



ANÁLISE ESTRUTURAL-MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS: TRABALHO FINAL

Danielle Lima Bezerra 16/0151589¹

Rodrigo Evangelista Aguiar de Souza 18/0130366²

Maura Angélica Milfont Shzu

¹160151589@aluno.unb.br

²180130366@aluno.unb.br

Universidade de Brasília. Faculdade do Gama

Área Especial de Industria Projeção A, DF-480 - CEP 72444-240 – Gama – DF – Brasil

Resumo: As treliças são elementos estruturais bastante utilizados na engenharia, onde a compreensão do seu comportamento mediante a atuação de carregamentos externos na estrutura faz-se necessária para inovação e aprimoramento tecnológico de estruturas automotivas, aeronáuticas e aeroespaciais. A diversidade de arranjos geométricos possíveis de se formar e a alta rigidez proporcionada por eles faz do assunto um campo promissor para aprendizagem e novas descobertas. Dessa forma, propõe-se neste trabalho conduzir uma análise de convergência de malha em uma estrutura de treliça sujeita a dois tipos de carregamento, sendo eles uma carga pontual e um carregamento distribuído. A modelagem do problema consiste em aplicar tais cargas em uma barra específica da estrutura, e analisar sua deflexão à medida que a malha sofre um refinamento. Com isso, é averiguado a influência da malha na convergência dos valores de deflexão, onde os resultados se mostraram aceitáveis dentro do que se espera para o assunto abordado.

Palavras-Chave: treliça, carregamento, convergência, malha

1. INTRODUÇÃO

As treliças são um dos principais tipos de estruturas de engenharia, apresentando-se como uma solução estrutural simples, prática e econômica para muitas situações de engenharia, especialmente em projeto de passagens superiores, pontes e coberturas. A treliça apresenta a grande vantagem de conseguir vencer grandes vãos, podendo suportar cargas elevadas comparativamente com o seu peso. Exemplos dessas estruturas são postes de alta tensão, estruturas aeronáuticas e aeroespaciais e vigas em lançamento. Dada a grande relevância no estudo de estruturas treliçadas, diversos estudos foram conduzidos neste campo com o intuito de aprimorar e otimizar tais projetos. O autor Magno [1] conduziu análises estáticas e dinâmicas em um modelo de treliça espacial. A versão gratuita do software GiD v.13 foi adotada para modelagem da geometria, e a solução numérica foi executada através de uma rotina computacional em linguagem C desenvolvida no ambiente Microsoft Visual Studio. Comparando os valores de deslocamento e frequências de vibração da estrutura com os resultados da literatura clássica, chegou-se em resultados bastante concordantes, garantindo o sucesso do estudo. Por sua vez, os autores Andrade e Medeiros [2] conduziram estudos de estabilidade em um modelo de treliça metálica utilizando como principal ferramenta de análise o pacote computacional ANSYS. Análises computacionais de flambagem adotando fatores de segurança foram conduzidas para identificar a barra crítica do modelo, e os resultados foram comparados com os valores analíticos, dando maior precisão na determinação da barra crítica. Os autores Machacek e Cudejko [3] abordaram em sua obra a análise de treliças compostas de aço e concreto. Através de um estudo experimental, um modelo 3D em elementos finitos foi desenvolvido no pacote ANSYS com o intuito de estudar o cisalhamento na estrutura, onde os resultados das análises foram comparados com um código já difundido na literatura denominado de Eurocode 4 e os resultados mostraram excelente concordância entre si. A obra do autor Liu [4] também aborda a análise de uma estrutura treliçada utilizando como ferramenta o pacote computacional ANSYS, onde para a treliça em questão, foram analisadas as tensões atuantes, deformações e deslocamentos das barras para diferentes condições de carregamento. Os resultados mostraram que o ANSYS pode oferecer boa base teórica para a otimização do projeto de estruturas de treliça. Tem-se também os autores Silva et al [5], que abordaram em sua obra o estudo dos métodos de integração no tempo de Newmark e Houbolt aplicados na resolução de problemas de treliças com comportamento dinâmico. Foram desenvolvidas rotinas computacionais em linguagem FOTRAN e os resultados foram comparados com os da literatura especializada, enfatizando que as condições de estabilidade e convergência dos algoritmos desenvolvidos podem fazer com que estes métodos sejam bastante eficientes na resolução de problemas de treliças.

Dado a grande relevância do estudo de treliças, este trabalho objetiva-se a estudar uma estrutura treliçada de cauda de helicóptero. Serão averiguados os efeitos das cargas pontuais e distribuídas nas barras da estrutura através de uma análise de convergência de malha, onde o deslocamento máximo da treliça foi o parâmetro analisado. Para a modelagem da treliça, foi utilizado um elemento 3D com 3 graus de liberdade por nó, onde os resultados apresentaram comportamentos já esperados na literatura.

2. DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

A estrutura analisada é um anteprojeto de cauda de helicóptero com formato de estrutura treliçada, onde este tipo de estrutura é muito empregado em estruturas aeronáuticas e aeroespaciais devido seu arranjo de barras conferir uma alta resistência a tensões provenientes das condições de operação do veículo. A vista isométrica da estrutura a ser analisada é mostrado

abaixo na figura 1, enquanto que as vistas com as cotagens da geometria são mostradas nas figuras 2. É importante ressaltar que os lados da treliça localizados ao longo do plano xy são simétricos e possuem as mesmas medidas, e o mesmo ocorre com os lados localizados ao longo do plano xz

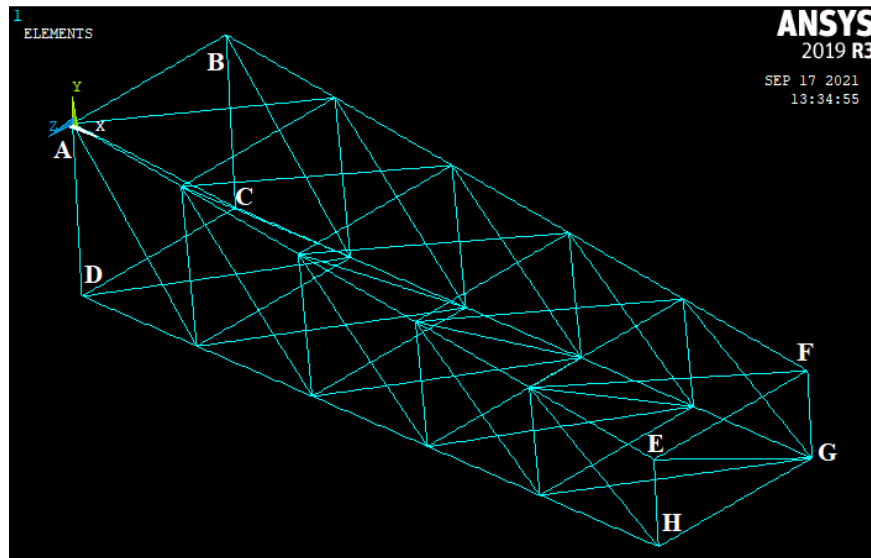


Figura 1 – Vista isométrica da estrutura de treliça a ser analisada

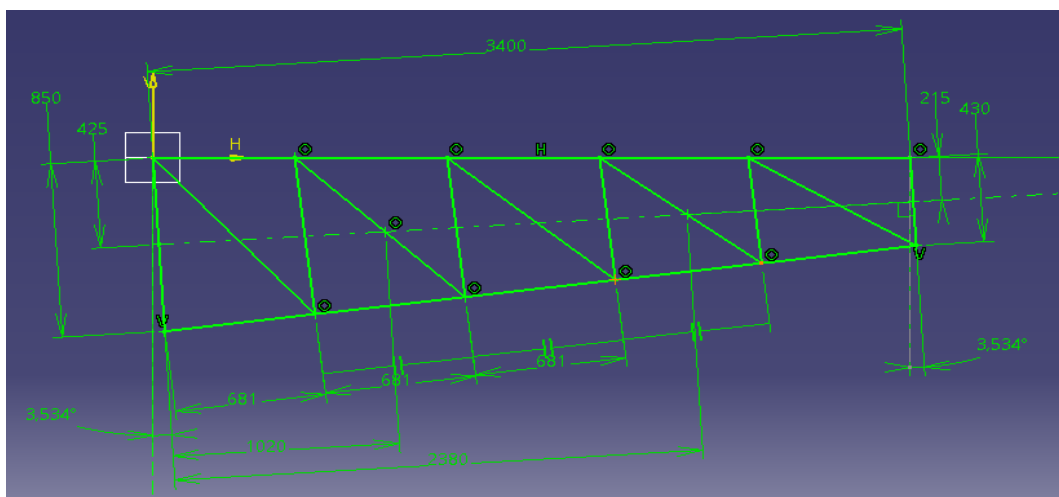


Figura 2 – Vista frontal da estrutura com as unidades de medida em mm

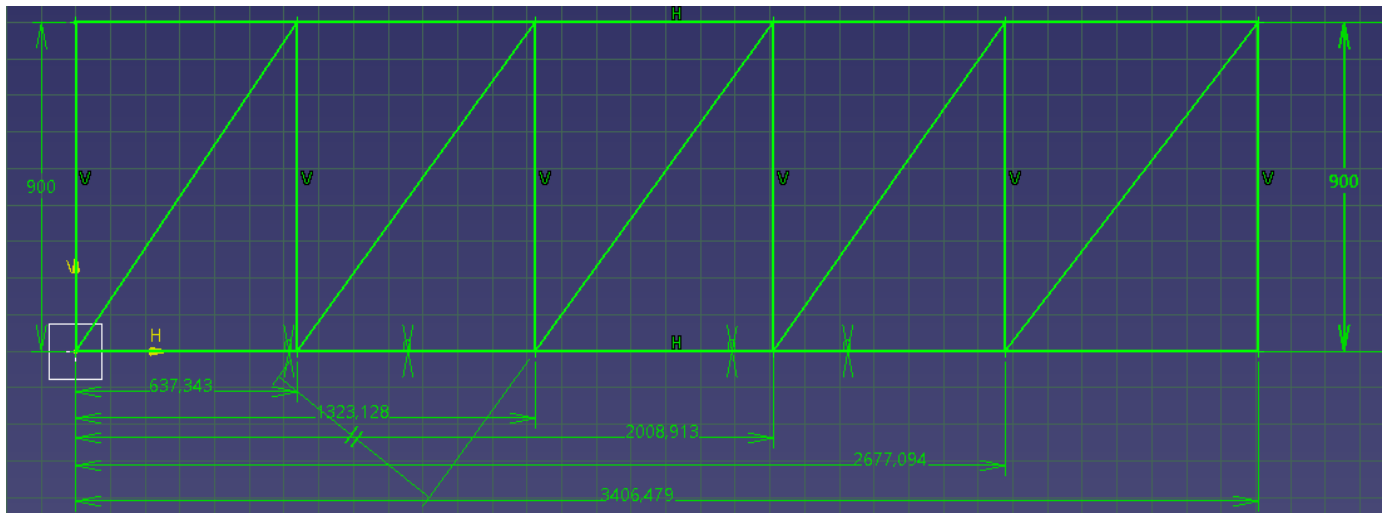


Figura 3 – Vista superior com as unidades de medida em mm

3. METODOLOGIA

É de fundamental importância estabelecer a conduta metodológica desenvolvida neste trabalho com o intuito de dar maior credibilidade ao processo de análise. Portanto, fez-se uso do pacote computacional Ansys para análise da estrutura treliçada, onde foi estudado a deflexão por dois casos de carregamento. O primeiro caso consiste em cargas pontuais aplicadas nos pontos E, F, G e H da figura 1, e o segundo caso consiste na aplicação de um carregamento distribuído na barra EF. Em ambos os casos uma análise de convergência de malha foi conduzida na estrutura com o intuito de se estudar a influência da discretização nos resultados da análise estática de treliças. A modelagem da estrutura foi realizada utilizando o elemento BEAM188. Trata-se de um elemento 3D que possui três graus de liberdade por nó nas direções cartesianas x,y e z. A descrição completa do elemento é dada pelo autor Ansys [6], e a figura 4 ilustra sua representação ao longo das direções cartesianas.

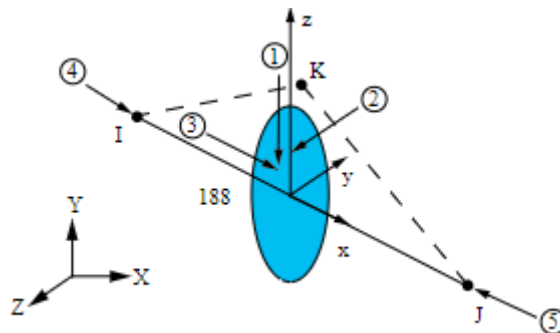


Figura 4: Descrição do elemento BEAM188 utilizado nas análises.

As barras utilizadas para construção da treliça possuem seção tubular com 0,05m de diâmetro externo e 0,045m de diâmetro interno, com módulo de elasticidade sendo $E = 200$ GPa e coeficiente de Poisson igual a 0,33. Em relação a escolha das condições de contorno a serem utilizadas, tem-se que será atribuída aos pontos A, B, C e D mostrados na figura 1 a condição de engaste, restringindo todos os graus de liberdade destes pontos com o intuito de representar a fixação da estrutura na cabine de um helicóptero. Os pontos E, F, G e H da figura

1 representam a fixação do rotor do helicóptero, onde em condições de manobras e pouso forçado, o rotor provoca grandes tensões ao longo da estrutura.

Como condição de carregamento 1, foi aplicado a carga de 1000N nos nós E, F, G e H na direção negativa do eixo y, conforme a figura 1. Esse peso é dividido igualmente entre os nós, onde portanto, cada nó recebe 250N de contribuição de carga. Para o caso de carregamento 2, uma carga distribuída de 1000N/m foi aplicada na barra EF da estrutura. Serão computados os deslocamentos ao longo da direção y para diferentes tipos de discretização considerando os dois casos de carregamento, e uma análise de convergência de malha será efetuada.

4. ANÁLISE NUMÉRICA DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A tabela 1 mostrada abaixo ilustra os resultados de deslocamento transversal para diferentes tamanhos de malha da estrutura, já considerando os casos 1 e 2 de carregamento, enquanto que a figura 5 ilustra a análise de convergência do deslocamento para ambas as cargas.

Tabela 1: Análise de convergência e deslocamentos transversais das simulações

Malha	Tamanho do elemento (m)	Nº elementos da malha	Nº de nós	Deslocamento (m) Carregamento 1	Deslocamento (m) Carregamento 2
1	2,0000000	70	24	-0,396300	-0,35442
2	1,0000000	89	43	-0,396660	-0,35474
3	0,5000000	157	111	-0,400000	-0,39589
4	0,2500000	269	223	-0,400390	-0,45367
5	0,1250000	519	473	-0,400530	-0,46831
6	0,0625000	986	940	-0,400560	-0,47212
7	0,0312500	1938	1892	-0,400570	-0,47324
8	0,0156250	3852	3806	-0,400570	-0,47352
9	0,0078125	7680	7634	-0,400572	-0,47360

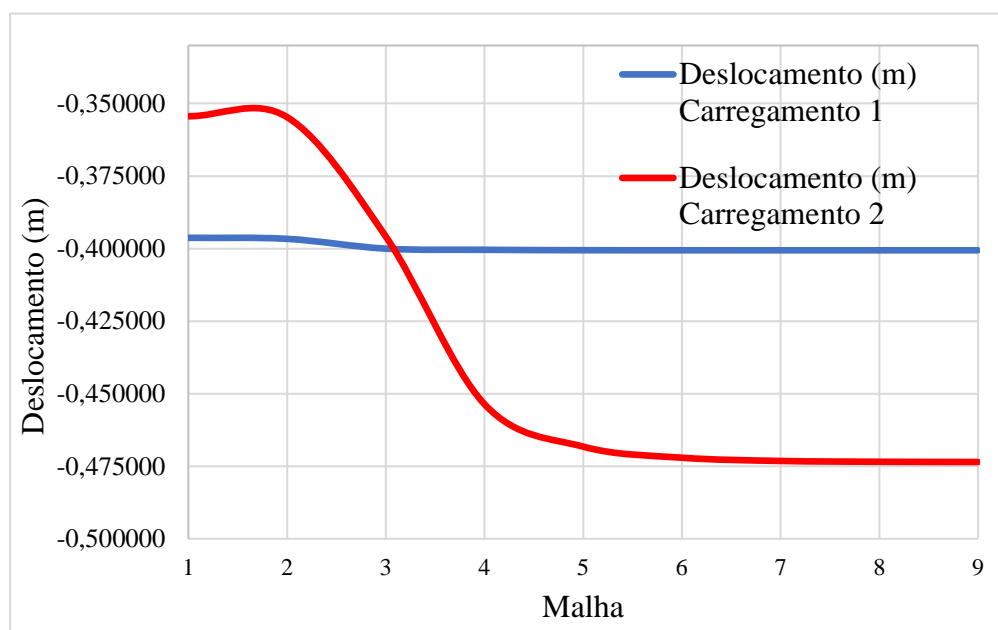


Figura 5: Análise de convergência para os casos de carregamento

Na análise de convergência, observou-se que a estrutura treliçada apresentou uma sensibilidade maior em relação a densidade da malha para o caso de carregamento distribuído. Isso pode ser atribuído à natureza mais complexa da carga distribuída em comparação com a carga pontual colocada nos nós E, F, G e H do caso 1. As figuras 6 e 7 abaixo ilustram o deslocamento da estrutura de treliça para os 2 casos de carregamento, considerando somente a malha mais refinada.

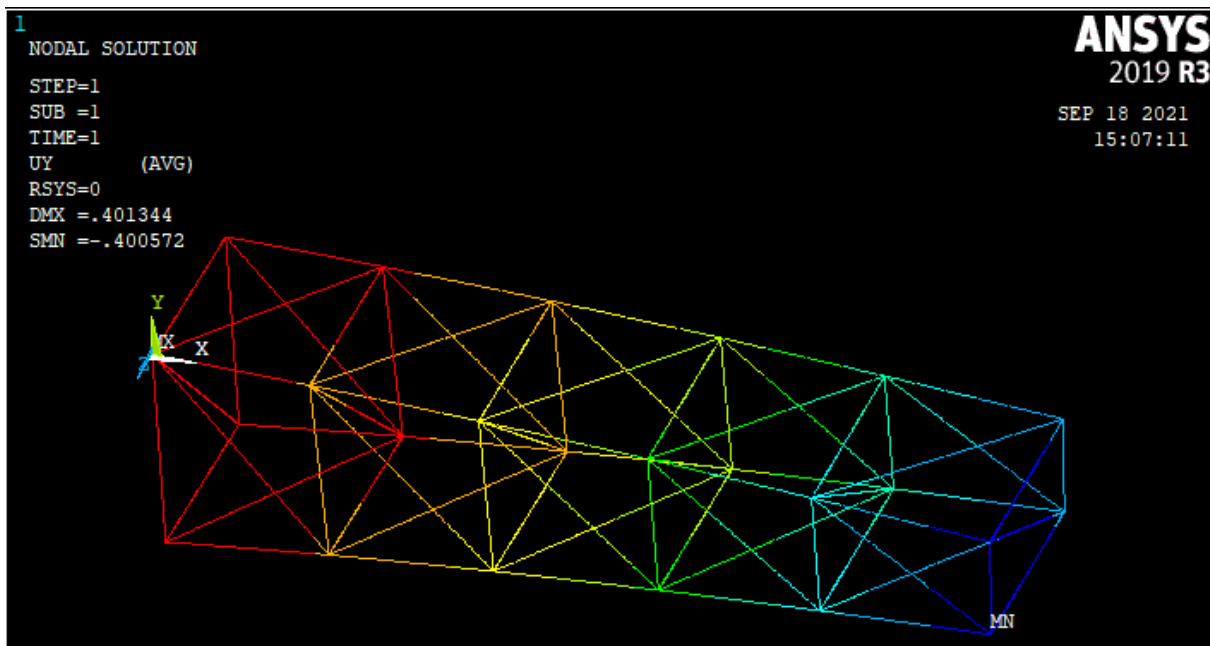


Figura 6: Deslocamento transversal para o caso de carregamento 1

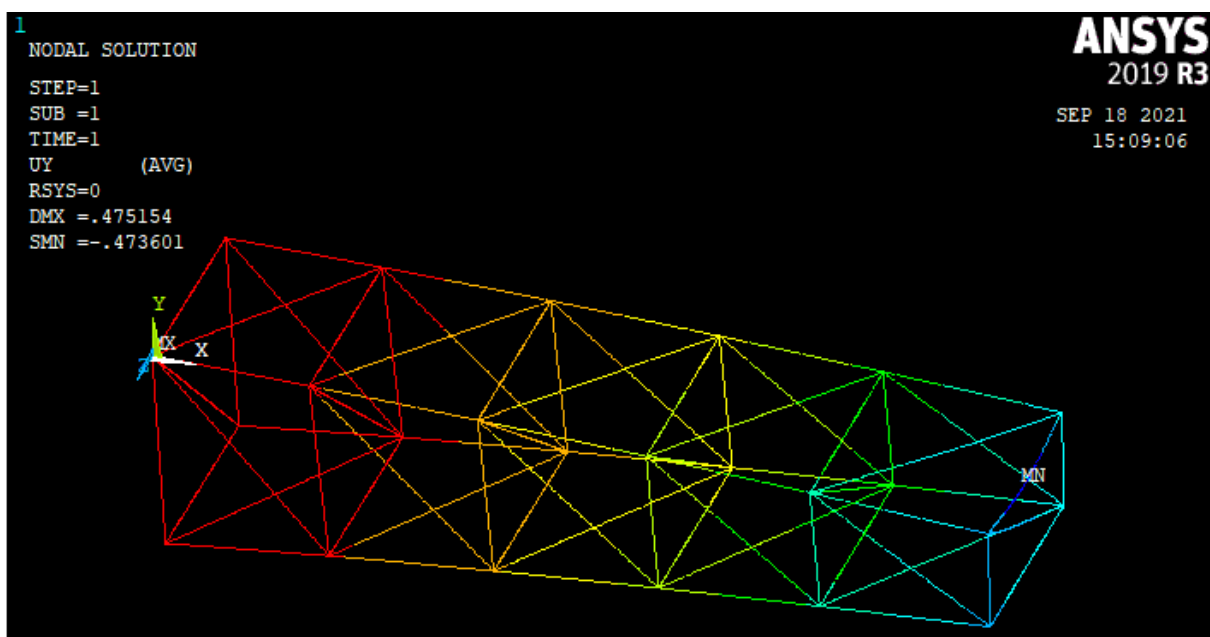


Figura 7: Deslocamento transversal para o caso de carregamento 2

Para ambos os casos de carregamento, notou-se que a deformação das barras foi mais acentuada nos pontos de aplicação das cargas, e que, portanto, a deformação não se espalhou ao longo da estrutura. Isso indica uma estrutura resistente em suportar carregamentos nestes pontos, o que pode indicar que a estrutura proposta se mostra adequada para suportar carregamentos mais complexos, como por exemplo, cargas dinâmicas de impacto.

5. CONCLUSÃO

As estruturas treliçadas são de grande importância para diversos segmentos industriais e bastante aplicáveis em diversas áreas. A compreensão de sua resposta para diversas situações de carregamento sempre será assunto de curiosidade e aprofundamento de estudos. Os resultados deste trabalho apresentaram comportamentos interessantes e já apontados pela literatura, onde vale aqui mencionar os mais evidentes.

O caso de carregamento distribuído mostrou-se mais sensível a variações na densidade da malha, visto que os valores de deflexão da viga oscilaram mais para esse tipo de carga. Além disso, a carga pontual apresentou comportamento mais estável, onde a treliça não sofreu grandes deformações com a variação da densidade da malha. Outro ponto observado e destacado pela literatura foi a indiferença no custo computacional, onde para ambos os carregamentos, o tempo gasto na simulação permaneceu o mesmo, não sofrendo alterações independente das mudanças de malha realizadas

6. APRESENTAÇÃO EM VÍDEO

A apresentação em vídeo do projeto encontra-se disponível em <https://youtu.be/aDU7gbGGgRs>

REFERÊNCIAS

- [1] Brito, C. M. S. R. Modelagem e simulação numérica de treliças espaciais submetidas a carregamentos estáticos e dinâmicos em regime elástico não linear. 2018. 88 p. TCC (graduação) - curso de Engenharia Civil, departamento de construção e estruturas, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.
- [2] Andrade, A. D.; Medeiros, C. A. Análise de estabilidade estrutural para uma treliça metálica Içadora de aduelas de concreto para pontes. Congresso latino americano da construção metálica, São Paulo, p. 1-16, set. 2016.
- [3] Machacek, J.; Cudejko, M. Longitudinal shear in composite steel and concrete trusses, Engineering Structures, V. 31, Issue 6, 2009, p.1313-1320, ISSN 0141-0296, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.07.009>
- [4] Xia, L. The finite element analysis of truss beam structure based on ansys. Advanced materials research, [s.l.], v. 594-597, p. 2939-2944, nov. 2012. Trans tech publications, ltd.. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.594-597.2939>.

[5] Silva, G. N. *et al.* Método dos elementos finitos aplicado a treliças com comportamento dinâmico. *Revista brasileira de iniciação científica*, Itapetininga, v. 6, n. 3, p. 66-81, set. 2019.

[6] Ansys user's manual. Theory manual. 1995. Ansys revision 5.2

[7] The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS, Erdogan Madenci and Ibrahim Guven, 2015, ISBN-978-1-4899-7549-2