

ANÁLISE ESTRUTURAL DA TOMADA DE POTÊNCIA DE UM TRATOR ELÉTRICO VIA SOFTWARE (ANSYS).

**JENYFFER DA S. G. SANTOS¹, FABRICIO COLOMBO DE ALMEIDA²,
GUILHERME PINSORF VITAL LINS³, JOSIANE A. OLIVEIRA⁴,
ALFEU JOÃOZINHO SQUAREZI FILHO⁵, DANIEL ALBIERO⁶.**

1 Doutoranda em Engenharia Agrícola, UNICAMP, (81)98359-9811, jnfgomes@gmail.com

2 Graduando em Engenharia Agrícola, UNICAMP, (11)95034-8217, f169098@dac.unicamp.br

3 Graduando em Engenharia Agrícola, UNICAMP, (11)99713-0126, g155633@dac.unicamp.br

4 Graduanda em Engenharia Agrícola, UNICAMP, (16)98153-2693, j175168@g.unicamp.br

5 Prof. Doutor, UFABC, alfeu.sguarez@ufabc.edu.br

6 Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Agrícola, UNICAMP, (85)99239-8250, dalbiero@unicamp.br

Apresentado no
LI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2022
27 a 29 de outubro de 2022 - Pelotas - RS, Brasil

RESUMO: O trator tem um papel fundamental na agricultura, atuando em atividades agrícolas como colheita, semeadura, preparo do solo, etc. A tomada de potência (TDP), por sua vez é composta de um eixo rotativo que têm a função de transmitir potência do motor para o acionamento de implementos e máquinas agrícolas acoplados ao trator. Este artigo contribui para o desenvolvimento de um trator elétrico voltado para agricultura familiar analisando estruturalmente sua TDP através do método dos elementos finitos. Para isso, inicialmente foi selecionado um material adequado, considerando características de dureza, plasticidade, e custo benefício. Depois de realizados os procedimentos de análise estrutural estática dentro de software Ansys, obteve-se as informações referentes à tensão e deformação que a TDP é submetida quando determinado torque é aplicado, e assim analisou-se o melhor material para suportar o torque e a rotação exigido no campo.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura familiar, Análise estrutural, Tomada de potência.

STRUCTURAL ANALYSIS OF THE POWER TAKE-OFF OF AN ELECTRIC TRACTOR VIA SOFTWARE (ANSYS).

ABSTRACT: The tractor plays a fundamental role in agriculture, acting in agricultural activities such as harvesting, sowing, soil preparation, etc. The power take-off (PTO), in turn, is composed of a rotating shaft that has the function of transmitting engine power to drive implements and agricultural machinery coupled to the tractor. This paper contributes to the development of an electric tractor aimed at family agriculture by structurally analyzing its PTO through the finite element method. For this, initially a suitable material was selected, considering characteristics of hardness, plasticity, and cost benefit. After performing the static structural analysis procedures within the Ansys software, it was obtained the information regarding the stress and strain that the PTO is subjected when a certain torque is applied, and thus the best material to support the torque and rotation required in the field was analyzed.

KEYWORDS: Family farming, Structural analysis, Power take-off.

INTRODUÇÃO: A tomada de potência (TDP) é um eixo com estrias localizado na parte posterior dos tratores, responsável por transferir a potência do motor em forma de torque e rotação para o acionamento de máquinas e implementos (ROSA, 2019). Este acionamento é normalmente realizado por sistemas mecânicos e hidráulicos, porém a necessidade de reduzir as emissões de poluentes impulsiona o desenvolvimento de alternativas sustentáveis, como a utilização de componentes elétricos para o acionamento destas máquinas (MOLINA et al. 2018; SOARES, 2015). Por meio deste artigo, foi realizada a análise estática estrutural da TDP de um trator elétrico voltado para a agricultura familiar em desenvolvimento, através do método dos elementos finitos no software Ansys para aferir se a mesma suporta o torque necessário para operação em campo.

MATERIAL E MÉTODOS: De acordo com a norma da ASABE EP 496, calculou-se que o torque necessário para acionar um implemento, no caso uma roçadeira, acoplado à TDP do trator seria igual à 318 Nm. A seleção do material foi definida com base em características desejadas, como resistência, plasticidade, soldabilidade, custo-benefício entre outros (ASHBY, 2012). Ainda de acordo com o autor, para o projeto de engenharia essas propriedades mecânicas são de importância primordial, tanto para conseguir caracterizar o material, quanto para execução do projeto em si. O material escolhido para a TDP foi o Aço SAE 4140 por apresentar ótimo custo-benefício, plasticidade e soldabilidade, apresentando grande capacidade de absorção de impacto, sem perder a dureza (RENIUS, 2019). As principais propriedades mecânicas do aço SAE 4140 são ilustradas na tabela a seguir:

Tabela 1 – Principais propriedades mecânicas do Material

Módulo de elasticidade	190 GPa
Coefficiente de Poisson	0,27
Alongamento até a ruptura	15%
Tensão de escoamento	415 Mpa
Tensão de ruptura	655 Mpa

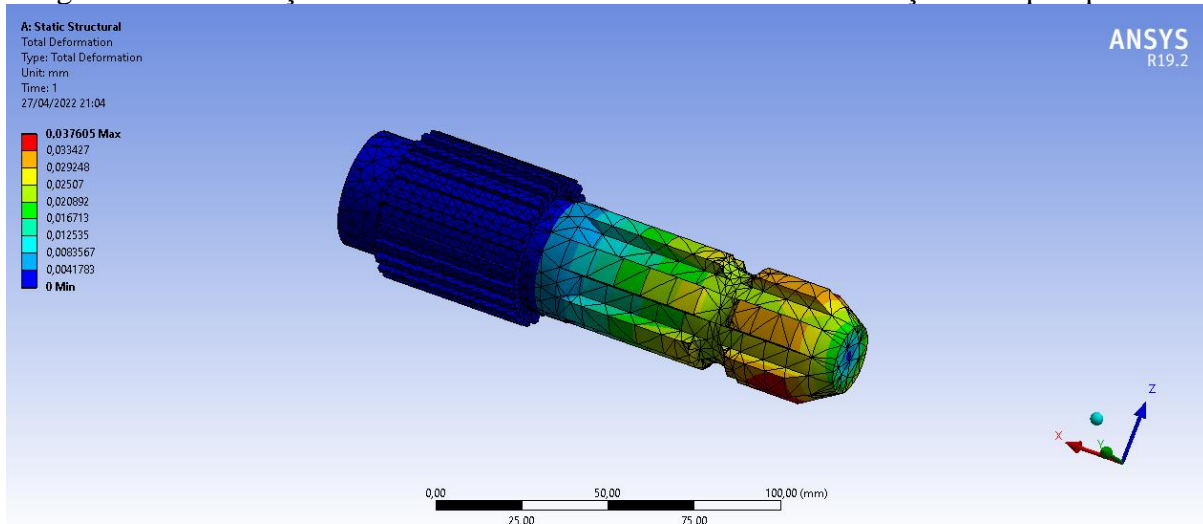
O método dos elementos finitos (MEF) foi utilizado para fazer a análise estrutural da peça, em software CAE. No âmbito da engenharia de estruturas o MEF tem como objetivo a determinação do estado de tensão e de deformação de um sólido sujeito a ações exteriores (AZEVEDO, 2003). Este método tem como ideia central a subdivisão da geometria em elementos menores de geometrias simples, interligados entre si por pontos denominados nós que formam elementos e uma malha, denominada malha de elementos finitos (SORIANO, 2003). O sistema se subdivide em elementos menores de modo que a partir dos nós a estrutura inteira é modelada (BARROSO et al, 2015). A partir da análise de elementos finitos, foram realizadas as seguintes atividades:

- **Pré-processamento:** Tratamento da geometria; Discretização da geometria (colocação de malhas); Descrição do material selecionado; Apresentação das condições de contorno.
- **Processamento:** Cálculo numérico através do software CAE;
- **Pós-processamento:** Análise dos resultados das simulações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Estabelecidas as análises a serem realizadas, tendo definido o torque exigido na TDP de 318 Nm, pode-se observar através de simulações no software

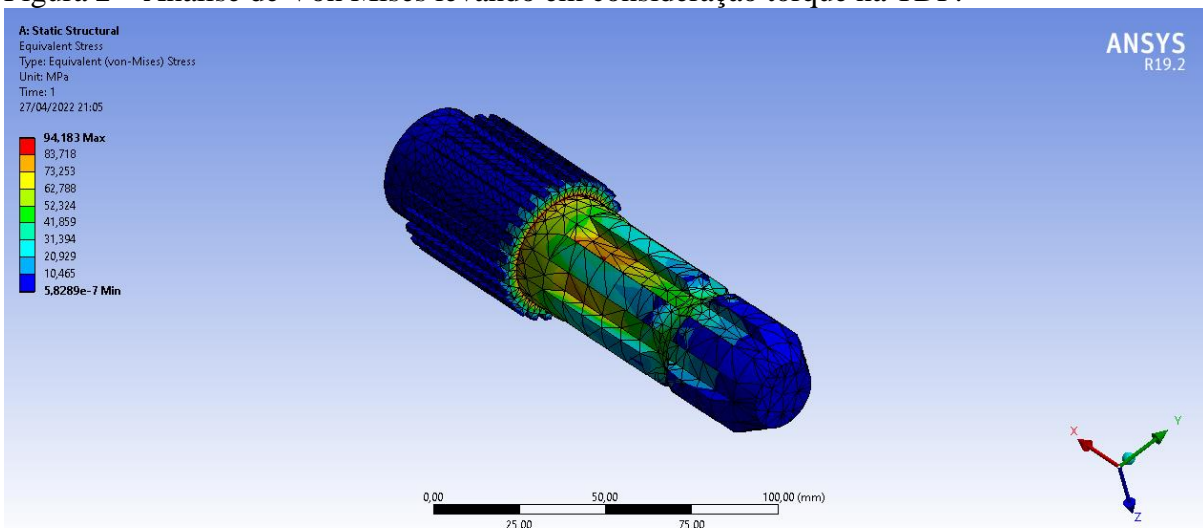
ANSYS as deformações que ocorrem na TDP, sendo registrado como maior deformação 0,038 mm (Figura 1). Também foi possível determinar a deformação em cada eixo coordenado: no eixo x a deformação foi de 0,02 mm, no sentido positivo com relação a TDP; no eixo y a deformação foi de 0,0031 mm no sentido positivo da TDP; no eixo z a deformação foi de $5,80 \cdot 10^{-4}$ mm para o torque aplicado na TDP.

Figura 1 – Deformação máxima total da TDP levando em consideração o torque aplicado.



A análise de Von Mises, analisa o estado plano de tensão do elemento e o compara com as tensões de escoamento do material, dessa forma pode-se verificar os indícios de escoamento do material selecionado para a TDP. A Figura 2 apresenta a tensão de Von Mises total da estrutura, dessa forma é possível observar que a tensão máxima registrada na TDP foi de 94,18 Mpa.

Figura 2 – Análise de Von Mises levando em consideração torque na TDP.



Por fim os resultados obtidos a partir das análises foram compilados na Tabela 2 a fim de se analisar a rigidez estrutural, segurança e confiabilidade.

Tabela 2 – Resultados compilados para as simulações do torque necessário na TDP

Análises/Forças Aplicadas	Simulação para solicitação de torque na TDP
Tensão equivalente de Von Mises [MPa]	94,18
Deslocamento máximo equivalente [mm]	0,038
Deslocamento direcional x [mm]	0,0016
Deslocamento direcional y [mm]	0,034
Deslocamento direcional z [mm]	$4,64 * 10^{-5}$
Fator de segurança para escoamento	4,41

Analisando os dados da Tabela 2, é possível observar que o comportamento obtido para a TDP, na aplicação do torque de 318 Nm atinge tensões baixas quando comparadas com a tensão de escoamento do Aço SAE 4140 (415 MPa), significando que em condições estáticas de funcionamento há um alto coeficiente de segurança, identificando assim que a TDP apresenta rigidez satisfatória. Com relação a análise de deslocamento compreende-se que o material a ser utilizado apresenta resistência, conseguindo recebê-lo sem causar nenhum tipo de dano à estrutura.

CONCLUSÕES: Baseado nas análises feitas, foi considerado que a TDP atende aos requisitos, apresentando resistência às tensões e deslocamentos aos quais serão submetidas, significando assim que a análise preliminar da integridade e rigidez da TDP pôde ser considerada aprovada para a ativação da tomada de potência do trator.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem a Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa – Fundep Rota 2030/Linha V, processo: 27192.03.01/2020.13-00 pelo apoio financeiro oferecido.

REFERÊNCIAS:

- ASAE EP496.3. **Agricultural Machinery Management**. 2006.
- ASHBY, M. F. **Seleção de materiais no projeto mecânico**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 673 p.
- AZEVEDO, A. F. M. **Método dos Elementos Finitos**. 1. ed. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003. 248 p.
- CABRAL, R. F. **Estudo da microestrutura e da microdureza dos aços 1020 e 1060**, Volta Redonda UniFOA, 2014.
- CELIK, H. KURSAT, RECEP CINAR, GOKHAN KUNT, ALLAN E.W. RENNIE, MEHMET UCAR and IBRAHIM AKINCI. **Finite Element Analysis of a PTO Shaft Used in an Agricultural Tractor**, Akdeniz, 2018.
- MOLINA, H; NUÑEZ, A; LLITERA, L; MÁ, A. SANCHEZ, A. **Generador de energia eléctrica abordo, para maquinaria agrícola**. Tucuman, 2018.
- RENIUS, Karl Theodor. **Fundamentals of Tractor Design**. 1 ed. Baldham: Springer, 2019. 297 p.
- SORIANO, H. L. **Método de Elementos Finitos em Análise de Estruturas**. São Paulo, 2003.