

ESTUDO DE CASO DE PROJETO PARA REDUÇÃO DE CUSTO DE UMA PRENSA HIDRÁULICA

Rafael Camargo de Moraes

Leandro Cardoso da Silva

SENAI Roberto Simonsen

rafaelc_cmoraes@hotmail.com; eng.lcdsilva@gmail.com

Carlos Cesar Pestana

SENAI Roberto Simonsen

carlos.pestana@sp.senai.br

Resumo: A área de projetos apresenta múltiplos desafios para os projetistas atuais. A escolha do material que será usado no maquinário, cargas aplicadas na estrutura, respeitar o envelope estabelecido, interação com outros componentes que devem trabalhar sempre em harmonia, tempo de projeto pré-estabelecido e por vezes insuficientes para desenvolver ideias mais elaboradas, custo de fabricação, são situações comuns do projetista mecânico. O estudo de caso apresentado é de uma prensa hidráulica de 20 toneladas feita para uma linha já existente, devendo substituir uma estação obsoleta. Sendo assim, a área que deve ser ocupada é limitada pelo envelope da estação anterior. A esteira de transporte de produto passa na frente da estação. A prensa projetada foi dividida em duas partes principais, a base e a coluna principal. A base serve de suporte para a coluna principal e de apoio para a prensagem do produto. A coluna é o apoio para uma prensa de 20 toneladas de carga. A prensagem do produto é interna, sendo assim, o êmbolo da prensa deve passar por um furo no produto para ser posicionado. Devido a essa peculiaridade, durante a prensagem não pode haver grande deformação na estrutura, pois um desalinhamento acentuado pode colidir o êmbolo da prensa com o produto, o danificando e invalidando o processo. Para a coluna principal foi usado duas chapas de 4 polegadas de aço SAE 1020 com reforço estrutural para diminuir a deformação. A base seguiu a concepção da coluna principal, superdimensionando as chapas e adicionando treliça interna para suportar a massa extra da coluna principal e para não deformar excessivamente durante a prensagem. Essa pesquisa pretende apresentar uma concepção geométrica para solucionar o problema descrito anteriormente, focados na redução de custos, respeitando o envelope e especificações do projeto.

Palavras-chave: Projeto; prensa hidráulica; envelope; redução de custo

1. INTRODUÇÃO

O projeto da prensa que será analisada nesse artigo foi criado para substituir outra prensa de carga menor que já estava em funcionamento na linha de montagem. Devido a substituição apenas dessa estrutura, o envelope disponível para o projeto era o mesmo da máquina antiga, não havendo espaço para uma estrutura muito diferente da já existente.

Os parâmetros para o projeto exigiam que a nova prensa deve exercer a carga de 20 toneladas em uma prensagem interna na peça, em função disso uma deformação acentuada poderia colidir o êmbolo da prensa com o produto, danificando-o e invalidando o processo. A fim de evitar esse cenário o deslocamento máximo na base do êmbolo da prensa foi fixado em 2mm e o deslocamento na base não pode superar 0,5 mm. Além disso, deve acomodar uma garra que, após a prensagem, irá segurar a peça, levantá-la do palete, rotacionar 180° e posicioná-la novamente no palete. Para isso deve existir um espaço interno para acomodar todos os componentes desse sistema.

Por motivo de um prazo curto, o projetista decidiu manter o formato básico da estrutura, aumentando a espessura das chapas e acrescentando reforços internos para evitar uma deformação acentuada. Porém, por falta de uma ferramenta eficiente para medir os esforços e a deformação da estrutura na fase de projeto, o equipamento ficou extremamente robusto e, por consequência, superdimensionado.

O objetivo do artigo é apresentar o projeto da prensa original e seu comportamento durante o funcionamento e, através da utilização do método dos elementos finitos e de otimização topológica, reduzir o uso de material, melhorar a geometria da estrutura e manter o projeto dentro dos parâmetros estabelecidos para seu funcionamento, reduzindo o custo com material e usinagem.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A prensa hidráulica é um maquinário fundamental em fábricas, sendo utilizada em operações de corte, dobra, punção, estampagem e compressão, sendo possível realizar mais de uma atividade ao mesmo tempo (Manegotto, 2022).

Encontrada em ambientes de fabricação, é um equipamento que amplia de forma considerável o poder de compactação. Foi inventada em 1795 por Joseph Bramah, utilizando o conceito de mecânica dos fluídos e de movimento desenvolvido por Pascal (REVISTA AdNormas, 2019). O Princípio de Pascal diz que se um líquido incompressível e homogêneo ao sofrer uma variação de pressão, todos os pontos desse líquido apresentam a mesma variação (Barreto e Xavier, 2016).

Este tipo de prensa possui pistões e fluido dentro que são deslocados para gerar o processo de prensagem. A força gerada pela prensa é baseada no tamanho dos pistões, tanto do seu diâmetro como por seu deslocamento. A quantidade de fluido movido é proporcional à razão das áreas dos pistões (Revista AdNormas). Quando se aplica uma força F_1 em um cilindro com área A_1 , o aumento de pressão será uniforme em todos os pontos desse fluido. Em um sistema fechado com dois cilindros a força F_1 será multiplicada de acordo com a área A_2 do segundo pistão. Logo podemos escrever a fórmula do Princípio de Pascal da seguinte maneira (Barreto e Xavier, 2016):

$$\Delta P_1 = \Delta P_2$$

Logo:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

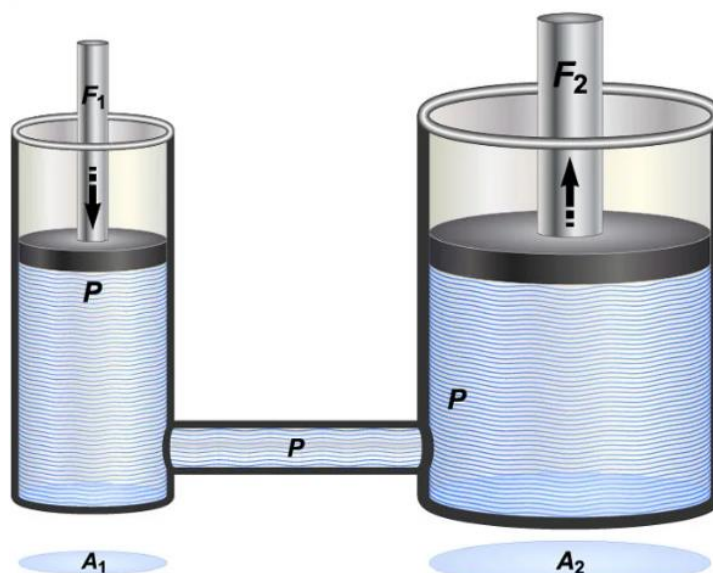


Figura 1. Modelo exemplificando o princípio de Pascal.
(Helerbrock, 2022)

Durante o desenvolvimento do projeto é necessário definir quais materiais serão utilizados e como será o processo de fabricação. Porém com o elevado número de materiais a disposição, há a necessidade de uma metodologia para separar materiais indesejados dos utilizáveis e, principalmente, materiais bons dos excelentes. (Ashby, 2012).

A seleção do material está amarrada à função, forma e processo de acabamento. A função indicará o material que será usado que, por sua vez, influencia os processos pelos quais o material pode ser submetido, logo, o processo determina a forma, o tamanho, a precisão e o custo final da peça. (Ashby, 2012).

É possível afirmar que a definição de material pode incluir substâncias sólidas, líquidas e gasosas. Entre 1970 e 1973, Morris Cohen como presidente do *Committee on Survey of Materials Science and Engineering* (COSMAT) se baseou em investigações científicas de diversos pesquisadores e propôs um relatório unificando pesquisas que iam da metalurgia à química de polímeros resultando na Ciência e Engenharia dos Materiais. A partir desse momento e termo materiais é referente à substâncias com propriedades úteis para fabricação e construção de máquinas, dispositivos, estruturas e produtos (Walter, 2006).

O aço SAE 1020 é um dos aços mais comuns e mais usados, possui excelente usinabilidade e soldabilidade, sendo um material dúctil com ótima conformabilidade. O limite de escoamento do material é de 350 MPa e a resistência a tração é de 420 MPa, seu módulo de elasticidade é de 205 GPa (Luz, 2017).

A necessidade de conferir simultaneamente a tensão, deformação e deslocamento em uma estrutura exige uma ferramenta especializada. O método de elementos finitos possibilita a obtenção desses resultados através da simplificação do modelo em análise em elementos mais simples e calculáveis. Sendo assim, essa ferramenta nos possibilita identificar

pontos com concentração de tensões e entender o comportamento de peças e estruturas ao aplicar algum carregamento (Amuchastegui, 2016).

O método dos elementos finitos tem suas origens no final do século XVII com Gauss propondo funções de aproximação para solucionar problemas matemáticos, mas apenas em 1909, Walter Ritz utilizou o método para a solucionar problemas mecânicos de sólidos deformáveis. Em 1943 as possibilidades de uso do método de elementos finitos foram aumentadas quando Richard Courant introduziu funções lineares sobre regiões triangulares, sendo que os pontos nodais das regiões triangulares são incógnitas, sendo possível solucionar com funções lineares (Campos, 2006). Com o avanço tecnológico e o surgimento de computadores capazes de efetuar cálculos e equações complexas foi possível desenvolver essa ferramenta “Lotti *et al.* (2006)”. Em 1955 a aeronáutica precisava analisar a distribuição de tensões nas chapas das asas dos aviões, para isso foi necessário transformar a superfície contínua em um conjunto de elementos simples de dimensões finitas e definidas interligadas por pontos nodais obtendo assim um sistema aproximado do real (Soriano, 2003).

Dimensionamento, formato e otimização topológica são diferentes problemas que precisam ser resolvidos em um projeto. O dimensionamento pode ser resolvido quando, ao se conhecer todas as variáveis, encontra-se a espessura ideal do material que satisfaça as cargas que o projeto exige. O objetivo da otimização do formato é encontrar a geometria que melhor se encaixa no projeto, sem descuido com o dimensionamento. A otimização topológica de um sólido determina a melhor distribuição de material dentro da geometria, onde haverá alívio de material e o formato que esse alívio deverá ter (Bendisøe e Sigmond, 2006).

O processo de criação de um produto exige muito da experiência e visão do projetista, adquiridas com o tempo na solução de outros problemas. Técnicas modernas permitem que o projetista foque apenas na criação da geometria básica da peça, automatizando a otimização do modelo, diminuindo o tempo gasto em tentativa e erro caso o processo fosse feito manualmente “Novotny *et al.* (2002)”.

3. MATERIAIS E MÉTODO

O material selecionado para a estrutura da base e da coluna da prensa foi o SAE 1020, devido ao seu baixo custo e disponibilidade no mercado em relação a outros materiais. As dimensões da base são de comprimento 1500 mm, largura de 1200 mm e altura de 531 mm. A coluna possui as seguintes dimensões, comprimento de 1071,5 mm, largura de 820 mm e altura de 2040,8 mm.

Na imagem abaixo é possível visualizar a prensa com todos os componentes montados, incluindo todo o sistema da garra.

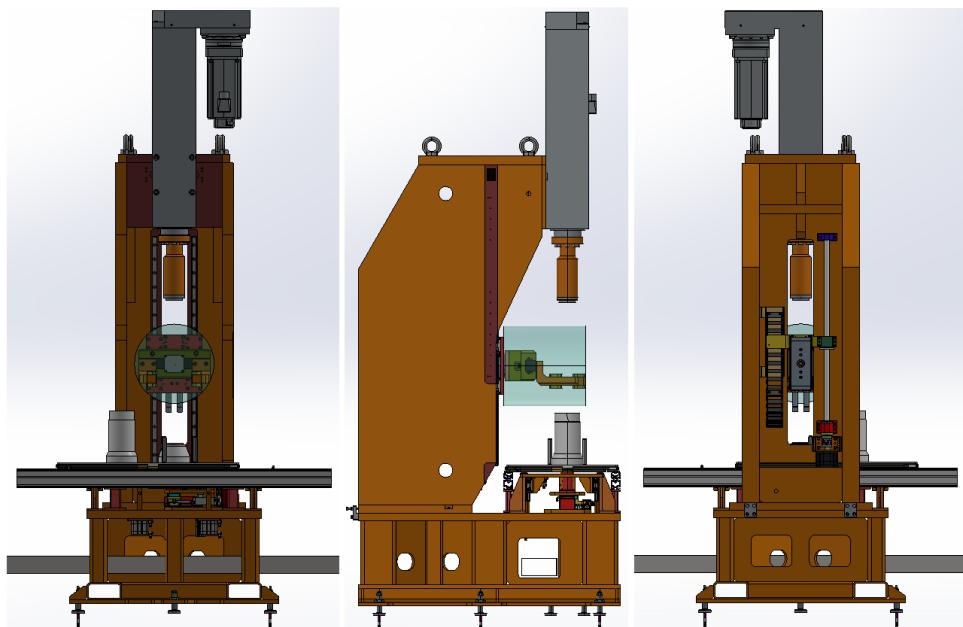


Figura 2. Prensa com todos os componentes
(Fonte: autor, 2022)

3.1. Simplificação e simulação

Simplificando o modelo e focando apenas na parte estrutural, restará apenas a base, a coluna e a prensa, que foi inserida de forma representativa. A distribuição de força na estrutura será baseada na carga de 200 kN que a prensa exerce

na base e sua resultante que afeta a coluna, devido a massa da estrutura ser alta, não é possível ignorar a ação da gravidade no modelo, como é possível ver na figura a seguir. A massa total da estrutura, sem a prensa, é de 4495,8 kg.

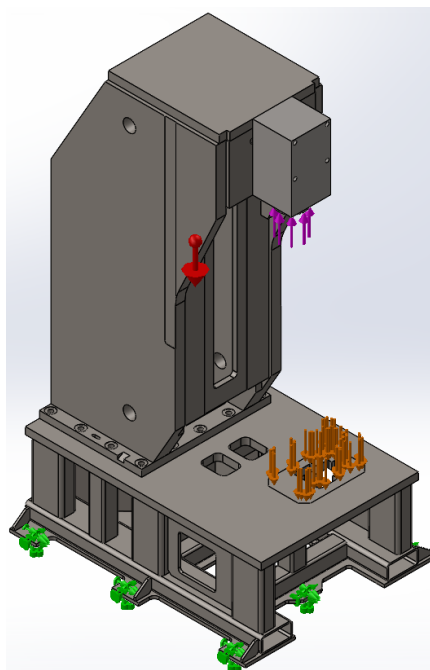


Figura 3. Distribuição de cargas na estrutura
(Fonte: autor, 2022)

Foi utilizado o SolidWorks para simular a tensão (MPa) e a deformação (mm), com as seguintes configurações. Malha sólida baseada em curvatura, 16 pontos Jacobianos, 195372 nós, 100414 elementos. O resultado da simulação pode ser visualizado a seguir.

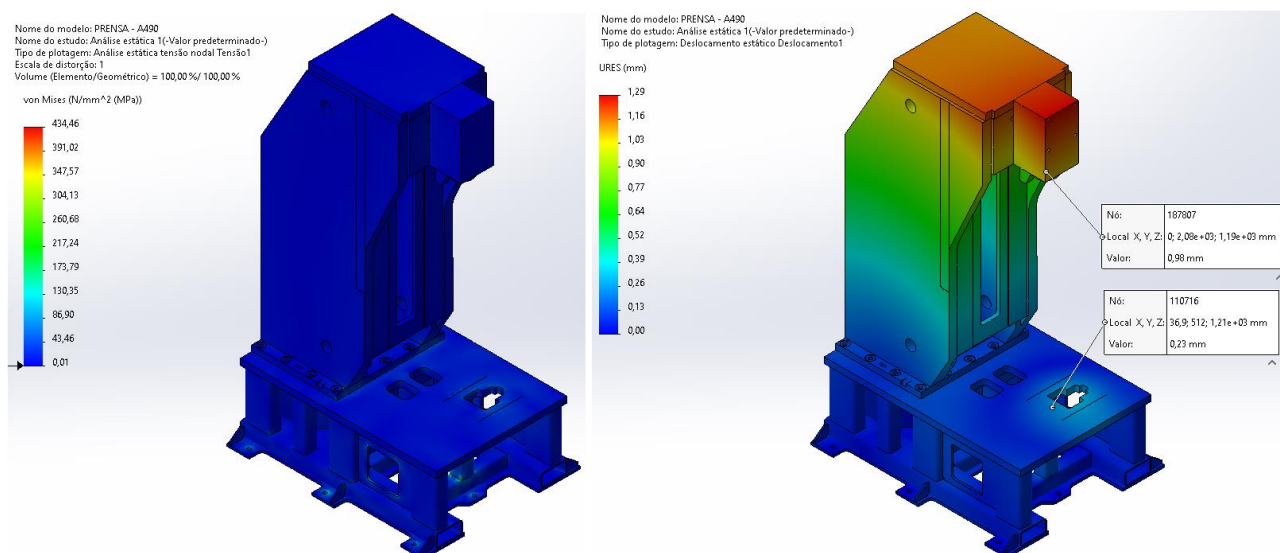


Figura 4. Resultado da tensão e deformação para carga de 200 kN
(Fonte: autor, 2022)

A deformação na base para a carga de 200 kN (20 ton) é de 0,23 mm, ficando dentro da deformação estipulada de 0,5 mm, a deformação total da coluna é de, aproximadamente 1,00 mm no eixo central do êmbolo da prensa, também ficando abaixo do exigido, que é de 2,0 mm. Sendo assim, existe margem para alterações, retirada de material e mudança de geometria.

É observado que a tensão máxima que a estrutura está sujeita é de 434,46 MPa, acima da tensão de escoamento do SAE 1020 laminado que é de 360 MPa. Utilizando a ferramenta percepção de projeto do Solidworks é possível visualizar que a principal região que sofre um estresse relevante é a base da prensa, no local onde suporta a carga de 200 kN.

Observando apenas os pontos que ficaram acima da tensão de escoamento é percebido que são apenas arestas de contato e podem ser ignorados já que a estrutura não está sobrecarregada.

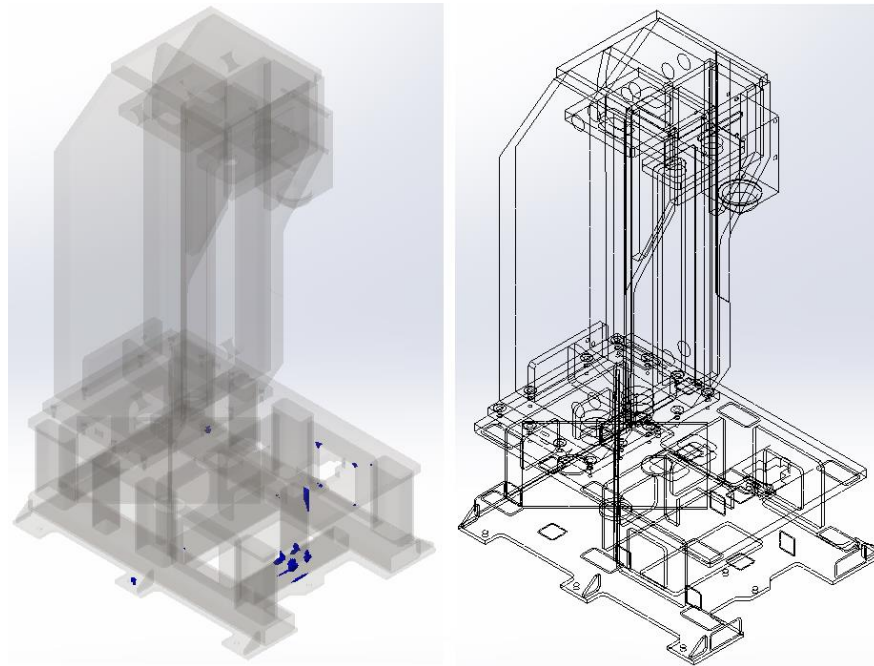


Figura 5. Área com esforços acima da tensão de escoamento
(Fonte: autor, 2022)

É visível que a estrutura não sofre com a carga, já que a principal função de sua robustez é impedir que haja uma deformação acentuada que inviabilizaria sua operação. Porém existe margem para redução de material e melhoria de geometria, tanto da base quanto da coluna.

3.2. Análise topológica e alterações na estrutura

Inserindo os dados no software Ansys e utilizando otimização de topologia para reduzir 35% da massa na estrutura da coluna e da base, os seguintes resultados foram obtidos.

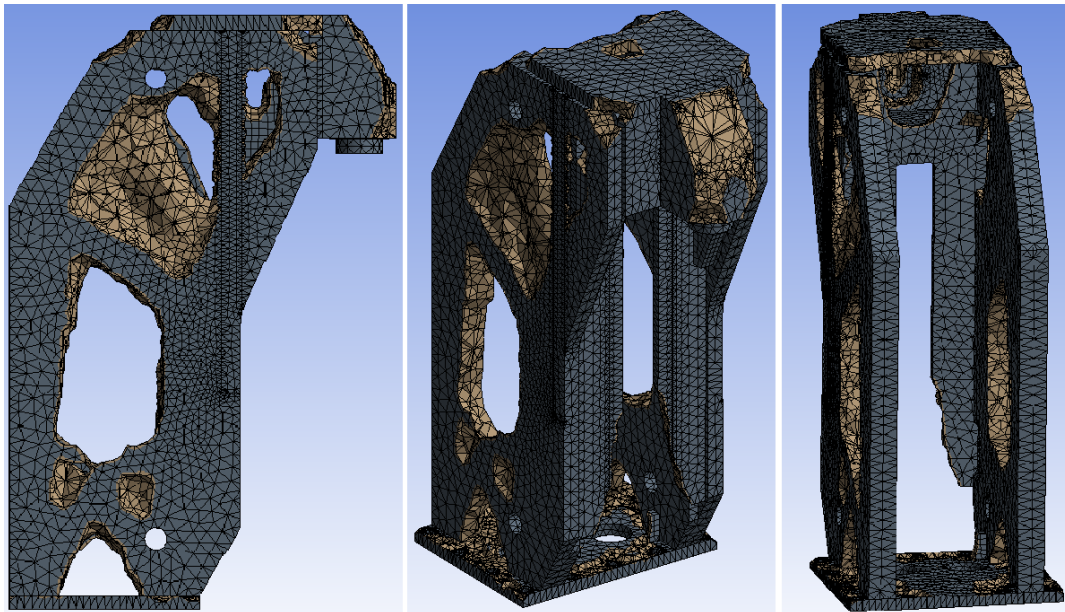


Figura 6. Estudo de otimização topológica na coluna com 35% de retirada de material
(Fonte: autor, 2022)

A coluna teve alívios nas chapas estruturais laterais e remoção quase completa dos reforços estruturais internos, tanto em sua base quanto na área superior.

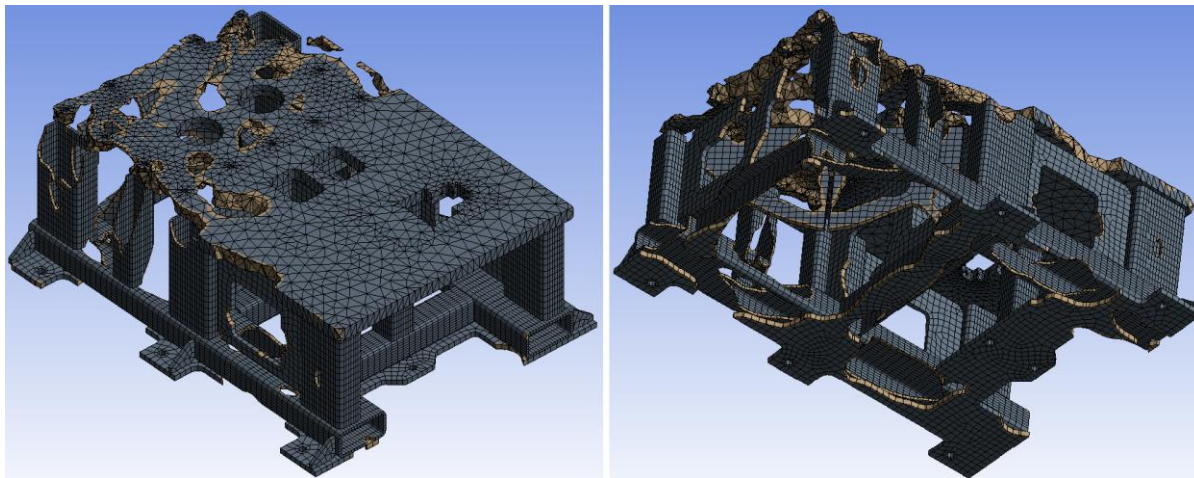


Figura 7. Estudo de otimização topológica na base com 35% de retirada de material
(Fonte: autor, 2022)

A base teve grande diminuição de material na chapa de sua base e na estrutura que suporta e serve como ancoragem da coluna.

As alterações na coluna, baseada na topologia gerada pelo Ansys, foi a retirada da estrutura interna, deixando as colunas principais como única estrutura para absorver a carga. A base foi alargada, diminuindo o chanfro das colunas e aumentando o momento de inércia. Foi retirado material da área central das colunas, reduzindo o peso da estrutura sem afetar sua capacidade estrutural.

Seguindo os dados de topologia do Ansys foi retirado parte da estrutura da base, principalmente as chapas abaixo da coluna, foi feito um alívio no assoalho da base e alterado a posição dos suportes internos para garantir que todos os componentes terão espaço para serem posicionados durante a montagem.

O material de fabricação foi mantido o SAE 1020, tendo o objetivo de reduzir, no mínimo, 15% a massa da estrutura mantendo as dimensões e pontos de fixação para facilitar a instalação na linha de montagem.

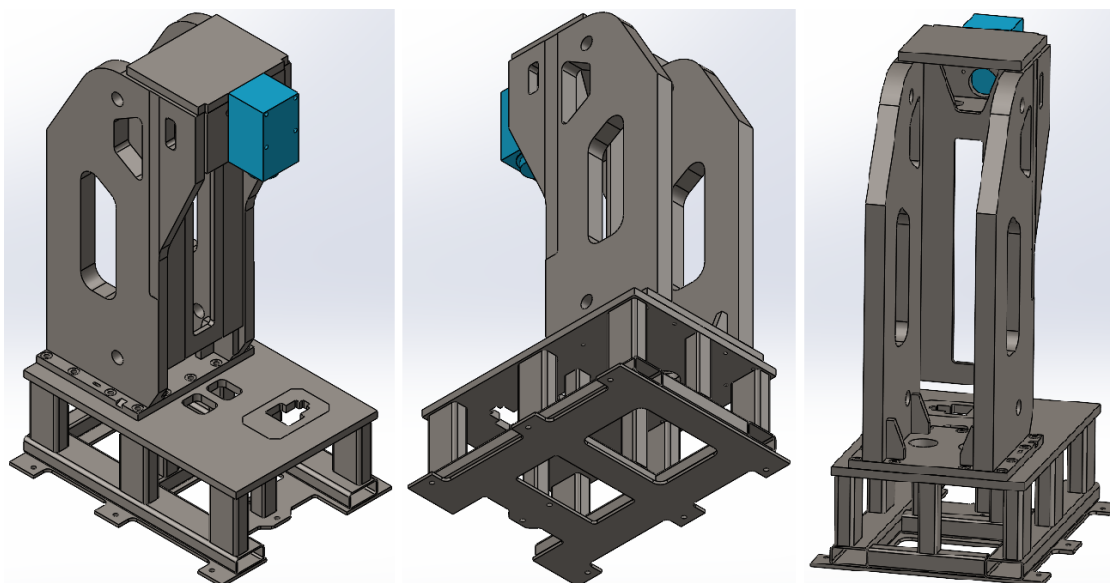


Figura 8. Estrutura otimizada utilizando otimização topológica
(Fonte: autor, 2022)

Após as alterações a estrutura que anteriormente pesava 4498,8 kg passou para 3540,1 kg, ambos sem a prensa. Sendo assim, houve uma redução de 21,3% em sua massa e, conseqüentemente, no material utilizado.

As modificações exigem uma nova simulação para conferir se a tensão e deformação estão dentro dos parâmetros do projeto.

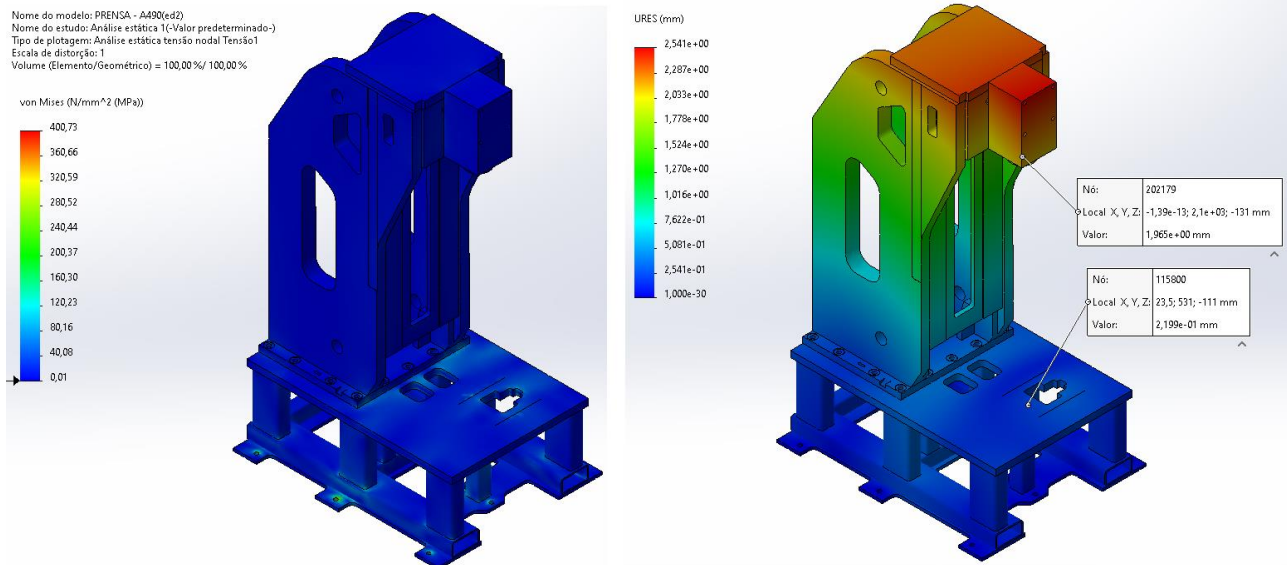


Figura 9. Resultado da tensão e deformação para carga de 200 kN na estrutura otimizada
(Fonte: autor, 2022)

Novamente é observado que a tensão máxima no conjunto está acima da tensão de escoamento do material, aço SAE 1020, que é de 350 MPa. Nesse caso será utilizado a ferramenta de percepção de projeto em conjunto com um filtro para observar os pontos de maior tensão para melhor análise do resultado.

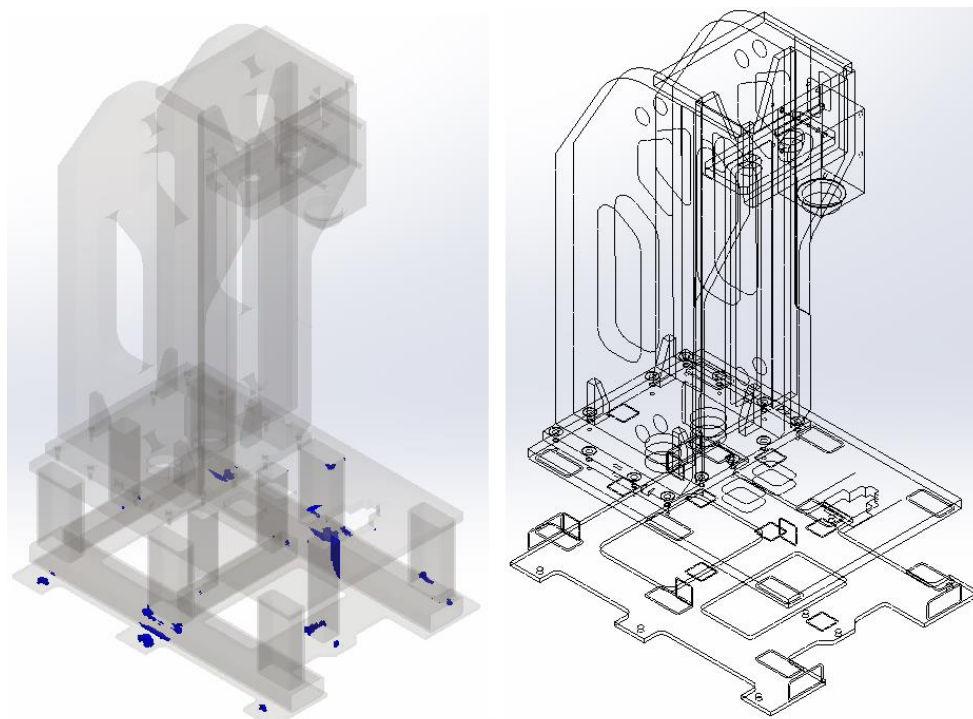


Figura 10. Área com esforços acima da tensão de escoamento na estrutura otimizada
(Fonte: autor, 2022)

Apesar de, aparentemente, ter mais pontos com alta concentração de tensão em comparação com a montagem original, as áreas que ultrapassam o limite de escoamento são pontos isolados nos furos dos pés na base do conjunto. Sendo assim é possível ignorar esse resultado, já que toda a estrutura suporta as cargas de trabalho.

A base, no local da prensagem, está deslocando 0,22 mm, não havendo uma mudança significativa antes e depois das alterações, lembrando que o limite de deformação para esse ponto é de 0,5 mm. A coluna está com deformação máxima de 1,96 mm, ficando dentro do limite máximo de deslocamento estipulado no projeto, que é de 2 mm.

(1)

4. CONCLUSÕES

Devido aos prazos estipulados no mercado de trabalho e a falta de utilização das ferramentas especializadas é muito comum que diversas estruturas sejam superdimensionadas e contenham elementos que pouco ou nada melhoram o desempenho da peça.

O método de elementos finitos nos permite a visualizar o comportamento da estrutura e as tensões e deformações que a mesma sofre quando uma carga é aplicada. Porém a análise topológica ajuda de forma cirúrgica a encontrar as áreas menos importantes sendo possível alterar geometria, reduzir material e manter o bom funcionamento da peça.

Como visto nesse artigo, é possível reduzir drasticamente a quantidade de material utilizado em uma estrutura, sem afetar sua funcionalidade.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço à Khadija minha namorada, esposa e amiga por cobrir meus turnos de afazeres em casa e me dar apoio quase incondicional para que eu pudesse estudar e me dedicar à esse trabalho e a pós graduação, aos meus pais por acreditarem no meu potencial e nunca desistirem de apoiar meus estudos, aos meus professores Leandro e Pestana por aulas fantásticas que mudaram a maneira que eu enxergava como um projeto devia ser feito e aos meus colegas de sala por fazerem aulas de sábado de manhã serem prazerosas e divertidas.

6. REFERÊNCIAS

- Amuchastegui, J. 2016. *Elementos finitos: O que é? Quando utilizar? Quais são os benefícios?*. 17 Nov. 2022 <<https://ensaus.com.br/elementos-finitos-quais-os-beneficios/>>.
- Ashby, M., 2012. *Seleção de materiais no projeto mecânico*. Elsevier, Rio de Janeiro, 4ª edição.
- Barreto, B.; Xavier, C., 2016. *Física aula por aula*. FTD, São Paulo, 3ª edição.
- Campos, M.C., 2006. *O Método de Elemento Finitos Aplicado à Simulação Numérica de Escoamento de Fluidos*. 13 Mar. 2023 <<https://ime.ufg.br/bienal/2006/poster/marcodonisete.pdf>>.
- Helerbrock, R., 2022. *Princípio de Pascal*. 21 Nov. 2022. <<https://brasilescola.uol.com.br/fisica/principio-de-pascal.htm>>.
- Bendsøe, M.P.; Sigmund, O., 2003. *Topology optimization: Theory, methods and applications*. Berlim, Springer.
- Lotti, R., Machado, A., Mazzeiro, E., Júnior, J., 2006. Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos. *Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia*, Maringá. Vol. 11, nº 2, p. 35-43, março/abril.
- Luz, G., 2017. *Aço SAE 1020 Propriedades*. 17 Nov. 2022.: <<https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-sae-1020-propriedades-mecanicas.html>>.
- Menegotto Industria de Prensas Hidráulicas, 2022. *Entenda mais sobre a funcionalidade das prensas hidráulicas*. Menegotto Industria de Prensas Hidráulicas. 17 Nov. 2022. <<https://www.menegottoinc.com.br/post/entenda-mais-sobre-as-funcionalidades-das-prensas-hidraulicas/9>>.
- Novotny, A.; Feijóo, R.; Taroco, E. , 2002. Derivada topológica via análise de sensibilidade à mudança de forma na otimização topológica. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo Y Diseño em Ingeniería*. Vol. 18, fas. 4, p. 499-519.
- Revista AdNormas. Prensas hidráulicas: os conceitos de segurança. Revista AdNormas, 2019. Disponível em: <<https://revistaadnormas.com.br/2019/05/07/prensas-hidraulicas-os-conceitos-de-seguranca>>. Acesso em: 17 de novembro de 2022.
- Soriano, H. , 2003. *Método de elementos finitos em análise de estruturas*. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo.
- Walter, Y., 2006. *O conteúdo da forma: subsídios para seleção de materiais e design*. 13 Mar 2023. <<https://www.faac.unesp.br/Home/Pos-Graduacao/Design/Dissertacoes/yuri.pdf>>.