

**CONSTRU  
METAL**  
2023

**2 1 s e t**  
8 h - 21 h  
allianz parque  
são paulo - sp

# CONTRIBUIÇÕES TECNOCIENTÍFICAS

REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO/PROMOÇÃO

**Francal Feiras** DESDE 1969

# VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DE UMA PASSARELA METÁLICA QUANTO A CONDIÇÃO DE CARREGAMENTO DE IÇAMENTO

Carlos Alberto Medeiros<sup>1</sup>, Hudson Chagas dos Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Civil, Mestre, FAM, São Paulo, São Paulo e Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Civil, Doutor, UFPI, Teresina, Piauí e Brasil.

# Tópicos da Apresentação

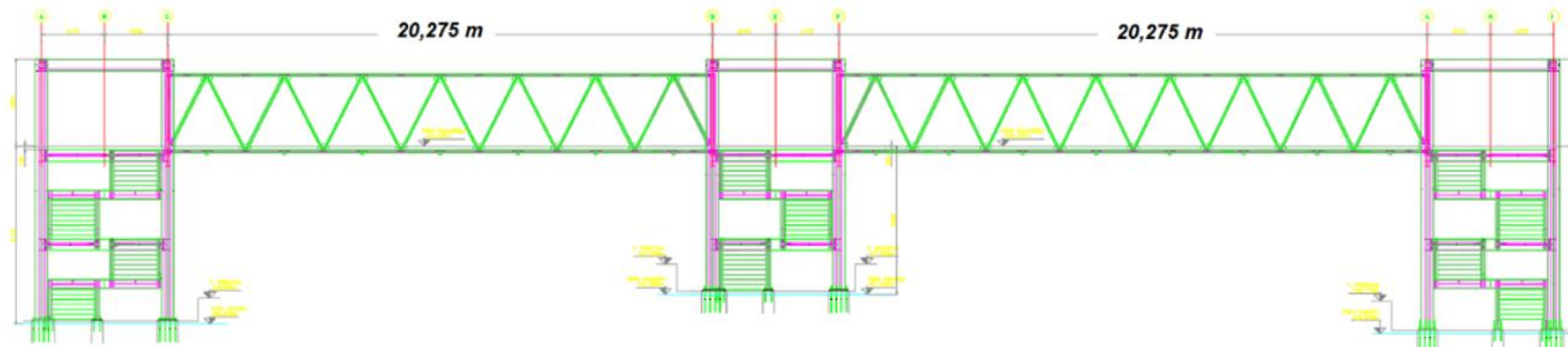
- **Introdução**
- **Objetivo**
- **Materiais e Métodos**
  - **Descrição da Passarela Metálica e do Sistema de Içamento**
  - **Modelo de Elementos Finitos**
  - **Ações e Combinação Última de Construção**
  - **Metodologia de Verificação Estrutural da Passarela Metálica**
- **Resultados e Discussão**
- **Conclusão**



## Introdução

Uma passarela metálica treliçada composta por dois vãos de 20,275m de comprimento cada, largura de 2,50m e altura de 2,65m foi projetada para um terminal rodoviário em Belém do Pará.

O projeto estrutural da passarela foi desenvolvido considerando a etapa de concretagem da sua laje de piso na posição final de uso em serviço. Porém, para atender cronograma de obra e eliminação de cimbramentos, a etapa de concretagem foi realizada em solo e uma operação de içamento da passarela foi demandada. Contudo, essa condição de carregamento de içamento da passarela não foi prevista no projeto estrutural.



## Introdução

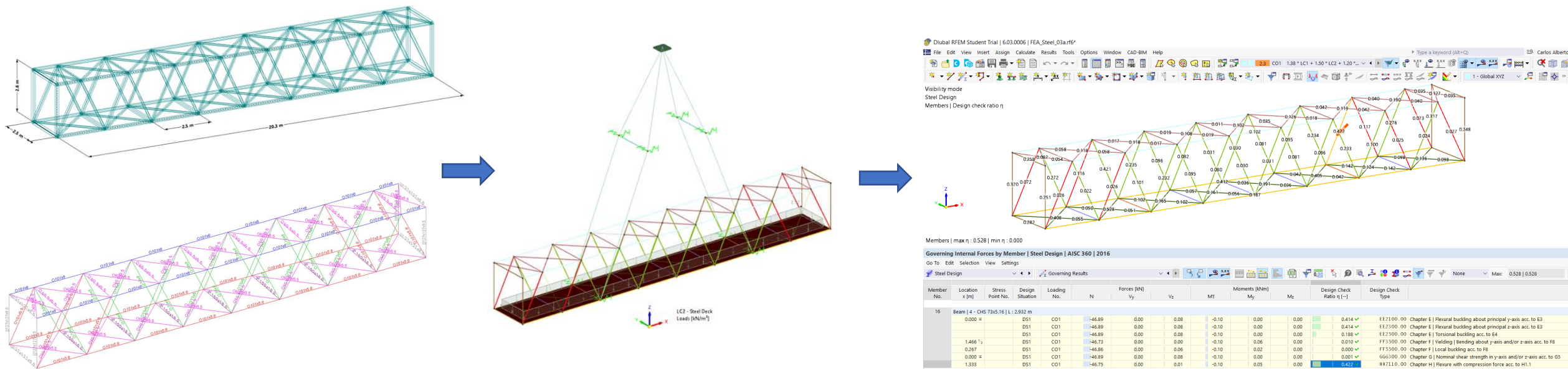
Ao se projetar uma estrutura deve-se levar em conta todos os esforços que podem atuar sobre esta durante a fase de uso bem como durante a fase construtiva. No caso de passarelas, deve-se evitar falhas estruturais como por exemplo, na perda de estabilidade das diagonais de uma passarela metálica durante o seu içamento.



Fonte: [www.youtube.com/watch?v=6UDtQw0RdxE](https://www.youtube.com/watch?v=6UDtQw0RdxE)

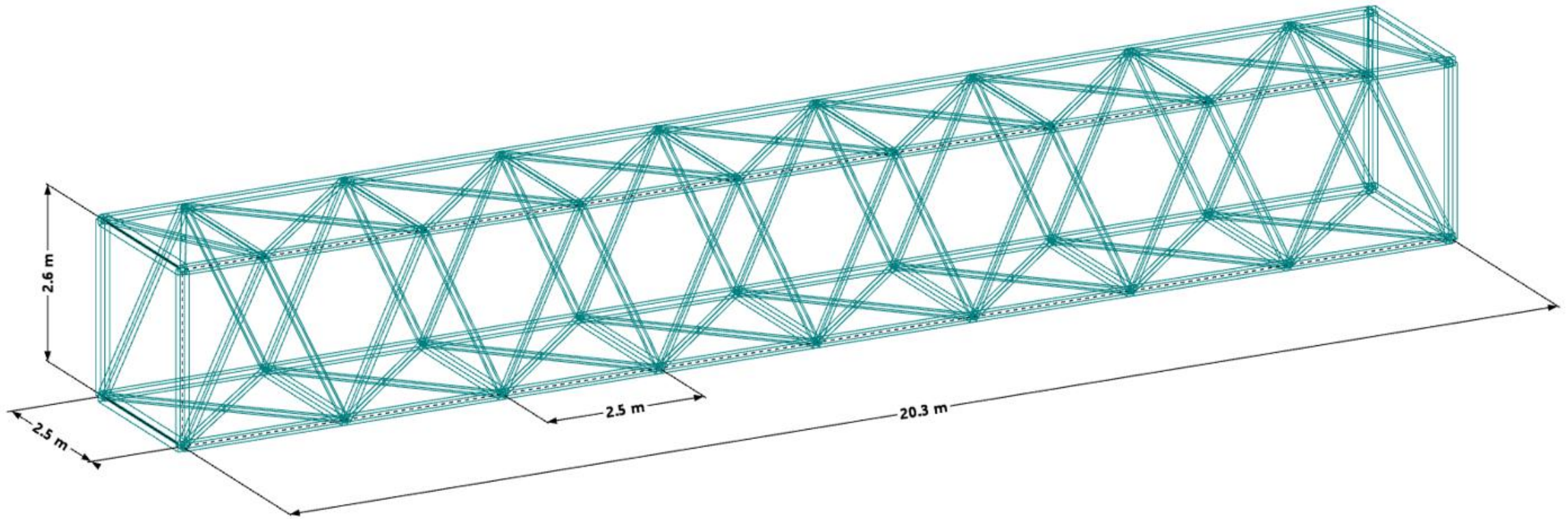
# Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma verificação estrutural utilizando o módulo de estruturas metálicas de um programa comercial de análise por elementos finitos para uma passarela metálica treliçada quanto à condição de carregamento de içamento.



# Materiais e Métodos

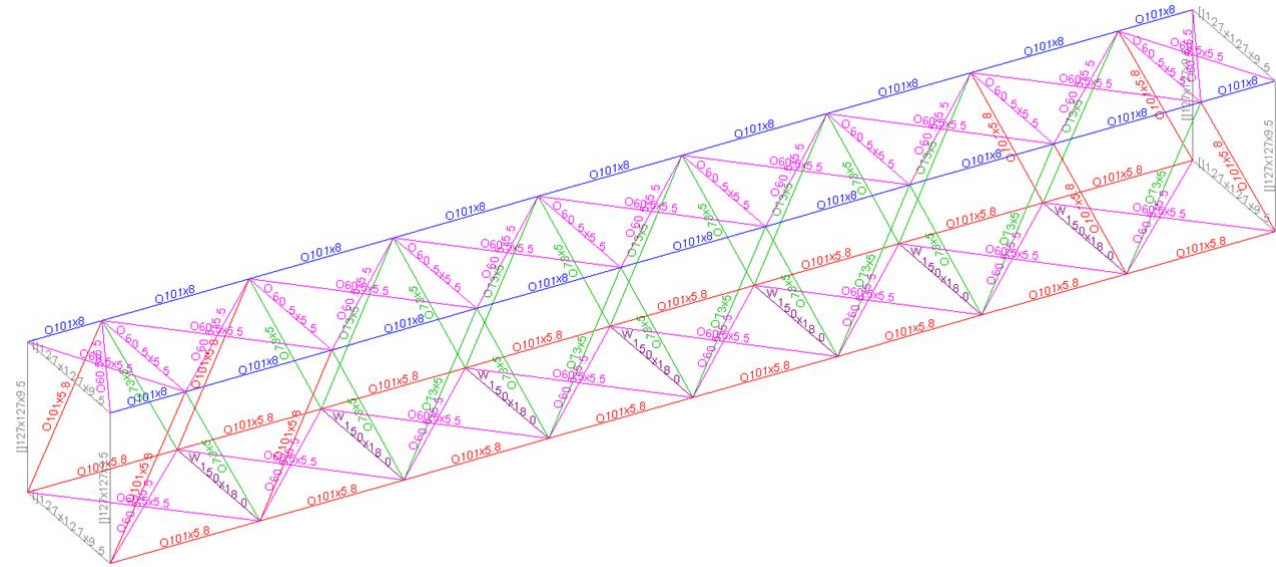
## Descrição da Passarela Metálica – Dimensões Geométricas



# Materiais e Métodos

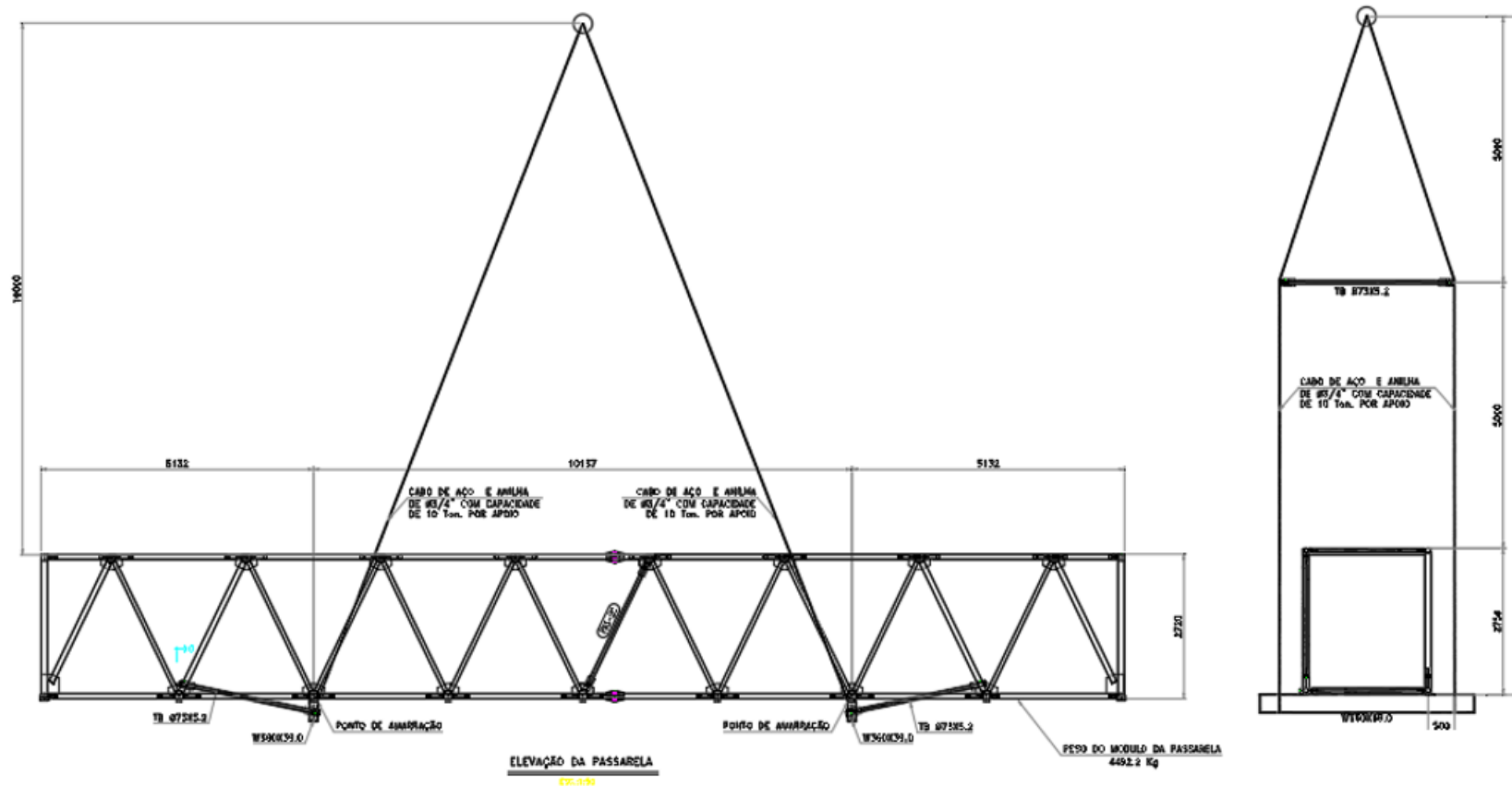
## Descrição da Passarela Metálica – Tipos de Perfis Tubulares

- Perfis tubulares de 101 mm x 8,0 mm para os elementos longitudinais do banzo superior.
- Perfis tubulares de 101 mm x 5,8 mm para os elementos longitudinais do banzo inferior.
- Perfis tubulares de 60,5 mm x 5,5 mm para o travamento transversal dos banzos.
- Perfis W150 x 18 para a sustentação do piso em steel deck da passarela.
- Perfis tubulares de 73 mm x 5,0 mm para as diagonais da passarela e próximo as torres de acesso são utilizados perfis tubulares de 101 mm x 5,8 mm.
- Nas extremidades da passarela são adotados perfis retangulares tubulares de 127 mm x 127 mm x 9,5 mm.



# Materiais e Métodos

## Descrição do Sistema de Içamento



# Materiais e Métodos

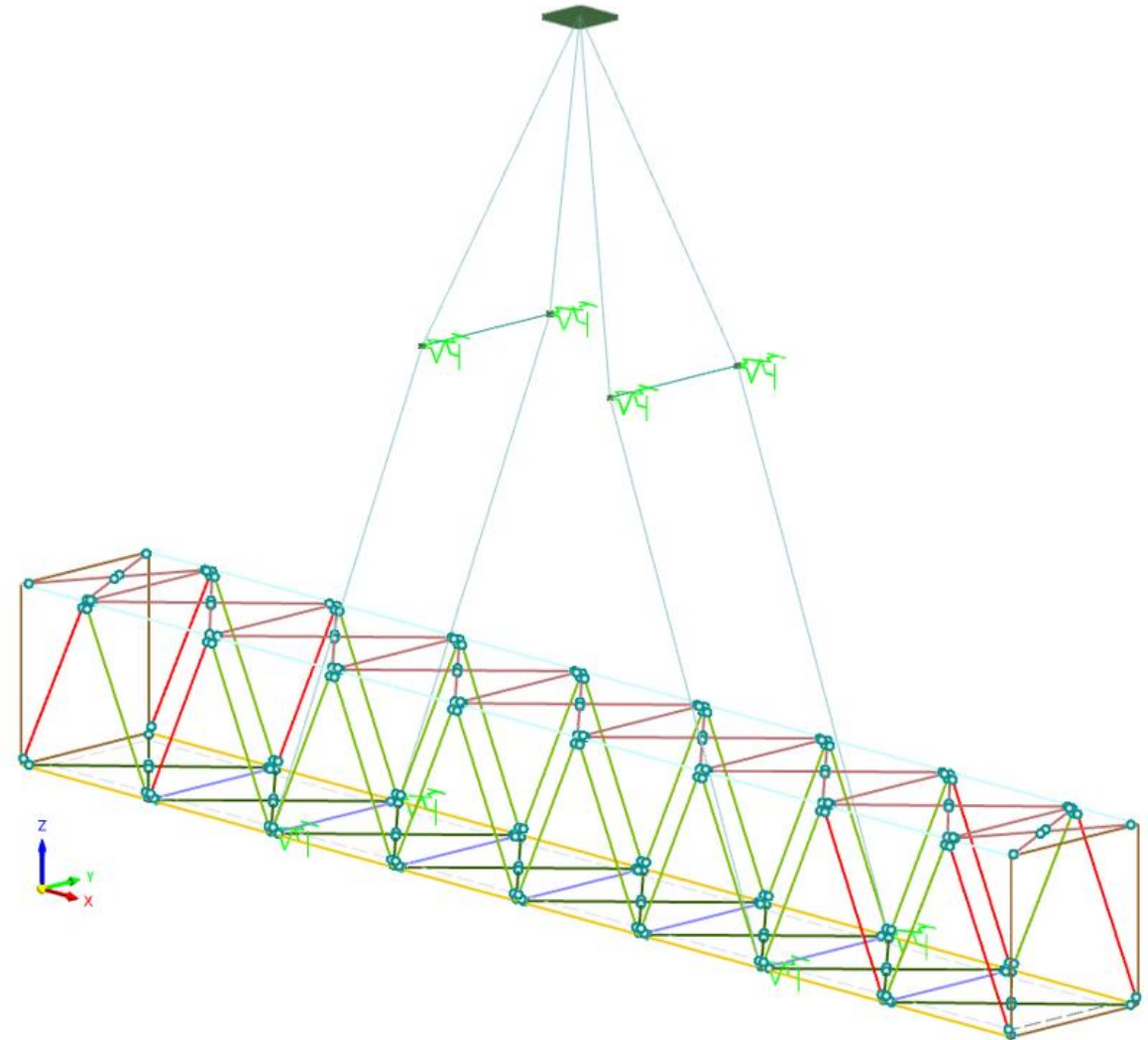
## Modelo de Elementos Finitos

Um modelo computacional de elementos finitos foi elaborado para o sistema estrutural da passarela metálica treliçada e do sistema de içamento por cabos.

As barras dos perfis da passarela metálica treliçada foram modeladas com elementos finitos de viga e os cabos do sistema de içamento foram modelados com elementos finitos de cabo, porém de comportamento linear.

A laje steel deck foi representada por uma superfície de transferência de cargas.

As barras dos elementos das diagonais e dos travamentos transversais dos banzos da passarela foram rotuladas em suas extremidades.

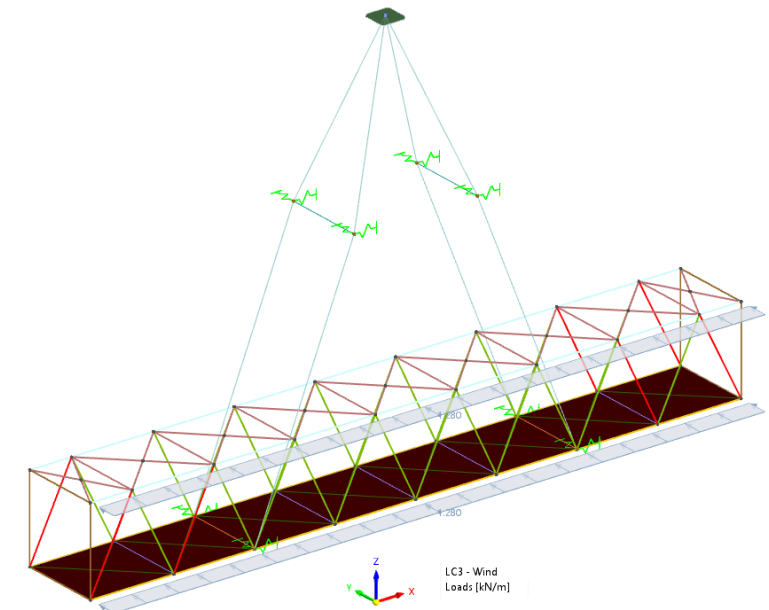
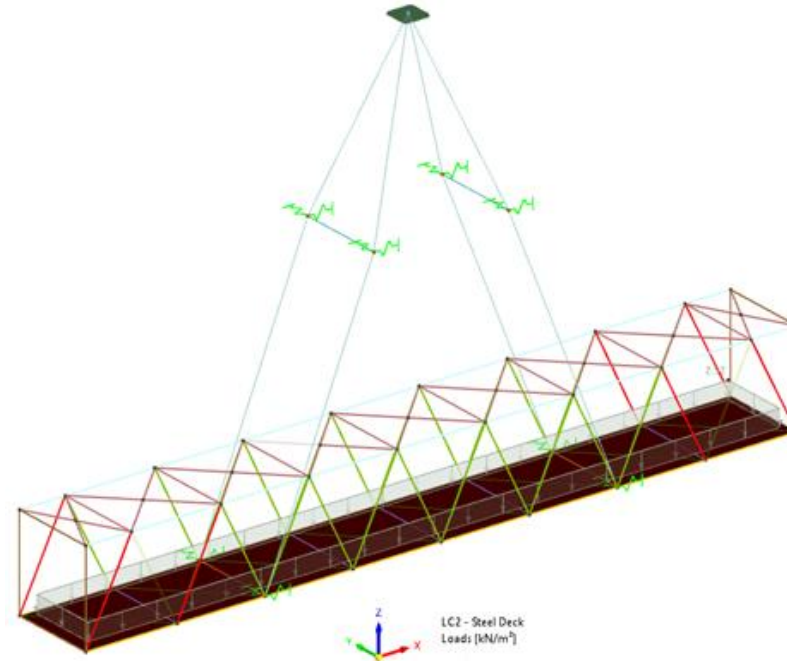


# Materiais e Métodos

## Ações Permanentes e Variável

Para verificação do sistema estrutural da passarela metálica treliçada quanto a condição de carregamento de içamento foram consideradas as seguintes ações:

- Ação permanente de peso próprio das estruturas metálicas da passarela.
- Ação permanente de peso próprio da laje em steel deck e com valor de  $2,52 \text{ kN/m}^2$ .
- Ação variável de vento lateral de valor igual a  $1,28 \text{ kN/m}$  e que foi aplicada nos elementos dos banzos inferior e superior da passarela metálica.



# Materiais e Métodos

## Combinação Última de Construção

Tabela 1 – Coeficientes de ponderação das ações.

Combinação	Ações permanentes		Ações variáveis
	Peso próprio de estruturas Metálicas (PP)	Peso próprio de estruturas moldadas no local (CP)	Vento Lateral (W)
Especiais ou de Construção.	1,15	1,25	1,2

A combinação última de construção foi definida como:

$$F_d = PP \times 1,15 \times \psi + CP \times 1,25 \times \psi + W \times 1,2 \quad (1)$$

Ressalta-se que a Equação 1 considera um coeficiente dinâmico ( $\psi$ ) de 1,2, como recomendado pela norma ABNT NBR 8400-1 (2019), e que foi aplicado apenas para as ações permanentes.

# Materiais e Métodos

## Metodologia de Verificação Estrutural da Passarela Metálica

Para verificação estrutural da passarela metálica treliçada foi utilizado o módulo *Steel Design* disponível no ambiente do programa RFEM6 da Dlubal e com a consideração de critérios de cálculos apresentados na norma ANSI/AISC 360-16.

Vale esclarecer que a escolha da norma americana ANSI/AISC 360-16 para desenvolvimento do presente trabalho foi adotada devido ao fato que a norma brasileira ABNT NBR 8800:2008 ainda não se encontra implementada no módulo *Steel Design* do programa RFEM6 da Dlubal. Porém, as expressões de verificação de cálculo presentes na norma americana se assemelham com as apresentadas na norma brasileira.

Ressalta-se que foi processada uma análise de primeira ordem para o modelo de elementos finitos da passarela metálica treliçada para obter os esforços solicitantes de cálculo.

# Resultados e Discussão

## Esforços normais atuantes nos perfis tubulares da passarela metálica

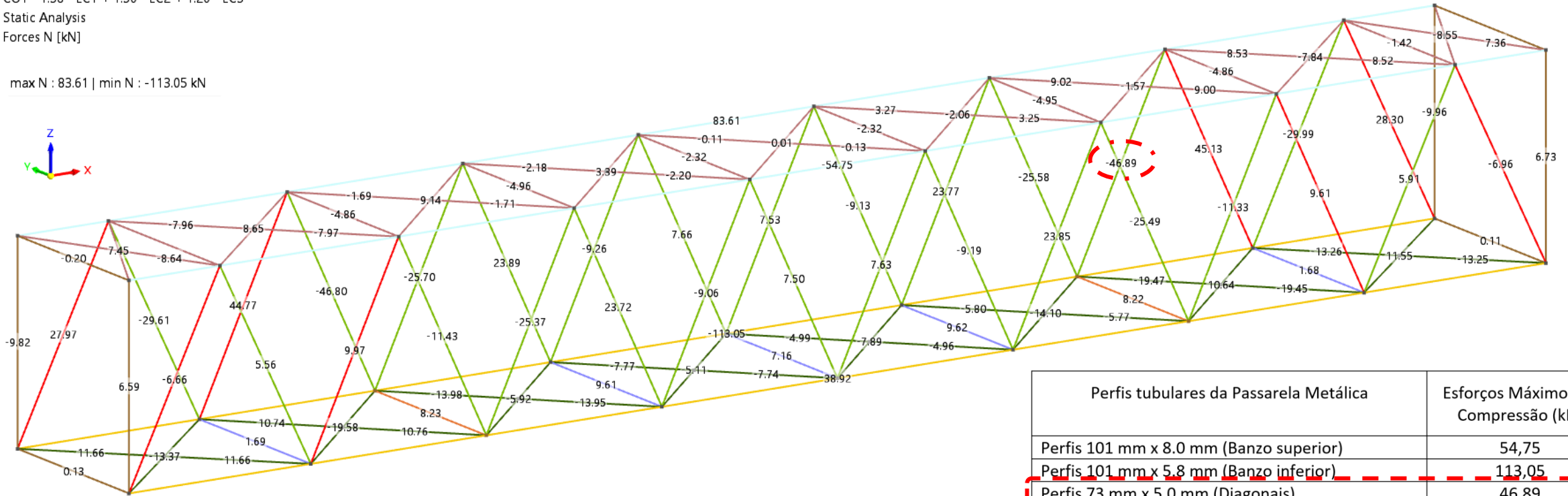
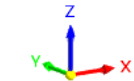
Visibility mode

CO1 - 1.38 \* LC1 + 1.50 \* LC2 + 1.20 \* LC3

Static Analysis

Forces N [kN]

max N : 83.61 | min N : -113.05 kN

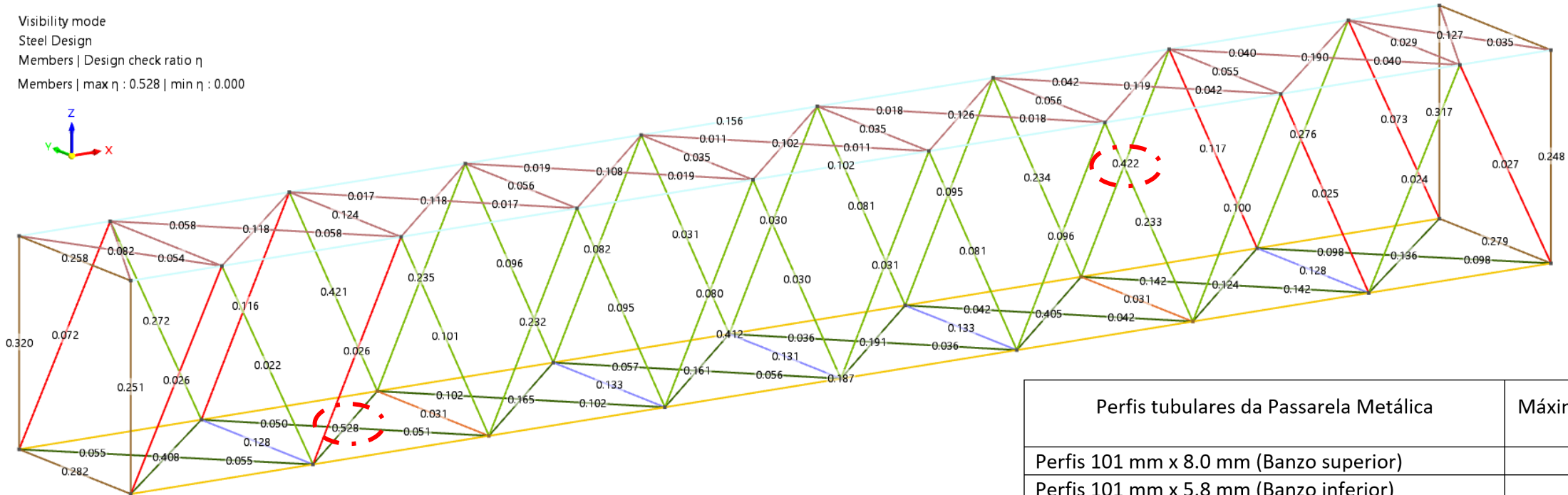


Perfis tubulares da Passarela Metálica	Esforços Máximos de Compressão (kN)
Perfis 101 mm x 8.0 mm (Banzo superior)	54,75
Perfis 101 mm x 5.8 mm (Banzo inferior)	113,05
Perfis 73 mm x 5.0 mm (Diagonais)	46,89
Perfis 101 mm x 5.8 mm (Diagonais)	6,96
Perfis 60.5 mm x 5.5 mm (Travamentos banzo sup.)	8,64
Perfis 60.5 mm x 5.5 mm (Travamentos banzo inf.)	19,58
Perfis W150 x 18	1,45
Perfis 127 mm x 127 mm x 9,5 mm	9,96

# Resultados e Discussão

## Taxa de trabalho dos perfis da passarela metálica treliçada

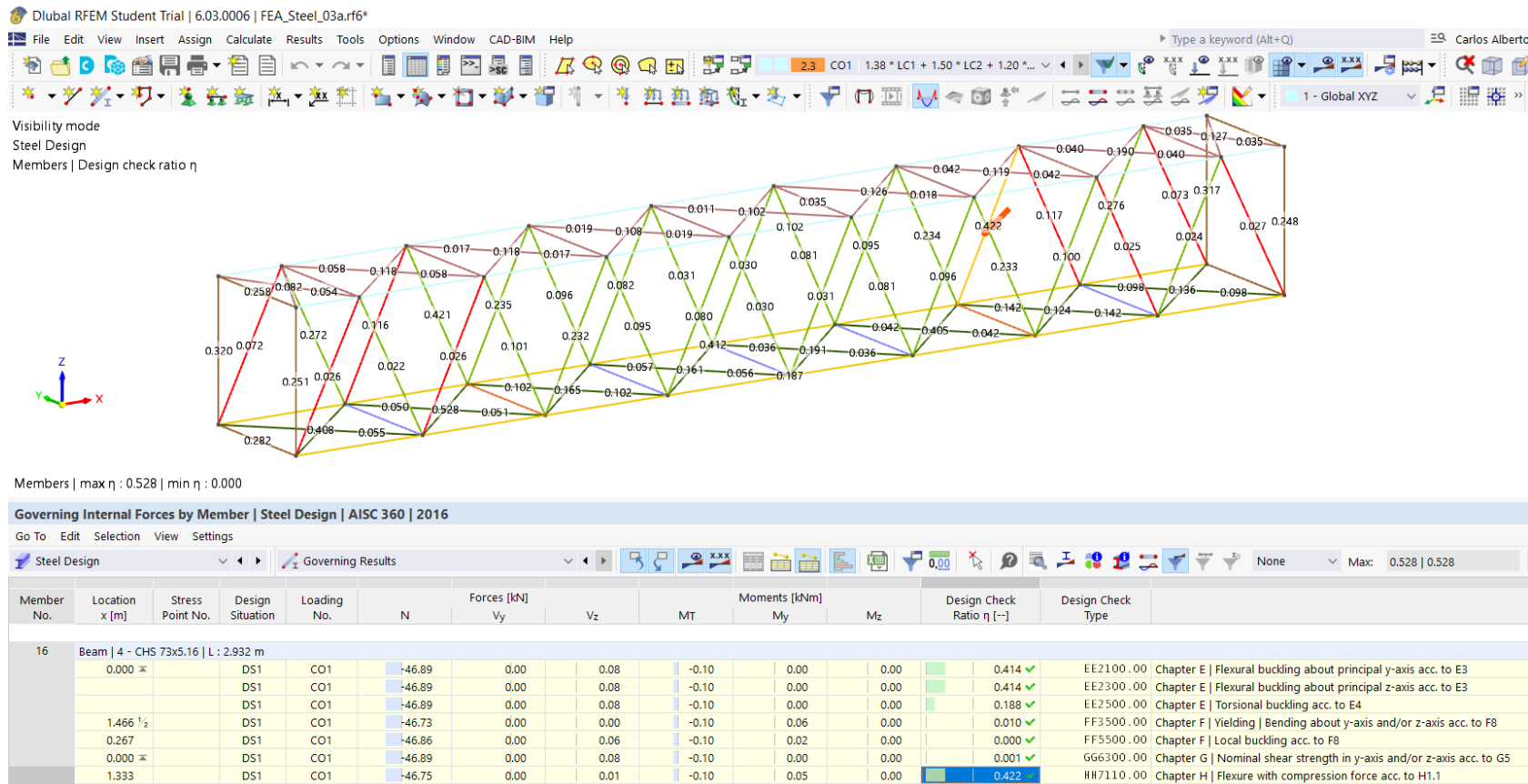
Visibility mode  
Steel Design  
Members | Design check ratio  $\eta$   
Members | max  $\eta$  : 0.528 | min  $\eta$  : 0.000



Perfis tubulares da Passarela Metálica	Máxima Taxa de Trabalho (%)
Perfis 101 mm x 8.0 mm (Banzo superior)	15,6
Perfis 101 mm x 5.8 mm (Banzo inferior)	41,2
Perfis 73 mm x 5.0 mm (Diagonais)	42,2
Perfis 101 mm x 5.8 mm (Diagonais)	11,7
Perfis 60.5 mm x 5.5 mm (Travamentos banzo sup.)	19,0
Perfis 60.5 mm x 5.5 mm (Travamentos banzo inf.)	52,8
Perfis W150 x 18 (	13,3
Perfis 127 mm x 127 mm x 9,5 mm	32,0

# Resultados e Discussão

## Taxa de trabalho dos perfis da passarela metálica treliçada – Diagonal Crítica



# Resultados e Discussão

## Taxa de trabalho dos perfis da passarela metálica treliçada – Diagonal Crítica

Design Check Details | Members | Steel Design | AISC 360 | 2016

View Options

To Show

Design Situation  
2.3 DS1 - Section 2.3 (LRFD), 1. to 5.

Loading  
2.3 CO1 - 1.38 \* LC1 + 1.50 \* LC2 + ...

Member Set No.  
-- < > >

Member No.  
16 < > >

Member location x [m]  
1.333 < > > x/x<sub>g</sub>

Stress point of section  
-- < > >

Design check  
HH7110 0.422 ✓ Chapter H | Flexure...

Design Check Details Design Checks in Location

Material Properties A36M (HR Structural Shapes and Bars) | AISC 360-16  
Section Properties CHS 73x5.16 | ANSI B 36.10M

Design Internal Forces

Axial force	P	-46.75	kN	
Shear force	V <sub>y</sub>	0.00	kN	Negligible
Shear force	V <sub>z</sub>	0.01	kN	Negligible
Torsional moment	T	0.10	kNm	Negligible
Flexural moment	M <sub>y</sub>	0.05	kNm	
Flexural moment	M <sub>z</sub>	0.00	kNm	Negligible

Section Classification

Design Check Values

Required compressive strength	P <sub>r</sub>	46.75	kN	
Required flexural strength	M <sub>r,y</sub>	0.05	kNm	
Required flexural strength	M <sub>r,z</sub>	0.00	kNm	
Required flexural strength	M <sub>r</sub>	0.05	kNm	
Nominal compressive strength	P <sub>n</sub>	125.855	kN	Eq. E3-1
Nominal flexural strength	M <sub>n</sub>	5.99	kNm	
Resistance factor for compression	Φ <sub>c</sub>	0.90	--	E1
Resistance factor for flexure	Φ <sub>b</sub>	0.90	--	F1(a)
Available compressive strength	P <sub>c</sub>	113.270	kN	E1
Available flexural strength	M <sub>c</sub>	5.39	kNm	F1

Design check ratio

Design check ratio	η	0.422	--	≤ 1 ✓ H1.1, Eq. H1-1a
--------------------	---	-------	----	-----------------------

Design Check HH7110 | AISC 360 | 2016

Chapter H  
Flexure with compression force acc. to H1.1

$$F_{cr} = \min(F_{cr,y}, F_{cr,z}, F_{cr,x})$$

$$= \min(113.629 \text{ N/mm}^2, 113.629 \text{ N/mm}^2, 249.660 \text{ N/mm}^2)$$

$$= 113.629 \text{ N/mm}^2$$

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g$$

$$= 113.629 \text{ N/mm}^2 \cdot 11.08 \text{ cm}^2$$

$$= 125.855 \text{ kN}$$

$$P_c = \Phi_c \cdot P_n$$

$$= 0.90 \cdot 125.855 \text{ kN}$$

$$= 113.270 \text{ kN}$$

$$M_n = M_{n,y}$$

$$= 5.99 \text{ kNm}$$

$$M_c = \Phi_b \cdot M_n$$

$$= 0.90 \cdot 5.99 \text{ kNm}$$

$$= 5.39 \text{ kNm}$$

$$M_r = \sqrt{(M_{r,y})^2 + (M_{r,z})^2}$$

$$= \sqrt{(0.05 \text{ kNm})^2 + (0.00 \text{ kNm})^2}$$

$$= 0.05 \text{ kNm}$$

$$\eta = \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \cdot \left( \frac{M_r}{M_c} \right)$$

$$= \frac{46.75 \text{ kN}}{113.270 \text{ kN}} + \frac{8}{9} \cdot \left( \frac{0.05 \text{ kNm}}{5.39 \text{ kNm}} \right)$$

$$= 0.422$$

$$\eta = 0.422 \leq 1 \checkmark$$

$$\eta = 0.422 \leq 1 \checkmark$$

$$F_{cr,y}$$
 Critical stress  

$$F_{cr,z}$$
 Critical stress  

$$F_{cr,x}$$
 Critical stress  

$$P_n$$
 Nominal compressive strength  

$$F_{cr}$$
 Critical stress

## CONCLUSÃO

- O sistema estrutural de uma passarela metálica treliçada foi verificado para a condição de carregamento de içamento que não foi prevista em projeto.
- A análise estática linear de elementos finitos apresentou um resumo de resultados de esforços máximos de compressão atuantes nos grupos de perfis tubulares da passarela metálica treliçada. E o máximo esforço de compressão atuante nos perfis tubulares das diagonais foi de 46,9 kN.
- A verificação estrutural da passarela metálica treliçada utilizando o módulo Steel Design do programa RFEM6 da Dlubal e com a consideração da norma ANSI/AISC 360-16 apresentou o resultado da taxa máxima de trabalho igual a 52,8%. E no caso do grupo de perfis tubulares das diagonais, o valor da taxa máxima de trabalho foi de 42,2%.
- Portanto, foi constatado que o sistema estrutural da passarela metálica treliçada é seguro para a condição de carregamento de içamento.

# Muito Obrigado!

Prof. MSc. Carlos Alberto Medeiros  
[carlosmedeiros@engfea.com.br](mailto:carlosmedeiros@engfea.com.br)

# CONSTRU METAL 2023

**2 1 s e t**  
8 h - 21 h  
allianz parque  
são paulo - sp



@congressoconstrumetal  
congressoconstrumetal.com.br

REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO/PROMOCIÓN

**Franca! Feiras** DESDE 1969