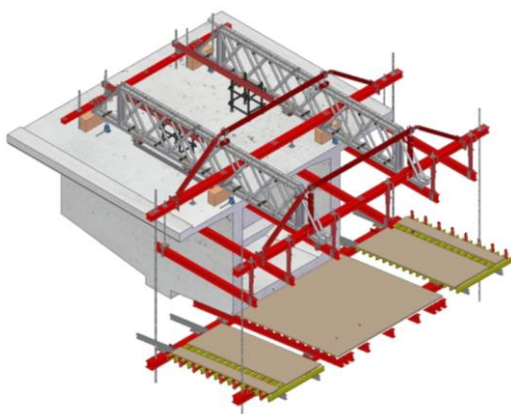


Figura 4.3.32 – Vista para visualização dos calços

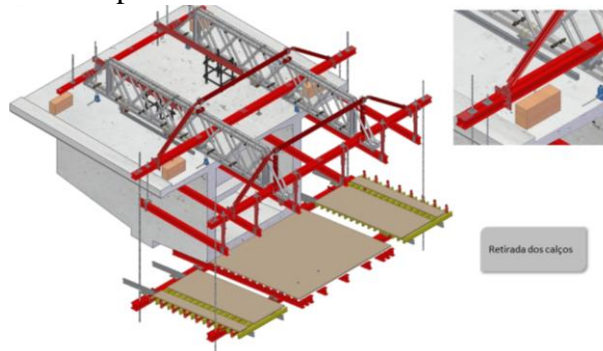


Figura 4.3.33 – Remoção dos calços

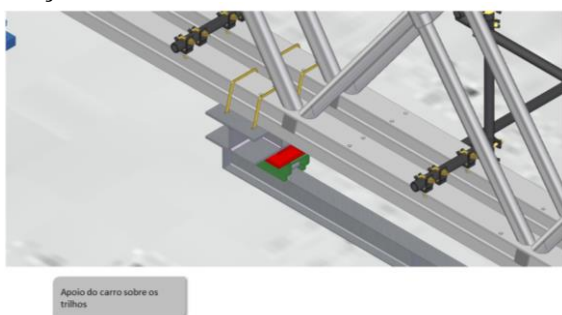


Figura 4.3.34 – Apoio do carro sobre os trilhos

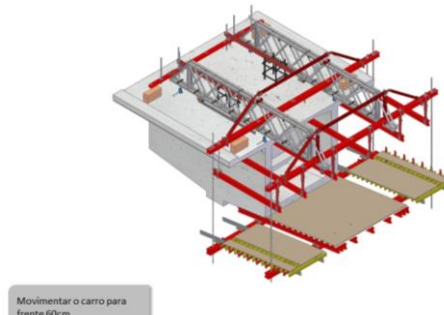


Figura 4.3.35 – Movimentação do carro

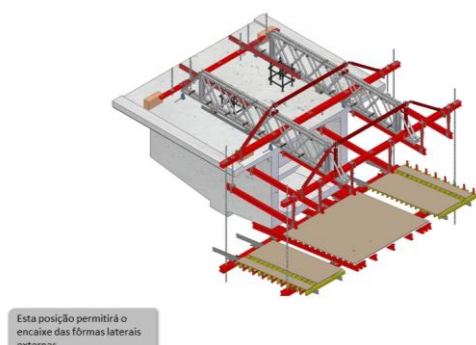


Figura 4.3.36 – Posição para encaixe de formas

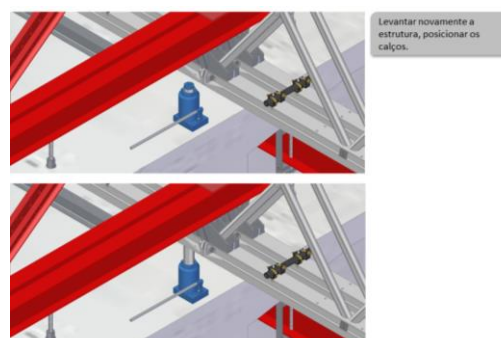


Figura 4.3.37 – Levantamento da estrutura

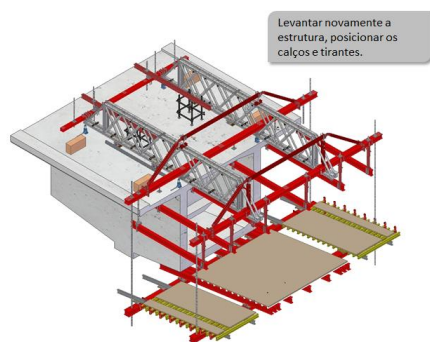


Figura 4.3.38 – Levantamento de estrutura

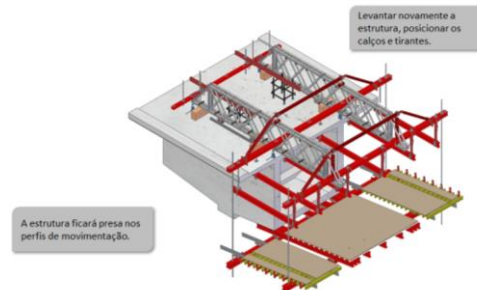


Figura 4.3.39 – Levantamento de estrutura

8) Movimentação para posicionamento das formas externas:

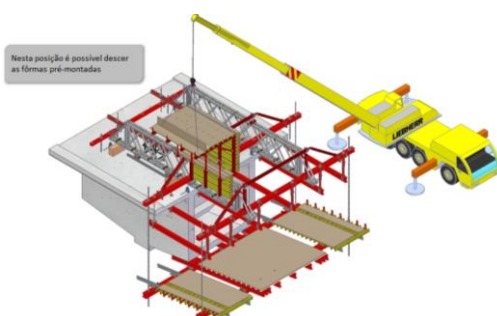


Figura 4.3.40 – Colocação de formas pré-montadas

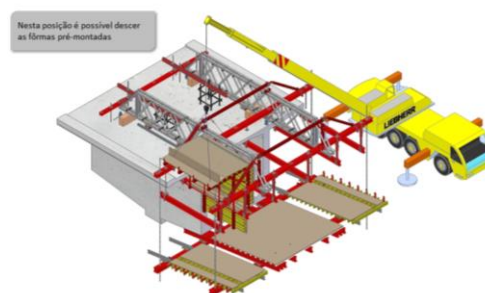


Figura 4.3.41 – Colocação de formas pré-montadas

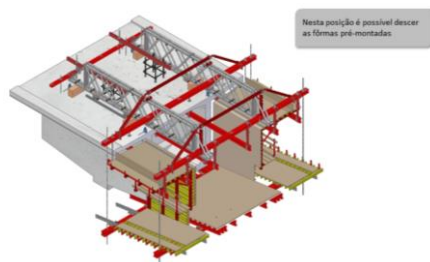


Figura 4.3.42 – Colocação de formas pré-montadas

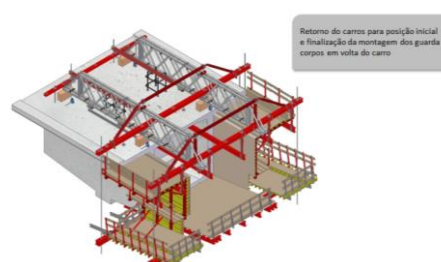


Figura 4.3.43 – Fechamento de etapa

- 9) A movimentação para posicionamento das formas internas é dada pelas figuras 4.3.44 a 4.3.54

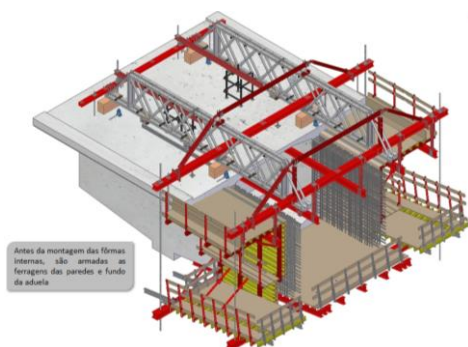


Figura 4.3.44 – Colocação de ferragens

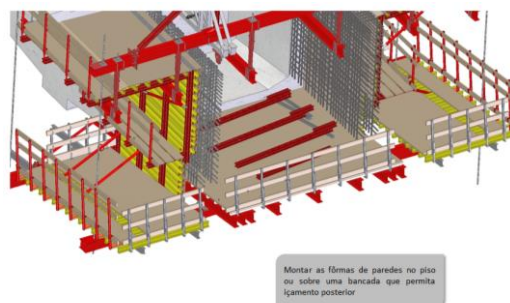


Figura 4.3.45 – Montagem das formas de parede

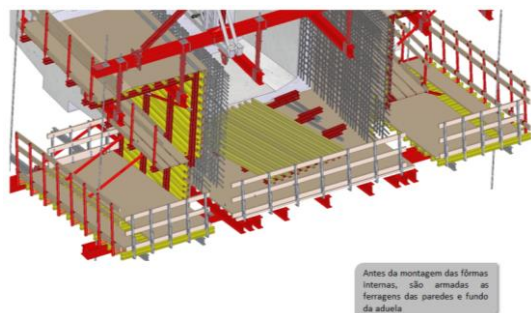


Figura 4.3.46 – Armação das ferragens das paredes e fundo de aduela

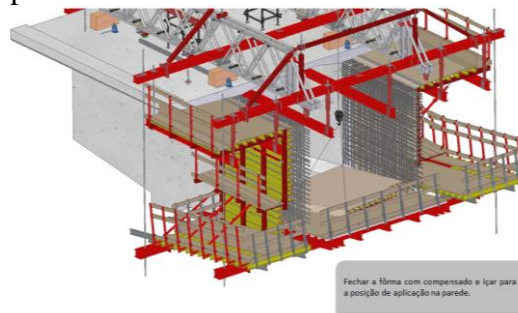


Figura 4.3.47 – Fechamento de fôrma

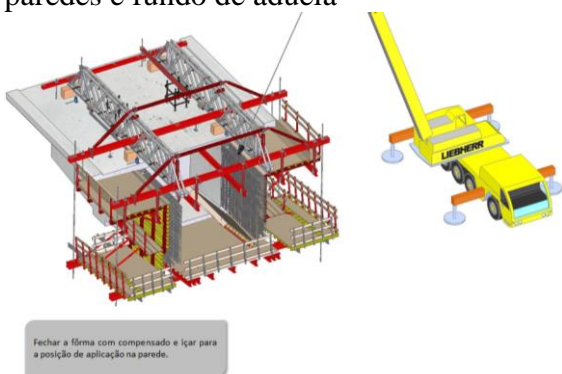


Figura 4.3.48 – Fechamento de forma

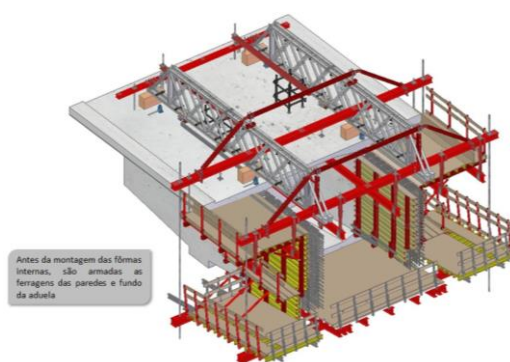
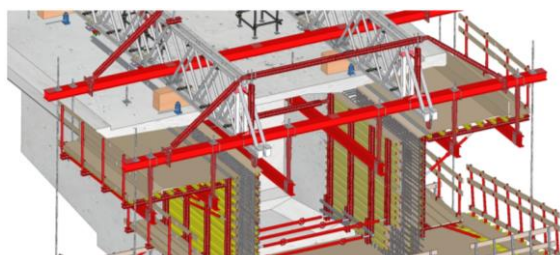
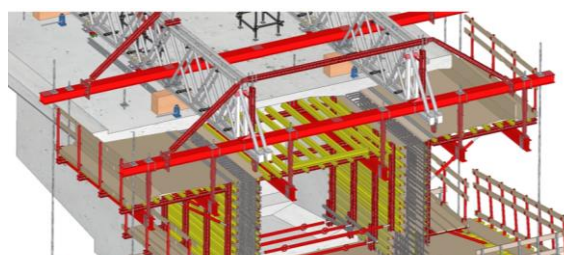


Figura 4.3.49 – Ferragens de paredes e fundo de aduela



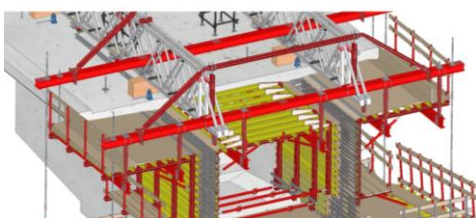
Passar as barras de ancoragem MF e os tensores

Figura 4.3.50 – Barras de ancoragem



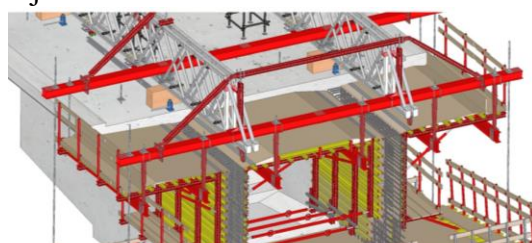
Posicionar os perfis da laje

Figura 4.3.51 – Posicionamento de perfis de laje



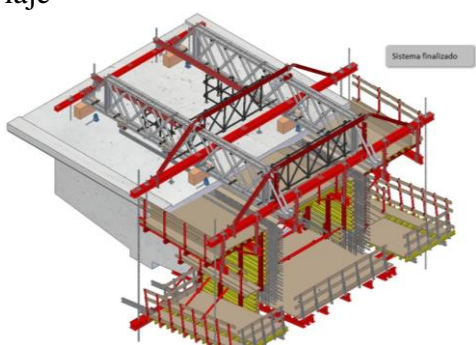
Posicionar os perfis da laje

Figura 4.3.52 – Posicionamento de perfis de laje



Fechamento com compensado

Figura 4.3.53 – Fechamento com compensado



Sistema finalizado

Figura 4.3.54 – Sistema de balanços sucessivos completo

4.4 Etapas de Concretagem

1) Concretagem dos Blocos e Pilares:

Utiliza-se uma forma metálica convencional conforme pode ser visto nas figuras 4.4.5.1 a 4.4.5.3. Prepara-se, assim, a base rígida que pode ser concreto ou solo compactado para receber a carga de aduela de disparo.



Figura 4.4.5.1 – Formas Metálicas



Figura 4.4.5.2 – Após concretagem

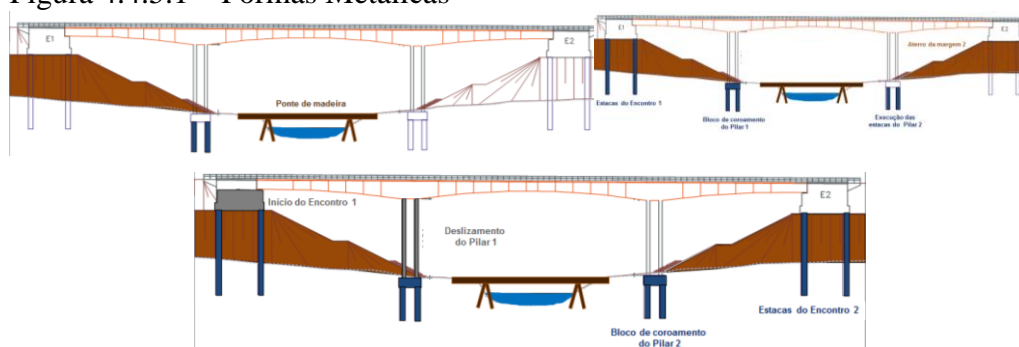


Figura 4.4.5.3 – Esquema em CAD da etapa

2) Concretagem da Aduela de disparo:

Nesta etapa de concretagem utiliza-se um sistema de andaimes como o mostrado nas figuras 4.4.5.4 a 4.4.5.7. Os níveis evoluem conforme a secagem do concreto. Furos são feitos

sobre a estrutura para posterior ancoragem do sistema. A cada concretagem deve-se locar os furos com o auxílio da topografia.



Figura 4.4.5.4 – Preparo para as formas superiores



Figura 4.4.5.5 – Formas superiores

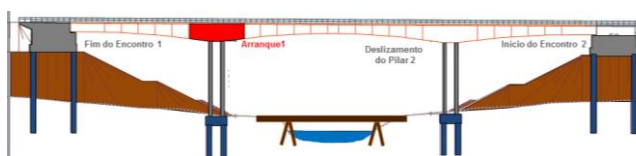


Figura 4.4.5.6 – Esquema em CAD da etapa

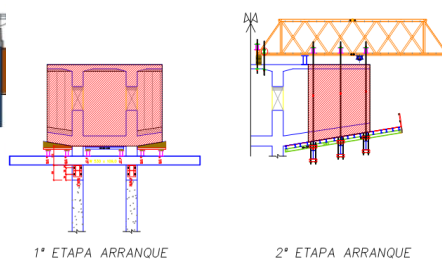


Figura 4.4.5.7 – Esquema em CAD da etapa exibindo a aduela e carro

3) Concretagem das demais aduelas e protensão:

Deve-se concretar em camadas respeitando-se os limites do projeto. Indispensável o uso de uma plataforma a frente da aduela concretada para operação dos macacos de protensão, conforme exposto nas figuras 4.4.5.8 a 4.4.5.10.



Figura 4.4.5.8 – Aduelagem das demais etapas



Figura 4.4.5.9 – Posicionamento de macacos hidráulicos

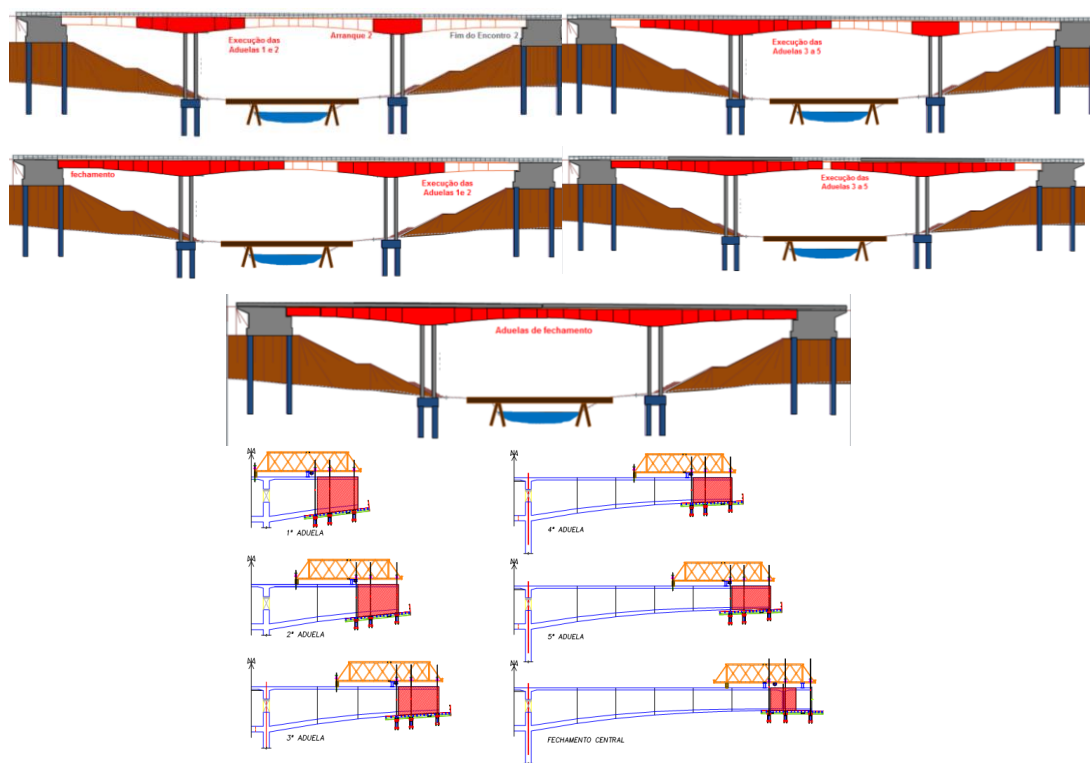


Figura 4.4.5.10 – Esquemas em CAD da etapa

4) Tempo de execução:

O tempo de execução para aduela de disparo incluindo montagem do escoramento, concretagem das lajes e paredes e cerca de 30 dias. Para as aduelas de 1 a 7 este tempo é de 8 a 10 dias para montagem da armadura, fôrmas, protensão, e deslocamento do conjunto.

5. CONCLUSÕES

Face ao exposto, este trabalho apresentou uma visão geral do projeto estrutural de pontes via técnica de balanços sucessivos. Foram mostradas as primeiras etapas do processo construtivo assim como a influência das propriedades mecânicas dos materiais no equilíbrio estático do sistema estrutural.

Tem-se que o crescimento das cidades é um fator que pede uma alta demanda de engenharia, no que diz respeito ao uso de tecnologias que permitam estabelecer conexões cada vez mais incidentes entre as mais variadas áreas habitáveis.

Além disso, é possível concluir que o processo de construção de uma ponte passa, do ponto de vista mecânico estrutural, por diversos tipos de análises que irão expor qual é o meio mais viável para edificação da mesma. Sabe-se que dentre os principais fatores relacionados a estas análises estão o tempo de construção, o local de construção e o custo estimado pela empresa contratante.

Nesse sentido, o estudo do sistema de balanços sucessivos é de grandiosa e enriquecedora importância, pois exhibe uma técnica consagrada, eficaz e bastante segura de construção de pontes. A engenharia que está envolvida em este tipo de estrutura é de certa forma intrigante, pois a ausência de escoras torna o estudo da estática e dos materiais escolhidos imprescindível.

Os desenhos para um projeto são de suma importância, pois externam de maneira provisória como deverá ser a colocação de cada componente durante o processo de montagem, ditando o posicionamento das mesmas e programando o meio de transpasse das peças. Desenhos

mais detalhados em CAD indicarão as furações, diâmetros de barras, comprimentos de vigas e etc que serão necessários saber durante o processo de montagem.

Com isso, o uso de programas de análise de estruturas e até mesmo de elementos finitos torna-se um crucial facilitador para dizermos se o projeto será possível ou não, ou se algum componente estrutural deve ser substituído para atender a demanda solicitada para as cargas de serviço.

BIBLIOGRAFIA

- Almeida, Sérgio Marques Ferreira de. 2000.** *Processos Construtivos de Pontes e Viadutos Pré-Moldados no Brasil*. Porto-Portugal : 1º Congresso Nacional da Indústria de Pré-Fabricação de Betão, 2000.
- Dersa.** *Desenvolvimento rodoviário*. São Paulo : <http://www1.dnit.gov.br/ipr_new/download_manuais.htm>. Acesso em 2015.
- Dnit, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes -. 1996.** *Manual de Projetos de Obras-de-Arte Especiais*. Rio de Janeiro : <http://www1.dnit.gov.br/ipr_new/download_manuais.htm>. Acesso em 2015, 1996.
- Formas, SH.** *Pontes de Concreto em Balanço Sucessivo*.
- França, Auda Luisa Veiga Ferreira. 2011.** *Métodos Executivos de Obras de Arte Especiais: Estudo de Caso em Construção em Meio Urbano*. Rio de Janeiro : UFRJ, 2011.
- Leonhardt, Fritz. 1979.** *Construções de Concreto, vol. 6: Princípios da Construção de Pontes de Concreto*. Rio de Janeiro : Editora Interciência, 1979.
- Marchetti, Osvaldemar. 2008.** *Pontes de Concreto Armado*. São Paulo : Edgar Blucher, 2008, 2008.
- Mills. 2015.** *Balanço Sucessivo*. Brasília : Setor de Abatecimento, 2015.
- Oliveira, Elias Monteiro de. 2009.** *Execução de superestruturas em balanço sucessivo: ponte sobre a represa Billings*. São Paulo : Universidade Anhembi Morumbi, 2009.
- Pfeil, Walter. 2009.** *Estruturas de Aço*. Rio de Janeiro : LTC, 2009.
- Rocha, Tassiana Duarte da. 2012.** *Análise numérica do comportamento de juntas entre aduelas de vigas pretendidas*. Rio de Janeiro : UERJ, 2012.
- SOMAQ. 2015.** *Catálogo Equipamento para Avanço Progressivo*. Rio de Janeiro : <<http://somaqrio.com/downloads/ITEM06CATSOMAQ.pdf>>. Acesso em 2015, 2015.
- Thomaz, Professor Eduardo C. S. 2013.** *Ponte Sobre o Rio Peixe - Santa Catarina (Cidades: Herval do Oeste - Joaçaba)*. s.l. : IME, 2013.

APÊNDICE

Memória de Cálculo

Parte I) Dimensionamento de perfis

<i>APOIO à ELABORAÇÃO:</i>	<i>Engenheiro Civil ERICK BARROS</i>
----------------------------	--------------------------------------

1. Propriedades dos materiais empregados:

Aço A572 - Tensão de escoamento 345 MPa e tensão de ruptura **450 MPa**

Módulo de elasticidade (*Módulo de Young*) Longitudinal: **210 GPa**

Módulo de elasticidade (*Módulo de Young*) transversal: **80 GPa**

2. Normas de referência:

NBR 8800/08 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto

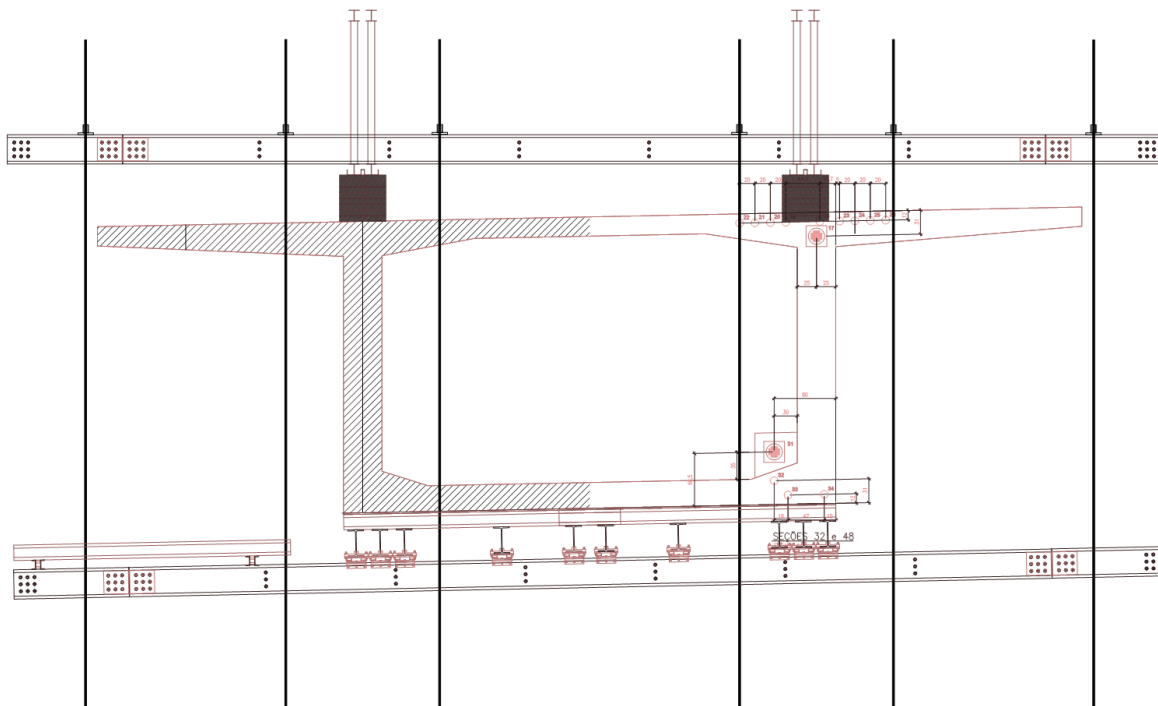
3. Critérios de dimensionamento:

Estados Limites últimos e de serviço

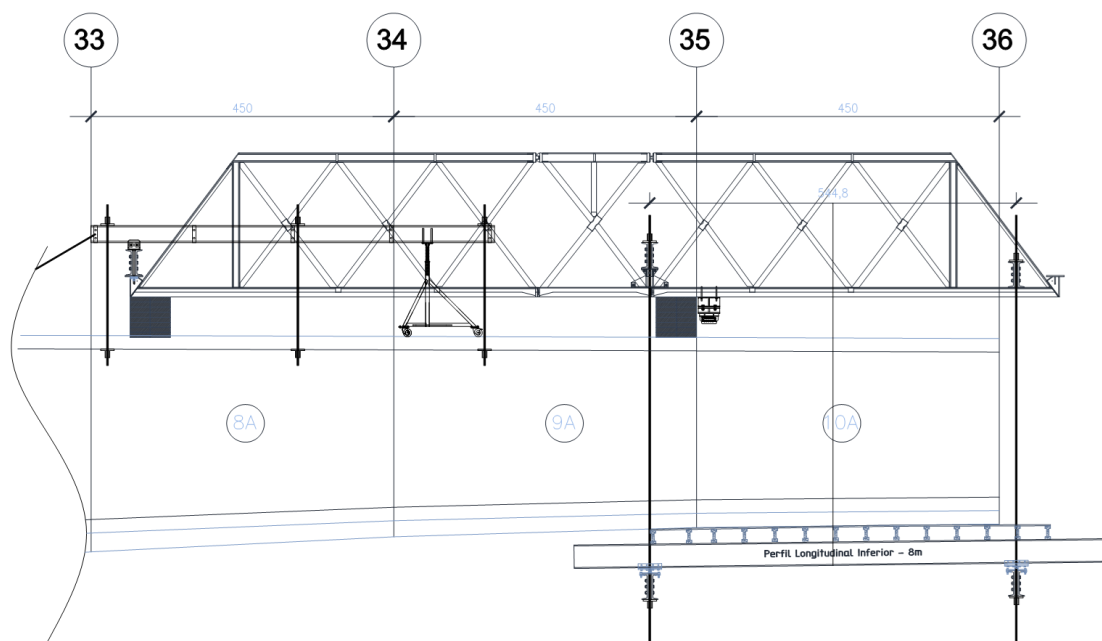
Equipamentos analisados

- A) Perfil transversal superior
- B) Perfil longitudinal superior
- C) Perfil longitudinal inferior
- D) Perfil transversal inferior
- E) Perfil de ligação
- F) Perfil de movimentação
- G) Perfil da área de trabalho

Distribuição dos tirantes:



Corte longitudinal padrão



1. Cargas atuantes no sistema:

Peso específico do concreto: 25 kN/m^3

Peso próprio dos perfis estimado: $1,2 \text{ kN/m}$

Peso da fôrma: $0,5 \text{ kN/m}^2$

Carga de trabalho: $1,5 \text{ kN/m}^2$

A) Perfil transversal superior

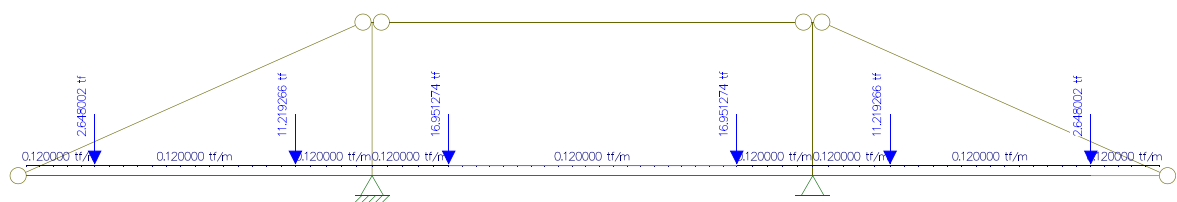
Cargas nos perfis transversais superiores:

A carga é transferida através dos tirantes

A distância longitudinal para cálculo considerada será metade do comprimento da aduela maior

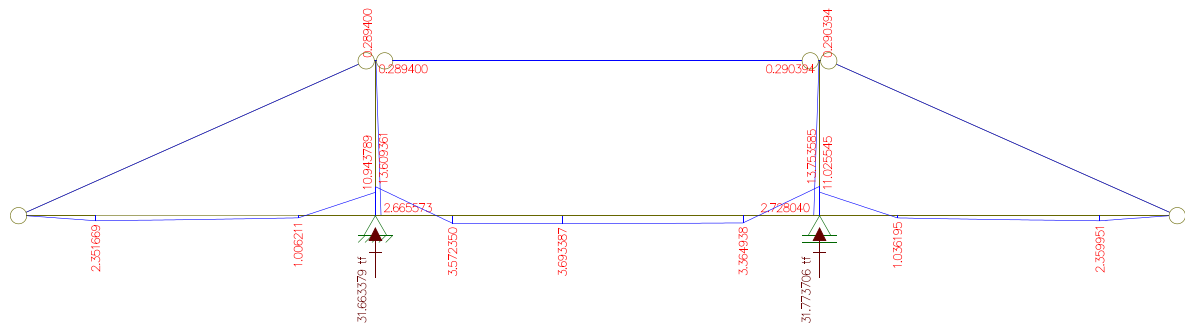
$$\rightarrow 450\text{cm} / 2 = 225\text{cm}$$

Distribuição das cargas:



Momento fletor atuante:

<p>Carga no tirante T1</p> <p>Concreto → 1893,37 kgf</p> <p>Peso próprio do equipamento → 355,27 kgf</p> <p>Sobrecarga de trabalho → 400 kgf</p> <p>Carga Total → 2648,64kgf</p>	<p>Carga no tirante T2</p> <p>Concreto → 9983,25 kgf</p> <p>Peso próprio do equipamento → 736 kgf</p> <p>Sobrecarga de trabalho → 500 kgf</p> <p>Carga Total → 11219,25 kgf</p> <p>Carga no tirante T3</p> <p>Concreto → 15491,25 kgf</p> <p>Peso próprio do equipamento → 960 kgf</p> <p>Sobrecarga de trabalho → 500 kgf</p> <p>Carga Total → 16951,25 kgf</p>
--	--



Módulo resistente necessário

$$W = \frac{1.375.300 \text{ kgf cm}}{3450 \text{ kgf/cm}^2} = 398,63 \text{ cm}^3$$

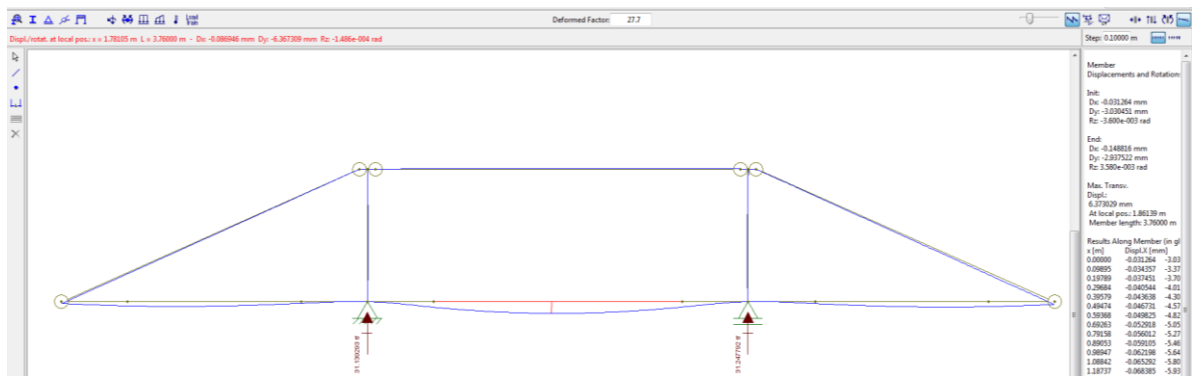
Coefficiente de segurança de 1,65 $\rightarrow 398,63 \times 1,65 = 657,75 \text{ cm}^3$

Como o perfil é duplo, cada parte precisa de $328,87 \text{ cm}^3 \rightarrow$ Opção em perfil duplo U com dois perfis $10'' \times 44,7 \text{ kg/m}$ ($W_x = 339 \text{ cm}^3$)

Opção em perfil W $\rightarrow W250 \times 32,7 \text{ kg/m}$ ($W_x = 382,7 \text{ cm}^3$)

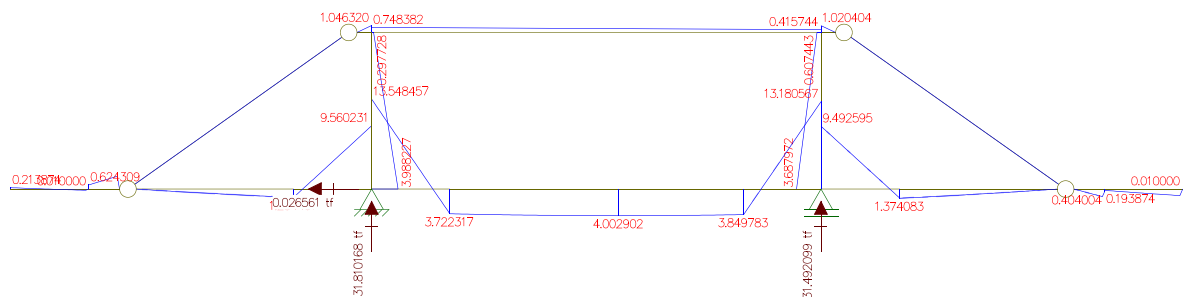
A deflexão admissível nos balanços é de $L/250 + 1 \rightarrow 4630 / 250 + 1 = 19,52 \text{ mm}$

Verificação da deformação com o perfil Duplo U10''x44,7 kg/m



2,67mm. Os dois casos estão dentro dos limites admissíveis.

Considerando a conexão dos perfis de reforço que formam a treliça um pouco mais afastadas:

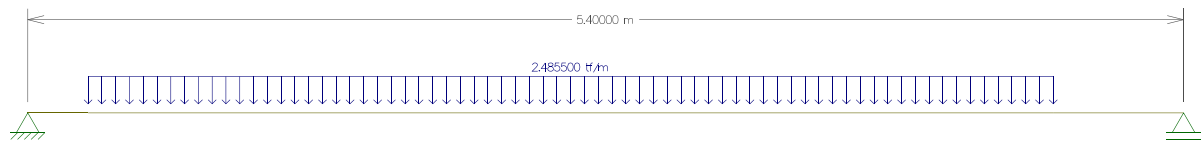


Não há momento significativo nas barras adicionais de reforço (MF12 Duplo) e a compressão das treliças não é significativa.

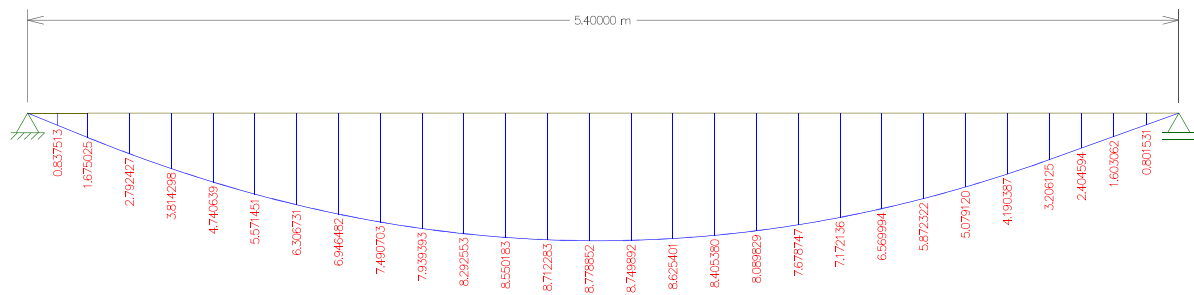
<p>B) Perfil Longitudinal Superior</p>	<p>Cargas aplicadas:</p> <p>Concreto → 2320,5 kgf/m</p> <p>Forma → 135 kgf/m</p> <p>Peso próprio → 30 kgf/m</p> <p>Carga total → 2485,5 kgf/m</p>
---	--

O vão entre apoios será a mesma distância entre os perfis transversais → 5,40m

Distribuição das cargas



Momento fletor atuante



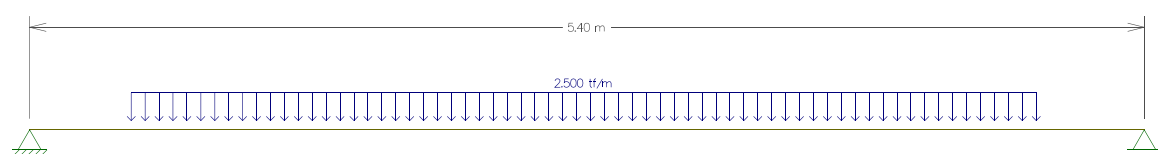
Módulo resistente necessário

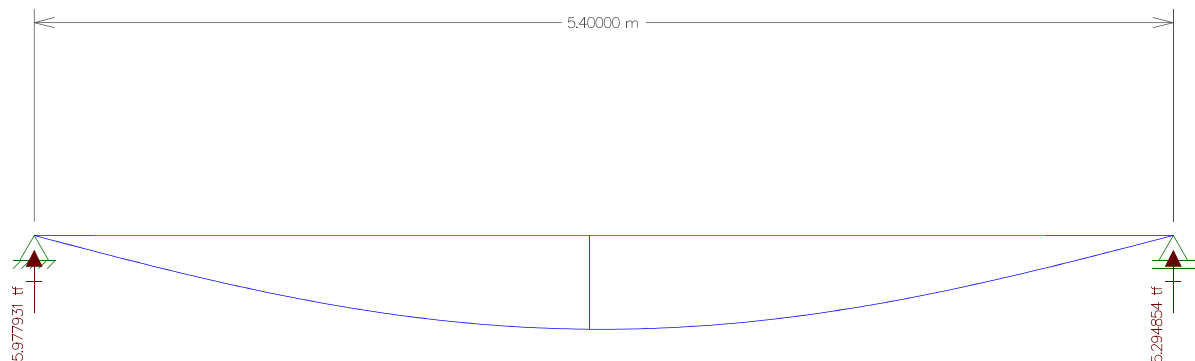
$$W = \frac{877.000 \text{ kgf cm}}{3450 \text{ kgf/cm}^2} = 254,20 \text{ cm}^3$$

Coeficiente de segurança de 1,65 $\rightarrow 254,20 \times 1,65 = 419,43 \text{ cm}^3$

Considerando perfil W, o perfil W250x38,5 com $W_x = 462,4 \text{ cm}^3$ atende ao ELU

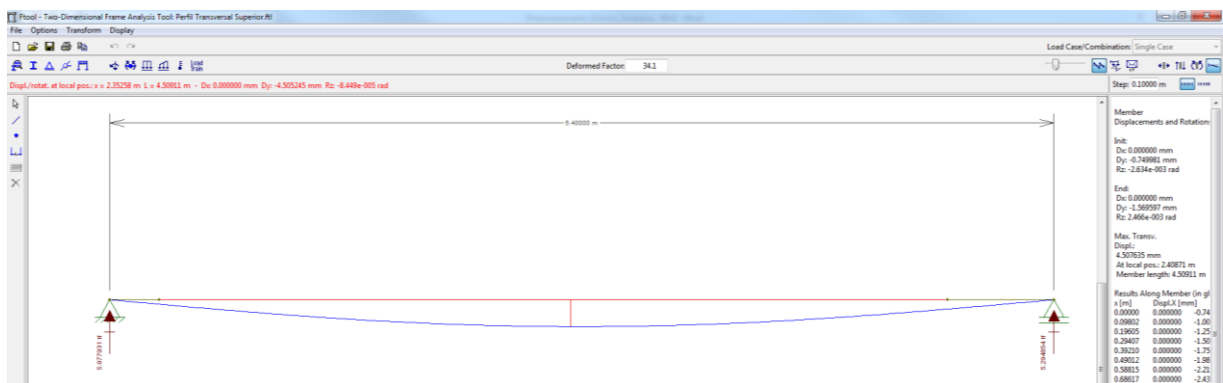
Deformação atuante (ELS)





Deformação máxima com perfil W250x38,5 \rightarrow 20,78mm está acima do permitido $5400/500 + 1 \rightarrow 11,80\text{mm}$

Verificação com perfil W360 x 51kgf/m



Com o perfil W360 x 51 kgf/m a deformação máxima é de 9,1mm $< 11,80\text{mm} \rightarrow \text{Ok}$

C) Perfil longitudinal inferior

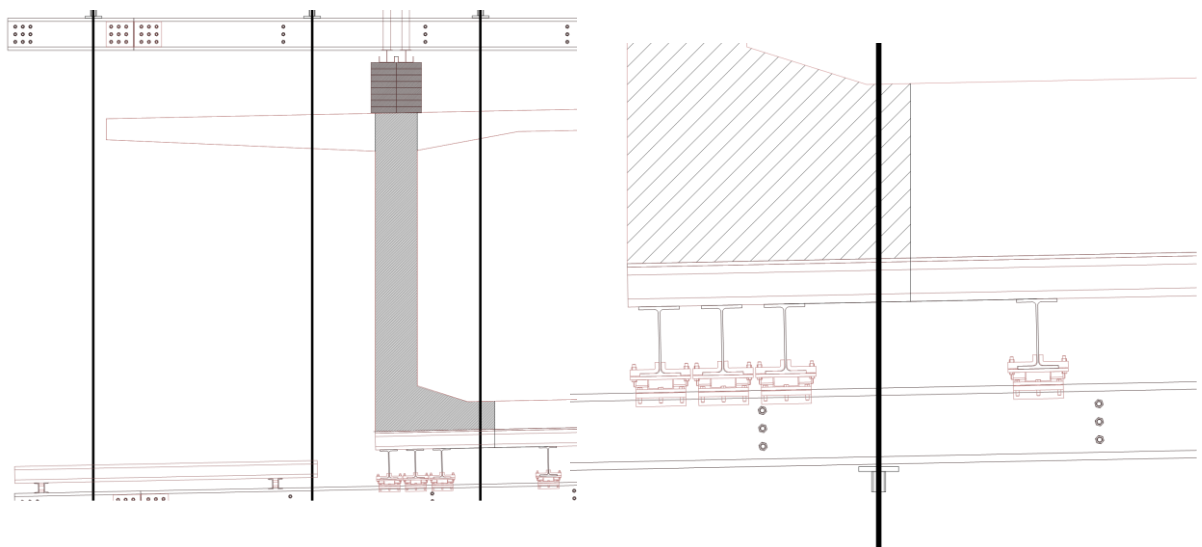
Considerações: Carga crítica a ser aplicada será sob as vigas parede que será distribuída em no mínimo 3 perfis. O vão entre apoios está condicionado ao espaçamento entre os perfis

transversais superiores que é de 5,40m.

O dimensionamento será para uso de 3 perfis sob a parede.

Cargas aplicadas:

Concreto:



Área da seção = $2,26\text{m}^2$

Carga = $25\text{kN/m}^3 \times 2,26\text{m}^2 = 56,5 \text{ kN/m} \rightarrow 5650 \text{ kgf/m}$ divididos para 3 perfis \rightarrow

$1883,33 \text{ kgf/m}$

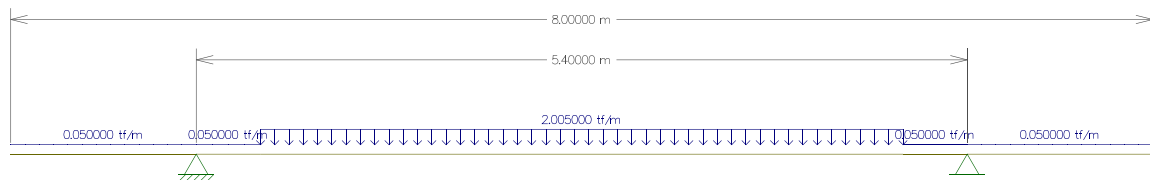
Forma $\rightarrow 1,42\text{m} \times 50 \text{ kgf/m}^2 = 71 \text{ kgf/m}$

Peso próprio $\rightarrow 50 \text{ kgf/m}$

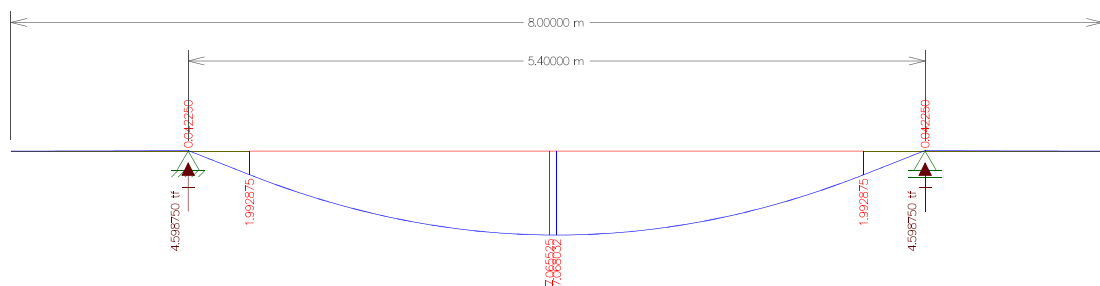
Carga total $\rightarrow 2004,33 \text{ kgf/m}$

Distribuição de cargas: A carga ocorre em uma faixa de 4,50m de comprimento.

Distribuição das cargas



Momento fletor atuante



O momento fletor atuante máximo é de 7,06 tfm

Módulo plástico necessário

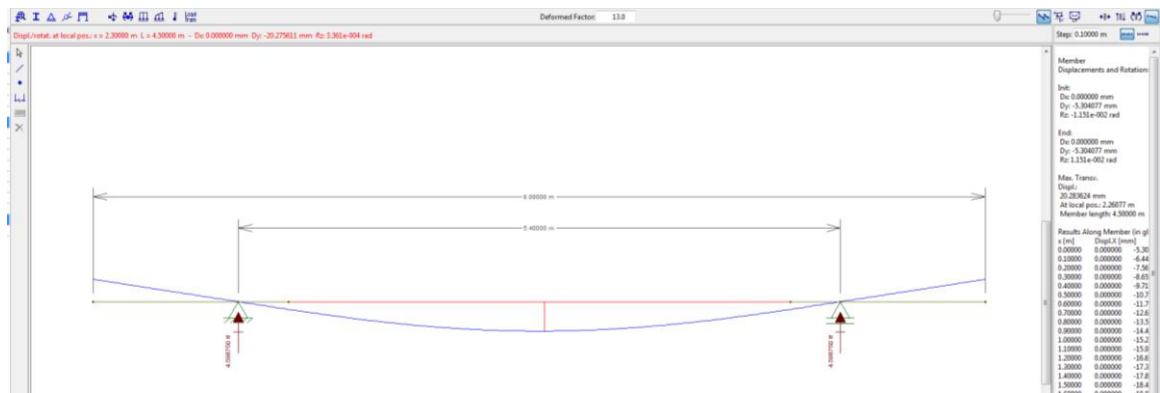
$$W = \frac{706.000 \text{ kgf cm}}{3450 \text{ kgf/cm}^2} = \text{cm}^3$$

Coefficiente de segurança de 1,65 $\rightarrow 204,63 \times 1,65 = 337,64 \text{ cm}^3$

O perfil W que atende a solicitação é W250x32,7 kgf/m com $W_x = 382,7 \text{ cm}^3$

A deformação admissível é de $5400/500 + 1 = 11,8 \text{ mm}$

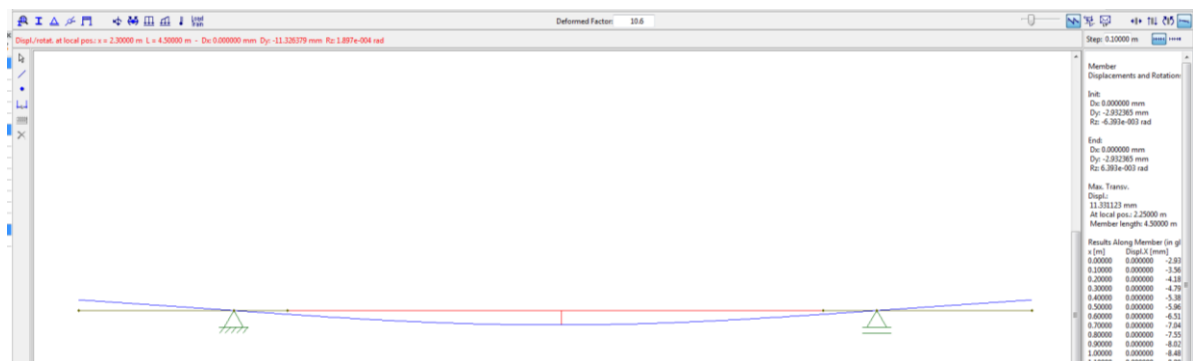
Deflexão atuante com perfil W250x32,7 kgf/m



Com o perfil escolhido a deformação é de 20,28mm, portanto acima dos limites aceitáveis de 11,8mm.

O perfil com inércia mais adequada à solicitação é o W310 x 38,7 kg/m

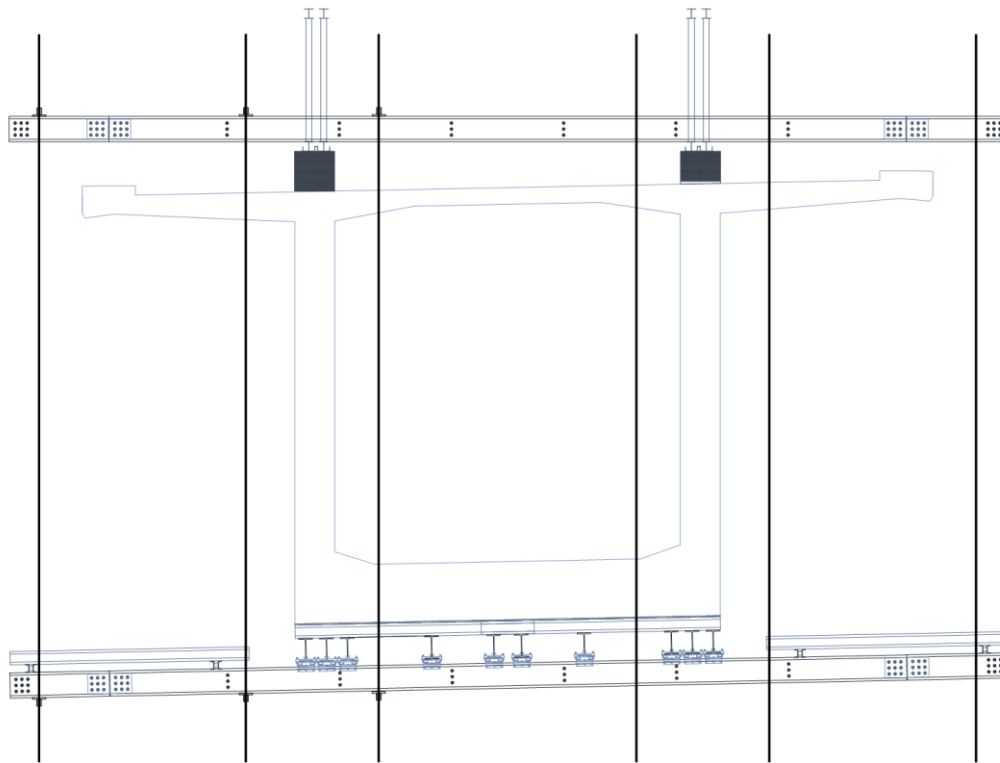
Verificação da deflexão atuante:



Com o perfil escolhido de W310x38,7 a deflexão atuante máxima é de 11,73mm, menor do que os 11,8mm admissíveis

D) Perfil transversal inferior

Seção considerada:



Cargas aplicadas: para consideração de carga sobre o perfil transversal será considerada a aduela com maior altura e comprimento 3,0m pois é a mais crítica.

Concreto = Carga concentrada sob as paredes e distribuídas no fundo da laje

Concentrada = área da seção x metade do comprimento da aduela x Peso espec. concreto

Concentrada = $4,68\text{m}^2 \times 1,5\text{m} \times 2550 \text{ kgf/m}^3 = 17.901 \text{ tf}$

Distribuída = espessura da laje x metade do comprimento da aduela x Peso espec. concreto

Distribuída = $0,87\text{m} \times 1,5\text{m} \times 2550 \text{ kgf/m}^3 = 3327,75 \text{ kgf/m}$

Carga de trabalho = $150 \text{ kgf/m}^2 \times 1,5\text{m} = 225 \text{ kgf/m}$

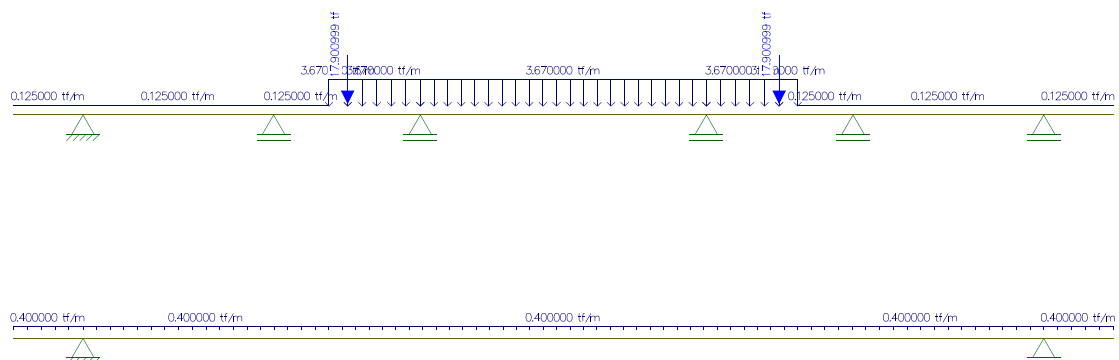
Forma $\rightarrow 1,5\text{m} \times 50 \text{ kgf/m}^2 = 75 \text{ kgf/m}$

Peso próprio $\rightarrow 50 \text{ kgf/m}$

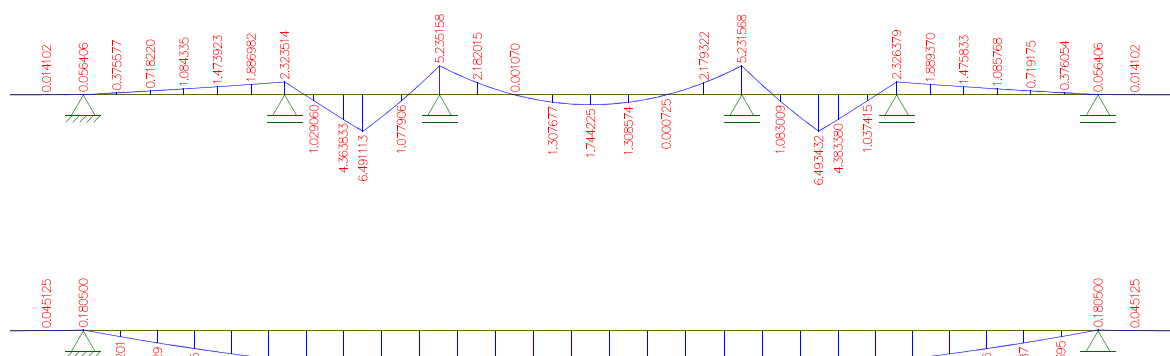
Total carga distribuída = $3.667,75 \text{ kgf/m}$

Distribuição das cargas:

Com carga de concretagem e com carga somente de peso próprio dos equipamentos para movimentação:



Momento fletor atuante:



O momento fletor atuante crítico é o que ocorre durante a movimentação com peso próprio do equipamento e vão entre apoios de 13,10m e vale 8,40 tfm

O perfil será duplo para passagem de tirantes

Módulo resistente necessário

$$W = \frac{840.000 \text{ kgf cm}}{3450 \text{ kgf/cm}^2} = 243,5 \text{ cm}^3$$

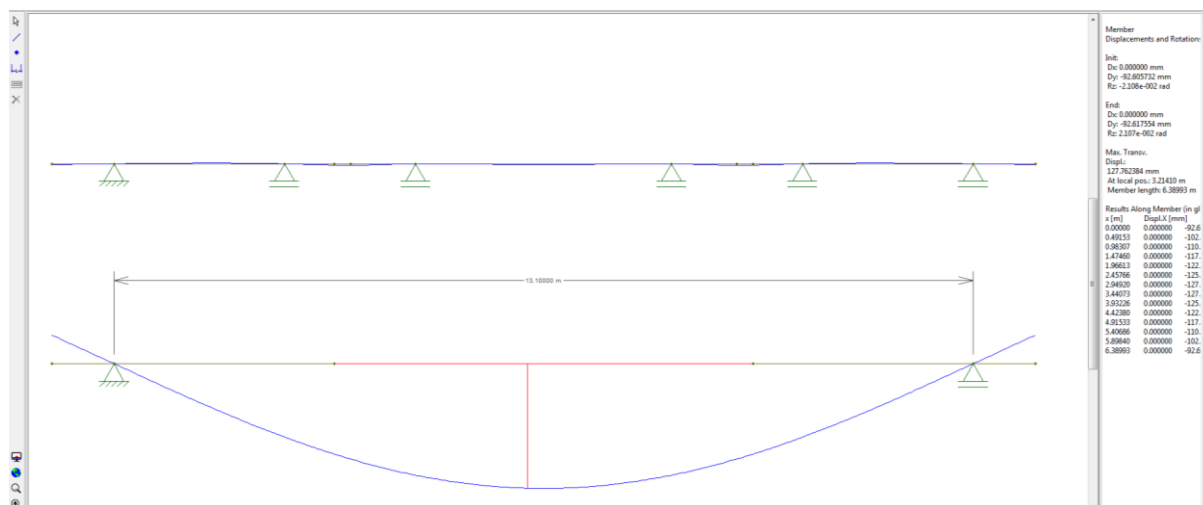
Coeficiente de segurança de 1,65 $\rightarrow 243,5 \times 1,65 = 401,77 \text{ cm}^3$

Cada perfil precisa ter 200,88 cm³ de módulo plástico resistente.

Perfil indicado \rightarrow Duplo U laminado de 10" x 22,7 kgf/m

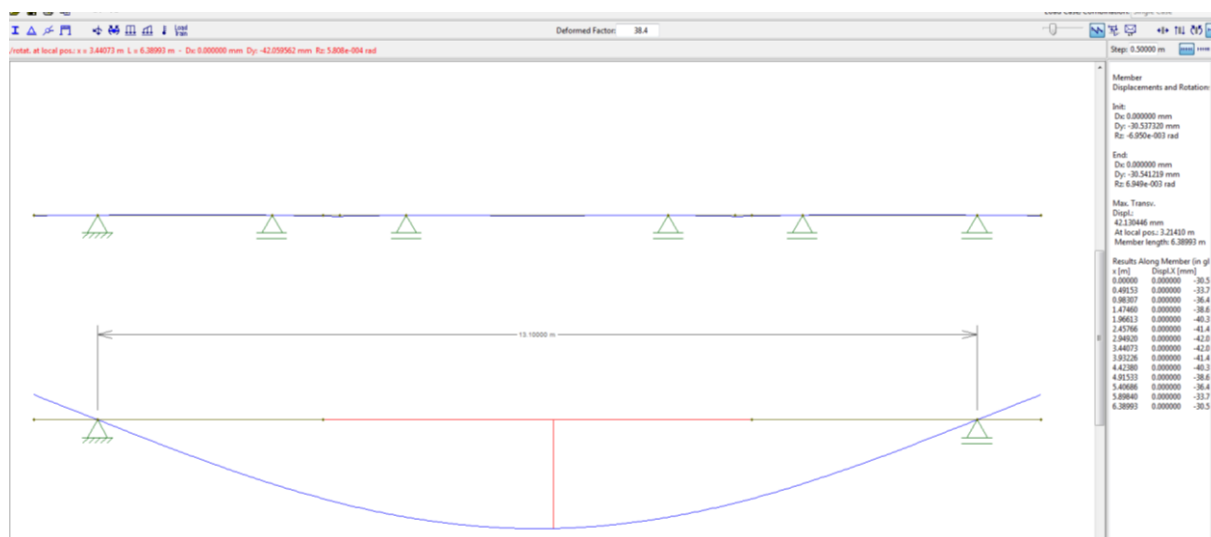
A deformação admissível é de $13000/500+1 = 27\text{mm}$, porém como será somente para movimentação, sem aplicação de carga podemos considerar um pouco mais $\rightarrow 50\text{mm}$

Verificação da deformação atuante



Com o perfil escolhido a deflexão é de 127,76mm, muito além do admissível.

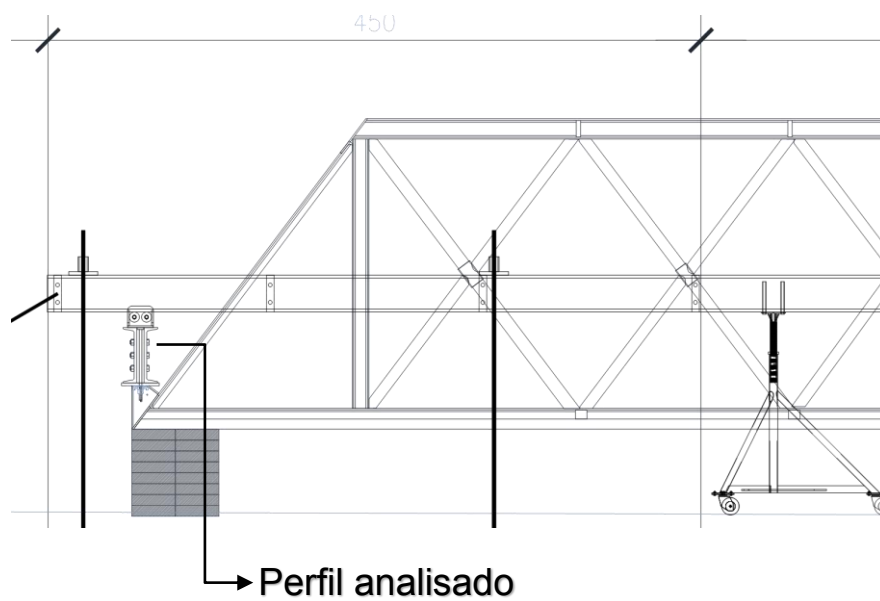
Verificação de deflexão com perfil duplo W310x38,7 que já foi usado no perfil longitudinal inferior

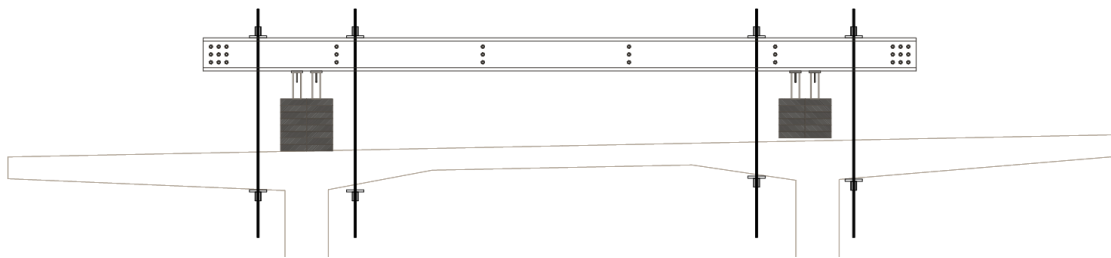


Com o perfil W310 x 38,7 duplo utilizado a deflexão atuante é de 42,13mm, portanto dentro do estabelecido como admissível.

E) Perfil de Ligação

O perfil não tem cargas aplicadas diretamente sobre ele, a carga solicitante será a reação da base da treliça

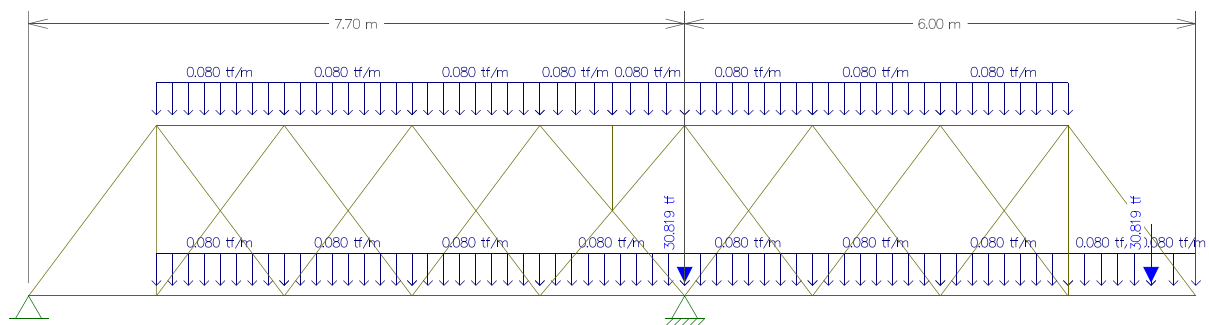


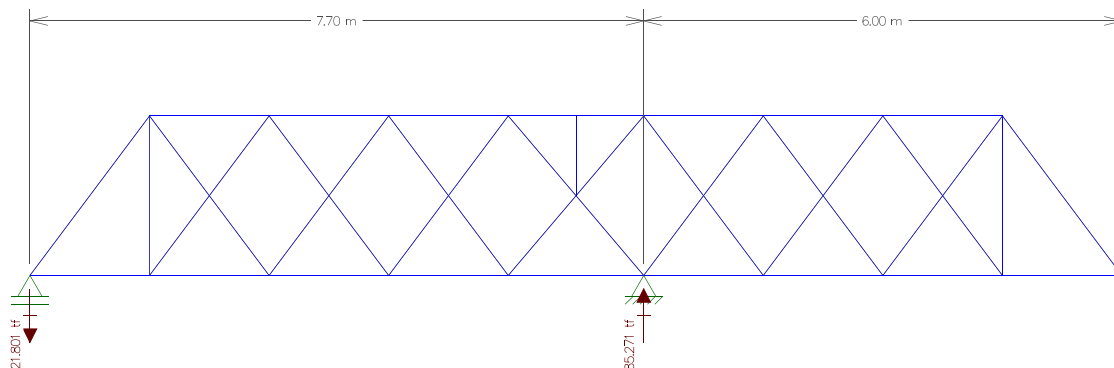


As cargas atuantes na treliça serão os somatórios dos valores de T1, T2 e T3 calculados no item A.

Carga em cada ponto de apoio, anterior e posterior da treliça:

$$\Sigma T = 2648,64 + 11219,25 + 16951,25 = 30.819,14 \text{ tf}$$

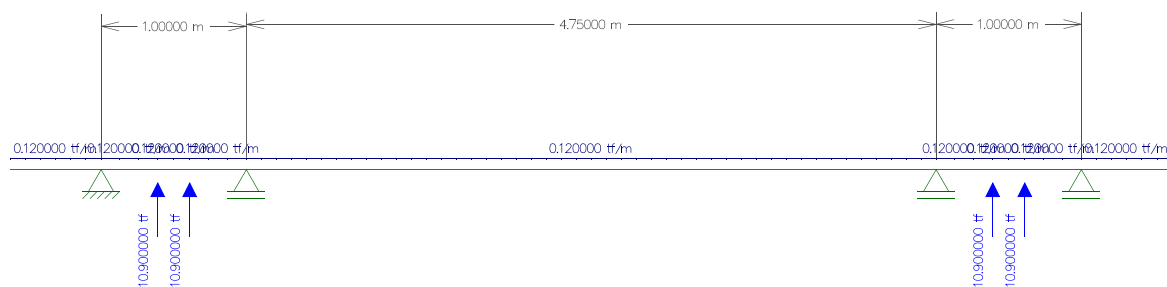




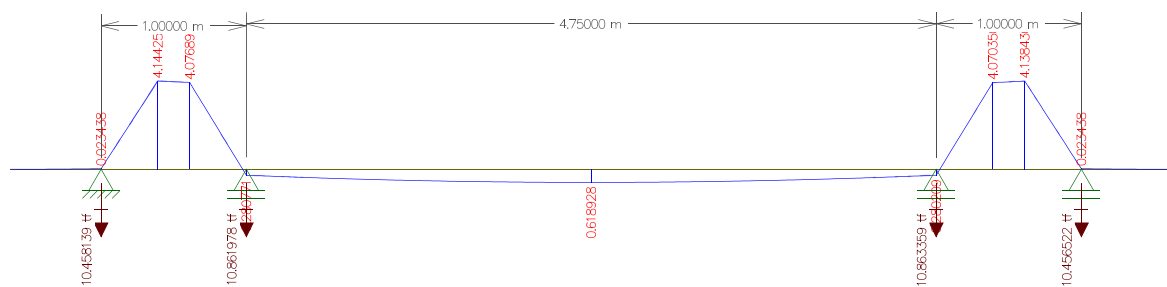
A reação em cada apoio em cada ponto do perfil é de 10,90 tf

Modelo estrutural:

O espaço entre barras de ancoragem é de 1,0m



Momento fletor atuante:



Momento fletor atuante máximo de 4,144 tfm

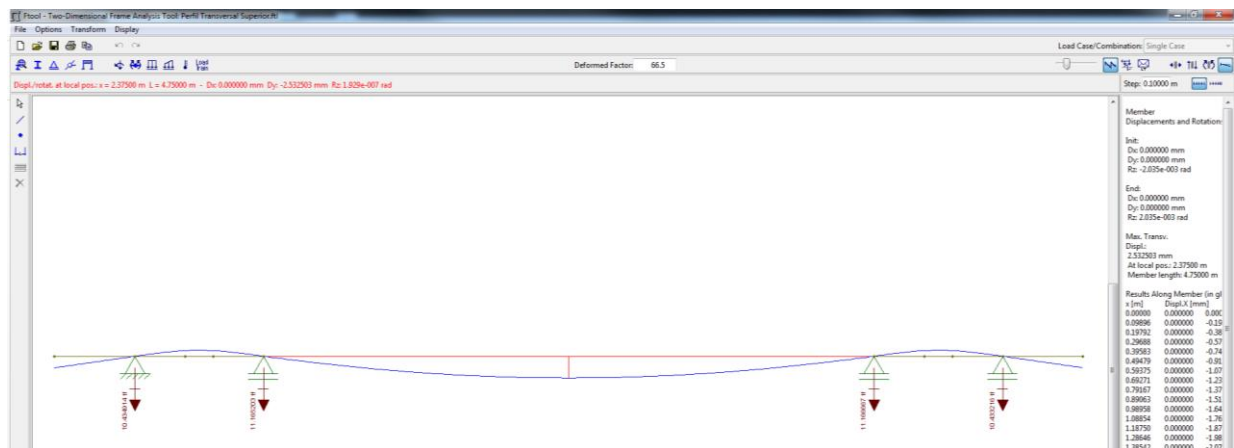
Módulo resistente necessário

$$W = \frac{414.400 \text{ kgf cm}}{3450 \text{ kgf/cm}^2} = 120,11 \text{ cm}^3$$

Coeficiente de segurança de 1,65 $\rightarrow 120,11 \times 1,65 = 198,19 \text{ cm}^3$ como o perfil será duplo, cada um deverá ter $99,09 \text{ cm}^3$

Perfil com módulo resistente mais próximo \rightarrow W150x 24 kg/m com $W = 173,0 \text{ cm}^3$

Deflexão admissível: $1000/500 + 1 = 3 \text{ mm}$



A deflexão máxima atuante é de 2,53 mm no meio do vão entre treliças.

Verificação durante a movimentação

As cargas serão somente de peso próprio do conjunto:

Fôrmas $\rightarrow 50 \text{ kgf/m}^2 \times \text{Área de fôrmas}$

Fôrmas Internas $\rightarrow 8,11\text{m} \times 2,25\text{m} = 18,25 \text{ m}^2$

Fôrmas Fundo $\rightarrow 6,40\text{m} \times 2,25 \text{ m} = 14,40 \text{ m}^2$

Fôrmas Externas $\rightarrow 9,66 \times 2,25\text{m} = 21,74 \text{ m}^2$

Total = $54,40 \text{ m}^2$

Peso das fôrmas = $50 \text{ kgf/m}^2 \times 54,4 \text{ m}^2 = 2.719,5 \text{ kgf}$

Perfis:

Perfil transversal superior $\rightarrow 120 \text{ kg/m} \times 7,5\text{m} = 900 \text{ kgf}$

Perfil transversal Inferior $\rightarrow 77,4 \text{ kg/m} \times 7,5\text{m} = 580,5 \text{ kgf}$

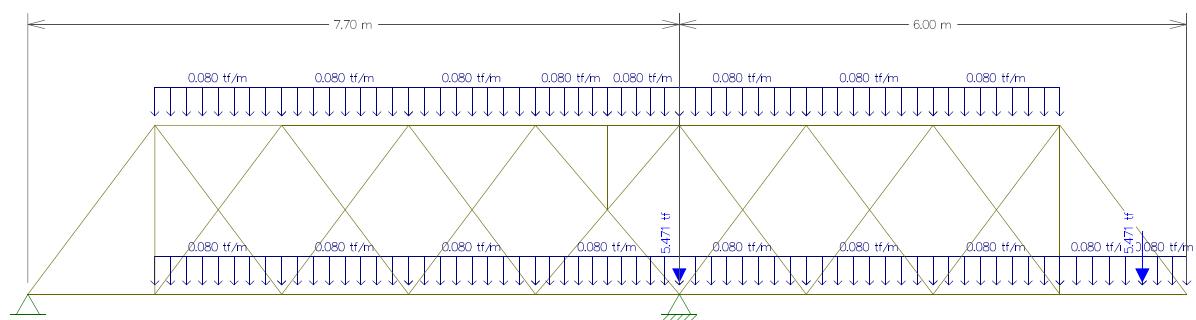
Perfil longitudinal $\rightarrow 5 \times 38,7 \text{ kg/m} \times 4\text{m} = 774 \text{ kgf}$

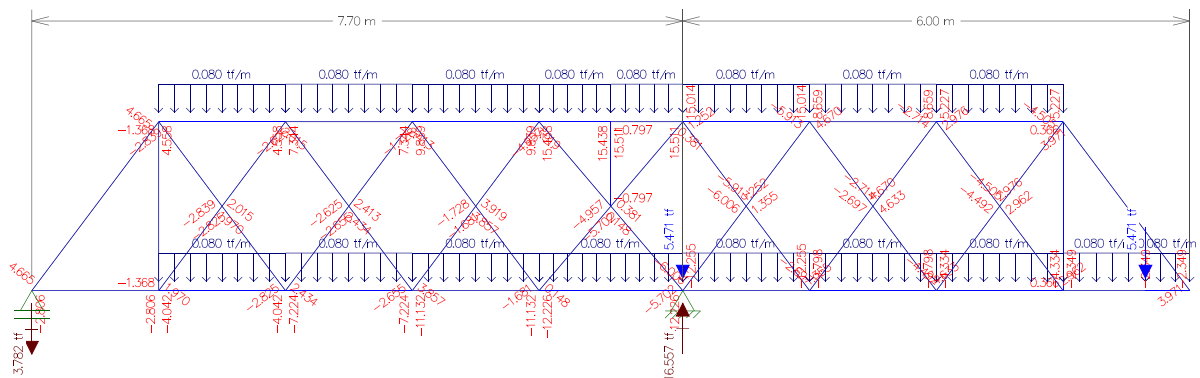
Total = $2.254,5 \text{ kgf}$

Total de carga de peso próprio $\rightarrow (2.719,5 + 2.254,5) + 10\% = 5.471,4 \text{ kgf}$

São aplicados $5.471,4 \text{ kgf}$ em cada apoio na treliça.

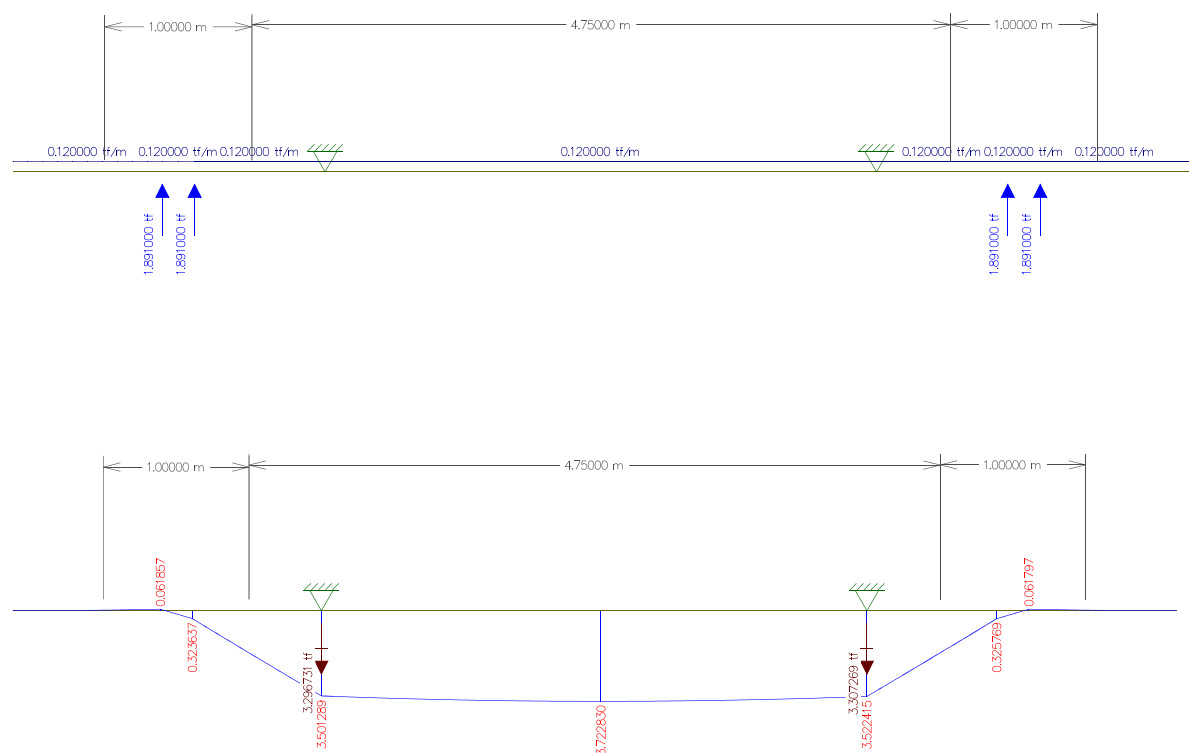
Reação no perfil de movimentação





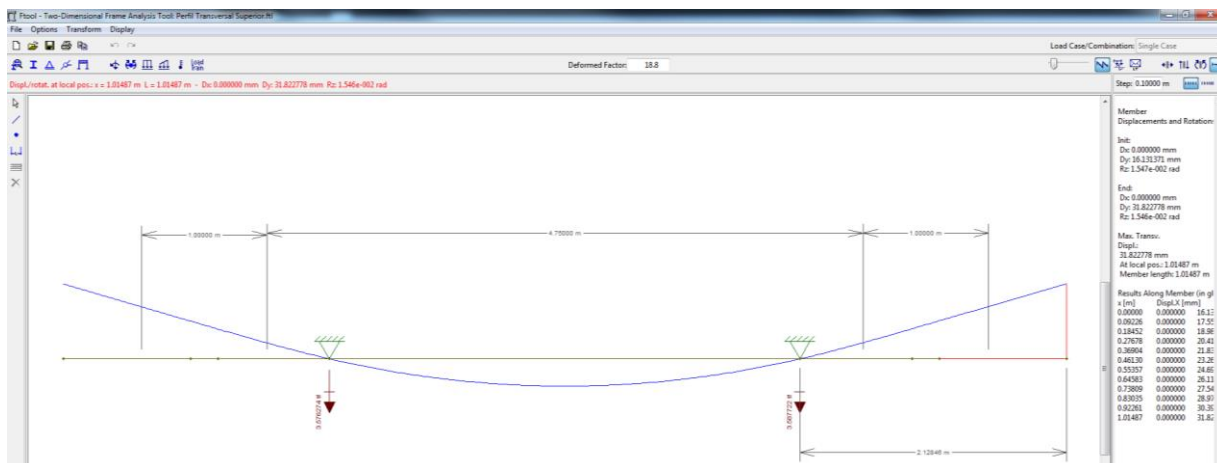
A reação no ponto mais crítico (no meio do perfil) será de 3,782 tf por conjunto de treliça

Distribuição das cargas:



O momento fletor máximo atuante é de 3,72 tfm, menor do que o momento durante a concretagem \rightarrow 4,144 tfm.

Verificação da deformação:



Deformação durante a movimentação na extremidade do perfil (mais crítica) → 31,82mm

Como não há concretagem a deformação pode ser tolerada.

F) Perfil de movimentação

O perfil de movimentação receberá as reações de peso próprio do equipamento durante a movimentação do conjunto. A carga considerada será o peso próprio do conjunto (formas + escoramentos)

Fôrmas → $50 \text{ kgf/m}^2 \times \text{Área de fôrmas}$

Fôrmas Internas → $8,11\text{m} \times 2,25\text{m} = 18,25 \text{ m}^2$

Fôrmas Fundo → $6,40\text{m} \times 2,25 \text{ m} = 14,40 \text{ m}^2$

Fôrmas Externas $\rightarrow 9,66 \times 2,25\text{m} = 21,74 \text{ m}^2$

Total = $54,40 \text{ m}^2$

Peso das fôrmas = $50 \text{ kgf/m}^2 \times 54,4 \text{ m}^2 = 2.719,5 \text{ kgf}$

Perfis:

Perfil transversal superior $\rightarrow 120 \text{ kg/m} \times 7,5\text{m} = 900 \text{ kgf}$

Perfil transversal Inferior $\rightarrow 77,4 \text{ kg/m} \times 7,5\text{m} = 580,5 \text{ kgf}$

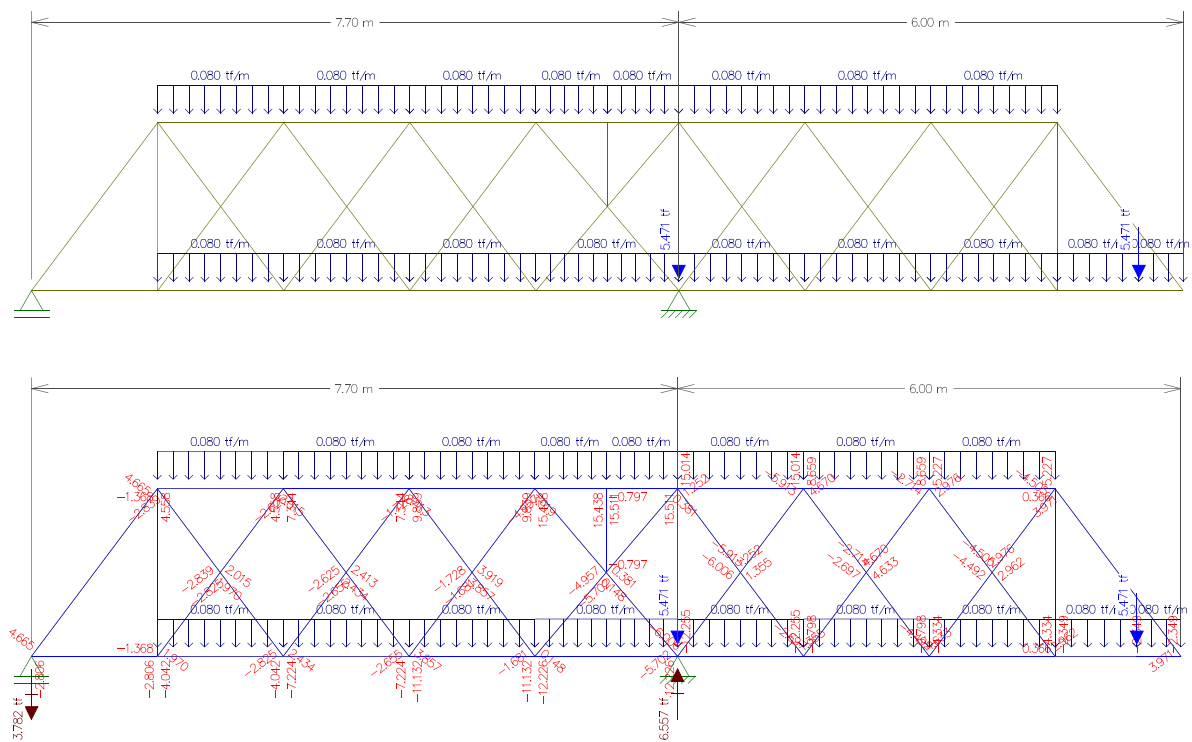
Perfil longitudinal $\rightarrow 5 \times 38,7 \text{ kg/m} \times 4\text{m} = 774 \text{ kgf}$

Total = $2.254,5 \text{ kgf}$

Total de carga de peso próprio $\rightarrow (2.719,5 + 2.254,5) + 10\% = 5.471,4 \text{ kgf}$

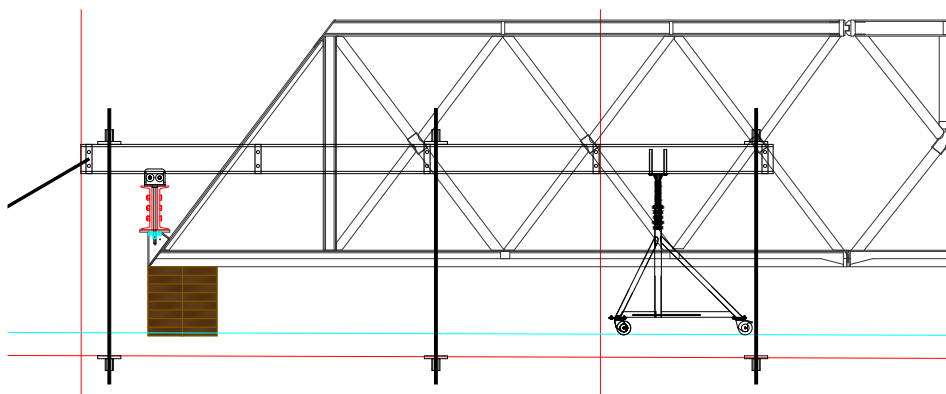
São aplicados $5.471,4 \text{ kgf}$ em cada apoio na treliça.

Reação no perfil de movimentação

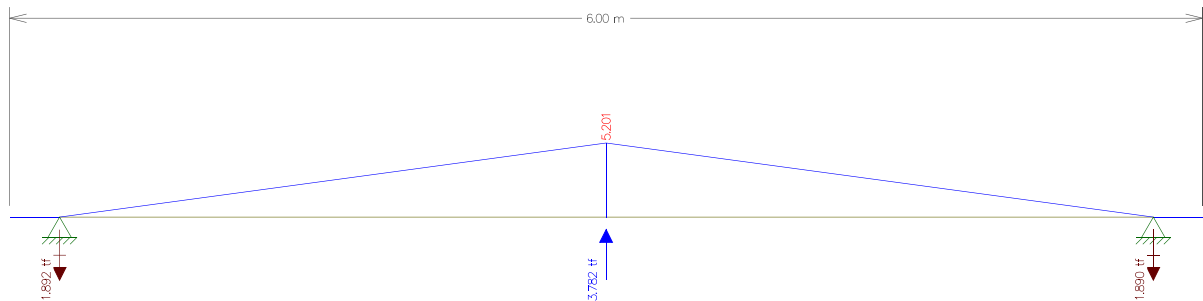


A reação no ponto mais crítico (no meio do perfil) será de 3,782 tf

Modelo estrutural:



Momento fletor atuante



O momento atuante é de 5.201 kgfm

Módulo resistente necessário

$$W = \frac{520.100 \text{ kgf cm}}{3450 \text{ kgf/cm}^2} = 150,75 \text{ cm}^3$$

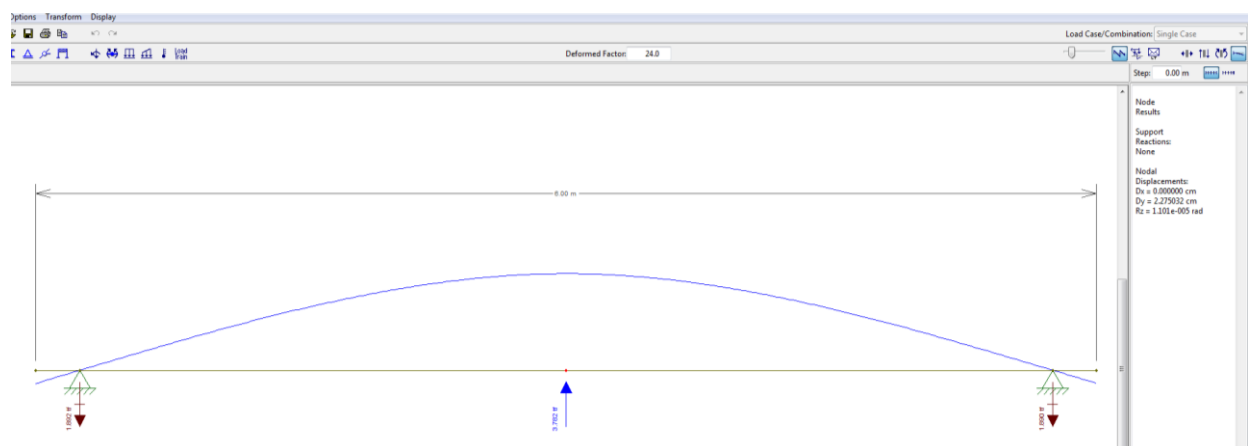
Coeficiente de segurança de 1,65 $\rightarrow 150,75 \times 1,65 = 248,74 \text{ cm}^3$

Como o perfil é duplo teremos 124,37 cm^3 para cada perfil

Perfil com módulo plástico mais próximo \rightarrow U 203 x 17,1 kg/m com $W = 133,4 \text{ cm}^3$

A deflexão admissível será de $6000/500 + 1 = 13 \text{ mm}$

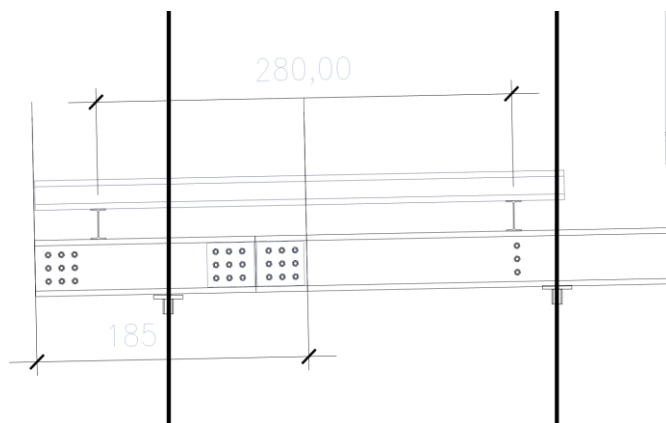
Deflexão atuante no meio do vão



A deformação no meio do vão é de 22,7mm e ocorre somente durante movimentação, sendo tolerada pois não há concretagem envolvida.

G) Perfil da Área de trabalho

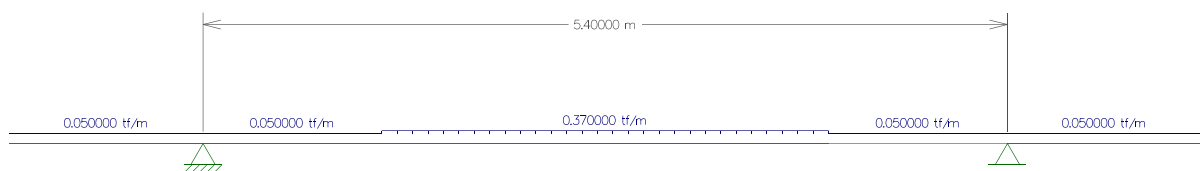
Suportará somente a carga de trabalho de 200 kgf/m², o vão entre apoios será de 5,40m.



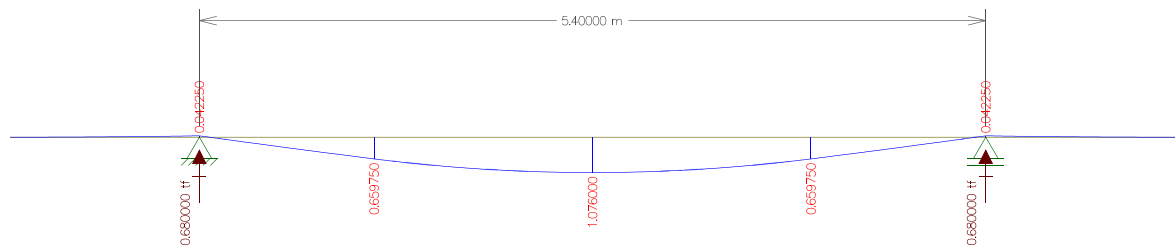
A carga atuante será $1,85 \times 200 \text{ kgf/m}^2 = 370 \text{ kgf/m}$

Perfil utilizado \rightarrow W200 x 22,5 kg/m

Distribuição da carga:



Momento fletor atuante



O momento fletor atuante máximo é de 1,076 tfm

Deflexão admissível $\rightarrow 5400 / 500 + 1 = 11,80\text{m}$

A deformação atuante é de 7,32mm \rightarrow Ok

Resumo:

A) Perfil transversal superior \rightarrow Duplo U10"x44,7 kg/m ou Duplo W250 x 32,7 kg/m

B) Perfil longitudinal superior \rightarrow W360 x 51 kgf/m

C) Perfil longitudinal inferior \rightarrow W310x38,7 kg/m

D) Perfil transversal inferior \rightarrow Duplo W310x38,7 kg/m

E) Perfil de ligação \rightarrow Duplo U 6"x 23,10 kg/m

F) Perfil de movimentação \rightarrow Duplo U 8" x 17,1 kg/m

G) Perfil da Área de trabalho \rightarrow W200 x 22,5 kg/m

APOIO À ELABORAÇÃO:	Engenheiro Civil ERICK BARROS
----------------------------	--------------------------------------

Parte II) Dimensionamento de treliças

Ações

Ações Verticais

Para as cargas verticais aplicadas sobre o compensado são considerados:

Peso Próprio do Concreto

O $PP_{concreto}$ é uma carga gravítica e é determinada da seguinte forma:

$$PP_{concreto} = V_{concreto} \times \gamma_{concreto}$$

Onde,

$V_{concreto}$ – Volume de concreto da aduela;

$\gamma_{concreto}$ – é o peso específico do concreto ($\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$).

Peso Próprio da Fôrma

O peso próprio da fôrma contabiliza o peso médio do compensado e vigas de madeira e o peso da plataforma inferior que serve de fôrma para o fundo da aduela e acesso.

É uma carga gravítica, distribuída ao longo da fôrma, e de valor constante:

$$PP_{forma} = 0,50 \text{ kN/m}^2$$

$$PP_{plataforma} = 0,93 \text{ kN/m}^2$$

Sobrecarga de Processo Construtivo

A sobrecarga do processo construtivo procura contabilizar o peso dos trabalhadores e equipamentos em fase construtiva.

É uma carga gravítica, distribuída ao longo da corda superior da treliça, e de valor constante:

$$SC_{const} = 2,00 \text{ kN/m}^2$$

Peso Próprio da treliça

O peso próprio da treliça equipada com tubos e braçadeiras é de 1,6 kN/m

Cálculos Justificativos

Levantamento de cargas atuantes

Peso Próprio Concreto

Área da seção na aduela 1 (caso mais crítico) = $((A_i + A_f)/2)$

$$A = ((13,98\text{m}^2 + 13,49\text{m}^2) / 2) = 13,735\text{m}^2$$

$$\text{Peso concreto} = 13,735\text{m}^2 \times 25\text{kN/m}^3 = 343,375 \text{ kN/m}$$

Peso Próprio da Fôrma

$$P_{\text{forma}} = A_f \times 0,5 / 4,70 \text{ m}$$

$$P_{\text{forma}} = 156,134 \times 0,5 / 4,70\text{m} = 16,61 \text{ kN/m}$$

$$P_{\text{plataforma}} = \frac{PP_{\text{plataforma}} \times A_B}{L_a}$$

$$P_{\text{plataforma}} = \frac{0,93 \text{ kN/m}^2 \times (15\text{m} \times 8\text{m})}{3,00\text{m}} = 37,2 \text{ kN/m}$$

Sobrecarga de Processo Construtivo

$$P_{const} = \frac{SC_{const} \times (A_{laje} + A_{plataforma})}{L_a}$$

$$P_{const} = \frac{2,00 \text{ kN/m}^2 \times (45\text{m}^2)}{3,00\text{m}} = 30 \text{ kN/m}$$

Cargas nos Apoios

As cargas nos apoios são diretamente proporcionais às faixas de influência que descarregam em cada apoio, para o apoio anterior a faixa de influência é de 1,95m enquanto a faixa de influência para o apoio posterior é de 1,05m. O apoio traseiro é o mais carregado.

Apoio Anterior

$$P = \sum P \times \text{Faixa de influência}$$

$$P_{\text{anterior}} = \left(343,375 \frac{kN}{m} + 16,61 \frac{kN}{m} + 37,2 \frac{kN}{m} + 30 \frac{kN}{m} \right) \times 1,95m = 833,01 kN$$

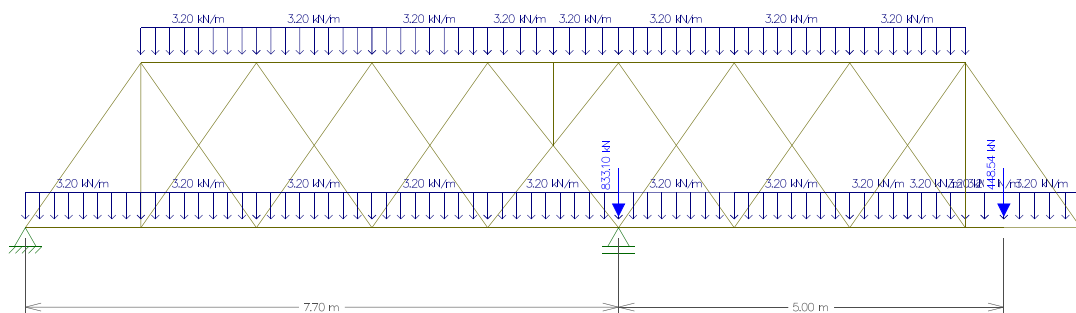
Apoio Posterior

$$P = \sum P \times \text{Faixa de influência}$$

$$P_{\text{posterior}} = \left(343,375 \frac{kN}{m} + 16,61 \frac{kN}{m} + 37,2 \frac{kN}{m} + 30 \frac{kN}{m} \right) \times 1,05m = 448,54 kN$$

Diagramas de Esforços, Reações nos Apoios e Deformação

Esquema estrutural com cargas



Verificação Estrutural

No projeto são utilizados 4 linhas de treliça portanto o valor das cargas atuantes será dividido por 4 para realizar o comparativo com cada elemento da treliça

Banzo Superior

Carga axial atuante = $1036,51 \text{ kN} / 4 = 259,12 \text{ kN} = N_{Sd}$

Carga axial admissível = $1.161,39 \text{ kN} = N_{Rd}$

$$N_{Sd} < N_{Rd}$$

Banzo Inferior

Carga axial atuante = $-847,29 \text{ kN} / 4 = -211,82 \text{ kN} = N_{Sd}$

Carga axial admissível = $-815 \text{ kN} = N_{Rd}$

$$N_{Sd} < N_{Rd}$$

Diagonal de apoio

Carga axial atuante = $339,77 \text{ kN} / 4 = 84,94 \text{ kN} = N_{Sd}$

Carga axial admissível = $354,54 \text{ kN} = N_{Rd}$

$$N_{Sd} < N_{Rd}$$

Perfil Vertical

Carga axial atuante = $-96,41 \text{ kN} / 4 = 24,10 \text{ kN} = N_{Sd}$

$$= 178,64 \text{ kN} / 4 = 44,66 \text{ kN} = N_{Sd}$$

Carga axial admissível = $546,27 \text{ kN} / -398,23 \text{ kN} = N_{Rd}$

$$N_{Sd} < N_{Rd}$$

Tubo de diâmetro externo $\varnothing_{ext}= 88,90$ mm e espessura = 5mm

Carga axial atuante = $-353,28 \text{ kN} / 4 = -88,32 \text{ kN} = N_{Sd}$

Carga axial admissível = $249,54 \text{ kN} = N_{Rd}$

$$N_{Sd} < N_{Rd}$$

Tubo de diâmetro externo $\varnothing_{ext}= 76,2$ mm e espessura = 3,2 mm

Carga axial atuante = $-459 \text{ kN} / 4 = -114,75 \text{ kN} = N_{Sd}$

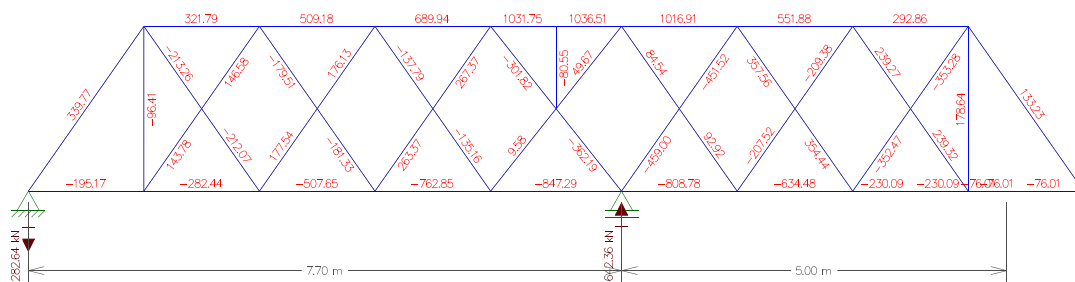
$$= 357,56 \text{ kN} / 4 = 89,39 \text{ kN}$$

Carga axial admissível = $-133,26 \text{ kN} / 157,7 \text{ kN} = N_{Rd}$

$$N_{Sd} < N_{Rd}$$

Considera-se verificada a segurança de todos os elementos.

Diagrama de esforços axiais



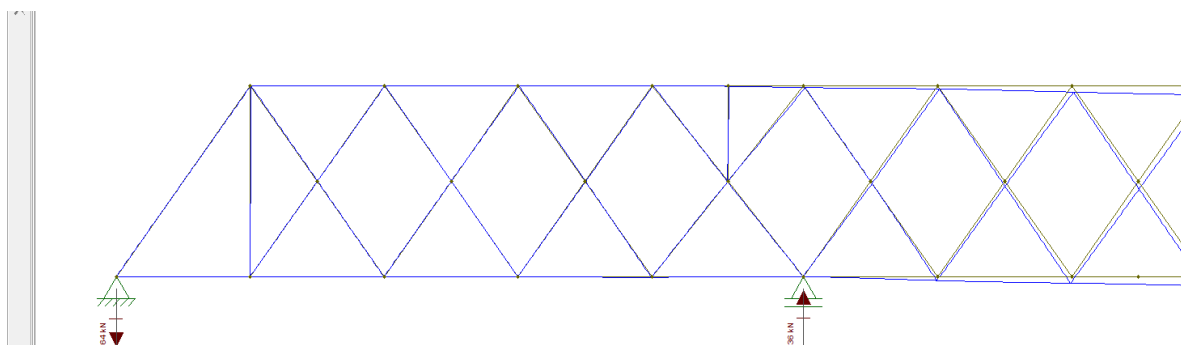
Deformações

Deflexão máxima na extremidade da treliça da primeira aduela igual a 16,40mm na vertical e 1,43mm na horizontal

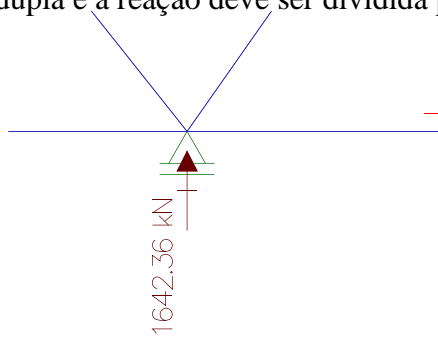
Reações de apoio

Na ancoragem traseira são usados 4 tirantes de Ø 32mm com capacidade de carga de trabalho admissível de 400 kN cada um. As reações da ancoragem traseira devem ser divididas por quatro.

Cada tirante transmite à laje a carga de $282,64 \text{ kN} / 4 = 70,66 \text{ kN}$



O apoio frontal é composto de duas peças de madeira, uma para cada conjunto de treliça dupla e a reação deve ser dividida por 2



Cada apoio de madeira transmite à aduela (vigas longitudinais) a carga de $1642,18 \text{ kN} / 2 = 821 \text{ kN}$