

Análise estática e otimização de um componente de caminhão usando o método dos elementos finitos

Static analysis and optimization of a truck component using finite element method

RESUMO

A alta representatividade do mercado brasileiro no setor madeireiro é justificada pela grande demanda principalmente pela indústria de papel e celulose. Devido à grande dependência do sistema rodoviário, o escoamento de madeira bruta é realizado quase que exclusivamente por meio de caminhões tipo fueiro florestal. Portanto, é necessário que, visando rendimento energético e otimização da logística do transporte, as estruturas dos componentes dos caminhões florestais sejam aprimoradas. Para isso é importante garantir tanta otimização de massa total quando o aumento do volume útil (na carroceria do caminhão) no transporte da matéria-prima. É neste contexto de otimização que o presente trabalho é desenvolvido. Atualmente, em projetos preliminares de engenharia, são usados *softwares* de assistência tanto a concepção de um novo modelo geométrico (CAD) bem como a verificação de sua capacidade estrutural (CAE). Assim sendo, foi proposto um estudo de caso modelado tridimensionalmente e validado sua rigidez estrutural utilizando o método numérico dos elementos finitos. Adiante, dentro do contexto de aprimoramento estrutural, foi utilizada a ferramenta de otimização por parâmetros geométricos sendo evidenciada sua grande relevância na melhoria das estruturas sob carregamento estático.

PALAVRAS-CHAVE: Caminhões. Método dos Elementos Finitos. Otimização Paramétrica.

ABSTRACT

The high representativeness of Brazilian Market in the wood sector is justified by the high demand mainly in the paper and pulp industry. Due to the high road system dependency, the wood transport in the country is by wood transport trucks with vertical beams. Therefore, it is necessary the components of the truck's structure be improved aiming energy efficiency and transport logistics optimization. Then, it is important ensure the total mass optimization as well the growth of useful volume (in the truck's bodywork) using in the raw material transportation. In this optimization context the current article is developed. Currently, it is used in engineering preliminary projects, aiding softwares to get a new geometrical concept model (CAD) and to verify its structural capability (CAE). Therefore, it was proposed a case study modeled in three dimensions and after that it was verified its structural capability by using the finite element method. And then, seeking out the structural improvement, it was used an optimization using various geometrical parameters to show your high relevance in the structural optimization under static loading.

KEYWORDS: Trucks. Finite Element Method. Parametric Optimization.

Giovanni Mantovani
gmantovani@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.



INTRODUÇÃO

A matéria prima florestal, especificamente no transporte madeireiro, possui grande relevância no cenário do mercado brasileiro. A dependência do sistema rodoviário representa 61% da logística do transporte nacional. Além disso, há restrições regidas pelo Conselho Nacional de Trânsito que determinam a legislação dos caminhões madeireiros. Sabe-se também, que o tipo mais comum e eficiente para suprir as necessidades do transporte madeireiro é o caminhão com carroceria tipo fueiro florestal.

Esse tipo de carroceria consiste em fueiros verticais os quais abrigam madeiras brutas posicionadas na direção longitudinal do caminhão. Estes fueiros (vigas verticais) são estruturas solicitadas constantemente além de representar uma massa excessiva na carroceria. Em problemas reais de engenharia como este, há inúmeros métodos numéricos para respostas aproximadas. Atualmente o mais difundido, tanto pela disponibilidade de *softwares* no mercado quanto pela flexibilidade do uso, é o método dos elementos finitos (MEF).

Este método garante bastante interação entre a modelagem 3D (*Computer Aided Design*) e na validação numérica da capacidade estrutural de um componente (*Computer Aided Engineering*). É por isso que atualmente existem plataformas integras CAD/CAE com foco na otimização de modelos geométricos.

O completo estudo abordará um problema real de engenharia, com foco no estudo da estática das estruturas utilizando o Método dos Elementos Finitos bem como a utilização das suas ferramentas de otimização (considerando parâmetros geométricos).

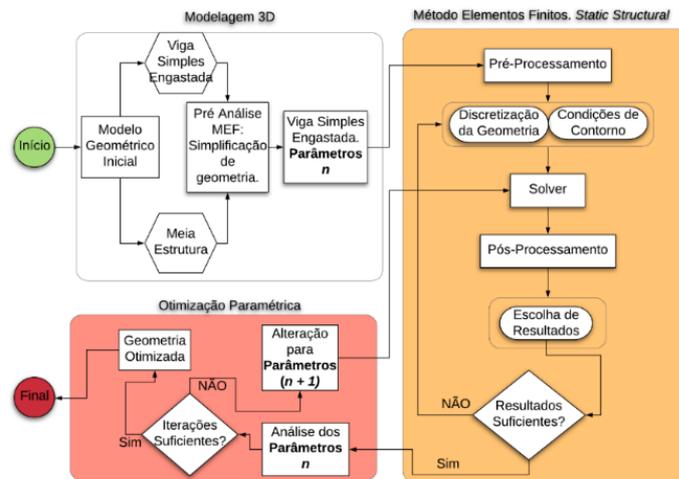
MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho será desenvolvido em duas grandes etapas. Na primeira, haverá um comparativo entre duas geometrias simplificadas submetidas a cargas estáticas, como ilustra a etapa de modelagem 3D na Figura 1. Neste comparativo, a primeira simplificação considera apenas metade da estrutura da Figura 2. A segunda simplificação é máxima possível, representando apenas a viga principal. Nesse primeiro momento o objetivo será validar a segunda simplificação para usá-la na próxima etapa. Essa última etapa consistirá na otimização da estrutura validada usando variação de parâmetros de entrada e saída da simulação numérica.

Um modelo geométrico inicial desse estudo de caso foi proposto e está ilustrado pela Figura 2, utilizando o *software SolidWorks 2018®*. Vale ressaltar que a seção transversal da viga principal varia ao longo de seu comprimento e possui massa inicial de 32,96kg.

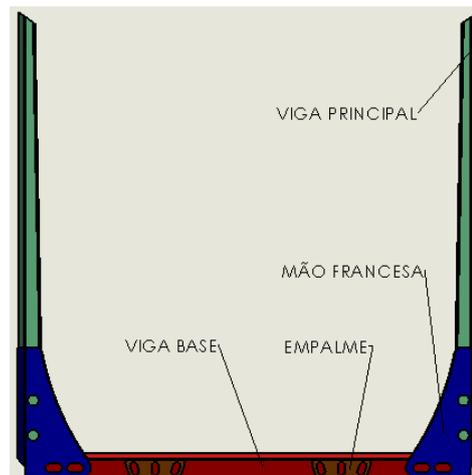
Para todo o trabalho será utilizado o método dos elementos finitos (MEF) como ferramenta numérica. O método consiste na subdivisão do problema contínuo (o modelo geométrico tridimensional) em pequenos elementos unidos entre si por pontos nodais (a chamada “malha de elementos”).

O Figura 1 – Fluxograma do projeto



Fonte: Autoria própria

Figura 2 – Estrutura completa inicial do estudo de caso



Fonte: Autoria Própria

Na etapa de pré-processamento do MEF, como ilustra a Figura 1, foi definido o material *Strenx 750* para todos os modelos. Em seguida, a malha de elementos foi gerada seguindo um critério de avaliação de qualidade denominada *Element Quality*. O critério avalia cada elemento conforme sua regularidade a qual indica maior precisão de resultados. Seguindo no pré-processamento, foi definida a carga envolvida (na parte superior da viga principal) de 23 kN, suficiente para causar dados permanentes na estrutura. Após o processamento inicial, utilizando o software *Ansys 19.0*[®], é executado o algoritmo de solução (*Mechanical APDL*) para resolução do problema estático.

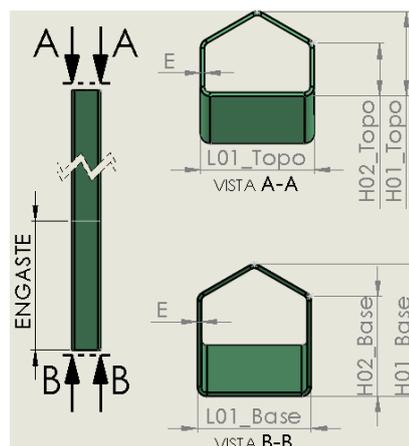
No pós-processamento do MEF, os resultados são escolhidos conforme a necessidade e então avaliados. Para o primeira grande etapa de comparação, o principal resultado de saída (*output*) avaliado foi a tensão equivalente de von-Misses. Esta tensão é a representação da combinação de tensões aplicadas nos elementos e é utilizada como critério de falha estática. Como a carga aplicada será

no topo da viga principal, haverá um deslocamento significativo no mesmo. Por isso, o segundo *output* é a deflexão direcional na viga principal.

Na segunda etapa do projeto, é proposto uma otimização estrutural, visando estudar a sua viabilidade somente na viga principal. A otimização consiste em determinar condições em que certas grandezas (físicas ou geométricas) podem atingir valores extremos. Existem otimizações referentes a parâmetros, otimização de formas e otimizações topológicas. O presente trabalho será delimitado pela otimização determinada por parâmetros (ou otimização paramétrica).

Nesse tipo de otimização é necessário criar um conjunto de dados (*Design of Experiments - DOE*) onde cada linha (*Design Point - DP*) representa um conjunto de parâmetros geométricos de entrada (*inputs*) e parâmetros de saída (*outputs*). Baseado no comportamento de vigas em balanço, foram selecionados *Inputs* que influenciam significativamente na rigidez estrutural (Figura 3). Além disso, foram considerados os *Outputs* de massa total da viga e a deflexão da mesma sob carregamento estático. No estudo, foram gerados 51 *Design Points* auxiliado pelo software *DesignXplorer*[®] (integrado ao *Ansys19.0*[®]).

Figura 3 – Parâmetros geométricos de entrada (*Inputs*)



Fonte: Autoria Própria

Ainda na segunda etapa, foram propostos dois casos para a otimização na estrutura. O primeiro considera que o parâmetro “ENGASTE” (Figura 3) se mantém fixo nos *Design Points* e o segundo o mesmo parâmetros se torna variável. Isso se deve pela influência deste parâmetro sobre a mão francesa (pois alterará suas dimensões) do restante da estrutura.

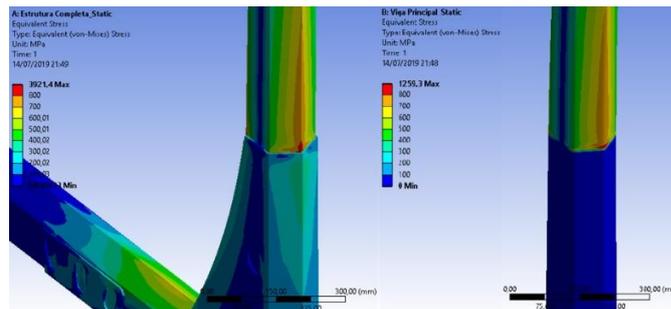
Após os *Design Points* definidos os dados serão tratados estatisticamente pelo método de *Spearson*, o qual organiza os dados em ordem seletiva. A partir do método é elaborada uma matriz de correlação entre com todos os parâmetros escolhidos no estudo. Por exemplo, uma alteração do parâmetro “E” (espessura da chapa) irá alterar significativamente a massa total do componente (*output*).

Após o tratamento de dados e a matriz de correlação, serão estabelecidos os objetivos a serem alcançados na otimização paramétrica. Foram definidos a redução máxima possível da massa dentre todos os *DPs* disponíveis. Além disso, foi determinado que a deflexão máxima mantivesse a mesma do modelo inicial não otimizado. Por fim, o software restringe apenas três candidatos a solução dentre os *Design Points* disponíveis sendo necessário uma análise final.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Percebe-se na Figura 4 o comportamento em forma de cunha semelhante na região próxima a fixação da viga principal. Sendo que entre o intervalo de 700 e 800 Mpa ocorre o escoamento do material avaliados pela tensão equivalente de von-Misses. Portanto, é correto afirmar que outros componentes da montagem não possuem interferência significativa na viga principal. E, por fim, a segunda simplificação possui confiabilidade para restringir a otimização na mesma.

Figura 4 – Tensão equivalente de von-Misses compartilhado entre duas estruturas



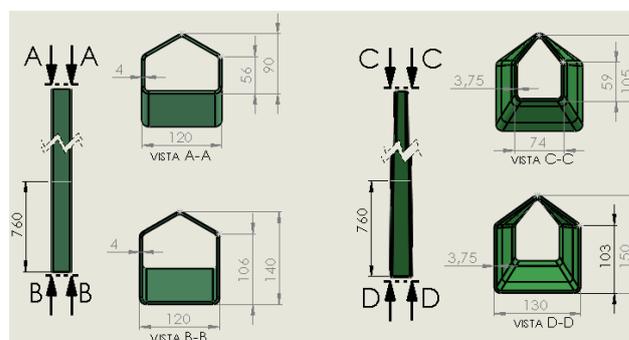
Fonte: Autoria Própria

Em seguida, foi analisada a deflexão máxima atingida pela viga principal (devido a carga de 23 kN) atingindo 83.491mm.

Na segunda grande etapa do projeto, a de otimização, foram validados os *Inputs* e *Outputs* na viga principal. Primeiramente foram obtidas as matrizes de correlação para os casos citados anteriormente. Foram evidenciados a forte relação entre o parâmetro “E” (Figura 3) e massa total da viga. Além disso, os parâmetros que representam a largura da seção transversal (“L01”) mostraram influência menor (mas significativa) no aumento de massa. Porém, ambos os parâmetros apresentaram influencia semelhante na deflexão total da viga.

Em seguida, dentre todos os 51 *Design Points*, foram obtidos os três candidatos obtidas pela otimização do *software DesignXplorer®*. Por fim, houve a adequação manual desses candidatos conservando certos parâmetros e alterando alguns quando necessários. Os valores finais da otimização paramétrica e sua representação geométrica estão ilustrados na Figura 5.

Figura 5 – Geometria final após otimização



Fonte: Autoria própria

CONCLUSÃO

Foi possível, a partir do conjunto de ferramentas numéricas, obter redução considerável de massa da viga principal. Sendo que o componente inicial possuía o equivalente a 32,96 kg, foi possível reduzir para 29,34 kg (equivalendo a 11% de redução ou ganho líquido de 3,62kg). Vale ressaltar ainda que caminhões convencionais possuem em média 6 conjuntos com 2 vigas principais cada. Isso pode representar um ganho líquido por carroceira de mais de 44 kg. Além disso, a deflexão estática (após a otimização) manteve-se muito próxima do inicial resultando no valor de 83,36 mm.

Deve ser reconhecido que a capacidade deste tipo de otimização é restringida pelo número de *DPs* disponíveis e a relevância dos parâmetros de entrada e saída. Há, também, restrições quanto a fabricação do modelo final tanto pelo maquinário disponível quanto pela matéria-prima no mercado (como disponibilidade de espessuras de chapas de tamanhos específicos).

Finalmente, é evidenciado que o método dos elementos finitos aplicados à otimização paramétrica possuiu ótima compatibilidade com a teoria de vigas em balanço. Isso é evidenciado pela ótima distribuição de massa (e consequentemente do momento de inércia) dos perfis da base e do topo na viga. Portanto, é possível concluir que, a partir do tratamento dos parâmetros dos *Design Points* e um estudo comparativo numérico (ferramentas integradas CAD e CAE) de estruturas similares é possível ter redução significativa de massa sem a perda de rigidez estrutural.

REFERÊNCIAS

HIBBELER R.C. **Resistência dos Materiais**. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 2000.

LIMA SORIANO H, **Elementos Finitos** - Formulação e Aplicação na estática e dinâmica de estruturas, 2ª ed. São Paulo: Científica Moderna, 2009.

APARICIO SÁNCHEZ, C.A. **Estudo de Impacto Usando Elementos Finitos e Análise Não Linear**. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade São Paulo, São Paulo, 2001. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18135/tde-27072001-083441/pt-br.php>

SAITOU, K; IZUI, K; NISHIWAKI, S.; PAPALAMBROS, P. **A Survey of Structural Optimization in Mechanical Product Development**. Journal of Computing and Information Science in Engineering. 2005.