

ESTUDO DA VIABILIDADE DE MODIFICAÇÃO ESTRUTURAL NO PIVÔ INFERIOR DIANTEIRO DA MANGA DE EIXO DA RETROESCAVADEIRA CASE 580N PARA AUMENTO DE LUBRIFICAÇÃO¹

Wesley Lúcio da Silva²

Luiz Augusto Ferreira de Campos Viana

RESUMO

O trabalho trata da análise da viabilidade de modificação estrutural no pivô inferior dianteiro da manga de eixo da retroescavadeira CASE 580N, utilizando como ferramenta a aplicação do método dos elementos finitos (MEF), em uma análise de tensões de von Mises, através do *software Autodesk Inventor 2019* versão estudante, na modelagem 3D do componente. A modificação tem como objetivo o aumento de fluxo de fluido lubrificante para a área de contato, diminuindo o desgaste do sistema. Para realização da modelagem tomou-se como exemplo um modelo real dos componentes envolvidos. Para fins de comparação, realizou-se a análise para os componentes em estado original e modificado. As análises resultaram em um fator de segurança mínimo que poderia ser aplicado de 8,84, para os componentes originais, e 8,86 para os modificados, evidenciando que a modificação não compromete estruturalmente os componentes

Palavras-chave: Pivô inferior. Modelagem 3D. CASE 580N. Elementos Finitos.

STUDY OF THE FEASIBILITY OF STRUCTURAL MODIFICATION IN THE LOWER FRONT KING PIN OF THE STEERING KNUCKLE OF THE CASE 580N BACKHOE TO INCREASE LUBRICATION

ABSTRACT

The work deals with the analysis of the feasibility of structural modification in the lower front king pin of the steering knuckle of the CASE 580N backhoe, using as a tool the application of the finite element method (FEM), in a von Mises stress analysis, through software Autodesk Inventor 2019 student version, in 3D modeling of the component. The modification aims to increase the flow of lubricating fluid to the contact area, reducing system wear. To carry out the modeling, a real model of the components involved was taken as an example. For comparison purposes, the analysis was carried out for the components in the original and modified state. The analyzes resulted in a minimum safety factor that could be applied of 8,84 for the original components and 8,86 for the modified ones, showing that the modification does not structurally compromise the components.

Keywords: King pin. 3D Modeling. CASE 580N. Finite Elements.

¹ Como citar este artigo:

SILVA, Wesley Lúcio da; VIANA, Luiz Augusto Ferreira de Campos. Estudo da viabilidade de modificação estrutural no pivô inferior dianteiro da manga de eixo da retroescavadeira case 580N para aumento de lubrificação. *ForScience*, Formiga, v. 13, n. 2, e001201, jul./dez. 2025. DOI: 10.29069/forscience.2025v13n2.e1201.

² Autor para correspondência: Wesley Lúcio da Silva, e-mail: wesleyluciosilva@hotmail.com

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos trinta anos houve um aumento significativo no número de estudos científicos voltados para o campo de otimização estrutural, alavancados pelo desenvolvimento computacional e de métodos de programação e elementos finitos no campo da matemática. Entretanto, esses métodos são utilizados com maior frequência em áreas que requerem alta acurácia, segurança e precisão, como as indústrias aeronáuticas, aeroespaciais, nucleares, navais e petrolíferas (LEGNANI *et al.*, 2000).

Segundo Batista, Brant e Vimieiro (2012), com o avanço da tecnologia e do desenvolvimento de novos *softwares*, a aplicação de melhorias e otimizações em componentes mecânicos tem ganhado espaço e notoriedade, com aplicação em parâmetros limitantes, como dimensionamento, peso, resistência, tensões e custos, requerendo conhecimentos teóricos numéricos e físicos no processo de modelagem do problema.

Para validação de uma nova estrutura mecânica, em termos de confiabilidade, segurança, economia e desempenho, priorizando o melhor, o engenheiro tem como ferramenta a aplicação da otimização de estruturas (ZARICHTA; CARDOSO, 2003).

O presente trabalho apresenta uma análise da viabilidade de uma modificação estrutural no pivô inferior dianteiro da manga de eixo da retroescavadeira CASE 580N, que tem como finalidade proporcionar o aumento de lubrificação, reduzindo assim o desgaste que ocorre nos elementos envolvidos no local de atuação do componente, que dentre as denominações conhecidas, podem ser caracterizados como o mancal da rótula, rótula de contato angular, a qual é prensada juntamente com outro elemento, que é o pivô inferior dianteiro (peça catalogada com o código 122264A1).

A motivação da escolha deste tema partiu do conhecimento de uma modificação realizada em um componente da retroescavadeira CASE 580N, o pivô inferior dianteiro da manga de eixo, por mecânicos de máquinas pesadas na cidade de Iguatama-MG, para aumento de lubrificação no sistema.

O trabalho é importante porque investiga estruturalmente uma modificação que propicia um aumento de lubrificação em um sistema que gera atrito e desgaste em seus componentes.

Mostrando-se favorável a investigação quanto a estrutura dos componentes, a contribuição do presente trabalho apresenta-se como um passo para a validação de um novo formato estrutural, que propicia o aumento de lubrificação, e consequentemente maior vida útil para o conjunto dos componentes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MEF - Método dos Elementos Finitos

O método dos elementos finitos é utilizado para muitas aplicabilidades, como tensões, deformações, impactos, fraturas, entre outros, em diferentes estruturas e componentes. Essa ferramenta torna-se necessária para análise em componentes de geometria complexa, quando não é possível a solução por meio de métodos analíticos (JUVINALL; MARSHEK, 2000).

De acordo com Filho (2007), o método dos elementos finitos pode ser entendido como uma simulação técnica de um meio sólido, líquido ou gasoso, onde o mesmo é dividido em pequenos elementos (retas ou formatos geométricos), que são conectados entre si por nós. As equações utilizadas neste tipo de análise são para elementos infinitesimais, o que justifica a dimensão pequena dos elementos, mas o tempo necessário para análise requer que os elementos sejam finitos, sendo que quanto menor forem os elementos, e consequentemente em maior quantidade, maior precisão haverá na análise.

Conforme relata Juvinal e Marshek (2000), com o apoio de um *software*, é possível seguir alguns passos para realização de uma análise pelo método dos elementos finitos. Iniciando pela divisão do componente em análise em partes discretas (malha de discretização), definição para cada elemento das propriedades físicas específicas, justaposição das matrizes de rigidez dos elementos, aplicação das cargas conhecidas nos nós, definição dos apoios do componente, resolução do sistema de equações de forma simultânea e o cálculo das tensões de cada elemento, em que todas essas etapas se resumem de forma básica em discretização e aproximação.

2.2 Tensão equivalente de von Mises

Para realização da análise de tensões por meio do Método dos Elementos Finitos, o *software Autodesk Inventor* calcula, entre outras, a Tensão Equivalente de von Mises.

De acordo com Norton (2013), com relação a falha de materiais dúcteis sob carregamento estático, os materiais dúcteis rompem se tensionados estaticamente acima de suas tensões limite de ruptura, mas quando aplicados em peças mecânicas falham quando escoam sobre carregamento estático, em que o fato de a peça falhar não significa que a peça se rompeu. Para análise de tal situação a aplicação da teoria da energia de distorção de von Mises-Hencky, torna-se mais precisa.

Segundo Hibbeler (2010), a teoria da energia de distorção máxima demonstra que o escoamento em um material dúctil ocorre quando a energia de distorção por unidade de volume do material se iguala ou excede a energia de distorção por unidade de volume do mesmo material quando submetido a escoamento em um ensaio de tração simples

Com base na teoria da energia de distorção máxima pode-se calcular a tensão equivalente de von Mises, que consiste em uma representação de combinação de tensões normal e de cisalhamento, sendo definida como a tensão de tração uniaxial que provocaria a mesma energia de distorção que é criada pela combinação atual das tensões aplicadas, possibilitando tratar como carregamento de tração pura, situações em que haja combinação de tensão multiaxial com tensões de cisalhamento, (NORTON, 2013).

Conforme Norton (2013), a Equação 1 refere-se ao caso tridimensional do cálculo da tensão equivalente de von Mises, em que os termos $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, referem-se às tensões principais.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3} \quad (1)$$

A Equação 2, refere-se a Equação 1, reescrita em termos das tensões aplicadas, em que o termo τ , representa a tensão de cisalhamento.

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)}{2}} \quad (2)$$

2.2.1 Coeficiente de segurança

De acordo com Norton (2013), a Equação 3, o coeficiente de segurança (N), pode ser calculado a partir da razão da tensão de escoamento (S_y), pela tensão equivalente de von Mises (σ').

$$N = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (3)$$

2.2.2 Cisalhamento puro

A relação da tensão de cisalhamento puro (S_{ys}), com a tensão de escoamento (S_y), se dá pela relação apresentada na Equação 4 (NORTON, 2013).

$$S_{ys} = 0,577S_y \quad (4)$$

Demonstrando que em situação de escoamento, a tensão máxima de cisalhamento no cisalhamento puro é 0,577 (ou $\frac{1}{\sqrt{3}}$) da tensão de escoamento para um caso de tensão simples.

2.3 Refinamento H-P

Para obter maior precisão nos resultados, o *software* faz o uso de técnicas de refinamento de malha. Segundo Fernandes (2018), existem três tipos de metodologias de refinamento de

malha, sendo elas o refinamento P (com rápida convergência de resultados e tempo de análise lento), o refinamento H (com lenta convergência de resultados e rápido tempo de análise) e os elementos de alta ordem.

Conforme descrevem os autores [Novotny e Fancello \(1998\)](#), essas técnicas de refinamento de malhas não alteram a topologia da malha, alterando portanto, a localização dos nós, no refinamento H, com o aumento do número de elementos, no refinamento P, com o aumento da ordem polinomial dos elementos ou com a combinação das duas técnicas, refinamento H-P.

O *software Autodesk Inventor*, utiliza para refinamento de malha o refinamento H-P, em que o usuário interfere apenas nos parâmetros referentes ao refinamento H no processo de convergência, pois a cada análise, o *software* aumenta automaticamente a ordem polinomial do refinamento P, o que aumenta consideravelmente o tempo de análise ([YOUNIS, 2010](#)).

O objetivo de utilizar o refinamento H-P é combinar as vantagens de cada técnica, proporcionando melhor convergência e maior confiabilidade à simulação, em que o *software* realiza o refinamento de malha ao entorno dos locais de alta tensão, conferindo maior convergência aos resultados ([FERNANDES, 2018](#)).

3 METODOLOGIA

3.1 Força de reação no componente

Para definição da força de reação realizada pelo componente em questão, foi adotado para critério de análise, uma situação estática, com carga máxima suportada pela caçamba dianteira. Utilizando conceitos do autor [Hibbeler \(2005\)](#), o primeiro passo para definição da força de reação no componente é definir o centro de gravidade da retroescavadeira.

3.2 Cálculo do centro de gravidade

Segundo manual da fabricante [CASE \(2016\)](#), o modelo de retroescavadeira 580 N FPT F4GE9454K, possui uma configuração de peso operacional (máquina pronta para uso), com tração nas quatro rodas, que faz com que o centro de gravidade da retroescavadeira fique localizado no centro do eixo das rodas traseiras, sem considerar a caçamba dianteira carregada.

Para considerar a massa faltante (caçamba dianteira carregada), torna-se necessário recalcular o centro de gravidade. Neste caso, o centro de gravidade coincide com o centro de massa, pois não há variação da gravidade na extensão da retroescavadeira. Para realização deste cálculo será considerado o acréscimo uniforme da massa faltante, não afetando o eixo z , em que para fins de cálculo, torna-se útil apenas a análise no eixo x . O centro de massa $\bar{x}$ do sistema pode ser calculado pela Equação 5, dividindo a somatória das multiplicações das massas com

suas determinadas localizações, pela soma das massas dos elementos envolvidos, partindo de um eixo referencial a ser definido.

$$\bar{x} = \frac{\sum \bar{x}m}{\sum m} \quad (5)$$

Tomando como base dados e informações obtidos no manual [CASE \(2016\)](#), com a utilização do *software* Geogebra, as massas de acordo com as suas localizações foram distribuídas em um plano cartesiano, tendo como referência apenas o eixo x, como pode ser visto na Figura 1, que apresenta e ilustra no decorrer do comprimento da retroescavadeira os pontos, CG (centro de gravidade da retroescavadeira, considerando a caçamba descarregada), com uma massa de 7917kg, C (centro de gravidade estimado da caçamba dianteira com o limite de massa suportada), com uma massa de 3086kg, e NCG (novo centro de gravidade, encontrado após o cálculo).

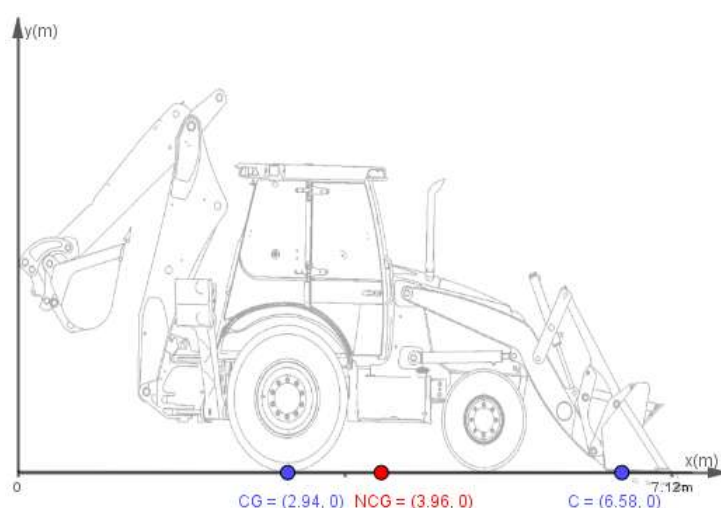


Figura 1 – Cálculo do centro de massa.
Fonte: Próprio autor (2022)

3.3 Cálculo da força de reação no componente

Após a definição do novo centro de gravidade, pode-se calcular a força de reação exercida pelo componente. A Figura 2 aborda os dados obtidos até o momento, definindo o problema, com a concentração de todo o peso da retroescavadeira no novo centro de gravidade (CG), com pontos de referência para resolução do problema nos eixos traseiro e dianteiro (A e B), e suas respectivas localizações no corpo da máquina.

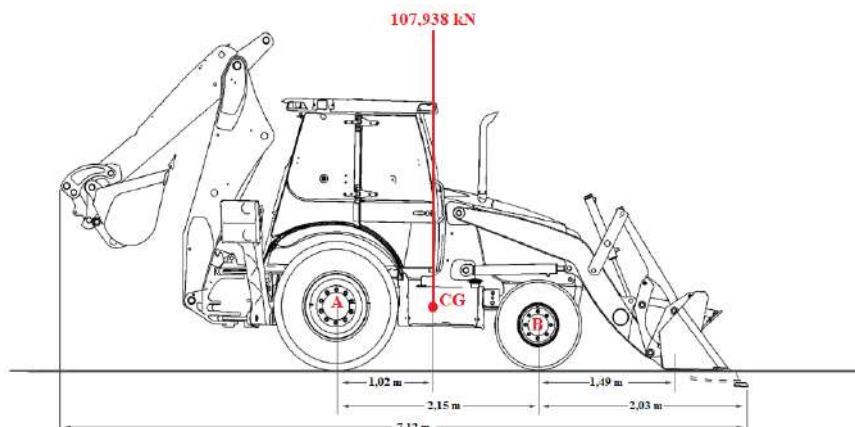


Figura 2 – Definição do problema.
Fonte: Adaptado de CASE (2016)

Com a definição do problema apresentada juntamente com os seus dados, o próximo passo para solução se dá na construção de um DCL (Diagrama de corpo livre), vide Figura 3.

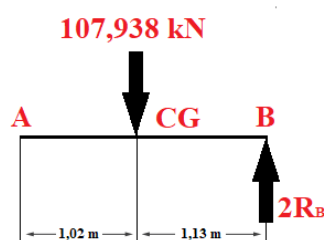


Figura 3 – DCL do problema.
Fonte: Próprio autor (2022)

No DCL, o ponto A refere-se ao eixo das rodas traseiras, o ponto CG ao centro de gravidade da máquina e o ponto B ao local da peça. A reação no ponto B foi definida como $2R_B$, para identificação da reação em apenas um dos componentes dianteiros.

Para definição da reação no componente foi realizada a soma dos momentos, Equação 6, a partir do ponto A com sentido anti-horário positivo.

$$\sum^+ M_A = 0 \quad (6)$$

A reação encontrada foi de 25,6 kN no componente.

3.4 Força de reação no componente

De acordo com SKF (2013) as rótulas de contato angular possuem formato esférico com ângulo de inclinação, sendo portanto adequadas para suportarem cargas combinadas.

A Figura 4 apresenta o comportamento da carga no corpo da rótula.

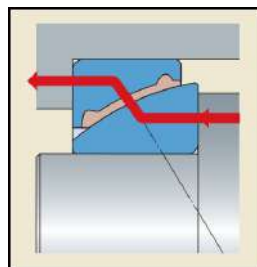


Figura 4 – Linha de carga na rótula.
Fonte: SKF (2013)

Com o objetivo de obter a área na qual a força será distribuída na rótula, fez-se um experimento. Tendo acesso a um conjunto de elementos já modificados que atuaram associados por um determinado período de tempo, verificou-se a teoria na prática, evidenciando a área de contato entre os elementos, conforme apresenta a Figura 5.

Para realização do experimento, pintou-se a área interna do mancal da rótula com uma tinta vermelha de fácil remoção (Passo 1, Figura 5). Esses elementos atuam sobrepostos, com a rótula acoplada ao pivô inferior (Passo 2, Figura 5), e ambos acoplados ao mancal da rótula (Passo 3, Figura 5). Portanto, fez-se a união desses elementos com a finalidade de simular o conjunto em operação. Para isso foi realizado o movimento de rotação entre os elementos.

Por fim, como resultado obteve-se uma faixa com ausência de tinta, na parte interior do mancal da rótula, indicando que o contato entre o mancal da rótula e a rótula, se dá centralizado, conforme observado na teoria (Fig. 4).

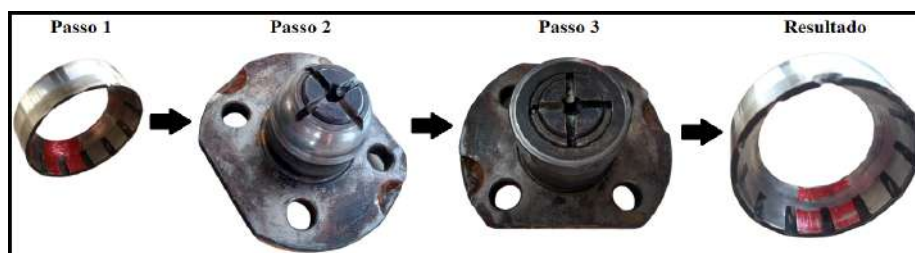


Figura 5 – Verificação da área de contato.
Fonte: Próprio autor (2022)

Percebeu-se com a realização deste ensaio que o corte de modificação na rótula em questão, o qual possui profundidade de $2mm$, não atinge a área de contato detectada, que inicia-se a $3mm$ abaixo da modificação. A força de reação encontrada para uma situação estática com carga máxima, de $25,6kN$, fica distribuída na área circular, evidenciada no mancal da rótula. Com utilização do *software Autodesk Inventor*, Figura 6, pode-se encontrar a área em questão na rótula angular, destacada em vermelho, que é de $512,091mm^2$, com uma carga distribuída de $50N/mm^2$.



Figura 6 – Representação da área e força distribuída.
Fonte: Próprio autor (2022)

3.5 Modelagem 3D

A Figura 7 apresenta a modelagem 3D realizada no *software Autodesk Inventor* versão estudante, com vista em perspectiva, do componente em sua forma original e do componente com a modificação, com o intuito de comparação. A modelagem foi realizada a partir da medição de um exemplar da peça juntamente com seus componentes.

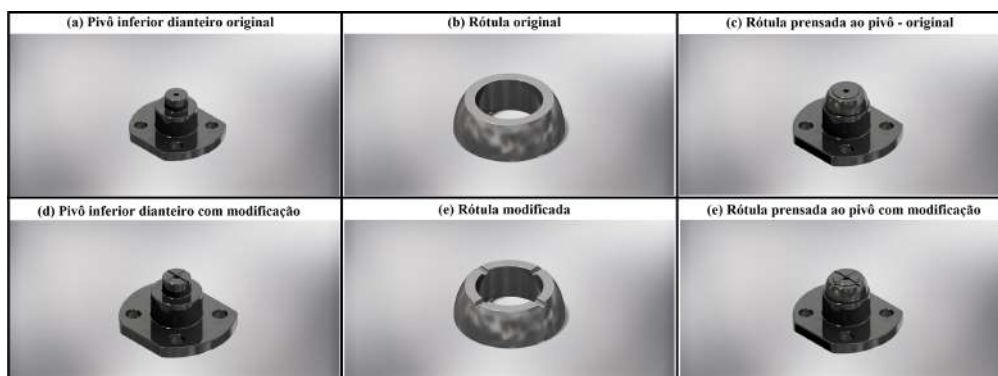


Figura 7 – Modelagem 3D do componente.
Fonte: Próprio autor (2022)

3.6 Análise de tensões pelo Método dos Elementos Finitos

Para realização da análise de tensões atuantes nos componentes, pelo Método dos Elementos Finitos, no *software Autodesk Inventor*, definiu-se os materiais dos componentes e suas propriedades mecânicas, as restrições e contatos dos componentes, os esforços atuantes, geração de malha e configurações de convergência.

3.7 Material dos componentes

Com consulta a fabricantes e revendedores, para o pino inferior dianteiro definiu-se como material constituinte o aço SAE 1045, que é classificado como aço para construção me-

cânica. O aço passa pelo processo de forja a quente, que, de acordo com Filho *et al.* (1997), o processo de forja produz deformação plástica, que por sua vez confere dois efeitos ao metal, a mudança de forma e a melhoria das propriedades mecânicas, pois ocorre a modificação e distribuição de seus constituintes, assim como o refinamento de grãos.

A Tabela 1, apresenta a composição química do aço SAE 1045, com o restante da concentração composto pelo elemento químico Ferro (Fe).

Tabela 1 – Composição química do aço SAE 1045

Elemento químico	C	Mn	P	S
Concentração (%)	0,42 – 0,50	0,60 – 0,90	0,040 (máx)	0,050 (máx)

Fonte: Adaptado de LUZ (2017a)

De acordo com SKF (2022) as rótulas são constituídas de aço retificado de rolamento, com revestimento de cromo duro na superfície interna deslizante. Portanto, definiu-se, como material o aço SAE 52100, para análise. Sua composição química consta na Tabela 2, com o restante da concentração composto pelo elemento químico Ferro (Fe).

Tabela 2 – Composição química do aço SAE 52100

Elemento químico	Cr	Mn	C	Si	S	P
Concentração (%)	1,30 – 1,60	0,25 – 0,45	0,98 – 1,10	0,15 – 0,30	0,025 (máx)	0,025 (máx)

Fonte: Adaptado de LUZ (2017b)

Para análise, adotou-se as propriedades mecânicas dos aços SAE 1045 e SAE 52100 (Tabela 3), e criou-se os materiais na biblioteca do *software Autodesk Inventor*.

Tabela 3 – Propriedades mecânicas adotadas para os aços

Aço	Comportamento	Mód. de Young	Coef. de Poisson	Mód. de cisalhamento	Densidade	Lim. de escoamento	Resist. à tração
SAE 1045	Isotrópico	200 GPa	0,29	80 GPa	7,87 g/cm ³	450 MPa	585 MPa
SAE 52100	Isotrópico	190 GPa	0,27	79,978 GPa	7,81 g/cm ³	350 MPa	650 MPa

Fonte: Adaptado de LUZ (2017a, 2017b)

3.8 Condições de contorno

As condições de contorno são entendidas como as restrições existentes na análise e os carregamentos impostos sobre a peça.

3.8.1 Restrições

O contato entre a rótula de contato angular e o pivô inferior dianteiro foram definidos no *software*, como *bonded*, ou seja, como contato vinculado, simulando uma união rígida entre

as faces, entendendo como uma continuidade entre os elementos.

A restrição de movimento foi definida como fixa, ou seja, deixando a peça fixa, sem movimentação em nenhum dos eixos x, y e z . Conforme demonstrado na Figura 8, a restrição foi posicionada em quatro áreas na parte inferior da peça. As áreas definidas simulam o contato entre a cabeça dos parafusos de fixação e a peça.

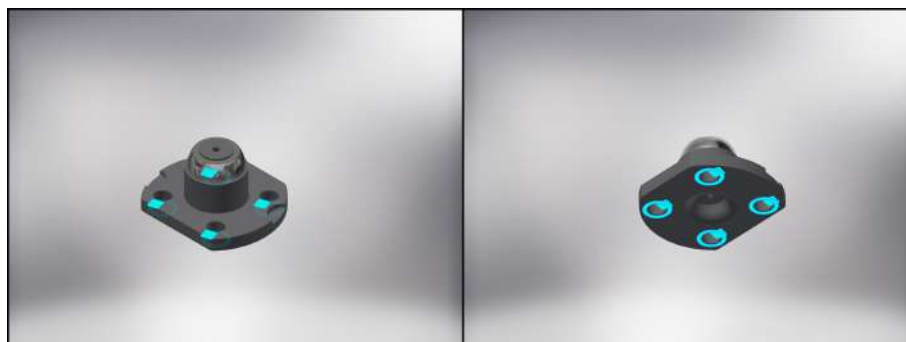


Figura 8 – Restrições.
Fonte: Próprio autor (2022)

3.8.2 Carregamentos

Dois esforços atuantes foram definidos na peça. A faixa azul na Figura 9, demonstra o local de aplicação da carga distribuída, sendo esta força perpendicular à superfície destacada em azul. Conforme calculado na Seção 3.4, o valor da tensão é de 50 MPa .

O segundo esforço definido refere-se à força normal atuante na peça, demonstrada na Figura 9, pela seta vertical, na parte superior do corpo. O *software* registrou para a peça original (Figura 9 à esquerda), uma massa de $0,985 \text{ kg}$, portanto, força normal de $9,66 \text{ N}$. Para a peça modificada (Figura 9 à direita), foi registrada uma massa de $0,983 \text{ kg}$, portanto, força normal de $9,64 \text{ N}$.

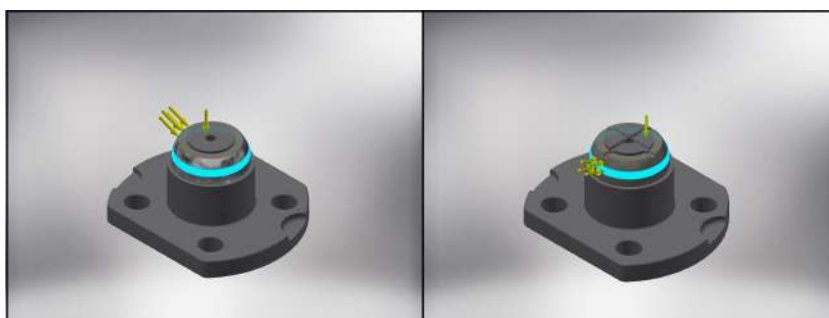


Figura 9 – Esforços atuantes.
Fonte: Próprio autor (2022)

3.9 Geração de malha

A malha apresentada na Figura 10, foi elaborada de forma automática pelo *software*, gerando um total de 77206 nós e 48967 elementos para a peça original e 62661 nós e 39414 elementos para a peça modificada.

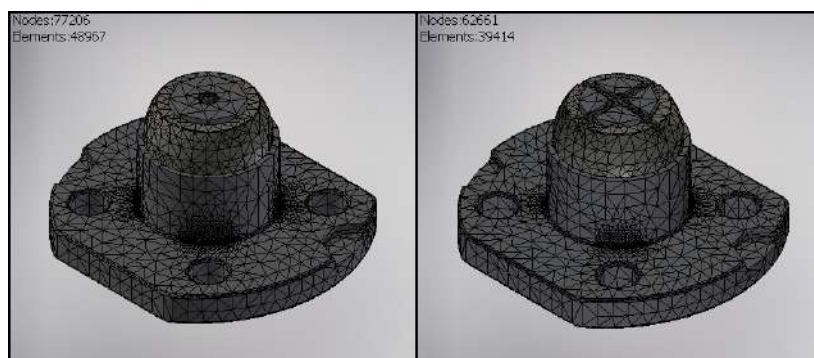


Figura 10 – Malha.
Fonte: Próprio autor (2022)

O elemento utilizado pelo *software* para análise é o tetraedro linear, formado por quatro nós, sendo um dos tipos de elementos utilizados para malhas sólidas tridimensionais, conforme Figura 11.

De acordo com Cook (1994 apud SCHAPPO *et al.*, 2017), este tipo de geometria possui em seus quatro nós três graus de liberdade translacional, tendo como vantagem uma boa representação no elemento das tensões constantes, e como desvantagem a perda de informações na ocorrência de momento fletor devido ao carregamento no elemento.

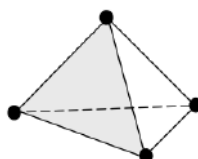


Figura 11 – Tetraedro de quatro nós.
Fonte: Adaptado de Younis (2010)

Para a definição e geração da malha, o *software* adota critérios parametrizados, como o tamanho médio do elemento, que determina o tamanho do elemento com base no tamanho do modelo, o tamanho mínimo do elemento, em que o valor é relativo ao tamanho médio do elemento e permite o refinamento em áreas pequenas, o fator de nivelamento, determinando o comprimento máximo das arestas de elementos adjacentes, e o ângulo máximo de giro, que implica na quantidade de elementos de superfícies curvas.

A Tabela 4, apresenta as configurações de geração de malha com a parametrização aplicada nas duas análises.

Tabela 4 – Parâmetros da malha

Configuração de malha	Parâmetro
Tamanho médio do elemento	0,1
Tamanho mínimo do elemento	0,2
Fator de nivelamento	1,5
Ângulo máximo de giro	60°
Criar elementos de malha curvo	Não
Usar medida baseada em peça para malha de montagem	Sim

Fonte: Próprio autor (2022)

3.10 Configurações de convergência

A Tabela 5 apresenta as configurações de convergência aplicadas nas análises.

Tabela 5 – Configurações de convergência

Configuração	Parâmetro
Número máximo de refinamentos h	50
Critério de interrupção (%)	0,100
Limite de refinamento h (0 a 1)	0,750
Parâmetro a convergir	Tensão de von Mises

Fonte: Próprio autor (2022)

O número máximo de refinamentos h indica a quantidade de ciclos de refinamento h para a convergência, em que o valor padrão é 0. Ao modificar o valor de h, altera-se o número de iterações de refinamento desejada. De acordo com [Fernandes \(2018\)](#), o refinamento ocorre de forma automatizada e na área que ocorre maior solicitação. Satisfazendo o critério de parada o refinamento pode parar antes de completar o total de ciclos.

O critério de interrupção indica o valor em porcentagem referente a diferença dos dois últimos resultados, podendo ser interrompido com antecedência, caso não atinja o necessário até o término do número máximo definido de refinamentos h.

O limite de refinamento h aceita valores entre 0 e 1, em que o valor 0 inclui todos os elementos presentes na modelagem analisada como candidatos ao refinamento. O valor 1 exclui todos os elementos do processo de refinamento, ou seja, elimina o refinamento da análise. O valor padronizado e utilizado na análise é de 0,75, indicando que 25% dos elementos são candidatos ao refinamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Tensão de von Mises

Aplicando a carga de $50,00N/mm^2$ (determinada na subseção 3.4), a peça original (Figura 12 à esquerda), apresentou a tensão de von Mises de $50,90MPa$. Já a peça modificada

(Figura 12 à direita), apresentou uma tensão de $50,81MPa$. A coloração exibida no entalhe da peça modificada demonstra que a tensão no local da modificação não ultrapassou a faixa de $30,51MPa$. A proximidade dos resultados evidencia que a modificação praticamente não surtiu efeitos quanto a tensão máxima sofrida pela peça. Conforme as propriedades mecânicas utilizadas para análise (Tabela 3), o limite de escoamento adotado para o pivô inferior dianteiro é de $450MPa$, e para a rótula de contato angular é de $350MPa$. A tensão máxima encontrada em ambas as peças (original e modificada), não ultrapassaram e nem se aproximaram do limite de escoamento dos componentes, eliminando assim o risco de falha.

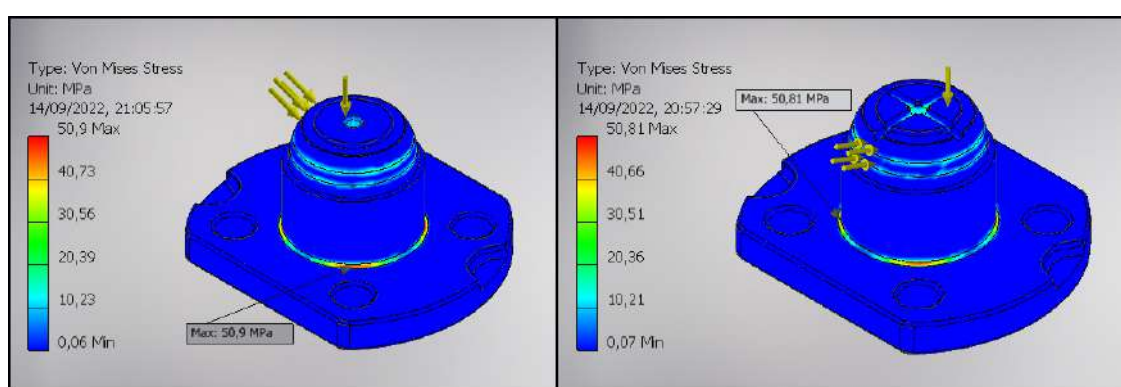


Figura 12 – Tensão de von Mises.
Fonte: Próprio autor (2022)

Conforme os parâmetros de convergência definidos na Seção 3.10, o parâmetro a convergir com um critério de interrupção de 0,100%, é a tensão de von Mises, em que convergindo, interrompe o processo de análise para os outros resultados. A taxa de convergência para a peça original (Figura 13 à esquerda), foi de 0,078%. A peça modificada (Figura 13 à direita), teve uma taxa de convergência de 0,087%.

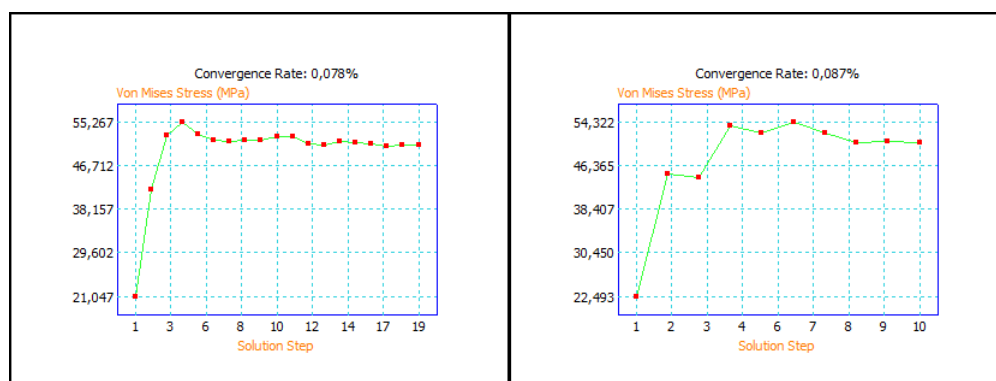


Figura 13 – Taxa de Convergência - von Mises.
Fonte: Próprio autor (2022)

4.2 Deslocamento

Outro resultado apresentado pela análise refere-se ao deslocamento máximo sofrido pela peça. A peça original (Figura 14 à esquerda), apresentou um deslocamento máximo de $0,002901mm$, na faixa de aplicação da força. A peça modificada (Figura 14 à direita), apresentou um deslocamento de $0,002862mm$.

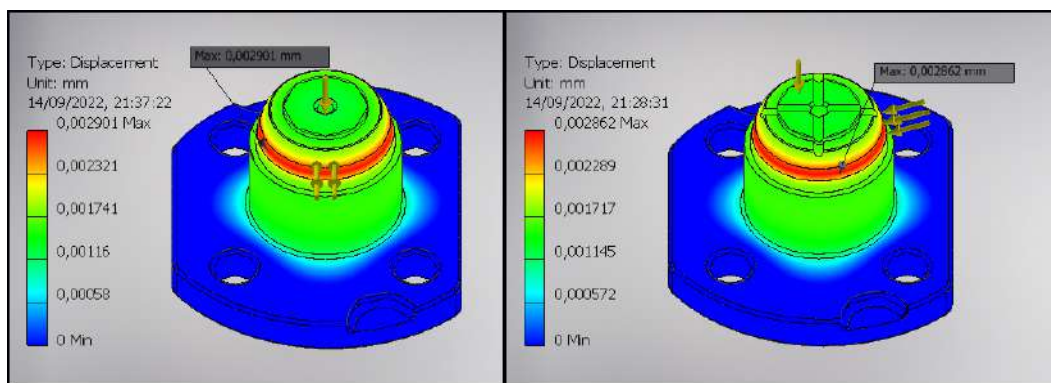


Figura 14 – Deslocamento.
Fonte: Próprio autor (2022)

A taxa de convergência com relação ao deslocamento da peça original (Figura 15 à esquerda), foi de $0,241\%$. Para a peça modificada (Figura 15 à direita), a taxa de convergência foi de $0,427\%$.

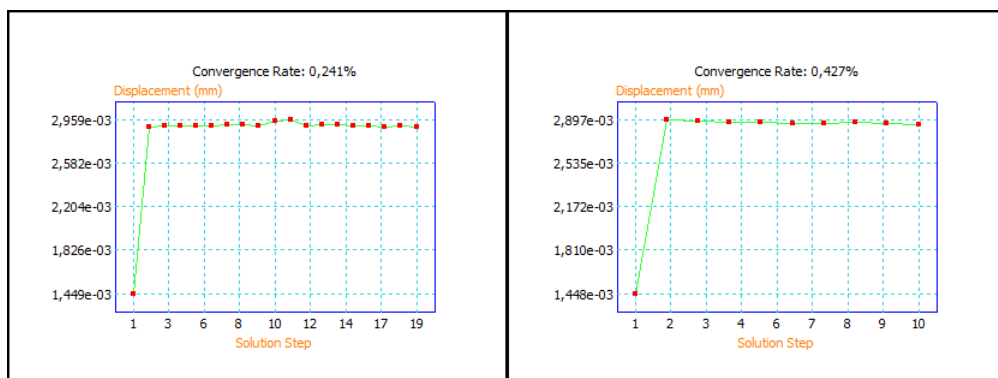


Figura 15 – Taxa de Convergência - Deslocamento.
Fonte: Próprio autor (2022)

4.3 Fator de Segurança

Dentre os resultados apresentados pela análise, tem-se o fator de segurança.

O fator de segurança mínimo apresentado pela peça original (Figura 16 à esquerda), e pela peça modificada (Figura 16 à direita), foram para ambas $5,21$.

De acordo com [Fernandes \(2018\)](#), com relação a tensão de von Mises, torna-se necessário que o fator de segurança seja maior que 1 para evitar a ocorrência de falhas.

O fator de segurança para a peça original (Figura 16 à esquerda), foi de 8,84. Já o fator de segurança para a peça modificada (Figura 16 à direita), foi de 8,86.

Dessa forma, visto que os resultados apresentados foram praticamente iguais, fica evidente que não haverá falha devido a modificação.

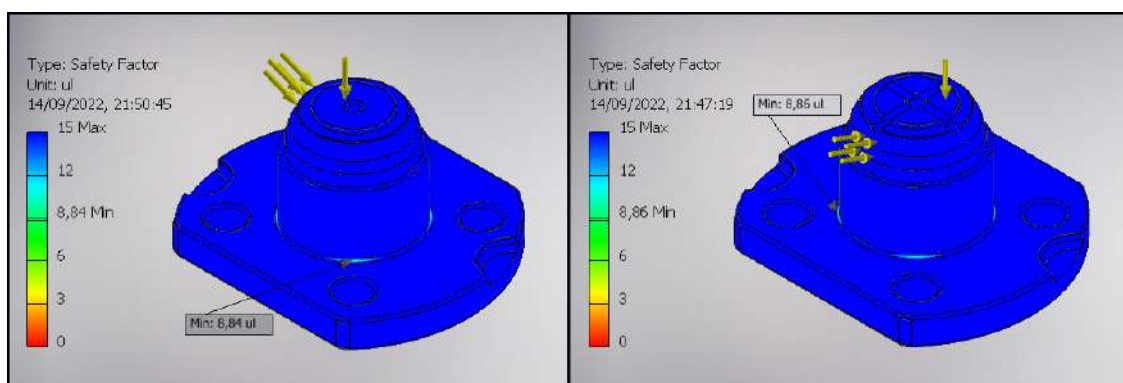


Figura 16 – Fator de segurança.
Fonte: Próprio autor (2022)

5 CONCLUSÃO

O trabalho apresentado teve como finalidade analisar a viabilidade da modificação realizada no pivô inferior dianteiro da manga de eixo, em termos estruturais.

Para isso foi definida a força de reação no componente através da análise de dados da retroescavadeira CASE 580N e experimentalmente da peça juntamente com seus componentes.

Realizou-se a modelagem 3D da peça no *software Autodesk Inventor* versão estudante 2019, definindo também o material dos componentes, suas restrições e contatos, os esforços atuantes, a geração de malha e as configurações de convergência, sendo possível aplicar a análise de tensões com o método dos elementos finitos por meio do *software*.

Obteve-se os resultados quanto a tensão de von Mises, o deslocamento e o fator de segurança, tanto para a peça original, quanto para a peça modificada.

Por fim, foi possível determinar através dos resultados obtidos do fator de segurança, que para uma situação estática, com carga máxima suportada pela caçamba da retroescavadeira, a modificação realizada para aumento de lubrificação não oferece risco de falha para o componente.

REFERÊNCIAS

- BATISTA, F. A. B.; BRANT, L. F. V.; VIMIEIRO, C. B. S. Uso de técnicas de otimização de componentes mecânicos através de elementos finitos na indústria automotiva. **CONEM - VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica**, 2012.
- CASE. **Case Construction - 580N Backhoe Loader Tier 3 Certified**. [S.l.]: CASE Construction, 2016.
- COOK, R. D. **Modeling for Stress Analysis**. [S.l.]: New York: Wiley, 1994.
- FERNANDES, P. S. Projeto de estrutura para içamento e carregamento de chapas de aço. 2018.
- FILHO, E. B. *et al.* **Conformação plástica dos metais**. [S.l.]: Ed da Unicamp, 1997.
- FILHO, L. F. L. de M. **Análise estrutural e verificação da vida à fadiga de uma roda automotiva utilizando o Método dos Elementos Finitos**. 2007. Tese (Doutorado) — Masters thesis, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2007.
- HIBBELER, R. C. **Estática: mecânica para engenharia**. [S.l.]: Pearson Education do Brasil, 2005.
- _____. **Resistência dos materiais**. [S.l.]: Pearson Educación, 2010.
- JUVINALL, R. C.; MARSHEK, K. M. **Projeto de Componentes de Máquinas**. [S.l.]: Grupo Gen-LTC, 2000.
- LEGNANI, K. J. Z. *et al.* Procedimentos de otimização estrutural de componentes usando um programa comercial de elementos finitos. Florianópolis, SC, 2000.
- LUZ, G. Aço sae 1045 propriedades mecânicas e composição química. **Blog Materiais**, [s. l], 2017.
- _____. Aço sae 52100 propriedades mecânicas e composição química. **Blog Materiais**, [s. l], 2017.
- NORTON, R. L. **Norton, Projeto de máquinas, Uma abordagem integrada**. [S.l.]: Bookman e Artmed editora, 2013.
- NOVOTNY, A.; FANCELLO, E. Um refinamento h, pe hp adaptativo na análise de flexão de placas semi-espessas. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, 1998.
- SCHAPPO, F. *et al.* Projeto estrutural de uma plataforma semissubmersível. 2017.
- SKF. **SKF spherical plain bearings and rod ends**. [S.l.]: SKF Group, 2013.
- _____. **Especificações do rolamento**. 2022. Disponível em: <https://www.skf.com/br/products/plain-bearings/spherical-plain-bearings-rod-ends/angular-contact/bearing-data>. Acesso em: 24 jun. 2022.

SILVA, Wesley Lúcio da; VIANA, Luiz Augusto Ferreira de Campos. Estudo da viabilidade de modificação estrutural no pivô inferior dianteiro da manga de eixo da retroescavadeira case 580N para aumento de lubrificação.

18

YOUNIS, W. **Up and running with Autodesk Inventor Simulation 2011: a step-by-step guide to engineering design solutions**. [S.l.]: Elsevier, 2010.

ZARICHTA, C.; CARDOSO, E. L. Aplicação da otimização de estruturas para componentes mecânicos. **Salão de Iniciação Científica (15.: 2003: Porto Alegre, RS). Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2003.**, 2003.

DADOS DOS AUTORES:

Wesley Lúcio da Silva

E-mail: wesleyluciosilva@hotmail.com

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0644198879774400>

Técnico em Logística - Instituto Federal de Educação de Minas Gerais Campus Bambuí (2015). Possui graduação em Bacharel em Engenharia Mecânica - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais Arcos (2022).

Luiz Augusto Ferreira de Campos Viana

E-mail: luiz.viana@ifmg.edu.br

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3235303599180562>

Doutorado em andamento pelo Programa de Pós-Graduação Multicêntrico em Química de Minas Gerais (PPGMQ-MG) da Universidade Federal de Viçosa com período na Texas State University (San Marcos - TX - USA). Possui mestrado em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Ouro Preto (2015). Possui graduação em Engenharia Industrial Mecânica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (2009). Atualmente é Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, com dedicação exclusiva, onde atua na área de Projetos Mecânicos e Ciência dos Materiais. Coordenou o Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica da mesma instituição, entre novembro de 2018 e março de 2023, tendo sido responsável pelos procedimentos para a avaliação de reconhecimento do curso realizada pelo INEP, avaliação na qual o curso foi reconhecido com conceito máximo. Presidiu o Colegiado do Curso e o Núcleo Docente Estruturante. Atua como professor formador da Pós Graduação em Segurança do Trabalho do IFMG Campus Avançado Arcos. Atuou como Professor Tutor do curso de Pós-Graduação em Docência do IFMG Campus Avançado Arcos em 2020, curso em que atua como orientador de trabalhos de conclusão de curso. Atuou como engenheiro de projetos na Usiminas Mecânica S/A, de março de 2010 a fevereiro de 2017. Tem experiência em modelagem e impressão 3D.