

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

ROMULO AGNON DE ANDRADE

**PROJETO E FABRICAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE UM TRITURADOR DE
MATERIAIS TERMOPLÁSTICOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2018

ROMULO AGNON DE ANDRADE

**PROJETO E FABRICAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE UM
TRITURADOR DE MATERIAIS TERMOPLÁSTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia mecânica do Departamento acadêmico de mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de Carvalho

PONTA GROSSA

2018



TERMO DE APROVAÇÃO

PROJETO E FABRICAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE UM TRITURADOR DE MATERIAIS TERMOPLÁSTICOS.

por

ROMULO AGNON DE ANDRADE

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 6 de dezembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de Carvalho
Orientador

Prof. Dr. Davi Fusão
Membro Titular

Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares
Membro Titular

Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares

Responsável pelos TCC

**Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de
Carvalho**

Coordenador do Curso

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e Nossa Senhora, que me ampararam nos momentos em que me senti incapaz, nos momentos que mais precisei sempre estavam junto a mim.

Agradeço a minha mãe que sempre me deu forças e nunca deixou que eu desistisse, que com suas palavras e seus gestos de carinho e amor sempre me levantavam nos momentos de tristeza e desânimo.

Agradeço ao meu pai, que nunca hesitou em dar todo suporte que eu precisei, que sempre estava lá quando eu precisei, que essa realização não teria sido possível se não fosse pelo seu apoio.

À minha namorada que sempre me apoiou e esteve comigo em todos os momentos, me ajudando a esquecer dos momentos difíceis que passei durante esta jornada.

À toda minha família, que me deram forças e souberam entender os momentos que estive ausente.

Agradeço também ao Prof. Marcelo, pela paciência, por ter me orientado neste trabalho, pelo ensinamento e pelo tempo dedicado a ajudar-me.

Por fim agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para que essa realização fosse possível.

RESUMO

ANDRADE, Romulo Agnon de. **Projeto e fabricação de um protótipo de um triturador de materiais termoplásticos.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

Buscando métodos utilizados para processamento de materiais recicláveis, foi escolhido o processo de trituração para o desenvolvimento de um protótipo de um equipamento shredder. Baseando-se em alguns conceitos de desenvolvimento de produtos, foi utilizado um método criado na engenharia em uma visão mais técnica, separado em quatro etapas, projeto informacional, projeto preliminar, projeto conceitual e projeto detalhado. Por se tratar do desenvolvimento de um protótipo, o presente trabalho aplica-se até a etapa do projeto preliminar. Amparando-se aos conceitos de PDP, foi possível desenvolver um produto desde a sua concepção até o processo de prototipagem, chegando ao objetivo esperado para o presente trabalho, a validação do mecanismo. Através de métodos convencionais e não convencionais de usinagem foi possível iniciar a fabricação de um protótipo de um triturador de alta fidelidade, representando um modelo funcional do produto, possibilitando a validação do mecanismo de trituração, junto ao design e configuração das lâminas. Utilizando o protótipo de alta fidelidade, também foi possível identificar pontos críticos e melhorias a serem feitos, buscando a melhor versão para um equipamento de trituração.

Palavras-chave: Reciclagem, polímeros termoplásticos, desenvolvimento de produto, prototipagem.

ABSTRACT

ANDRADE, Romulo Agnon de. **Design and manufacture of a prototype of a thermoplastic material shredder.** Work Completion of Course (Graduate in Mechanical Engineering) – Federal Technological University of Paraná. Ponta Grossa, 2018.

Searching for methods used to process recyclable materials, the grinding process was chosen for the development of a prototype of a shredder equipment. Based on some concepts of product development, a method was created in engineering in a more technical view, separated into four stages, informational design, preliminary design, conceptual design and detailed design. Because it is the development of a prototype, the present work applies until the preliminary design stage. Based on the concepts of PDP, it was possible to develop a product from its conception to the prototyping process, reaching the objective expected for the present work, the validation of the mechanism. Through conventional and unconventional machining methods, it was possible to start the manufacture of a prototype of a high fidelity crusher, representing a functional model of the product, allowing the validation of the grinding mechanism, together with the design and configuration of the blades. Using the high fidelity prototype, it was also possible to identify critical points and improvements to be made, seeking the best version for a grinding equipment.

Keywords: Recycling, thermoplastic polymers, product development, prototyping.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Objetos comuns feitos a partir de materiais poliméricos	13
Figura 2– Pellets, grãos plásticos produzidos ao final da etapa de extrusão.	17
Figura 3– Resíduos plásticos triturados após a etapa de moagem.....	18
Figura 4– Shredding machine de Kiyoshi Inoue (1983).....	19
Figura 5– Shredder plastic de Gregory Dunstan (2010).....	20
Figura 6 - Two-shaft industrial shredder de Fabio Rota (2002)	21
Figura 7– Matriz morfológica de estrutura de funções	27
Figura 8– Concepção da solução escolhida.....	30
Figura 9 - Interface software SolidWorks® 2014.....	31
Figura 10 – Design da lâmina rotativa.....	35
Figura 11 -Lâminas montadas.....	35
Figura 12 - Ângulo de cunha lâmina rotativa	36
Figura 13 - Configuração das lâminas detalhado	36
Figura 14 – Dimensionamento da lâmina rotativa.	37
Figura 15 - Conjunto de lâminas montado	38
Figura 16 - Lâmina fixa B	38
Figura 17 - Design lâmina A.....	39
Figura 18 - Design espaçador	39
Figura 19 - Montagem conjunto de lâminas	40
Figura 20 - Bandeja com lâminas impressas 3D.....	40
Figura 21 - Lâminas impressas na impressora 3D.....	41
Figura 22 - Esquema da montagem da estrutura do dispositivo.	41
Figura 23 - Imagem com a lista de materiais.....	42
Figura 24 - Desenhos fornecidos a empresa no formato DXF	43
Figura 25 – Fotografia da lâmina rotativa mostrando as estrias causadas pelo corte a laser.	43
Figura 26 - Lâmina rotativa cortada a laser	44
Figura 27 - Lâmina fixa B cortada a laser.....	44
Figura 28 - Lâmina fixa A cortada a laser.....	45
Figura 29 - Espaçador cortado a laser	45
Figura 30 - Furação chapa lateral	46
Figura 31 - Furação chapa frontal	46

Figura 32 - Eixo sextavado.....	47
Figura 33 - Fixadores	47
Figura 34 - Montagem de todos os componentes	48
Figura 35 – Força rotacional aplicada ao eixo.....	49
Figura 36 - Amostra de papel sendo triturada.	50
Figura 37 - Material triturado	51

3D	Três Dimensões
A4	Folha de Sulfite tamanho 210x297mm
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS	Acrilonitrila-butadieno-estireno
CAD	Computer Aided Design
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
ONU	Organização das Nações Unidas
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
PET	Polietileno Tereftalato
PG	Ponta Grossa
PTFE	Teflon
TFE	Tetrafluoretileno
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	POLÍMEROS.....	13
2.1.1	Polímeros Termoplásticos.....	14
2.1.1.1	Principais características de materiais termoplásticos	14
2.2	RECICLAGEM DE MATERIAIS POLIMÉRICOS	15
2.2.1	Reciclagem Mecânica de Polímeros.....	16
2.2.2	Processo de Moagem e Trituração	17
2.2.3	Moinho de Corte e Trituração	18
2.3	METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO.....	21
2.3.1	Projeto Informacional	22
2.3.2	Projeto Conceitual.....	22
2.3.3	Projeto Preliminar	23
2.3.4	Projeto Detalhado	23
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.1	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO INFORMACIONAL	24
3.1.1	Requisitos de Protótipo	24
3.1.2	Levantamento das Necessidades	25
3.2	DESENVOLVIMENTO PROJETO CONCEITUAL	26
3.2.1	Modelo Funcional do Equipamento.....	26
3.2.1.1	Detalhamento da solução escolhida	27
3.2.1.2	Descrição e avaliação da solução escolhida.....	29
3.3	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO PRELIMINAR	30
3.3.1	<i>Software</i> CAD	31
3.3.2	Materiais	31
3.3.2.1	Aço ABNT1045	32
3.3.2.2	Hardox ® 400.....	32
3.3.3	Processo de Fabricação	32

3.3.3.1	Usinagem convencional.....	32
3.3.3.2	Corte a laser	33
3.3.4	Protótipo.....	33
3.3.4.1	Especificações do Protótipo.....	34
3.3.4.1.1.	<i>Design</i> e tamanho de lâminas rotativas.....	34
3.3.4.2	Estrutura do protótipo	41
3.3.4.3	Lista de materiais	42
3.3.5	Fabricação do Protótipo.....	43
4	RESULTADOS OBTIDOS	49
5	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
	ANEXO A – Desenhos 2D de cada componente usado no desenvolvimento do protótipo.	56

1 INTRODUÇÃO

Em dias atuais o descarte de resíduos sólidos no meio ambiente está sendo uma das grandes preocupações para uma maioria de pessoas conscientizadas sobre o assunto. Um dos problemas ocasionados pelo descarte inadequado de resíduos sólidos é a contaminação do meio ambiente através de materiais inorgânicos como exemplo, nos materiais poliméricos, onde a sua decomposição completa pode demorar mais de 400 anos (Consumo, 2017).

Atualmente, dentre os materiais poliméricos, um dos resíduos sólidos que causam grande impacto ao meio ambiente, são os materiais termoplásticos, sendo este uma das premissas deste projeto.

Uma das grandes propostas para resolver este problema está sendo a reciclagem. Esta proporciona uma grande diminuição da quantidade de rejeitos descartados na natureza, diminuindo assim o impacto causado pelo descarte de resíduos sólidos no meio ambiente.

O processo de reciclagem é composto de várias etapas, desde a coleta seletiva dos materiais, até a transformação final da matéria prima em outro produto. Para isto, o material passa por algumas etapas.

Uma das etapas é a trituração do plástico após a seleção. O processo de trituração, ocasiona a fragmentação do material plástico, diminuindo seu tamanho à granulometria especificada pelo moinho. Um dos modelos de moinho utilizados para este processo é o moinho shredder, que possui facas rotativas, para cortar o material através do processo de cisalhamento (INDUSTRIAL, 2017).

O objetivo principal deste trabalho foi projetar e fabricar um protótipo de um triturador shredder, desenvolvendo um mecanismo de trituração que seja capaz de triturar materiais, baseando-se em métodos de processo e desenvolvimento de produto (PDP), e por fim validar o mecanismo e a funcionalidade do equipamento através dos resultados obtidos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 POLÍMEROS

Materiais poliméricos são definidos por qualquer material orgânico ou inorgânico, sintético ou natural, que apresente um elevado peso molecular e possui uma diversidade de estruturas repetitivas com baixo peso molecular (MANRICH, 2005) sendo diferenciado pela estrutura química, pelo número médio de unidades de repetição por cadeia e pelo tipo de ligação molecular, é possível dividi-los em três grandes classes: plásticos, borrachas e fibras (CANEVAROLO, 2006).

Presentes em nosso dia a dia, existe uma gama muito grande de materiais poliméricos que são utilizados muitas vezes sem a nossa percepção. Na figura 1 é possível vermos alguns objetos comuns feitos a partir de materiais poliméricos.

Figura 1– Objetos comuns feitos a partir de materiais poliméricos



Fonte: CALLISTER (2007).

A classificação destes materiais vai além da estrutura molecular, podendo ser classificados por diversas formas, segundo Manrich (2005) a maneira mais comum para classificá-los, baseia-se na estrutura química, preparação do material, características tecnológicas e propriedades mecânicas.

Classificando-os a partir do ponto de vista tecnológico e nas propriedades mecânicas, é possível classifica-los em duas subdivisões: os polímeros termoplásticos e os polímeros termofixos (MANRICH, 2005).

Materiais poliméricos que se fundem na presença de temperaturas elevadas e se solidificam por resfriamento, sendo várias vezes reversíveis a estes processos, são chamados de polímeros termoplásticos. Em contrapartida, materiais poliméricos que sofrem reação química expostos a altas temperaturas, e se tornam insolúveis e infusíveis, são conhecidos como polímeros termofixos (MANO, 2005).

2.1.1 Polímeros Termoplásticos

Materiais poliméricos que podem ser fundidos e solidificados repetidas vezes, apresentando mínima ou nenhuma variação em suas propriedades são caracterizados materiais termoplásticos (MANRICH, 2005), sendo esta, a característica esperada para que seja possível a reciclagem e reutilização deste material como matéria prima para novos produtos.

2.1.1.1 Principais características de materiais termoplásticos

Existe uma grande variedade de combinações e propriedades de polímeros termoplásticos existente, Callister (2007) faz uma breve classificação das principais características e aplicações dos polímeros termoplásticos, que será descrita a seguir:

Acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS): apresenta resistência mecânica e tenacidade, resistente a distorções térmicas com boas propriedades mecânicas, sendo inflamável e solúvel em alguns solventes. Tipicamente aplicado em revestimento para refrigeradores, equipamentos para grama e jardim e brinquedos.

Acrílicos: possui excepcional transmissão de luz e propriedades mecânicas regulares. Normalmente usados em lentes, janelas transparentes e equipamentos de desenho.

Fluocarbonos (PTFE OU TFE): são quimicamente inertes, possui excelentes propriedade elétricas, porém são pouco resistentes. Utilizado em vedações anticorrosivas, válvulas e tubulações, mancais e revestimentos.

Poliamidas (Nailons): apresenta boa resistência mecânica, resistência a abrasão, tenacidade e baixo coeficiente de atrito. É bastante utilizado em mancais, engrenagens, cames, buchas, cabos e revestimentos.

Policarbonatos: possui baixa absorção de água, transparentes, boa resistência ao impacto e boa ductilidade. Comumente usados em capacetes de segurança, lentes, globos de luz e bases para filmes fotográficos.

Poliétileno: são quimicamente resistentes, possui propriedade de isolamento elétrico, tenaz e com coeficiente de atrito relativamente baixo. Tipicamente utilizado para confecção de garrafas flexíveis, copos, brinquedos, peças de baterias e bandejas de gelo.

Polipropileno: possui excelentes propriedades elétricas, resistência a fadiga e são relativamente baratos. Utilizado para fabricação de garrafas esterilizáveis, filmes para embalagens, gabinetes de televisores e malas para bagagens.

Poliestireno: apresenta excelentes propriedades elétricas, excelentes propriedades dimensionais, boa estabilidade térmica e são relativamente baratos. Normalmente utilizado na confecção de brinquedos, painéis de iluminação interna, caixas de bateria, carcaças e utensílios.

Poliéster (PET OU PETE): material excepcionalmente tenaz, excelente resistência a fadiga, resistente a umidade, graxas e óleos. Normalmente são utilizados para confeccionar vestimentas, cabos de pneus de automóveis e garrafas.

Com base nessas informações é possível obter um referencial de qual material utilizar, de acordo com a finalidade e propriedades esperadas para a confecção de novos produtos.

2.2 RECICLAGEM DE MATERIAIS POLIMÉRICOS

A definição para reciclagem apresentada pela ONU, resume-se ao conjunto de atividades, como coleta, separação e processamento de materiais que anteriormente não aparentavam ter valor, são recuperados através de técnicas economicamente viáveis, respeitando as características dos materiais e transformando uma fração de plástico reciclável em um produto alternativo que favoreça o desenvolvimento sustentável.

Tomando como base a reciclagem de materiais poliméricos, segundo Mano (2005) é possível classificá-la em três classes, a reciclagem mecânica, a reciclagem química, e a reciclagem energética. Classes que serão definidas a seguir:

Reciclagem mecânica está associada a reutilização de resíduos industriais ou resíduos pós consumidos pela classe urbana, para obtenção de matéria prima para outros artefatos, sendo esta o tipo mais difundido de reciclagem (MANO *et al.*, 2005).

Reciclagem química é definida pela transformação dos resíduos poliméricos, através de reações químicas, tornando-se insumos químicos, combustíveis e matéria prima para confecção de novos produtos. Basicamente ocorre a despolimerização que é a reversão do polímero em monômero, seguido da purificação dos monômeros, para serem polimerizados novamente (FORLIN; FARIA, 2002).

Reciclagem energética compreende na incineração dos materiais poliméricos, direcionado para a produção de vapor e energia elétrica. A incineração consiste na oxidação térmica devida a elevadas temperaturas impostas aos resíduos, resultando na redução do volume e toxidades dos materiais (MANO *et al.*, 2005).

2.2.1 Reciclagem Mecânica de Polímeros

A reciclagem mecânica de materiais poliméricos, consiste na passagem dos resíduos através dos processos básicos de reciclagem, cujo principais processos são separação, moagem, lavagem, secagem, extrusão e injeção (MANO *et al.*, 2005), resultando em matéria prima para confecção de novos produtos.

A matéria prima se dá ao final do processo de extrusão, comumente conhecido como *pellets*, sendo utilizados em outros processos de extrusão, injeção ou intrusão, por empresas de transformação que utilizam para moldes de artefatos plásticos (MANRICH, 2005).

A seguir a figura 2 mostra os Pellets, que são os grãos plásticos produzidos ao final da etapa da extrusão.

Figura 2– Pellets, grãos plásticos produzidos ao final da etapa de extrusão.



Fonte: Fonte: PGP Sacolas (2014)

Após a coleta e separação dos descartes a serem reciclados, ocorre a conversão dos materiais em grânulos para a reutilização pelo setor produtivo, possibilitando a confecção de novos produtos (Guia ambiental, 2011).

2.2.2 Processo de Moagem e Trituração

Os materiais selecionados após a etapa de separação, seguem para o processo de moagem e trituração, os quais são triturados e transformados em *flakes* (PIRES, 2009), com tamanhos especificados pelo equipamento de moagem. Os *flakes* são basicamente os materiais após o processo de moagem, que apresentam o formato de flocos com diversos tamanhos, que seguem para as próximas etapas no processo de reciclagem.

Neste processo ocorre a fragmentação dos resíduos plásticos, que são processados em um moinho de facas, transformando-os em partes menores, sendo selecionados através de uma tela com diâmetro específico, que permite a obtenção de fragmentos com o tamanho desejado (MANO *et al.*, 2005). A seleção desta tela é realizada conforme o tamanho necessário para saída dos flocos, havendo a possibilidade de troca da peneira presente dentro do equipamento para a obtenção de diferentes formatos.

Após moídos, os materiais são lavados em centrífugas ou tanques especiais para lavagem, para que sejam retiradas impurezas que ficam impregnadas aos resíduos (BRANDRUP *et al.*, 1995).

A figura 3 ilustra os resíduos plásticos triturados após a etapa de moagem.

Figura 3– Resíduos plásticos triturados após a etapa de moagem



Fonte: Sindplast (2011)

2.2.3 Moinho de Corte e Trituração

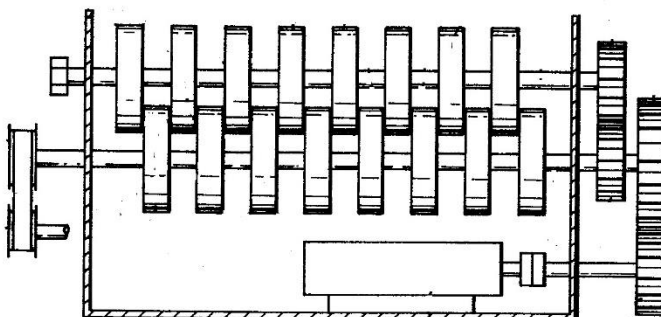
Devido à escassez de conteúdo e bibliografias sobre o assunto, foi necessário fazer uma busca a patentes existentes sobre equipamentos que desempenham tal função. A seguir uma breve descrição de alguns equipamentos para o entendimento de forma informacional.

Um dos primeiros equipamentos que se tem conhecimento, que foi patenteado para a função de trituração, foi o projeto desenvolvido por Kiyoshi Inoue (1983), o *Shredding machine*, demonstrado na figura 4. O equipamento possuía discos de cortes que executavam a trituração de papel, havendo a possibilidade de adaptação para trituração de outros materiais com propriedades diferentes.

As superfícies periféricas dos discos, desempenhavam papel fundamental para o processo, havendo perfis dentados ou ondulados, para que o material fosse “mordido” para dentro, sendo ao mesmo tempo triturado.

A máquina possuía um par de eixos paralelos, com uma porção de discos de corte espaçados entre si, efetuando o processo de corte por cisalhamento de material.

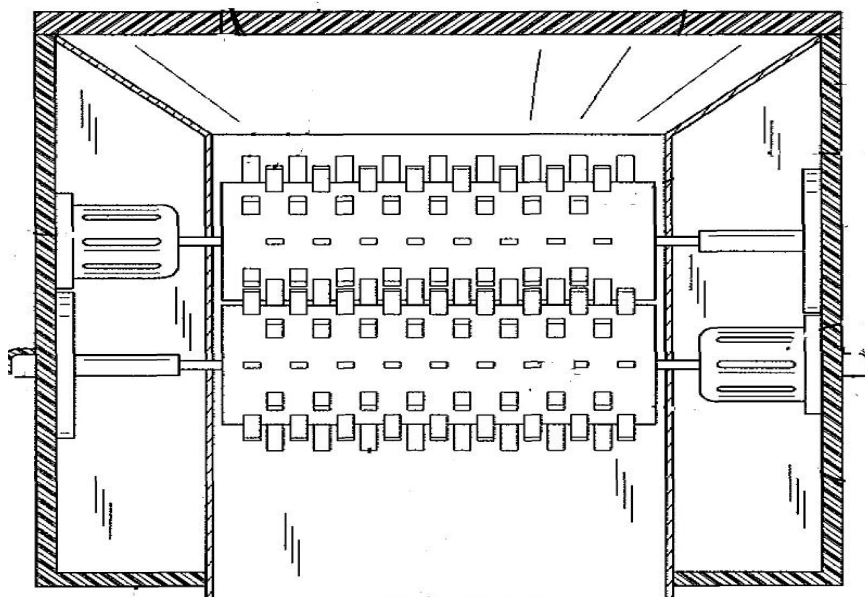
Figura 4– *Shredding machine* de Kiyoshi Inoue (1983)



Fonte: Kiyoshi Inoue (1983)

Outra patente existente de equipamento de trituração, visualizado na figura 5, é o *Shredder plastic*, de Gregory Dunstan (2010). Um equipamento de trituração específico para trituração e moagem de materiais plásticos, possuindo dois rolos dentados dispostos um acima do outro em angulação, de forma a engrená-los e configurados para puxar o material para dentro, conseqüentemente triturá-los através do processo conjunto de esmagamento e cisalhamento.

Figura 5– *Shredder plastic* de Gregory Dunstan (2010)

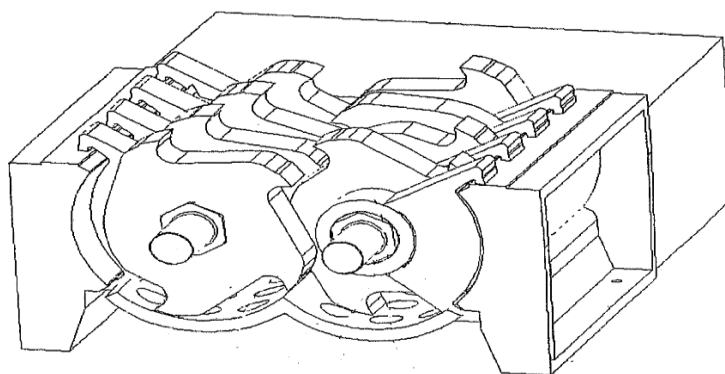


Fonte: de Gregory Dunstan (2010)

Outro equipamento patenteado é o *Two-shaft industrial shredder*, desenvolvido por Fabio Rota (2002), qual foi desenvolvido para fragmentar diversos materiais como: plásticos, madeiras e borrachas. O equipamento compreende em dois eixos com lâminas sobrepostas e paralelas uma a outra, possuindo espaçadores intercalados com diâmetros menores que as lâminas, de modo a se opor às lâminas. Com perfil de lâmina possuindo um ou mais dentes, para forçar o material a passar entre as lâminas para obter o corte por cisalhamento e rasgamento.

Na figura 6 é possível vermos o equipamento *Two-shaft industrial shredder*, desenvolvido por Fabio Rota.

Figura 6 - Two-shaft industrial shredder de Fabio Rota (2002)



Fonte: Fabio Rota (2002)

2.3 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento deste projeto, foi utilizado alguns conceitos referentes as técnicas utilizadas no processo e desenvolvimento de produto (PDP), aplicando-as ao desenvolvimento do protótipo em questão. O processo de desenvolvimento de produto, define-se pelo conjunto de atividades com objetivo de alcançar especificações de projeto de um produto através de necessidades do mercado, possibilidades e restrições tecnológicas, podendo ser empregadas estratégias tecnológicas para lançamento de um produto (AMARAL, 2006).

A proposta inicial foi desenvolver este projeto com base no método proposto por Pahl e Beitz. Sendo originado na engenharia, em uma abordagem mais técnica. Este método pode ser dividido em quatro etapas básicas: Clarificação das tarefas ou Projeto informacional (*clarification of the tasks*); Projeto conceitual (*Conceptual design*); Projeto preliminar (*Embodiment design*); e Projeto detalhado (*Detail design*).

Esta metodologia proposta por Pahl e Beitz, propõe a utilização de ferramentas computacionais para auxílio no desenvolvimento de projetos, utilizando *softwares* de desenhos na fase do projeto conceitual por exemplo, sendo esta umas das técnicas utilizadas para o desenvolvimento deste projeto.

Foi clara a necessidade da utilização de *softwares* de desenhos computacionais em formatos tridimensionais, visto que o projeto possui uma estrutura

interna complexa, qual seria de grande dificuldade expor todos os componentes e ao mesmo tempo dimensioná-los.

2.3.1 Projeto Informacional

Nesta etapa do projeto, foi abordado as principais necessidades para obtenção dos resultados esperados, sendo basicamente o planejamento incorporado as especificações e premissas do projeto.

Tendo como objetivo a clareza das necessidades a qual o produto se destina, utilizando de ferramentas de pesquisas para obter informações de produtos já existentes no mercado, e suprimindo assim a necessidade de uma base para o início do presente projeto.

Ao final desta etapa, foi possível a identificação das reais necessidades e requisitos esperados para o produto.

2.3.2 Projeto Conceitual

O projeto conceitual é a seleção do conceito mais próximo e adequado ao que o produto se destina, através de uma lista de vários conceitos possíveis já pré-existentes (BAXTER, 1998).

Após levantada todas as informações necessárias sobre suas especificações com base em suas funções, é realizada uma síntese para melhor entendimento e identificação de possíveis problemas, visando a solução destes problemas ainda na fase de planejamento.

Uma das principais etapas do Projeto conceitual, é a avaliação das variantes de concepção contra os critérios técnicos e econômicos (AMARAL, 2006). A partir das informações colhidas da etapa anterior e da etapa atual, é possível obter um modelo de produto que alcance os requisitos esperados e seja a concepção adequada da ideia inicial.

2.3.3 Projeto Preliminar

Esta fase do projeto, segue o processo a partir da fase de concepção do produto, após evidenciados soluções alternativas para prováveis erros futuros, sendo apresentadas com maiores detalhes nesta fase de projeto preliminar (AMARAL, 2006).

Segundo Pahl & Beitz (2005), a fase preliminar do projeto é desenvolvida com base nos critérios técnicos e econômicos, evidenciando dimensões e materiais, procedimentos de produção e execução, para que a etapa de projeto detalhado leve diretamente ao processo de produção do produto.

2.3.4 Projeto Detalhado

Por fim esta fase do projeto completa o ciclo, tendo como objetivo o desenvolvimento e a finalização das especificações, sendo enviado a fase de manufatura e execução. Esta fase do projeto, ocorre a integração dos componentes, subsistemas e sistemas até o produto final, completando a concepção do produto a fim de obter o produto integrado, através do detalhamento das tolerâncias de seus parâmetros e das especificações exigidas no projeto informacional (AMARAL, 2006).

Para este momento, não foi considerado a etapa de projeto detalhado, uma vez que se trata de um projeto e fabricação de um protótipo de um triturador.

A etapa do projeto detalhado, apenas tem início após a validação do protótipo e de todas as etapas anteriores, considerando as necessidades e modificações encontradas na fase de prototipagem.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO INFORMACIONAL

O principal objetivo do projeto informacional, foi desenvolver um conjunto de informações e especificações que forneceram uma base sólida para a descrição das atividades a que o protótipo se destina. Para obtenção das informações e especificações, foi elaborado um conjunto de informações baseando-se nos requisitos do protótipo e no levantamento das necessidades existentes.

3.1.1 Requisitos de Protótipo

Através de uma breve pesquisa sobre o tema, foi possível elencar alguns aspectos relevantes para obter um conjunto de requisitos necessários para a concepção do protótipo inicial.

Como proposta inicial, foi sugerido que o protótipo do equipamento *shredder* seja concebido de forma mais simples, barata e eficaz, sendo possível desenvolvê-lo utilizando ferramentas e equipamentos presentes na UTFPR-PG, e a possível utilização de materiais encontrados na universidade. Sendo a função principal deste equipamento, a trituração de materiais poliméricos em *flakes*, para a utilização deste substrato em uma máquina extrusora de plásticos que está em processo de desenvolvimento na UTFPR-PG. Tal função desempenhada através de componentes rotativos cortantes, efetuando o processo de trituração através do corte por cisalhamento.

O equipamento *shredder* deve apresentar total segurança para o operador no momento que estiver desligado e em funcionamento, sendo possível operá-lo de forma fácil e versátil, de maneira a não oferecer risco eminente em hipótese alguma.

Com tamanho adequado a processar pequenas quantidades de plásticos por vez, o equipamento deve conter dimensões equivalentes à sua capacidade de trituração, sendo um equipamento de pequeno porte, visando a versatilidade e a economia de material em sua fabricação.

3.1.2 Levantamento das Necessidades

As principais necessidades deste projeto, foram obtidas através de reuniões junto ao orientador do projeto, assim como os requisitos. Desta maneira foi possível eleger as principais necessidades presentes neste projeto.

A começar pela necessidade de um equipamento que permita a trituração de materiais poliméricos, dando continuidade ao processo de reciclagem. Esta necessidade se dá pela utilização de um substrato de plástico necessário para utilização em máquinas extrusoras, a qual faz a fusão dos materiais poliméricos através de altas temperaturas, transformando o substrato em matéria prima chamada *pellets* (MANRICH, 2005).

A máquina extrusora que está sendo desenvolvida na UTFPR-PG, necessita de pequenos flocos conhecidos como *flakes*, provindos do processo de trituração. Para este protótipo, foi estipulado um tamanho aproximado para os flakes de 8mm em suas laterais.

Sabendo desta necessidade, o desenvolvimento do equipamento *shredder* deve se basear nesta condição, possuindo o dimensionamento necessário do tamanho das lâminas de corte, sendo possível a determinação do tamanho dos *flakes* esperados. E para a certeza da efetividade desta condição, existe a necessidade da utilização de um componente em forma de peneira, possuindo tamanho de “mesh” adequado para seleção ideal dos *flakes*, para que voltem a ser triturados até o tamanho determinado pela peneira.

O equipamento deve ser projetado de uma maneira fácil de ser operado, não havendo necessidade de instruções mais específicas sobre o funcionamento da máquina, visando a versatilidade e rapidez de sua operação.

3.2 DESENVOLVIMENTO PROJETO CONCEITUAL

A concepção do projeto, é a etapa que subsegue após o esclarecimento das necessidades e requisitos, e busca princípios apropriados para o funcionamento, definindo a solução preliminar do projeto (PAHL *et al.*, 2005).

Nesta etapa do projeto, foram descritas tarefas de desenvolvimento, exemplificando especificações do protótipo, modelando-o de forma funcional e assim gerando o modelo conceitual final para desenvolvimento do equipamento.

Segundo Amaral (2006), a concepção final do equipamento deve atender as especificações e metas descritas no projeto informacional. Esta concepção está relacionada com a criação e projeção de uma melhor solução de desenvolvimento, com base em métodos apropriados que se apoiam nas necessidades e requisitos que foram definidos.

Em um primeiro momento, o modelo funcional do equipamento foi determinado de forma abstrata, apresentando a função global do equipamento, em seguida sendo desdobrado em uma estrutura de funções baseada nos requisitos e necessidades apresentados no projeto informacional. Após a obtenção de uma estrutura pré-definida utilizando o método da matriz morfológica, foi avaliada a partir do ponto de vista de critérios técnicos e econômicos, visando o melhor aproveitamento dos recursos existentes.

3.2.1 Modelo Funcional do Equipamento

Como função global, o equipamento apresenta a necessidade de transformar materiais plásticos como garrafas e potes, em pequenos flocos através do processo de trituração por cisalhamento. Este processo ocorre pela passagem dos materiais a serem processados, por lâminas rotativas capazes de fragmentar o material a uma dimensão específica.

Com base na função principal do equipamento, é possível desdobrá-la em uma estrutura de suas funções apoiando-se nos requisitos e necessidades já definidos. Essa estrutura de funções será apresentada na forma de uma matriz morfológica, com a finalidade de ser decidido uma solução mais adequada para o desenvolvimento do protótipo. A matriz morfológica facilita a exploração e a visualização das opções de

funções exigidas, possibilitando a combinação mais adequada que atenda às necessidades do produto (AMARAL, 2006).

Assim, a técnica da matriz morfológica tem grande importância no projeto conceitual, pois evidencia a análise e a combinação de princípios de solução, gerando um grande número de possibilidades de associações buscando a solução final em um curto espaço de tempo. A seguir a figura 7 ilustra a matriz morfológica de estrutura de funções.

Figura 7– Matriz morfológica de estrutura de funções

Solução	Requisitos			Necessidades		
	Trituração	Segurança	Versatilidade	Dimensão dos flakes	Fácil operação	Eficácia
	Defasagem das lâminas	Botão de emergência	Pequeno porte	Dimensão das lâminas	Alimentação manual	Material resistente ao desgaste
	Eixo único	Funil para proteção	Médio porte	Espaçamento das lâminas	-	Quantidade de lâminas
	Eixo duplo	Rotação reversa	Grande porte	Peneira de seleção	-	-
	Eixo quádruplo	Sem funil	-	-	-	-

Fonte: Autoria própria (2018)

Através do método da matriz morfológica foi possível definir uma solução mais adequada para o desenvolvimento da concepção do projeto, sendo a escolha das funções baseadas no projeto informacional. A escolha da solução mais adequada foi um conceito de protótipo que tenha na estrutura os componentes mais importantes definidos pela matriz morfológica, que são: Eixo único, defasagem das lâminas, funil de proteção, rotação reversa do motor, e que tenha dimensões consideradas de pequeno porte para a dimensão dos *flakes*, leva-se em consideração o tamanho das lâminas, espaçamento das lâminas e considera-se o uso de uma peneira de seleção, a alimentação deve ser de forma manual, o material resistente ao desgaste e por fim, quantidade adequada de lâminas. A seguir uma breve descrição dos detalhes da escolha da solução e dos componentes e suas funções definidas.

3.2.1.1 Detalhamento da solução escolhida

Após a escolha da solução mais adequada, foi apresentado um breve detalhamento das funções de cada componente presentes na solução escolhida.

Eixo único – A proposta do eixo único é desempenhar a mesma função do esquema com eixo duplo, porém utilizando apenas um eixo com lâminas acopladas,

que se opõem a lâminas fixas presentes na lateral do equipamento. Esta proposta visa a economia de material, e a facilidade para se projetar o equipamento.

Defasagem das lâminas – Faz-se necessário a existência de uma defasagem na configuração das lâminas, possibilitando que o conjunto de lâminas exerça a função de puxar o material no momento que é triturado.

Funil de proteção – Com relação à segurança, esta foi a forma mais adequada de proteção, pela simplicidade e eficiência. O funil de proteção ficará disposto acima da caixa onde o eixo com as lâminas estarão, tendo a finalidade de assegurar que nenhum projétil seja lançado em direção ao operador. Outra finalidade deste componente é proporcionar apenas um caminho para os materiais, forçando-os diretamente para as lâminas de corte.

Rotação reversa – Para que o material não venha a travar o movimento do eixo de forma a danificar o motor, e facilitando o movimento em caso de um acidente, existe a necessidade da rotação reversa do eixo em conjunto com as lâminas.

Pequeno porte – Visando a versatilidade e a economia de material para fabricação, foi proposto que o equipamento apresente dimensões consideradas de pequeno porte, sendo possível a instalação do equipamento em qualquer sala ou laboratório.

Tamanho das lâminas – Esta condição deverá estar de acordo com a escolha anterior, não se opondo as dimensões consideradas como pequeno porte.

Espaçamento das lâminas – Esta decisão reflete diretamente no tamanho de partícula resultante do processo de trituração, sendo esta uma decisão essencial no momento do dimensionamento. O espaçamento deverá ser dimensionado de forma a produzir flocos com tamanho aproximado de 8mm.

Peneira de seleção – Este componente tem a função de garantir a dimensão dos flocos proposta pela condição anterior. Sendo esta peneira composta por “mesh” com dimensões de 8mm e sendo disposta abaixo das lâminas de corte, de forma a assegurar a realimentação das lâminas de corte pelos materiais reincidentes que não foram selecionados pela peneira. O espaçamento entre a peneira e as lâminas deve ser de tal forma que as próprias lâminas puxem os materiais que não passaram pela peneira, de forma a forçá-los a passarem novamente pelo processo de trituração.

Alimentação manual – Esta condição tem como objetivo facilitar a operação, e fornecer o controle da quantidade de material que alimenta o equipamento, desta forma não existindo a necessidade da automatização do processo de alimentação.

Material resistente ao desgaste – Devido ao alto contato com material e ao contato com o conjunto de lâminas fixas, um material com propriedades resistentes ao desgaste faz-se necessário para eficácia do projeto.

Quantidade adequada de lâminas – A escolha adequada para a quantidade de lâminas é muito importante para o projeto, pois tem impacto na eficácia, custo, dimensões e tempo de fabricação.

3.2.1.2 Descrição e avaliação da solução escolhida

Nesta seção foi descrito e avaliado de uma forma breve a solução escolhida, evidenciando o motivo da escolha ser mais adequada.

- Descrição: A solução escolhida parte do conceito de um equipamento possuindo um eixo simples com lâminas de corte sobrepostas e espaçadas, em conjunto com lâminas fixas entrepostas em seus vãos. Como componente de segurança, um funil acima do nível de trituração para promover a proteção contra a projeção do material para fora do acoplamento, e o afunilamento do caminho para alimentação do equipamento. A dimensão dos *flakes* promovida pelo dimensionamento correto das lâminas de corte e de seus espaçamentos, considerando a utilização de uma peneira acoplada para a seleção da dimensão dos flocos proposta. O material das lâminas deverá apresentar resistência ao desgaste, aumentando o tempo de vida útil do conjunto de lâminas, e evitando o desgaste exagerado provocado pelo contato com os demais componentes.

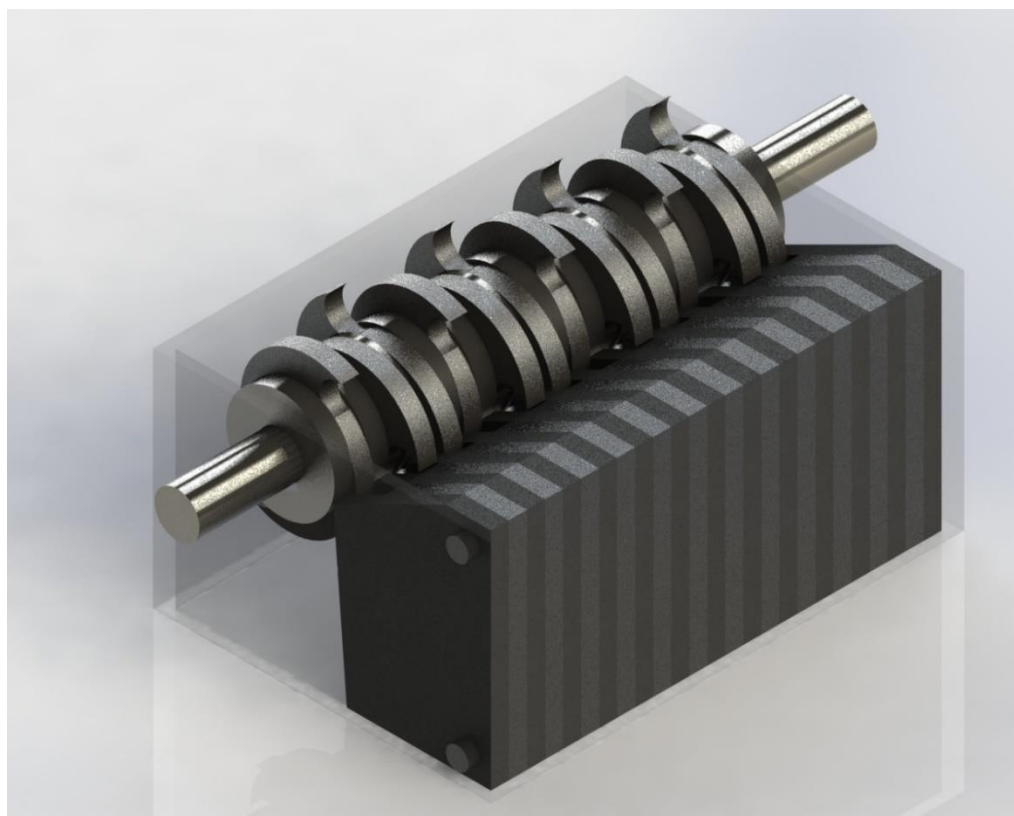
- Avaliação: Esta solução proposta para o protótipo está de acordo com critérios de economia e versatilidade, se tratando de uma versão simplificada de um triturador convencional. Esta condição é válida pelo fato de nesta versão de eixo simples não haver a necessidade da utilização de engrenagens, contribuindo para o tempo de desenvolvimento e facilitando o processo de fabricação. Do ponto de vista mecânico o equipamento apresenta condições suficientes para o cumprimento de sua tarefa, possibilitando a trituração do material de uma forma simples e eficaz.

Mesmo sabendo da importância de se considerar todos os requisitos do projeto, para este momento de prototipagem, não foram levados em consideração os requisitos de segurança tais como funil de alimentação, rotação reversa do motor e também a peneira de seleção de tamanhos do material triturado. Para esta fase de

prototipagem, o objetivo é determinar o tamanho de lâminas, porte do equipamento e validação da funcionalidade do mecanismo.

A figura 8, ilustra a concepção da solução escolhida.

Figura 8– Concepção da solução escolhida



Fonte: Autoria própria (2017)

Considerando esta análise da solução escolhida, esta opção para o conceito do equipamento está de acordo com os requisitos e necessidades do projeto para a fase de prototipagem, uma vez cumprindo com sua principal função.

3.3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO PRELIMINAR

Segundo Pahl & Beitz (2005), após a etapa de concepção, e a solução básica sendo definida através da estrutura de funcionamento, faz-se necessária a configuração concreta da ideia iniciado no projeto informacional.

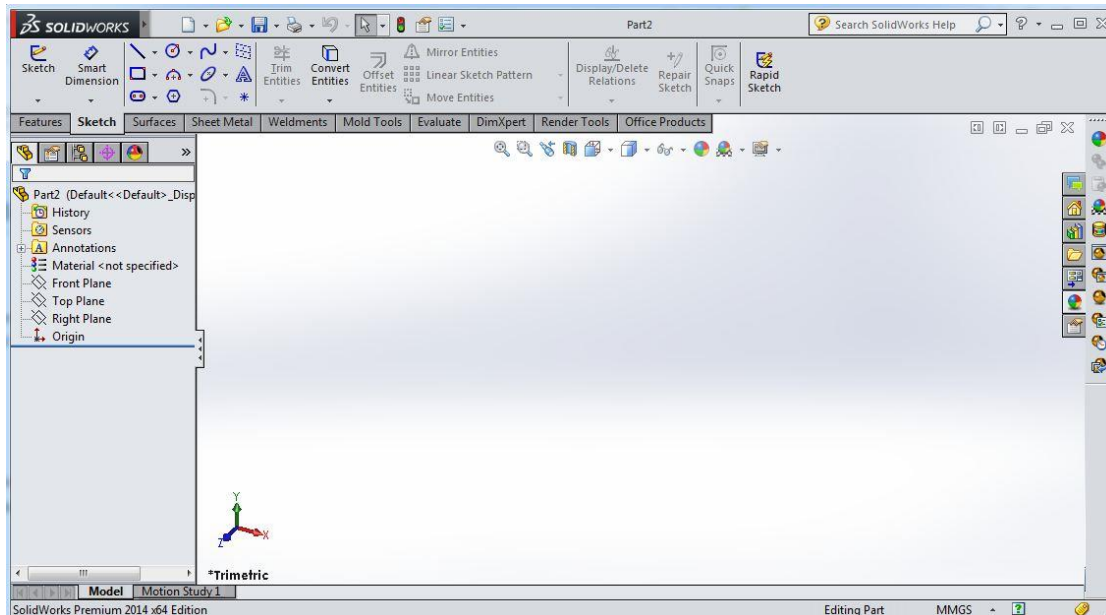
Neste momento, é exigido a escolha do material, os processos de manufatura, principais dimensões e as funções auxiliares consequentes (PAHL *et al.*, 2005).

Esta etapa do projeto parte da concepção obtida no projeto conceitual, partindo de um conceito mais técnico, faz-se necessária a concepção final do equipamento através do modelo 3D utilizando tecnologia CAD, promovendo o desenvolvimento do projeto de acordo com critérios técnicos e econômicos. A partir da concepção definida anteriormente, foi possível apresentar algumas dimensões, procedimentos de fabricação, materiais e prototipagem, amparando-se a informações anteriores e levando o projeto diretamente ao processo final de execução.

3.3.1 Software CAD

Com o pré-projeto acabado, após a definição de requisitos, necessidades e a obtenção da concepção mais adequada, faz-se necessário o modelamento 3D. Utilizando o *software SolidWorks® 2014*, os componentes do equipamento foram modelados evidenciando sua estrutura de funções, mostrada na figura 9.

Figura 9 - Interface software SolidWorks® 2014



Fonte: Autoria própria (2018)

3.3.2 Materiais

Para escolha dos materiais foi necessário levar em consideração as condições do serviço, além dos atributos técnicos é importante a verificação da disponibilidade

do material. Seguindo a proposta inicial considerada como requisito para o desenvolvimento do projeto, qual o equipamento seja concebido de forma a promover uma economia no momento de sua fabricação, propõe-se a utilização de materiais disponíveis na UTFPR-PG.

Considerando suas funções, e assumindo o esforço que seus componentes serão submetidos, é possível a utilização do aço ABNT 1045 de forma majoritária na sua fabricação, levando em consideração que este material está disponível nos depósitos da universidade.

3.3.2.1 Aço ABNT1045

Segundo a NBR 172/2000 o aço ABNT 1045 está classificado como aço para construção mecânica, e são definidos pelas características predominantes da aplicação na fabricação de peças ou componentes mecânicos, podendo ter suas propriedades alteradas através de tratamentos térmicos. O aço ABNT 1045 apresenta elevada dureza, comumente utilizado em ferramentas de corte, peças de grande dureza, trilhos e molas.

3.3.2.2 Hardox ® 400

Segundo a fabricante do produto, o Hardox ® 400 consiste e um aço de alta resistência a abrasão, que possui dureza nominal de 400 HBW, sendo que graças a sua tenacidade é comumente usado em aplicações pela qual existe a necessidade de resistir ao desgaste abrasivo moderado (SSAB, 2018).

3.3.3 Processo de Fabricação

Após a escolha do material, os processos de fabricação e execução são definidos, tratando-se de materiais metálicos e da construção mecânica de um equipamento, a utilização de processos de usinagem foi necessária.

3.3.3.1 Usinagem convencional

Segundo Ferraresi (1970) operações de usinagem são definidas por qualquer processo que ao conferir a forma, a dimensão e o acabamento, produza a retirada de uma porção de material pela ferramenta, denominada cavaco.

Sendo os processos mais comuns de usinagem utilizados no projeto, são o torneamento, a furação e o fresamento, utilizando as definições segundo Ferraresi (1970).

Grande parte da fabricação do protótipo, foi utilizado usinagem convencional com equipamentos presentes na UTFPR-PG.

3.3.3.2 Corte a laser

Tratando-se de um processo não convencional de usinagem, pode se considerar bastante versátil e prático, que apresenta um alto grau de precisão de corte é o processo de corte a laser, podendo produzir cortes complexos que outros processos de corte não são capazes.

O processo de corte a laser, se dá através de um elevado feixe de luz com uma alta densidade de energia direcionada sobre a peça, produzindo um aquecimento pontual, gerando uma fusão instantânea e a evaporação total ou parcial do material (SILVA, 2008).

Este processo foi utilizado para fabricação do protótipo do conjunto de lâminas, visto que existe uma riqueza de detalhes e pequenas tolerâncias para o conjunto.

3.3.4 Protótipo

Devido à complexidade do equipamento, e para completa validação do projeto, a fabricação de protótipos valoriza o processo de desenvolvimento do produto, evitando falhas e prejuízos consideráveis na etapa final do projeto detalhado.

São conhecidos como protótipos, modelos construídos com base nas especificações do projeto, tendo o objetivo de simular a funcionalidade e possibilidades de serviços que futuramente serão desenvolvidos, sendo o resultado de pesquisas, possibilitando mudanças e implementações de novos conceitos antes da fase final do projeto (ENDEAVOR BRASIL, 2015).

Segundo Nascimento (2013), a maneira mais rápida de se aproximar de um projeto, é através dos protótipos, podendo estes serem classificados em três tipos:

- Baixa fidelidade, através de rascunhos.
- Média fidelidade, apresentando o *layout* básico do projeto.
- Alta fidelidade, representando um modelo funcional do produto a ser desenvolvido.

Com base nesses conceitos apresentados sobre protótipos, um modelo de alta fidelidade foi proposto no decorrer deste trabalho.

Esta etapa, tem o objetivo de validar a funcionalidade do mecanismo, verificando a eficácia do equipamento com relação ao conjunto de lâminas, proposta no modelo conceitual e verificação das necessidades reais antes da fase de detalhamento do projeto.

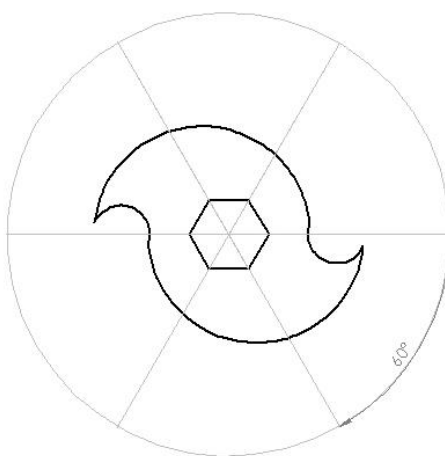
3.3.4.1 Especificações do Protótipo

Baseando-se nas etapas anteriores, e na solução proposta na etapa de concepção do produto, existe a necessidade da especificação das funcionalidades, componentes, materiais e decisões tomadas para a fase de prototipagem do produto.

3.3.4.1.1. *Design* e tamanho de lâminas rotativas

Para o *design* das lâminas rotativas, foi considerado a presença de um furo sextavado no centro do disco que proporcionasse a defasagem de 60° para uma lâmina a outra, possibilitando que o material seja cortado 12 vezes a cada rotação completa do eixo, ou seja cada aresta de corte tenha a capacidade de cortar 6 vezes o material em uma volta completa do eixo, mostrado na figura 10.

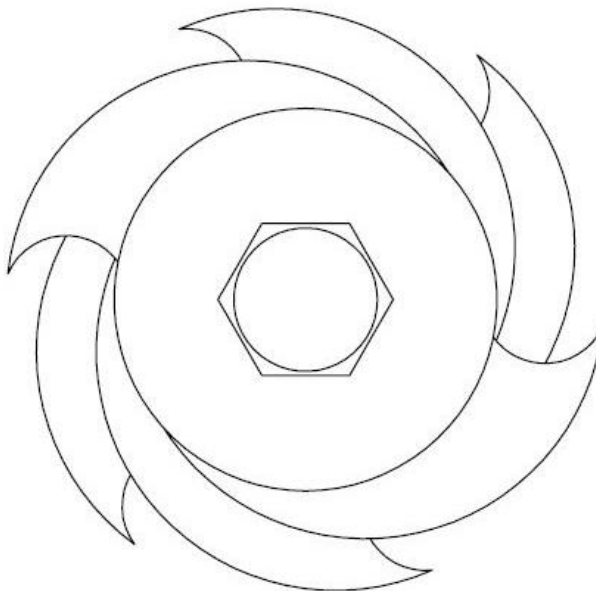
Figura 10 – Design da lâmina rotativa.



Fonte: Aatoria própria (2018)

A seguir na figura 11 um esquema com todas as lâminas montadas, para entendimento da configuração da montagem.

Figura 11 -Lâminas montadas

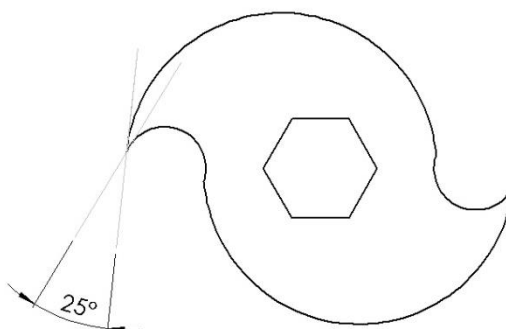


Fonte: Aatoria própria (2018)

Com a utilização dessa configuração, é possível fornecer rapidez e eficiência ao processo, sem a necessidade de forçar o motor com mais dentes em contatos, aumentando o torque aplicado ao eixo.

A angulação da aresta de corte formada pelos dentes, foi considerado o ângulo de cunha de 25° , possibilitando uma aresta bastante aguda, ilustrada na figura 12.

Figura 12 - Ângulo de cunha lâmina rotativa

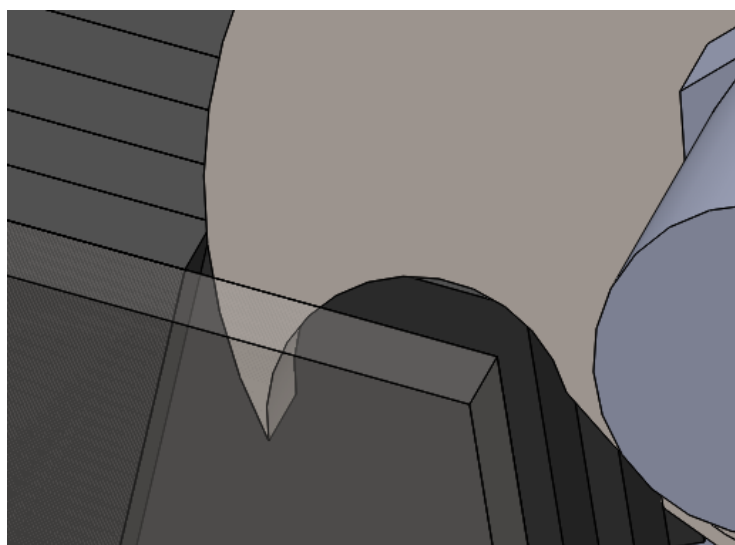


Fonte: Autoria própria (2018)

Para o protótipo em questão, foi considerado este ângulo de cunha amparando-se no fato de que o material a ser processado é consideravelmente menos duro que o material das lâminas, proporcionando assim um corte mais preciso sem o risco da aresta de corte sofrer algum dano, devido sua pequena angulação.

A configuração das lâminas, além de proporcionar o corte através da cunha da lâmina, promove o corte do material através do cisalhamento entre as superfícies de contato das lâminas fixas, com as lâminas móveis, esquema que será detalhado na imagem a seguir na figura 13.

Figura 13 - Configuração das lâminas detalhado

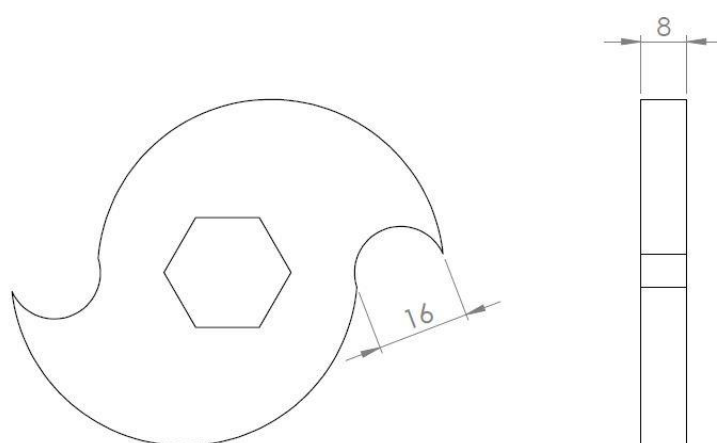


Fonte: Autoria própria (2018)

O tamanho das lâminas, foi dimensionado de acordo com a necessidade do projeto de fornecer um material triturado com tamanho aproximadamente de 8mm.

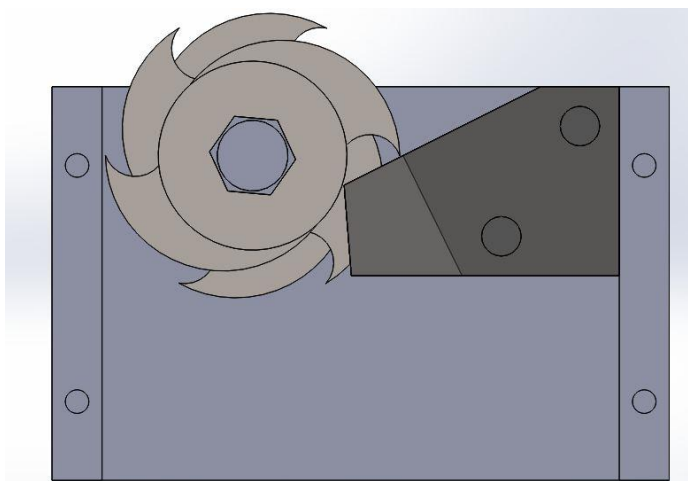
Buscou-se aproximar a área de corte de acordo com o mais próximo possível do tamanho da amostra a ser entregue, sendo de 8mm para a espessura, e 16 para a área de contato das lâminas fixas e rotativas. A figura 14 ilustra o dimensionamento da lâmina rotativa.

Figura 14 – Dimensionamento da lâmina rotativa.



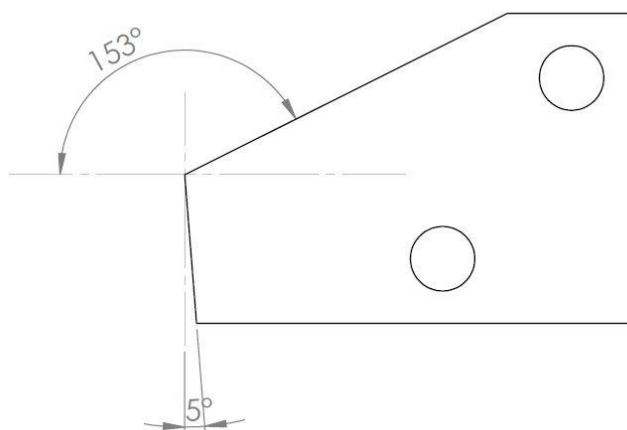
Fonte: Autoria própria (2018)

Buscou-se uma angulação para as lâminas fixas, onde a lâmina rotativa força o material contra elas, aplicando o movimento de tesoura, ocasionando assim o corte por cisalhamento, esquema mostrado na figura 15:

Figura 15 - Conjunto de lâminas montado

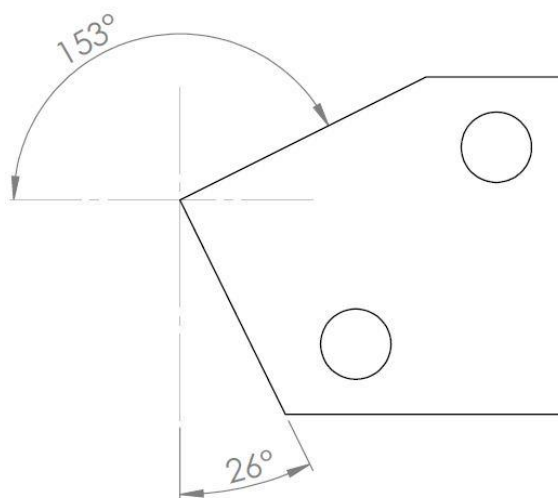
Fonte: Autoria própria (2018)

Design da lâmina B, evidenciando a angulação necessária para validação da teoria mostrada na figura 16.

Figura 16 - Lâmina fixa B

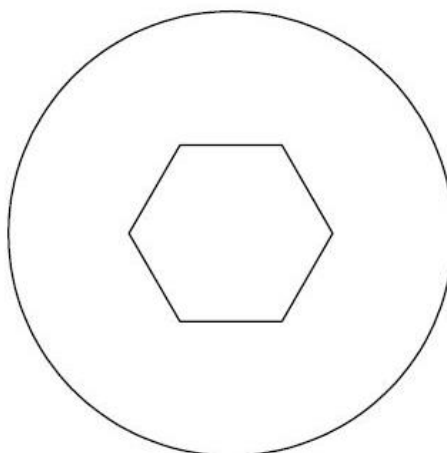
Fonte: Autoria própria (2018)

Design da lâmina A, evidenciando a angulação necessária que o conjunto mostrado na figura 17, seja possível.

Figura 17 - Design lâmina A

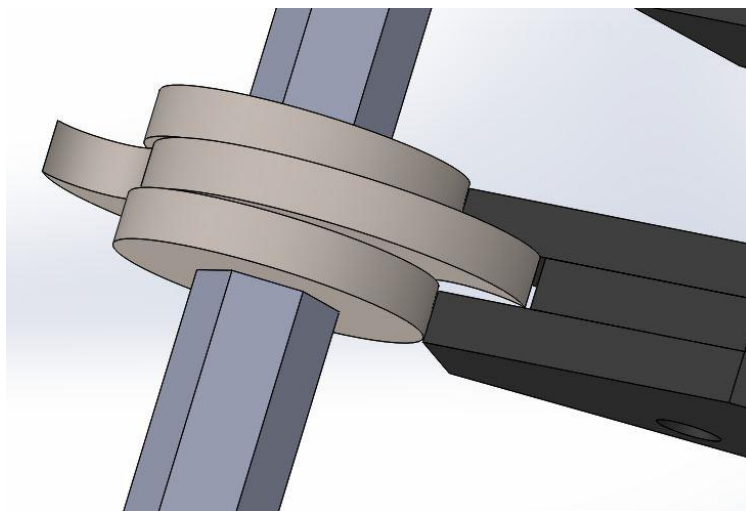
Fonte: Autoria própria (2018)

Para possibilitar a configuração do conjunto de lâminas, foi necessário a utilização de espaçadores com o mesmo padrão sextavado, e com a mesma espessura da lâmina B, evidenciado na figura 18.

Figura 18 - Design espaçador

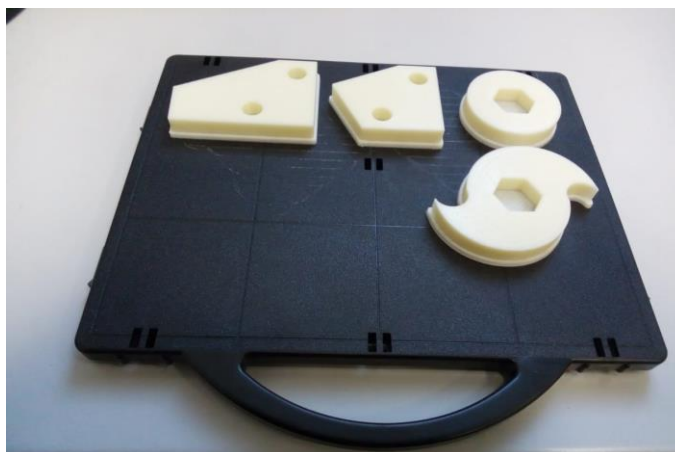
Fonte: Autoria própria (2018)

Esquema da montagem do conjunto de lâminas e dos espaçadores demonstrado em um modelo 3D, ilustrado na figura 19.

Figura 19 - Montagem conjunto de lâminas

Fonte: Aatoria própria (2018)

Após a escolha do design mais adequado para este momento inicial de prototipagem, fez-se necessário a impressão das lâminas utilizando uma impressora 3D, etapa crucial para a certificação do design adequado as necessidades do projeto, confirmação do tamanho adequado das lâminas e também da verificação do porte do equipamento, visualizado na figura 20.

Figura 20 - Bandeja com lâminas impressas 3D

Fonte: Aatoria própria (2018)

A figura 21, ilustra o conjunto de lâminas após a limpeza e a retirada do material em excesso e das rebarbas causadas pelo processo.

Figura 21 - Lâminas impressas na impressora 3D



Fonte: Aatoria própria (2018)

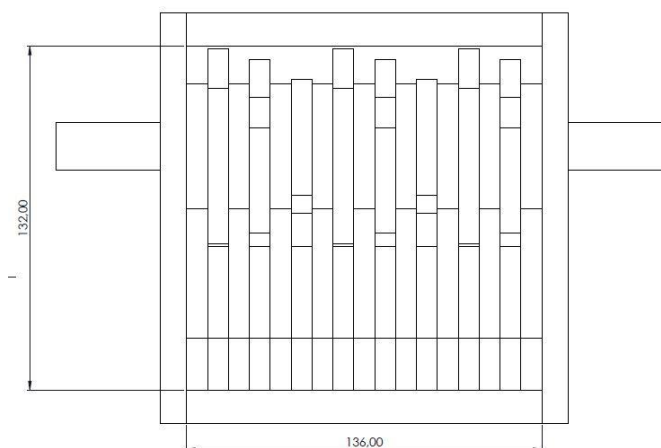
Considerando as informações anteriores, foi possível encontrar um tamanho adequado para a estrutura do equipamento.

3.3.4.2 Estrutura do protótipo

Após o dimensionamento dos componentes de corte, foi desenhado a estrutura qual fornecerá todo suporte ao conjunto de lâminas.

Considerando a necessidade do equipamento apresentar um pequeno porte, e baseando-se nas lâminas impressas foi possível encontrar o tamanho ideal para não ultrapassar o requisito encontrado no projeto conceitual. Com a percepção encontrada, foi desenvolvido a estrutura demonstrada na figura 22.

Figura 22 - Esquema da montagem da estrutura do dispositivo.



Fonte: Aatoria própria (2018)

Para esta configuração, foi utilizado o conjunto com oito lâminas móveis, nove lâminas fixas B e oito lâminas fixas A, junto aos nove espaçadores necessários.

A posição de cada lâmina foi determinada pelos lados do deixo sextavado, montando uma 60° a mais que outra, obtendo esta sequência por todo o conjunto.

3.3.4.3 Lista de materiais

O objetivo maior na escolha dos materiais utilizados para a fabricação do protótipo, foi agregar valor ao projeto com materiais que se adequassem as funções pré-estabelecidas na fase do projeto conceitual, quanto ao menor custo possível.

Lembrando que a necessidade de um material resistente ao desgaste foi identificada nas fases anteriores, porém por tratar-se de um protótipo, considerou-se aplicar esta necessidade apenas nos componentes nos quais o desgaste maior seria evidente. Na figura 23 é possível observarmos a lista de materiais.

Figura 23 - Imagem com a lista de materiais

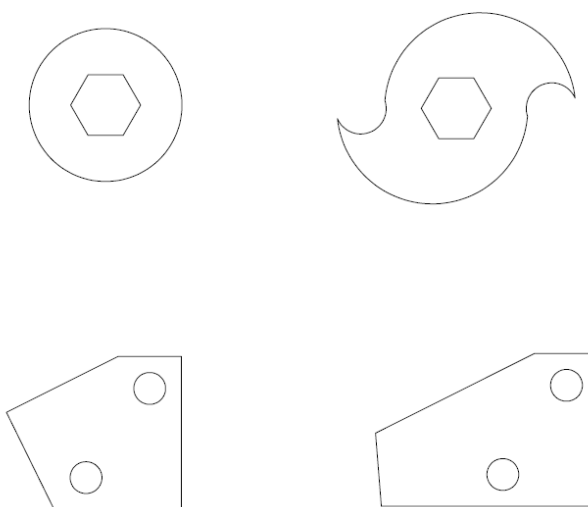
Lista de materiais			
Peça		Material	Quantidade
Lâmina		Aço Hardox	12
Lâmina Fixa B		Aço 1045	12
Lâmina Fixa A		Aço Hardox	13
Separador		Aço 1045	13
Eixo Sextavado		Aço 1045	1
Chapa Frontal		Aço 1045	2
Chapa Lateral		Aço 1045	2
Fixadores		Aço 1045	2
Parafuso M6x25mm	-		8

Fonte: Autoria própria (2018)

3.3.5 Fabricação do Protótipo

A primeira etapa após o design final do protótipo, foi a fabricação do conjunto de lâminas, buscando o melhor acabamento e a maior precisão das dimensões, optou-se por cortá-las a laser em uma empresa local na cidade de Ponta Grossa-PR. A figura 24, exemplifica os desenhos fornecidos a empresa em formato DXF.

Figura 24 - Desenhos fornecidos a empresa no formato DXF



Fonte: Autoria própria (2018)

Porém o resultado não foi como o esperado, devido ao acabamento provocado pelo feixe do laser, qual provocou estrias nas áreas de contato com o material cortado, evidenciado na figura 25.

Figura 25 – Fotografia da lâmina rotativa mostrando as estrias causadas pelo corte a laser.



Fonte: Autoria própria (2018)

A seguir, o conjunto de imagens mostrando o resultado final do processo de corte a laser. A figura 26 demonstra a lâmina rotativa cortada a laser.

Figura 26 - Lâmina rotativa cortada a laser



Fonte: Aatoria própria (2018)

A seguir lâmina fixa B, após o processo de corte a laser mostrada na figura 27.

Figura 27 - Lâmina fixa B cortada a laser



Fonte: Aatoria própria (2018)

A seguir na figura 28 a lâmina fixa A após o processo de corte a laser:

Figura 28 - Lâmina fixa A cortada a laser



Fonte: Autoria própria (2018)

A figura 29, mostra o espaçador após o processo de corte a laser.

Figura 29 - Espaçador cortado a laser



Fonte: Autoria própria (2018)

Processo de furação da chapa lateral para comportar o conjunto de lâminas fixas e rotativas, demonstrado na figura 30.

Figura 30 - Furação chapa lateral



Fonte: Autoria própria (2018)

Processo de furação da chapa frontal para comportar o conjunto de lâminas fixas e rotativas, demonstrado na figura 31.

Figura 31 - Furação chapa frontal



Fonte: Autoria própria (2018)

O eixo sextavado mostrado a seguir na figura 32 foi fabricado junto a um fornecedor localizado na cidade de Ponta Grossa-PR.

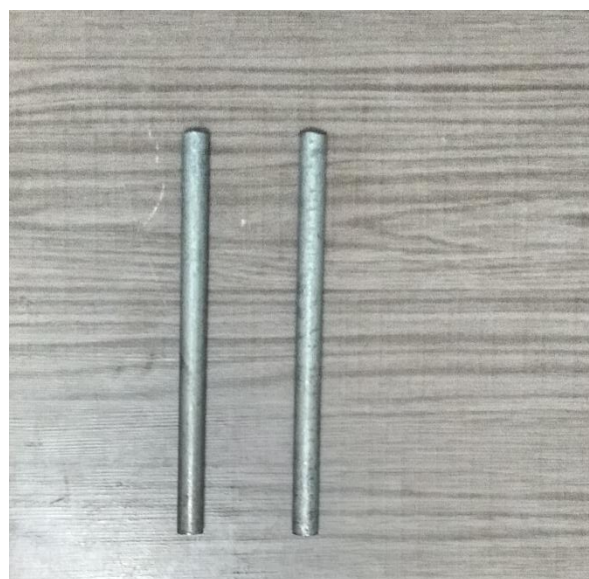
Figura 32 - Eixo sextavado



Fonte: Autoria própria (2018)

Fixadores desenvolvidos com o objetivo de manter as lâminas fixas na estrutura do equipamento, mostrado na figura 33.

Figura 33 - Fixadores



Fonte: Autoria própria (2018)

A seguir será mostrado a figura 34 com o resultado final de todos os processos de fabricação e montagem, resultando no protótipo já montado e pronto para teste.

Figura 34 - Montagem de todos os componentes



Fonte: Autoria própria (2018)

4 RESULTADOS OBTIDOS

Buscando a validação das funcionalidades do mecanismo, da configuração, design e do tamanho das lâminas, os resultados serão apresentados a seguir. Em um segundo momento, baseando-se nos resultados obtidos, foi possível identificar melhorias para a continuação do projeto.

Devido à falta de investimento para instalação de um motor rotativo ao equipamento, em um primeiro momento foi aplicado um esforço manual possibilitando a trituração da amostra, através do esforço rotacional ao eixo, foi possível alcançar o resultado esperado para a constatação da funcionalidade do mecanismo, em uma escala menor de força. A figura 35 demonstra o esforço manual aplicado.

Figura 35 – Força rotacional aplicada ao eixo



Fonte: Autoria própria (2018)

Para a verificação das funcionalidades em uma escala menor de força, foi usado como amostra uma folha de papel A4 cortada ao meio, uma vez que o objetivo fosse a constatação do comportamento das lâminas quando em contato com

algum material, e a constatação do tamanho do material triturado utilizando a configuração atual. A figura 36 mostra a amostra sendo triturada.

Figura 36 - Amostra de papel sendo triturada.



Fonte: Autoria própria (2018)

Amostragem do material após o processo de trituração, evidenciado o tamanho dos fragmentos. A seguir a figura 37 possibilita a visualização do material triturado.

Figura 37 - Material triturado



Fonte: Autoria própria

Foi constatado que o material triturado em sua maioria apresentou tamanhos que variam de 5~10mm aproximadamente, porém apresentou pedaços maiores que passaram por entre as lâminas parcialmente triturados com tamanhos irregulares de 30mm.

Com este resultado, fica fácil evidenciar a necessidade de uma peneira para separação do material, pois a grande variedade de tamanhos torna o material inadequado para uso em máquinas de extrusão. A utilização de peneiras teria o objetivo de selecionar o material triturado a um tamanho específico.

Considerando o resultado final, pode-se concluir que o design da lâmina apresentou boa capacidade de corte, mesmo em uma escala menor de força, a configuração das lâminas promoveu um movimento que foi capaz de puxar grande parte do material para ser triturado.

Outro ponto a ser considerado, foi a necessidade de um movimento reverso de rotação, para o caso de o material enroscar e forçar o motor, ou até mesmo quebrar alguma lâmina.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento de um novo produto, consiste em várias etapas e muito esforço por parte do responsável, é evidente que para o alcance do sucesso, todas as etapas devem ser seguidas à risca.

Seguindo métodos do PDP, evidenciando prováveis complicações nas fases de produção do produto, a utilização dos métodos facilitou o desenvolvimento e fabricação do projeto. Para um produto em desenvolvimento, fica clara a importância da fase de prototipagem, uma vez que com o protótipo fabricado, é relativamente fácil a alteração, e possibilita modificações, inclusão de componentes e funções auxiliares.

Através da fase de prototipagem deste projeto, sendo o principal objetivo do trabalho, foi possível validar a capacidade de corte e trituração do mecanismo, através do resultado obtido com o protótipo do equipamento. Foi também possível identificar algumas necessidades para o sucesso do equipamento, e elencar uma série de atividades a serem desenvolvidas antes da fase final de detalhamento do projeto.

O processo de fabricação utilizado mostrou suficiência, uma vez que o protótipo foi concluído, acordando com as especificações iniciais do projeto e não apresentando complicações na hora da sua execução.

Considerando os resultados encontrados, podemos elencar algumas melhorias e acrescentar algumas tarefas antes da etapa do projeto detalhado:

- Desenvolvimento de uma peneira capaz de refinar o material triturado a uma granulometria específica.
- Necessidade de um movimento reverso para alívio de pressão para o caso do material acumular e correr o risco de travar as lâminas.
- Desenvolvimento de um mecanismo para acoplar o eixo a um mancal em cada ponta do eixo, aliviando o atrito causado entre o eixo e a estrutura.
- Desenvolvimento de uma estrutura capaz de conter e fixar o equipamento juntamente a um motor.
- Instalação de um motor rotativo, que tenha capacidade de movimentar o eixo e exercer força necessária para trituração de diferentes tipos de materiais poliméricos.
- Desenvolvimento de um funil de proteção para proteger o operador do lançamento de fragmentos, e da exposição das lâminas.

Considerando a importância da reciclagem para o meio ambiente e para a diversidade de espécies presente no planeta, a fabricação de um equipamento que contribua para a reciclagem de materiais não degradáveis dando continuidade ao processo de trituração, se torna viável, pois além de promover a sustentabilidade através do reaproveitamento de materiais, também contribui para a melhoria da qualidade de vida de todos os seres vivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Critério de Classificação dos Aços**, NBR NM 172/2000. Rio de Janeiro, 2000.

AMARAL, **Gestão de Desenvolvimento de Produtos - Uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

BAXTER M. **Projeto de produto. Guia prático para o design de novos produtos**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2. ed., 2000.

BRANDRUP, J.; BITTNER, M.; MICHAELI, W.; MENGES, G. **Recycling and recovery of Plastics**. Hanser Publishers, Alemanha, 893 p. 1995.

CALLISTER, Jr., W. D., **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 7ª Ed. Rio de Janeiro, LTC, 2008.

CANEVAROLO Jr, S. V. **Ciência dos Polímeros** 2ª Edição "Sebastião V. Canevarolo Jr. Editora Artliber, 2006.

CONSUMO SUSTENTÁVEL: Manual de educação. Brasília: Consumers International/ MMA/MEC/IDEC, 2005. 160 p. Disponível em: portal.mec.gov.br/dmdocuments/publicacao8.pdf Acesso em: 19 abr. 2017.

ENDEAVOR BRASIL (2015). **Falhe rápido para falhar melhor: entenda os objetivos de se fazer um protótipo**. 2015. Disponível em: <https://endeavor.org.br/prototipo/>. Acesso em: 20 outubro de 2018.

FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais**. 15. ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA. 1970.

FORLIN, Flávio J.; FARIA, José A. F.. **Considerações Sobre a Reciclagem de Embalagens Plásticas. Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.12, n.1, p.1-10, abr. 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/v12n1/9876> Acesso em: 28 maio. 2017.

G. B. Dunstan, “**Shredder Plastic**”. Estados Unidos Patente US 8393562 B1, 10 Dezembro 2010.

INDUSTRIAL SHREDDERS, GRINDERS and SHREDDER SYSTEMS: Consideration of Shredders & Grinders for Recycling and Other Benefits. Disponível em: <http://www.wastecare.com/Articles/Shredders_Grinders.htm>. Acesso em: 19 abr. 2017.

K. Inoue, “**Shredding machine**”. Japão/Tokio Patente US4846413 A, 11 Julho 1989.

MANO, Eloisa Biasotto; PACHECO, Élen B. A. V.; BONELLI, Cláudia M. C. **Meio Ambiente, Poluição e Reciclagem**. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

MANRICH, Silvio. **Processamento de termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes**. São Paulo: Artliber, 2005.

PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang; FELDHUSEN, Jorg; GROTE, Kar I-Heinrich. **Projeto na Engenharia**. 1.^a Edição, Editora: Edgard Blucher, 2005.

PIRES, A.S., 2008. **Reciclagem de frascos plásticos de postos de gasolina**, disponível em http://www.sfiec.org.br/iel/bolsaderesiduos/Artigos/Artigo_Reciclagem_de_Plasticos.pdf, acessado em 28 maio 2017.

PGP SACOLAS. **Extrusão de granulado**. Disponível em: <<http://www.pgpsacolas.com.br/sacos-lixo-osasco-sp.html>>. Acesso em: 28 maio. 2017.

SILVA, Maria Ermelinda Ribeiro Da. **INSTALAÇÃO, TESTE E LANÇAMENTO EM EXPLORAÇÃO**. 2008. 90 f. Dissertação (Mestrado); Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.

SSAB. **Hardox 400 sheet**. 19, abr. 2017b. Disponível em: <<https://www.ssab.com.br/products/brands/hardox/products/hardox-400>>. Acesso em: 10 setembro 2018.

ANEXO A – Desenhos 2D de cada componente usado no desenvolvimento do protótipo.

