

ESTUDO DE PROJETOS DE INSTRUMENTOS DE PERCUSSÃO UTILIZANDO SOLIDWORKS

Aluno: Thomás Machado Martinoia

Orientador: Marcelo Dreux

Introdução

Instrumentos de percussão são compostos além de tambores, pratos e elementos percussivos, por componentes chamados ferragens. Dentro dessa categoria, se enquadram pedais, bancos, estantes ou pedestais, *clamps*, extensores, máquinas de contra-tempo, cachimbos, *Racks*, *holders*, contra-pesos, canoas, aros, etc. Toda bateria ou percussão tem dezenas desses elementos espalhados pelo conjunto.

Uma boa ferragem é essencial porque permite uma melhor performance através da maior estabilidade e da melhor configuração das peças. Além disso, são elas que sofrem mais com o constante montar e desmontar das peças, por isso, têm que ser muito resistentes e práticas para serem desmontadas centenas de vezes.

Apesar de toda importância, muitas ferragens, principalmente as fabricadas no Brasil por empresas nacionais, apresentam erros visíveis de projeto que prejudicam sua resistência principalmente, além da estabilidade e do número de configurações possíveis. Ferragens são produzidas em larga escala pela indústria, e em diversos modelos, há locais de fragilidade que se desgastam muito mais rápido que outros. Esses pontos de maior desgaste variam conforme a ferragem e o modelo, mas estão presentes em muitos projetos mal estudados.

Assim, produtos às vezes de muito boa qualidade, apresentam uma espessura errada num certo componente, ou utilizam materiais errados para certos componentes, comprometendo assim a durabilidade de todo o mecanismo envolvido.

Nesta pesquisa, foi utilizado o software SolidWorks, para modelar os elementos estruturais de instrumentos de percussão. Através do software CosmosWorks, foram realizadas simulações de ensaios de tensão-deformação, tanto em modelos de projetos já existentes, como em novos projetos.

Objetivos

Modelar produtos existentes no mercado, visando encontrar nas simulações, os mesmos pontos de fragilidade observados experimentalmente. Em seguida, alterar virtualmente os projetos e realizar novas simulações, visando melhorar a qualidade e custo do produto.

Como objetivo final, pretende-se conseguir novos projetos que permitiriam produzir ferragens melhores, levando em consideração preço, viabilidade e resistência da peça.

Metodologia

Em um primeiro momento, foram pesquisadas quais estruturas reais seriam mais interessantes para realizar sua avaliação. A modelagem destas estruturas e simulações de ensaios de tensão foram feitas em um software de CAD 3D. Para isso, foram observadas diversas estruturas experimentalmente, buscando avaliar seu desempenho. Também foi levada em consideração a representatividade da estrutura, no mercado, para sua escolha.

As medidas e materiais dos produtos foram obtidos diretamente desses. As medidas foram obtidas com o auxílio de um paquímetro, ou através de especificações técnicas disponíveis na internet. De posse dos dados, foram modeladas em computador as peças e os mecanismos reais através do software SolidWorks. Com o auxílio do software CosmosWorks, baseado na técnica de Elementos Finitos, foram realizadas simulações para obter tensões e deformações e analisar estes resultados.

O software foi configurado para criar uma malha de elementos finitos suficientemente precisa para a precisão desejada, mas sem ultrapassar os limites do hardware utilizado para as simulações.

Baseado nos primeiros resultados obtidos, para as simulações de estruturas existentes, foram modeladas novas estruturas, com diferentes dimensões e propriedades. Para avaliar os resultados, foi escolhido o critério de Von Mises, para as máximas tensões cisalhantes.

A estrutura mais relevante para ferragens de instrumentos de percussão é o tripé. Essa estrutura sustenta a maior parte dos elementos percussivos. Por esse motivo, o estudo foi focado nessa estrutura. Foram avaliados diferentes arranjos de tripé, baseando-se primeiramente em dois modelos reais, comuns no mercado. A partir desses, foram propostos e avaliados diferentes novos projetos, variando parâmetros como materiais dos componentes e geometria da estrutura. Tanto os modelos reais, como os propostos pelo estudo, foram avaliados em termos de resistência mecânica, peso da estrutura, praticidade para o usuário e preço estimado para fabricação.

Os resultados do estudo permitiram constatar que há novos projetos, possíveis de serem construídos, que podem ter melhor desempenho que os reais avaliados.

Escolha dos Programas

A versão 2008 do programa Solidworks foi a escolhida por se tratar da versão mais atual do programa, com maior quantidade de recursos e melhor acessibilidade. No entanto, por se tratar de uma versão nova, foram encontrados diversos problemas de compatibilidade com o sistema operacional. Além disso, os arquivos gerados nesta versão somente podem ser utilizados em uma versão igual ou mais recente, o que complicou o andamento da pesquisa, visto que somente máquinas com o software mais atualizado puderam ser usadas.

Para as análises dispunhamos dos seguintes programas:

- CosmosWorks: Análise de Elementos Finitos
- CosmosMotion: Análise de movimentos
- CosmosExpress: Análise de Elementos Finitos limitada a peças de corpo único e geometrias simples
- CosmosFlow: Análise de Escoamento e Transmissão de Calor

O programa escolhido foi o CosmosWorks, por atender às necessidades das simulações de tensão e deformação.

Modelagem – Fase 1 – Planejamento e medições

O foco principal das simulações foi na avaliação da integridade de diferentes tripés, quando solicitados por cargas passíveis de acontecer na realidade.

O primeiro tripé escolhido para modelagem foi um tripé de caixa. Entretanto, este modelo possui uma estrutura de pés simples, que garante o encaixe e a inclinação das partes pela presença de uma folga.



Figura 1 – Estante de pés simples

Como pode ser visto na Figura 1, os espaços no anel superior e no inferior, são paralelos, de acordo com as linhas azuis na imagem. A distância entre as linhas é de 4 mm enquanto que a espessura dos dois pés, que devem ser combinados neste mecanismo, é de 5 mm para cada um. Este tipo de montagem prejudica o desempenho da peça, e também, dificulta uma modelagem computacional precisa.

Este tripé executa bem sua função e apresenta boa durabilidade, apesar deste detalhe no projeto. Entretanto, o objetivo desta pesquisa é testar casos limite, e propor novas soluções para melhores ferragens (ex. mais leves, compactas), por isso, este tipo de tripé com pés simples, foi descartado da avaliação.

Para analisar a eficácia dos componentes existentes, testar casos limite, e propor novas dimensões/materiais para a estrutura, foi modelado um tripé de pratos a partir de uma estante real importada, com pés duplos.



Figura 2 – Estante de pés duplos

Suas medidas foram tomadas a partir da estrutura real (Figura 2), e um modelo novo, baseado no real, foi criado através do Solidworks.

Modelagem - Fase 2 - Confeção das peças

Num primeiro momento foram modeladas todas as peças integrantes da estrutura separadamente. Através das medidas obtidas na fase 1, foram criados os esboços em 2D iniciais de cada uma das peças (Figura 3).

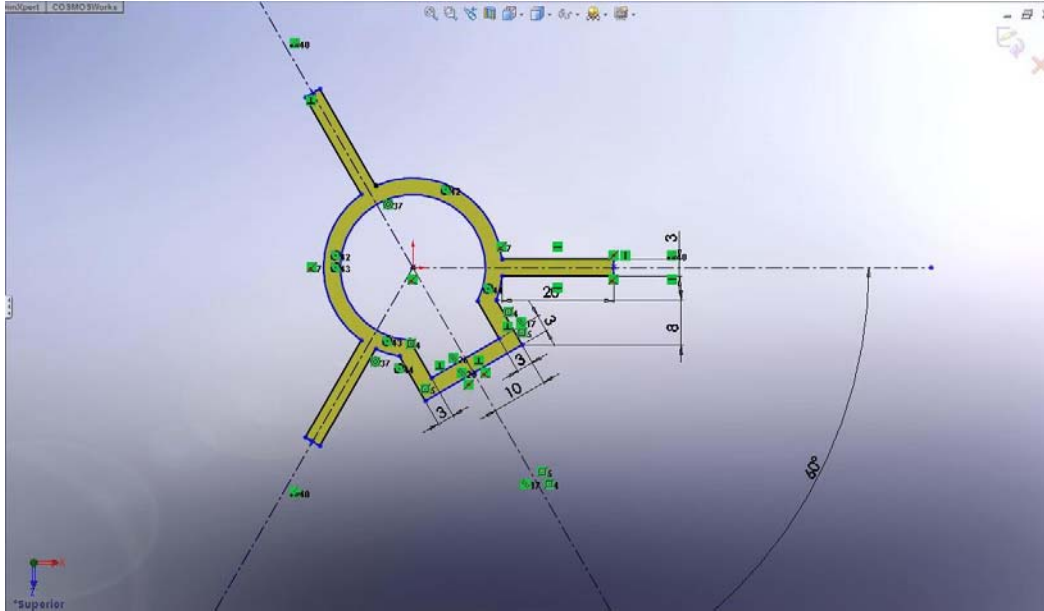


Figura 3 – Esboco

A partir dos esboços, utilizando os recursos de modelagem 3D do programa, cada peça foi finalizada separadamente (Figura 4). Foram observados, e levados em consideração, todos os detalhes das peças, inclusive os filetes, para reduzir o acúmulo de tensões nas bordas.

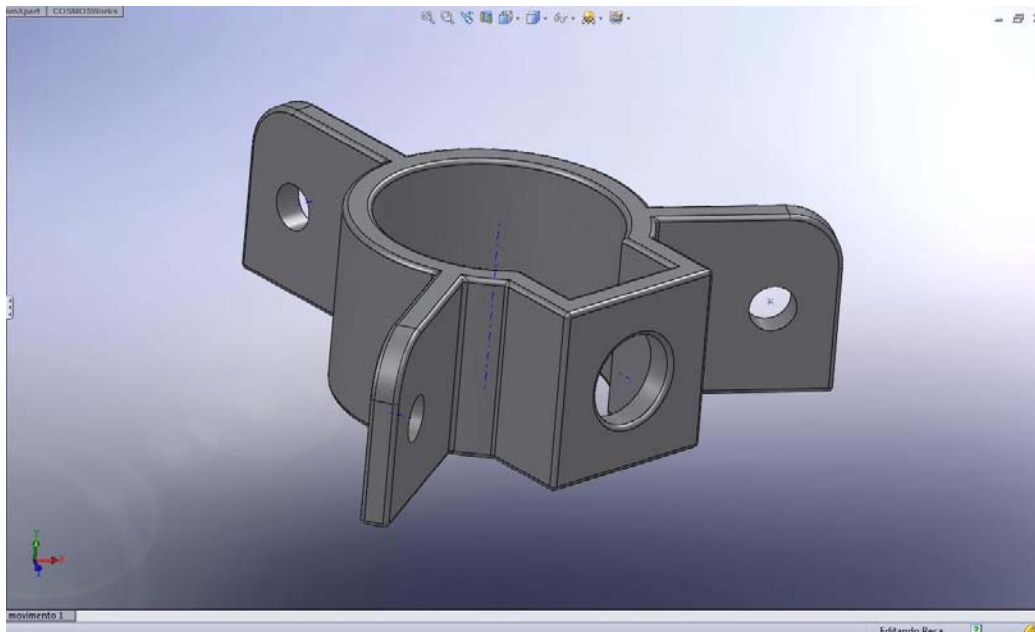


Figura 4 – Peça completa (Anel superior)

Modelagem – Fase 3 – Montagem

Com todas as peças modeladas separadamente, o próximo passo foi a união de todas elas em uma única montagem (Figura 5), que representa a estrutura como um todo.

As peças básicas que compõem a estrutura são:

- Eixo central
- Pés principais
- Pés auxiliares
- Anel superior
- Anel Inferior

Para cada geometria analisada, estas peças foram remodeladas e reorganizadas individualmente, conforme as necessidades de cada projeto.

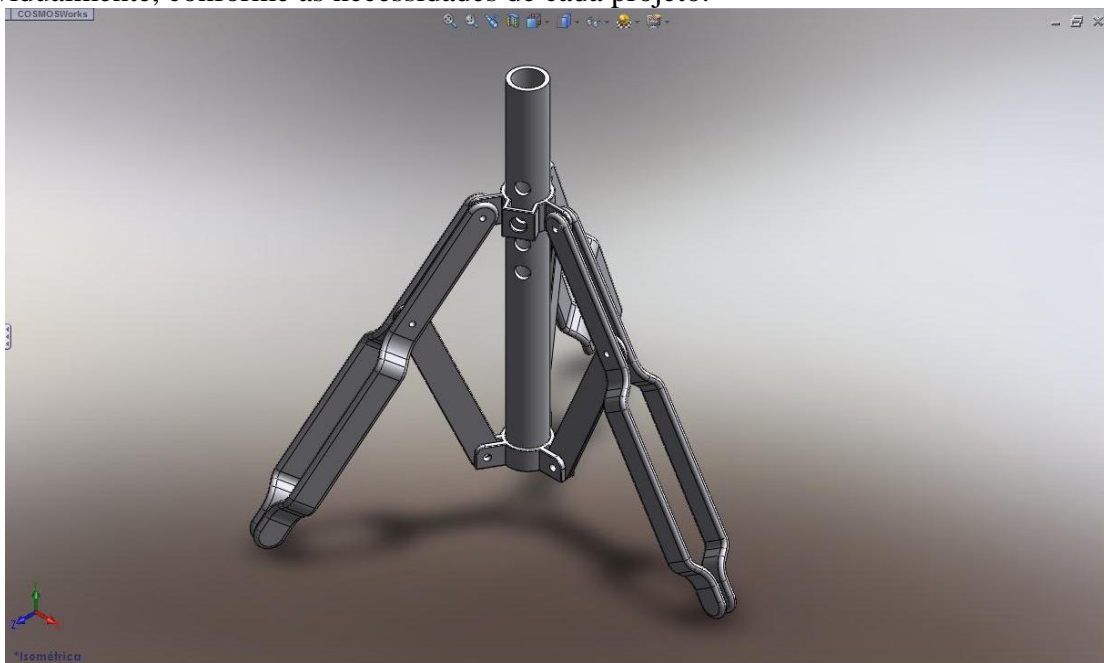


Figura 5 – Montagem Geometria 1

Após a conclusão da fase de modelagem, o próximo passo foi a avaliação dos projetos das ferragens.

Critérios de avaliação

Para avaliar os projetos existentes e os que serão propostos pelo estudo, os seguintes critérios foram utilizados:

- Custo
- Resistência aos carregamentos simulados
- Viabilidade da produção
- Praticidade dos mecanismos
- *Design*

Ensaio de tensão

O objetivo deste estudo é conhecer os casos limite para carga e para fadiga da estrutura, através de simulações. Para estudar o comportamento mecânico da estrutura, foram confeccionadas 9 modelagens representativas da peça, baseadas em estruturas reais. Visando a comparação de resultados, parâmetros referentes à geometria e ao material foram utilizados e combinados na confecção dos modelos:

Materiais avaliados

Foi feito um levantamento de diversos materiais possíveis de serem utilizados no equipamento, levando em consideração suas propriedades e características básicas.

Ferro Fundido Cinzento

O ferro fundido, de uma maneira geral, ganhou destaque nesta pesquisa por, aparentemente, se tratar da melhor alternativa para a fabricação de ferragens de instrumentos de percussão, ao considerar-se os seguintes aspectos:

O ferro fundido é o material mais amplamente utilizado em projetos mecânicos por apresentar um custo muito baixo, por ser fundido facilmente em grandes quantidades, e também por ser fácil de usar.

Sua principal desvantagem em relação aos outros materiais estudados nessa aplicação é a fragilidade do material. Ele também é um material menos resistente à tração, mas esta não é a aplicação mais crítica neste projeto.

Material de alta concentração de carbono (acima de 1,7% e normalmente superior a 2%), os diferentes tipos de ferro fundido usualmente também apresentam outros elementos combinados, como silício (em conteúdo elevado), percentagens baixas de enxofre, manganês e fósforo. O ferro resultante é composto de perlita, ferrita e grafita, sendo que a primeira pode se decompor nas duas últimas, sob certas condições. Dessa forma, o material fica constituído apenas de ferrita e grafita. Esta última, distribuída como flocos finos uniformemente pela estrutura, escurece-a, originando o nome ferro fundido cinza.

O ferro fundido não é soldável prontamente, uma vez que pode trincar. Essa limitação pode eliminar o material da pesquisa, uma vez que a solda é necessária para viabilizar a produção das peças a custo baixo. Mas essa tendência pode ser reduzida se a peça for aquecida previamente.

Ferro Fundido Nodular

O ferro fundido nodular é um material que surgiu da necessidade dos engenheiros de combinar as propriedades do ferro dúctil maleável com a facilidade de fundição e usinagem do cinza. A maleabilidade deste material é explicada pela presença da grafita na forma de esferóides (assim como no ferro fundido maleável) em sua estrutura cristalina. Ao contrário do ferro fundido cinza, o nodular apresenta uma região elástica no seu perfil tensão x deformação. O cinzento tem módulo de elasticidade proporcional à tensão aplicada. Assim como o ferro fundido cinza, este material resiste melhor à compressão do que à tração, embora neste a diferença notada não seja tão grande.

Ferro Fundido Maleável

Assim como o ferro fundido branco, este material tem todo seu carbono na forma de cementita e perlita, sem qualquer grafita presente. Se um ferro fundido branco for recozido, dentro de um certo intervalo de composição, o ferro fundido maleável será formado. Este processo libera carbono, assim como na grafita, mas neste material ele assume um formato nodular, usualmente chamado de carbono de revenido. Devido ao tempo requerido pelo tratamento (revenimento), o ferro fundido maleável é necessariamente mais caro, que o cinza, e isto será levado em consideração na escolha do material.

Aço

Sua aplicação vasta e variada em diversos ramos da engenharia, principalmente estruturais, despertou o interesse pela aplicação deste como melhor material para as estruturas dos instrumentos de percussão.

Material mais dúctil que o ferro fundido, é facilmente deformado por forja, laminação ou extrusão, enquanto que as peças em ferro fundido só são fabricadas através do processo de fundição. Isso garante uma vantagem a este material para o caso de ferragens compostas por peças de formato diferenciado e fora do padrão, pois facilita a fabricação através de processos mais baratos.

Devido à grande variedade de aços disponíveis no mercado, foi feita uma análise para escolher quais tipos seriam modelados nos programas e avaliados mais a fundo.

A seguir são apresentados alguns tipos de aço, segundo a AISI-SAE:

Designação		Tipos de Aço
AISI-SAE	UNS	
10XX	G10XXX	Aços-carbono comuns
11XX	G11XXX	Aços de usinagem fácil, com alto S
12XX	G12XXX	Aços de usinagem fácil, com alto P e S
15XX	G15XXX	Aços-Mn com manganês acima de 1%
13XX	G13XXX	Aços-Mn com 1,75% de Mn médio
40XX	G40XXX	Aços-Mo com 0,25% de Mo médio
41XX	G41XXX	Aços-Cr-Mo com 0,4 a 1,1% de Cr e 0,08 a 0,35% de Mo
43XX	G43XXX	Aços-Ni-Cr-Mo com 1,65 a 2 de Ni, 0,4 a 0,9% de Cr e 0,2 a 0,3% de Mo
46XX	G46XXX	Aços-Ni-Mo com 0,7 a 2% de Ni e 0,15 a 0,3% de Mo
47XX	G47XXX	Aços-Ni-Cr-Mo com 1,05% de Ni, 0,45% de Cr e 0,2% de Mo
48XX	G48XXX	Aços-Ni-Mo com 3,25 a 3,75% de Ni e 0,2 a 0,3% de Mo
51XX	G51XXX	Aços-Cr com 0,7 a 1,1% de Cr

(Tabela 1 - <http://www.infomet.com.br>)

Nesse sistema, as letras XX ou XXX correspondem a cifras indicadoras dos teores de carbono. Assim, por exemplo, nas designações AISI-SAE, a classe 1023 significa aço-carbono com 0,23% de carbono em média.

Foi importante entender a classificação dos aços para o uso adequado da ferramenta de escolha de materiais do SolidWorks, que dispõe de uma biblioteca de materiais catalogados, que será descrita mais a frente neste relatório.

Como primeira opção de aço, foi escolhido o 1020, por ser um aço amplamente

usado na indústria. Possui resistência e dureza baixas em comparação com outros tipos de aço, mas em um primeiro momento, suficiente para este projeto. Tem como característica alta tenacidade e ductilidade. É usinável e soldável, além de apresentar baixo custo de produção.

Liga de Alumínio

O alumínio é um atraente material para construção das ferragens. Este elemento químico pode se combinar com a maioria dos metais de engenharia, chamados elementos de liga, formando materiais com diferentes propriedades e características.

Existem inúmeros tipos de liga de alumínio disponíveis para venda. Algumas ligas de classificação mais relevantes para o projeto de avaliação dos componentes estruturais dos instrumentos de percussão, podem ser encontradas na tabela a seguir.

Ligas de Alumínio Trabalháveis		
Liga	Características	Aplicações
1050 1100	Alumínio comercialmente puro, muito dúctil no estado recozido, indicado para deformação a frio. Estas ligas têm excelente resistência à corrosão, a qual é crescente com o aumento da pureza da liga	Equipamentos para indústrias alimentícias, químicas, bebidas, trocadores de calor ou utensílios domésticos.
1350	Alumínio 99,5% de pureza, com condutibilidade mínima de 61% IACS.	Barramentos elétricos, peças ou equipamentos que necessitem de alta condutibilidade elétrica.
2017 2024 2117 2219	Ligas de AlCu, com elevada resistência mecânica, alta ductibilidade, média resistência à corrosão e boa usinabilidade.	Peças usinadas e forjadas, indústria aeronáutica, transporte, máquinas e equipamentos.
3003	Ligas de AlMn, com boa resistência à corrosão, boa conformabilidade e moderada resistência mecânica. São ligas de uso geral.	Carrocerias de ônibus e de furgões, equipamentos rodoviários e veículos em geral, reboques, vagões, utensílios domésticos, equipamentos para indústria química e alimentícia, telhas, cumeeiras, rufos, calhas, forros, construção civil e fachadas.

(Tabela 2 - <http://www.abal.org.br>)

Foi importante entender a classificação das ligas de alumínio para o uso adequado da ferramenta de escolha de materiais do SolidWorks, que dispõe de uma biblioteca de materiais catalogados, que será descrita mais à frente neste relatório.

Material muito versátil, o alumínio se destaca como elemento para fabricação das peças, por formar materiais, leves, duráveis e bonitos, apresentando desempenho excelente em diversas aplicações do meio industrial.

As ligas, de uma maneira geral, possuem massa específica baixa, em comparação com outros materiais avaliados para o projeto, o que configura uma vantagem para este material, já que a facilidade para o transporte é requisito indispensável para as ferragens. Apesar disso, ainda assim é um material com boa resistência mecânica, o que configura uma ótima resistência específica (relação entre a resistência mecânica e a massa específica). O aspecto moderno e limpo das peças de alumínio, também contribui para sua aceitação no mercado. Ele não se deteriora com facilidade no tempo, e permite uma ampla gama de aplicações de tintas e outros acabamentos.

Ferragens devem ser projetadas para suportar uso *outdoor*, e o alumínio oferece uma excepcional resistência a agentes externos, intempéries, raios ultravioleta, abrasão e riscos. Proporcionando assim, elevada durabilidade, inclusive quando usado na orla marítima e em ambientes agressivos.

Sua auto-proteção natural contra corrosão só é abalada por condições agressivas ou por determinada substância que dissipe sua película de óxido de proteção. Isso possibilita uma elevada durabilidade do produto, a longo prazo, mesmo que submetido à contato com água (não é freqüente, ocorre em situações de transporte, ou em acidentes). A fácil manutenção, higienização e manuseamento também são características possibilitadas pela resistência à corrosão.

Quanto à fabricação, o alumínio apresenta alta maleabilidade, ductibilidade e soldabilidade (essencial para a fabricação das ferragens).

Sua resistência e dureza podem ser ainda melhoradas por trabalho a frio, atingindo níveis satisfatórios para empregos de alta exigência ao comportamento mecânico, como trens e aviões.

Uma das principais características do alumínio é sua alta reciclabilidade. Depois de muitos anos de vida útil, segura e eficiente, o alumínio pode ser reaproveitado, com recuperação de parte significativa do investimento e economia de energia, como já acontece largamente no caso da lata de alumínio. Além disso, o meio ambiente é beneficiado pela redução de resíduos e economia de matérias-primas propiciadas pela reciclagem.

Compósitos

Os materiais compósitos também são uma alternativa para o mercado de ferragens. Embora não seja um material utilizado com freqüência, algumas empresas, inclusive uma brasileira, vêm investindo nesta opção.

Os principais fatores que contribuem para a aplicação de materiais compósitos para a construção dos elementos estruturais dos instrumentos são: o peso final da estrutura e a resistência a corrosão. O elevado peso e a oxidação dos materiais são problemas críticos para projetos de ferragens, por isso os compósitos constituem uma opção viável para melhorar a qualidade do produto.

Porém, com uma menor fatia do mercado, ferragens com este tipo de material ainda não foram aceitas por grande parte dos consumidores. Os usuários freqüentemente reclamam da durabilidade geral das peças e do aspecto estético. Isso pode ser explicado pela tradição do brilho dado às ferragens de materiais metálicos ao longo de décadas.

A partir da análise dessas informações, foram escolhidos os materiais que passaram para a fase de simulações. Foram selecionados os materiais que preenchem os requisitos de durabilidade, de acordo com suas propriedades e limite de escoamento, e ao mesmo tempo apresentam os melhores atrativos com relação ao custo de fabricação, peso, e reciclagem.

Os materiais pré selecionados foram:

- Aço 1020
- Alumínio 1060
- Ferro Fundido Cinza

Simulações

O foco principal das simulações foi na avaliação da integridade de diferentes tripés, quando solicitados por cargas passíveis de acontecer na realidade. Outro resultado importante das simulações foi a deformação. A modelagem também ofereceu outros dados importantes como, por exemplo, o volume da peça e seu peso total.

Simulações – Geração da malha

Para prosseguir com a análise de elementos finitos, foram geradas malhas (Figura 6) a partir da montagem da estrutura inteira, através do CosmosWorks. A malha solicitada foi a de menor detalhamento, desde que suficientemente precisa para separar regiões consideradas críticas através da observação experimental.

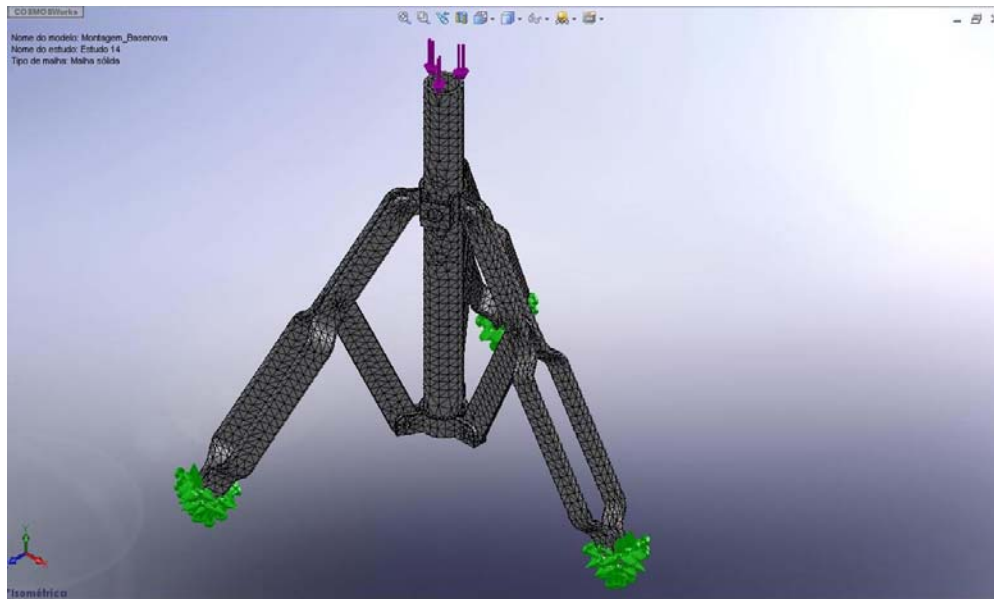


Figura 6 – Malha Para Técnica de Elementos Finitos

Simulações - Critérios

O critério utilizado para a análise de tensões foi o critério de Von Mises, que indica que o material se comporta elasticamente enquanto a relação abaixo (Figura 8) é satisfeita. A deformação plástica dos componentes não foi tolerada nas simulações, ou seja, a tolerância máxima para as tensões foi enquanto a peça está no regime elástico.

Buscamos o fator de segurança que a peça apresenta, em seu ponto mais frágil (onde está concentrada a maior tensão).



Figura 7 - Critério de falha por escoamento de Von Mises, no CosmosWorks

O estudo de tensões estáticas da peça foi realizado de acordo com as seguintes considerações:

- A carga para testes foi $F = 700 \text{ N}$

Esta premissa foi assumida, considerando que a estrutura receberia, sozinha, o peso médio de um adulto.

- Restrições de movimento

Para realizar as simulações de uma maneira correta, o CosmosWorks precisa saber onde estão as restrições de movimento na estrutura, representadas na Figura 8 pelas setas de cor verde, neste caso nos pés da estrutura.

- Peso próprio

Mesmo não sendo considerado crítico para o projeto, o peso próprio da estrutura foi considerado, através da aplicação da gravidade local na simulação.

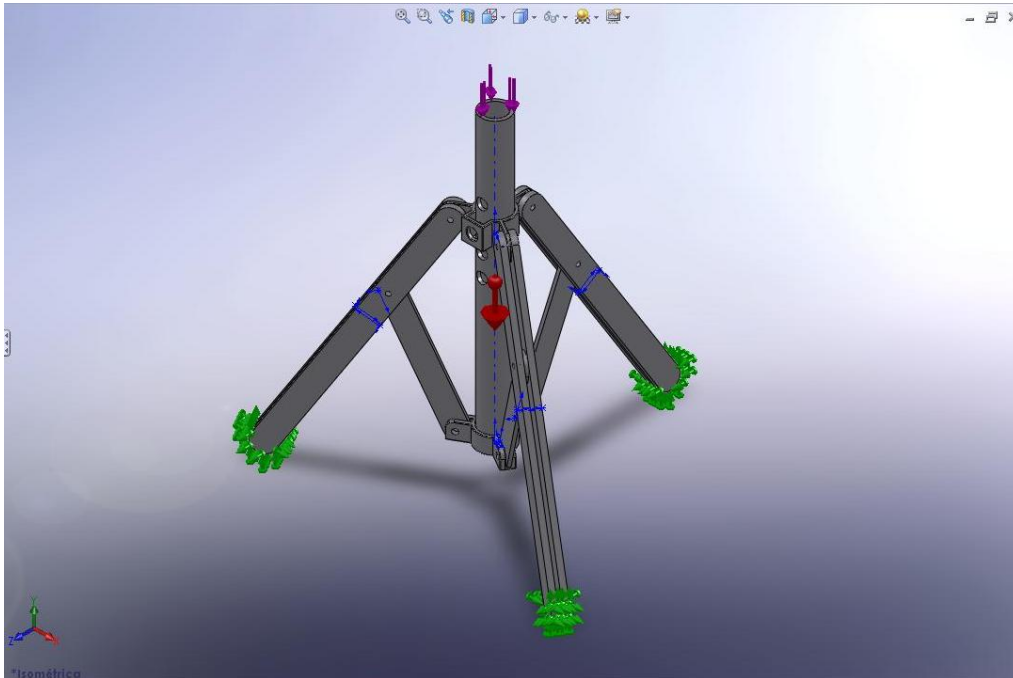


Figura 8 – Cargas atuantes na estrutura

Simulações – Geometria 1

A primeira estrutura analisada foi uma de pés duplos com uma abertura na parte inferior. Esse modelo foi gerado com base na estante de pés duplos, mas incluindo uma abertura na parte inferior dos pés principais (Figura 7), frequentemente observada em ferragens dos mais variados tipos.



Figura 9 – Abertura dos pés duplos

Simulação 1 – Geometria 1 – Aço

A primeira simulação foi realizada considerando todas as peças da estrutura em aço 1020, cujas propriedades estão na Tabela 3.

Propriedade	Descrição	Valor	Unidades
EX	Módulo elástico	200000	N/mm ²
NUXY	Coefficiente de Poisson	0.29	NA
GXY	Módulo de cisalhamento	77000	N/mm ²
DENS	Densidade da massa	7900	kg/m ³
SIGXT	Resistência à tração	420.507	N/mm ²
SIGXC	Resistência à compressão		N/mm ²
SIGYLD	Limite de escoamento	351.571	N/mm ²
ALPX	Coefficiente de expansão	1.5e-005	/Kelvin
KX	Condutividade térmica	47	W/(m.K)
C	Calor específico	420	J/(kg.K)

Tabela 3 – Propriedades do Aço 1020

Estas são as propriedades do material segundo a biblioteca do SolidWorks, nas quais os cálculos da simulação foram baseados.

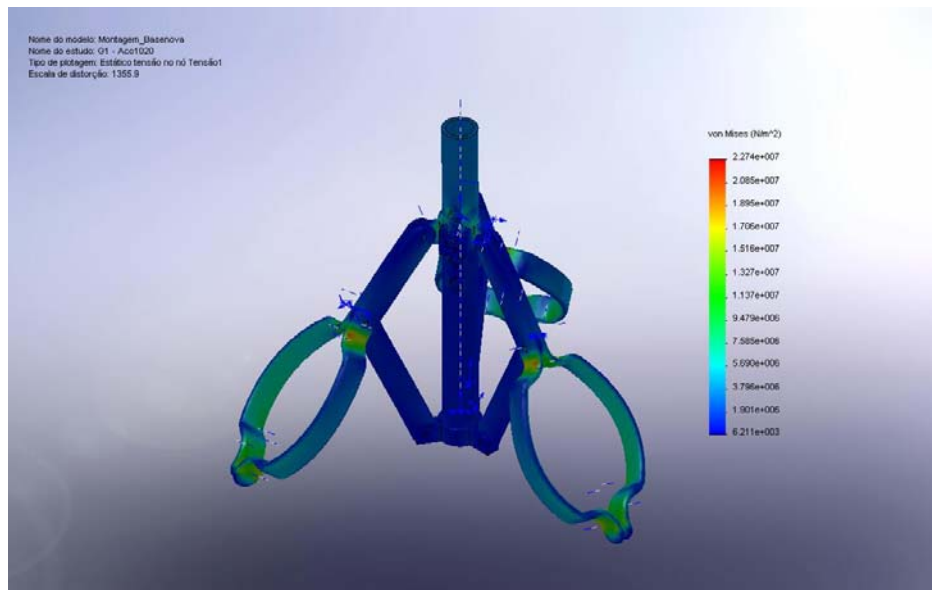


Figura 10 – Tensões para Simulação 1 - Geometria 1 - Aço

A escala à direita, indica os valores máximos e mínimos encontrados no estudo. Para este teste, os valores extremos foram 2,274e+007 N/m² para a tensão máxima, e 1,095e+002 N/m² para a mínima. A deformação da peça foi ampliada 1356 vezes, para uma melhor visualização.

Se avaliarmos o desempenho da estrutura pelo seu ponto mais crítico, podemos calcular o fator de segurança deste projeto dividindo a tensão máxima obtida pelo critério de Von Mises pelo limite de escoamento.

$$\frac{\sigma_{\text{Von Mises}}}{S_y} = \varphi$$

Os resultados indicam que a estrutura está projetada para agüentar até

aproximadamente 15 vezes a carga utilizada na simulação, indicando claramente um super dimensionamento da estrutura. Isto pode ser explicado pelo fato de que a ferragem deve ser projetada para agüentar acidentes, como por exemplo, queda. Também deve suportar fadiga, parecer robusta e ter peso próprio suficiente para equilibrar o conjunto ferragem – instrumento. Estes resultados serão considerados para a próxima avaliação.

A fim de investigar o alto fator de segurança encontrado nas simulações com o aço 1020, foram feitas novas simulações desta estrutura, com a mesma geometria, mas com materiais diferentes (Tabelas 5 e 6).

Simulação 2 – Geometria 1 – Alumínio

Os mesmos critérios e premissas da Simulação 1 foram adotados, como meio de melhor comparar os resultados.

Propriedade	Descrição	Valor	Unidades
EX	Módulo elástico	6.9e+010	N/m ²
NUXY	Coefficiente de Poissc	0.33	NA
GXY	Módulo de cisalhame	2.7e+010	N/m ²
DENS	Densidade da massa	2700	kg/m ³
SIGXT	Resistência à tração	68935600	N/m ²
SIGXC	Resistência à compre		N/m ²
SIGYLD	Limite de escoamentc	27574200	N/m ²
ALPX	Coefficiente de expans	2.4e-005	/Kelvin
KX	Condutividade térmic.	200	W/(m.K)
C	Calor específico	900	J/(kg.K)

Tabela 5 – Propriedades da liga de Alumínio 1060

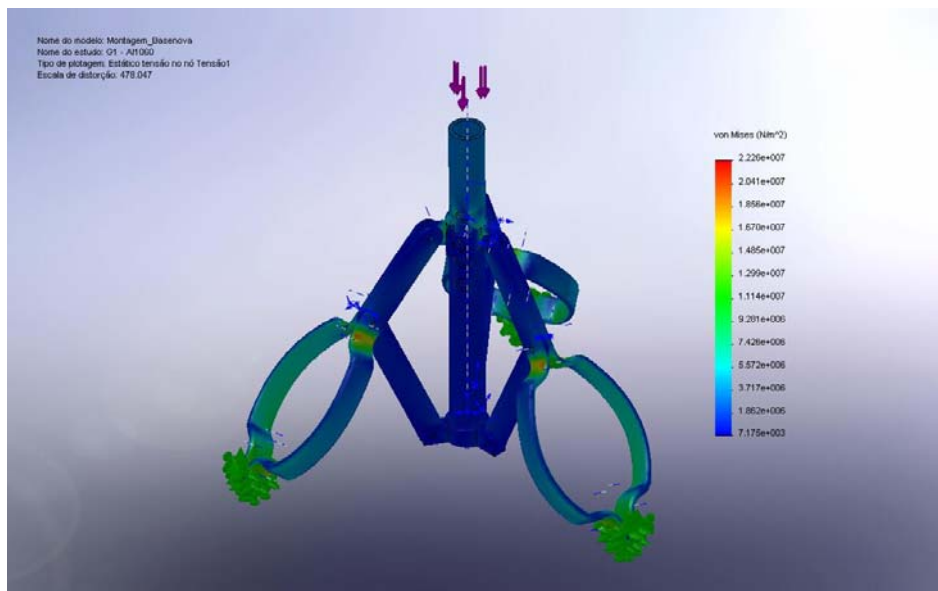


Figura 11 – Tensões para Simulação 2 - Geometria 1 – Alumínio

Ao analisar os resultados desta simulação com mais cuidado, observamos que a tensão máxima indicada pelo programa foi de $2,226e+007 \text{ N/m}^2$, enquanto que o limite de escoamento da liga de Alumínio utilizada é $2,757e+007 \text{ N/m}^2$. Isso indica, através de cálculo análogo ao utilizado na Simulação 1, que o fator de segurança mínimo da peça para a carga de 700N é apenas 1.2. Esta diminuição do fator de segurança excessivamente elevada pode ser perigosa para a estrutura, conforme pode ser visto no gráfico do fator de segurança (Figura 12).

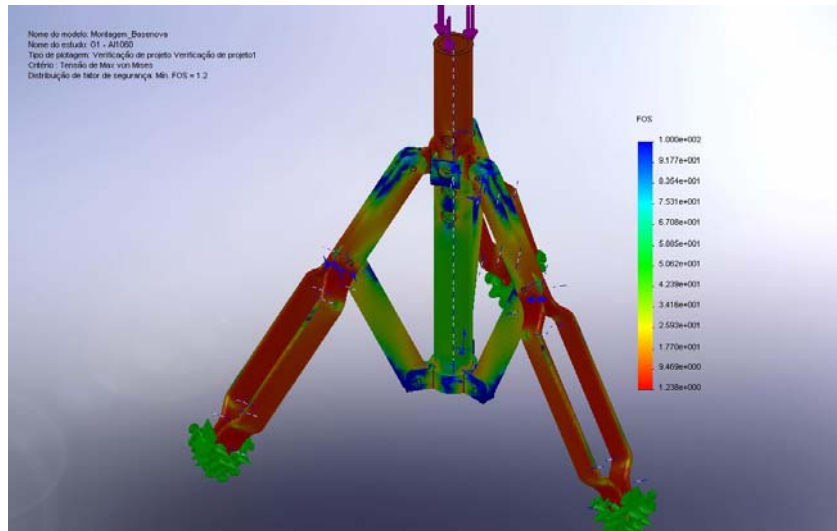


Figura 12 – Fator de segurança para Simulação 2 - Geometria 1 – Alumínio

Neste gráfico, em vermelho estão os fatores de segurança mínimos, e em azul, os maiores.

Simulação 3 – Geometria 1 – Ferro Fundido Cinza

Os mesmos critérios e premissas foram novamente adotados.

Propriedade	Descrição	Valor	Unidades
EX	Módulo elástico	6.61781e+010	N/m ²
NUXY	Coefficiente de Poisson	0.27	NA
GXY	Módulo de cisalhamento	5e+010	N/m ²
DENS	Densidade da massa	7200	kg/m ³
SIGXT	Resistência à tração	151658000	N/m ²
SIGXC	Resistência à compressão	572165000	N/m ²
SIGYLD	Limite de escoamento		N/m ²
ALPX	Coefficiente de expansão	1.2e-005	/Kelvin
KX	Condutividade térmica	45	W/(m.K)
C	Calor específico	510	J/(kg.K)

Tabela 6 – Propriedades do Ferro Fundido Cinza

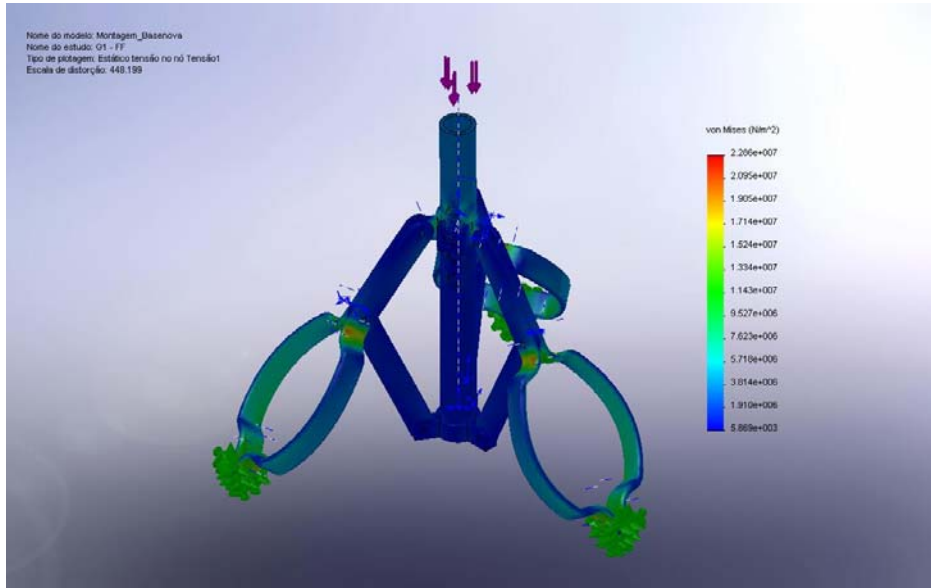


Figura 13 – Tensões para Simulação 3 - Geometria 1 – Ferro Fundido Cinza

A deformação da peça foi ampliada 450 vezes, para uma melhor visualização.

A tensão máxima ficou em 2,286e+007. Para o ferro fundido, não dispomos de um valor para o limite de escoamento, por se tratar de um material de natureza frágil. Portanto, outro critério foi considerado. Diferentemente das simulações para alumínio e aço, que consideraram o critério de Von Mises, as simulações para Ferro fundido cinza consideraram o critério de Mohr-Coulomb (Figura 14).

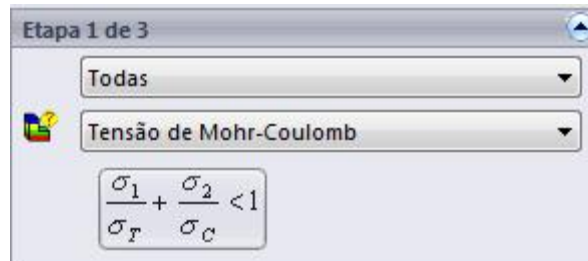


Figura 14 - Critério de Falha de Mohr-Coulomb segundo CosmosWorks

Segundo este critério, o fator de segurança mínimo da peça ficou em 6,4.

Simulações – Geometria 2

Através das Figuras 10, 11 e 13, e através de um aplicativo do software, localizamos os pontos de maior acúmulo de tensão na estrutura (indicados pela cor vermelha). Observamos que a distribuição de tensões foi bastante uniforme e baixa no eixo central, e no anel inferior, que permaneceram na cor azul escuro. Os pontos críticos foram na abertura dos pés.

Baseado nestes resultados, outra simulação foi proposta, com uma nova geometria visando melhorar o desempenho da estrutura. Para isso, os pés duplos foram modelados

como retos (como pode ser observado na Figura 2).

Os mesmos critérios e premissas da simulação 1 foram adotados, como meio de melhor comparar os resultados.

Simulação 4 – Geometria 2 – Alumínio

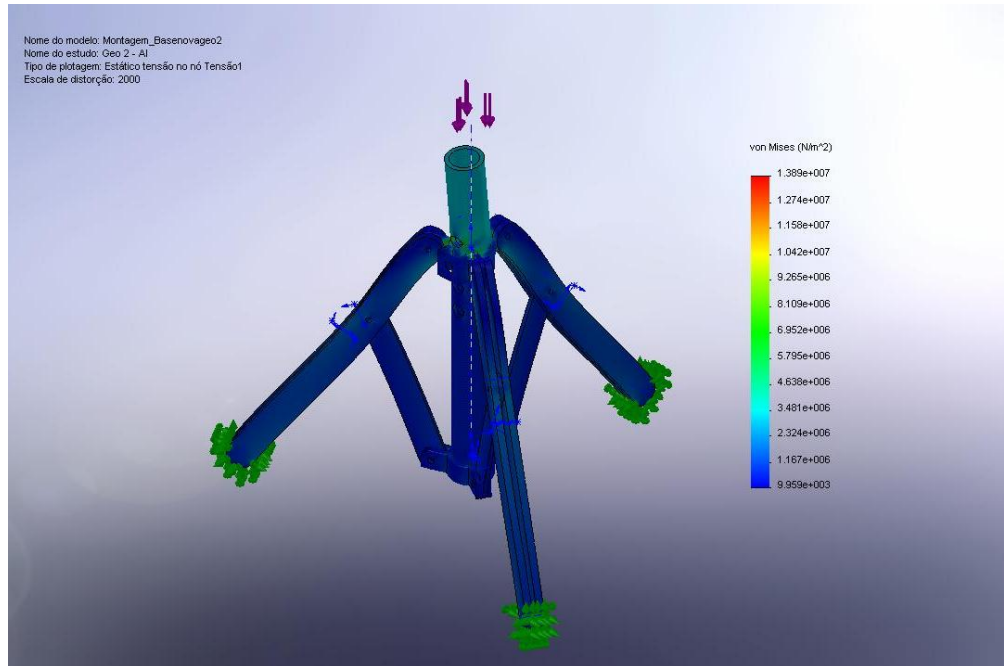


Figura 14 – Tensões para Simulação 4 - Geometria 2 – Alumínio

Ao analisar os resultados desta simulação, obtivemos resultados satisfatórios. A tensão máxima indicada pelo programa foi de $1,389e+007 \text{ N/m}^2$, enquanto que o limite de escoamento da liga de Alumínio utilizada é $2,574e+007 \text{ N/m}^2$. Isso indica, através de cálculo análogo ao utilizado na simulação 1, que o fator de segurança desta estrutura, para a carga de 700N é aproximadamente 2. Esta estrutura se mostrou mais eficiente que a de pés abertos.

Com a mudança dos pés principais com abertura para os pés principais retos, este elemento deixou de ser o crítico da estrutura. A tensão máxima agora se encontrou no anel superior (Figura 15).

Isto significa que as partes mais solicitadas variam entre as duas geometrias. Para o caso de se usar uma estrutura com materiais diferenciados, o mais resistente para a geometria 1 deve ser os pés principais, e o mais resistente para a geometria 2, anel superior e o eixo central. Vale lembrar que cada peça tem valores diferenciados para serem fabricadas, por exemplo, o eixo central, que é basicamente um cilindro com furos, é mais fácil de produzir do que uma forma mais complexa, como por exemplo o anel superior ou o pé principal da geometria 1.

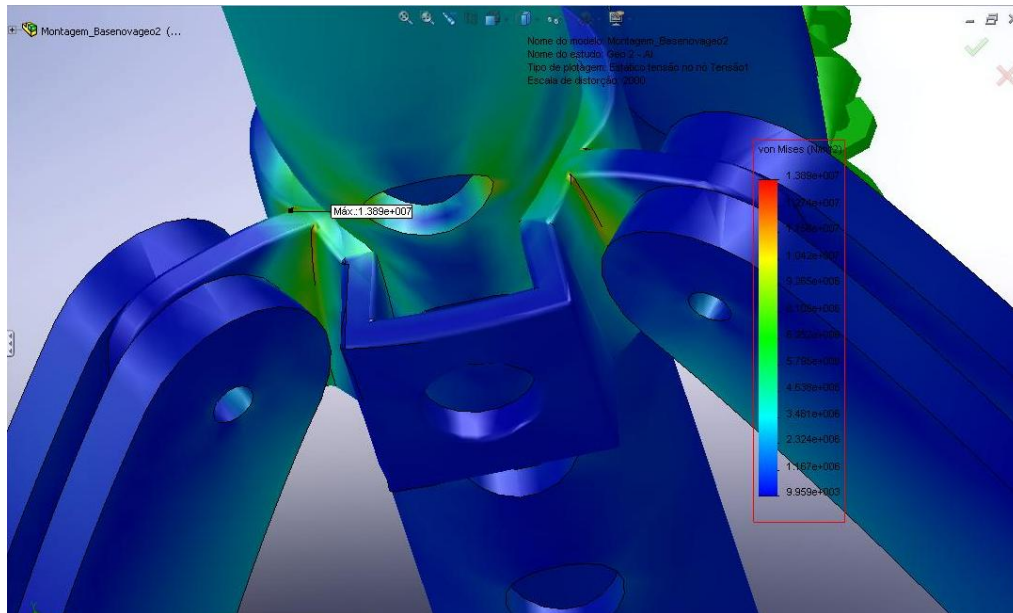


Figura 15 – Localização da Tensão Máxima para Simulação 4 - Geometria 2 - Alumínio

O resultado desta simulação mostra o propósito das aberturas nos pés principais encontrados em ferragens de melhor qualidade. Elas servem para absorver e distribuir a carga pelos três pés, aliviando as tensões no anel superior e no eixo central.

Simulação 5 – Geometria 2 – Aço 1020

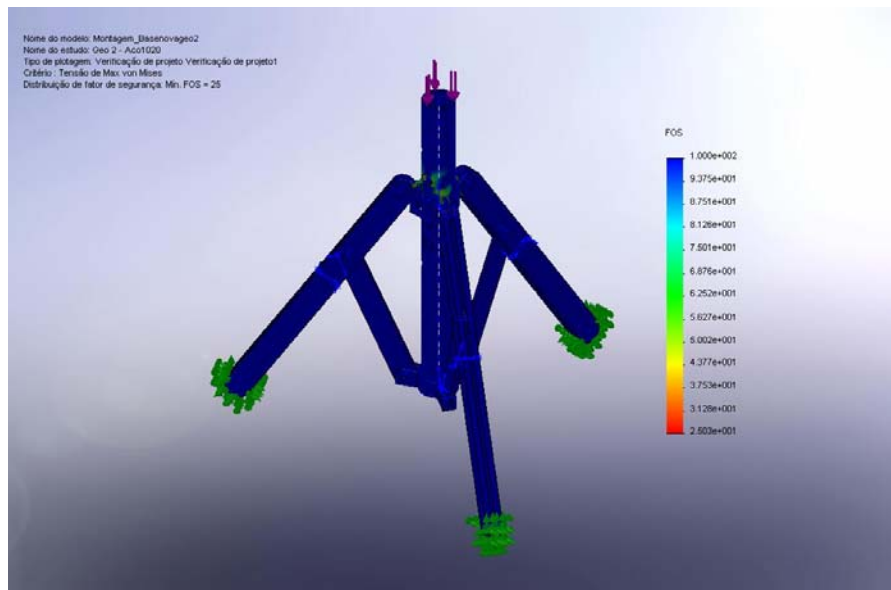


Figura 16 – Fatores de Segurança para Simulação 5 - Geometria 2 - Aço 1020

O fator de segurança mínimo para esta simulação foi 25.

Simulação 6 – Geometria 2 – Ferro Fundido Cinza

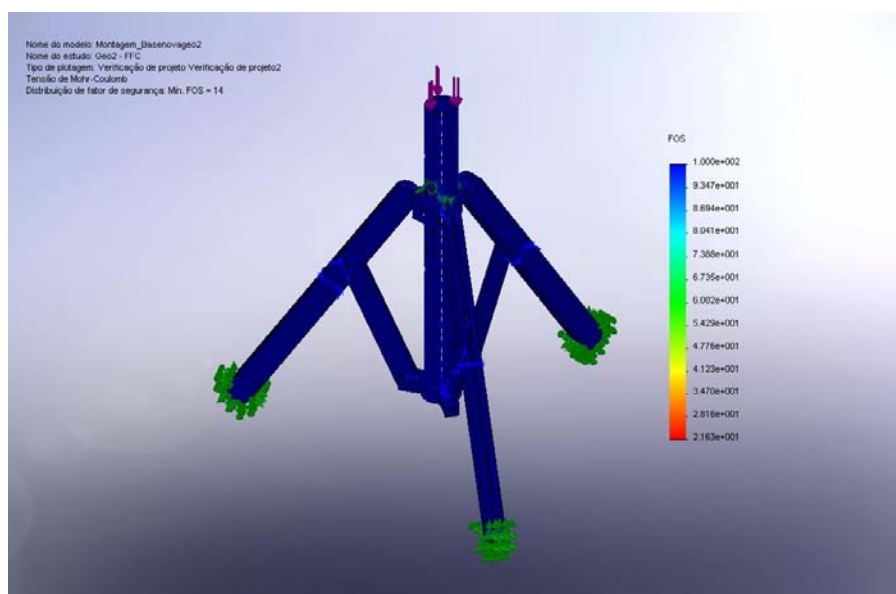


Figura 17 – Fatores de Segurança para Simulação 6 - Geometria 2 – Ferro Fundido Cinza

O fator de segurança mínimo para esta simulação foi 14.

Para estas duas últimas simulações, obtivemos resultados semelhantes à simulação 14.

Conclusão – Simulações

Simulação	1	2	3	5	4	6
Descrição	Geom. 1 Aço1020	Geom. 1 A1060	Geom. 1 FFC	Geom. 2 Aço1020	Geom. 2 A11060	Geom. 2 FFC
Fator de segurança mínimo	15	1,2	6,4	25	2	14

Ferragens utilizadas como suporte de instrumentos de percussão não são mecanismos que precisam de fatores de segurança tão altos como, por exemplo, pontes ou elevadores, que colocam em risco o usuário. Mas por outro lado, estas estruturas são responsáveis pela segurança de instrumentos que podem valer até dez vezes o valor da ferragem, por isso, devem ser dimensionadas para sobreviverem a acidentes e a sobrecargas.

As simulações para as estruturas de ferro fundido geraram resultados bastante satisfatórios para o fator de segurança da estrutura sob uma carga usual que ela deve suportar. A favor desta modelagem como melhor dos casos avaliados aqui, está também o custo do material utilizado.

As modelagens para liga de alumínio 1060 não apresentaram resultados satisfatórios para o fator de segurança. Mesmo tendo um material bastante leve, e com grande potencial para reciclagem, os resultados das simulações indicaram que esta liga não é suficientemente

resistente para a estrutura.

Para os casos modelados com o Aço 1020, obtivemos os melhores fatores de segurança para cada geometria. Isso não necessariamente significa que este é o melhor material para a estrutura, uma vez que ele custa muito mais que o ferro fundido cinzento, e o fator de segurança do segundo foi considerado como suficiente por este estudo.

Após todas estas observações, concluímos que o melhor projeto foi o da Simulação 6, com a melhor geometria, e o melhor material.

Para uma otimização ainda mais profunda da estrutura, outro estudo, mais completo e abrangente, que envolvesse cada peça separadamente, poderia ser realizado. Assim, as simulações poderiam estudar casos onde cada peça fosse fabricada de um material diferente.

Conclusões - Finais

A estrutura mais relevante para ferragens de instrumentos de percussão é o tripé. Essa estrutura sustenta a maior parte dos elementos percussivos. Por esse motivo, o estudo foi focado nessa estrutura.

Foram avaliados diferentes arranjos de tripé, baseando-se primeiramente em dois modelos reais, comuns no mercado.

A partir desses, foram propostos e avaliados diferentes novos projetos, variando parâmetros como materiais dos componentes e geometria da estrutura.

Tanto os modelos reais, como os propostos pelo estudo, foram avaliados em termos de resistência mecânica, peso da estrutura, praticidade para o usuário e preço estimado para fabricação.

Referências

- 1 - PLANCHARD, David C. **Drawing and Detailing with SolidWorks**. 4.ed. Schroff Development Corporation, 2009. 286p.
- 2 - TIMOSHENKO S. P., GERE, J. E. **Mecânica dos Sólidos**. Vols. 1, Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1994.
- 3 - KUROWSKI, Paul. **Engineering Analysis with COSMOSWorks Professional 2008**. 1.ed. Schroff Development Corporation, 2008. 297p.
- 4 – SHIGLEY, Joseph. Edward., MISCHKE, Charles R. **Projeto de Engenharia Mecânica** 7 edicao