

APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA ANÁLISE ESTRUTURAL EM UMA COLHEDORA DE CAFÉ

EVANDRO P. DA SILVA¹, FÁBIO M. DA SILVA², RICARDO R. MAGALHÃES³

¹ Eng^o Industrial Mecânico, Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras- MG, Fone: (0xx37)8419.0875, evandro@unilavras.edu.br.

² Eng^o. Agrícola, Professor Doutor, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras-MG.

³ Eng^o. Mecânico, Professor Doutor, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras-MG.

Apresentado no
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

RESUMO: Concentração de tensão e grandes deslocamentos são problemas habituais encontrados nos componentes da estrutura de máquinas agrícolas a exemplo de colhedoras de café, sendo que o método de elementos finitos (MEF) pode ser uma ferramenta para minimizar seus efeitos. O objetivo deste trabalho é obter resultados de tensões e deslocamentos em uma estrutura de máquina colhedora de café, usando MEF para a simulação estática. As principais partes analisadas da estrutura da colhedora de café foram: chassi motor, corpo lados direito e esquerdo, dianteiro e traseiro, trave principal, reservatório de café, rodas e tanque de combustível. Dois conceitos diferentes do projeto da colhedora foram analisados (estrutura com rodas traseiras alinhadas e desalinhadas) e os resultados foram comparados. Observou-se que o modelo com rodas traseiras desalinhados mostrou deslocamento máximo menor do que o modelo com rodas traseiras alinhadas. Embora a maior tensão foi encontrada nas rodas traseiras desalinhados, observou-se que tensões médias para a concepção rodas desalinhadas eram mais baixas na maior parte dos componentes estruturais analisados. Com base nos resultados do MEF, a máquina colhedora de café com rodas traseiras desalinhados foi construída e submetida a testes operacionais sem apresentar qualquer falha estrutural.

PALAVRAS-CHAVE: concentração de tensões, deslocamentos, simulação estática.

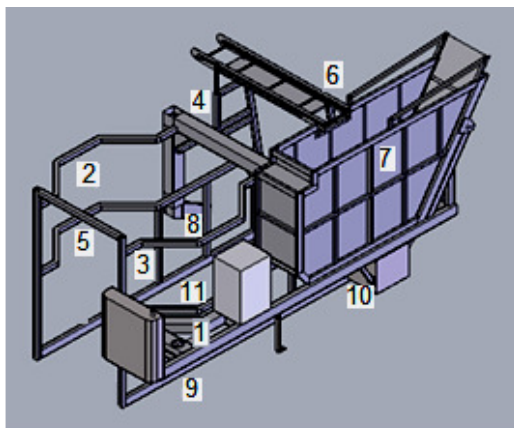
APPLICATION OF FINITE ELEMENTS METHOD FOR STRUCTURAL ANALYSIS IN A COFFEE HARVESTER

ABSTRACT: Stress concentration and large displacements are usual problems in the components of the structure of agricultural machinery such harvesters coffee, and that finite element method (FEM) can be a tool to minimize its effects. The goal of this paper is to get results of stresses and displacements of a coffee harvester structure by using FEM for static simulation. The main parts of the coffee harvester analysed were: engine frame, body right and left sides, front and rear end, main beam, coffee reservoir, wheels and fuel tank. Two different design concepts of a coffee harvester machine were analysed (structure with rear wheels aligned and misaligned) and the results were compared. It was observed that the model with rear wheels misaligned showed maximum displacement lower than the model with rear wheels aligned. Although higher stress was found in the rear wheels misaligned, it was observed that average stresses for the misaligned wheels design were lower in most structural components analysed. Based on FEM results, the coffee harvester machine with misaligned rear wheels was built and subjected to operational tests without showing any structural failure.

KEYWORDS: stress concentration, displacements, static simulation.

INTRODUÇÃO: a mecanização na colheita de café tem sido justificada no aspecto técnico e econômico, decorrente de máquinas eficientes que proporcionam maiores rendimentos na colheita. Com o uso de simulação numérica nestes tipos de máquinas pode-se prever o seu comportamento, a fim de reduzir o risco na tomada de decisão, identificar problemas antes que eles ocorram e reduzir os custos com protótipos. A necessidade de melhorias constantes em colhedoras de café, tornando-as mais eficientes para atender a produtos com qualidade, pode afetar a sua estrutura física comprometendo a segurança, o que justifica o uso de ferramentas numéricas na fase de desenvolvimento do projeto. Este trabalho tem como objetivo obter resultados de tensões e deslocamentos por meio de análises estáticas da estrutura de uma máquina colhedora de café, considerando-se duas situações que são: máquinas com rodas traseiras alinhadas e desalinhadas. As análises estáticas foram realizadas utilizando o método de elementos finitos (MEF). O MEF é um método usado principalmente na análise de tensões e vibrações e também em problemas envolvendo transferência de calor, mecânica dos fluidos e outras aplicações (KNIGHT, 1993). O MEF é baseado na suposição de que o deslocamento de cada um dos elementos pode variar dentro de uma estrutura analisada (Magalhaes ET AL., 2012). Este método tem uma boa concordância com os resultados experimentais (HAN ET AL, 2010, HE ET AL, 2010). Recentemente, o MEF tem sido utilizado na Engenharia Agrícola (MAGALHAES ET AL, 2006; CELIK ET AL, 2011; NILNONTA ET AL, 2012; LI ET AL, 2013). Usando MEF para a estrutura da máquina em análise, foi possível gerar valores de tensões e deslocamentos para ambas as situações, o que permitiu a escolha de concepção adequada para os componentes estruturais da máquina colhedora de café.

MATERIAL E MÉTODOS: a estrutura da colhedora de café analisada foi projetada e estaticamente simulada usando o software comercial SolidWorks®. A Figura 1 mostra o modelo CAD com a vista isométrica da estrutura original e cada elemento identificado.



Legenda: 1.Chassi do motor, 2.Lateral direita, 3.Lateral esquerda, 4.Trave principal, 5.Frente, 6.Traseira, 7.Reservatório de café, 8.Roda traseira direita, 9.Roda guia, 10.Roda traseira esquerda, 11.Tanque de combustível.

FIGURA 1. Modelo CAD da estrutura original da máquina colhedora de café.

De modo a simular diferentes condições de trabalho na máquina, duas situações foram utilizadas:

- *Design A*: reservatório café completo e rodas traseiras alinhadas;
- *Design B*: reservatório café completo e rodas traseiras desalinhadas.

O material utilizado foi o aço ASTM A36 para as partes estruturais e aço inoxidável AISI 304 para o tanque de combustível. As cargas externas que atuam na estrutura da máquina foram definidas com base no próprio peso de cada componente, considerando as densidades dos fluidos que fazem parte do sistema. Além do peso dos componentes, simulações foram executadas levando-se em consideração as cargas de contato entre seus componentes, conforme tabela 1.

TABELA 1. Cargas aplicadas na estrutura da máquina por componente.

Componente	Carga (N)	Componente	Carga (N)	Componente	Carga (N)
Tanque de diesel cheio	1440	Bateria	400	Componentes das rodas	2580
Radiador cheio	500	Reservatório de óleo hidráulico	630	Painel e cadeira	1800
Reservatório de café cheio	15600	Pistões hidráulicos	1250	Vibradores e suas estruturas	9400
Motor diesel principal	5000	Calhas	4150	Esteiras transportadoras	4500

A criação da malha de elementos finitos foi executada a partir do modelo CAD de cada componente estrutural da máquina colhedora de café. Finalmente, o software SolidWorks® foi provido com as informações de materiais, cargas e tipos de contato entre componentes para a simulação. Com o auxílio do software, os resultados de tensões máximas e médias de Von Mises (VM) e deslocamentos máximos foram obtidos, levando-se em consideração o modelo CAD da estrutura com rodas traseiras alinhadas (*Design A*) e desalinhadas (*Design B*).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: a figura 2 apresenta um comparativo entre os resultados de tensões máximas e médias de VM para os dois tipos de estudos (*Design A* e *Design B*).

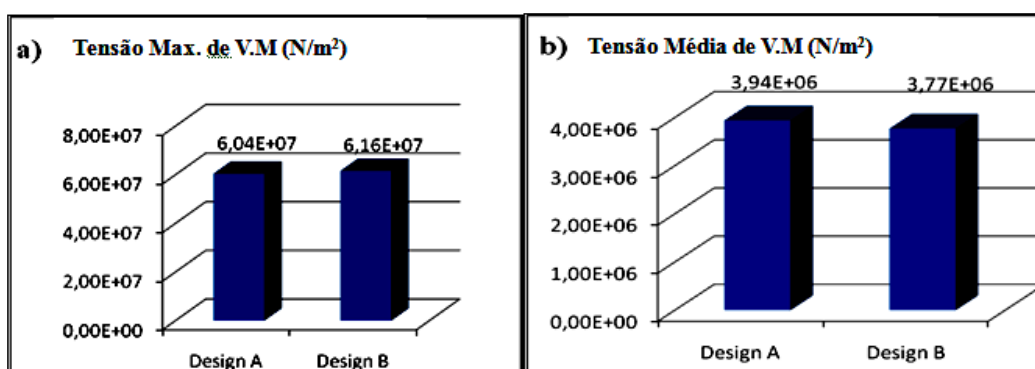


FIGURA 2. a) Tensões máximas de VM; b) Tensões médias de VM.

Apesar projeto B apresentar maiores tensões máximas de VM (Fig. 2a), observou-se que a tensão média de VM foi mais baixa (Fig.3b) para o *design B* em relação ao *design A*, demonstrando melhor distribuição de tensões para a estrutura com rodas traseiras desalinhadas, com redução de 4,5% das tensão média VM. É importante enfatizar que o maior valor encontrado de tensão máxima de VM ($6,16 \times 10^7 \text{ N/m}^2$) está abaixo do valor da tensão limite de escoamento do material definido para a estrutura ($25 \times 10^7 \text{ N/m}^2$), o que garante um bom fator de segurança para o projeto.

A figura 3 mostra os valores de deslocamentos máximos no *design A* em comparação com o *design B*. Observa-se ainda, na figura 3, menores valores de deslocamento máximo no projeto com rodas traseiras desalinhadas (*design B*) com um percentual de redução de aproximadamente 12% em relação ao *design A*.

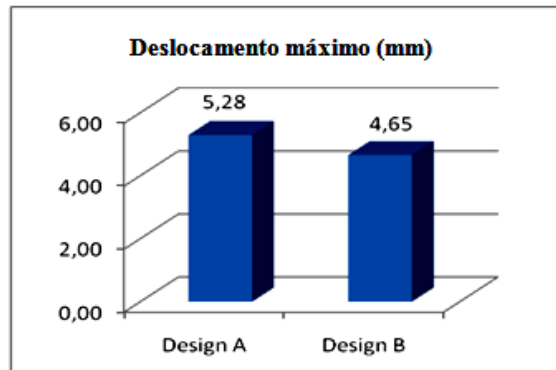


FIGURA 3. Deslocamento máximo para o *design* A e para o *design* B.

CONCLUSÕES: os resultados mostraram que a tensão máxima de Von Mises para a estrutura da máquina com rodas traseiras desalinhadas foi de $6,16 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ contra $6,04 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ para a estrutura da máquina com rodas traseiras alinhadas, o que representou uma diferença de 1,9%. Apesar do *design* com as rodas traseiras desalinhadas ter apresentado maiores tensões máximas de VM, observou-se uma redução de 4,5% em termos de tensões média VM. O *design* B apresentou menores valores de deslocamento máximo na estrutura comparado com as rodas traseiras alinhadas o que proporciona melhor equilíbrio estrutural. Com base nos resultados obtidos por meio das simulações numéricas, optou-se pela construção da máquina seguindo o conceito das rodas traseiras desalinhadas e a colhedora de café foi construída e submetida a testes operacionais sem apresentar falhas estruturais em campo.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem a empresa Vetor pelo apoio técnico e financeiro e CAPES/CNPQ pelo apoio financeiro para o desenvolvimento deste projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- CELIK H.K.; RENNIE A.E.W; AKINCI I. (2011). **Deformation behaviour simulation of an apple under drop case by finite element method.** J. Food Eng. 104: 293-298.
- HAN J.N.; CHO N.J.; CHAE S.W.; CHOI Y. (2010). **Stress analysis of ventilated brake discs using the finite element method.** Int. J. Automot. Technol. 11(1): 133-138.
- HE B.; WANG S.; GAO F. (2010). **Failure analysis of an automobile damper spring tower.** Eng. Fail. Anal. 17(2): 498-505.
- KNIGHT C.E. (1993). **The finite element method in mechanical design.** PWS-Kent, Boston.
- LI Z.; LI P.; YANG H.; LIU J. (2013). **Internal mechanical damage prediction in tomato compression using multiscale finite element.** J. Food Eng. 116(3):639-647.
- MAGALHAES A.C.; TEIXEIRA M.M.; COUTO S.M.; RESENDE R.C. (2006). **Modelagem de máquina pneumática colhedora de frutos de café em terreno usando análise por elementos finitos.** Eng. Agric. 26(2): 483-492.
- MAGALHAES R.R.; FONTES C.H.; MELO SABV. (2012). **Failure analysis and design of a front bumper using finite element method along with durability and rig tests.** Int. J. Veh. Des. 60(1/2): 71-83.
- NILNONTA W.; THEPAA S.; JANJAIB S.; KASAYAPANANDA N. (2012). **Finite element simulation for coffee (Coffea arabica) drying.** Food Bioprod. Process. 90: 341-350.