

**MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA E DE
ARMAMENTO**

MATEUS PORTO RODRIGUES

REPROJETO DE MECANISMO DE DISPARO DE ARMA LEVE

**RIO DE JANEIRO
2021**

MATEUS PORTO RODRIGUES

REPROJETO DE MECANISMO DE DISPARO DE ARMA LEVE

Projeto de Final de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica e de Armamento do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica e de Armamento.

Orientador: Egydio Carvalho Souza Caria, M.Sc.

Rio de Janeiro

2021

©2021

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro – RJ CEP: 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmear ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

Porto Rodrigues, Mateus.

Projeto de mecanismo de disparo de arma leve / Mateus Porto Rodrigues.
– Rio de Janeiro, 2021.

66 f.

Orientador(es): Egydio Carvalho Souza Caria.

Projeto de Final de Curso (graduação) – Instituto Militar de Engenharia, Engenharia Mecânica e de Armamento, 2021.

1. Manufatura Aditiva. 2. Mecanismo de disparo. 3. Projeto Mecânico otimizado. 4. Pistola Colt 1911. i. Carvalho Souza Caria, Egydio (orient.) ii. Título

MATEUS PORTO RODRIGUES

Reprojeto de mecanismo de disparo de arma leve


Projeto de Final de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica e de Armamento do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica e de Armamento.

Orientador(es): Egydio Carvalho Souza Caria.

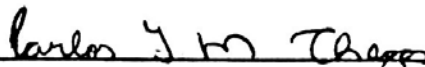
Aprovado em Rio de Janeiro, 11 de outubro de 2021, pela seguinte banca examinadora:



Prof. Egidio Carvalho Souza Caria - M.Sc. da UFRJ - Presidente



Prof. Carlos Augusto Vieira Carneiro - M.Sc. do IME



Prof. Carlos Frederico de Matos Chagas - D.Sc. do IME

Rio de Janeiro

2021

Gostaria de dedicar este trabalho a minha mãe que tornou os meus estudos possíveis, e aos amigos, que fizeram os longos anos de curso passarem mais rápido.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao meu orientador, TC Egydio, a quem sempre encarei como mentor e inspiração de dedicação e empenho ao longo da minha preparação para vida profissional.

Gostaria de agradecer a Iana Carvalho por contribuir com ideias sobre os materiais.

Gostaria de agradecer aos colegas de curso, que sempre me ajudaram, e permitiram que entregasse este trabalho com a melhor qualidade possível.

"Tornar o simples complicado é fácil, mas tornar o complicado simples, isto é criatividade"
(Charles Mingus)

RESUMO

A partir do modelo da pistola Colt 1911, este trabalho apresenta, a partir da consolidação de componentes, simplificar um dos sistemas da pistola. Idealizou-se reprojeter o mecanismo de disparo com um novo meio de fabricação que é a manufatura aditiva, MA. A concepção com manufatura aditiva traz novos desafios ao introduzir, por exemplo, a anisotropia no comportamento do material. Para o novo componente proposto, a mola da alavanca de armar e o cão são condensados em apenas um componente. Realiza-se o projeto mecânico de um novo dispositivo em metal e é averiguado se o mecanismo é viável com o novo meio de produção para substituir o mecanismo original. Para isso, modela-se a proposta de peça em CAD 3D no programa SolidWorks ® e simula-se a condição de operação para avaliar algum tipo de falha por meio do Método de elementos Finitos (MEF) utilizando o programa ANSYS ®. Por fim, imprime-se um mecanismo em polímero para fazer a prova conceitual e demonstrar o comportamento esperado do componente proposto.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva. Mecanismo de disparo. Projeto Mecânico otimizado. Pistola Colt 1911.

ABSTRACT

Using the 1911 pistol as a model, this work intends to use the part consolidation method, to simplify one of the pistol's systems. It was idealized to reproject the firing mechanism with a new fabrication method: additive manufacturing. The concept with this new method brings new challenges, such as anisotropy, of the material. For this new component proposed, the spring and the hammer are condensed in a single component. Then, calculations were made to develop a mechanical design for this new component and to check if it is both functional and got the necessary resistance, it was made the proposed component in CAD 3D in SolidWorks ®and analyzed using Finite Element Method in ANSYS ®. At last, a mechanism was printed in polymer to make the proof of concept and demonstrate the expected behavior of the new component proposed.

Keywords: Additive Simulation. Firing Mechanism. Optimal Mechanical Design. Colt 1911 Pistol.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Metralhadora Gatling	15
Figura 2 – Exemplos de 1911 do mercado (a) Pistola 1911 IMBEL ®(b) Pistola 1911 Taurus Armas ®	16
Figura 3 – Esquemático do recuo para uma arma com base no recuo do cano	18
Figura 4 – Exemplo de um <i>Striker</i>	19
Figura 5 – Fatiamento de uma xícara para produção por MA	20
Figura 6 – Exemplos de máquinas a base de pó	21
Figura 7 – Sistema à base de metal fundido	21
Figura 8 – Detalhe da direção de impressão	22
Figura 9 – Sistema à base de material laminado	22
Figura 10 – Passo a passo na concepção de um produto a base de manufatura aditiva	23
Figura 11 – Possibilidades de escaneamento na impressão e carregamento no ensaio de tração	25
Figura 12 – Orientações utilizadas na simulação de um viga	27
Figura 13 – Distribuição da tensão de Von Mises com uma carga aplicada no ponto médio em uma viga feita por MA	27
Figura 14 – Detalhe dos elementos em forma de tetraedro em uma viga	28
Figura 15 – Análise MEF da tensão de Von Mises no pino <i>striker</i>	29
Figura 16 – Análise por MEF em um bloco de travamento	29
Figura 17 – Avaliação das tensões principais no extrator	30
Figura 18 – Otimização estrutural de uma alavanca utilizada no projeto	30
Figura 19 – EAP do projeto	31
Figura 20 – Vista em corte da parte interna	32
Figura 21 – Componentes do mecanismo de disparo: 1- Gatilho 2- Noz de armar e alavanca de disparo 3- Cão 4- Alavanca de armar 5- Apoio superior 6- Mola 7- Apoio inferior	32
Figura 22 – Fluxograma da consolidação de componentes	33
Figura 23 – Esquemático do desenho: 1 Componente Cão-Mola 2 Noz de armar e Alavanca de disparo 3 Gatilho	34
Figura 24 – Curva Tensão Deformação do Material (Liga Ti-6Al-4V)	35
Figura 25 – Curva S-N para o material Ti-6Al-4V	37
Figura 26 – Força na mola do cão	38
Figura 27 – Força em uma mola de torção genérica	39
Figura 28 – Exemplo de uma mola espiral plana	39
Figura 29 – Variáveis da mola plana	42

Figura 30 – Desenho CAD do novo mecanismo proposto (a) - Vista isométrica (b) Vista frontal	43
Figura 31 – Malha utilizada	45
Figura 32 – Desenho CAD do novo mecanismo proposto da parte elástica (a) Vista isométrica (b) Vista frontal	47
Figura 33 – Malha utilizada	47
Figura 34 – Condição de contorno de apoio	48
Figura 35 – Condição de contorno de rotação	48
Figura 36 – Malha utilizada	49
Figura 37 – Estado de deformações do componente	50
Figura 38 – Estado de tensões do componente - vista isométrica	50
Figura 39 – Estado de tensões do componente - Destaque para a parte da mola	51
Figura 40 – Energia armazenada por cada elemento	51
Figura 41 – Energia da mola pelo deslocamento angular	52
Figura 42 – Força da mola pelo deslocamento angular	52
Figura 43 – Mecanismo proposto em vista isométrica	54
Figura 44 – Mecanismo proposto (a) Armado (b) Desarmado	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados comparativos do ensaio de tração entre corpos de prova impresso em 3D e laminados a frio	25
Tabela 2 – Dados comparativos do ensaio de tração entre corpos de prova impresso em 3D em diversas orientações e tratamentos térmicos	26
Tabela 3 – Composição química do material	34
Tabela 4 – Propriedades mecânicas do Ti-6Al-4V	34
Tabela 5 – Propriedades de alguns materiais de mola	36
Tabela 6 – Dados Iniciais	40
Tabela 7 – Conjunto solução ótimo	43
Tabela 8 – Características do material maciço isotrópico	46
Tabela 9 – Tensão de escoamento - XY no plano de impressão e Z perpendicular ao plano	46

LISTA DE SÍMBOLOS

b	Largura da mola
$C_{penalidade}$	Constante de penalidade da função objetivo
c_1	Raio inicial da espiral de Arquimedes
c_2	Constante de proporcionalidade da espiral Arquimedes
d_{vao}	Distância radial entre duas voltas consecutivas na espira
E	Módulo de Elasticidade do material
E_{min}	Energia mínima para deflagrar uma munição
E_x	Módulo de Elasticidade do material na direção x
E_y	Módulo de Elasticidade do material na direção y
E_z	Módulo de Elasticidade do material na direção z
E_p	Energia potencial
L	Comprimento total da mola
T	Torque da mola
t	Espessura da mola
θ	Deflexão angular da mola
σ_{esc}	Tensão de escoamento do material
σ_{escxy}	Tensão de escoamento no plano xy
σ_{escz}	Tensão de escoamento na direção z

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	PRINCÍPIOS GERAIS	18
2.1	ARMAMENTO	18
2.1.1	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	18
2.1.2	MECANISMO DE DISPARO	19
2.2	MANUFATURA ADITIVA	20
2.3	MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS	27
3	PLANEJAMENTO DO TRABALHO	31
3.1	OBJETIVO	31
3.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	31
4	PROJETO PRELIMINAR	32
4.1	SELEÇÃO DE MATERIAL	34
4.2	REQUISITOS INICIAIS	37
4.3	MEMÓRIA DE CÁLCULO	38
4.3.1	TEORIA ACERCA DE MOLAS ESPIRAIS	38
4.3.2	DIMENSIONAMENTO PRELIMINAR	40
5	SIMULAÇÕES	45
5.1	MATERIAL	45
5.2	GEOMETRIA	46
5.3	MALHA	47
5.4	CONDIÇÕES DE CONTORNO	48
5.5	OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS	49
5.6	RESULTADOS	50
6	PROVA DE CONCEITO	53
6.1	CONSIDERAÇÕES	53
6.2	AValiação	53
6.3	MELHORIAS	53
6.4	AValiação FINAL	55
7	CONCLUSÃO	56
7.1	TRABALHOS FUTUROS	56

REFERÊNCIAS	57
A – CRONOGRAMA DO PROJETO	60
B – DESENHOS TÉCNICOS COLT 1911	61
C – CAD DO DISPOSITIVO PARA PROVA DE CONCEITO	63

1 INTRODUÇÃO

Desde a idade das pedras, o homem busca maneiras de proteger-se de perigos iminentes, e na época, caçar de maneira efetiva e que exigisse menos labor. Dentro desse contexto surgem as armas. Ferramentas criadas com o intuito de acompanhar o homem em sua defesa pessoal e da organização de indivíduos que começava ali. E com o passar do tempo, novas invenções surgiram, novas formas de se conviver foram estabelecidas [1].

A criatividade do homem proporcionou novas formas e utensílios para se defender, e nessa busca pela inovação surgiram as primeiras armas de fogo. Aparatos engenhosamente construídos para funcionar a partir do princípio da expansões dos gases. Muitos inventores e cientistas notáveis participaram dessa constante evolução até chegarmos nas armas modernas de hoje.

Entre os primeiros colaboradores da Era Moderna pode-se citar o Dr. Richard Gatling, que paralisou a prática da medicina em meados de 1860 para desenvolver sua famosa arma multicano, a metralhadora Gatling, apresentada na Fig.1. Seu design, e princípio de funcionamento, é utilizado até hoje [1] principalmente na indústria de defesa aeronáutica. O Capitão francês Claude-Étienne Minié também contribuiu, com o desenvolvimento dos projéteis Minie, que revolucionou a arte de guerrear na época. Com o projeto do capitão francês, as armas passaram a ter um alcance e uma acurácia maior devido a rotação do projétil, e passaram a ter um método de fabricação em massa mais eficaz que os utilizados nos projetos de munições anteriores. [2].

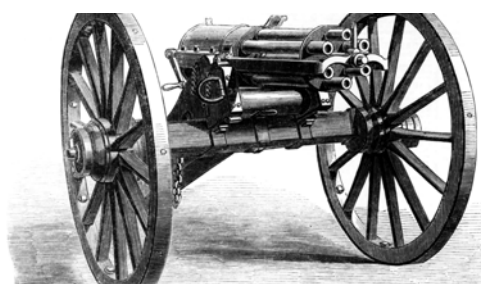


Figura 1 – Metralhadora Gatling

A arte de engenhar ficou mais sofisticada com o passar do tempo e novas armas puderam ser desenvolvidas, mas isso só foi possível devido às novas ferramentas, métodos e materiais que surgiram. Desta forma, os conhecimentos descobertos na metalurgia, na área de propelentes e de fabricação permitiram justamente a construção de conceitos e ideias que outrora não era possível. A alma de um cano em formato hexagonal, por exemplo, foi criada por volta de 1860, entretanto, só foi reintroduzido no mercado depois de 100 anos, por causa do seu método de fabricação [1].

Uma dessas armas desenvolvidas com novas tecnologias, a M1911 do ano de 1911, continua sendo sinônimo de confiança e desempenho. Nos EUA, onde foi criada, substituíram-na um tempo depois pela pistola Beretta M9. Todavia, após o desempenho em campo, alguns militares propuseram a volta da consagrada pistola proposta por Samuel Colt, pois se sentiam mais confortáveis com a antiga pistola. Por isso, devido a sua alta popularidade não somente em solo americano, mas no resto do mundo, várias companhias dispõem de sua versão da pistola 1911 para venda, pois mesmo sendo uma projeto antigo, ainda é um modelo bastante popular, robusto e confiável [3]. A Fig.2 apresenta dois modelos de um mesmo projeto dado por companhias diferentes. É possível observar algumas diferenças entre as armas, como diferenças no acabamento superficial, alívio de massa no gatilho. Entre outras diferenças disponíveis nas fichas técnicas é possível citar a capacidade do carregador, a trava manual ambidestra. Embora seja o mesmo modelo, há diferenças intrínsecas no que concerne como cada empresa produz seu produto: método de fabricação, tolerâncias, desenho das peças. Logo os produtos são essencialmente diferentes devido à forma como são fabricados.



Figura 2 – Exemplos de 1911 do mercado (a) Pistola 1911 IMBEL ®(b) Pistola 1911 Taurus Armas ®

O surgimento de novos métodos de fabricação, implica que as empresas possuem um leque de opções de desenvolvimento maior para seus produtos. Uma das tecnologias que está em ascensão na indústria é a manufatura aditiva (MA), ou *additive manufacturing* (AM) em inglês. Tal técnica permite a fabricação a partir de um modelo em CAD 3D, *computer aided drawing* em inglês, de uma forma mais direta, sem a necessidade de planejamento aprimorado. Isto é, outros métodos de fabricação exigem uma análise detalhada da geometria a ser fabricada, determinação de qual ferramenta utilizar e qual o posicionamento de fixação a peça a ser fabricada, enquanto que MA exige conhecimentos básicos do dimensional da peça e de como funciona o processo de manufatura aditiva [4].

Na indústria aeronáutica, por exemplo, conseguiu-se aproveitar os benefícios da

tecnologia. A MA permitiu a fabricação com redução significativa do número de peças em vários componentes. O motor a jato da General Electric, por exemplo, foi reduzido de 855 para 12 peças, devido a tecnologia de manufatura aditiva [5].

É vantajoso o uso da manufatura aditiva, pois permite:

- Redução do número de peças;
- Possibilidade de fabricar peças complexas;
- Rápida prototipagem de modelos;
- Redução do número de processos e recursos;
- Tempo de preparo reduzido em relação a métodos convencionais;

Deve se atentar que cada benefício supracitado pode incidir em mais vantagens. A redução do número de peças traz simplicidade logística dentro da empresa. Além do mais, são menos peças para garantir a reposição na hora da manutenção. A rápida prototipagem permite realizar diferentes configurações e testar mais rapidamente, diminuindo o tempo de projeto de um produto. A simplicidade em relação a número de processos diminui a probabilidade de ocorrência de falhas, isso porque o uso de máquinas diminui a intervenção humana no processo.

2 PRINCÍPIOS GERAIS

As informações foram agrupadas em: armamento, manufatura aditiva e a parte sobre análise de estruturas, que utiliza o método dos elementos finitos para simular o comportamento dos componentes.

2.1 Armamento

A presente seção visa introduzir os conceitos dos princípios de funcionamento de armamentos, com foco na arma que será utilizada como estudo de caso: a pistola M1911.

2.1.1 Princípio de Funcionamento

Armas que operam no sistema de recuo do cano baseiam-se no princípio de recuo gerado pelos gases. O ferrolho, trancado durante o tiro, é solto após a pressão na câmara chegar a níveis seguros. Nesse sistema, ferrolho e câmara recuam juntos durante uma certa distância, quando enfim o cano para, porém o ferrolho continua recuando para abrir mais espaço entre o ferrolho e o cano para que ocorra a extração e ejeção do estajo. A Fig.3 apresenta esses passos do ciclo de funcionamento do mecanismo. Na volta, o ferrolho introduz uma nova munição na câmara e arrasta o cano junto para posição inicial se preparando para um novo tiro [6] [7].

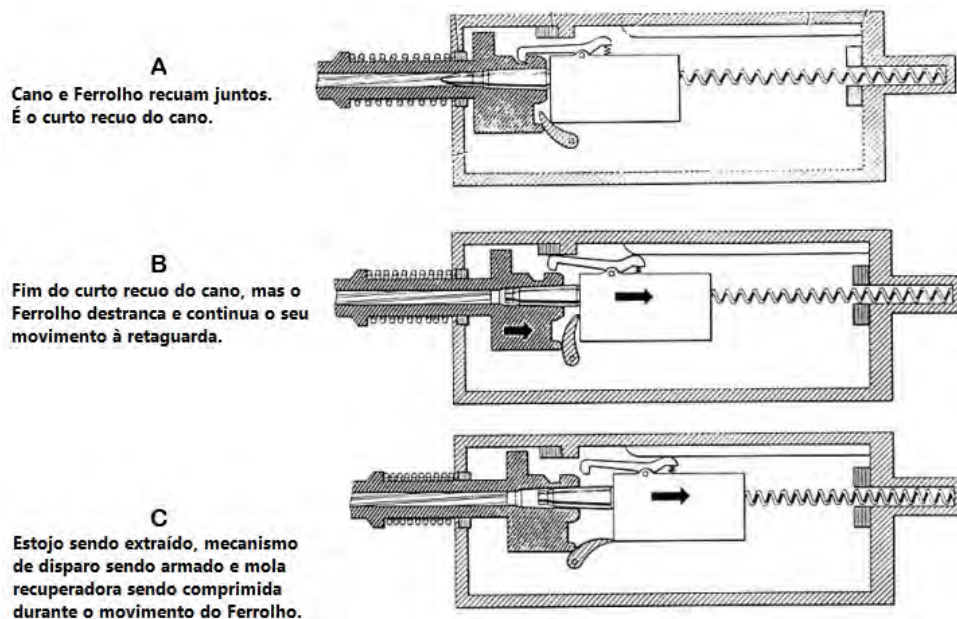


Figura 3 – Esquemático do recuo para uma arma com base no recuo do cano

2.1.2 Mecanismo de Disparo

Quanto ao mecanismo de disparo as armas podem ser baseadas na ação de um cão, como ação simples, ação dupla, simples-dupla ação, que é uma mescla dos dois mecanismos. Além disso, há as baseadas em um pino *striker*, como o mecanismo *striker fire*, também conhecido como percussor lançado.

Com o mecanismo de simples ação, o ato de puxar o gatilho realiza apenas uma função: liberar o cão para ir à frente e realizar o disparo. Isso significa que, para cada tiro, o cão deve ser armado previamente, isto é, as molas do cão devem ser comprimidas para preparar para um novo disparo. Para o caso de pistolas semiautomáticas, o cão é armado no movimento à retaguarda durante o ciclo de operação da pistola, então para cada tiro subsequente ao primeiro não é necessário o operador armar o cão [8]. Esse tipo de mecanismo é bastante encontrado em revólveres, que possuem o cão externo.

Para o mecanismo dupla ação, quando o operador puxa o gatilho o mecanismo é capaz de armar o cão e liberá-lo durante o curso do gatilho à retaguarda. Por precisarem fazer um trabalho maior, é característico de armas de dupla-ação terem um gatilho mais duro que o de simples ação [8].

No mecanismo *striker fire*, não há a presença de um cão que aciona um percussor, ao invés disso, o percussor possui um mola própria para armar e liberá-lo. Esse conjunto da mola e do percussor é chamado *striker*. Com isso é possível elencar como vantagens ter menos partes na arma como um todo, menor custos, simplicidade na operação, mais leve e espaço reduzido [9].

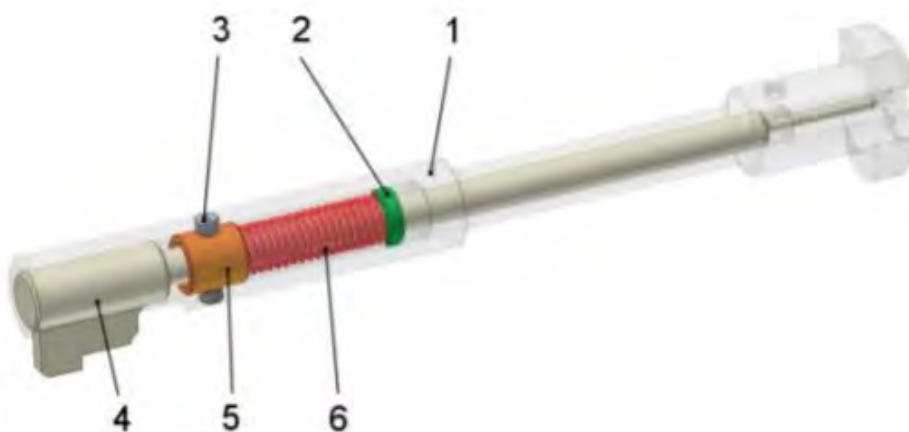


Figura 4 – Exemplo de um *Striker*: 1 Culatra, 2 Batente, 3 Parafuso, 4 Percussor, 5 Inseto, 6 Mola [10]

2.2 Manufatura Aditiva

A presente seção apresenta conceitos importantes para o entendimento do princípio de funcionamento do processo de MA. Em conjunto, será apresentado trabalhos relativos ao estado da arte da manufatura aditiva.

A MA produz uma peça em camadas, por isso, tendo o modelo em CAD, utiliza-se um outro *software* para fatiar o corpo em camadas, como mostra a Fig.5. Assim, a máquina faz adição de material uma camada por vez. Desta forma, quanto mais fino as camadas, mais próximo o produto fica do modelo original [4].

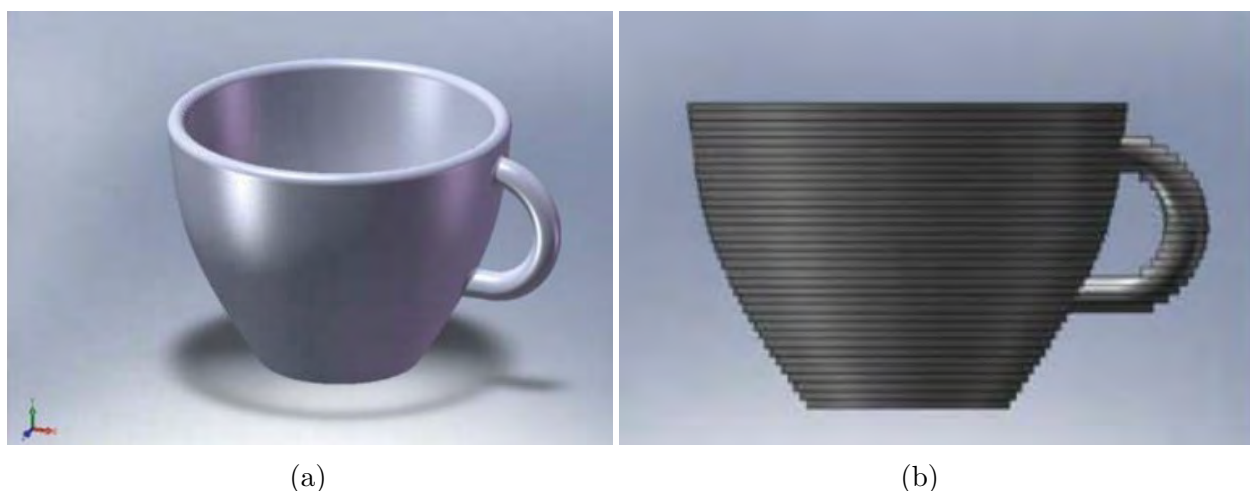


Figura 5 – Fatiamiento de uma xícara para produção por MA (a) Modelo digital de uma xícara feita em CAD (b) Xícara depois de fatiada [4]

Essa é a essência de toda máquina vendida atualmente que realiza manufatura aditiva. O que distingue os equipamentos atuais entre si é qual o tipo de material que elas usam, como as camadas são criadas e como aderem umas às outras. É difícil realizar uma classificação para as máquinas devido a inúmeras particularidades, mas a classificação mais usual dessas máquinas se restringe a como o material é processado. Dentro dessa classificação existe os sistemas a base de pó, a base de material fundido, a base de material laminado, a base de cuba líquida ou a base de material impresso. As impressoras são capazes de processar metal a base de pó, a base de material fundido e a base de material laminado [4].

No sistema a base de pó há um estoque de pó metálico que é depositado sobre uma estrutura e um feixe laser, que é responsável por fornecer energia suficiente para fundir ou sinterizar o material daquela camada. Após se terminar aquela camada, adiciona-se mais pó e realiza-se o processo novamente. Ademais, o laser é responsável por fazer o desenho da camada é dar o formato a peça [11]. Há dois tipos de máquinas que utilizam esse sistema: a máquina do tipo *powder bed* e a do tipo *powder feed*, ambas apresentadas na Fig.6.

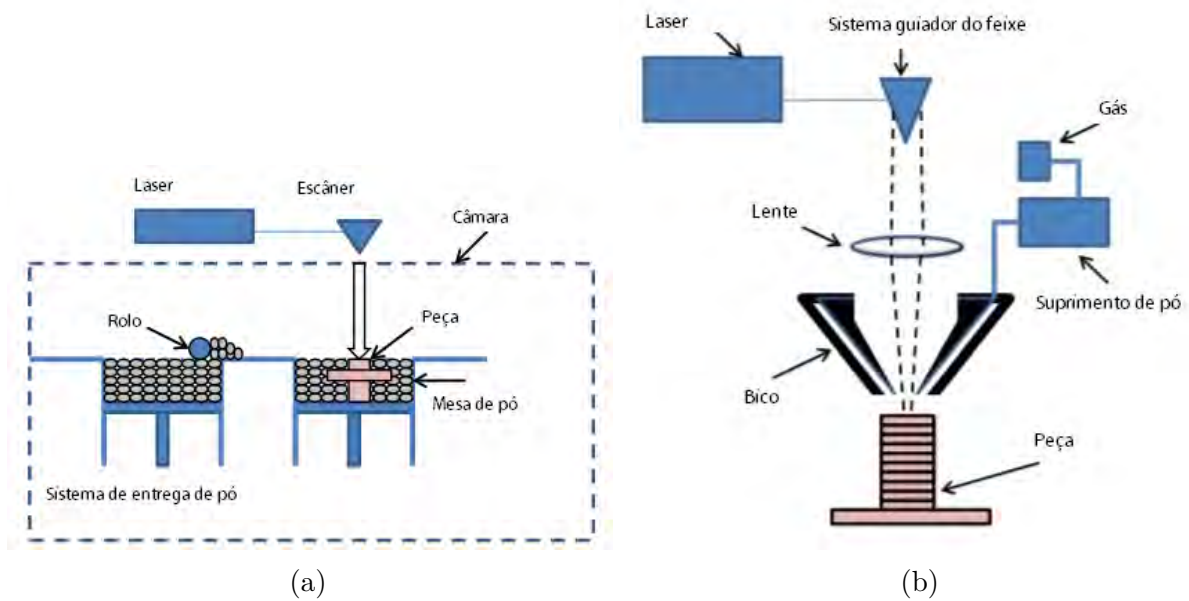


Figura 6 – Exemplos de máquinas a base de pó (a) *Powder bed* (b) *Powder feed* [11]

Já no sistema a base de material fundido, apresentado na Fig.7, o metal é aquecido antes de ser depositado por um bico extrusor sobre uma plataforma aquecida. O bico ou a plataforma se movem a fim de se fazer o desenho da camada desejada dando forma ao material.

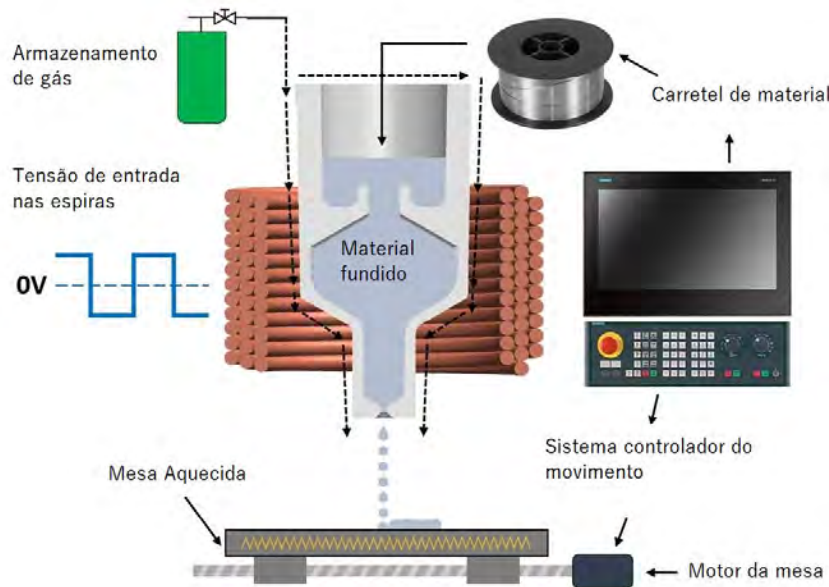


Figura 7 – Sistema à base de metal fundido

No detalhe apresentado na Fig.8, as camadas possuem direções de impressão. Isso pode vir a influenciar as propriedades mecânicas do produto final.

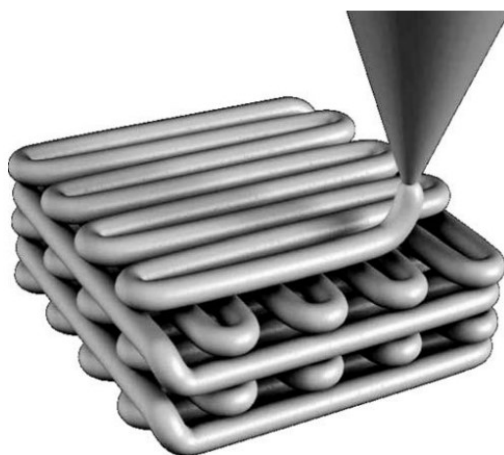


Figura 8 – Detalhe da direção de impressão [4]

O outro sistema, a base de material laminado, consiste na adição de camada a camada por meio de um material extremamente fino, que por fim é cortado no formato da camada a ser adicionada. A adesão entre camadas ocorre por meio de processos térmicos, como um rolo quente. A Fig.9 apresenta um esquemático do processo [4].

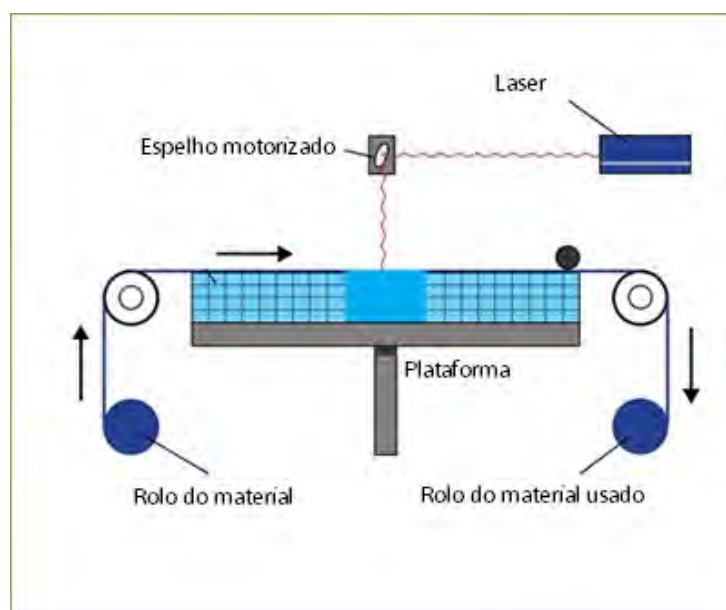


Figura 9 – Sistema à base de material laminado

Embora sejam máquinas baseadas em processos diferentes, o desenvolvimento de um produto segue sempre um mesmo passo a passo, apresentado na Fig.10. A ideia central se mantém em cada um dos sistemas: adição de material camada por camada e, por isso, a concepção e os benefícios em relação à manufatura convencional se mantêm.

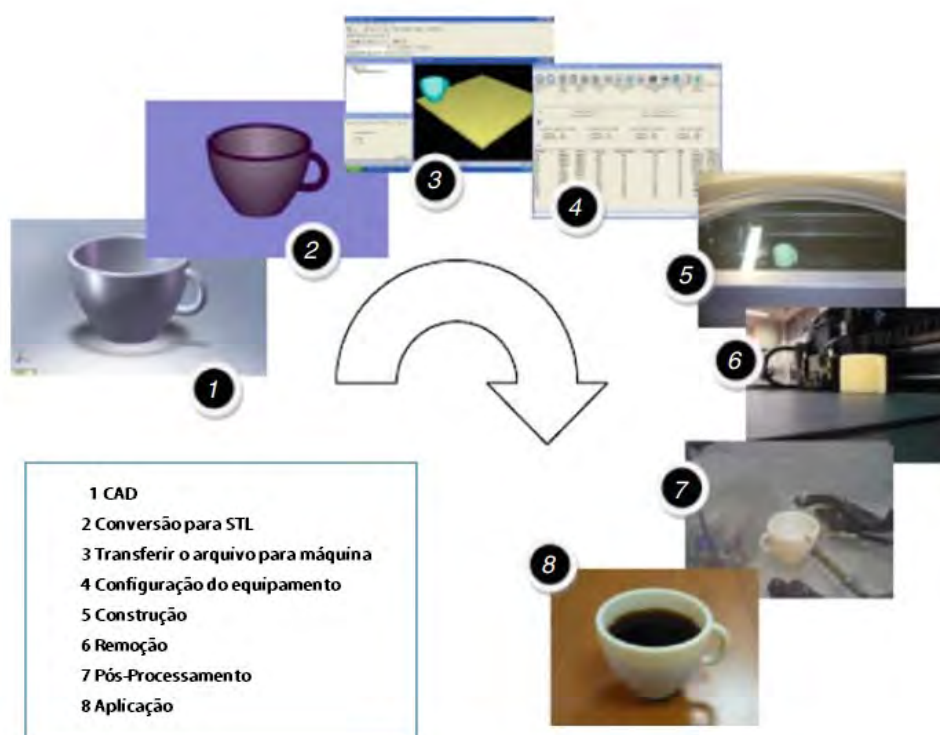


Figura 10 – Passo a passo na concepção de um produto a base de manufatura aditiva [4] [Adaptado]

Processos de manufatura convencionais impõem limitações geométricas às peças produzidas. Essas limitações resultam em estruturas "ineficientes" tendo em vista que muitas áreas da peça possuem excesso de material que não pode ser retirado fisicamente ou de maneira pouco onerosa.

Há formas de se obter o máximo proveito das vantagens da MA. Para isso os projetistas têm que se adaptar ao próprio processo de produção e não podem se manter aos procedimentos estabelecidos para o processo convencional. Por exemplo, limitações devido ao formato ou à capacidade da ferramenta não são aspectos limitantes do processo [12].

Metodologia de design axiomática é uma das metodologias utilizadas para conceber um produto com base em MA. Tal metodologia se baseia em mapear as necessidades do cliente, denominado requerimentos funcionais (RF), derivar parâmetros de projeto (DP) de tais requerimentos e, por fim, uma descrição das variáveis de processos. Salonitis [12] apresenta como usar esse método na concepção de um novo componente a ser fabricado com MA. A metodologia axiomática é validada em conjunto com uma otimização topológica da superfície da peça utilizada no estudo de caso e conclui-se que a abordagem descrita permite amplificar o aproveitamento sobre a capacidade do processo [12].

Outra forma de conceber um produto com base em MA é analisar a concepção sobre micro e macro planejamento. O microplanejamento é o foco no aspecto técnico da

concepção como verificação do modelo CAD, determinação da orientação de impressão, planejamento da necessidade de suportes para a produção e planejamento da necessidade de pós-tratamento. Já o macroplanejamento está bastante associado na parte de concepção do produto no qual se realiza uma análise de manufacturabilidade com base em requisitos de desenho e seleção de cenários de manufatura baseados em requisitos funcionais e de produção. Além disso, há critérios para avaliar quantitativamente e qualitativamente o projeto. Os indicadores são [13]:

- Indicador de Adaptação - Avalia a viabilidade de se utilizar a MA ao invés de processos convencionais;
- Indicador de Discriminação - Avalia a facilidade em se encontrar o melhor cenário de produção dentro de um leque de alternativas para um dado design;
- Indicador de Orientação - Avalia o efeito de algum detalhe da peça no momento de avaliar a orientação no momento do planejamento da MA;
- Indicador de Geometria - Avalia o uso das características da MA em um design.

Uma outra forma de otimização por MA é pelo método de consolidação de componentes. O método é definido como o processo de fabricação no qual múltiplos componentes discretos são desenhados e fabricados como uma única peça. Algumas características são essenciais para um bom uso do método. A priori, o material a ser utilizado deve ser viável para a montagem, ou seja, deve possuir resistência mecânica suficiente para todos os componentes da montagem; o desenho deve levar em consideração os vários domínios físicos; deve facilitar a fabricação e melhorar a performance; deve levar em consideração tempo de fabricação, custo e outros fatores a fim de se alcançar o ideal [14].

MA é um processo que produz a peça por camadas. Embora isso possa levar a uma redução do uso de material, em contrapartida, a resistência e a rigidez da peça podem ficar comprometidas. Como a MA deixa vazios nas camadas, isso pode levar a falhas de projeto ou aumento da resistência por distribuir melhor as tensões. Para tanto, depende do design e do pós-processamento da peça. Outro fenômeno que ocorre na produção por MA é a anisotropia. No processo de construção do modelo camada a camada, o espaço intra camadas é vazio e isso leva a uma resistência mecânica diferente nas direções transversais e longitudinais da peça [15].

Muitos parâmetros influenciam na resistência do produto final. Quantidade de preenchimento da camada, formato de cada camada interna, material e orientação da impressão são alguns dos parâmetros que conseguem aumentar ou diminuir a resistência da peça [15].

No âmbito da impressão de ligas metálicas, é possível realizar uma otimização dos parâmetros de impressão. Com um caminho de impressão bem projetado e um processo de pós tratamento térmico, é possível obter um material não só com uma estrutura uniforme, mas também com boas propriedades mecânicas, como mostra a Tab.1 [16].

Tabela 1 – Dados comparativos do ensaio de tração entre corpos de prova impressos em 3D e laminados a frio [16] [Adaptado]

Espessura (mm)	Tensão última (MPa)		Tensão de escoamento (MPa)		Elongação(%)	
	3D	Laminação	3D	Laminação	3D	Laminação
0,8	578,1	638,5	471,7	300,1	24,9	67
0,5	569,2	619,3	440,1	266,4	24,9	65,5
0,3	569,7	645,5	428,3	298,7	18,1	83,6

Comparando-se as propriedades dos corpos de prova feitos a partir do aço SAE 316L, observa-se que com a impressão, foi possível aumentar a tensão de escoamento do corpo de prova. Porém, como compensação, perdeu-se em termos de ductilidade e resistência da tensão última, comparando a peça impressa em metal e laminada a frio [16].

Além disso, na impressão de metal, um dos parâmetros para impressão é a direção de escaneamento do laser utilizado para fundir o metal. A Fig.11 apresenta as possibilidades de escaneamento na impressão com metal a laser e ela são de dois tipos: unidirecional e entrelaçada. A direção do carregamento também afeta a medição e pode ser paralelo ou perpendicular à direção de escaneamento. A Tab.2 mostra um comparativo das propriedade por meio do escaneamento unidirecional e entrelaçado, além disso, mostra o comportamento quando a força do ensaio de tração é perpendicular ou paralela a direção de impressão [17].

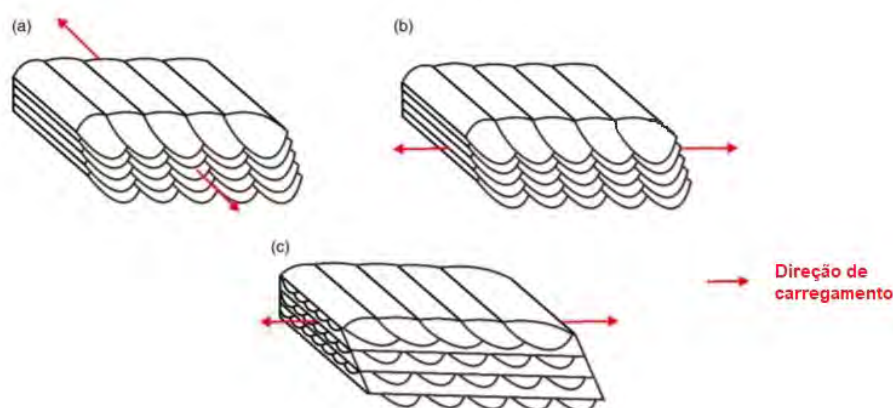


Figura 11 – Possibilidades de escaneamento na impressão e carregamento no ensaio de tração (a) unidirecional e paralelo (b) unidirecional e perpendicular (c) entrelaçado [17] [Adaptado]

Tabela 2 – Dados comparativos do ensaio de tração entre corpos de prova impresso em 3D em diversas orientações e tratamentos térmicos [17] [Adaptado]

Processamento	Tensão Última (MPa)	Elongação (%)
Unidirecional (Perpendicular)	812,4	14,7
Unidirecional (Paralelo)	900,6	9,3
Entrelaçado (Perpendicular)	956,3	18,9
Entrelaçado (Paralelo)	941,7	19,4
Unidirecional Tratado Termicamente (Perpendicular)	746,9	41,5
Unidirecional Tratado Termicamente (Paralelo)	753,8	31,7
Entrelaçado Tratado Termicamente (Perpendicular)	867,2	42,9
Entrelaçado Tratado Termicamente (Paralelo)	819,4	43,8
Forjado	526,4	43,2

Observa-se que o entrelaçado apresenta características muito semelhantes em ambas as direções. Isso se deve ao fato que metade das camadas estão em uma direção e a outra metade está na direção perpendicular, conferindo esse aspecto simétrico nas situações de carregamento especificadas. Por sua vez, o método entrelaçado também apresenta a maior tensão última, enquanto não perde muita a propriedade de alongação. Ao se tratar termicamente, em troca de aumentar o poder de alongação diminui-se a tensão última. Além disso, o carregamento na mesma direção de impressão aumenta a tensão última em relação a realizar o carregamento perpendicularmente a direção de impressão. Comparativamente os corpos de prova apresentaram tensão última superior ao corpo de prova forjado.

Atualmente, é possível realizar simulações que são capazes de prever os efeitos de produzir pela manufatura aditiva sobre as propriedades mecânicas finais da peça como um todo. Com a simulação pelo método de elementos finitos, é possível, dada uma orientação de impressão e de emprego, como mostrado na Fig.12, obter quantitativamente a performance como apresentado na Fig.13.

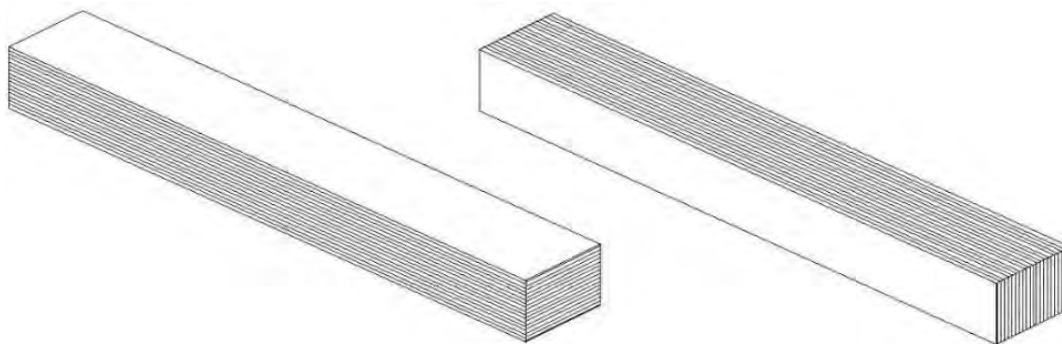


Figura 12 – Orientações na simulação da viga: *flat* e *on-edge* [18] [Adaptado]

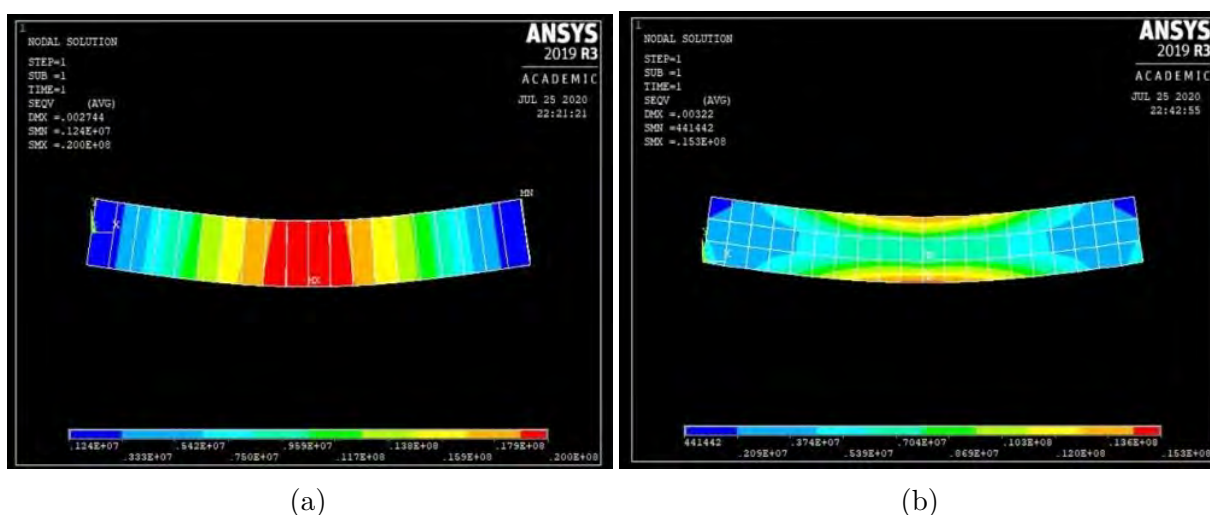


Figura 13 – Distribuição da tensão de Von-Mises com uma carga aplicada no ponto médio em vigas feitas por MA (a) *Flat* (b) *On-edge* [18]

Observa-se que a distribuição da tensão equivalente de Von-Mises ao longo das vigas são diferentes. Enquanto na configuração *flat* há uma concentração de tensão de cerca de 20 MPa na região central. Já na configuração *on-edge* a tensão máxima fica nas regiões superiores e inferiores da viga, e na ordem de 13,6 MPa. Desta forma, essa configuração exige menos da estrutura como um todo ainda que o material seja o mesmo nas duas configurações [18]. O uso de simulações permite prever o comportamento da plenitude da estrutura e escolher qual configuração é mais interessante para a aplicação desejada.

2.3 Método dos Elementos Finitos

A fim de se validar o sistema projetado, é comum utilizar-se a análise por meio do método de elementos finitos, MEF, ou *Finite Elements Method* em inglês, para avaliar a condição que o sistema está submetido, seja estática ou dinâmica. MEF é um tipo de método computadorizado para prever como um produto reage a forças, vibrações, calor,

escoamento e outros efeitos físicos. Tal análise mostra se o projeto se colapsará ou não, se sofrerá desgaste ou se funcionará da maneira a qual foi projetado [19].

MEF funciona particionando o objeto em um número alto de elementos com geometria elementar definida. O equacionamento matemático do problema ajuda a prever o comportamento de cada elemento como, por exemplo, o cubo ou tetraedro e soma cada resultado e tem o desempenho do objeto [19]. A Fig.14 abaixo detalha um tipo de elemento utilizado, que é o elemento tetraédrico. Além disso, é possível apresentar os resultados de maneira que aumente a sua compreensão.

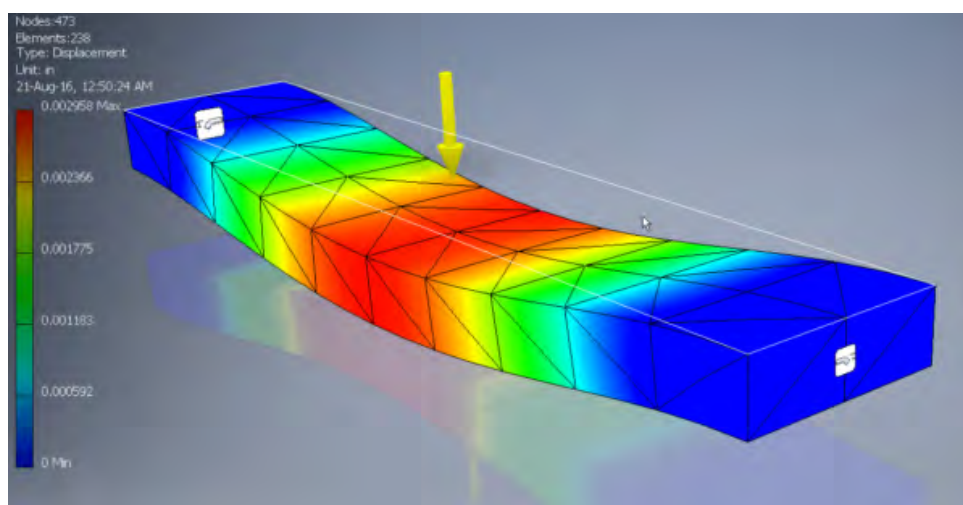


Figura 14 – Detalhe dos elementos em forma de tetraedro em uma viga

MEF pode ser utilizado em vários sistemas a fim de se prever:

- Concentração de tensões;
- Comportamento sob fadiga;
- Comportamento sob vibração;
- Transferência de calor;
- Movimento dos fluidos;

Sob essa perspectiva, tal análise se mostra importante para avaliar regiões críticas em componentes de armamentos a fim de se evitar falhas que possam comprometer o uso seguro do produto.

A Fig.15, mostra uma análise por MEF feita em um novo pino *striker* em desenvolvimento. A utilização da simulação durante a fase de projeto, aumentou a eficiência do trabalho, eliminando a necessidade de fazer um grande número testes com protótipos físicos na parte inicial do desenvolvimento [10].

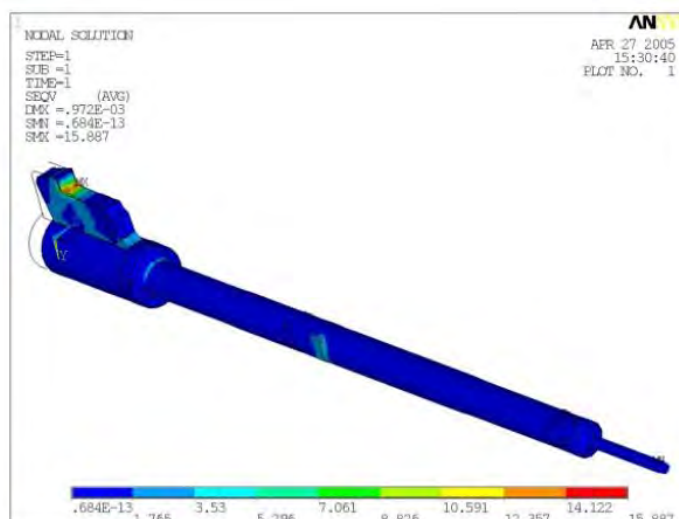


Figura 15 – Análise MEF da tensão de Von Mises no pino *striker* [10]

O resultado apresentado por meio de uma análise por MEF pode vir de diversas formas, seja em termos de fator de segurança, Fig.16a, das tensões de Von Mises, Fig.16b, ou da resistência à fadiga Fig.16c. As figuras permitem ver em azul regiões que são menos exigidas em termos de esforços. Isso poderia servir de fundamento para otimizar a peça e diminuir o superdimensionamento da peça, ou reforçar regiões críticas que aparecem devido à fadiga da peça.

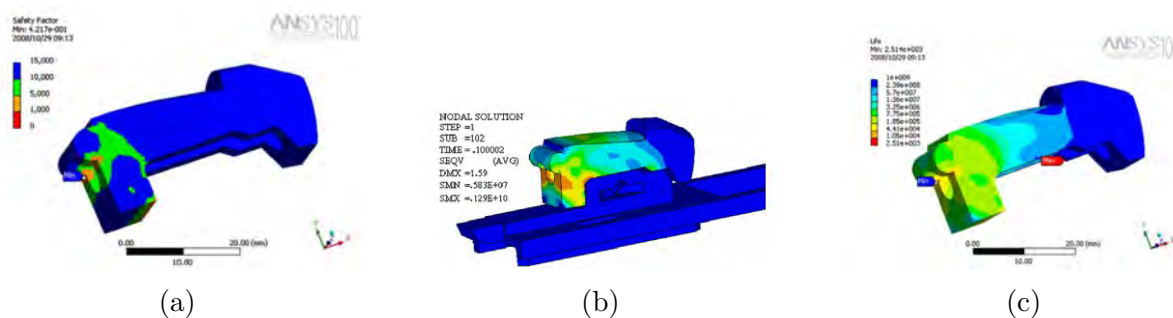


Figura 16 – Análise por MEF em um bloco de trancamento (a) do fator de segurança (b) das tensões (c) da fadiga [20]

A Fig.17 mostra uma análise das tensões principais feitas para a garra do extrator do fuzil M16. A análise foi feita devido a repetidas falhas que estavam ocorrendo na peça e foi necessário uma análise a fim de se identificar possíveis, tendo em vista a gravidade do problema. Como a análise analítica para o problema se mostra demasiadamente complexa, optou-se por fazer uma análise por MEF para verificar regiões que necessitavam de maior robustez. A análise permitiu identificar essas regiões críticas, que apresentam alta concentração de tensões e sugerir medidas corretivas para evitar acidentes [21].

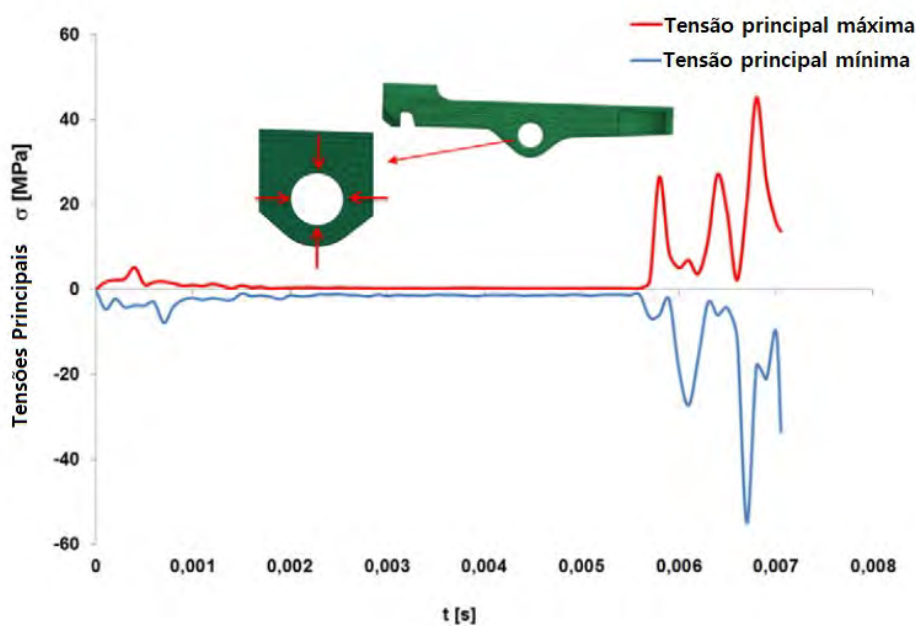


Figura 17 – Avaliação das tensões principais no extrator [21]

Alguns *softwares* já possuem uma ferramenta de otimização da peça para produção por MA integrada. O *software* Ansys, por exemplo, possui já integrado a ferramenta de *Design for Additive Manufacturing*. Com isso é possível otimizar a estrutura da peça a fim de aproveitar os benefícios da MA. A Fig.18 apresenta um projeto de otimização realizado para uma peça de um carro de corrida. A nova alavanca foi projetada para que fosse mais leve, mas ainda conseguisse suportar os esforços exigidos durante a direção. Com um desenho otimizado e utilizando-se ferramentas corretas, é possível economizar tempo e recursos na prototipagem e produção do produto e se torna uma alternativa mais interessante do que por tentativa e erro [22].

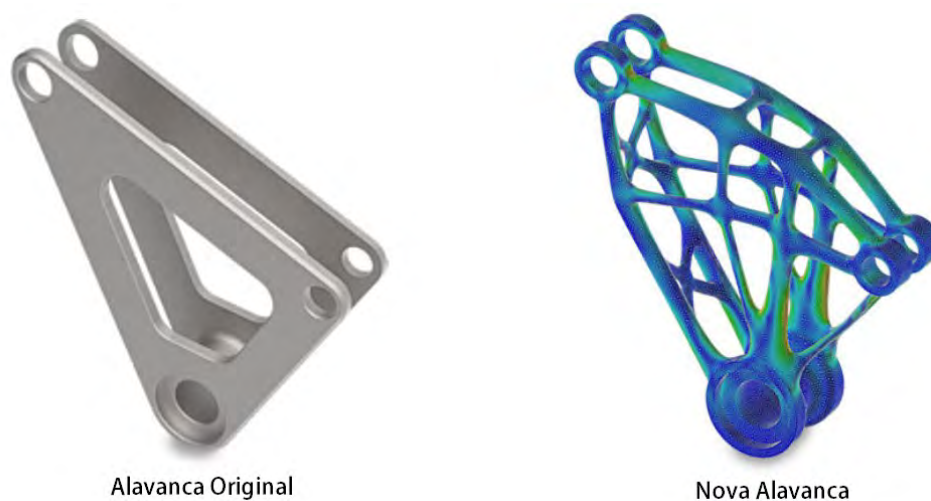


Figura 18 – Otimização estrutural de uma alavanca utilizada no projeto [22]

3 PLANEJAMENTO DO TRABALHO

3.1 Objetivo

O presente trabalho busca associar o uso da manufatura aditiva ao desenho de mecanismos complexos a fim de simplificar sua fabricação e reduzir o número de peças do conjunto mecânico. Neste sentido, tomando-se como modelo de estudo o mecanismo de disparo da pistola M1911, propõe-se projetar um mecanismo substituto, mais simples, mas com a mesma funcionalidade, com design concebido vinculado à fabricação por adição de massa. De posse dos modelos virtuais dos mecanismo se realizará um estudo comparativo das resistências mecânicas com o intuito de indicar possível viabilidade técnica do projeto. Desta forma foi feita uma revisão bibliográfica acerca de manufatura aditiva, modelagem e simulações com MA e design de componentes de armamentos.

3.2 Organização do Trabalho

A fim de se cumprir com os objetivos supracitados, elaborou-se uma estrutura analítica do projeto, apresentado na Fig. 19, a ser desenvolvido em conjunto com um cronograma. O intuito é permitir um melhor acompanhamento das fases do projeto.

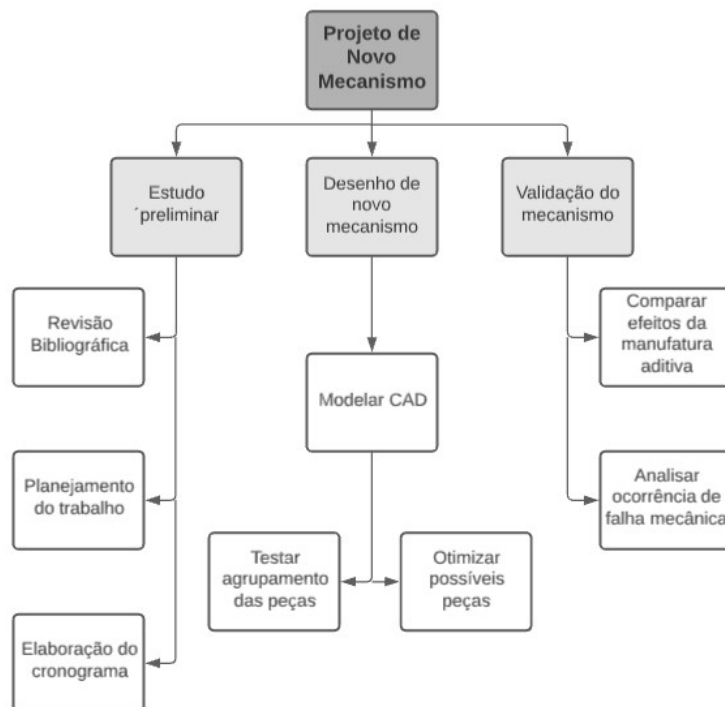


Figura 19 – EAP do projeto

4 PROJETO PRELIMINAR

Como descrito, focou-se no desenvolvimento de um novo mecanismo de disparo substituto para o já existente da pistola M1911. Em relação a um mecanismo de disparo, tomou-se como base que: mecanismo de disparo é o qual, ao ser acionado por um gatilho permite o movimento de um cursor com energia necessária para acionar inicialmente a espoleta.

A Fig.20 abaixo apresenta os componentes internos da pistola analisada, enquanto que a Fig.21 apresenta um foco nos componentes essenciais para que o mecanismo de disparo funcione.



Figura 20 – Vista em corte da parte interna



Figura 21 – Componentes do mecanismo de disparo: 1- Gatilho 2- Noz de armar e alavanca de disparo 3- Cão 4- Alavanca de armar 5- Apoio superior 6- Mola 7- Apoio inferior

Tais componentes são:

1. Gatilho - é onde o atirador atua para que o tiro ocorra
2. Noz de armar e alavanca de disparo - transmite o movimento do gatilho, liberando o movimento do cão;
3. Cão - atinge o pino percussor para ocorrer a deflagração do propelente;
4. Alavanca de armar o cão - conecta a mola com o cão;
5. Apoio superior da mola do cão - serve de guia para a mola;
6. Mola do cão - fornece a energia necessária ao cão; e,
7. Apoio inferior da mola do cão - serve de guia para a mola;

Seguindo a ideia apresentada de consolidação de componentes, buscou-se integrar componentes tendo em vista os requisitos do sistema como um todo. Primeiramente, avalia-se a integração das funções e, em seguida segue-se para otimização da estrutura com cálculos preliminares e por fim avalia-se a possibilidade do prosseguimento da solução, caso positivo, tem-se uma solução para o problema, mas caso contrário, o ciclo é refeito. Tal fluxo de trabalho está descrito na Fig. 22.



Figura 22 – Fluxograma da consolidação de componentes

Com base nisso, idealizou-se o cão em conjunto com a mola, aproveitando-se das características elásticas dos materiais e eliminando-se assim a necessidade dos apoios e da alavanca. Um ponto para idealização do novo mecanismo é que focou-se em manter o mesmo tipo de sistema de disparo, no caso para a pistola de 1911, é o mecanismo de ação simples. Embora o sistema com percussor lançado atendesse aos objetivos de um mecanismo de disparo funcional alternativo, ele pode facilmente ser feito com manufatura convencional, por isso essa solução foi descartada.

Foi feito um desenho esquemático da proposta, apresentado na Fig. 23.

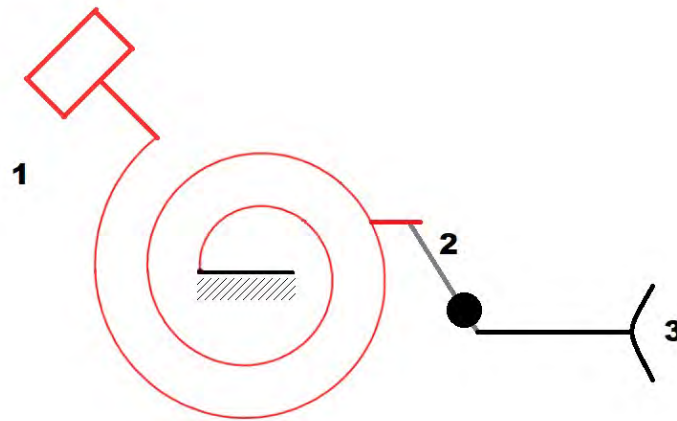


Figura 23 – Esquemático do desenho: 1 Componente Cão-Mola 2 Noz de armar e Alavanca de disparo 3 Gatilho

O componente 1 seria feito de um único material, uma parte seria idealizada de forma que fosse mais flexível, para que atuasse como mola, e outra com mais massa, para que atuasse como cão.

4.1 Seleção de Material

O material selecionado foi a liga Ti-6Al-4V para compor todo o componente. Ele já é utilizado em armamentos como nos pinos de disparos das Brownell Industries. Entre suas vantagens pode-se elencar sua alta resistência mecânica e baixa densidade além de excelentes propriedades contra corrosão inerente de ligas de titânio. Ademais, por ser uma liga majoritariamente a base de titânio, já possui uso consagrado em indústrias automotivas e aeroespaciais [23]. Sua composição e propriedades mecânicas são apresentadas nas Tabelas 3 e 4:

Tabela 3 – Composição química do material

Composição Química	C	Al	V	Fe	O	N	H	Ti
Fração mássica (%)	0,03	6	4	0,1	0,15	0,01	0,003	Restante

Tabela 4 – Propriedades mecânicas do Ti-6Al-4V

Módulo de elasticidade 120 GPa	Coefficiente de Poisson 0,342	Tensão Última 1197 MPa	Tensão de escoamento 1098 MPa
Dureza Rockwell 33 HRC	Massa Específica 4410 Kg/m^3	Coeficiente de expansão térmica 8,6.10 ⁻⁰⁶ K^{-1}	

Sua curva de tensão deformação para diferentes temperaturas é apresentada na Fig.24

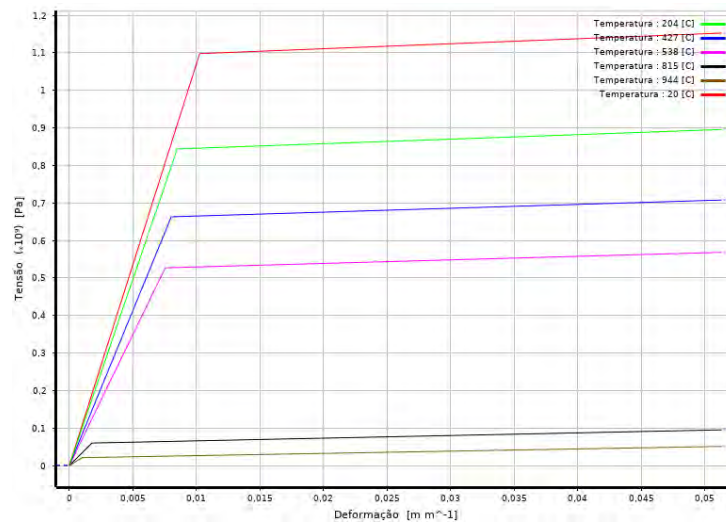


Figura 24 – Curva Tensão Deformação do Material (Liga Ti-6Al-4V)

O gráfico mostra a relação entre a curva tensão deformação e a temperatura do material. Observa-se que o material diminui sua resiliência a medida que a temperatura de operação aumenta. Aumentar cerca de 180°C faz com que a tensão de escoamento caia da ordem de 1100 MPa para 850 MPa. Entretanto, como as trocas de calor numa arma são consideravelmente rápidas, considera-se que não há aumento de temperatura significativo para influenciar nas propriedades do material de forma que comprometa seu funcionamento.

As propriedades supracitadas devem ser o suficiente para garantir que o material atue como mola. Observando a Tabela 5, é possível comparar a liga de titânio com alguns materiais de mola presente no mercado.

Tabela 5 – Propriedades de alguns materiais de mola [24]

Material	Limite elástico, porcentagem de S_{ut}		Diâmetro d , mm	E GPa	G GPa
	torção	tração			
Fio musical A228	65-75	45-60	<0,8	203,4	82,7
			0,8-1,6	200	81,7
			1,61-3	196,5	81,0
			>3	193	80,0
Mola de fio duro estirado A227	60-70	45-55	<8	198,6	80,7
			0,8-1,6	197,9	80,0
			1,61-3	197,2	79,3
			>3	196,5	78,6
Revenido em óleo A239	85-90	45-50		196,5	77,2
Mola de válvula A230	85-90	50-60		203,4	77,2
Cromo-vanádio A231	88-93	65-75		203,4	77,2
			A232	88-93	203,4
Cromo-silício A401	85-93	65-75		203,4	77,2
Aço inoxidável					
A313*	65-75	45-55		193	69,0
17-7PH	75-80	55-60		208,4	75,8
414	65-70	42-55		200	77,2
420	65-75	45-55		200	77,2
431	72-76	50-55		206	79,3
Fósforo-bronze B159	75-80	45-50		103,4	41,4
Berílio-cobre B197	70	50		117,2	44,8
	75	50-55		131	50,3
Liga inconel X-750	65-70	40-45		213,7	77,2

*Também inclui 302, 304 e 316.

Dividindo os valores na Tab.4, observa-se que a liga de titânio possui o limite elástico em porcentagem de S_{ut} da ordem de 92%, assim como as ligas de Cromo. Já quanto ao módulo de elasticidade, o valor de $120GPa$ está bem próximo da liga de Berílio-Cobre e de Fósforo-Bronze. Além disso, foi averiguado a existência de molas dessa liga de titânio em alguns catálogos existentes [25, 26]. De trabalhos acadêmicos, utilizou-se a seguinte fórmula para montar a curva S-N do material[27]:

$$\sigma(N) = [1700(N - 4900)^{-0.2} + 440] MPa \quad (4.1)$$

Com isso foi possível elaborar o gráfico da Fig.25 para ser utilizado nas simulações de fadiga futuras. Analisando o gráfico, portanto, é possível inferir que o material tem uma ótima resistência a fadiga, já que tensão para que o material perdure por 10^6 ciclos é cerca de 500 MPa, bem acima de vários outros material usualmente utilizados.

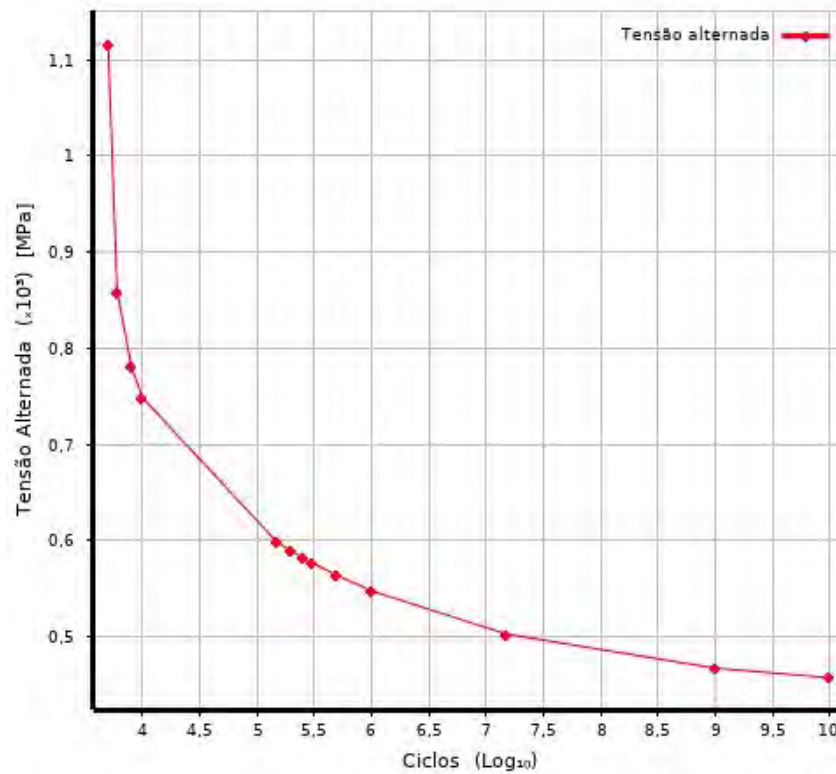


Figura 25 – Curva S-N para o material Ti-6Al-4V

4.2 Requisitos iniciais

Com o material selecionado, antes de conceber o design da peça, deve-se averiguar quais são os requisitos mínimos que o sistema deve atender. A fim que o mecanismo se mantenha funcional, é preciso que a energia potencial do sistema do martelo seja no mínimo a mesma. Do Anexo B, tem-se a posição da mola em duas posições. Da integral do gráfico da Fig. 26 é possível encontrar a energia que o sistema do cão deve armazenar no mínimo para que o percussor ainda consiga deflagrar a cápsula de deflagração.

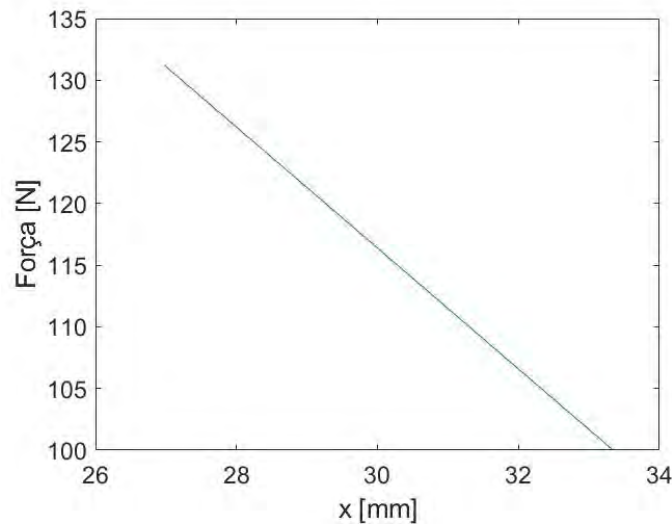


Figura 26 – Força na mola do cão

Do gráfico tem-se, aproximadamente:

$$E_p = 0,727J \quad (4.2)$$

Desta forma a energia armazenada na mola que atua sobre o cão deve armazenar energia igual ou maior do que o calculado. De posse do requisito operacional mínimo para o componente é possível seguir para os cálculos preliminares.

4.3 Memória de Cálculo

Antes de realizar o dimensionamento do sistema necessário, será apresentado o equacionamento utilizado para o cálculo preliminar. Em seguida é apresentado como foi feito tal dimensionamento para enfim conceber o modelo CAD do novo mecanismo.

4.3.1 Teoria acerca de molas espirais

Molas são corpos que apresentam certo grau de flexibilidade imaginado pelo projetista. Tal flexibilidade permite distorção temporária e restauração imediata ao estado original [24]. Em molas em que a relação é angular, o torque pode ser expresso genericamente como apresentado na Fig. 27.

Desta forma, o coeficiente de constante elástica da mola pode ser descrito como:

$$k(\theta) = \lim_{\Delta\theta \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta\theta} = \frac{dT}{d\theta} \quad (4.3)$$

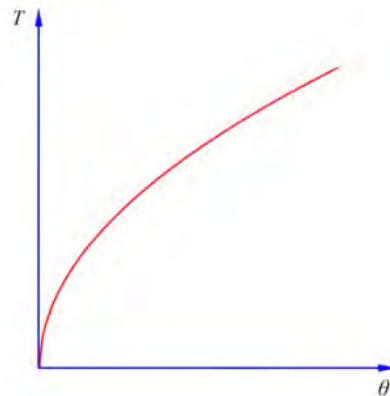


Figura 27 – Força em uma mola de torção genérica [28]

Caso k seja constante, a mola é denominada linear, caso contrário é não linear. A mola proposta é do tipo espiral plana, apresentado na Fig.28, considerada uma mola especial. Neste caso a constante elástica é dada como na Eq.4.4 [28]:

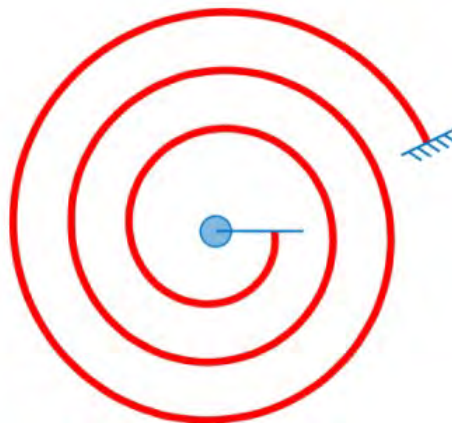


Figura 28 – Exemplo de uma mola espiral plana [28]

$$k = \frac{\pi b t^3 E}{6L} \quad N.m/rev \quad (4.4)$$

Em que b é a largura da mola fora do plano da mola, t é a espessura no plano da mola, E é o módulo de elasticidade do material e L o comprimento efetivo. Para um k aproximadamente constante, a energia potencial pode ser calculada como:

$$E_p = \int_a^b T d\theta \quad (4.5)$$

Logo:

$$E_p = \frac{b t^3 E}{24L} \theta^2 \quad J \quad (4.6)$$

Para calcular o comprimento da mola pode se utilizar a fórmula para calcular o comprimento das curvas nas coordenadas polares. Se a distância do centro até a curva for:

$$R = f(\theta) \quad (4.7)$$

Então:

$$L = \int_a^b \sqrt{[f(\theta)]^2 + [f'(\theta)]^2} d\theta \quad (4.8)$$

4.3.2 Dimensionamento preliminar

Para o dimensionamento da parte flexível, selecionou-se inicialmente uma espiral de Arquimedes como base. Desta forma, a distância até o centro é descrito como:

$$R = c_1 + c_2\theta \quad (4.9)$$

Sendo que c_1 e c_2 são parâmetros constantes. A vantagem desse tipo de curva é que a distância entre duas voltas consecutivas é sempre constante e igual a $2\pi c_2$. Sendo assim, garantir um vão entre duas voltas consecutivas da mola pode ser resumido na inequação matemática:

$$2\pi c_2 > t \quad (4.10)$$

em que t é a espessura no plano da mola em seu plano. Essa é a condição mínima para existência da mola, mas para que a mola funcione corretamente é preciso que haja um vão entre as sucessivas voltas. Além disso, por capacidade de resolução das máquinas de impressão, existe uma distância de resolução mínima, por volta de 0,4 mm [29].

Desta forma, para dimensionar a mola é necessário saber: a espessura da mola em seu plano t , a espessura perpendicular ao plano b , as constantes da espiral c_1 e c_2 .

Foram utilizadas dimensões bases já existentes no Anexo B do cão como base para o dimensionamento da nova peça. Como dados conhecidos considerou-se o exposto na Tab.6:

Tabela 6 – Dados Iniciais

Módulo de elasticidade	Ângulo de torção máximo
120 GPa	60°
Tensão de escoamento	Energia potencial mínima
950 MPa	0,73 J
Ângulo máximo de projeto da mola	c_1
$4\pi + \pi/3 \text{ rad}$	4,2 mm

Como premissas para o projeto foi considerado:

1. A energia potencial da mola tem que ser maior que o mínimo necessário;
2. A próxima volta em espiral da mola deverá ser menor que a espessura adicionada do vão;
3. Dimensões semelhantes do cão já existentes;

Caso o item 1 não fosse atendido, a energia transferida ao cursor poderia não ser suficiente para fazer com que a espoleta da munição deflagrasse, fazendo com que o tiro não ocorresse.

Com relação ao item 3 atestou-se, com base no desenho técnico do cão o conjunto de valores para os seguintes parâmetros:

$$7,5mm < b < 8.5mm \quad (4.11)$$

$$0,8mm < t < 2,2mm \quad (4.12)$$

Além disso, o ideal seria que o envelope que engloba toda a espiral estivesse dentro de uma circunferência de 9mm de raio, para que as dimensões fossem parecidas com o cão já existente. Caso o componente fosse muito maior que isso, poderia acontecer do componente não se encaixar na arma, e estaria impossibilitado do uso.

Condensou-se tais requisitos em uma função objetivo, de forma a avaliar as possíveis soluções do domínio e encontrar o melhor conjunto de parâmetros que minimizem tal função. Ou seja:

$$f : D \rightarrow \mathbb{R}$$

$$\exists x_0 \in D \mid f(x_0) \leq f(x) \quad \forall x \quad (4.13)$$

Tal função objetivo foi formulado então da seguinte forma:

$$f(x) = \sum_{i=1}^3 custos_i \quad (4.14)$$

Sendo que o vetor x são dos parâmetros de projeto da mola apresentado a seguir. Algumas das variáveis utilizadas são ilustradas na Fig.29, sendo que a variável b é a espessura da mola na direção perpendicular ao plano da mola.

$$x = [c_2 \quad b \quad t \quad d_{vao}] \quad (4.15)$$

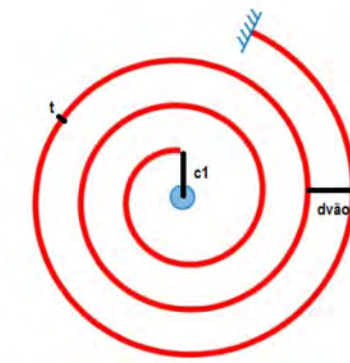


Figura 29 – Variáveis da mola plana

Para o $custo_1$ estabeleceu-se que:

$$custo_1 = \begin{cases} C_{penalidade}, & \text{se } 2c_2\pi - t - d_{vão} < 0. \\ -d_{vão}, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (4.16)$$

em que $C_{penalidade}$ é a constante de penalidade caso o critério não seja satisfeito. Observa-se que dessa forma, a melhor condição seria quando o vão entre espiras consecutivas fosse o maior possível.

Para o $custo_2$ estabeleceu-se que:

$$custo_2 = \begin{cases} c_2(4\pi + \pi/3) + c_1 + t - 9, & \text{se } c_2(4\pi + \pi/3) + c_1 + t - 9 > 0. \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (4.17)$$

Sendo assim, caso a espiral saia do envelope de $9mm$ uma penalidade é aplicada. Caso esteja dentro, não há supremacia entre as soluções neste critério.

Para o $custo_3$ estabeleceu-se que:

$$custo_3 = \begin{cases} C_{penalidade}, & \text{se } -E_{min} + \frac{Ebt^3\theta^2}{24L} < 0. \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (4.18)$$

Desse jeito, caso a energia potencial para a condição não seja maior que a mínima, constante de penalidade é aplicada.

Por consequência, da forma como a função foi proposta, os custos 1 e 3 possuem a mesma importância, pois rejeitam a solução imediatamente, por não satisfazerem a possibilidade de existência física e por não garantir o funcionamento do mecanismo apropriadamente. Além disso, a melhor mola espiral seria a que garantisse o maior vão entre as espiras e que não ultrapasse muito o envelope proposto.

O domínio da espessura no plano, da perpendicular ao plano já está apresentado pelas Eq. 4.11 e 4.12. Para as outras variáveis, estimou-se que elas deveriam estar dentro dos seguintes intervalos:

$$0.2mm/rad < c_2 < 0.9mm/rad \quad (4.19)$$

$$0,4mm < d_{vao} < 2mm \quad (4.20)$$

Estruturou-se então um código em Matlab[®], que realiza a otimização dos parâmetros a partir de um algoritmo genético do próprio ambiente de programação. Assim, foi possível obter um vetor x_0 que minimiza-se a função objetivo da Eq. 4.14 dentro do domínio proposto. A solução é apresentada na Tabela 7:

Tabela 7 – Conjunto solução ótimo

c_2	b	t	d_{vao}
0,4673 mm/rad	8,5mm	1,9mm	1mm

A energia obtida Ep foi de 0,73J e a distância fora do envelope foi de 3,42mm, mas considerou-se um valor aceitável.

De posse de todos esses parâmetros, foi possível conceber um modelo preliminar do mecanismo proposto. Conforme apresentado na Fig.30

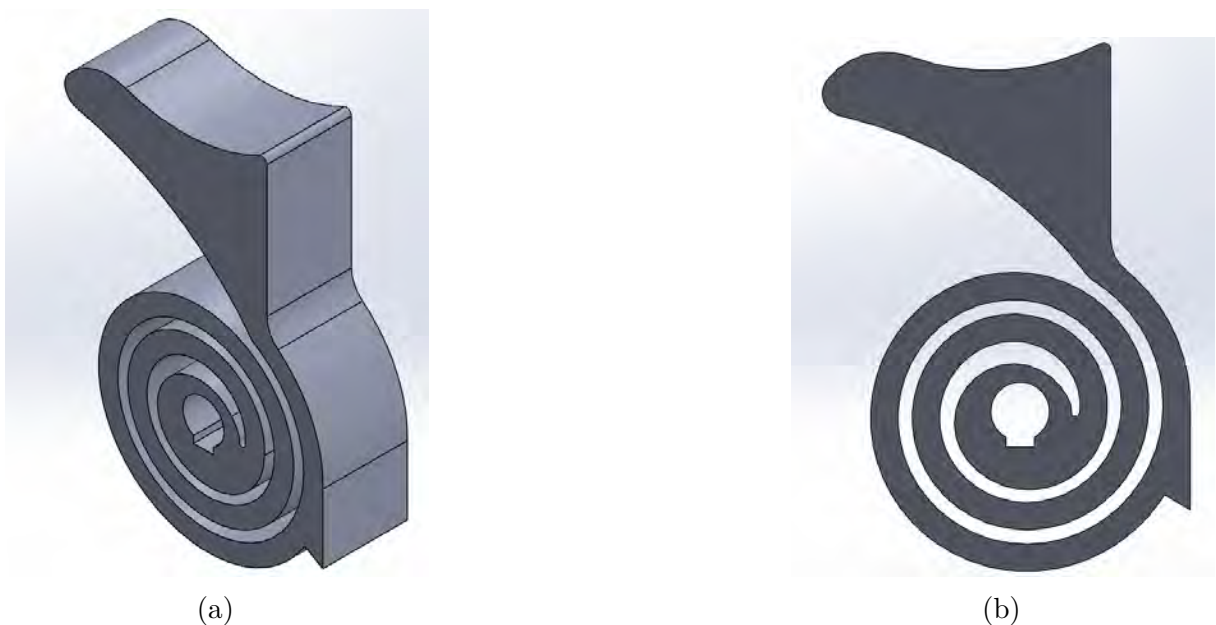


Figura 30 – Desenho CAD do novo mecanismo proposto (a) - Vista isométrica (b) Vista frontal

A parte da mola foi feita de acordo com os cálculos efetuados enquanto que a parte do cão foi baseada nos desenhos técnicos presentes no Anexo B. Adaptações tiveram que ser feitas como o rasgo de chaveta, para que o componente fique consistentemente atrelado sobre um eixo. Além disso, o ressalto serve para a atuação da noz de armar sobre o componente.

5 SIMULAÇÕES

A fim de se realizar as simulações, como simplificação, considerou-se apenas a região que é tratada como mola, que é a região mais crítica do componente tendo em vista as tensões devido à deformação dessa parte. O fluxo do projeto foi estabelecido como segue na Fig. 31. Esta seção apresenta como cada configuração foi realizada e, em seguida, os resultados obtidos.

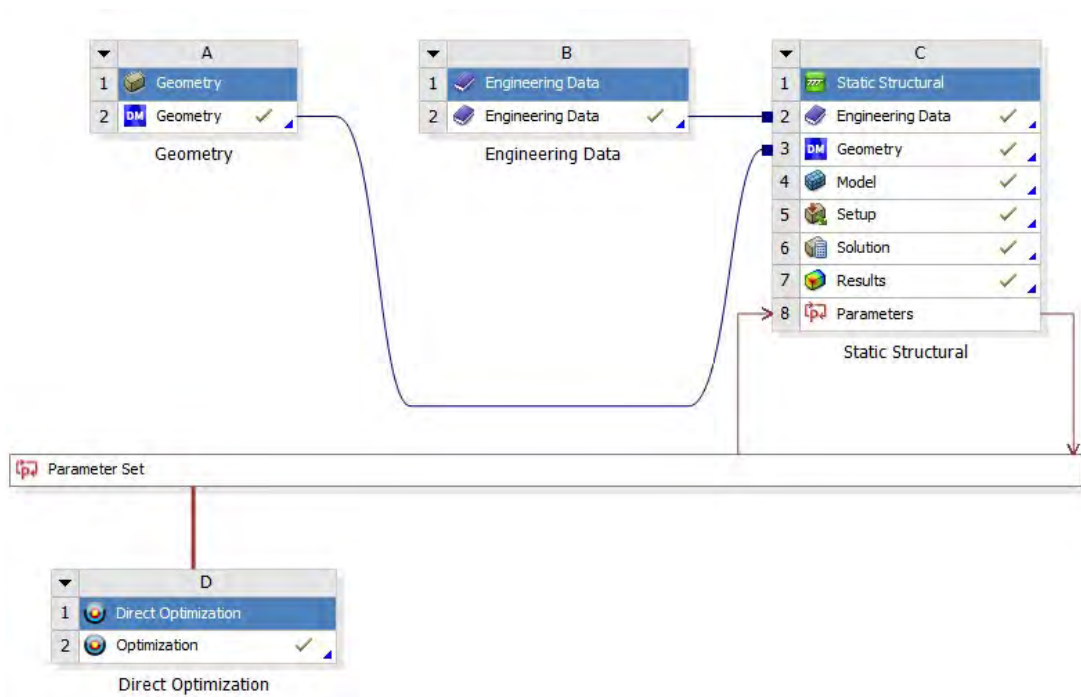


Figura 31 – Malha utilizada

Primeiro estabeleceu-se o material selecionado, alterando-se as propriedades caso fosse feito por MA e depois definiu-se a geometria. Em seguida modelou-se a situação problema com o *Static Structural*, definindo-se a malha e as condições de contorno. Além disso, definiu-se os parâmetros que serviriam para uma otimização, caso o ângulo definido na Tab. 6 estivesse sobredimensionado.

5.1 Material

Para comparar os efeitos da MA sobre as características mecânicas é necessário modelar os parâmetros que são influenciados pela diferença de fabricação. Para o componente feito de forma maciça do mesmo material, utilizou-se das próprias informações provenientes da base de dados de materiais do ANSYS. Desta forma:

Tabela 8 – Características do material maciço isotrópico

E	σ_{esc}
120 GPa	1098 MPa

A fim de simular o material com as características da MA, precisou-se alterar algumas para que se conseguisse reproduzir o comportamento diferente quando impresso. No que concerne ao módulo de Young, constatou-se que o uso de tecnologia SLM, *Selective Laser Melting*, com deposição de material de forma entrelaçada, como na Fig.11, permite que o módulo de Young se mantenha constante ao longo das direções X, Y e Z [30]. Com isso:

$$E_x = E_y = E_z = 120GPa \quad (5.1)$$

Entretanto o limite de escoamento não se mantém constante ao longo das direções. É importante analisar tal característica para garantir que o componente esteja sempre atuando no limite elástico do material, e assim não deformar plasticamente. Dessa forma adotou-se [31]:

Tabela 9 – Tensão de escoamento - XY no plano de impressão e Z perpendicular ao plano

σ_{escxy}	σ_{escz}
1137 GPa	967 GPa

O termo XY se refere ao plano na qual o material está sendo sinterizado pelo laser, e a direção Z é a direção a qual cada camada é adicionada.

5.2 Geometria

Como dito previamente, focou-se no estudo da parte elástica do componente por ser a parte mais crítica. Dessa forma com base no desenho da Fig.30, realizou-se o modelo por meio da ferramenta do CAD do próprio ANSYS, *DesignModeler* da forma apresentada na Fig.32.

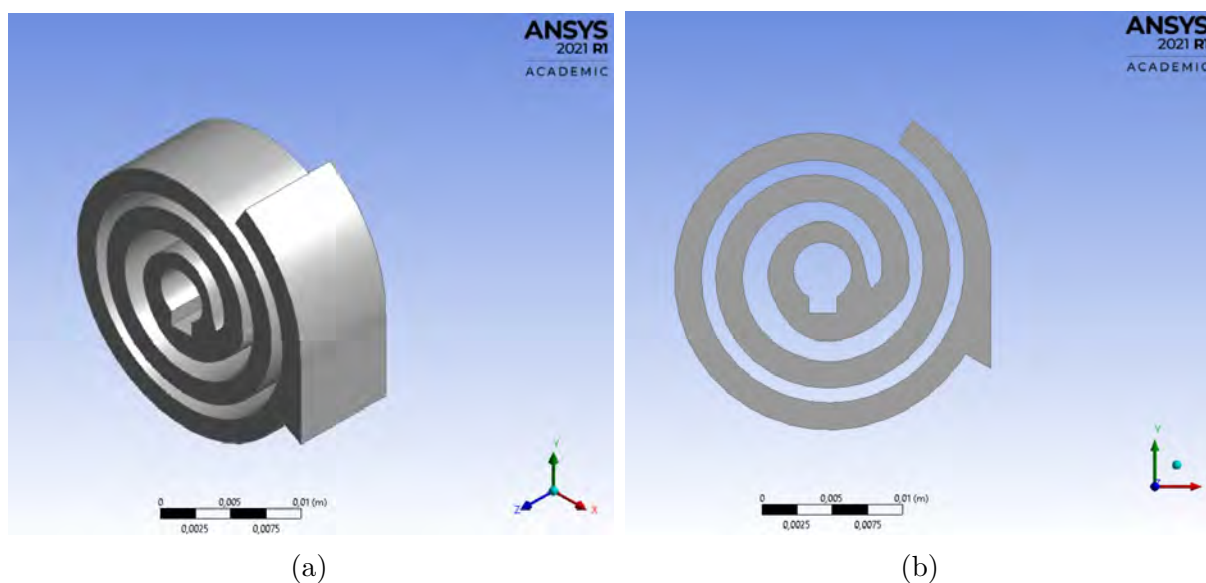


Figura 32 – Desenho CAD do novo mecanismo proposto da parte elástica (a) Vista isométrica (b) Vista frontal

5.3 Malha

Para a malha, pelas opções do ANSYS, utilizou-se a preferência física pelo modelo mecânico. Além disso, optou-se por elementos prismáticos de ordem linear, para isso foi utilizado o método *Sweep* com 15 divisões. Tal escolha foi feita com base na convergência da solução, de modo que o aumento do número de divisões não aumentasse a tensão máxima do modelo.

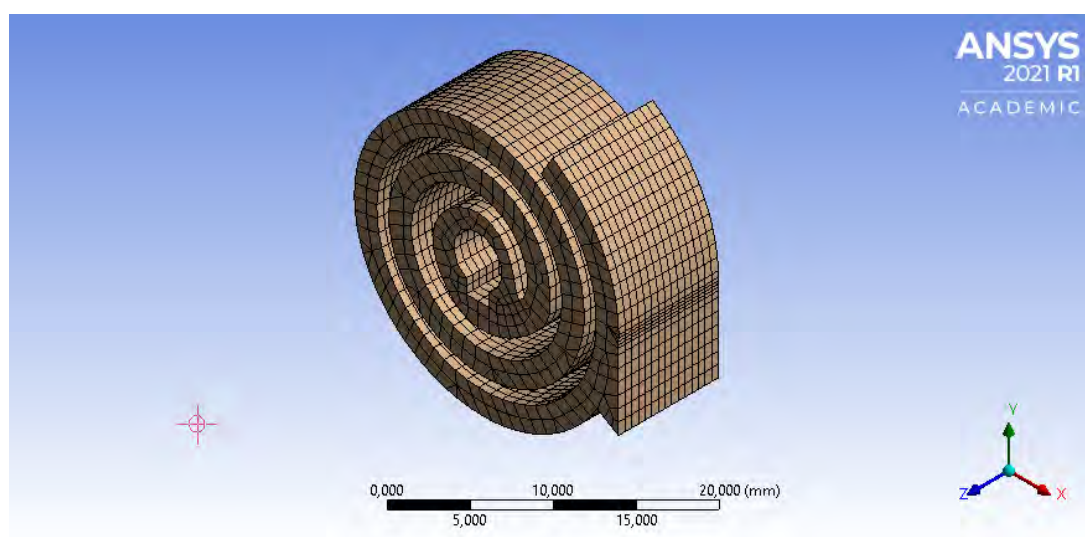


Figura 33 – Malha utilizada

5.4 Condições de contorno

Para condições de contorno, considerou-se que a parte interna, destacada na Fig. 34, como geometria fixa, ou seja, que não há movimento dessa face em relação ao sistema global de referência. Devido ao rasgo de chaveta e da chaveta presente no eixo, não haverá movimento relativo entre as peças.

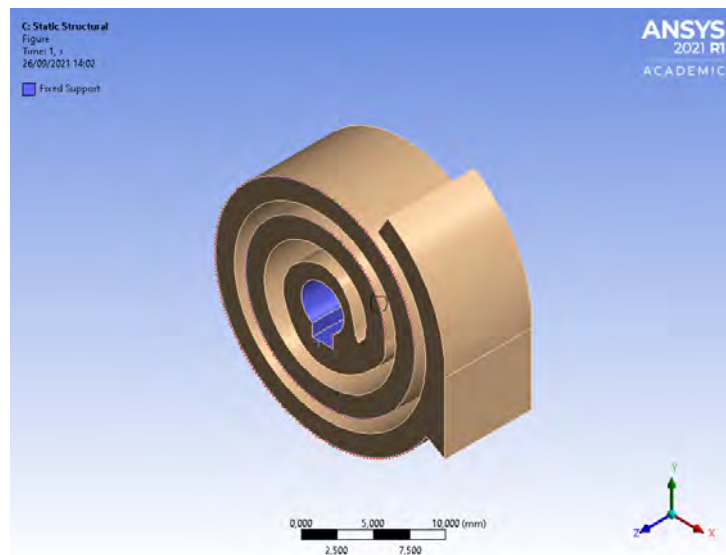


Figura 34 – Condição de contorno de apoio

Para definir o movimento do corpo, definiu-se que a face que serve de apoio, destacada na Fig. 35, será rotacionada em torno do eixo Z global, que é o eixo que passa pelo centro do furo do componente, até o ângulo de deformação estabelecido.

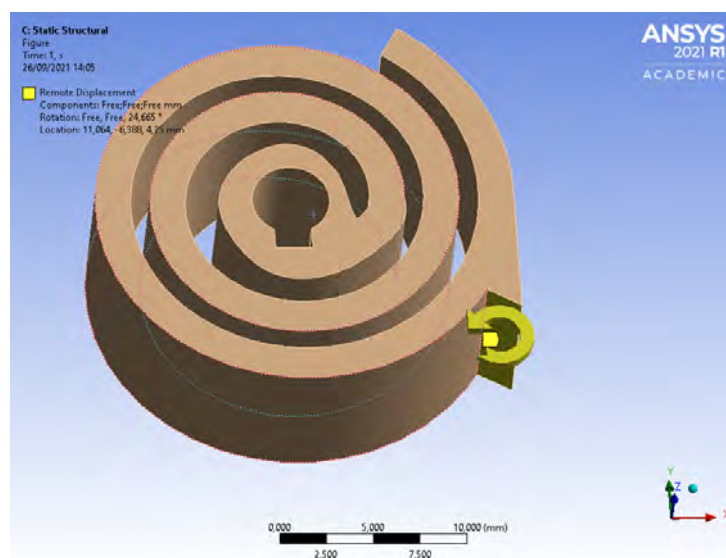


Figura 35 – Condição de contorno de rotação

5.5 Otimização de parâmetros

Para não sobrecarregar o componente acima do necessário, realizou-se uma otimização do ângulo ao qual a mola deveria ser rotacionada para que atingisse duas condições:

$$E_{total} = 800 \text{ mJ} \quad (5.2)$$

$$\sigma_{vonmises} < \sigma_{esc} \quad (5.3)$$

Optou-se por utilizar a energia potencial como sendo 0,8 J como forma de introduzir um fator de segurança no mecanismo, para garantir que a energia transferida, mesmo que não fosse total, ainda fosse capaz de deflagrar a munição. Além disso, desejava-se que o mecanismo atuasse sempre no regime elástico, para que não houvesse deformações plásticas que impedissem o funcionamento do dispositivo em uma atuação posterior. Com isso realizou-se uma otimização no próprio ANSYS. A Fig.36 apresenta esse processo da busca da solução ótima tendo a energia potencial total. Para cada solução ele analisava a energia e a tensão máxima equivalente de Von Mises, e adequava para a próxima iteração se o ângulo deveria ser diminuído ou aumentado até que a energia ficasse dentro da tolerância exigida.

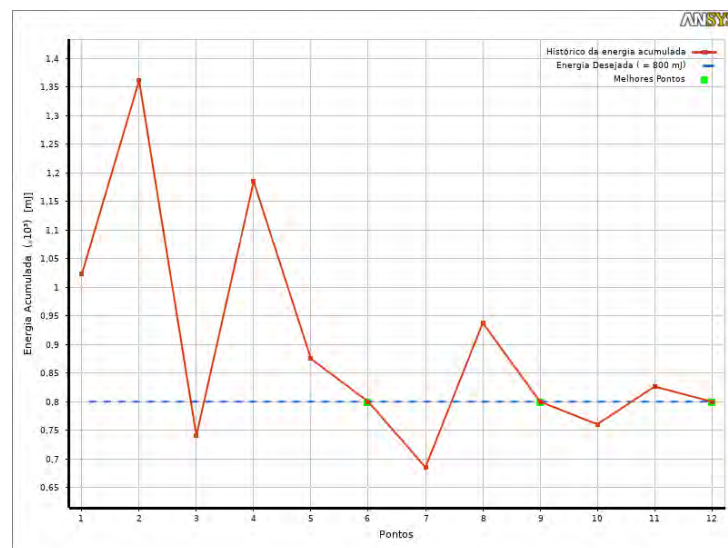


Figura 36 – Malha utilizada

Com tal processo iterativo obteve-se o seguinte ângulo que atende as condições especificadas, apresentando na Eq.5.4, que faz com que a energia potencial seja de 0,8 J, e a tensão máxima no modelo de 723,79 MPa.

$$\theta = 30,29^\circ \quad (5.4)$$

5.6 Resultados

Para resolver o problema proposto, utilizou-se o *solver Mechanical APDL* do ANSYS. A resistência mecânica pode ser avaliada do ponto de vista da deformação máxima admissível, pela Fig. 37. Mas como as informações obtidas foram acerca da tensão há de se analisar as Fig. 38 e 39.

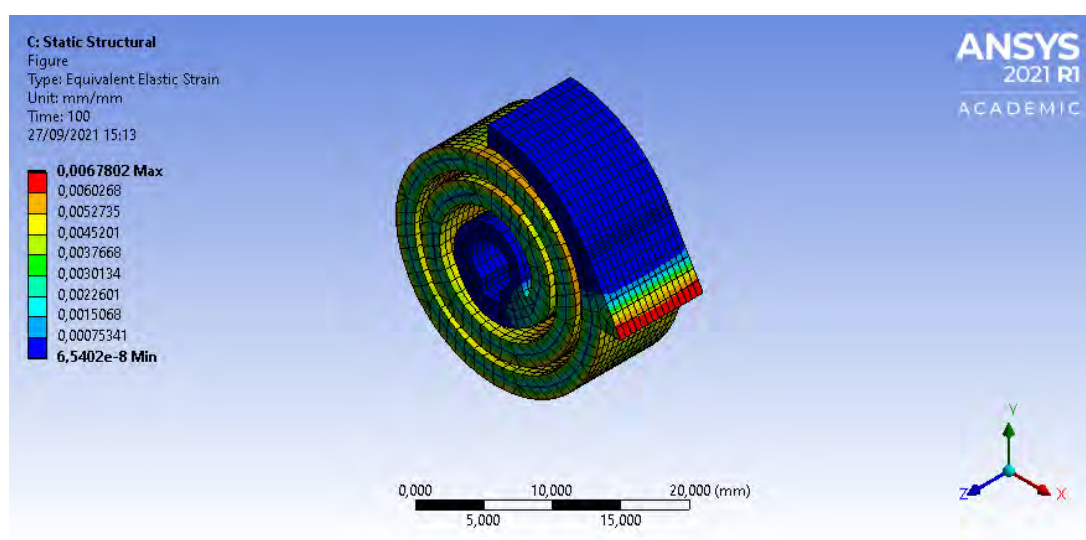


Figura 37 – Estado de deformações do componente

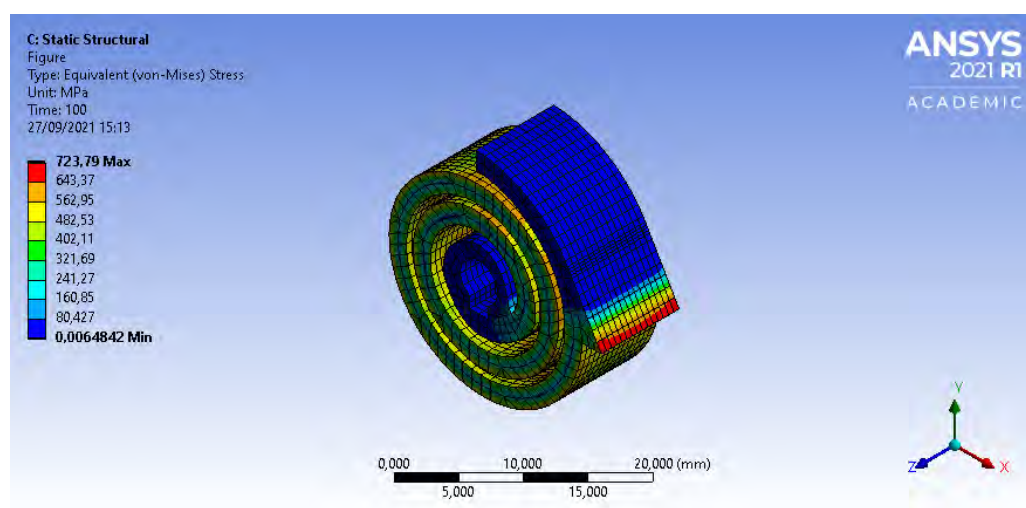


Figura 38 – Estado de tensões do componente - vista isométrica

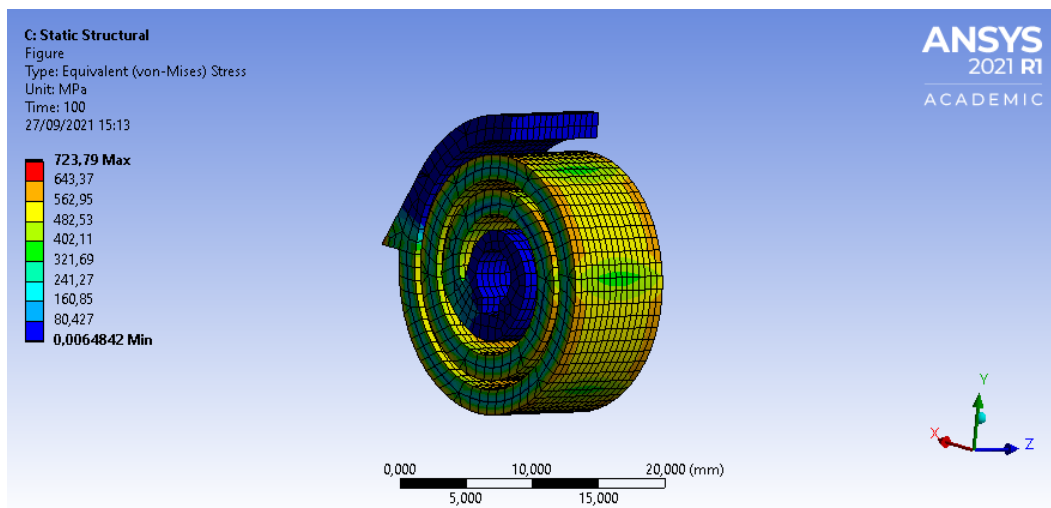


Figura 39 – Estado de tensões do componente - Destaque para a parte da mola

Observa-se que a tensão máxima equivalente no componente não ultrapassa 723,79 MPa para as condições de contorno especificadas. Isso não é o suficiente para incorrer em escoamento tanto no material maciço quanto no material fabricado por MA de acordo as Tab. 8 e 9. A região mais solicitada fica na região que serve como apoio, para travar a mola na condição em que a arma está pronta para o tiro. A região da mola em si fica ainda menos solicitada, na região de 560 MPa e 640 MPa, o que confere resistência mecânica do componente para a situação proposta.

Uma condição que deve ser satisfeita é a da energia total armazenada do corpo. A Fig. 40, apresenta a energia de cada elemento, mas pelo painel do ANSYS é possível obter a energia total, que no caso é de 800 mJ, como configurado na otimização.

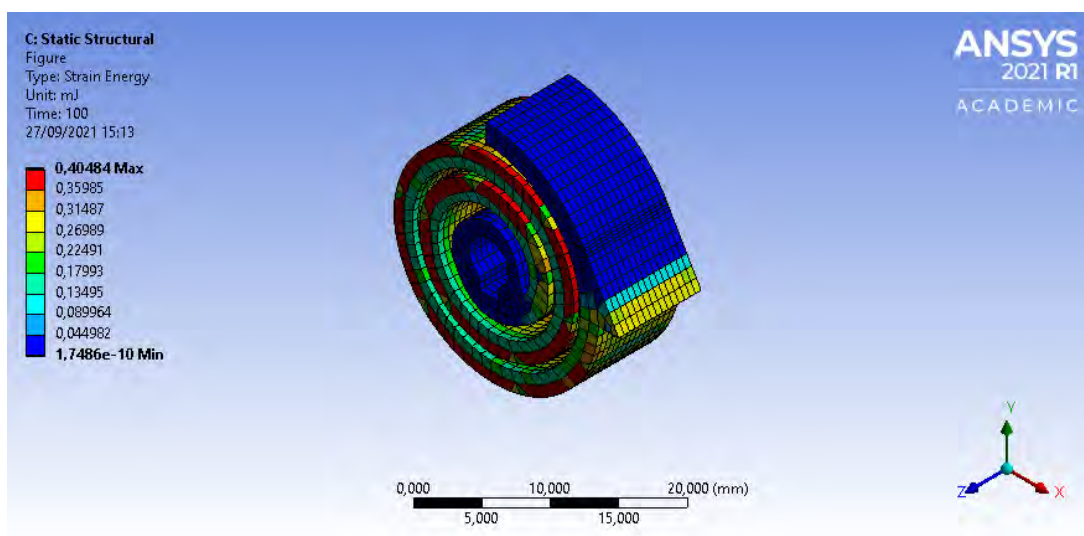


Figura 40 – Energia armazenada por cada elemento

Avaliou-se a energia total armazenada pela mola em alguns pontos em função do

deslocamento angular e montou-se o gráfico da energia da mola, na Fig. 41. Com isso é possível derivar a força da mola em função do deslocamento angular, apresentado na Fig.42. Com posse dos valores da energia potencial total e do deslocamento angular da mola montou-se o gráfico da Fig.42:

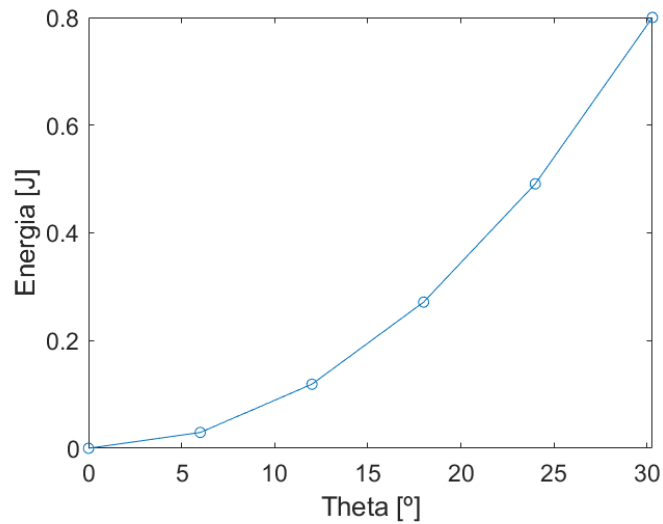


Figura 41 – Energia da mola pelo deslocamento angular

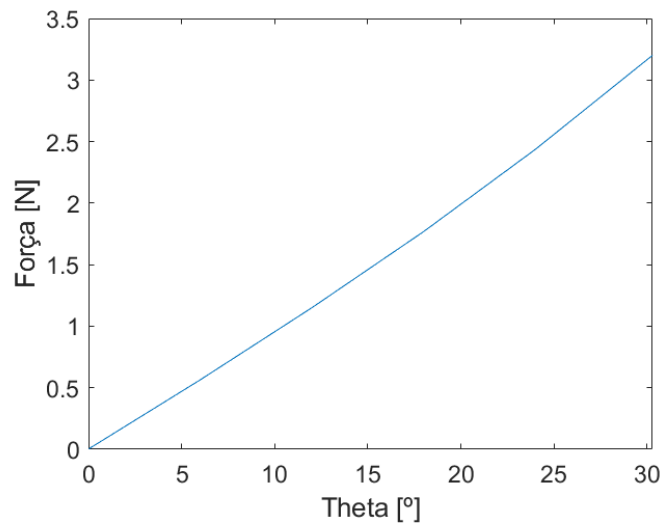


Figura 42 – Força da mola pelo deslocamento angular

Observa-se que a força necessária para armar o dispositivo está compreendida entre 0 e 3,2N, o que se apresenta razoável dentro da capacidade da força da mão humana. O dispositivo original exige uma força da ordem de 130 N, o que corrobora com essa razoabilidade da força necessária para armar o dispositivo.

6 PROVA DE CONCEITO

Este capítulo busca apresentar elaborado uma prova de conceito para demonstrar o princípio de funcionamento do sistema proposto.

6.1 Considerações

Para apresentar uma demonstração do conceito do mecanismo, desenvolveu-se peças adicionais para comporem o que seria o aparato de disparo. Os componentes foram todos impressos com PLA 1,75mm de diâmetro Premium cinza da marca Flowerbass. A impressora utilizada é da marca 3D Lopes Tower Pro 200.

Vale ressaltar que como o material é polimérico, não está sendo analisada a energia potencial armazenada pelo dispositivo ou resistência a fadiga. Está demonstrando-se que o princípio de funcionamento do mecanismo pode ser reproduzido por um produto fabricado por MA.

6.2 Avaliação

Inicialmente imprimiu-se como componentes separados um gatilho, apoios para o gatilho, o novo cão, um eixo para colocar o cão e um apoio para o conjunto cão e eixo. Após a impressão, lixou-se os componentes para garantir um melhor acabamento e para permitir a montagem dos componentes. Entretanto, o ajuste entre o cão e o eixo estava com muita interferência, o que levou a fratura do eixo na montagem do conjunto.

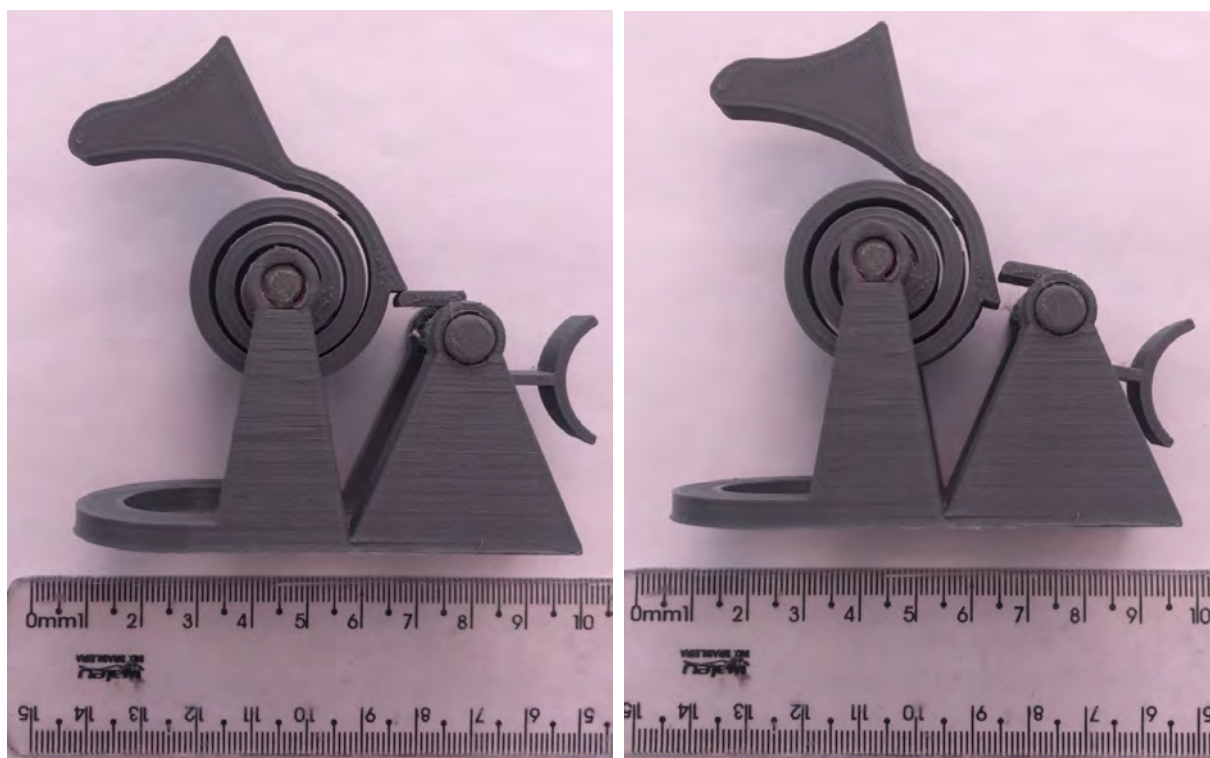
Para tentar fazer uma avaliação sobre o componente proposto, conseguiu-se prender o cão de forma a impedir sua rotação livre, e deslocou-se o apoio de forma a simular o processo de armar. O cão resiste ao processo e volta a posição original, sem apresentar sinais de falha.

6.3 Melhorias

Para evitar os problemas supracitados, melhorou-se os desenhos de forma a agrupar os apoios para impedir deslocamento relativo entre o gatilho e o cão, e diminuiu-se a interferência, entre o cão e o eixo. Os novos modelos estão apresentados no Anexo C, e os modelos impressos apresentados a seguir.



Figura 43 – Mecanismo proposto em vista isométrica



(a)

(b)

Figura 44 – Mecanismo proposto (a) Armado (b) Desarmado

6.4 Avaliação Final

Para montagem do novo protótipo as tolerâncias dos eixos ainda ficaram apertadas, havendo a necessidade de se lixar as pontas para que se conseguisse realizar a montagem.

O teste do dispositivo foi feito puxando o cão até a retaguarda. Observa-se que o cão seria capaz de girar mais que os $30,29^\circ$ estipulados previamente. Com o ressalto do gatilho é possível fazer com que o sistema fique preso na angulação projetada. Ao se acionar o gatilho, o cão vai a frente bruscamente.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho propôs-se a simplificar mecanismo de disparo da pistola 1911 pelo método de consolidação de componentes por manufatura aditiva. Para tal trabalho, escolheu-se o material a ser utilizado e imaginou-se a melhor forma de agrupar os componentes do sistema de tal forma que ele se mantivesse funcional, e possuísse resistência mecânica.

Para isso, realizou-se pré-dimensionamento, com a teoria de molas espirais e realizou-se uma estimativa das dimensões necessárias. Com base nessas dimensões, obteve-se o modelo digital do componente proposto e realizou-se uma análise dos esforços sobre o componente, para comprovar que, de fato, o componente proposto possuía resistência para operação. Além da resistência a operação realizou-se a análise de fadiga do componente e observou-se que o componente resistiria aos ciclos necessários do tempo de vida normal de uma arma.

Por fim, para comprovar que o conceito proposto poderia ser implementado, realizou-se a impressão em polímero de um sistema que comprovasse o comportamento do material da maneira como foi proposto. Embora o conjunto que foi impresso para auxiliar na avaliação tenha fraturado, o novo cão proposto se comportou como desejado, deformando-se e voltando a posição inicial sem falhar ou apresentar fraturas.

7.1 Trabalhos Futuros

Analisando o cronograma presente no Anexo A, não foi possível realizar a otimização topológica do cão proposto. Dessa forma propõe-se a continuação do trabalho avaliando-se formas de realizar uma possível otimização estrutural do componente. Outra via possível, seria imprimir o componente em metal e avaliar a operação, e se de fato fornece energia necessária para deflagração de uma munição, em conjunto com tal análise, poderia ser feito também a operação do dispositivo em conjunto com os outros elementos da pistola, para averiguar se o conjunto com um todo permanece funcional.

REFERÊNCIAS

- 1 ROCHA, J. G. *Technical Notes: Small Arms Weapons Design*. Rock Island Arsenal: US Army Weapons Command, 1968.
- 2 SHOOP, I. *Small but Deadly: The Minié Ball*. The Gettysburg Compiler, 2019. 17 Fev. de 2021. Disponível em: <<https://gettysburgcompiler.org/2019/04/30/small-but-deadly-the-minie-ball/>>.
- 3 THOMPSON, L.; DENNIS, P.; GILLILAND, A. *The Colt 1911 Pistol*. Bloomsbury Publishing, 2011. (Weapon). ISBN 9781849084345. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=GVi3CwAAQBAJ>>.
- 4 GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*. 1st. ed. [S.l.]: Springer Publishing Company, Incorporated, 2009. ISBN 1441911197.
- 5 GE. *GE's 3D-Printed Airplane Engine Will Run This Year*. GE News, 2017. 19 Mar. de 2021. Disponível em: <<https://www.ge.com/news/reports/mad-props-3d-printed-airplane-engine-will-run-year>>.
- 6 Army Materiel Command. *ENGINEERING DESIGN HANDBOOK: GUNS SERIES, AUTOMATIC WEAPONS*. Washington D.C, 1970.
- 7 FUNDAMENTALS of Small Arms, PART II: Types of Operations. [S.l.]: ARMY SERVICE FORCES, 1946.
- 8 GUNGODDESS. *Double Action or Single Action – What Does That Mean?* Gun Goddess, 2021. 17 Abr. de 2021. Disponível em: <<https://www.gungoddess.com/blogs/how-guns-and-ammunition-work/double-action-or-single-action-what-does-that-mean>>.
- 9 S., J. *Striker Fired vs. Hammer Fired Guns: What's the Difference and is One Better?* The Truth about Guns, 2020. 17 Abr. de 2021. Disponível em: <<https://www.thetruthaboutguns.com/striker-fired-vs-hammer-fired-whats-the-difference-and-is-one-better/>>.
- 10 TVAROZEK, J. Design of a striker mechanism for a sniper rifle. *American International Journal of Contemporary Research*, v. 2, n. 7, 2012.
- 11 FRAZIER, W. E. Metal additive manufacturing: A review. *Journal of Materials Engineering and Performance*, v. 23, n. 6, p. 1917–1928, Jun 2014. ISSN 1544-1024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11665-014-0958-z>>.
- 12 SALONITIS, K. Design for additive manufacturing based on the axiomatic design method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 87, n. 1, p. 989–996, Oct 2016. ISSN 1433-3015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00170-016-8540-5>>.
- 13 ZHANG, Y.; BERNARD, A.; GUPTA, R. K.; HARIK, R. Evaluating the design for additive manufacturing: A process planning perspective. *Procedia CIRP*, v. 21, p.

- 144–150, 2014. ISSN 2212-8271. 24th CIRP Design Conference. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114007458>>.
- 14 YANG, S.; TANG, Y.; ZHAO, Y. F. A new part consolidation method to embrace the design freedom of additive manufacturing. *Journal of Manufacturing Processes*, v. 20, p. 444–449, 2015. ISSN 1526-6125. Additive Manufacturing. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1526612515000699>>.
- 15 ABBOT, D.; KALLON, D.; ANGHEL, C.; DUBE, P. Finite element analysis of 3d printed model via compression tests. *Procedia Manufacturing*, v. 35, p. 164–173, 2019. ISSN 2351-9789. The 2nd International Conference on Sustainable Materials Processing and Manufacturing, SMPM 2019, 8-10 March 2019, Sun City, South Africa. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919307243>>.
- 16 NATALI, S.; BROTZU, A.; PILONE, D. Comparison between mechanical properties and structures of a rolled and a 3d-printed stainless steel. *Materials*, v. 12, 11 2019.
- 17 LI, J.; DENG, D.; HOU, X.; WANG, X.; MA, G.; WU, D.; ZHANG, G. Microstructure and performance optimisation of stainless steel formed by laser additive manufacturing. *Materials Science and Technology*, Taylor & Francis, v. 32, n. 12, p. 1223–1230, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/02670836.2015.1114774>>.
- 18 KAKABADZE, G. *ANISOTROPIC BEHAVIOUR ANALYSIS OF 3D PRINTED STRUCTURES*. 81 p. Tese (Doutorado) — Nottingham Trent University, 10 2020.
- 19 AUTODESK. *FINITE ELEMENT ANALYSIS SOFTWARE*. Autodesk, 2021. 23 Abr. de 2021. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/solutions/finite-element-analysis>>.
- 20 OZMEN, D.; KURT, M.; EKICI, B.; KAYNAK, Y. Static, dynamic and fatigue analysis of a semi-automatic gun locking block. *Engineering Failure Analysis*, v. 16, n. 7, p. 2235–2244, 2009. ISSN 1350-6307. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350630709000466>>.
- 21 MALACHOWSKI, J.; DAMAZIAK, K.; PLATEK, P.; SARZYNSKI, M.; KUPIDURA, P.; WOZNIAK, R.; ZAHOR, M. Numerical and experimental failure analysis of rifle extractor. *Engineering Failure Analysis*, v. 62, p. 112–127, 2016. ISSN 1350-6307. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350630716300048>>.
- 22 BOSETTI, P. *Framing a Lighter, Stronger Race Car*. Ansys, 2019. 23 Abr. de 2021. Disponível em: <<https://www.ansys.com/advantage-magazine/volume-xiii-issue-1-2019/framing-a-lighter-stronger-race-car>>.
- 23 GHOSH, A. Design, analysis and manufacturing of ar-15 firing pins design, analysis and manufacturing of ar-15 firing pins a report on mini project-2. 08 2020.
- 24 BUDYNAS, R.; NISBETH, J. *Elementos de Máquinas de Shigley - 10ª Edição*. McGraw Hill Brasil, 2016. ISBN 9788580555554. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=ekN4CwAAQBAJ>>.
- 25 SPRING, T. *Titanium 6Al-4V Springs*. Tech Spring, 2021. 25 Jul. de 2021. Disponível em: <https://www.da-yi.com.tw/en/materials-info/Titanium-Grade-5-6Al4V-For-Springs/Titanium-Grade-5_6Al4V.html>.

- 26 TECH, C. *Titanium 6Al-4V Springs*. Coiling Tech, 2021. 25 Jul. de 2021. Disponível em: <<https://www.coilingtech.com/titanium-6ai-4v-alloy-springs/>>.
- 27 JANEČEK, M.; NOVY, F.; HARCUBA, P.; STRÁSKÝ, J.; TRŠKO, L.; MHAEDE, M.; WAGNER, L. The very high cycle fatigue behaviour of ti-6al-4v alloy. *Acta Physica Polonica A*, v. 128, p. 497–503, 10 2015.
- 28 AHMED, A.; ZHOU, H. Synthesis of nonlinear spiral torsion springs. *International journal of engineering research and technology*, v. 3, 2014.
- 29 PROTOLABS. *Design Guidelines: Direct Metal Laser Sintering (DMLS)*. Protolabs, 2021. 21 Jul. de 2021. Disponível em: <<https://www.protolabs.com/services/3d-printing/direct-metal-laser-sintering/design-guidelines/>>.
- 30 CHEN, L.; HUANG, J.; LIN, C.; PAN, C.; CHEN, S.; YANG, T.; LIN, D.; LIN, H.; JANG, J. Anisotropic response of ti-6al-4v alloy fabricated by 3d printing selective laser melting. *Materials Science and Engineering: A*, v. 682, p. 389–395, 2017. ISSN 0921-5093. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509316314162>>.
- 31 KOK, Y.; TAN, X.; WANG, P.; NAI, M.; LOH, N.; LIU, E.; TOR, S. Anisotropy and heterogeneity of microstructure and mechanical properties in metal additive manufacturing: A critical review. *Materials and Design*, v. 139, p. 565–586, 2018. ISSN 0264-1275. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127517310493>>.

ANEXO A – CRONOGRAMA DO PROJETO

TÍTULO DO PROJETO Projeto de um novo mecanismo

NÚMERO DA TAREFA	TÍTULO DA TAREFA	DURAÇÃO (Em semanas)	% DA TAREFA CONCLUÍDA	VE				VC				VF			
				JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO		
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Elaboração e início do projeto														
1.1	Revisão bibliográfica do projeto	40	100 %												
1.2	Planejamento do trabalho	4	100 %												
1.3	Elaboração do cronograma	4	100 %												
2	Desenvolvimento do projeto														
2.1	Modelar CAD	10	50 %												
2.1.1	Testar agrupamento das peças	5	100 %												
2.1.2	Otimizar possíveis peças	5	0 %												
3	Desempenho do projeto/ Validação														
3.1	Comparar efeitos da manufatura aditiva	5	100 %												
3.2	Analisar ocorrência de falha mecânica	5	100 %												

ANEXO B - DESENHOS TÉCNICOS COLT 1911

REVISIONS		DATE	APPROVAL
SYM	DESCRIPTION	DATE	APPROVAL
E	REDRAWN W/CHANGE NOR W4S2049/840719 (ECP W4S2067/841224)	6/10/62	<i>[Signature]</i>

CURRENT DESIGN ACTIVITY CASE COOP 18300
ARMAMENT RESEARCH, DEVELOPMENT AND ENGINEERING CENTER
FIGHTING MATERIALS CENTER, WRIGHT-PATTERSON AIR FORCE BASE, OHIO 45433-3399

PART NO. 5013208

DEPT OF THE ARMY
SPRINGFIELD ARMORY SPRINGFIELD, MASS

SPRING, HELICAL COMPRESSION

SIZE: **B** CAGE CODE: **19205** UNIT WT. **5013208**

SCALE: **B** UNIT WT. **5013208**

ORIGINAL DATE OF DRAWING: **28-05-01**

DRAWING CHECKER: **M.E.K.**

CAD: **G.S.S.** ENGR: **D.L. WILSON**

ENGR: **G.L. RANDOZZO** ENGR: **D.R. ASH**

PHILIP E. HEBERLE

R.S. HENRY

DO NOT SCALE DRAWING

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
DIMENSIONS ARE IN INCHES

TOLERANCES ON DECIMALS: **±**

FRACTIONS: **±**

ANGLES: **±**

MAINSRING

MECHANICAL PROPERTIES

YP	TS	ELF	RA	SH	PH
C12006347	PISTOL, M15				
F7791205	PISTOL, M1911A1				
F7265655	PISTOL, M1911A1				
HEAT TREAT	USED ON				

APPLICATION

CADDS REV. **---**

ANNEXON FORM 4153 77 REPLACES SUPPL. FORM 1248 OCT 76 WHICH MAY BE USED UNTIL EXHAUSTED

NOTES: -

- 1-MATERIAL: -WIRE, MUSIC, STEEL, SPEC QQ-W-470.
- 2-HEAT TREATMENT: -STRESS RELIEVE AT 450°F FOR 20 MINUTES, MINIMUM.
- 3-ROD DIA OVER WHICH SPRING SLIDES FREELY---.174 MAX*
- 4-CRIMP BOTH END COILS .160 + .008 ID.
- 5-MANUFACTURE IN ACCORDANCE WITH TYPE I, GRADE A, MIL-S-13572.

WIRE DIAMETER	.045
COIL DIAMETER (OD)	.273-.003
FREE LENGTH	2.156
TOTAL COILS	21.5 REF
DIRECTION OF HELIX	L.H.
LOAD AT COMPRESSED LENGTH OF	1.312±
LOAD AT COMPRESSED LENGTH OF	22.0±2.0 LBS
LOAD AT COMPRESSED LENGTH OF	1.062±
LOAD AT COMPRESSED LENGTH OF	29.5±2.0 LBS
LOAD AT COMPRESSED LENGTH OF	27.69 LBS
LOAD AT COMPRESSED LENGTH OF	.968
LOAD AT COMPRESSED LENGTH OF	CLOSED & GROUND

*EXCEPT FOR CRIMPED ENDS: CHECK AT A STAGE OF MANUFACTURE OR BY CUTTING OFF CRIMP IN SAMPLE.

(USED WITH CAP-5013209)

ANEXO C – CAD DO DISPOSITIVO PARA PROVA DE CONCEITO

