

MODELAGEM DE OBJETOS EM SISTEMAS CAD 3D COM A UTILIZAÇÃO DE GEOMETRIAS PARAMÉTRICAS

José Orlando Balastro Junior (orlandob@cefetsp.br)

Luiz Eduardo Nicolini do Patrocínio Nunes (luiz@unitau.br)

UNITAU, Engenharia Mecânica, Rua Daniel Danelli, s/n, Jardim Morumbi, 12060-440, Taubaté/SP

***Resumo.** A utilização de ferramentas computacionais para modelagem de peças (sistemas CAD) faz parte da realidade da maioria dos setores de desenvolvimento de produtos das empresas. Os sistemas CAD 3D auxiliam na visualização, simulação e análise do comportamento do protótipo digital sob condições reais, antes mesmo da construção do produto ou da peça, permitindo que os fabricantes lancem produtos com maior rapidez e menor quantidade de protótipos físicos. Uma das vantagens na utilização de sistemas CAD 3D é a parametrização dos modelos, o que possibilita ganho de tempo durante as modificações do projeto e a validação de novos produtos. Este trabalho apresenta as formas de aplicação de geometrias paramétricas na otimização do tempo de desenvolvimento de um projeto. A validação do projeto foi feita através da Análise por Elementos Finitos (FEA), na qual foi possível estabelecer um coeficiente de segurança aceitável para o mesmo com redução do seu peso final.*

***Palavras Chave:** CAD 3D, parametrização, elementos finitos, projeto.*

1. INTRODUÇÃO

Desde o início do processo de substituição das pranchetas de desenho por computadores equipados com sistemas CAD (Desenho Assistido por Computador), entre os seus usuários já havia a percepção da necessidade de evolução dos mesmos, a fim de se atender requisitos para a redução do tempo dedicado ao projeto, as alterações necessárias e ao próprio desenvolvimento de produto, otimizando todas as etapas envolvidas desde a concepção inicial até os desenhos bidimensionais (2D), destinados à confecção de protótipos físicos e dos produtos finais.

Os sistemas CAD atuais permitem desenvolvimento de projetos tridimensionais (3D), atribuindo propriedades físicas como massa, volume e centro de gravidade. Estes sistemas geram, posteriormente, e de forma automática, vistas, cortes, perspectivas e demais informações necessárias, tais como, lista de peças e componentes de uma montagem. Estabelecem uma associação entre o modelo 3D e os desenhos em 2D, destinados à fabricação, permitindo que, qualquer alteração realizada no modelo tridimensional, implique na atualização imediata de todos os desenhos derivados do mesmo, no ambiente 2D. Com estes recursos, é possível reduzir drasticamente o tempo destinado às alterações no projeto, facilitando o desenvolvimento de novos produtos e aumentando a competitividade das empresas pela redução dos custos desta etapa do desenvolvimento.

Outro recurso disponível nos sistemas CAD 3D é a modelagem de objetos com o uso de geometrias paramétricas. Geometria paramétrica é um conjunto de entidades (linhas, arcos, círculos, etc.) que possuem relações entre si, definidas matematicamente e que determinam a forma, as dimensões e a intenção de projeto, servindo como a base para o modelamento de um determinado objeto. Estas relações permitem que, alterações dimensionais ou do perfil geométrico do objeto modelado, possam ser executadas de uma forma muito simples e objetiva. Alterando-se o valor atribuído a uma variável principal, as demais dimensões que estão parametricamente vinculadas a esta são, também, alteradas, assim como os desenhos 2D associados a este modelo tridimensional, Dotson (2008) e Pahl(2005).

Este trabalho apresenta a modelagem de várias configurações de um mesmo objeto (protótipo digital) com a utilização dos recursos de parametrização de dimensões como ferramenta para facilitar a atividade de projetos industriais. Para a obtenção dos dados e a validação do protótipo digital, foi empregado o método de Análise por Elementos Finitos (FEA). O sistema CAD 3D utilizado neste trabalho foi o *Autodesk Inventor*, que é um modelador de sólidos paramétricos que incorpora o módulo otimizado de Análise por Elementos Finitos baseado no *software* ANSYS. Este módulo é destinado a determinar, através de métodos numéricos, as tensões, o coeficiente de segurança e as deformações sofridas por um objeto quando submetido a um esforço solicitante.

2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A peça selecionada para este estudo é ilustrada na Fig. (1), cujo desenho esquemático de acordo com Silva (2006), contém suas dimensões básicas. Esta peça possui a função de apoiar um equipamento de medição sobre um barramento guia que orienta a sua trajetória, a fim de executar controle dimensional e do perfil geométrico de peças fabricadas em um centro de usinagem, controlado por Comando Numérico Computadorizado (CNC).

O objetivo é obter a redução de 20% da massa da peça, com a remoção de material de regiões fracamente tensionadas, segundo critérios citados por Collins (2006), porém mantendo-se o valor da deformação máxima em 0,020 mm quando submetido ao esforço, conforme especificações de projeto, com o objetivo de se garantir a confiabilidade das leituras obtidas pelo equipamento e medição. Esta redução irá se somar a dos demais itens integrantes do equipamento, a fim de contribuir para a diminuição da inércia do sistema, que é movimentado através de um conjunto composto por um fuso de esferas, acionado por um servomotor. A redução de 20% da massa da peça visa proporcionar o aumento da velocidade de deslocamento, sem alterações expressivas na energia cinética do sistema, elevando desta forma sua taxa de utilização e o aumento do índice de produtividade do conjunto, integrante de uma célula de manufatura.

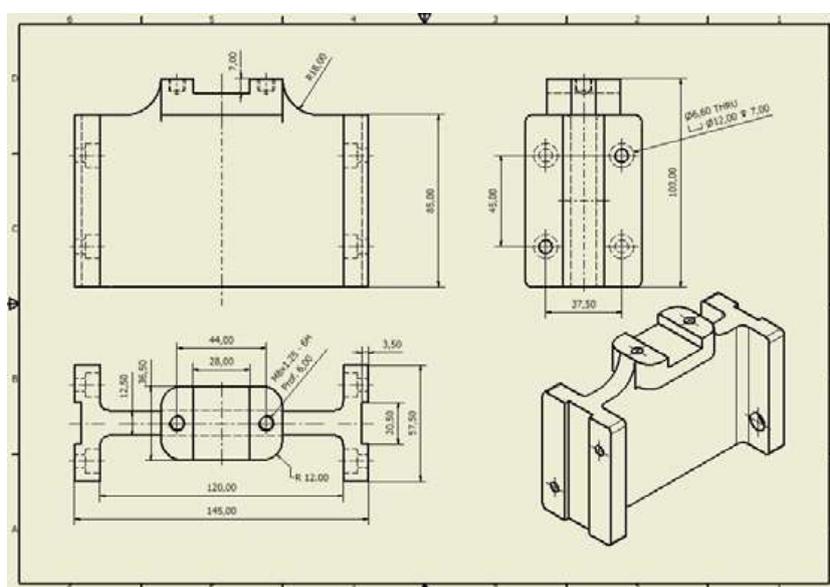


Figura 1. Desenhos com dimensões básicas do componente

O material selecionado para a construção da peça foi a liga de Alumínio ASTM 6061 T6, amplamente empregado nos meios estruturais, aeronáuticos e automobilísticos. De acordo com Chiaverini (1978) e Beer (1996), visando melhorar suas propriedades mecânicas, o material é tratado termicamente através da solubilização dos seus elementos e com posterior envelhecimento artificial. As propriedades mecânicas deste material estão relacionadas na Tab. (1).

Tabela 1. Principais propriedades mecânicas da liga de Alumínio ASTM 6061 T6.

Módulo de Elasticidade (Gpa)	Limite de Resistência à Tração (Mpa)	Limite de Resistência ao Escoamento (Mpa)	Coefficiente de Poisson
69	310	260	0.330

Este material e os dados referentes às suas propriedades estão disponíveis na biblioteca de materiais do sistema CAD 3D empregado, sendo que não houve a necessidade de inserção de nenhuma propriedade, nem mesmo a edição das propriedades existentes, que estão em conformidade com os valores apresentados nas normas da ASTM (*American Society for Testing and Materials*).

3. ETAPAS DO PROCESSO DE PARAMETRIZAÇÃO

3.1. Modelagem Paramétrica da Peça

Na primeira etapa do trabalho foi realizada a modelagem sólida da peça, empregando a parametrização das dimensões das *Features* dos furos (posicionamento e diâmetros). Segundo Derek (2002), o termo *Feature* pode ser definido como “uma configuração geométrica específica, posicionada na superfície, corpo ou arestas de um determinado Objeto”.

O esboço preliminar do componente em 2D em projeção frontal é ilustrado na Fig. (2), na qual podem ser observadas as *Features* com a função de redução da massa do objeto.

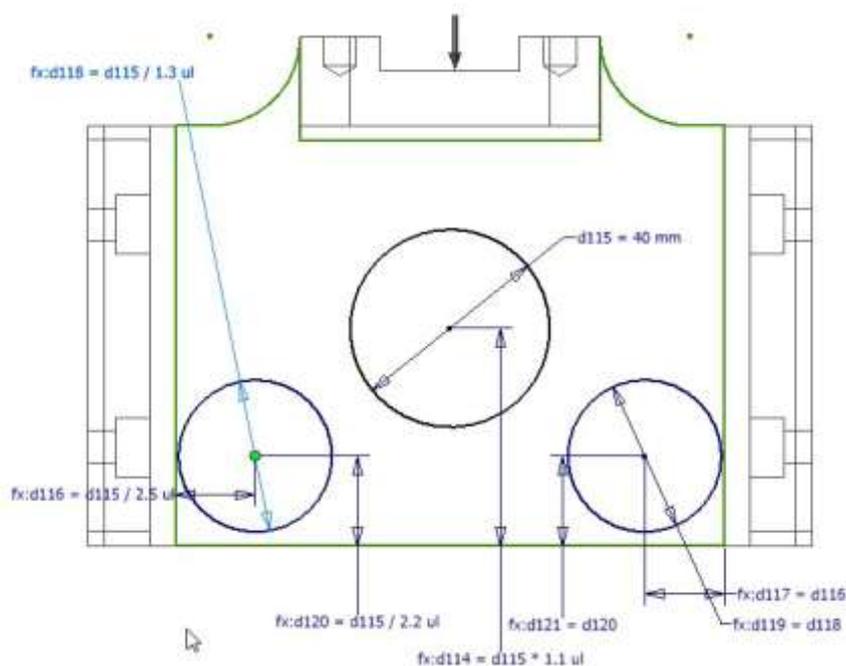


Figura 2. Dimensões paramétricas da peça.

A Tabela (2) contém as dimensões atribuídas às *Features* e as relações estabelecidas de forma paramétrica com a dimensão básica **d115**, a qual, por sua vez, irá determinar as demais, sendo a base para a geração do modelo sólido.

Tabela 2. Variáveis dimensionais das *Features* e suas relações paramétricas.

Dimensões das Features	Relações Paramétricas	Variável Básica	Dimensão Variável
Diâmetro furo maior - central		d115	
Diâmetro furo - lateral - esquerdo	$d115/1.3 \text{ ul}$		d118
Diâmetro furo - lateral direito	$d115/1.3 \text{ ul}$		d119
Distância do centro do furo central até a base	$d115 \times 1.1 \text{ ul}$		d114
Distância do centro do furo esquerdo até a base	$d115/2.2 \text{ ul}$		d120
Distância do centro do furo direito até a base	$d115/2.2 \text{ ul}$		d121
Afastamento do centro do furo lateral esquerdo	$d115/2.5 \text{ ul}$		d116
Afastamento do centro do furo lateral direito	$d115/2.5 \text{ ul}$		d117

As relações paramétricas entre as variáveis que definem as dimensões das *Features* foram determinadas de acordo com critérios baseados nos conceitos de resistência dos materiais, de acordo com Beer (1996) e Collins (2006), visando à distribuição de forma mais homogênea das tensões geradas pela aplicação do esforço e, também, garantir um *layout* mais adequado ao processo de fabricação. A escolha

da variável básica num processo de parametrização deverá contemplar a sua relevância no conjunto com as demais variáveis, Dotson (2008).

3.2. Modelagem Sólida Automática

Definidas as relações paramétricas, a próxima etapa é a modelagem sólida automática de diversos conjuntos de *Features* na peça e determinar a sua massa. Na Figura (3) é ilustrado o modelo sólido, em sua geometria original, sem as *Features* para a redução de massa, como é atualmente usado no equipamento.

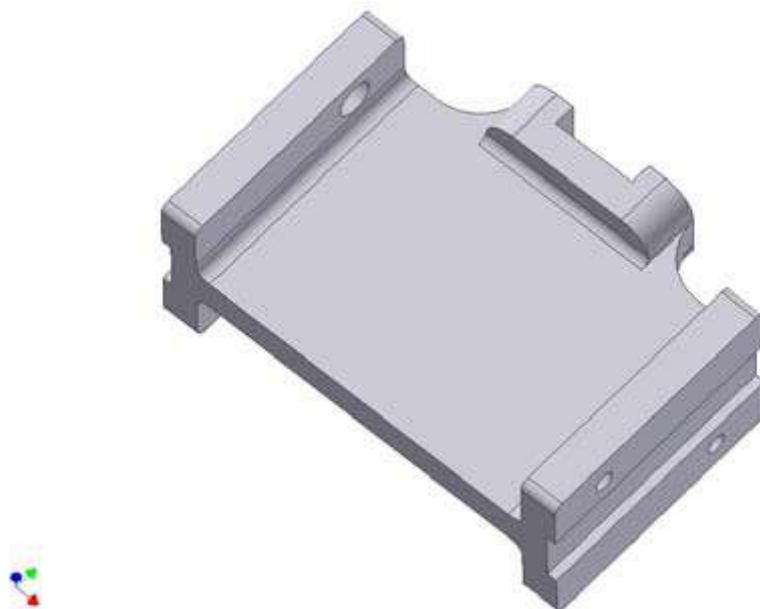


Figura 3. Modelo sólido da peça com a sua geometria original.

Nesta etapa foi utilizado o ambiente *Stress Analysis*, integrado ao sistema CAD 3D. Neste ambiente foi determinado o *Stress* equivalente, as deformações sofridas e o coeficiente de segurança, aplicando uma carga de 3kN na forma de carregamento estático, sendo esta 25% superior à máxima que a peça poderá receber em serviço.

Na configuração inicial do componente, sem as *Features*, foi verificado que a deformação total foi cerca de 0,008 mm, sendo bem menor que ao valor tolerado pelas especificações iniciais do projeto.

A metodologia adotada foi atribuir valores numéricos à variável básica **d115**, estabelecendo intervalos sucessivos de 2,00 mm, em seguida, gerar os sólidos correspondentes automaticamente e executar a Análise por Elementos Finitos (FEA) dos modelos obtidos, coletar os dados e inseri-los em uma planilha, que será a base para a definição de um novo perfil para o componente, após a análise dos resultados obtidos.

A Figura (4) ilustra o sólido obtido na atribuição do valor de 50,00 mm à variável básica **d115**, atingindo o objetivo estipulado. Na Figura (4) pode-se verificar o aumento significativo das dimensões (diâmetros) das *Features*, com variação de forma paramétrica, a inter-relação com a dimensão básica e a conseqüente diminuição da massa da peça.

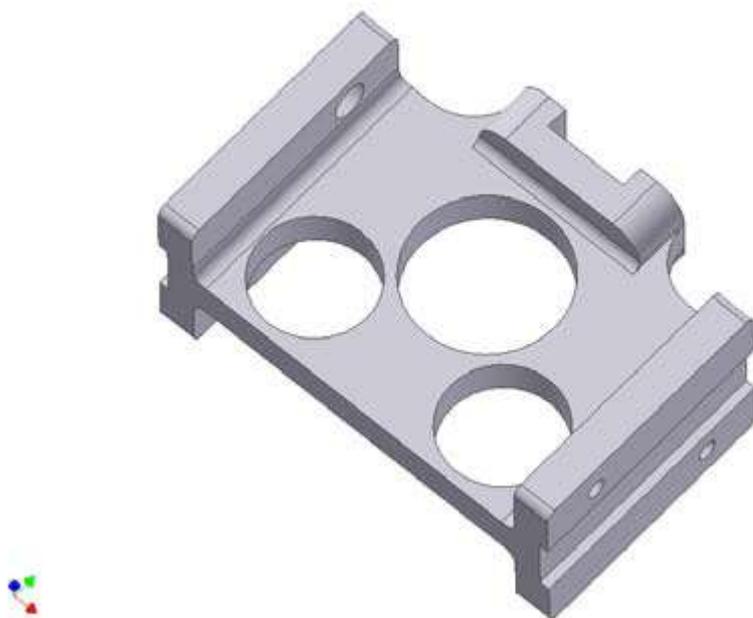


Figura 4. Sólido obtido com o valor de redução de massa desejada.

Os resultados das análises são apresentados de forma gráfica pelo *software*. Escalas de cores são atribuídas para cada campo de tensões, deformações e coeficiente de segurança, distribuídos pelas regiões do modelo analisado. A partir dos dados obtidos é criado um relatório final para cada análise, sendo esta a principal fonte de informações para a avaliação dos resultados obtidos.

Na Figura (5) é ilustrado o resultado das tensões de *Von Mises*, que segundo Cruz (2008), indica as tensões médias nas regiões da peça sujeitas, simultaneamente, a tração e compressão, a qual recebe a denominação de *Equivalent Stress* atribuída pelo sistema usado. Também se pode observar a malha de definição dos Elementos Finitos gerados, apresentando a forma tetraédrica, que é segundo Alves (2006) e Hartmann (2007), determinada em função do tipo de geometria do sólido analisado.

Os resultados podem ser visualizados pela escala de cores, na qual a cor vermelha indica o valor máximo da tensão média desenvolvida, estando seus valores em torno de 15,70 Mpa, abaixo das tensões limites de ruptura e de escoamento do material. A cor azul representa as regiões onde o material está fracamente tensionado, com valores próximos à zero Mpa. Nestas regiões estão posicionadas as *Features* para a remoção de massa, de acordo com os critérios expostos por Collins (2006).

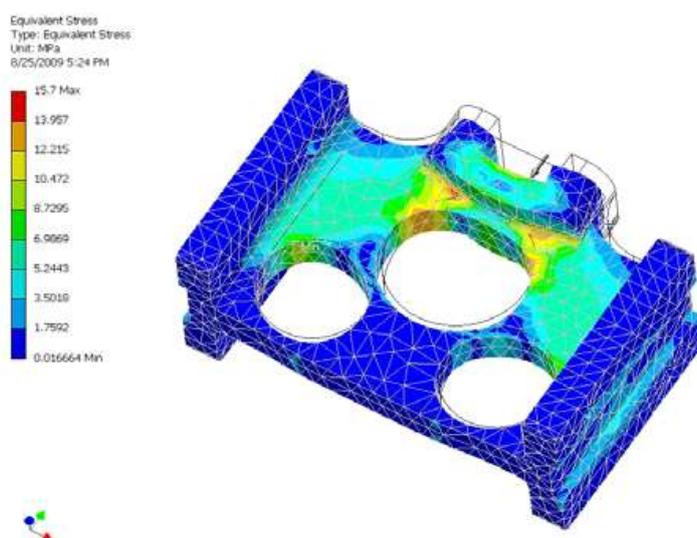


Figura 5. Visualização das tensões de *Von Mises*.

Na Figura (6) podemos observar a distribuição das deformações pelas regiões da peça, tendo os seus valores indicados, também, pela escala de cores. O vermelho está relacionado à área onde ocorreu a maior deformação, apresentando valores próximos a 0,015 mm, neste caso, inferior àquela estabelecida como a máxima, (0,020 mm) e o azul escuro, indica uma deformação praticamente nula.

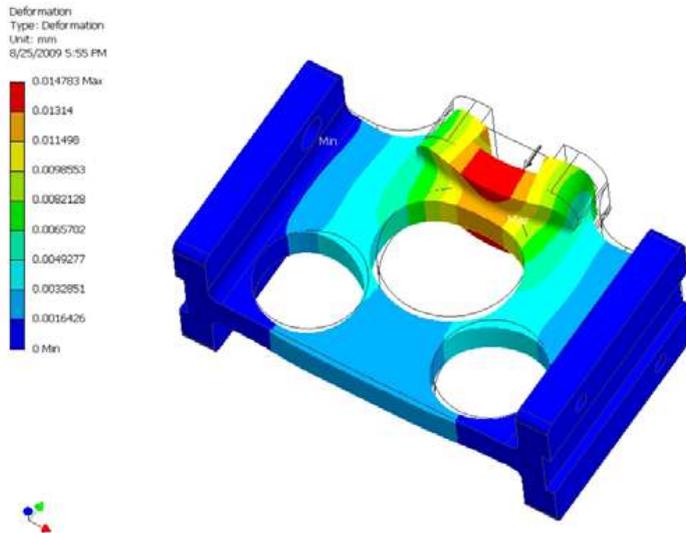


Figura 6. Deformações resultantes da aplicação do esforço.

O fator de segurança k possui o seu valor determinado nas diretrizes iniciais do projeto e também pode ter o seu comportamento avaliado durante a aplicação do esforço solicitante. Os resultados da análise, representados de forma análoga às anteriores, em uma escala de cores. Na Figura (7) observamos o valor máximo de 15, para o mesmo, constante em todo corpo da peça.

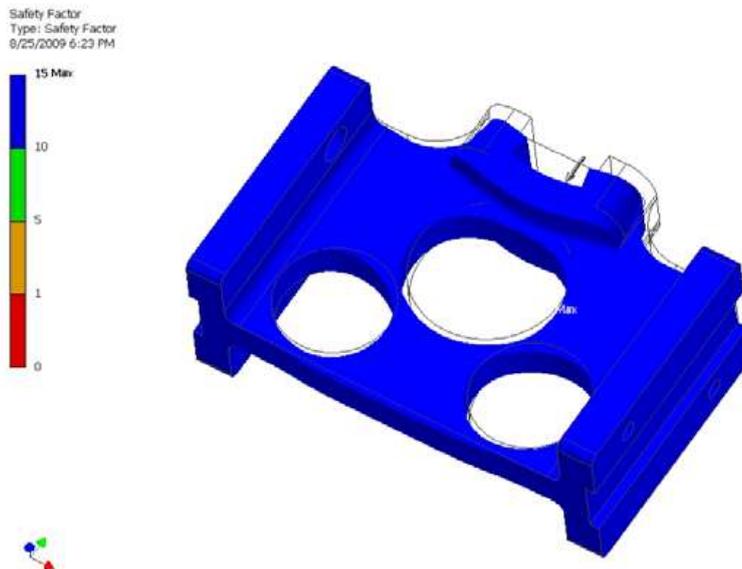


Figura 7. Distribuição dos valores do Coeficiente k sob esforço.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Na Figura (8) pode-se observar a elevação do *Stress* Equivalente (Tensões de *Von Mises*) com o aumento da porcentagem de redução da massa e consequentemente redução da área sujeita ao esforço.

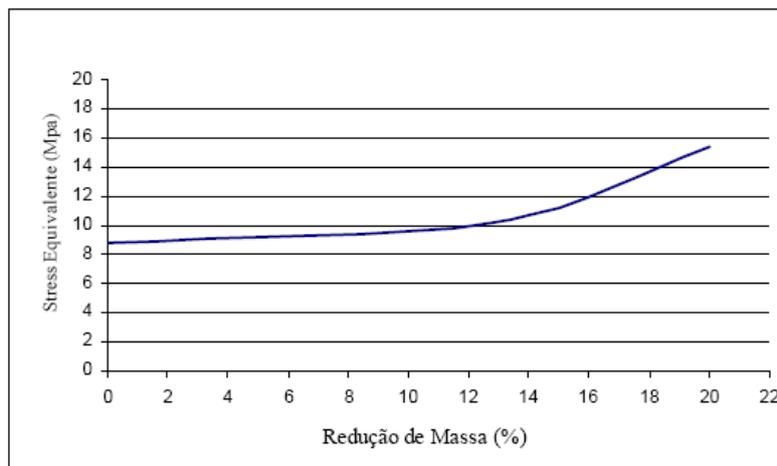


Figura 8. Variação do Stress equivalente com a redução da massa.

A partir do valor de 12% há uma elevação mais significativa dos valores de *Stress* Equivalente, porém, com valores muito menores que a tensão de alongamento mostrada na Tab. (2). De acordo com as intenções iniciais do projeto, a deformação máxima tolerada não deverá exceder o valor de 0,020 mm sob as condições de esforço previsto.

Verifica-se, na Fig. (9), que os valores de deformação obtidos não atingem o valor de deformação limite tolerado, com a máxima redução de massa, os valores previstos estão na faixa dos 0,015 mm.

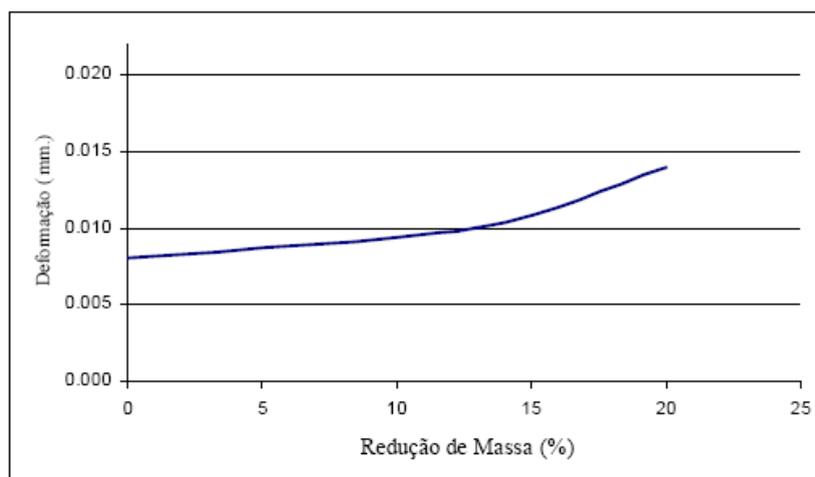


Figura 9. Deformação máxima sob carregamento estático.

O percentual de redução da massa do componente segue um padrão proporcional ao valor atribuído à dimensão paramétrica, que é a base para a variação dimensional das demais *Features* criadas na peça, como objetivo de se atingir a redução preterida. Este comportamento pode ser observado na Fig. (10), onde se pode observar a evolução do percentual de redução em função do valor atribuído à dimensão paramétrica.

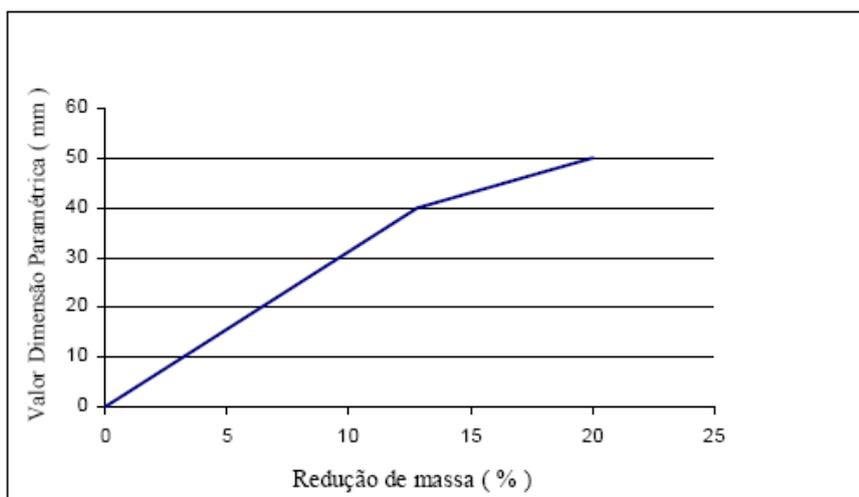


Figura 10. Porcentagem da redução de massa em função da dimensão paramétrica.

Na Figura (11) observa-se que o fator de segurança k permanece estável no valor 15, estando acima do valor 12 estipulado nas condições iniciais para o projeto da peça. Esta condição nos permite concluir que, mesmo com a redução de massa e o conseqüentemente aumento das tensões geradas internamente, o componente suportará de forma satisfatória o esforço a que está sendo submetido, com a deformação dentro dos limites estabelecidos, garantindo a rigidez necessária para o desempenho da função do equipamento.

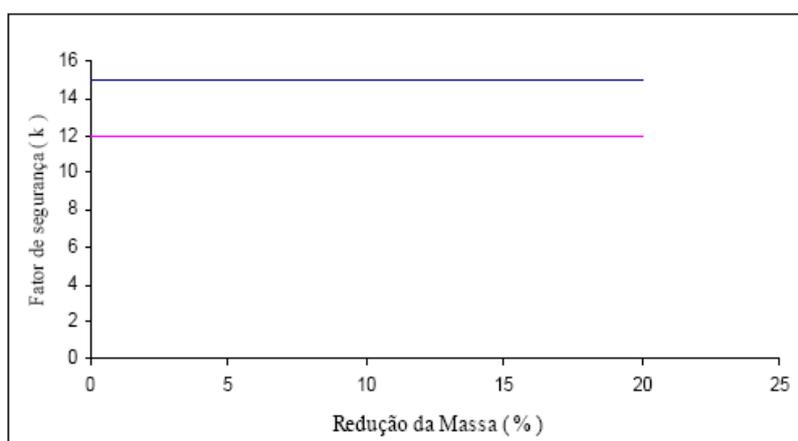


Figura 11. Fator de segurança k .

Os dados e parâmetros finais das análises executadas estão contidos na Tab. (3).

Tabela 3. Resultados estruturais e parâmetros adotados.

Denominação	Valores Obtidos
Numero de nós	6386
Numero de elementos	3120
Stress Equivalente max. (Mpa)	15,43
Deformação máxima (mm)	0,0145
Fator de segurança	15,00

5. CONCLUSÕES

Por intermédio da Análise por Elementos Finitos se determinou o comportamento estrutural de um determinado componente que possui uma forma geométrica complexa. Para tal é imprescindível o completo conhecimento das propriedades físicas do material a ser empregado na confecção do mesmo, tais como módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, densidade, massa, condições de fixação, cargas e esforços atuantes. Através dos resultados apresentados se determinou as regiões do componente que sofrerão as maiores solicitações e deformações, estabelecendo um conjunto de previsões de como o mesmo irá se comportar quando sofrer a solicitação pela da carga atuante. Desta forma as devidas correções no projeto do componente puderam ser efetuadas ainda na fase inicial de desenvolvimento, propiciando uma economia de tempo e a conseqüente redução dos custos inerentes ao processo de modificações executados nas etapas mais adiantadas de projeto, as quais envolvem operações mais demoradas, dispendiosas e que implicam em alterações nos demais elementos que fazem parte do conjunto que constituem um produto. O emprego dos recursos oferecidos pelos módulos de Análise por Elementos Finitos (FEA) atualmente integrantes dos sistemas CAD 3D, em uma forma otimizada e com uma interface amigável aos usuários, aliado a potencialidade da modelagem paramétrica tem se revelado um diferencial para elevar o poder competitivo das empresas sendo um dos fatores decisivos para a redução de custos e diminuição dos prazos relacionados ao desenvolvimento de novos produtos.

6. REFERÊNCIAS

- Alves F. A. (2006) Elementos finitos a base da tecnologia CAE. São Paulo: Editora Érica.
Beer F. P. (1996) Resistência dos materiais. São Paulo: Editora. Pearson Education do Brasil.
Chiaverini V. (1978) Tecnologia mecânica. São Paulo: Editora McGraw-Hill do Brasil.
Collins J. (2006) Projeto mecânico de elementos de máquinas, uma perspectiva de prevenção a falha. Rio de Janeiro: Editora LTC Livros Técnicos e Científicos Ltda.
Cruz M. D. (2008) Autodesk inventor 2008: teoria e prática. São Paulo: Editora Érica.
Derek Y. H. (2002) Mechanical engineering systems design handbook. New York: Ed. CRC Press.
Dotson S. (2008) Autodesk inventor 2009 mastering. New York: Editora Sybex.
Hartmann F. (2007) Structural analysis with finite elements. Chicago: Editora Springer.
Pahl G. (2005) Projeto na engenharia fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações. São Paulo: Editora Edgard Blucher.
Silva A. I. (2006) Desenho técnico moderno. Rio de Janeiro: Editora LTC Livros Técnicos e Científicos Ltda.

DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.