

Análise de um componente estrutural de uma carroceria de caminhão pelo método dos elementos finitos

Analysis of a structural component of a truck body by the finite element method

RESUMO

A logística do transporte de matéria prima florestal no Brasil é feita quase que exclusivamente pelas redes rodoviárias. A carroceria dos caminhões utilizados nesse transporte consiste em fueiros (ou “estacas”). Apesar da ampla utilização dessa configuração de carroceria, são verificados casos de deformações plásticas na estrutura. Com objetivo de compreender melhor o comportamento nessa situação e assim conseguir propor uma solução, desenvolveu-se o presente trabalho. Utiliza principalmente do MEF (Método dos elementos Finitos). Para a viga falhar de forma estática é necessário um esforço superior a 17 kN, enquanto o máximo exigido seria de 5 kN. A falha dinâmica ocorre a uma tensão de aproximadamente 700 MPa próxima aos resultados obtidos, que chegam a 687 MPa. Constata-se uma estrutura superdimensionada para esforços estáticos e subdimensionada para dinâmica. O estudo ainda indica uma maneira para realizar uma otimização.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem. Dinâmica Estrutural. Convergência.

Matheus Vicente Pereira
Matper.2016@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

Rodrigo Villaca Santos
rodrigov@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

The Brazilian forest raw material market has a great influence on the economy of the country. The logistics of transporting these forest inputs are done almost exclusively by road networks. The body of the trucks used in this transport is the stanchion. Despite the widespread use of this body configuration, cases of plastic deformation of the structure are found. In order to better understand the behavior in this situation and thus be able to propose a solution, the present work was developed. It mainly uses the FEM (Finite Element Method). Is necessary a strain more than 17 kN for the beam to fails while the maximum required was 5 kN. The dynamic failure occurs with a 700 MPa tension, close to the obtained results, that are up to 687 Mpa. There is an oversized structure for static efforts and undersized for dynamics. The study even indicates a way to perform an optimization.

KEYWORDS: Modeling. Structural Dynamics. Convergence.

INTRODUÇÃO

O mercado de matéria prima florestal brasileiro tem grande influência na economia do país. A logística do transporte destes insumos florestais é feita quase que exclusivamente pelas redes rodoviárias. A carroceria dos caminhões utilizados nesse transporte é o fueiro [1].

Esta geometria de carroceria é muito eficiente, e por isso amplamente utilizada. Porém ainda apresenta falhas estruturais. Surge então a necessidade de aprimorar, de compreender esta falha, para desenvolver uma solução.

Como métodos numéricos são mais viáveis para análise em geometrias complexas. E atualmente, o mais difundido, tanto pela disponibilidade de softwares no mercado quanto pela flexibilidade de uso, é o Método dos Elementos Finitos (MEF), este será utilizado.

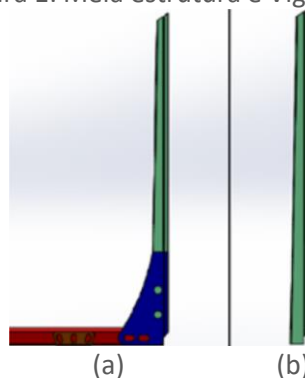
O MEF é uma resolução numérica onde o domínio é dividido em um número finito de subdomínios interligados por pontos nodais. Foi desenvolvido para análise de meios contínuos o que permite analisar a maior parte dos sistemas físicos. Esse método abrange desde problemas de estática até problemas de análise dinâmica estrutural [2].

O objetivo é realizar análises estruturais do comportamento da estrutura, desenvolvendo modelos para descrever esses com base na realidade, utilizando o MEF como principal ferramenta e, então comparar resultados obtidos com literaturas para validar o método e identificar a causa da falha. O trabalho viabiliza a aprimoração da estrutura.

MATERIAIS E MÉTODOS

Buscando coerência, o projeto é baseado em processos iterativos. Onde ao final de cada passo é validada a resposta, comparando ao comportamento real e analítico. Foi utilizado nas análises o software Ansys 19.1 modelo de 2019. Inicialmente, um modelo geométrico de fueiro típico no transporte de madeiras brutas foi elaborado utilizando o software SolidWorks 2018. Para facilitar processamento foram propostas duas geometrias simplificadas como ilustrado na figura 1. A figura 1 (a) representa a metade da estrutura. E a figura 1 (b), apenas a viga principal.

Figura 1: Meia estrutura e Viga simples.



Fonte: Autoria Própria 2018.

Essa geometria foi implementada no Ansys, e em seguida foi gerando a malha já no software Ansys 19.1. A geração automática não foi suficiente,

sendo necessários alguns refinamentos posteriores, minimizando distorções grosseiras entre elementos, assim como limitando o tamanho máximo e mínimo dos mesmos. A mão francesa (vista na figura 1(a) unindo as vigas) e a viga principal (Figura 1 (b)) receberam tratamentos especiais de malha. Em ambos os casos, aplicou-se um método que forçou a predominância de elementos hexaédricos nas peças. Isso se deve pela não conformidade dessas peças, que apresentam geometrias pouco uniformes. [3] Para a validação, foi escolhido a ferramenta de Element Quality, que avalia o elemento entre 0 a 1, sendo que o zero indica que o elemento possui volume zero ou negativo e o valor de número um indica um cubo perfeito. Grande parte dos elementos são predominantemente hexaédricos e possuem qualidade superior a 0,63, indicando uma malha confiável [4].

O contato tipo bonded (sem movimento), foi escolhido para todas as regiões pois em nenhuma há graus de liberdade. [5]

O material para o estudo de caso foi definido como o aço Strenx700. O aço possui uma tensão de escoamento mínima de 700 Mpa, sendo comum em estruturas que exigem alta rigidez e peso reduzido. [6]

Este trabalho foi desenvolvido utilizando duas abordagens: a análise estática e a análise dinâmica explícita.

A análise estática se baseia em um modelo matemático aproximativo, onde considera uma aplicação gradual de forças, desprezando forças de inercia e amortecimento. Variando apenas com a rigidez do elemento e seu deslocamento. A rigidez em geral não é constante e varia de acordo com o elemento utilizado (malha). [2]

As condições de contorno básicas do estudo de caso são fixação da estrutura na carroceria do caminhão florestal e a carga aplicada na extremidade da viga principal (variando sua direção). A carga na extremidade é escolhida para trazer resultados críticos.

O provável causador da falha na estrutura é a garra da grua florestal responsável pela manipulação da madeira para carregar a carroceria e que, em alguma condição adversa, pode chocar-se com a extremidade da viga principal (o caso crítico).

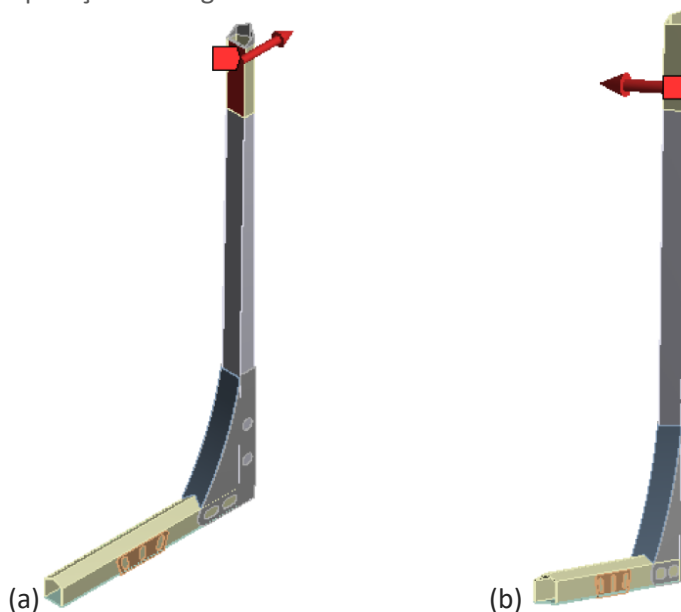
Os modelos de guas florestais variam conforme a aplicação, podem ser de 500kg para alcance máximo (grupos menos robustos) até 4 toneladas para guas estacionárias. [7] Para o estudo a magnitude da carga aplicada ao modelo foi estimada até o limite de escoamento do material. (Figura 2).

Há, também, diferentes modelos de garras que podem variar de 1370 mm a 2000 mm de comprimento de abertura [7] sendo que uma média desses valores foi usada para estimar a área de contato da carga na viga principal.

Na análise estática, foram considerados dois casos principais. No primeiro, a carga aplicada tende a 'abrir' a estrutura como ilustra a figura 2(a) (no sentido transversal da careceria) e no segundo, a carga tende a torcer os componentes como na figura 2(b) (sentido longitudinal à carroceria).

A condição de fixação (fixed support) está localizada no empalme da meia estrutura que representa a fixação na carroceria. Além disso, a condição de suporte aplicada a região simplificada, é o frictionless support (a face de aplicação do suporte é impedida de se movimentar na sua direção normal). Este tipo de fixação se aplica bem para geometrias que podem ser simplificadas devido a sua simetria.

Figura 2: Aplicação da carga no sentido transversal e no sentido longitudinal.



Fonte: *Autoria Própria* 2018.

Para a análise dinâmica, a formulação matemática desta análise é representada pela Equação (1).

$$Mx'' + Cx' + Kx = F \quad (1)$$

Sendo M a massa do elemento, C o amortecimento, K a matriz de rigidez e F a força resultante.

Essa equação é resolvida a cada incremento de passo de tempo e podem ser resolvidas basicamente a partir de algoritmos implícitos ou explícitos. No primeiro caso, a equação do movimento é avaliada no final do passo de tempo atual (t_{n+1}) e no algoritmo explícito a equação é avaliada explicitamente no passo de tempo atual (t_n) [2,8].

A solução explícita é condicionalmente convergente e busca estabilidade de solução. Para isso, exige incrementos de passos extremamente pequenos. Apesar disso, a matriz de resolução é mais simples e o resultado mais estável além de ser amplamente usado para estudos da dinâmica de colisões. [8] Portanto, uma análise de dinâmica explícita foi adotada para este estudo de caso. Para essa análise utiliza-se o Ansys mechanical/LS Dyna.

Torna-se inviável a verificação do amortecimento na estrutura, portanto, baseado em análise estrutural por conservação de energia usamos o coeficiente de amortecimento igual a zero, Equação (2). Essa simplificação é válida se analisa-se a eminência da falha (antes que ocorra), pois a deformação nessa etapa é elástica e podendo aproximar a uma conservação de energia [9].

$$Mx'' + Kx = F \quad (2)$$

Como a rigidez do acoplamento entre as vigas (mão francesa) é alto, é esperado resultados similares em casos de geometria completa ou apenas a viga engastada. Análises preliminares confirmam nossa hipótese. Como a viga utilizada sozinha (Figura 1(b)) exige menos processamento, é utilizada para as análises dinâmicas que possuem algoritmos mais complexos.

As condições de contorno são similares as adotadas na análise estática, com exceção da força aplicada, que não é definida como um parâmetro de entrada. Define-se uma massa, velocidade e geometria determinada para um objeto que colide com a viga. A geometria foi simplificada a um cilindro e a massa utilizada como uma média de 2000 kg.

Na estimativa da velocidade que o corpo atingirá a estrutura, foi considerado um movimento combinado do braço do guindaste, resultada pelo momento de giro e uma força dinâmica, causada pelo movimento da garra similar a um pêndulo. Para efeito de cálculo a força dinâmica foi aproximada a um pêndulo simples, mesmo idealizado se aproxima do comportamento real e pode ser equacionado [10].

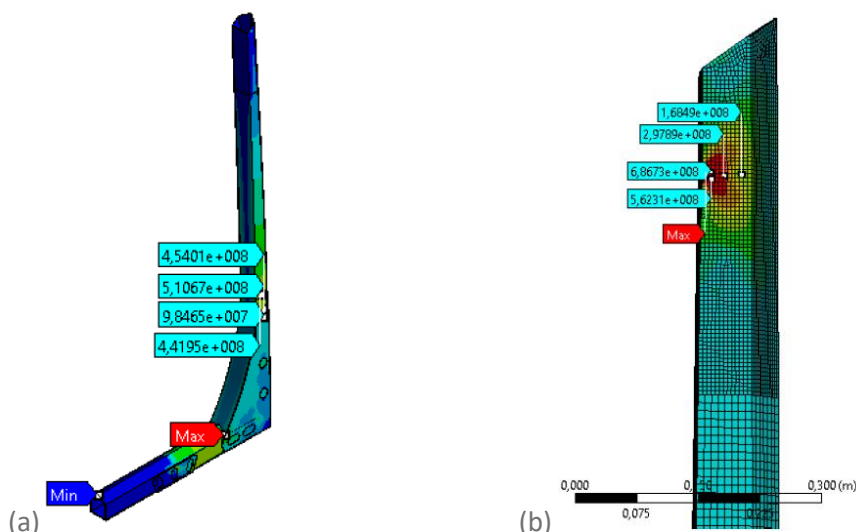
A velocidade final do corpo que colide é uma soma vetorial das velocidades de giro do guindaste e do movimento da garra (pêndulo). Calcula-se a partir da aceleração da grua, do tempo e do ângulo de impacto [10].

Para medir o tempo final e obter uma base de comparação qualitativa, desenvolveu-se um programa computacional, utilizando conceitos das referências [9] e [10]. Iniciando por um cálculo aproximado do nosso momento de inércia, e inserindo ele na (equação 2). Detalhes do programa não entram no escopo deste trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da estática são vistos na figura 3 (a e b). Ela mostra distribuição de tensão nas simulações através das quais foi possível verificar os esforços máximos da estrutura na eminência da falha, que foram de 17 kN. E de 23 kN para esforço apenas no sentido transversal.

Figura 3: Tensão equivalente para esforços estático e dinâmico em MPa.



Fonte: Autoria Própria 2019.

A simulação foi modelada para uma situação específica, como foi descrito. Portanto, os resultados não se aplicam a todas as condições, mas é possível perceber comportamentos interessantes, e uma boa aproximação. Obtém-se a tensão equivalente na viga, que é o principal dado da tensão em função do

tempo. Pode-se verificar que a tensão máxima atingida ao filtrar resultados está em torno de 600MPa, bem próximo ao limite do material.

CONCLUSÕES

Pode-se perceber que esforços para ocorrência de falha na estática são extremos, concluindo que a falha provavelmente será vinculada a dinâmica. As solicitações na dinâmica estão abaixo da resistência da estrutura, porém não tão distantes e se consideramos algumas possíveis incertezas no método precisa-se de um erro de 14,3% para chegar a uma falha.

A partir dos dados, observa-se uma elevação da tensão até próximo do tempo final adquirido nos cálculos, seguido de uma queda de tensão ao passar deste ponto. Uma informação vital para indicar coerência na simulação, e descartando a necessidade de uma análise exclusiva para cada ponto.

Ainda o caso avaliado foi pontual e ao variar alguns parâmetros pode-se identificar causadores de falha, mas o principal objetivo (a validação do método), acredita-se ter sido alcançado. É possível usar essa mesma metodologia para chegar a resultados e identificar causadores de falha

Por fim pode-se formular o MEF através do Princípio de Deslocamento virtual. E uma solução através de teorias de conservação de energia, para comparação com resultados obtidos e obter uma otimização. Seguindo as ideias desse método podemos equacionar a partir de energia acumulada uma igualdade para a tensão ao longo da viga, melhorando-a para esforços dinâmicos. Conforme a metodologia do presente trabalho verificar sua consistência para a estática, conseguindo uma geometria aprimorada para a aplicação desejada [9].

REFERÊNCIAS

- [1] SEIXAS, FERNANDO. Novas Tecnologias no Transporte Rodoviário de Madeira.
- [2] LIMA SORIANO H. , Elementos Finitos - Formulação e Aplicação na estática e dinâmica de estruturas. 2009
- [3] SOUZA LOURENÇO GIL F. Análise da Qualidade de malha de elementos finitos e validação de situação de caso real de viga biapoada. Teste de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.
- [4] ANSYS – **Manual Ansys 19.1** – 2019.
- [5] ANSYS - **Ansys Mechanical Structural Nonlinearities** - 2018
- [6] SSAB - **Material Strenx 700** - 2018, disponível em: <<https://www.ssab.com/products/brands/strenx/products/strenx-700>> acesso em: 15 nov. 2018
- [7] SAUR – **Gruas Florestais** – 2018, disponível em: <<https://www.saur.com.br/pt/florestal/gruas-florestais>> acesso em: 18 nov. 2018
- [8] APARICIO SÁNCHEZ, C.A. Estudo de Impacto Usando Elementos Finitos e Análise Não Linear. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade São Paulo, 2001.
- [13] HIBBELER R. C. , Resistência dos Materiais. 2010
- [14] RAO SINGIRESU - Vibrações Mecânicas - 2009