

## ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS DE SUPERESTRUTURA DE UMA PONTE DE PEDESTRES

**Hagattacley Brum Sousa dos Santos**

Universidade Estácio de Sá, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
hagattabrum@gmail.com

**Bruno Matos de Farias**

Universidade Estácio de Sá, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
bmfarias@gmail.com

**Fellipe de Souza Portela**

Universidade Estácio de Sá, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
fellipe-portela@gmail.com

**Murilo Henrique Souza da Silva**

Universidade Estácio de Sá, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
murilohssilva7@gmail.com

**Eloan Marlon dos Reis Moreira**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
eloan.engcivil@gmail.com

**Bruno Ricardo Ferreira de Oliveira**

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
bruno.brfo@gmail.com

### RESUMO

Este presente trabalho trata-se de um estudo de cenário para uma passarela de pedestres situada no bairro São João de Imbassaí, no município de Maricá, sob a Rodovia Amaral Peixoto, RJ-106, na qual está localizada em uma área urbana, com grande quantidade de comércios e há uma grande circulação de pedestres que necessitam se deslocar, conseqüentemente acabam se arriscando ao tentar atravessar as duas pistas da rodovia sem que haja um acidente, podendo assim ocasionar uma fatalidade. Estudos preliminares foram feitos no local, como, por exemplo, análise do fluxo de veículos e pedestres, dimensões da rodovia e análise dos riscos de acidentes. A partir da análise feita previamente no local, foram elaborados protótipos do projeto de arquitetura da passarela para serem analisados e dimensionados de acordo com as combinações das ações que podem gerar impactos significativos à estrutura projetada. A passarela possui dimensões de 2,5 metros de largura para o tabuleiro, 3 metros de altura para os montantes e 2,5 metros entre as transversinas inferiores.

**Palavras-chave:** Passarela; Concreto; Aço; Estruturas.

## ANALYSIS AND DESIGN OF THE SUPERSTRUCTURE ELEMENTS OF A PEDESTRIAN BRIDGE

### ABSTRACT

This paper is a scenario study for a pedestrian walkway located in the São João de Imbassá neighborhood, in the city of Maricá, under the Amaral Peixoto Highway, RJ-106, in which it is located in an urban area with large There are many trades and there is a large circulation of pedestrians that need to move, consequently end up risking trying to cross the two lanes of the highway without an accident, thus causing a fatality. Preliminary studies were done on site, such as vehicle and pedestrian flow analysis, highway dimensions and accident risk analysis. From the analysis done previously on site, prototypes of the catwalk architecture project were elaborated to be analyzed and dimensioned according to the combinations of actions that can generate significant impacts to the projected structure. The catwalk has dimensions of 2.5 meters wide for the board, 3 meters high for the mullions and 2.5 meters between the lower transverse ones.

**Keywords:** Catwalk; Concrete; Steel; Structures.

## 1 INTRODUÇÃO

As pontes desempenham papéis importantes, e são componentes essenciais das cidades e das estradas entre populações de pessoas. Algumas pontes são simples e diretas; outros são incrivelmente complexos. São algumas pontes que conhecemos que podem ser chamadas de pontes simples, como pontes sobre um riacho. E são algumas pontes que conhecemos que podem ser consideradas mais complicadas, como a Golden Gate Bridge e outras pontes que transportam tanto o tráfego rodoviário quanto o tráfego de trens.

Um exemplo surpreendente da contribuição de uma ponte para conectar pessoas a outras populações e lugares, tanto por razões sociais quanto comerciais, é a ponte Sky Gate, conectando pessoas ao Aeroporto Internacional de Kansai, no Japão, localizado na Baía de Osaka.

Desde a vibração excitada por pedestres da London Millennium Bridge em junho de 2000, houve interesse considerável nas vibrações das pontes causadas movimento de pessoas. Estudos extensivos da parceria concentrada na quantificação da excitação da Ponte do Milênio e concebendo uma forma de aumentando o amortecimento da ponte. Isso eles conseguiram com sucesso completo.

Adicionando artificialmente o amortecimento a ponte, eles foram capazes de extinguir o mecanismo de auto excitação e assim eliminar uma vibração que era suficiente para fazer com que as pessoas parassem de andar e segurassem os corrimãos, o que foi grave o 21 suficiente para dar preocupação com a segurança dos pedestres. Desde a experiência, houve tempo para examinar em mais detalhar a mecânica de interação entre um pedestre e um pavimento em movimento e, em particular, o processo de sincronização.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Entende-se por passarelas urbanas as pontes para pedestres que servem para promover a ligação entre duas áreas separadas por algum obstáculo natural ou criado pelo homem. Assim, sua história desenvolve-se inicialmente junto com a das pontes, pois na verdade é apenas uma ponte com características especiais (RINGER, 2000).

A pedra era empregada desde a antiguidade, na construção de pontes. Os romanos e os chineses construíam abóbadas em pedra antes de Cristo. Os romanos chegaram a construir pontes, em forma de arco semicircular com até 30 metros livre (MAYER, 1996).

A quantidade de pontes em pedra construídas pelos romanos foi alta; a maior parte destas desabaram, principalmente por problemas de fundação ou então foram demolidas por questões bélicas, mas existem algumas que permanecem até os dias de hoje. Na idade média as abóbadas ficaram mais abatidas, chegando a atingir vãos da ordem de 50 metros (VASCONCELOS, 1993). Embora as primeiras pontes metálicas tenham surgido no fim do século XVIII, em ferro fundido, foi a partir da metade do século seguinte, com o desenvolvimento das ferrovias - que produziam cargas bem mais elevadas que as que ocorriam até então - é que floresceu o emprego do aço na construção das pontes. Cabe destacar que a partir de 1850 construíam-se pontes em treliça com 124 metros de vão (MAYER, 1996).

As primeiras pontes em concreto apareceram no início do século 20. Eram pontes de concreto simples em arco tri-articulado, com o material substituindo a pedra. Embora já se empregasse o concreto armado na execução do tabuleiro das pontes de concreto simples, foi a partir de 1912 que começaram a ser construídas as pontes de viga e de pórtico em concreto armado, com vãos de até 30 metros (MAYER, 1996).

Quando se trata de globalização, as pontes em geral são bem vistas quando a expansão do comércio é aberta. Assim como teria uma visão completamente diferente, um navegador, ao passar por baixo de uma ponte, olhar para cima. A verdade é que todos olham para a mesma ponte, porém transmite sensações diferentes para cada uma delas (BARKER; PUCKETT, 1997).

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2004), as pontes de pedestres são estruturas que podem ser construídas tanto por cima de uma obstrução ou por cima de uma depressão, como por exemplo estradas e rodovias, rios ou ferrovias, que possam sustentar uma laje para que as pessoas possam passar, e que possua um vão livre de extensão entre os apoios acima de 6 metros. Os elementos básicos que compõe uma ponte de pedestres são: Infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura.

## 2.1 Estruturas Metálicas

Estruturas de aço são geralmente a escolha ao construir um edifício maior que precisa de uma grande abertura espaço por causa do aspecto econômico e eficiência da construção de uma unidade de piso único. Contudo, um problema que pode ocorrer é quando projetar para uma solução de baixo custo a esbelteza pode ser reduzida, que no final pode contribuir para uma instabilidade de toda a estrutura (PFEIL; PFEIL, 2009). O aço estrutural é amplamente utilizado em todo o mundo para diversos fins de construção, incluindo pontes, desde as muito grandes até as pequenas. É um material versátil e eficaz que fornece soluções sustentáveis e eficientes.

Cerca de 99% do aço estrutural encontra o caminho de volta ao processo de produção de aço, onde é usado para criar novos produtos de aço ou é reutilizado (MARCHETTI, 2008).

O aço estrutural pode ser protegido contra a corrosão com o uso de revestimentos de tinta. Assim, o aço é certamente o melhor material quando se trata de construção de pontes. Conquistamos uma forte reputação como líder do setor na produção de aço. Criamos diferentes tipos e formas de produtos de aço que podem ser usados em vários projetos de construção (CRUZ, 2014).

## 3 METODOLOGIA

Para o dimensionamento dos elementos da ponte de pedestres neste trabalho foi considerado os estados limites último e de serviço, segundo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas metálicas e ABNT NBR 6118:2014 - Estruturas de concreto armado. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008; 2014).

O cálculo foi gerado através do software Cypecad 2018, na versão profissional. O projeto de estado limite requer que a estrutura atenda a dois critérios principais: o estado limite último (ELU) e o estado limite de serviço (ELS).

No proposto trabalho de conclusão de curso, tem como o sistema de treliça do tipo Howe adotado para o dimensionamento. Sendo assim, mais adequada para a aplicação da estrutura metálica, gerando poucos deslocamentos, o que é proporcionado uma estrutura mais rígida, sem contar a simplicidade dos cálculos nesse sistema de estruturas, sabendo-se que são considerados apenas esforços axiais de compressão e tração. Para o dimensionamento foi seguido as seguintes etapas do lançamento no programa CypeCad:

1. Definição das normas, tipo de perfil adotado e hipóteses de carregamento;
2. Escolha do fabricante;
3. Definição dos elementos estruturais;
4. Definição da seção transversal dos elementos;
5. Montagem da estrutura na interface do programa;
6. Lançamento das cargas na estrutura;
7. Lançamento da carga de vento;
8. Verificação dos nós;
9. Verificação dos apoios;
10. Verificação dos diagramas de esforços dos elementos;
11. Verificação de cálculo no Estado Limite Último, e aprovação dos elementos adotados.

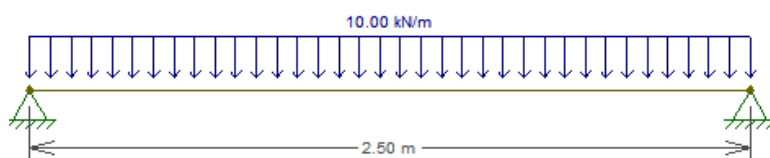
A estrutura de interesse é composta por apenas um vão, estendido por 25 metros, com vãos de 2,5 metros entre as transversinas, com distância de 2,5 metros entre os banzos inferiores e altura de 3 metros (distância entre os banzos inferiores e superiores). O tipo de aço adotado para o dimensionamento de todos os elementos da estrutura será o A 36 250 MPA, do tipo laminado. Os banzos inferiores terão seção tubular maciça de 22cm de diâmetro; Os banzos superiores, as diagonais e os montantes terão seção tubular maciça de 15cm de diâmetro; As transversinas inferiores terão seção do tipo I, com altura total de 10cm; O tabuleiro terá efeito apenas de ação permanente nos elementos dimensionados, não sendo considerado o seu dimensionamento neste trabalho, e terá altura de 12

centímetros; Os nós serão rígidos, tendo o tipo de ligação soldada, na qual não será levada em consideração para o presente trabalho.

#### 4 RESULTADOS

A ponte de pedestres deste trabalho foi projetada e dimensionada para ser construída em estrutura de aço e colocada em uma via expressa. A mesma foi concebida por perfis metálicos de seção tubular maciça para os banzos, diagonais, montantes e transversinas superiores, e perfil do tipo I para as transversinas inferiores.

**Figura 1:** Carregamento nas transversinas inferiores externas



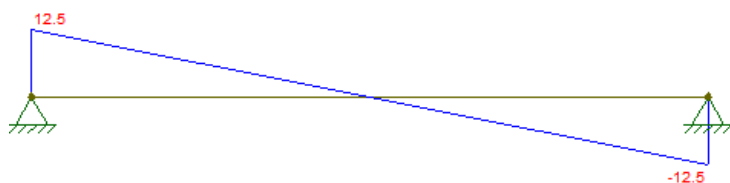
Fonte: Autoria própria (2019).

**Figura 2:** Diagrama de momento fletor das transversinas inferiores externas



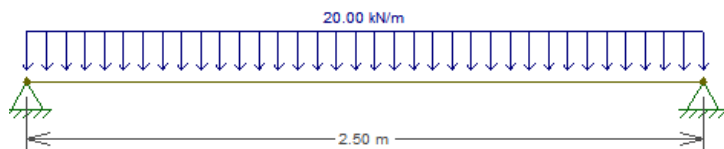
Fonte: Autoria própria (2019).

**Figura 3:** Diagrama de esforço cortante das transversinas inferiores externas



Fonte: Autoria própria (2019).

**Figura 4:** Carregamento nas transversinas inferiores internas



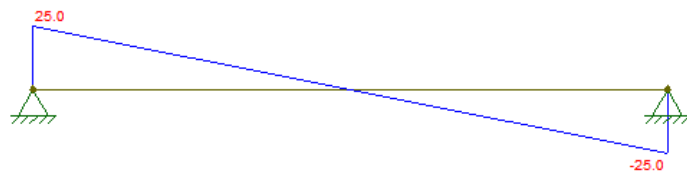
Fonte: Autoria própria (2019).

**Figura 5:** Diagrama de momento fletor das transversinas inferiores internas



Fonte: Autoria própria (2019).

**Figura 6:** Diagrama de esforço cortante das transversinas inferiores internas



Fonte: Autoria própria (2019).

O quadro 1 nos dá os valores das cargas calculadas, e o quadro 2 nos dá os valores das combinações.



### Quadro 1: Ações atuantes

AÇÃO	CARGA (kN)	EIXO DE ATUAÇÃO
CP2 (i)	9,4	Y
CP2 (e)	4,7	Y
CA (i)	15,6	Y
CA (e)	7,8	Y
CV	33,6	Z
CE	100	Z

Fonte: Autoria própria (2019).

### Quadro 2: Valores das combinações em kN

Combinação	CP2(i)	CP2(e)	CA(i)	CA(e)	CV	CE
1	13,6	6,58	23,4	11,7	-	-
2	13,6	6,58	-	-	47,04	-
3	13,6	6,58	23,4	11,7	47,04	-
4	13,6	6,58	11,7	5,85	-	100
5	13,6	6,58	11,7	5,85	28,22	-

Fonte: Autoria própria (2019).

#### 4.1 Lançamento no Software

Com o auxílio do CYPECAD 2018, primeiro definimos as normas, tipos de perfis e as ações que submeterão a estrutura. As normas utilizadas foram a ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 14762:2010 e ABNT NBR 8800:2008. E o tipo de aço adotado foi o A-36 250 MPA. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014; 2010; 2008).

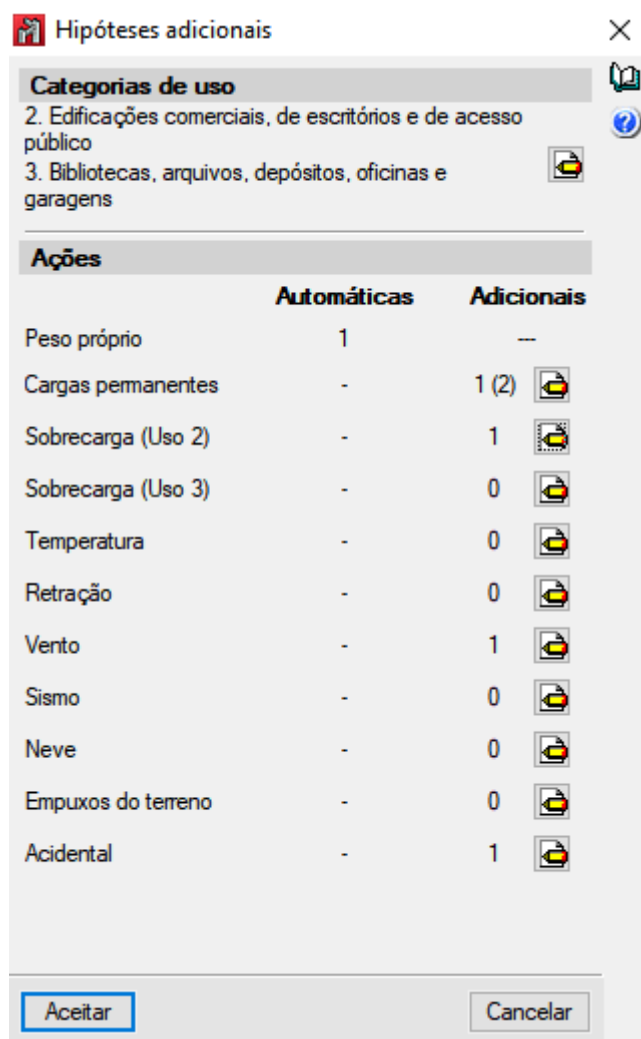
Figura 7: Definição dos tipos de aço e perfis



Fonte: Cypecad (2018).

É importante também criarmos algumas hipóteses para os carregamentos que irão submeter a estrutura, que podem ser obtidas em “hipóteses adicionais”. O peso próprio dos elementos estruturais já é considerado automaticamente.

**Figura 8:** Hipóteses de carregamentos

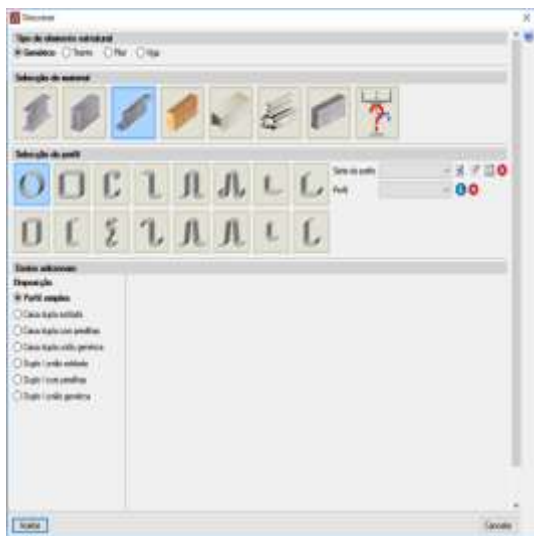


Fonte: Cypecad (2018).

Foi importada a série pré-definida do perfil utilizado. Determinando os fabricantes de aço na qual iremos trabalhar neste projeto, como somente a Gerdau.

Nesta etapa foi adotado o tipo de perfil para o dimensionamento. Geralmente o mais usual para este tipo de projeto é a utilização do aço laminado ou aço dobrado, e para este projeto optamos pela escolha do aço laminado.

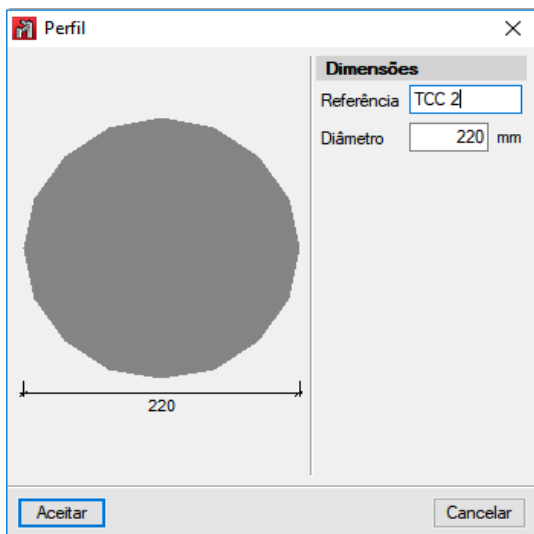
**Figura 9:** Tipo de elemento estrutural



Fonte: Cypecad (2018).

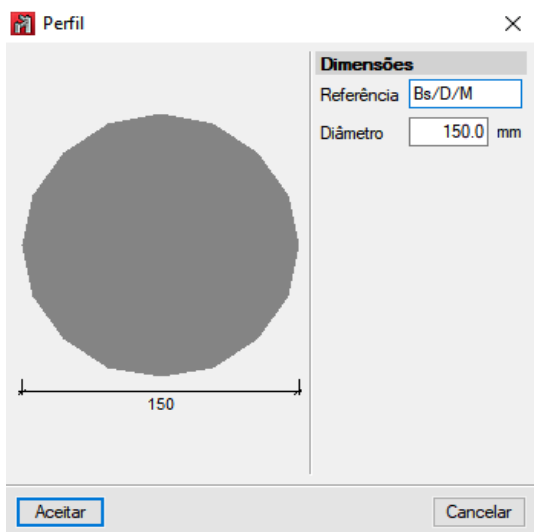
E a escolha dos perfis foram de seção tubular maciça com 22 cm de diâmetro para os banzos inferiores, perfil de seção tubular maciça de 15 cm de diâmetro para as diagonais, montantes e transversinas superiores e banzos superiores, e perfil com seção I para as transversinas inferiores.

**Figura 10:** Escolha do perfil para banzos inferiores



Fonte: Cypecad (2018).

**Figura 11:** Escolha do perfil para as diagonais, transversinas superiores e banzos superiores



Fonte: Cypecad (2018).

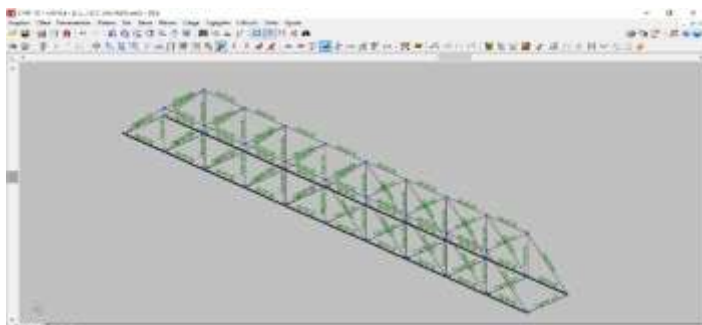
**Figura 12:** Escolha do perfil para as transversinas inferiores



Fonte: Cypecad (2018).

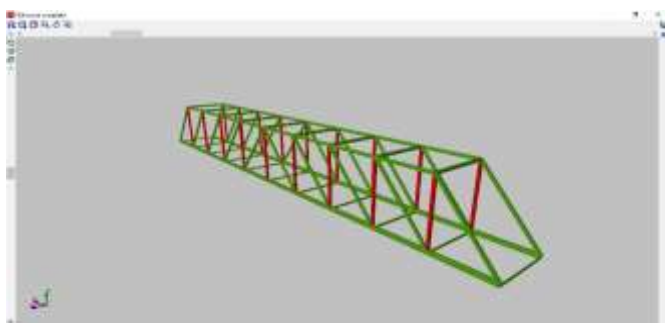
Próximo passo é fazer o lançamento das barras já pré-definidas (Figura 13) e verificar se a estrutura está completa com a visualização em 3D (Figura 14).

**Figura 13:** Lançamento das barras



Fonte: Cypecad (2018).

**Figura 14:** Visualização 3D

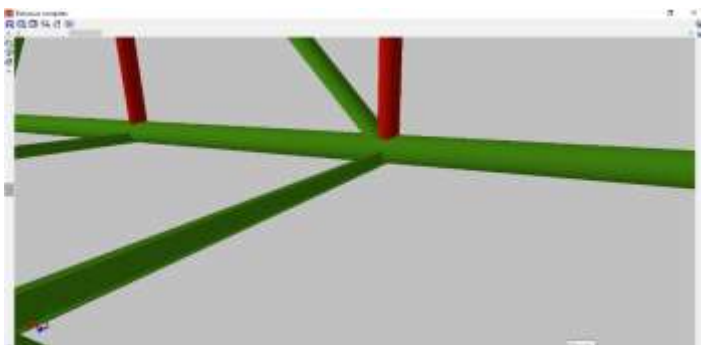


Fonte: Cypecad (2018).

Foi atentado também para o detalhamento dos nós (Figura 15), observa-se que a transversina inferior possui um alinhamento pela base com o banzo inferior, pois como a altura do tabuleiro é de 12 cm, então adotamos dessa forma para que o piso fique alinhado pelo topo com os banzos.

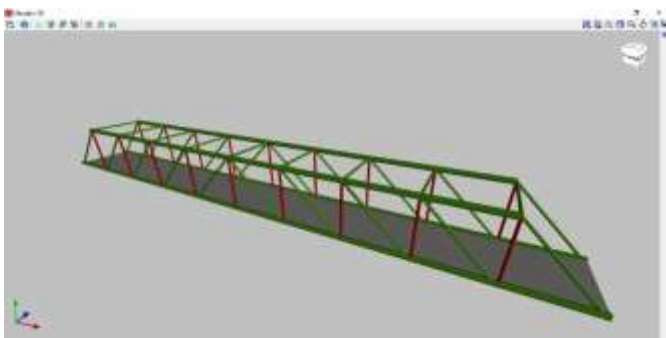
Após o lançamento de todas as barras da treliça, lançaremos o tabuleiro, apesar de não ser dimensionado no projeto, terá ação sobre a estrutura analisada.

**Figura 15:** Detalhe dos nós



Fonte: Cypecad (2019).

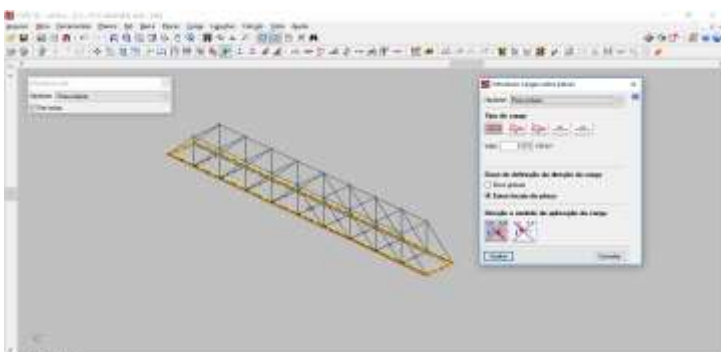
**Figura 16:** Lançamento do tabuleiro



Fonte: Cypecad (2019).

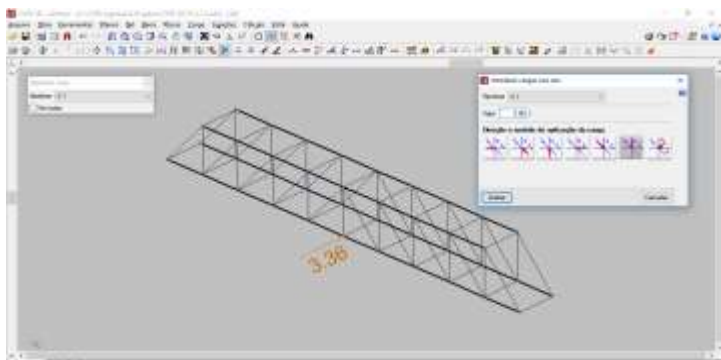
Em seguida é preciso aplicar o carregamento na estrutura, como o peso próprio do tabuleiro e das barras (Figura 17), também a carga de vento (Figura 18), já calculada anteriormente, que será aplicada na posição mais desfavorável da estrutura.

**Figura 17:** Lançamento do peso próprio



Fonte: Cypecad (2019).

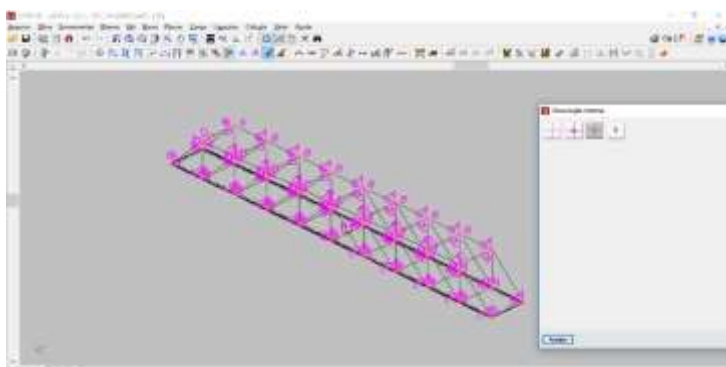
**Figura 18:** Aplicação da carga de vento



Fonte: Cypecad (2019).

Também é importante configurar os nós da estrutura, pois o padrão do software é trazê-los como articulados, então foi necessário a configuração para um nó rígido, pois neste projeto iremos trabalhar com solda.

**Figura 19:** Configuração dos nós

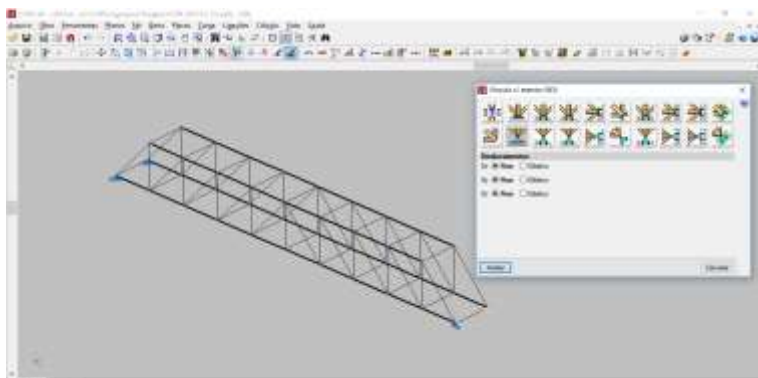


Fonte: Cypecad (2019).

Foi aplicado também nos nós de extremidades dos banzos inferiores os apoios com liberdade na direção X e travado na direção Y para os nós da direita, e os apoios fixos para os dois eixos nos nós da esquerda.



**Figura 20:** Aplicação dos apoios

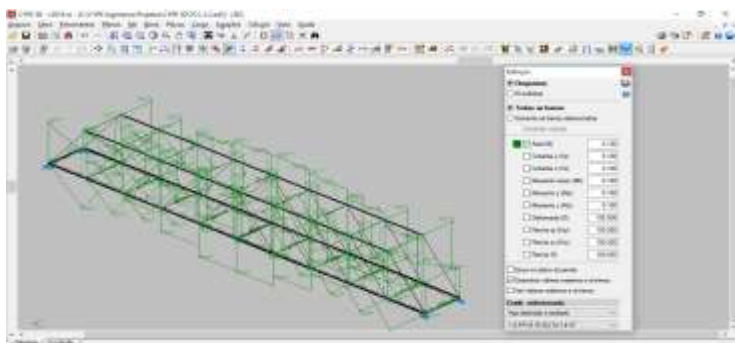


Fonte: Cypacad (2019).

Considerando todos os nós da estrutura engastados, foi aplicado o coeficiente de 0,5 para a verificação da flambagem, segundo a norma da ABNT NBR 8800/2008 em todas as barras selecionadas.

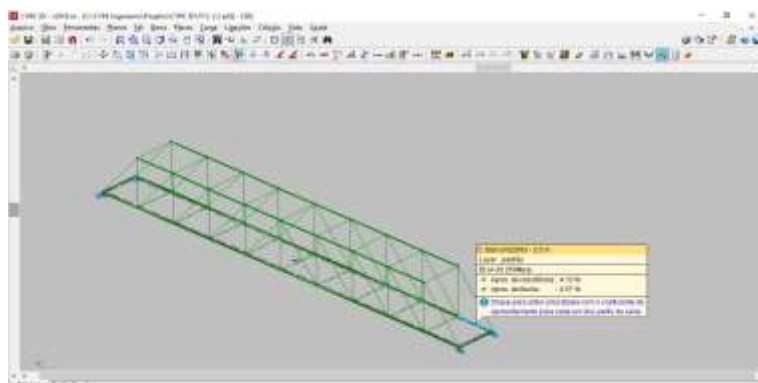
Feito todas as verificações normativas, foi gerado os esforços internos nas barras e gerado o cálculo final para dimensionamento dos perfis. Na figura 21 indica que todos os perfis adotados para o dimensionamento da passarela foram aprovados tanto para o esforço resistente de tração quanto ao esforço resistente de compressão. Na sequência trazemos as informações de memória de cálculos com a aprovação no Estado Limite Último para o banzo inferior como exemplo, na situação mais desfavorável. A memória de cálculo dos outros elementos, estarão em anexo.

**Figura 21:** Esforços internos na estrutura



Fonte: Cypacad (2019).

**Figura 22: Verificação de aprovação dos elementos adotados**



Fonte: Cypecad (2019).

#### **4.2 Memória de cálculo do banzo inferior**

Resistência à tração = 8639 kN (atende)

Resistência à compressão = elemento não submetido a compressão

Resistência à flexão eixo X = 356,37 kNm (atende)

Resistência à flexão eixo Y = 356,37 kNm (atende)

Resistência ao esforço cortante X = 5183,63 kN (atende)

Resistência ao esforço cortante Y = 5183,63 kN (atende)

Resistência ao esforço axial e flexão combinados = 8639 (atende)

Resistência à torção = 250 kNm (atende)

### **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O projeto de uma ponte de pedestres, ainda que seja de porte pequeno e baixo custo, é considerado importante para a solucionar problemas da sociedade, pois possui através do seu dimensionamento podemos reduzir o fluxo de pedestres pelas vias, reduzindo o risco de acidentes e além de ter um trajeto mais veloz para o condutor e seguro para o pedestre.

Neste estudo foi verificado que os pedestres realizam travessia pela pista da rodovia Amaral Peixoto, ocasionando uma situação de riscos, tanto para quem realiza essa travessia, quanto ao condutor do veículo de trafega pela via.

Através do desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso, chegamos a conclusão de que há uma demanda por alternativas de travessia pela rodovia para os moradores do bairro de São José do Imbassaí, na cidade de Maricá, Rio de Janeiro, para que possam atravessar de forma mais segura e em menor tempo, já que a única opção de travessia é dada pela rodovia, onde há um enorme fluxo de veículos em alta velocidade.

O dimensionamento de uma estrutura, como a passarela proposta no trabalho, deve seguir os procedimentos que são impostos nas normas de desempenho, garantindo a qualidade, vida útil e segurança à estrutura que está se projetando e considerar de diversos fatores de segurança para evitar colapsos e não trazer riscos à população.

Com isso, podemos concluir que a passarela é satisfatória para resolução do problema de travessia, trazendo segurança e conforto possibilitando o deslocamento do pedestre sem qualquer risco aparente.

## REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e mista de aço e concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762 – Dimensionamento de estruturas de aço**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

BARKER, R. M.; PUCKETT, J. A. **Design of highway bridges**: na LRFD Approach. 3. ed. New Jersey: Wiley, 1997.

CRUZ, M. Architectural Education Today: the School of Tomorrow. In: SPIRIDONIDIS, Constantin; VOYATZAKI, Maria (ed.). **Dealing with change**: For a dynamic, responsive, adaptive and engaged architectural education. Greece: Charis Ltd, 2014. p. 21-44.

CYPECAD. **Software Cypecad 2018**. [S.l.]: Cype, 2018.

CYPECAD. **Software Cypecad 2019**. [S.l.]: Cype, 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias**. Brasília, DF: IPR: Ministério de Transportes, 2004.

MARCHETTI, O. **Pontes de concreto armado**. São Paulo: Blucher, 2008

MAYER, K. F. **Estruturas metálicas: passarelas e pontes para dutos**. Nova Lima: KM Engenharia, 1996.

PFEIL, W. PFEIL, M. **Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800:2008**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

RINGER, F. **Max Weber's Methodology: The unification of the cultural and social sciences**. Cambridge: Harvard University Press, 2000.

VASCONCELOS, A. C. **Pontes brasileiras: viadutos e passarelas notáveis**. São Paulo: Pini, 1993.

---

Recebido em 04/01/2020

Aceito em 02/03/2020