

## **PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE UM CAFEIEIRO UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS**

**ENIO DE A. CARVALHO<sup>1</sup>, RICARDO R. MAGALHÃES<sup>2</sup>, FLÁVIA R. ANDRADE<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Eng<sup>o</sup>. Agrícola, Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras-MG, Fone: (0xx35)9869.7730, [enioac@yahoo.com.br](mailto:enioac@yahoo.com.br).

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup>. Mecânico, Professor Doutor, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras-MG.

<sup>3</sup> Graduando em Eng. de Controle e Automação, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras-MG.

Apresentado no  
XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015  
13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro – SP, Brasil

**RESUMO:** Prever o comportamento mecânico de máquinas agrícolas via simulação numérica vem se tornando uma prática comum na engenharia. Existem vários programas comerciais de análise numérica para este fim, que são programas de elementos finitos com capacidade de simular falhas em componentes, amplamente utilizados na indústria e no meio acadêmico. A utilização destes programas em novas aplicações é de grande interesse tecnológico e científico. O objetivo deste trabalho é a utilização do Método dos Elementos Finitos (MEF) para a avaliação do comportamento mecânico de um cafeeiro, que podem apresentar problemas de desfolhamento e quebra excessiva de ramos durante a colheita manual, mecanizada e semi-mecanizada. Levando-se em consideração pesquisas realizadas na área, há poucos estudos que possibilitam prever o comportamento mecânico de materiais biológicos por meio de simulações numéricas usando o MEF para simular o comportamento estático de um cafeeiro. Por meio dos resultados das simulações numéricas, utilizando a modelagem tridimensional de um cafeeiro, foi possível prever tensões, deformações e deslocamentos de tronco e galhos. Com isso, o meio industrial pode ser beneficiado com melhorias no processo de colheita do café e o meio acadêmico, por novas pesquisas em simulações de materiais biológicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cafeeiro, Análise estrutural, Método dos Elementos Finitos.

### **STRUCTURAL BEHAVIOR PREDICTION OF A COFFEE TREE USING FINITE ELEMENT METHOD**

**ABSTRACT:** Coffee trees can present structural problems such as excessive defoliation and breaking branches during semi-mechanized and mechanized harvesting. Taking into account researches conducted in the area, there are few studies that perform numerical simulations to predict the mechanical behavior of biological materials, more specifically, in coffee trees. The main objective of this study is modeling a coffee tree to evaluate its mechanical behavior by using the Finite Element Method (FEM). The presented work includes modeling, numerical simulations using FEM and experimental tests. The main purpose is to create a FEM model based on a real coffee tree and experimental data for stress analysis evaluation. Results of numerical simulations using three-dimensional modeling of a coffee tree may contribute to the development of new technologies in solid mechanics. Thus, industries may be benefited from improvements in the mechanical harvesting process of coffee and new researches in biological materials simulations can be conducted.

**KEYWORDS:** Coffee tree, Structural analysis, Finite Element Method.

**INTRODUÇÃO:** Simulações numéricas auxiliadas pelo Método dos Elementos Finitos (MEF) são comuns para prever o comportamento mecânico de materiais metálicos, não metálicos e materiais orgânicos (CELIK et al, 2011; LI et al, 2013; NILNONTA et al, 2012; SILVA et al, 2014). Programas comerciais de simulação numérica podem prever resultados de testes físicos com resultados satisfatórios. Portanto, a simulação numérica é uma ferramenta básica para engenheiros e

pesquisadores que tratam diretamente os problemas que enfrentam na indústria e na academia. Existem estudos publicados para determinar as propriedades mecânicas do café (MARIJA et al, 2012; NEDOMOVÁ et al, 2013; OLUKUNLE e AKINNULLI, 2012), mas o uso do MEF para esta aplicação ainda é incipiente, o que justifica a necessidade de mais pesquisas na área. Com base nisso, o presente trabalho tem como objetivo mostrar o processo de modelagem de um cafeeiro usando um *scanner* 3D e um software livre para a realização de simulações numéricas, o que pode contribuir significativamente para o desenvolvimento de novas tecnologias na área.

**MATERIAL E MÉTODOS:** A estrutura de um cafeeiro, ou seja, tronco e galhos, foram geometricamente modeladas utilizando um software livre (Blender®). A partir de amostras de árvores de café, duas principais propriedades mecânicas (módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson) foram obtidas a partir de testes de compressão em uma máquina universal de ensaios. Outros testes laboratoriais puderam identificar a densidade e a umidade das amostras. Como metodologia de trabalho, a modelagem matemática da árvore seguiu alguns procedimentos que incluíram o corte da árvore, a desfolha e a secção da árvore em dimensões pré-determinadas. Primeiramente as partes do tronco e galhos da árvore foram digitalizadas separadamente (Figura 1). Após a digitalização das partes do tronco e galhos, as mesmas foram unidas e modeladas no software Blender® (Figura 2).

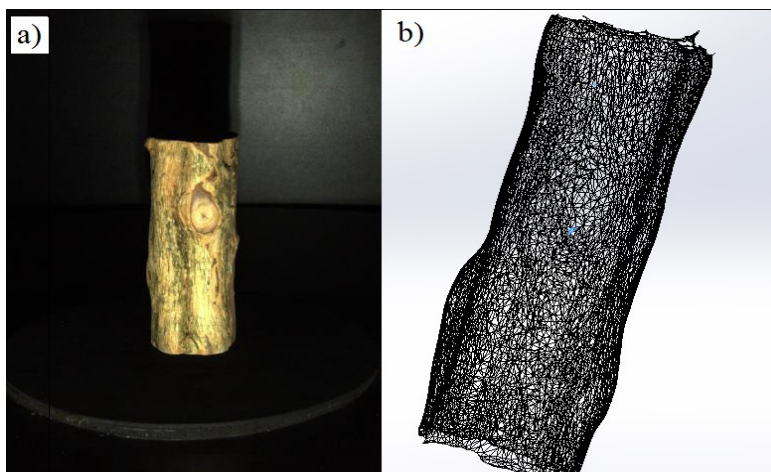


Figura 1. a) Parte de um tronco digitalizado de um cafeeiro; b) Tronco modelado no software Blender®

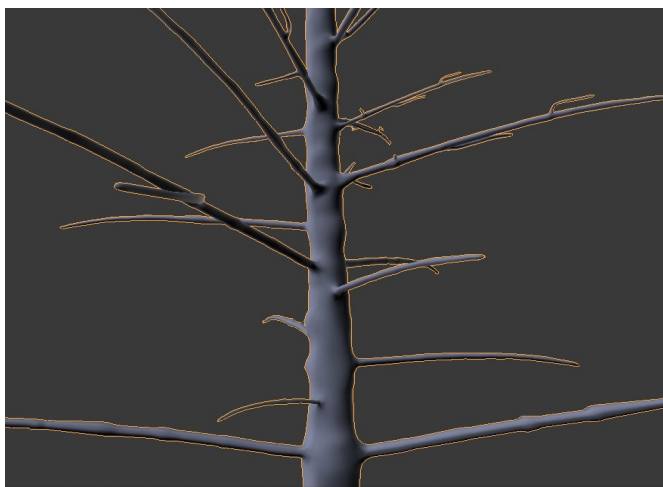


Figura 2: Geometria da árvore de café

O passo seguinte foi a discretização do modelo geométrico e a criação da malha 3D do cafeeiro (Figura 3-a). Além disso, foi aplicada a fixação do modelo na região de contato com o solo (Figura 3-b). A malha foi construída por elementos de tetraédricos, totalizando 87.007 nós e 50.527 elementos.

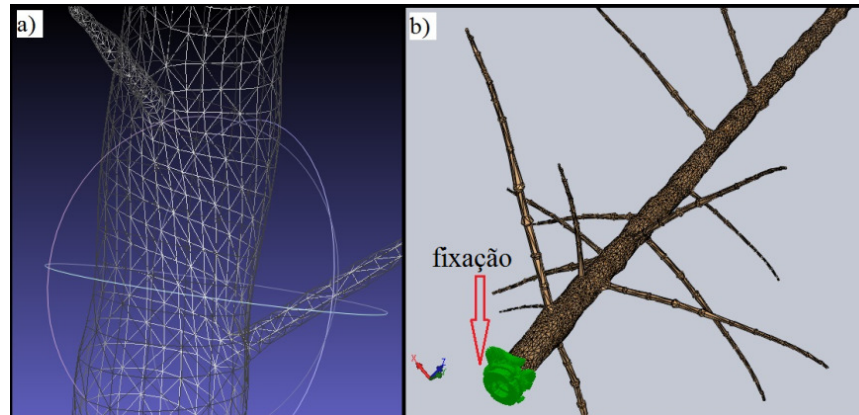


Figura 3: a) Malha 3D da árvore de café; b) Fixação das cargas.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Para fins de simplificação, considerou-se o cafeeiro nas simulações como sendo um material linear, homogêneo e isotrópico. Com base nisso, ensaios de compressão utilizando amostras de um cafeeiro foram realizados de acordo com a norma NBR 7190 (ABNT, 1997), a fim de determinar o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson. As amostras foram confeccionadas com seção transversal de  $20 \times 20 \text{ mm}^2$  e 60 mm de comprimento. A Figura 4 mostra uma amostra antes e depois do ensaio de compressão e o respectivo gráfico carregamento versus deformação.

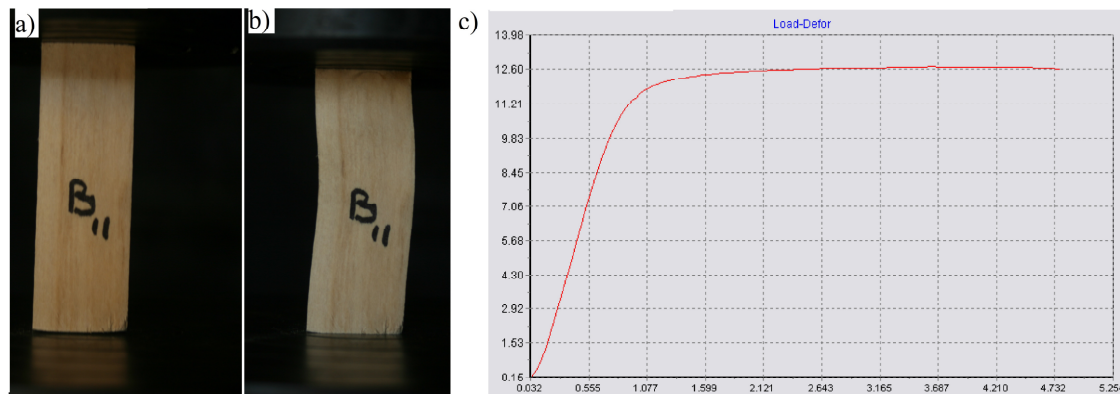


Figura 4: Amostra a) antes do teste de compressão; b) depois do teste de compressão; c) gráfico: carga (kN) vs. deformação (mm)

Com base nos resultados experimentais, o modelo do MEF foi criado, contendo as propriedades do material e as simulações foram realizadas via programa comercial Solidworks®. A Figura 5 mostra os resultados das simulações com uma carga estática de 1 N aplicada em um galho. Essa carga representa o valor mínimo aproximado para a força de desprendimento dos frutos de café de acordo com as experiências realizadas por Silva et al. (2010).

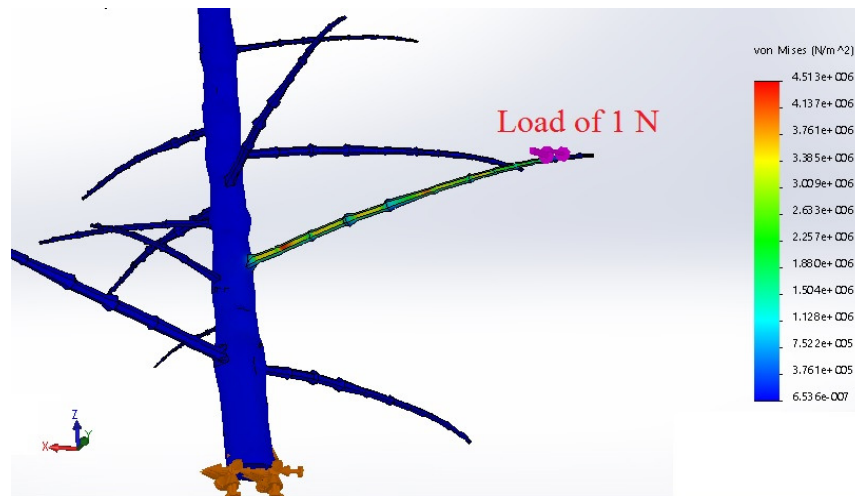


Figura 5: Resultados de tensões de Von Mises via MEF.

**CONCLUSÕES:** O modelo geométrico de um cafeeiro foi obtido a partir de uma planta real. A modelagem geométrica e a análise de tensões da planta foram realizadas via simulação numérica, demonstrando a potencialidade do MEF aplicada à cafeeiros.

**AGRADECIMENTOS:** Este projeto foi parcialmente financiado pela CAPES, CNPq e Fapemig.

## REFERÊNCIAS

- ABNT, 1997. Projeto de estruturas de madeira. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, NBR 7190, 107 p.
- CELIK, H.K.; RENNIE, A.E.W.; AKINCI, I., 2011. Deformation behaviour simulation of an apple under drop case by finite element method. *Journal of Food Engineering*, Vol.104, p. 293-298.
- LEE, J.H.; LEE, B.S.; AU, F.T.K.; ZHANG J.; ZENG, Y., 2012. Vibrational and dynamic analysis of C60 and C30 fullerenes using FEM. *Computational Materials Science*, Vol. 56, p. 131-140.
- LI, Z.; LI, P.; YANG, H.; LIU, J., 2013. Internal mechanical damage prediction in tomato compression using multiscale finite element. *Journal of Food Engineering*, Vol.116, n.3, p.639-647.
- MARIJA, R.J.; NATALIJA, R.D.; BILJANA, R.C.; SLAVICA, G.; BOZANA, O., 2012. Changes of physical properties of coffee beans during Roasting. *Acta periodica technologica*, Vol.43, p. 21-31.
- NEDOMOVÁ S.; TRNKA, J.; STOKLASOVÁ, P.; BUCCHAR, J., 2013. Strength of coffee beans under static and dynamic loading. *Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis*. Vol. LXI, 743-749.
- NILNONTA *et al*, 2012. Finite element simulation for coffee (*Coffea arabica*) drying. *Food Bioprod. Process.*, Vol.90, p. 341-350.
- OLUKUNLE, O.J.; AKINNULLI, B.O., 2012. Investigating Some Engineering Properties of Coffee Seeds and Beans. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*, Vol.3, n.5, p. 743-747.
- SILVA, E.P.; SILVA, F.M.; MAGALHÃES, R.R., 2014. Application of Finite Elements Method for Structural Analysis in a Coffee Harvester. *Engineering*, Vol.6, n.3, p.138-147.
- SILVA, F.C.; SILVA, F.M.; ALVES, M.C.; BARROS, M.M.; SALES, R.S., 2010. Comportamento da força de despreendimento dos frutos de cafeeiro ao longo do período de colheita. *Ciência & Agrotecnologia*, Vol. 34, n. 2, p.468-474.