

Otimização estrutural de um macaco hidráulico

RESUMO

Apresenta-se nesse trabalho o redesenho de um macaco hidráulico, aprimorando suas características técnicas por meio da otimização estrutural e do Design for Assembly and Manufacturing (DFMA) para o aperfeiçoamento de projetos. Na maioria das empresas ainda se utiliza técnicas tradicionais de projeto, como por exemplo via tentativa e erro, apesar do surgimento de técnicas avançadas para auxiliar no projeto de produto. Este trabalho explora novas formas de projeto aplicando métodos atuais e compara os resultados com a forma tradicional. A concentração de tensões mecânicas e o volume de material do conjunto são restrições nesse projeto. Faz-se uma comparação entre o modelo atual e o modelo proposto nesse trabalho, por meio de um projeto tridimensional. A distribuição de tensão nas principais peças do conjunto é apresentada e após a comparação, percebeu-se que o modelo proposto pode ser produzido com uma redução de 15% na massa do conjunto final.

PALAVRAS-CHAVE: Otimização de forma; Otimização topológica; Otimização paramétrica; DFMA.

André Clemente da Costa
andre.clemente.costa@gmail.com
Universidade de Mogi das Cruzes,
Campus Villa Lobos, São Paulo, SP

José Henrique Crismanis Teles
josehct@gmail.com
Universidade de Mogi das Cruzes,
Campus Villa Lobos, São Paulo, SP

Maurício da Silva Gonçalves
mauriciosg89@hotmail.com
Universidade de Mogi das Cruzes,
Campus Villa Lobos, São Paulo, SP

Sandro Luis Vatanabe
sandrovatanabe@umc.br
Universidade de Mogi das Cruzes,
Campus Villa Lobos, São Paulo, SP

INTRODUÇÃO

Usualmente o projeto de um novo produto depende muito da experiência do projetista e isso pode impactar diretamente no custo e na eficiência do equipamento. Por outro lado, a concorrência no mercado tem aumentado a cada dia e a necessidade de lançamento de produtos inovadores como diferencial competitivo se faz cada vez maior (VANSET; LAZZARI, 2015).

Aplicar métodos inovadores no desenvolvimento de produtos que apresentam grande concorrência no mercado e que apresentam pouca diferença em relação ao princípio de funcionamento e suas aplicações, como é o caso do macaco hidráulico que é abordado neste trabalho, podem ser um grande diferencial, já que sua utilização pode reduzir o custo sem o detrimento da qualidade e determinar o sucesso do produto.

Outro dado importante a ser considerado é o aumento da participação de produtos importados no mercado brasileiro. Segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI) o coeficiente de penetração das importações foi de 22,3% no primeiro trimestre de 2015 tem evoluído ano a ano desde 2010 (CNI, 2015). Com isso, ofertar produtos de qualidade, inovadores e que tenham custo reduzido é necessário para que as empresas se mantenham no mercado.

Assim, pesquisadores e especialistas em desenvolvimento de produto vêm utilizando novos métodos, tais como a otimização estrutural e o DFMA, que aceleram o desenvolvimento e reduzem os custos das peças sem que a qualidade do produto seja comprometida. Um desses métodos é a otimização, que pode ser definida como a criação de condições mais favoráveis, dentro de várias configurações, para o desenvolvimento de algo ou o processo através do qual se obtém o melhor valor de uma grandeza (HOUAISS; VILLAR, 2009). Do ponto de vista estrutural, a otimização visa maximizar uma determinada função objetivo, que pode ser, por exemplo, a rigidez de uma estrutura, ou regiões em “vazio” em um domínio de projeto a fim de minimizar o seu peso. Diz-se então que a otimização busca, de forma sistemática e robusta, uma solução otimizada para o problema formulado.

Técnicas de otimização já são muito utilizadas nas indústrias automobilísticas e aeronáutica em países da Europa, além dos Estados Unidos e Japão. Entretanto, são pouco difundidas nas indústrias brasileiras que estão fora do ramo automobilístico e/ou aeronáutico (SILVA, 1999). Hoje, são conhecidas três formas de otimização estrutural: otimização paramétrica, otimização de forma e otimização topológica.

Com a utilização destas, é possível se obter reduções de massa sem afetar o desempenho do produto. Consequentemente o custo é reduzido, pois o impacto gerado por estas técnicas afeta, não só a peça em si, mas toda sua cadeia produtiva do produto. Neste artigo, a otimização será aplicada a um macaco hidráulico do tipo garrafa, que pertence a um ramo diferente do usualmente aplicado, o ramo automotivo e aeronáutico.

O macaco hidráulico é um aparelho utilizado para levantar objetos ou aplicar altas forças. Seu funcionamento se dá pelo princípio de Pascal, que estabelece que a pressão aplicada a um fluido contido num recipiente é transmitida sem redução a todas as porções do fluido e as paredes do recipiente que o contém. Sendo similar a uma alavanca, utiliza-se da vantagem mecânica, onde a força de saída é resultado da multiplicação da força de entrada (LTM, 2010).

O uso desse aparelho é versátil, pois pode ser colocado em espaços estreitos. São muito utilizados na construção civil em geral, além da sua aplicação no conserto de automóveis e máquinas industriais, como também se mostraram muito úteis em operações de busca e resgate (MUCHNIK, 2015).

Neste trabalho propõe-se redesenhar o sistema mecânico em questão, de forma que se obtenha uma máxima rigidez utilizando o mínimo de material possível, além de uma redução no número total de peças do conjunto. Para isso, o macaco hidráulico é redesenhado seguindo os mesmos requisitos técnicos e respeitando os parâmetros de normas técnicas específicas (ABNT NBR 11530, 2009; ASME B30.1, 2009). São aplicadas técnicas de otimização estrutural e outras técnicas ao desenvolvimento do novo conjunto e no estudo de caso, com o auxílio de *softwares* de simulação e modelagem tridimensionais (3D), tais como, *Ansys Workbench*, *Hyperworks* e *SolidWorks*.

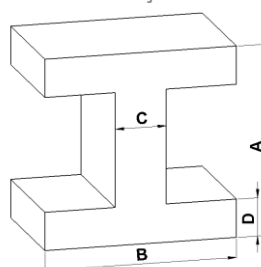
FORMAS DE OTIMIZAÇÃO ESTRUTURAL

Existem três formas de se otimizar um produto ou projeto: otimização paramétrica, de forma e topológica. Nesta seção estes métodos são brevemente descritos para facilitar o entendimento do leitor

Na **otimização paramétrica** são otimizadas as dimensões da estrutura, mantendo-se sua forma pré-definida (SILVA, 1999). Por exemplo, dada uma estrutura na qual são conhecidos previamente os carregamentos e condições de contorno (pontos de fixação ou de deslocamento prescrito), bem como suas restrições, que essencialmente são limitações impostas para se obter a solução otimizada e que podem ser um valor de tensão, uma restrição de deslocamento e etc. (SILVA, 1999).

Para esta estrutura então é definida uma forma, uma viga I, por exemplo, cuja geometria é definida pelas dimensões A, B, C e D, denominados de parâmetros, conforme **Figura 1**. Estes parâmetros, limitados individualmente *a priori* por valores mínimo e máximo, são variados até que se encontre um conjunto de valores que ofereça a maior rigidez. Neste método a geometria inicial não muda de forma, isto é, apenas as suas dimensões são alteradas, mantendo sempre o mesmo formato original.

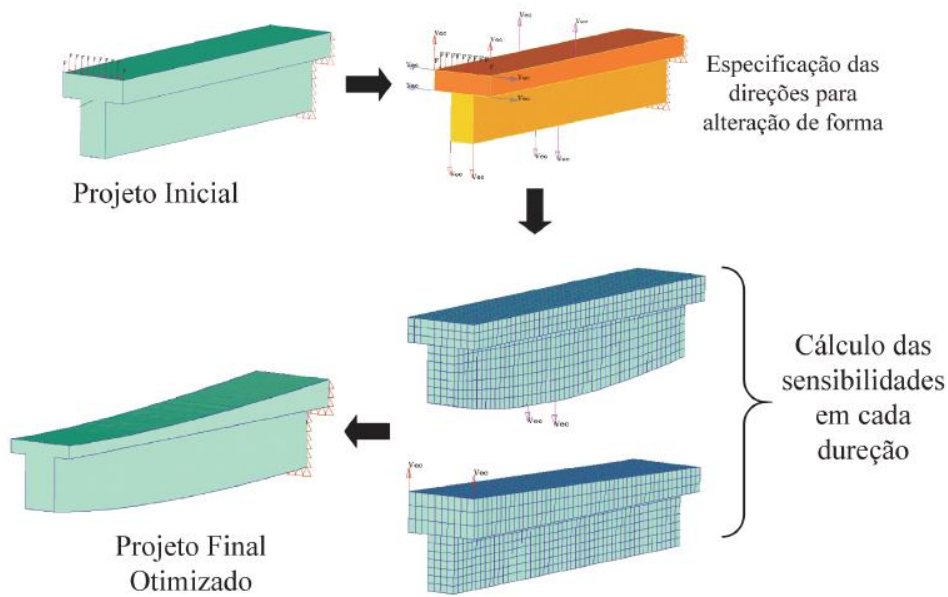
Figura 1 - Otimização Paramétrica



Fonte: Autores

Na **otimização de forma** a geometria inicial da estrutura a ser otimizada pode ser alterada, isto é, os contornos (internos e externos) da estrutura podem ser modificados (SILVA, 2012). Por exemplo, para uma dada estrutura sob um determinado carregamento, a forma de sua estrutura não necessita ser uniforme, ou seja, em determinada extremidade sua geometria pode ter uma forma diferente da que sua outra extremidade, com um carregamento diferente, que suporte a carga específica solicitada, como na **Figura 2**.

Figura 2 - Procedimento típico de otimização de forma



Fonte: Silva (2012, p.8)

Com a **otimização topológica** (OT) é possível gerar “buracos” no domínio estrutural, isto é, a topologia da estrutura final não deve ser necessariamente semelhante à topologia original (SILVA, 2012). Primeiramente é definido um domínio de projeto fixo, onde é permitida a retirada ou adição de material. O algoritmo otimizador, em conjunto com o Método de Elementos Finitos (BATHE, 1996), então “procura” a melhor topologia que maximize uma dada função objetivo (por exemplo, maximizar a rigidez da estrutura), respeitando uma

restrição de volume mínima. Esta busca é realizada através de um processo iterativo utilizando-se cálculos de sensibilidade da função objetivo. A cada ponto deste domínio fixo, uma análise computacional pode determinar a total ausência de material, os “buracos” na estrutura, como também determinar diferentes quantidades de material ao longo do domínio fixo. A otimização topológica costuma obter melhores resultados com relação a busca sistemática por um solução otimizada através de um algoritmo, dentre de várias configurações possíveis, sendo a melhor configuração da estrutura determinados por *software*, dado os parâmetros de entrada como carregamento (SILVA, 1999). A **Figura 3** demonstra o passo a passo de uma OT de um braço de suspensão utilizado em um caminhão.

Figura 3 - Otimização de um braço de suspensão dianteira



Fonte: adaptado de Silva (2012, p.19)

Além destes três tipos de otimização, outros aspectos podem ser considerados, quando se deseja otimizar uma peça. A metodologia “*Eco-OptiCAD*” (*Eco-OptiCAD methodology*) visa apoiar os engenheiros no projeto de produtos otimizados. Sendo assim, visa encontrar a melhor solução para a tríade forma-material-produção identificando o mínimo impacto ambiental e o ponto ótimo para os requisitos funcionais e estruturais (RUSSO; RIZZI, 2014). Para isso o software cria vários modelos 3D, encontrando uma melhor opção dentre os modelos otimizados, seu processo de fabricação e seu impacto no ambiente. Assim os engenheiros podem escolher a melhor opção que se adequa a realidade da empresa como um todo.

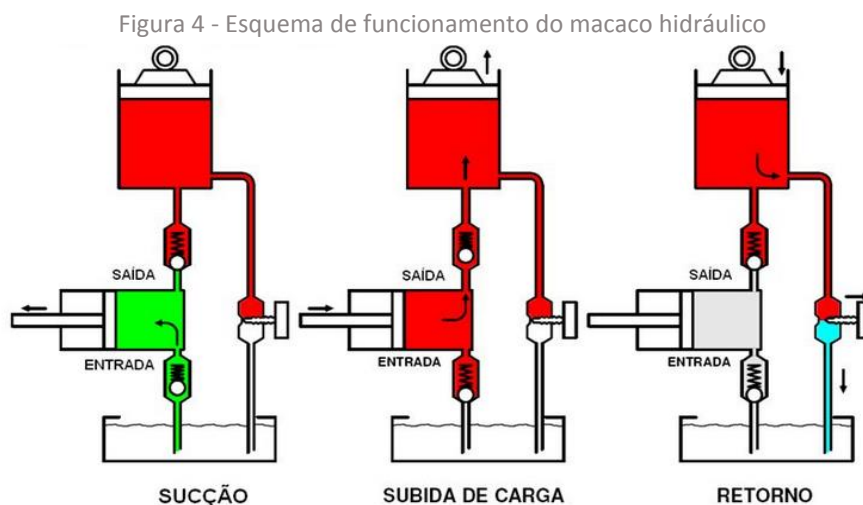
PROJETO PARA MANUFATURA E MONTAGEM DFMA

A metodologia DFMA tem origem em outras duas metodologias aplicadas em projetos, a DFM (*Design for Manufacturing*), onde se tem por conceito projetar os componentes de um produto visando à simplificação nos processos de manufatura e montagem destes, sem que haja perdas na qualidade final do produto, e a DFA (*Design for Assembly*), onde o objetivo é o projeto de componentes visando a redução do número de peças, a facilidade e a diminuição de erros na montagem do produto final (ESTORILIO, 2008). Essa técnica também pode ser considerada uma forma de otimização já que atua na redução do número de peças de um conjunto.

ESTUDO DE CASO

O macaco hidráulico é normalmente utilizado para a elevação de cargas e funciona através do acionamento repetido de uma alavanca. Esse acionamento repetido faz com que o óleo que está no reservatório seja levado para dentro do cilindro fazendo com que a carga seja elevada. A

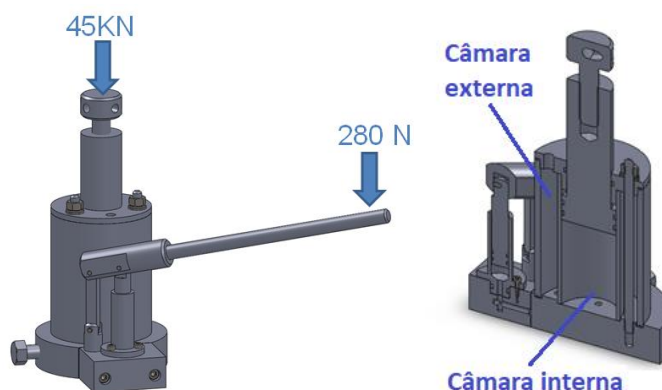
Figura 4 ilustra a sequência para a elevação de uma carga por meio do acionamento da alavanca.



Fonte: Autores

No estudo de caso é utilizado um macaco do tipo garrafa que é manufaturado na Faculdade de Tecnologia de São Paulo como projeto das disciplinas Máquinas Ferramentas I e II (**Figura 5**) e é usinado e montado para ensinar conceitos de usinagem e funcionamento desse tipo de conjunto.

Figura 5 - Macaco hidráulico



Fonte: Autores

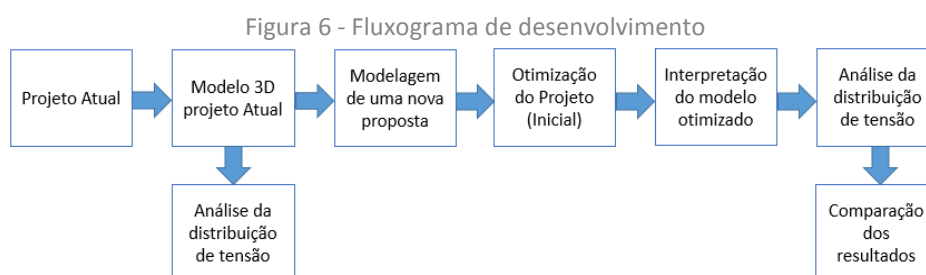
A maior parte das peças fabricadas utilizam materiais encontrados facilmente no mercado e podem ser usinadas utilizando máquinas ferramenta convencionais. O conjunto é totalmente fabricado em Aço SAE 1020, além das vedações que são fabricadas em borracha nitrílica. Sua construção possui duas câmaras concêntricas, a externa é utilizada como reservatório do óleo, enquanto a interna é a de acionamento do pistão (**Figura 5**).

Esse tipo de construção reduz o tamanho do macaco deixando-o compacto, o que também o torna bastante versátil, podendo ser utilizado em espaços pequenos (MUCHNIK, 2015).

Ao total, o Macaco possui 46 peças, incluindo anéis de vedação, arruelas, porcas e parafusos, e tem como requisito suportar uma carga de 3 toneladas. Como o conjunto é utilizado para fins didáticos, não está otimizado à melhor forma. Sendo assim, uma análise será conduzida a fim de verificar as tensões no conjunto quando a carga de três toneladas é aplicada no pistão. Além disso, as demais partes do conjunto que sofrem esforço também serão avaliadas.

SEQUÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO

A fim de comparação, primeiro uma análise em MEF é conduzida no modelo atual para determinar as tensões na peça. Após essa etapa é elaborada uma nova proposta de macaco hidráulico que é interpretado e aperfeiçoado através das técnicas de otimização apresentadas. Uma nova análise em MEF é conduzida a fim de determinar as tensões do conjunto. Ao final, os dois conjuntos são comparados. Esse fluxo de desenvolvimento pode ser visto na **Figura 6**.



Fonte: Autores

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DA TENSÃO MACACO ATUAL

Para análise de distribuição de tensão, modelou-se as peças do macaco hidráulico no software de CAD *Solidworks*, as peças então foram transferidas para o *ANSYS Workbench* onde as análises foram conduzidas. Apenas as peças que sofrem algum tipo de sollicitação de tensão foram simuladas e para tanto, algumas premissas foram assumidas.

O macaco foi projetado para suportar uma carga vertical máxima de 30 kN. Porém, segundo a norma ABNT NBR 11530 (2009, p.3) para Equipamentos de elevação, o macaco hidráulico deve suportar uma carga 50% maior que o valor máximo especificado e o valor máximo para acionamento da alavanca deve ser de 280 N (**Figura 5**). Para a análise de tensão considerou-se como parâmetros de entrada os valores especificados pela norma, ou seja 45KN. Na **Tabela 1** estão as propriedades do Aço SAE 1020 cujo Macaco hidráulico é construído. Nas análises de distribuição de tensão, a tensão de escoamento é considerada a tensão limite de projeto.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas do Aço SAE 1020

| SAE 1020 - Propriedades | | | |
|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Módulo de elasticidade (E) | Tensão de escoamento (σ_e) | Tensão de Ruptura (σ_r) | Coefficiente de Poisson (ν) |
| GPa | MPa | MPa | - |
| 205 | 210 | 380 | 0,3 |

Fonte: Autores

SIMPLIFICAÇÃO DOS MODELOS E CONVERGÊNCIA DE MALHA

A fim de facilitar a análise e diminuir o tempo de processamento, os modelos simulados foram simplificados, isto é, tiveram alguns detalhes removidos, tais como alojamento para anéis de vedação ou pequenos rasgos que não influenciam nos resultados das simulações. Do ponto de vista da análise por elementos finitos estes detalhes citados apenas aumentariam a complexidade da malha de elementos e, conseqüentemente, encareceria o custo computacional da análise, sem influência significativa nos resultados.

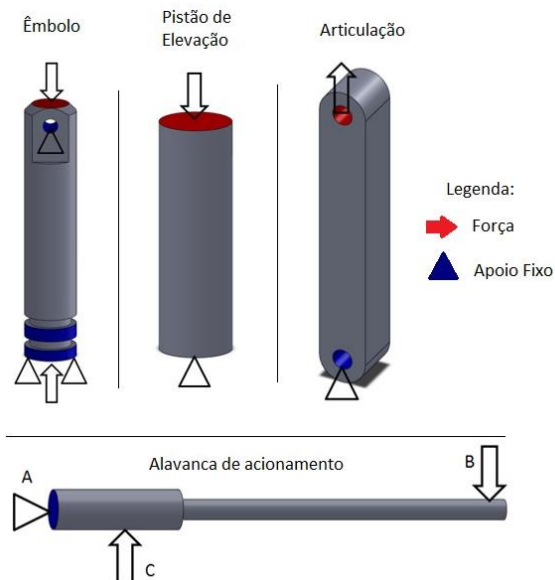
Então os modelos foram submetidos ao teste de convergência de malha, que consiste em analisar sequencialmente o mesmo modelo sob um mesmo carregamento para diferentes quantidades crescentes de elementos finitos. É dito que a análise convergiu quando seus resultados não se alteram significativamente a partir de uma determinada quantidade de elementos. Todos os resultados apresentados neste trabalho foram submetidos à esse teste de convergência de malha.

SIMULAÇÃO INDIVIDUAL DAS PEÇAS

Após a conversão das malhas, as peças foram simuladas considerando-se os apoios fixos e pontos de aplicação de carga. Todos os resultados apresentados neste trabalho foram obtidos através de análises elásticas linear e a tensão limite de projeto adotada é a tensão de escoamento do material.

Na Figura 7, em vermelho, mostra-se as faces onde há aplicação de carga e em azul as face onde há algum tipo de apoio. No caso das peças em que há interação indireta com o fluido hidráulico foram consideradas apenas as forças.

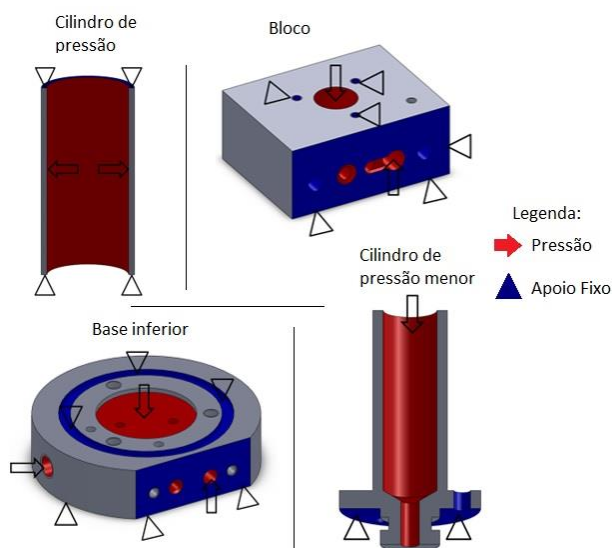
Figura 7 - Restrições aplicadas nos modelos que usam força



Fonte: Autores

Já nas peças em que há interação do fluido hidráulico, a força considerada é uma pressão que é gerada pelo acionamento da alavanca, sendo assim, antes da simulação, a pressão exercida considerada no cálculo e aplicada nas faces em vermelho (Figura 8).

Figura 8 - Restrições aplicadas ao modelo que usam pressão



Fonte: Autores

Na **Tabela 2** mostra-se os parâmetros utilizados na simulação, tais como carga, seja ela pressão ou força e o número de nós e elementos, já com a malha convergida, utilizados na simulação. Nas duas últimas colunas estão os resultados encontrados na simulação, tensão e deslocamento.

Tabela 2 - Resultados da simulação (¹: superdimensionado; ²: subdimensionado)

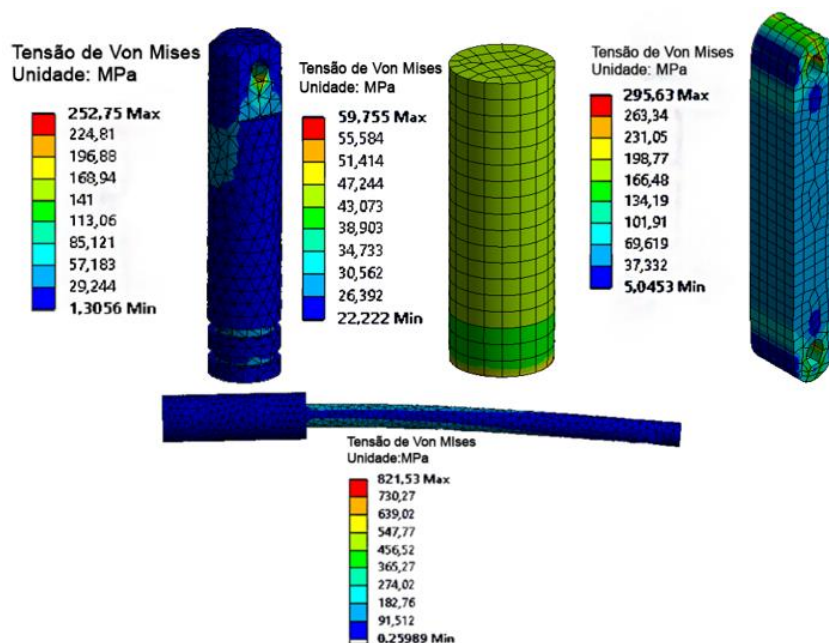
| Peça | Carga | | Malha convergida | | Tensão de Von Mises (MPa) | Deslocamento (mm) |
|----------------------------------|-----------|---------------|------------------|-----------|---------------------------|-------------------|
| | Força (N) | Pressão (MPa) | Nós | Elementos | | |
| Pistão de Elevação | 45000 | - | 2460 | 496 | 59,755 ¹ | 0,024 |
| Cilindro de pressão | 45000 | - | 3444 | 504 | 274,47 | 0,024 |
| Alavanca de acionamento | 280 | - | 5878 | 3032 | 821,53 ² | 3,41 |
| Base inferior | - | 29,2 | 14742 | 9325 | 74,044 ¹ | 0,003 |
| Bloco | - | 29,2 | 7009 | 4228 | 83,74 ¹ | 0,00157 |
| Êmbolo | 4500 | - | 5651 | 3428 | 252,75 | 0,012 |
| Cilindro de pressão Menor | - | 29,2 | 2246 | 1100 | 120,74 ¹ | 0,005 |
| Articulação | 4500 | - | 4062 | 745 | 295,63 | 0,0009 |

Fonte: Autores

A

Figura 9 ilustra os resultados da distribuição de tensão nos modelos simulados com a força de 45KN.

Figura 9 – Resultados da distribuição de tensão nos modelos com força aplicada

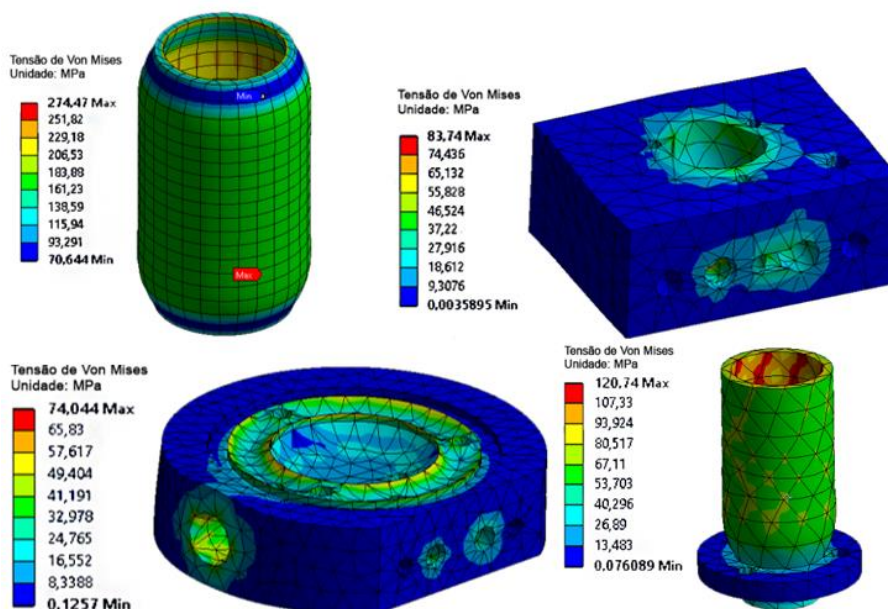


Fonte: Autores

A solução apresentada pelo software utiliza um sistema de cores em que as cores quentes representam os pontos de maior concentração de tensão, já as cores frias representam os pontos de baixa concentração de tensão. Nota-se que, conforme destacado na **Tabela 2**, há casos que a Tensão de Von Mises está muito acima (subdimensionado) ou muito abaixo (superdimensionado) da Tensão de escoamento do material. Já a **Figura 10** ilustra os resultados dos modelos em que foi utilizada pressão como carga. Nota-se que ela apresenta resultados similares a

Figura 9, ou seja os valores da tensão de Von Mises estão abaixo ou acima da Tensão de escoamento.

Figura 10 - Imagem do Cilindro de Pressão com apoios fixos e cargas aplicadas



Fonte: Autores

RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DO MACACO ATUAL

Ao utilizar-se do critério de falha é possível verificar se as peças estão bem ou mal dimensionadas. O critério de falha utilizado nesta análise foi o de Von Mises, a partir daí basta dividir a tensão de escoamento (σ_e) do material pela tensão de Von Mises (σ_{eq}) para se encontrar o coeficiente de segurança (c_s).

$$c_s = \frac{\sigma_e}{\sigma_{eq}} \quad (1)$$

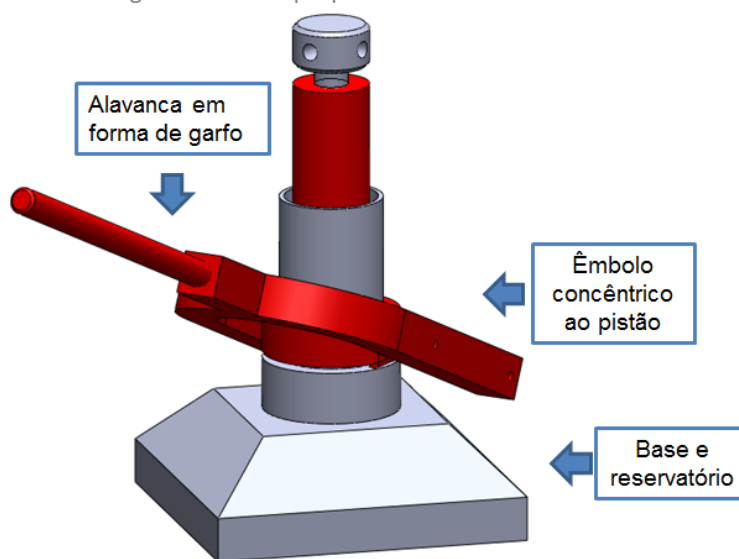
Com isso, verifica-se que os valores dos coeficientes de segurança encontrados durante a simulação do pistão, do cilindro de pressão, da base inferior, do bloco e do cilindro de pressão menor, variam entre 1,6 a 9,8. Já os valores dos coeficientes de segurança do êmbolo e da articulação, encontram-se

entre 0,5 a 0,9. Os pontos concentradores de tensão, principalmente na articulação e êmbolo, se encontram nos furos, já no cilindro de pressão o problema ocorre na espessura da parede, o que indica problema de dimensionamento e que quando usado em carga máxima o Macaco hidráulico poderia falhar. As melhores práticas indicam que os fatores de segurança devem variar entre 1,1 e 1,5 (KIM; SANKAR, 2011). Com isso, pode-se afirmar que as peças estão dimensionadas de forma equivocada, o que, também indica, que é possível otimizá-las estruturalmente.

NOVA PROPOSTA PARA MACACO HIDRÁULICO E APLICAÇÃO DO DFMA

A partir dos resultados encontrados na simulação, uma nova proposta foi elaborada para o projeto do macaco hidráulico. Para isso, utilizou-se duas formas de otimização, através do *solver OptiStruct* e da otimização de forma. Aliadas as técnicas de otimização utilizou-se as técnicas de DFMA, que visam reduzir o número de peças, bem como facilitar a fabricação e a montagem (ESTORILIO, 2008). Com isso o número de peças do conjunto foi reduzido e as peças que desempenham as funções mais importantes do conjunto foram selecionadas para a otimização. Essas peças estão destacadas em vermelho na **Figura 11**.

Figura 11 - Nova proposta de macaco hidráulico

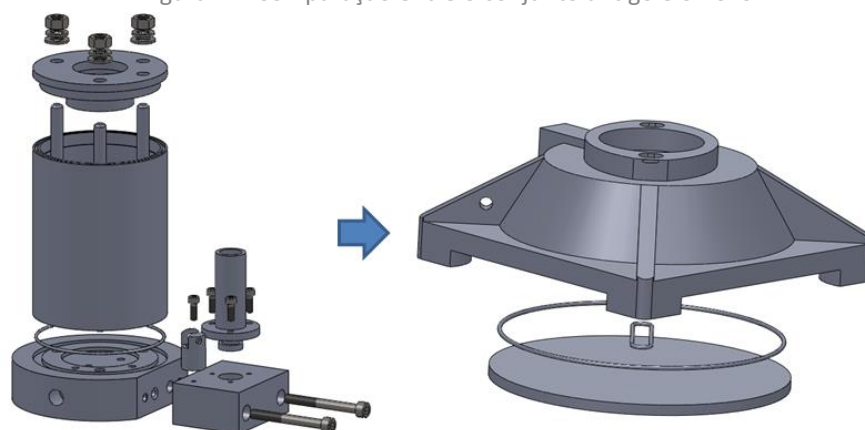


Fonte: Autores

A partir da análise do conjunto verificou-se a possibilidade de agregar outras funções à base do mesmo, além de somente comunicação no conjunto. Com isso, agregou-se a função de reservatório, além do alojamento para o novo êmbolo concêntrico. Outra alteração foi tornar as peças rosqueáveis, isso reduz também o número de elementos necessários para a fixação, diminuindo consequentemente a quantidade de peças do conjunto.

Com a aplicação de DFMA nas peças do conjunto, chegou-se a uma base que agrega diversas funções. Deste modo, uma otimização de forma foi aplicada à base para que pudesse conciliar todas essas funções, contudo, esta alteração limita a sua fabricação ao processo de fundição e usinagem, o que pode aumentar o custo de investimento. Na **Figura 12** é apresentada uma comparação entre o conjunto antigo e o novo conjunto com as peças que foram agregadas aplicando DFMA e alteração de forma.

Figura 12- Comparação entre o conjunto antigo e o novo



Fonte: Autores

FUNÇÕES OBJETIVO, OTIMIZAÇÃO TOPOLOGICA, INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE DO MODELO

As funções objetivo tem como propósito indicar o que o software realizará através da definição de premissas. A premissa para essa otimização é obter a máxima rigidez com a menor massa possível. Matematicamente, um problema de otimização pode ser formulado como:

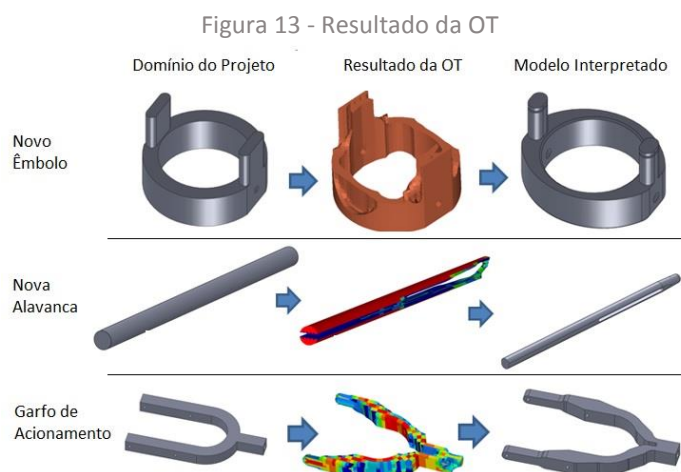
$$\text{Função objetivo: } \psi_0(p) \min (\max) \quad (2)$$

$$\text{Função sujeita a restrições: } \psi_i(p) \leq 0 \quad (3)$$

Domínio: $p_l \leq p_j \leq p_u$ onde l é o limite inferior e u é o limite superior nas variáveis de projeto. Em que: $\psi_0(p)$ e $\psi_i(p)$ representam o valor alvo para o estudo de identificação do sistema, e p_j representa o vetor das variáveis de projeto (p_1, p_2, \dots, p_n). A otimização a partir do *OptiStruct* (solver para otimização baseado em elementos finitos), e de acordo com as funções objetivo definidas pelo programa de otimização, torna a peça mais adequada ao tipo de esforço aplicado ao componente, retirando material de onde não há necessidade, adquirindo assim a máxima rigidez com a menor massa possível. Porém, após a otimização os modelos precisam ser interpretados a fim de torná-los fabricáveis. Os modelos foram adaptados de acordo com o processo de fabricação que os

torna viáveis. Sendo assim, foram interpretados e adaptados ao processo de fabricação mais adequado.

Após a definição das funções objetivo, do domínio do projeto e simulação no software *Hypermesh*, os modelos foram otimizados e interpretados, seguindo os passos da **Figura 13**.

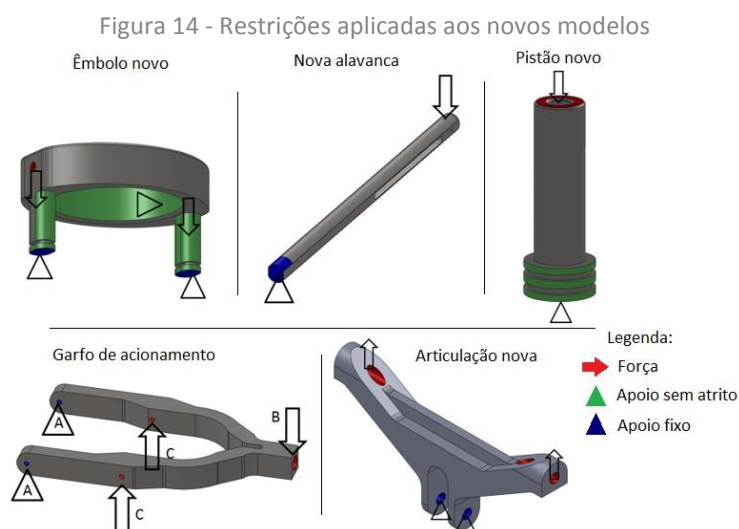


Fonte: Autores

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DA TENSÃO DO NOVO MACACO HIDRÁULICO

A análise de distribuição de tensão do macaco atual seguiu os mesmos parâmetros utilizados para o macaco original. As peças foram simuladas individualmente de acordo com as restrições e cargas sofridas por cada item. A

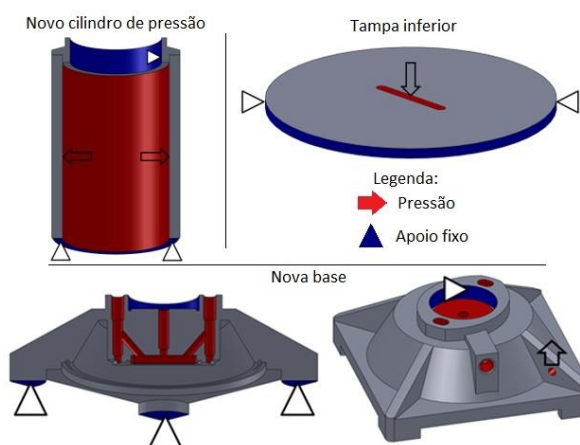
Figura 14 ilustra as restrições aplicadas as peças que foram otimizadas.



Fonte: Autores

As peças, mostradas na **Figura 15**, sofreram uma otimização de forma para que pudessem incorporar mais funções e, por isso, a nova base também foi simulada aplicando força, além da pressão, no ponto de fixação da nova articulação. Ao novo cilindro agregou-se uma coroa, para que o número de peças fosse reduzido. Apesar do novo cilindro ter agregado novas funções utilizou-se apenas pressão para simulação, assim como na tampa inferior.

Figura 15 – Restrições aplicadas aos novos modelos que usam pressão



Fonte: Autores

Após a definição das restrições as peças foram simuladas a fim de encontrar as novas distribuições de tensões, bem como, os novos coeficientes de segurança (CS). Na **Tabela 3** estão os dados utilizados na otimização topológica e na análise de distribuição de tensão, bem como os valores da tensão de Von Mises, deslocamento e CS encontrado.

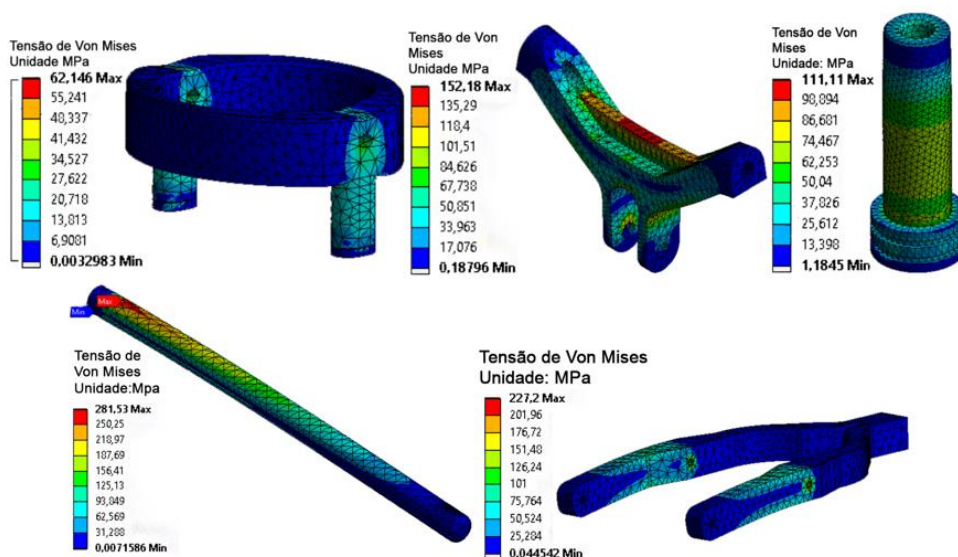
Tabela 3 - Dados para simulação e resultados

| Peça | Carga | | Tensão de Von Mises (MPa) | Deslocamento (mm) | CS |
|-----------------------------|--------------------------|---------------|---------------------------|-------------------|------|
| | Força (N) | Pressão (MPa) | | | |
| Êmbolo novo | 2250 (cada furo) | - | 62,146 | 0,004 | 2 |
| Nova alavanca | 480 | - | 281,53 | 3,057 | 1,1 |
| Garfo de acionamento | 96 (ponta); 2250 (furos) | - | 227,2 | 0,018 | 1,1 |
| Pistão Novo | 45000 | - | 111,11 | 0,028 | 1,52 |
| Cilindro de Pressão | - | 29,2 | 217,71 | 0,019 | 1,1 |
| Nova base | - | 29,2 | 225,37 | 0,012 | 1,1 |
| Tampa inferior | - | 29,2 | 140,78 | 0,138 | 1,49 |
| Articulação nova | 1000 | - | 152,18 | 0,066 | 1,38 |

Fonte: Autores

O novo pistão foi otimizado parametricamente, alterando o diâmetro externo, com isso, e com o auxílio da simulação de elementos finitos chegou-se a um novo pistão com uma melhor concentração de tensão. Na nova articulação houve uma otimização de forma, para que pudesse ser fixa a nova base e também ao garfo de acionamento. A **Figura 16** ilustra a distribuição de tensão nas peças otimizadas.

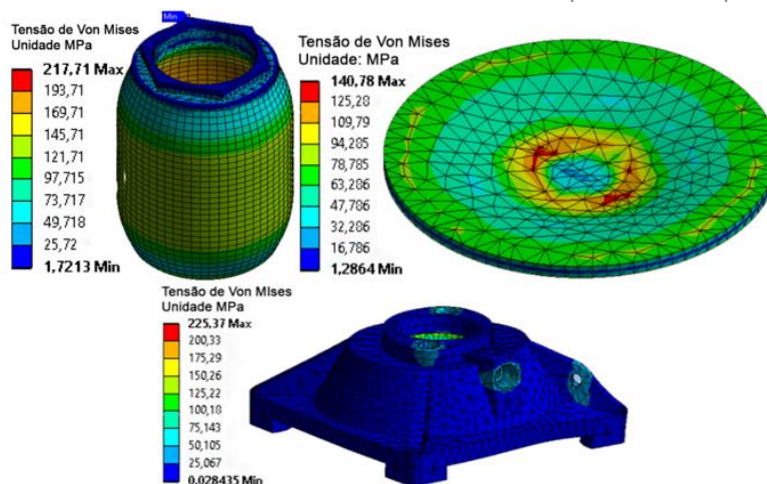
Figura 16 - Resultados da simulação dos novos modelos



Fonte: Autores

A **Figura 17** expõe a concentração de tensão nas demais peças do conjunto e que utilizaram pressão e ou força.

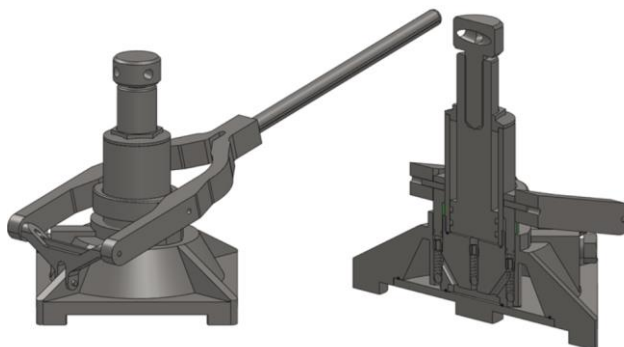
Figura 17 - Resultados das análises dos novos modelos que utilizaram pressão



Fonte: Autores

Os resultados alcançados demonstram uma redução de 20 peças, incluindo parafusos, arruelas e vedações, e uma redução de massa de aproximadamente 15%. O conjunto agora tem um total de 26 peças, além de os coeficientes de segurança alcançarem um valor máximo de 2, valor mínimo de 1,1 e uma melhor distribuição da concentração de tensão (Figura 18).

Figura 18 - Macaco hidráulico otimizado



Fonte: Autores

CONCLUSÃO

Esse artigo apresentou o redesenho de um macaco hidráulico, desenvolvido por meio da aplicação das técnicas de DFMA juntamente com a otimização paramétrica, de forma e topológica. Com essa abordagem verificou-se a busca sistemática por uma configuração otimizada, desde que os parâmetros de entrada sejam definidos corretamente. Isso demonstra que a aplicação destas técnicas reduzem o tempo de desenvolvimento e o torna mais efetivo.

No conjunto final a massa foi reduzida em aproximadamente 15% e o número de peças foi reduzido em 20, resultando num total de 26 peças.

Apesar dos resultados alcançados ainda se faz necessária a fabricação de um protótipo a fim de testar se os resultados se repetem e se o funcionamento do macaco hidráulico é adequado, além de um levantamento dos custos de fabricação de cada peça do conjunto com o intuito de levantar o preço final do mesmo.

Structural Optimization of a Hydraulic Jack

ABSTRACT

This work presents the redesign of a hydraulic jack, improving its technical characteristics through structural optimization and Design for Assembly and Manufacturing (DFMA) for project improvement. Most companies still use traditional design techniques, such as trial and error, despite the emergence of advanced techniques to aid in product design. This work explores new design forms by applying current methods and compares the results with the traditional form. The mechanical stress concentrations and the volume of material of the set are constraints in this design. A comparison between the current model and the model proposed in this work is made through a three-dimensional design. The stress distribution in the main parts of the assembly is presented and after the comparison, it was noticed that the proposed model can be produced with a reduction of 15% in the mass of the final assembly.

KEYWORDS: *Structural Optimization; Topology Optimization; Parametric Optimization; DFMA.*

Optimización Estructural de un Gato Hidráulico

RESUMEN

Se presenta en este trabajo el rediseño de un gato hidráulico, mejorando sus características técnicas a través de la optimización estructural y Design for Assembly and Manufacturing (DFMA) para la mejora de proyectos. La mayoría de las empresas todavía utilizan técnicas de diseño tradicionales, tales como ensayo y error, a pesar de la aparición de técnicas avanzadas para ayudar en el diseño del producto. Este trabajo explora nuevas formas de diseño mediante la aplicación de métodos actuales y compara los resultados con la forma tradicional. La concentración de esfuerzos mecánicos y el volumen de material del conjunto son limitaciones en este diseño. Se hace una comparación entre el modelo actual y el modelo propuesto en ese trabajo, por medio de un proyecto tridimensional. La distribución de tensión en las principales piezas del conjunto es presentada y después de la comparación, se percibió que el modelo propuesto puede ser producido con una reducción del 15% en la masa del conjunto final.

PALABRAS CLAVE: Optimización estructural; optimización topológica; optimización paramétrica; DFMA.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS -ASME B30.1: *Jacks, Industrial Rollers, Air Casters, and Hydraulic Gantries*, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR11530: Veículos rodoviários automotores - Macacos Hidráulicos - Especificações**. Rio de Janeiro, 2009.

BATHE, K. J., *Finite element procedures*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1996.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. **Aumenta a participação dos produtos importados no consumo brasileiro**. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/imprensa/2015/05/1,62346/aumenta-a-participacao-dos-produtos-importados-no-consumo-brasileiro.html/>>. Data da consulta: Outubro. 2015.

ESTORILIO, C. C., **Melhoria do Projeto de Uma Caminhonete de Brinquedo com Aplicação das Técnicas de Análise de Valor, DFMA e FMEA** / Carla Cristina Amodio Estorilio - Rio de Janeiro, 2008.

HOUAISS, A e VILLAR, M. de S., **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2009.

KIM, N. H., SANKAR, B.V., **Introdução à Análise e ao Projeto em Elementos Finitos**. LTC Editora, 2011.

LOW-TECH MAGAZINE - LTM. **The sky is the limit: human powered cranes and lifting devices**. Disponível em: <<http://www.lowtechmagazine.com/2010/03/history-of-human-powered-cranes.html>>. Data da Consulta: Out. 2015.

MUCHNIK, J. **History of Hydraulic Jacks**. Disponível em: <<http://ezinearticles.com/?History-of-Hydraulic-Jacks&id=886634>> Acessado em: 25 de outubro de 2015.

RUSSO, D.; RIZZI, C. *Structural Optimization Strategies to Design Green Products. / Computers in Industry*, v. 65, n.3, p. 470-479, 2014.

SILVA, E. C. N. **Otimização Aplicada ao Projeto de Sistemas Mecânicos, apostila da disciplina PMR 5215**, depto. de Engenharia Mecatrônica e Sistemas Mecânicos, Escola Politécnica da USP, 1999.

SILVA, E. C. N. **Técnicas de Otimização Aplicadas no Projeto de Peças Mecânicas**, depto. de Engenharia Mecatrônica e Sistemas Mecânicos, Escola Politécnica da USP, 2012.

VANSET, L. Z. ; LAZZARI, F., **A Inovação como Diferencial Competitivo no Mercado Internacional: Um estudo com empresas de Caxias do Sul**. Data da consulta: 20 de outubro de 2015.

Recebido: 18 de agosto de 2017.

Aprovado: 07 de dezembro de 2017.

DOI:

Como citar: **DA Costa, A. C. et al.**, Otimização estrutural de um macaco hidráulico, **Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada**, Ponta Grossa, v. 4, n.2, p. 42-62, dezembro. 2017.

Contato: André Clemente da Costa andre.clemente.costa@gmail.com

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

