



- **ESTUDO COMPARATIVO DE SISTEMAS COMPUTACIONAIS DE SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE FLAMBAGEM NO PROJETO MECÂNICO DE UMA UNIDADE DE MOVIMENTAÇÃO LINEAR**

Vitor Pinto da Cunha, Bolsista CNPq/PIBITI – bls_vitor@hotmail.com

Christiano Fraga Zirbes, Bolsista PET Mecatrônica – christianozirbes@hotmail.com

Raimundo Ricardo Matos da Cunha, Prof. D. Eng. – rcunha@ifsc.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Departamento Acadêmico de Metal-Mecânica

Av. Mauro Ramos, 950, Centro, Campus Florianópolis

CEP: 88020-300 – Florianópolis – Santa Catarina

Resumo: Neste artigo, foram explorados os recursos de análise dos sistemas CAE SolidWorks e do NX 6 da Siemens. Para tanto, foi usado como estudo de caso, um carregamento de flambagem aplicado a uma unidade de movimentação linear. Os resultados apresentados nesse artigo foram comparados com outros de referência, calculados a partir do catálogo de fabricante.

Palavras-Chave: Flambagem. Sistemas CAD/CAE. Unidade de movimentação linear.

1. INTRODUÇÃO

A atividade de projeto e fabricação de máquinas, equipamentos, produtos e sistemas mecânicos em geral, atualmente é suportada por várias ferramentas computacionais de desenho e projeto, de análise e simulação mecânica, e simulação de fabricação. Esses programas computacionais são conhecidos como sistemas CAD/CAE/CAM.

Os programas utilizados neste artigo para análise e simulação mecânica (CAE) e para desenho e projeto (CAD) foram duas, a saber: o SolidWorks® considerado um programa de média aplicação (*middle end application*), e também o NX6, da Siemens PLM Software, considerado como um programa de aplicação avançada (*high end application*). Como modelo de testes foi utilizada uma unidade de movimentação linear (UML), pois é um sistema mecânico presente em projetos de aplicações de sistemas mecatrônicos.

2. APLICAÇÕES E FUNÇÃO DA UNIDADE DE MOVIMENTAÇÃO LINEAR

Na indústria, a UML é aplicada em máquinas que requerem boa velocidade de movimento, precisão e capacidade de carga, a exemplo de máquinas-ferramentas CNC, tais como fresadoras, tornos mecânicos, máquinas de corte; ou seja, é aplicada em várias situações que requerem um movimento linear com alta precisão e alta capacidade de carga.

Na Figura 1 tem-se a montagem de uma UML, e na Tabela 1 tem-se a lista com os nomes dos componentes que a compõem.

Uma UML tem a função de deslocar linearmente uma carga. Para que a carga se

desloque, um dos componentes mais importantes da unidade é seu motor, pois depende dele gerar o torque necessário para o movimento. A partir da rotação do motor, o fuso tende a girar transmitindo o movimento para a porca-castanha, que por fim move a mesa e os patins linearmente.

Para que tudo isso possa ocorrer sem problemas ou erros, deve-se concentrar na seleção dos componentes mais críticos, os quais são: fuso, guias, patins, mancais e motor. Cada um dos componentes críticos tem esta denominação, pois suportam cargas ou as geram em cima de outro componente.

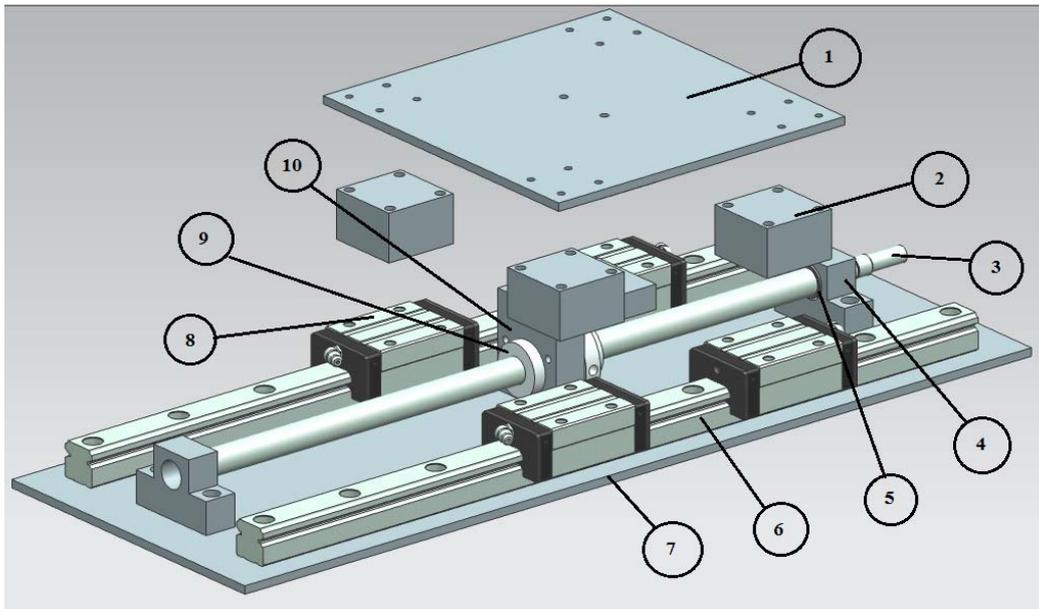


Figura 1 - Unidade de movimentação linear.

Tabela 1- Lista de peças da UML.

NÚMERO DA PEÇA	NOME DA PEÇA
1	Mesa
2	Espaçador
3	Fuso de esferas
4	Mancal
5	Rolamento
6	Guia linear
7	Base
8	Patins
9	Porca-castanha
10	Suporte da castanha



3. FLAMBAGEM

A flambagem é um fenômeno que ocorre em peças cujo comprimento é muito maior que a área de sua seção transversal e quando a peça sofre um esforço axial. A Figura 2 ilustra essa situação de carregamento. A peça pode perder sua integridade sem que o material tenha alcançado o limite de escoamento, pois a tensão crítica de flambagem não depende do material, e sim do seu módulo de Young.

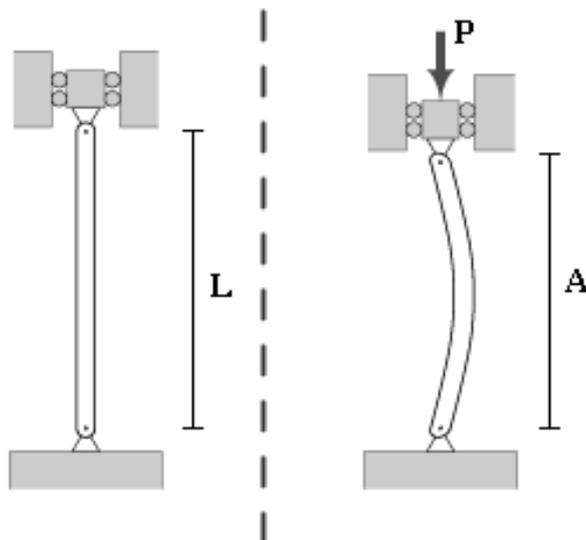


Figura 2 - Barra submetida à flambagem (BEER & JHONSTON, 1996).

4. FERRAMENTAS CAD/CAE

Com o advento da computação os softwares de desenho assistido por computador foram se desenvolvendo e ficando cada vez mais com mais recursos e de mais simples utilização, tornando o resultado mais próximo à realidade. Com toda essa evolução, os programas CAD começaram a vir com a opção de testar seu modelo dando alguns resultados.

Em suas primeiras versões, as análises eram fracas e requeriam a fabricação de um protótipo para obter resultados mais conclusivos. Nas versões atuais, foram aperfeiçoados os modelos matemáticos, os quais estão sempre sendo melhorados para obter resultados mais confiáveis. Em alguns casos não é necessária a fabricação do protótipo, pois a análise feita chega muito próximo à realidade. Nos softwares analisados, foram dadas as opções que podem ser visualizadas na Figura 3. Para as simulações, foi utilizada a opção de flambagem no SolidWorks; e SEBUCKL 105, no UGS NX6.

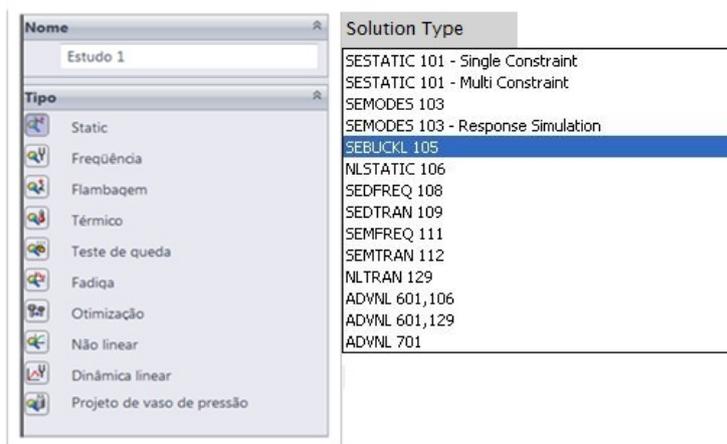


Figura 3 - Opções de estudo no *SolidWorks*, à esquerda; e no *NX6*, à direita.

5. PREPARAÇÃO DO MODELO

Para se gerar a simulação foram necessários alguns passos, como a simplificação do modelo que consiste na remoção de peças da análise, peças que não afetariam os resultados como: trilhos, patins, espaçadores e a base. Porém se fossem deixados causariam uma maior necessidade de tempo de processamento de dados da máquina, e deixariam as análises mais lentas.

O modelo da UML foi simplificado, deixando apenas as partes afetadas, podendo visualizar o resultado da preparação do modelo na Figura 4.

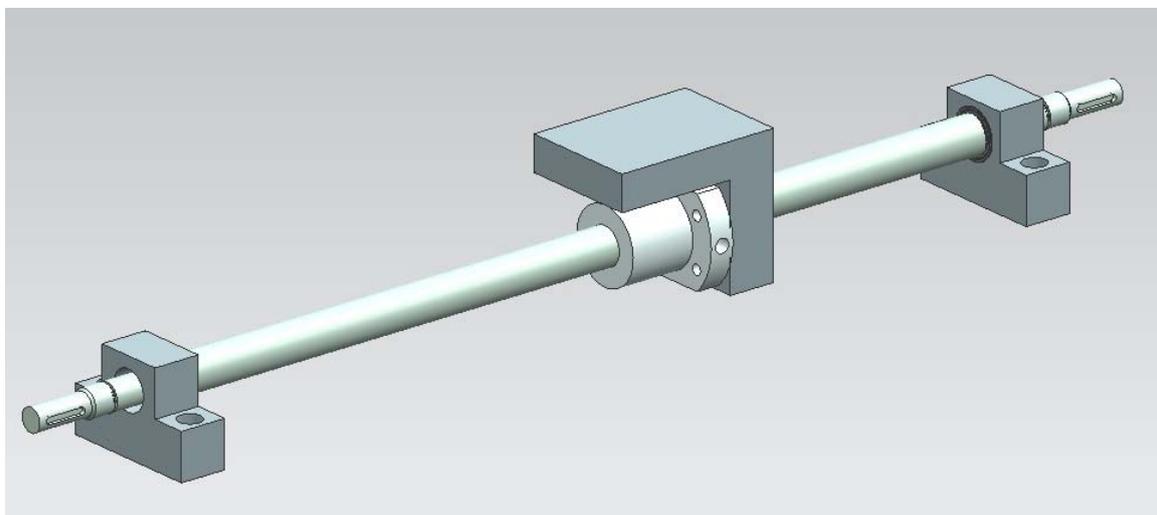


Figura 4 - Modelo utilizado para as simulações.

Em seguida deve ser atribuído o material das peças remanescentes, neste caso, como o intuito é apenas comparação, utilizou-se um material com as características do material JIS S55C aço temperando, similar ao AISI 1055, este que pode ser feito utilizando os materiais já presentes na biblioteca do programa ou um criado pelo usuário. A escolha do material não foi aleatória, pois é utilizado em sistemas de movimentação linear comercial conforme catálogo de fabricantes. As características do material foram obtidas com auxílio da (ASM International, 1990).



6. TESTES DE FLAMBAGEM

Nesta etapa foi realizado testes de flambagem do fuso da UML. Para os testes, utilizou-se o software *SolidWorks*® e o *NX 6*. Foi considerado que o motor estar gerando um torque no fuso e que a mesa de movimentação travou em um obstáculo, fazendo com que o motor e o fuso continuem a trabalhar, porém sem se moverem. Com isso a castanha causa uma compressão do fuso nas esferas da castanha, e resultando em uma carga de flambagem. Para verificar se a carga é crítica ou não, foram realizados cálculos teóricos conforme o tipo de montagem, neste caso o tipo de apoio utilizado é fixo-fixo.

Para ter uma ideia de quando seria necessário para o fuso utilizado flambar, e com base no catálogo do fabricante THK, pode-se chegar aos seguintes dados e resultados: para o tipo de apoio utilizado o fator a ser utilizado conforme o método de montagem é $\eta = 4$. O diâmetro do fuso é $d = 16\text{mm}$, a distância entre os mancais é $l = 370\text{mm}$, e o módulo de Young é $E = 2,06 \cdot 10^5 \text{MPa}$.

Com isso, calcula-se o momento geométrico mínimo de inércia do eixo (I) com a Equação (1), e com o resultado desta equação obtém-se todos os dados necessários para calcular a carga crítica de flambagem teórica (P) para o tipo de fuso utilizado, com a Equação (2).

$$I = \left(\frac{\pi}{64}\right) \cdot d^4 \quad (1)$$

$$P = \frac{(\eta \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I)}{l^2} \quad (2)$$

Neste caso obtendo uma carga crítica de flambagem teórica $P = 95,5\text{kN}$, sendo a carga máxima que o fuso suporta antes de flambar.

6.1. Simulação *SolidWorks*

Com o objetivo de comparar os softwares CAE, foram feitas uma série de simulações nos dois programas para chegar, em teoria, em resultados similares de flambagem. O que realmente difere um programa do outro é o modo de preparação do modelo para análise.

O *SolidWorks* possui uma interface mais intuitiva facilitando o entendimento das ferramentas com assistentes rápidos e fáceis.

Após estes pré-requisitos serem feitos, pode-se definir e posicionar a força desejada, e definir como o modelo é fixado ou como os componentes do modelo interagem entre si. No estudo de caso da UML, foi iniciado pelas conexões do modelo, na Figura 5, definindo a interação das peças e colocando pinos e molas (quando houver). Em seguida, foram usadas as ferramentas de fixação, informando ao programa como está fixado o modelo. Aplica-se a carga que foi encontrada através de cálculos de carga teórica, que neste caso foi 95,5 KN.



Figura 5 - Ferramentas de preparação.

Com esses requisitos preenchidos, cria-se uma malha para simulação. Foi utilizada uma malha tetraédrica de 4 pontos Jacobianos, e foi executado o estudo. Como resultado foi obtido a imagem deformada, que pode ser visualizada na Figura 6. Analisando os dados obtidos, foi confirmado que, pelos testes de simulação, a flambagem não ocorreu, pois o coeficiente de carga deve estar entre 0 e 1, como pode ser visualizado na Figura 7.

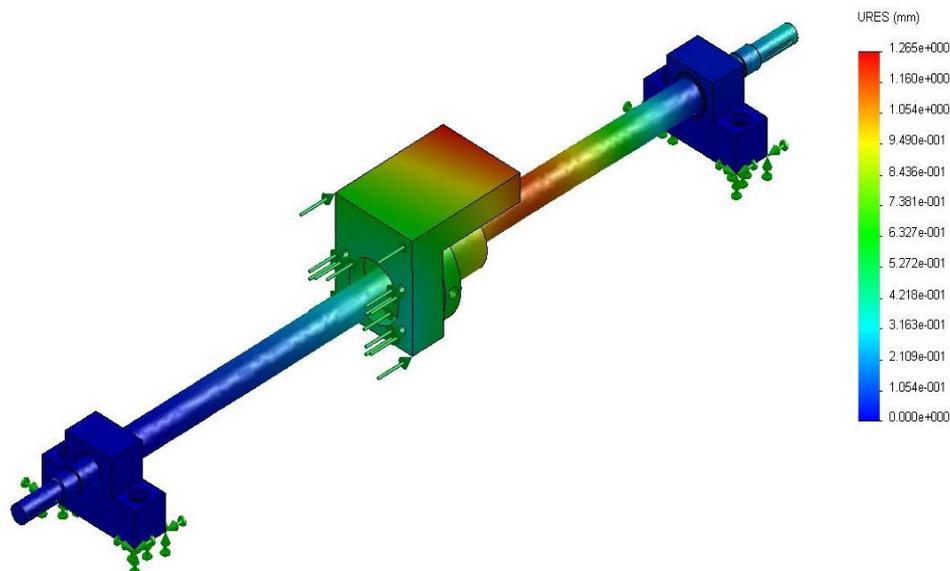


Figura 6 - Visão deformada da simulação.

Nome do modelo: Montagem3 para simulação
Nome do estudo: Estudo 2
Tipo de plotagem: Flambagem Deslocamento1
Forma modal : 1 Fator de carga = 7.6033
Escala de distorção: 1

Figura 7: Fator de carga.

6.2. Simulação NX6

Após a preparação do modelo para testes, é necessário seguir alguns passos para fazer a simulação. Com o modelo aberto, inicia-se o *Advanced Simulation*, recurso de simulação do NX6, já com o mesmo aberto utiliza-se o recurso *New FEM and Simulation*, ferramenta que cria o ambiente para poder preparar os requisitos que influenciam na simulação, por exemplo: as cargas, o material das peças e os tipos de fixações. Após a criação do FEM e da simulação pode-se seguir por vários caminhos até definição de todos os requisitos necessários para executar a *Solver* (recurso que executa os cálculos da simulação).

Ao iniciar o *New FEM and Simulation* irá abrir uma tela para selecionar algumas opções como o tipo de análise e o solver, com todas as opções selecionadas conforme suas necessidades, outra tela irá abrir para selecionar o nome do estudo, o *Solver*, o tipo de análise e o tipo de estudo, neste caso o estudo de flambagem.



Ao finalizar a criação do estudo, no ambiente de simulação estará disposto no *Simulation Navigator* o estudo que foi criado com as opções de carregamento, fixação e de interação das peças. No campo *Simulation File View* seleciona-se a opção de FEM para definir o material e o tipo de malha, neste caso o mesmo tipo utilizado no *SolidWorks* a tetraédrica de 4 pontos Jacobianos, a ser criada para o estudo, como pode ser visualizado na Figura 8 a malha criada.

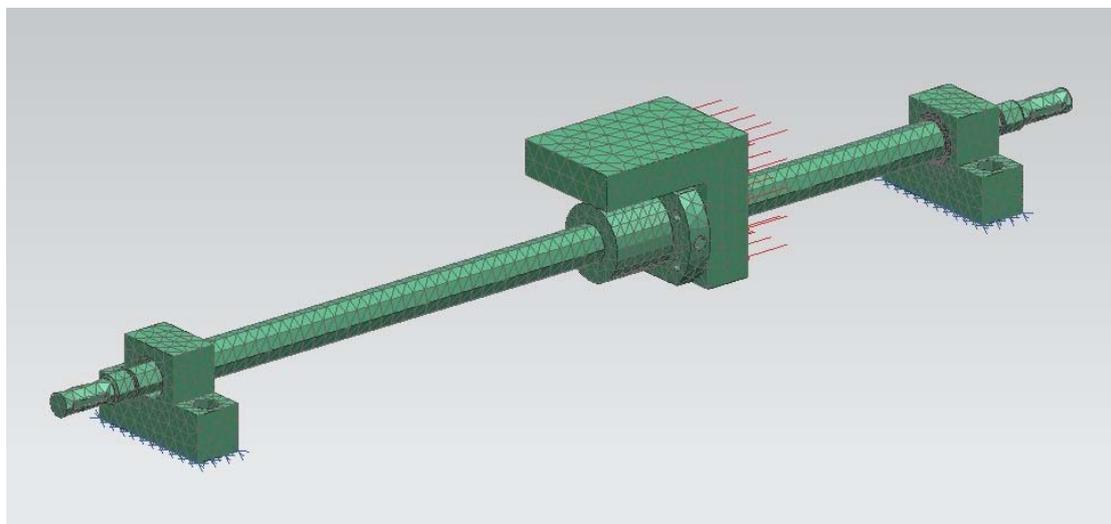


Figura 8 - Modelo preparado para execução do estudo.

Após o programa executar os cálculos, aplicando o método de elementos finitos, é possível a visualização de seus resultados de distribuição de cargas. Na Figura 9, é possível a visualização das cargas ao longo do fuso; e na Figura 10, o deslocamento das peças.

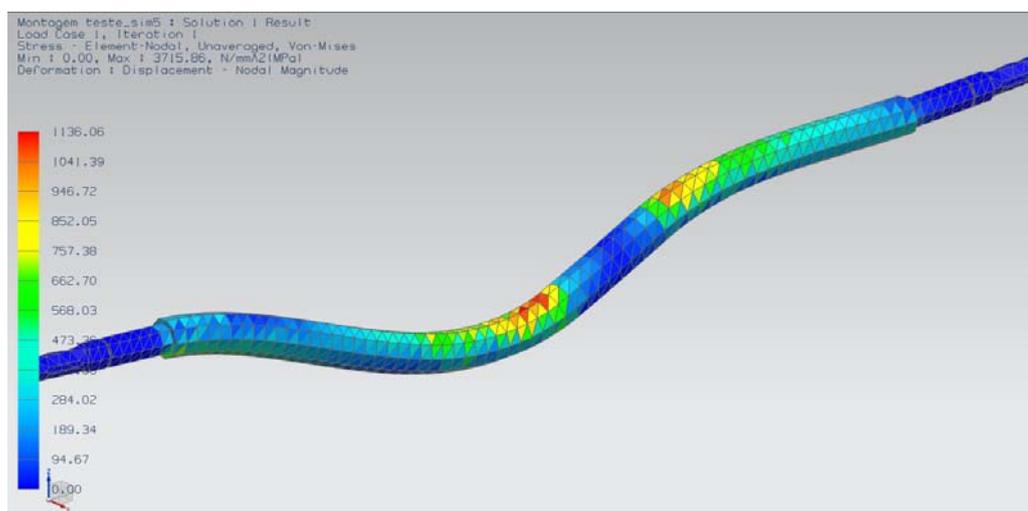


Figura 9 - Representação das cargas sobre o fuso.

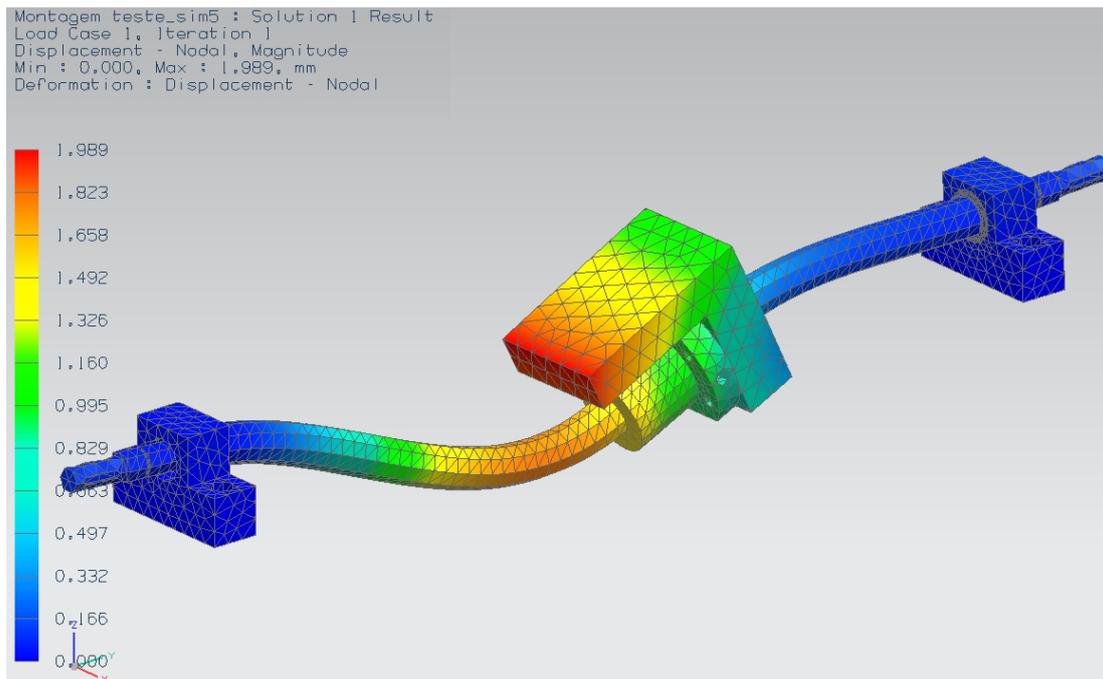


Figura 10 - Representação do deslocamento.

O NX6 também possibilita a criação de gráficos que demonstram a intensidade da carga nas peças e o deslocamento que elas sofreram. Neste caso como os testes são de flambagem, o gráfico visualizado na Figura 11, mostra a tensão que o fuso está submetido, eixo vertical “y”, ao longo de sua extensão, eixo horizontal “x”.

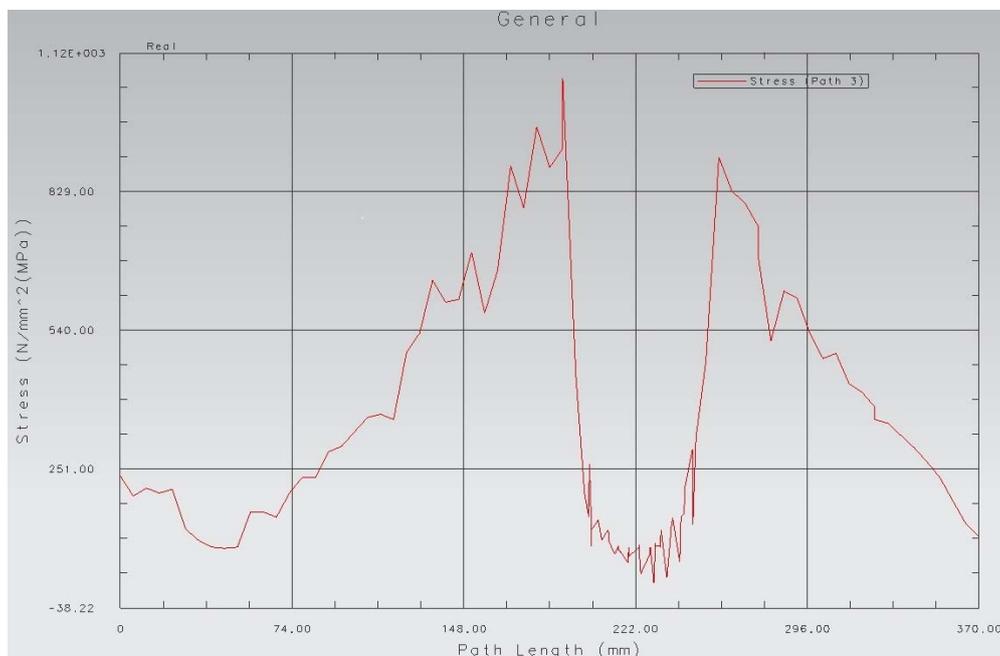


Figura 11 - Gráfico de tensões ao longo do fuso.

Na Figura 12, é possível ver o deslocamento, eixo vertical “y”, que o mesmo sofreu em relação a sua posição original ao longo do fuso, eixo horizontal “x”.

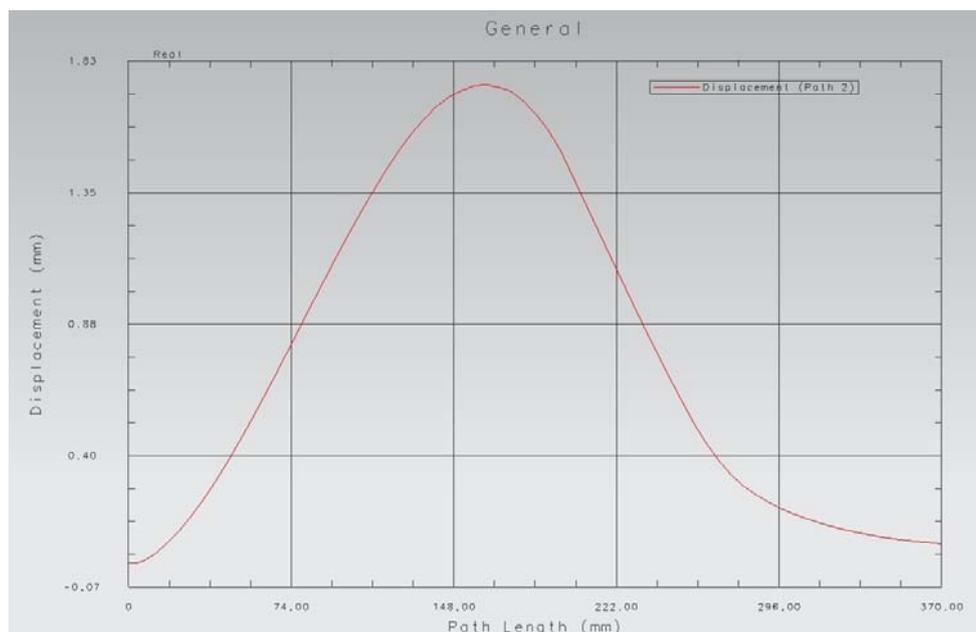


Figura 12 - Gráfico do deslocamento ao longo do fuso.

7. CONCLUSÃO

Com os estudos realizados, tem-se uma ideia de como os programas se comportam realizando o mesmo tipo de análise dos elementos. Pode-se também notar que, em termos de preparação de modelo, os dois programas são muito semelhantes, todavia conclui-se que o *SolidWorks* se mostra mais intuitivo em relação a preparação do ambiente de simulação e ferramentas disponíveis, porém o *NX6* possui recursos de customização mais avançados e também tem a liberdade de escolha de solver, que no caso do *SolidWorks*, o solver é selecionado automaticamente.

No requisito de pós-processamento, tem-se opções muito similares, porém, com algumas diferenças de como os dados são expostos ao usuário. Por exemplo, no *SolidWorks*, o fator de carga apresentado permite concluir se ocorreu a flambagem ou não. Já no caso do *NX6*, os dados são extraídos e o usuário tem de fazer a interpretação para concluir sobre.

Nas simulações utilizando a carga calculada, os programas deram resultados diferentes. Enquanto que o *NX6* nos confirmou a flambagem; a simulação no *SolidWorks*, por sua vez, permitiu concluir que a flambagem não ocorreria.

REFERÊNCIAS

ALVES F., Avelino. **Elementos Finitos: A Base da Tecnologia CAE**. Editora Érica, São Paulo, 295p, 2000.

ASM International. **Metals Handbook Vol.1 - Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys**. 10th edição, 1063 p., 1990.

BEER, Ferdinand P.; JOHNSTON, E. Russell, Jr. **Resistência dos materiais**. 3ª edição, Makron Bbooks do Brasil Editora, 1080 p., 1996.



HIBBELER, Russel C.. **Resistência dos materiais**. 5a. edição. Editora Pearson Prentice Hall. 510 p., 2009.

JACOB, Fish; BELYTSCHKO, Ted. **Um Primeiro Curso em Elementos Finitos**. Editora LTC. Rio de Janeiro, 2009. 241 p.

Sistema CAD SolidWorks. Manual online e tutoriais. 2009.

Sistemas CAD/CAE/CAM NX6 PLM Siemens. Manual Online e tutoriais. 2009.

THK, Catálogo online. Disponível em: https://tech.thk.com/en/products/pdf/en_a15_030.pdf. Acesso em: 17/nov/2011.

COMPARATIVE STUDY OF COMPUTER SYSTEMS SIMULATION AND ANALYSIS OF BUCKLING IN MECHANICAL DESIGN OF A LINEAR MOTION UNIT

Abstract: *In this article, has been explored the analysis capabilities of the CAE system SolidWorks and NX 6 CAE system from Siemens PLM Software. For this purpose, was used as a study case, a load of buckling in a linear motion unit. The results presented in this work were compared with other reference, calculated from manufacturer catalog.*

Key-words: *Buckling. CAD/CAE system. Linear motion unit.*