

# **DIMENSIONAMENTO DE UMA MÁQUINA FRAGMENTADORA DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

*Luis Carlos Galan Junior<sup>1</sup>*

*Daniel Fernando Silva<sup>2</sup>*

## **RESUMO**

Com o grande avanço da tecnologia deu-se início a uma nova era de máquinas e equipamentos que facilitam diversas atividades na atualidade, porém acarretou-se também, o aumento da produção de resíduos sólidos pela população, causando impactos enormes no meio ambiente. Visando reduzir este impacto, surgiu a necessidade de projetar uma máquina fragmentadora de resíduos sólidos, para auxiliar a coleta seletiva proveniente do projeto “Seu papel na coleta Seletiva da UniRV” na Universidade de Rio Verde, assim por meio deste artigo trabalhou-se na elaboração de um projeto de máquina, utilizando como base de referencial teórico livros e manuais, respeitando as normas regulamentadoras e modelos já existentes e definindo seus elementos, suas dimensões, o material à ser utilizado visando o uso de recicláveis e reutilizáveis, determinando a rotação de trabalho e a sua capacidade de fragmentação. Assim, realizada a simulação, em software de esforços atuantes, no equipamento, concluiu-se que, os parâmetros adotados correspondem com as normas e especificações já existentes, tornando possível a execução do projeto e a fabricação da máquina em questão.

Palavras-chave: Equipamentos. Meio Ambiente. Projeto. Reciclagem. Tecnologia.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade de Rio Verde, Rio Verde, GO.

<sup>2</sup> Orientador, Especialista em Engenharia da Manutenção.

# 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de novos projetos em máquinas e equipamentos, para otimizar os processos de produção, na indústria vêm evoluindo em um ritmo cada vez mais rápido, assim exigindo o envolvimento do profissional de engenharia, para dimensionar de forma correta estes equipamentos, evitando problemas relativos a segurança operacional do mesmo, bem como, evitar grandes prejuízos e garantir que este equipamento funcione de acordo com as especificações pré-determinadas, no projeto proposto, para desempenhar determinada função.

Diversos projetos de máquinas são desenvolvidos visando funções específicas, no que tange a proteção do meio ambiente, pois muitas indústrias e a sociedade em geral, estão produzindo grandes quantidades de resíduos, que estão tomando destino incorreto, por falta de conscientização de ambas as partes, gerando impactos ambientais irreversíveis. A falta de infraestrutura e planejamento, para a separação correta desses resíduos assumem grande parte destes impactos ambientais, outro fator a ser destacado, é a questão da reutilização dos mesmos, através da reciclagem.

Empresas públicas e privadas vêm buscando uma maneira de amenizar os impactos ambientais, que a destinação incorreta dos resíduos sólidos provoca, acarretou-se uma necessidade de projeção e dimensionamento de uma máquina, com o objetivo de fragmentar o resíduo sólido, criando uma facilidade no momento da separação e reduzindo o volume, que o mesmo ocuparia em sua forma original, assim pode-se citar o papel, que na maioria das vezes é descartado em aterros sanitários (lixões), e ao invés disto pode ser fragmentado e usado como combustível em caldeiras industriais na produção de calor.

Com a finalidade de desenvolver o projeto de uma máquina fragmentadora de resíduos sólidos, procurou-se embasamento teórico em livros, artigos e projetos similares já criados. E com o auxílio de softwares de dimensionamento e desenho técnico, para dimensionar e projetar tal máquina utilizou-se a base teórica de livros e também calculados e especificados os materiais, a serem utilizados bem como as forças e esforços, que a mesma irá sofrer, para obter-se um melhor resultado.

## 1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver e dimensionar uma máquina fragmentadora de resíduos sólidos, facilitando a separação dos mesmos, bem como a

reciclagem, assim diminuindo os impactos ambientais e viabilizando o projeto proposto.

Os objetivos específicos são:

- Dimensionar a máquina de acordo, com as normas e especificações existentes, na engenharia, realizar o projeto de maneira técnica com base no conhecimento adquirido durante o curso, e no conhecimento baseado em livros sobre o assunto abordado;

- Atender as normas de segurança em máquinas e equipamentos de acordo, com a NR12;

- Utilizar materiais de baixo custo leva-se em consideração também, o alto custo da máquina oferecida por empresas especializadas, na produção das mesmas;

- Atender o projeto: “Seu papel na coleta seletiva da UniRV”. Este projeto visa o descarte correto de resíduos gerados pela Universidade de Rio Verde, por meio da coleta seletiva, posteriormente estes resíduos coletados devem ser fragmentados, por meio da máquina fragmentadora idealizada neste projeto;

O equipamento deve fragmentar principalmente resíduos de papel.

## 1.2 REVISÃO DE LITERATURA

Para que formar uma base sobre a definição e a viabilidade de um projeto de máquina, verificou-se a fundamentação teórica e uma ampla base de propriedades, características e comportamentos de materiais, a seguir:

### 1.2.1 Desenvolvimento de um projeto

Os engenheiros devem estar aptos a detectar, elaborar e resolver problemas em seu cotidiano, estes possuem informações, nas quais ao serem organizadas de forma adequada obtém-se resultados práticos e úteis. Esta prática pode acarretar na criação de novos produtos, processos ou melhorias, assim, pode-se dizer que a resolução de problemas está diretamente ligada ao projeto, em que o profissional utiliza seus conhecimentos técnicos e científicos de maneira expressiva, para que obtenha sucesso na realização de tal tarefa. (BAZZO, 2006).

O termo projeto vêm da necessidade da criação de máquinas que se enquadrem nas várias técnicas e princípios científicos já criados, para que se desenvolva um funcionamento correto da mesma e que garanta confiabilidade e segurança, que são requisitos básicos na elaboração de uma máquina ou equipamento (NORTON, 2013).

O projeto de engenharia mecânica trata da formulação, do projeto, do progresso, da

organização e da utilização de máquinas e equipamentos mecânicos, de todos os gêneros. Sua complexidade varia de acordo com o conhecimento científico, no qual o engenheiro ao elaborar o projeto tem disponível, basicamente as considerações técnicas utilizadas nos componentes mecânicos mesmo, englobando as relações tensão-deformação-resistência e os fenômenos de superfície, além disso, o profissional, preocupar-se com a parte econômica, na qual deve-se escolher materiais e dimensões viáveis, para o mercado atual, e deve-se também, preocupar-se com considerações: como segurança, meio-ambiente e qualidade de vida (JUVINALL, 2013).

Na criação de um projeto, ocorre uma determinação de fases, para que este aconteça, delimitando então, etapas a serem cumpridas. Geralmente esquematiza-se um fluxograma para identificar a necessidade do equipamento ou máquina à ser projetada, ocorre uma definição do problema, no qual o mesmo irá solucionar, passa por uma síntese em que as ideias básicas são expostas, criando a base do projeto, em seguida desenvolve-se uma análise das ideias visando a melhoria, no emprego das mesmas, logo após, o projeto passa por uma avaliação, na qual determina se o projeto é viável e que terá sucesso, e finalizando com a apresentação do mesmo, a fim de explicar, que se trata de uma solução viável e correta, do problema identificado ( SHIGLEY, 2008).

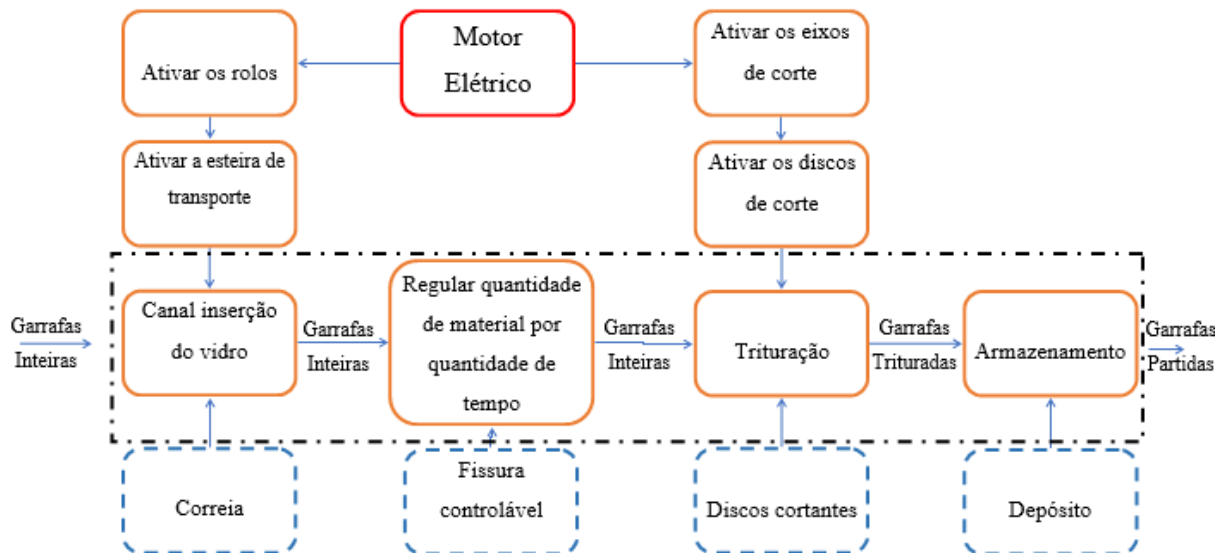
Existem situações em que o engenheiro ou projetista enfrenta, como a falta de criatividade, para a organização e definição correta do problema, em um projeto a ser criado, assim, criaram-se as metodologias de projetos, existentes, para auxiliar os mesmos, proporcionando, uma base estrutural e os objetivos a serem seguidos gerando assim, uma maior facilidade na elaboração desse estudo. A metodologia diversifica-se de acordo, com a complexidade do projeto podendo assim, variar o número de etapas a serem seguidas (NORTON, 2013).

Na elaboração de um projeto de qualquer estrutura ou máquina, é primordial a utilização dos princípios da estática, para obter as forças atuantes, em seus elementos, assim como, em seu interior. A dimensão dos elementos, deflexões e estabilidade estão subordinadas, não apenas nas cargas internas, bem como o tipo de material a ser utilizado. Assim, é necessária a realização de um estudo, sobre o comportamento dos materiais, para que aplique-se as equações essenciais utilizadas, na resistência dos materiais, para que desse modo a escolha dos materiais seja feita de forma eficaz. (HIBBELER, 2010).

Pode-se analisar no fluxograma abaixo, demonstrado pela Figura 1 os componentes ativos, de uma máquina de corte e trituração voltada, para a fragmentação do vidro, e a sequência ideal, para o desenvolvimento da mesma, que é feita por etapas, que se interligam com o tipo a ser utilizado. O fluxograma se inicia com a escolha do motor elétrico, e a definição

do tipo de elemento ativo da máquina, logo em seguida, caracterizando então, o processo a ser realizado e tendo como destino final, o armazenamento do material processado.

**Figura 1** - Fluxograma da estrutura de uma máquina para corte e trituração do vidro



Fonte: (Lima, 2013)

### 1.2.2 Utilização de máquinas fragmentadoras na reciclagem de resíduos sólidos

Na reciclagem de resíduos sólidos siderúrgicos, algumas empresas trabalham, com a fragmentação de sucatas ferrosas (No Brasil apenas a Gerdau e a Sid SI), utilizam uma máquina chamada fragmentadora Shredder, em que a sucata é triturada, aumentando a sua densidade aparente e eliminando as impurezas agregadas, assim, possibilitando o seu uso direto, no forno elétrico. Esta máquina assegura imensos ganhos ambientais e operacionais, e alguns desses ganhos é a redução de uma quantidade significativa de escória, formada no processo, de consumo de energia elétrica, entre outros. (ARAÚJO, 2005).

Máquinas fragmentadoras, como observado na Figura 2, possuem algumas características específicas, para seu o correto funcionamento e para a prática de uma boa operação. Características que levam em consideração a segurança, em que estrutura e o seu funcionamento devem atender, a normas de segurança e a um aspecto de facilidade e resguardo ao ser operada, considera-se também, o controle, onde, devido a probabilidade do material possuir uma alta capacidade de resistência ao impacto e ao cisalhamento o equipamento pode alcançar a sua capacidade máxima de funcionamento, ocasionando, um possível travamento, criando a necessidade de a máquina possuir um sistema de desarme e um sistema de reverso,

impedindo uma possível quebra e possibilitando a continuação do processo de fragmentação, com o sistema reverso. (CARDOSO, 2014).

**Figura 2** - Vista geral de uma máquina fragmentadora (US shredder and casting group)



Fonte: (Cardoso, 2014).

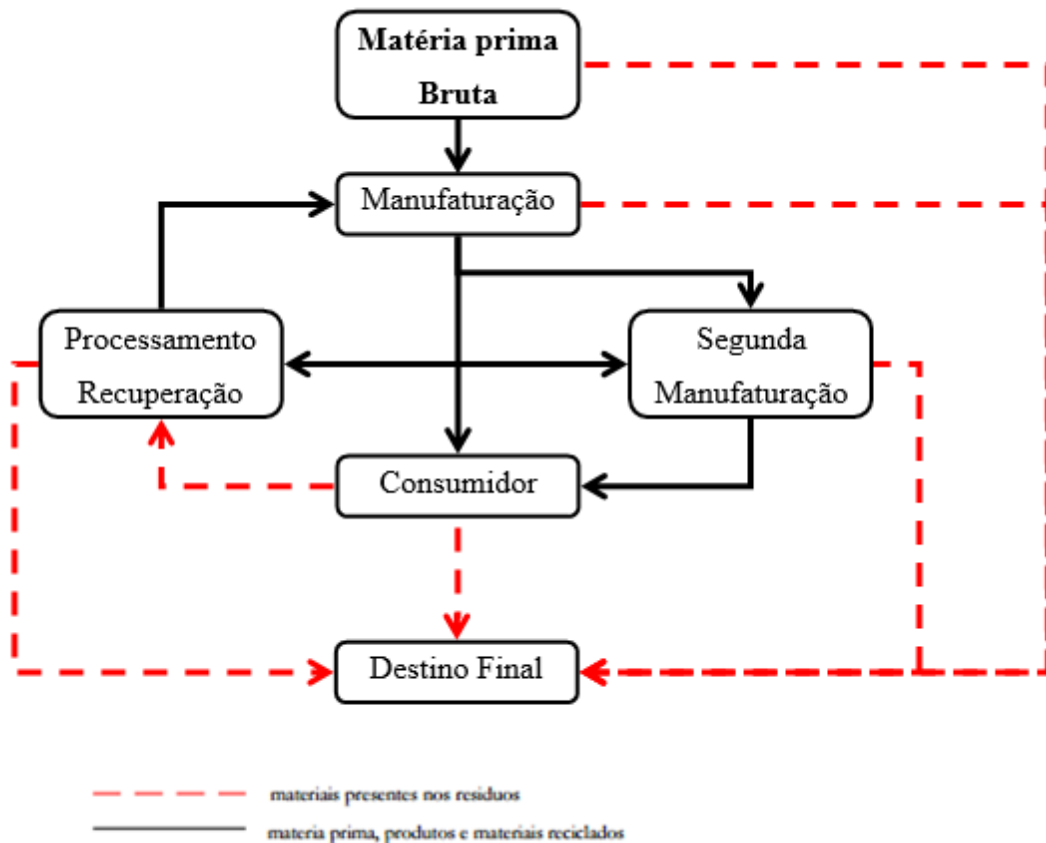
Na era primitiva da sociedade, a reciclagem de resíduos produzidos ocorria de uma maneira natural, conforme a produção destes resíduos aumentou criou-se esgotos e aterros sanitários (lixões), obstruindo então, os ciclos ecológicos naturais e gerando impactos irreparáveis, ao meio ambiente. A sociedade moderna tem-se conscientizado e vem estabelecendo metas ecológicas básicas, como o emprego de materiais economicamente recicláveis, em um tempo aceitável, sem causar poluição e criação de equipamentos, que utilizam energia renovável, para o seu funcionamento (JUVINALL, 2013).

Resíduos sólidos são materiais, que já não possuem mais utilidade, para o homem, sendo descartados pelo mesmo. Esses materiais ao serem descartados de forma incorreta vêm gerando problemas ligados, ao meio ambiente, desde os tempos antigos. Assim, surgiu a necessidade de criação de uma gestão de resíduos, envolvendo etapas como controle, produção, armazenamento, recolha, transferência e transporte, processamento, tratamento e destino final, para reduzir os impactos e evitar futuras degradações ambientais geradas. Com isso surgiu estratégias que possuem princípios de utilização de sistemas integrados como a redução e reutilização de resíduos, reciclagem, compostagem, incineração energética, aterro energético, aterro de rejeitos, programas de educação ambiental e programas de participação comunitária (RUSSO, 2003).

No fluxograma abaixo na Figura 3, demonstra-se a produção de resíduos sólidos e o destino da mesma. Analisa-se que, a partir da matéria prima bruta, a produção de resíduos já acontece, e conforme essa matéria prima é trabalhada, a quantidade de resíduos produzidos também aumenta. Assim, percebe-se a importância da destinação correta destes resíduos, e o

quanto o processamento dos mesmos auxilia em sua destinação correta.

**Figura 3:** Diagrama do fluxo de geração dos resíduos sólidos



Fonte: (Russo, 2003).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente, utilizando o conhecimento adquirido, na busca de informações, no laboratório da Faculdade de Engenharia Mecânica da UniRV e após um período discutindo dimensões e elementos básicos da máquina, com o professor orientador deste artigo, criou-se o esboço idealizando todo o equipamento a grosso modo, para obter-se uma noção maior de esforços e dimensões à serem adotadas. Assim, foram definidos os elementos da fragmentadora:

- Mesa de sustentação;
- Corpo de sustentação do conjunto de eixo/lâminas;
- Reservatório de Material processado;
- Eixo motriz e eixo movido;

- Lâminas de corte;
- Espaçadores;
- Raspadores;
- Conjunto Mancal/Rolamento;
- Engrenagem motriz e engrenagem movida;
- Tulha de entrada e
- Motor elétrico e Redutor.

Logo após a definição inicial dos elementos, iniciou-se o projeto do sistema mecânico e estrutural, utilizando como softwares auxiliares. Um software que fornece uma grande variedade de ferramentas, que possibilitam a realização, de um projeto, desde o desenho, até sua simulação em 3D ou a sua visualização em vista explodida e o outro foi utilizado, para desenhar esboços mais simples e vistas de peças e elementos da máquina.

Com isso, no primeiro momento desenhou-se todos os elementos da máquina detalhados nos softwares, seguindo uma sequência para maior facilidade, para assim, definir as dimensões e os tipos de materiais, de cada elemento, conseqüentemente obtive-se a quantidade de material à ser utilizado, em sua fabricação.

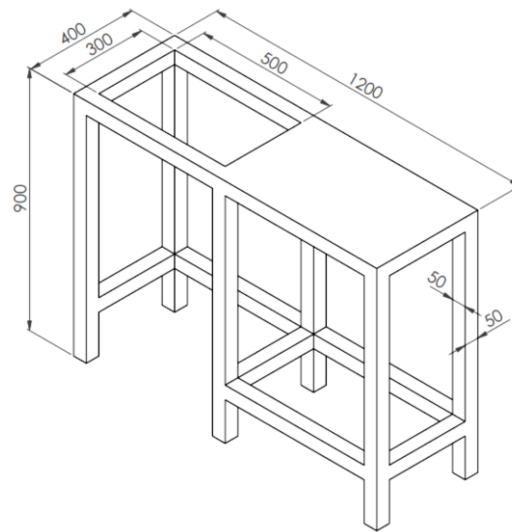
## 2.1 MESA DE SUSTENTAÇÃO

Inicialmente estudou-se a estrutura da mesa de sustentação da máquina fragmentadora Figura 4, obedecendo a norma regulamentadora NR-12, na qual visa a padronização das dimensões de máquinas e equipamentos, com o objetivo de proporcionar maior segurança ao operador, deste modo, a sua estrutura seguiu o padrão de máquinas já existentes no mercado, que suportam, todo o conjunto.

A mesa é constituída de barras chatas de aço carbono 1020 de espessura 50x50, nas quais formam a sua base, e uma chapa de aço com 1020 de espessura de 10 mm cortada em jato d'água, formando a superfície em que serão fixados a estrutura de sustentação dos eixos, lâminas e a base do motor redutor.



**Figura 4** – Mesa de sustentação

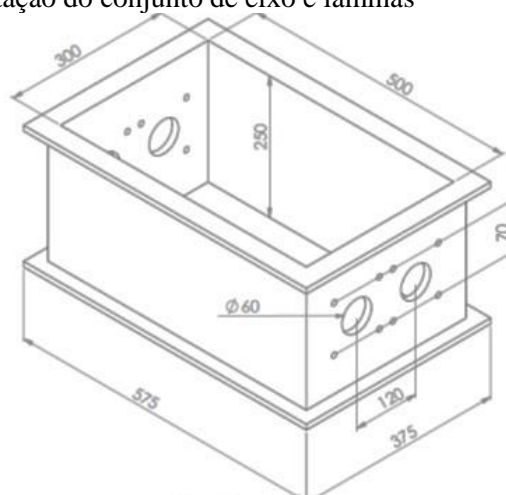


Fonte: Luis Carlos Galan Junior, 2017.

## 2.2 ESTRUTURA DE SUSTENTAÇÃO DO CONJUNTO DE EIXO E LÂMINAS

Em seguida foi dimensionado a estrutura de sustentação do conjunto de eixo e lâminas utilizando medidas de chapas disponíveis na empresa de reciclagem e de máquinas já existentes com a mesma capacidade de fragmentação necessária para realizar o objetivo da mesma, assim a estrutura de sustentação do conjunto de eixos e lâminas irá ser constituída de chapas de aço carbono 1020 com espessura de 10 mm, cortado em jato d'água e soldado com solda MIG para manter a precisão do projeto conforme a Figura 5.

**Figura 5** – Corpo de sustentação do conjunto de eixo e lâminas

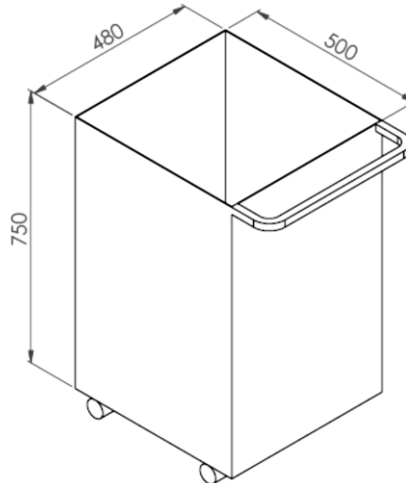


Fonte: Luis Carlos Galan Junior, 2017.

### 2.3 RESERVATÓRIO DE MATERIAL PROCESSADO

O reservatório tem como função armazenar o material processado e transportá-lo, tendo capacidade de armazenar um volume de 180 litros, dimensionou-se o mesmo, obedecendo a norma regulamentadora NR-12 voltada também, para a postura ergonômica do operador e seu bem estar, voltada também, para o transporte de cargas em reservatórios, o material à ser utilizado em sua fabricação será uma chapa de aço carbono 1020 de espessura 1/8” em seu corpo, barra chata de aço carbono 50x50 dobradas formando a aba de apoio, para a locomoção do mesmo e rodas de nylon, para facilitar a sua movimentação como se verifica na Figura 6.

**Figura 6** – Reservatório de material processado



Fonte: Luis Carlos Galan Junior, 2017.

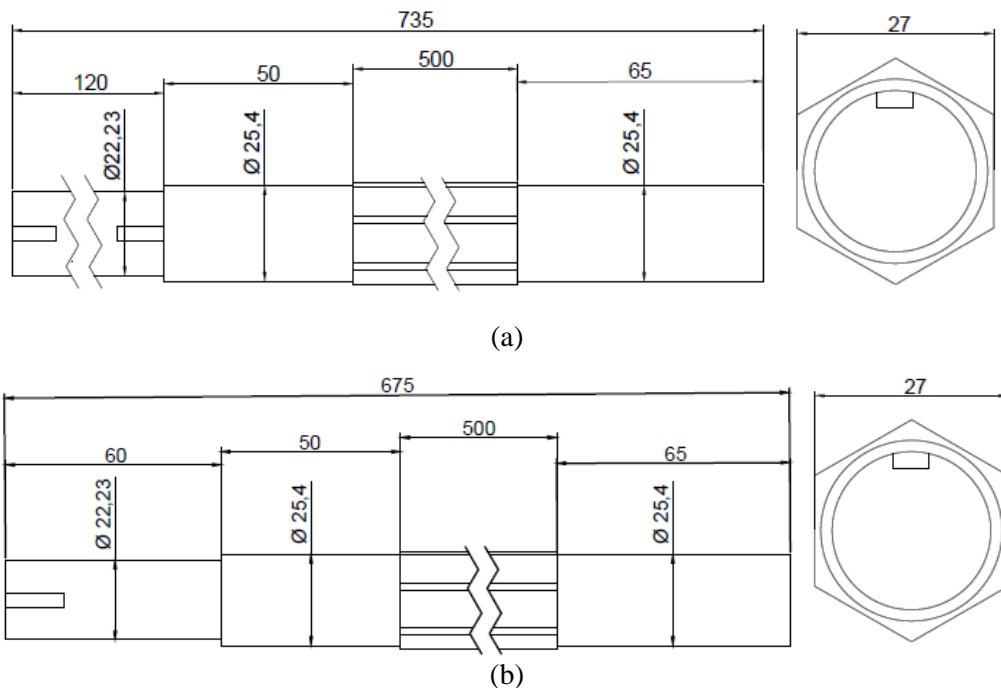
### 2.4 EIXO MOTOR E EIXO MOVIDO

Inicialmente, o material utilizado nos eixos consistiu, em uma barra laminada sextavada de aço carbono 1020, em que o mesmo possui limite de escoamento de 350 Mpa e módulo de elasticidade de 205 GPa, dados fornecidos, pelo SolidWorks, conforme a Figura 7. O eixo motor e o eixo movido estarão submetidos apenas, a uma tensão de torção, já que os eixos possuem mancais raspadores nos quais criam uma força de reação com o momento fletor anulando a mesma. Os eixos passarão pelo processo de usinagem para que seja feito as bases para os rolamentos, e o eixo motor, além das bases dos rolamentos possuirá também, a base para o acoplamento elástico, que foi ligado ao redutor, conforme analisado na Figura 8. Assim, utiliza-se o software SolidWorks, para simular a tensão, na qual os eixos sofrerão para a análise do diâmetro e do material, adotado para os mesmos.

**Figura 7** – Tabela de propriedades mecânicas do aço 1020 laminado à frio

Propriedade	Valor	Unidades
Módulo elástico	205000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.29	N/A
Módulo de cisalhamento	80000	N/mm <sup>2</sup>
Massa específica	7870	kg/m <sup>3</sup>
Resistência de tração	420	N/mm <sup>2</sup>
Resistência à compressão		N/mm <sup>2</sup>
Limite de escoamento	350	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de expansão térmica	1.17e-005	/K

Fonte: SolidWorks, 2016.

**Figura 8** – (a) Eixo motriz. (b) Eixo movido

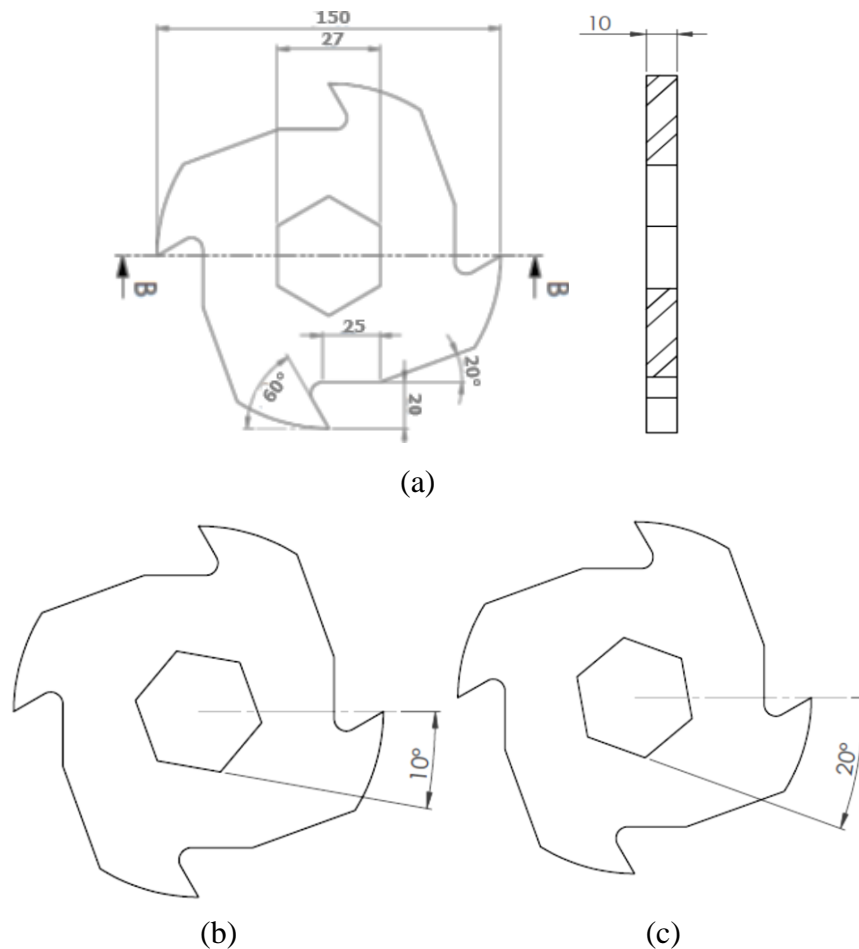
Fonte: Luis Carlos Galan Junior, 2017.

## 2.5 LÂMINAS DE CORTE

As lâminas de corte foram fabricadas, em chapa aço carbono 1060 de 10 mm de espessura, possuindo uma característica de maior dureza e resistência ao desgaste, tendo em vista, que será o local em que haverá maior desgaste do equipamento e que ocorrerá a fragmentação do material. Para maior precisão e acabamento recomenda-se, que as peças sejam fabricadas, através do corte, com jato de água.

Para as lâminas formarem um helicóide no eixo e consequentemente impedir o travamento da máquina, por excesso de material a ser fragmentado, as mesmas devem possuir graus de corte diferentes, como todas as máquinas analisadas apresentaram o helicóide, porém de módulos diferentes, foram adotados os ângulos de  $0^\circ$ ,  $10^\circ$  e  $20^\circ$  na posição do furo do eixo sextavado resultando então em 3 tipos de lâminas, onde o equipamento possuirá 7 pares com grau de corte  $0^\circ$  (Figura 9.a), 7 pares de lâminas com grau de corte  $10^\circ$  (Figura 9.b) e 6 pares com grau de corte  $20^\circ$  (Figura 9.c) totalizando em 20 pares de lâminas, que conforme as dimensões do equipamento, se enquadraram, de forma correta.

**Figura 9** – (a) Lâmina de  $0^\circ$ . (b) Lâmina de  $10^\circ$ . (c) Lâmina de  $20^\circ$



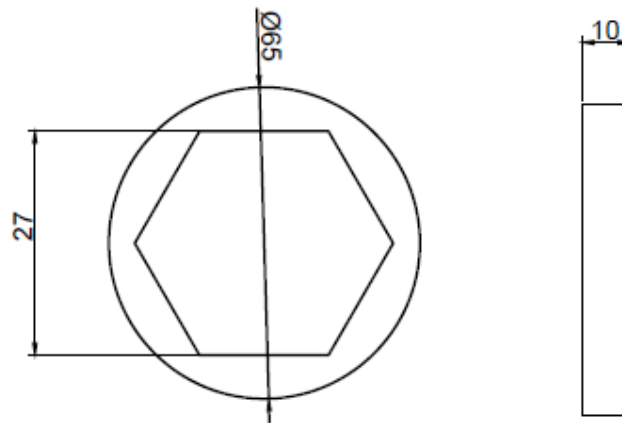
Fonte: Luis Carlos Galan Junior, 2017.

## 2.6 ESPAÇADORES

Os Espaçadores têm a finalidade de determinar a folga entre as lâminas e fixar o seu posicionamento, para que não haja contato, entre os elementos com eixos diferentes. Como os

espaçadores não sofrerão esforços excessivos, pelo fato de serem apenas encostos, o material a ser utilizado, em sua fabricação será uma chapa de aço carbono 1020, com espessura de 10 mm que atende a sua aplicação, cortada em jato de água, como demonstrado, na Figura 10.

**Figura 10** – Espaçador



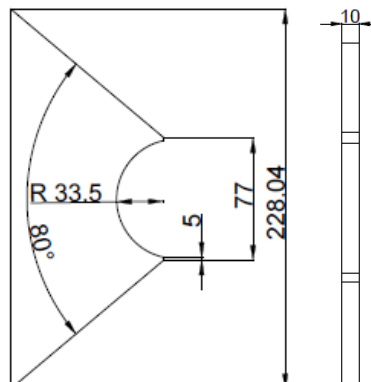
Fonte: Luis Carlos Galan Junior, 2017.

## 2.7 RASPADORES

Os raspadores, por sua vez possuem uma função essencial, para o bom funcionamento do equipamento, em que o mesmo direciona o material, a ser fragmentado, na parte superior e impede o acúmulo de material, entre as lâminas, evitando então o esforço excessivo da máquina e conseqüentemente, impedindo, até um travamento da mesma.

Para garantir um baixo custo de fabricação do equipamento, utiliza-se uma chapa de aço 1020 de 10 mm de espessura e cortada com jato de água, como observa-se na Figura 11.

**Figura 11** – Direcionador / Raspador



Fonte: Luis Carlos Galan Junior, 2017.

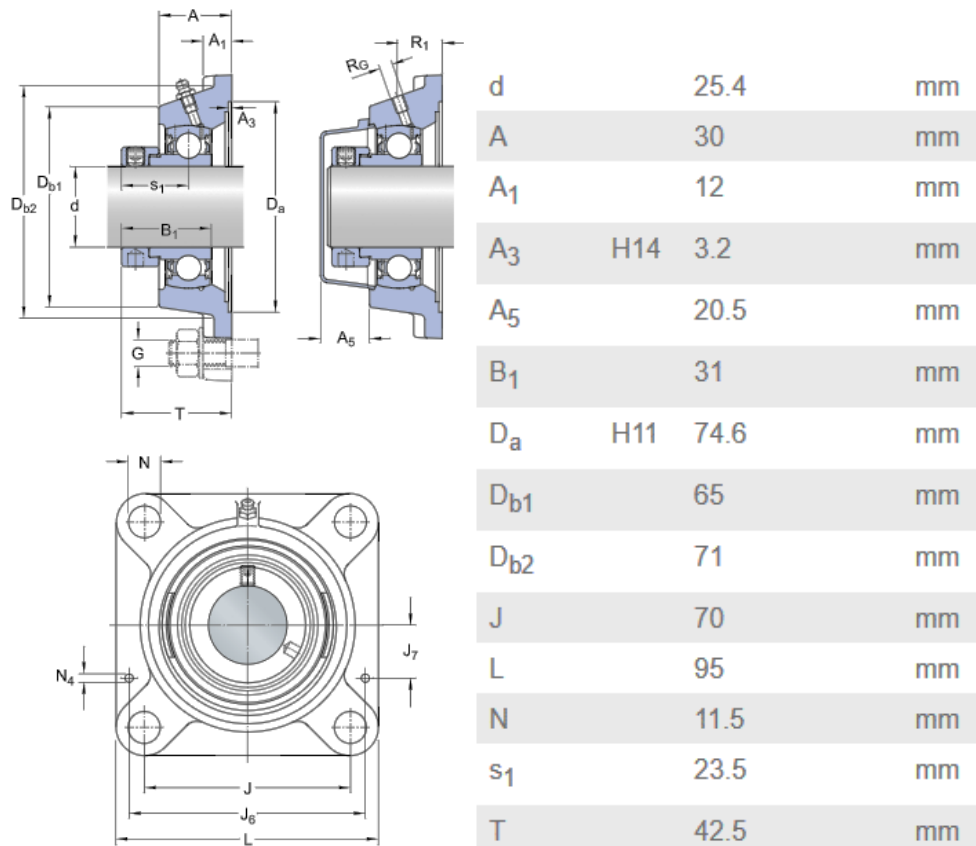
## 2.8 CONJUNTO MANCAL ROLAMENTO

O conjunto mancal rolamento são os elementos de apoio, dos eixos motriz e movido, conforme rege a escolha do mesmo, deve atentar-se ao diâmetro do eixo e a quais esforços, rotação, situação do local de trabalho e tipo de lubrificação que o conjunto se submeteu, para que o elemento tenha vida útil e atenda a sua necessidade de aplicação, conforme o fabricante descreve.

Neste caso, conforme consultado no catálogo de rolamentos, o modelo a ser utilizado será o FY 1. FM, em que este conjunto possui o mancal FY 505 M, que contém 4 pontos de fixação, e o rolamento YET 205-100, que é um rolamento modelo Y, com um colar excêntrico de fixação, uma carreira de esferas, vedação de borracha, nos dois lados, suportando cargas radiais e axiais, possuindo 25,4 mm de diâmetro interno.

Conforme Figura 12, segue o esquema do conjunto mancal e rolamento fornecido pela fabricante SKF.

**Figura 12** – Conjunto Mancal / Rolamento



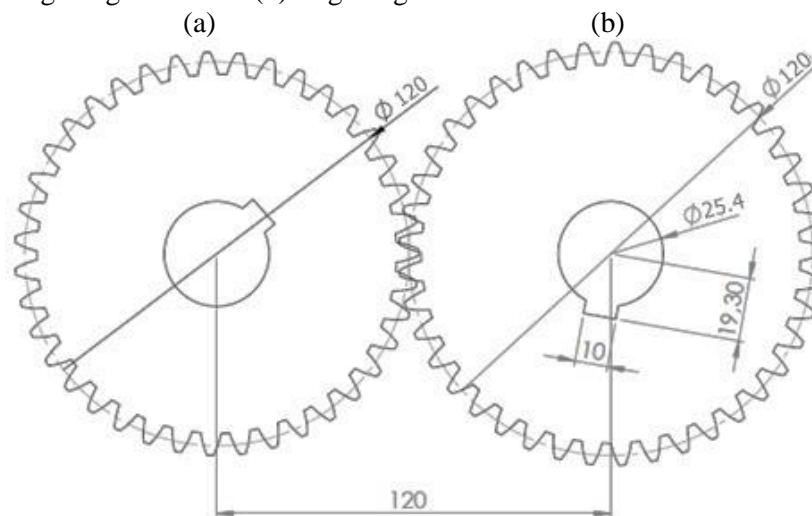
Fonte: SKF Brasil, 2017.

## 2.9 ENGRENAGEM MOTORA E ENGRENAGEM MOVIDA

O conjunto de engrenagens motoras é o dispositivo, em que ocorrerá a transmissão de movimento do eixo acoplado, no redutor, que é movido, por um motor elétrico, para o outro eixo, que no caso é o eixo movido. Como as rotações dos eixos não serão elevadas e não ocorrerão esforços significativos axiais, utilizam-se engrenagens de dente reto. De acordo com Melconian (2008), recomenda-se, o uso do ângulo de contato de trabalho de  $20^\circ$  e no mínimo 18 e no máximo 40 dentes, para obter-se uma boa transmissão.

Para manter a rotação igual, entre os dois eixos, para uma maior eficiência do equipamento deve-se adotar um número de dentes comum entre os mesmos tornando a relação entre engrenagens 1:1, em que o número de dentes será 40. As engrenagens deverão ser fabricadas em chapa de aço carbono 1020, com espessura de 1" e possuir diâmetro externo de 120 mm, conforme observado na Figura 13.

**Figura 13** – (a) Engrenagem motora (b) Engrenagem movida



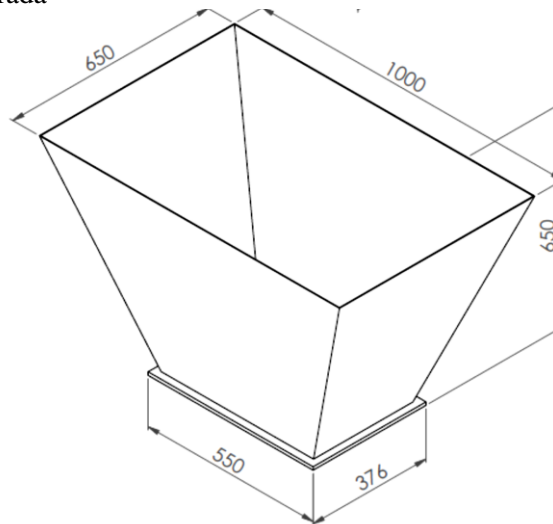
Fonte: Luis Carlos Galan Junior, 2017.

## 2.10 TULHA DE ENTRADA

Conforme a norma regulamentadora NR12, existe a necessidade de ocultar elementos rodantes, para uma maior segurança do operador, assim, a fragmentadora de resíduos sólidos deverá conter uma tulha de entrada de material a ser fragmentado. Outra finalidade da tulha de entrada é o direcionamento de material para as lâminas evitando que os mesmos tomem destinos diferentes e também funcionar como reservatório de entrada de material. Na fabricação da

mesma deve-se utilizar uma chapa de aço carbono 1020 de espessura 10 mm e cortada, com jato de água, unida com solda Mig, conforme observado, na Figura 14.

**Figura 14** – Tulha de entrada



Fonte: Luis Carlos Galan Junior, 2017.

## 2.11 MOTOR ELÉTRICO E REDUTOR

Para facilitar a montagem da máquina e a tornar mais compacto o dispositivo utilizado para gerar o movimento utilizou-se o moto redutor coaxial WCG20 (Cod:C053223) da fabricante Weg Cestari conforme Figura 15, que possui um motor elétrico de 5 cv, que proporciona aproximadamente 3,7 kW de potência e uma rotação de 1750 rpm de entrada, e um redutor, que contém redução 1:14 resultando, então em uma saída de 51,8 kW de potência e 124,8 rpm. Conforme Gonçalves et al (2011) realizaram testes para obter a resistência ao rasgo de uma folha, com gramatura próxima, a uma folha de papel A4 e chegaram à conclusão de que se necessita de 52 kgf para cisalhar cada folha, assim, a potência necessária será de 0,51 kW por folha. Portanto, com a potência de saída do moto redutor adotado, utilizando um limite de 70% de sua capacidade máxima, chegou-se a um número de 70 folhas cisalhadas por vez.

Para calcular o torque de saída nominal utilizou-se a equação (1):

$$P = \frac{2\pi \cdot n \cdot T}{60 \cdot 1000}$$

Onde:

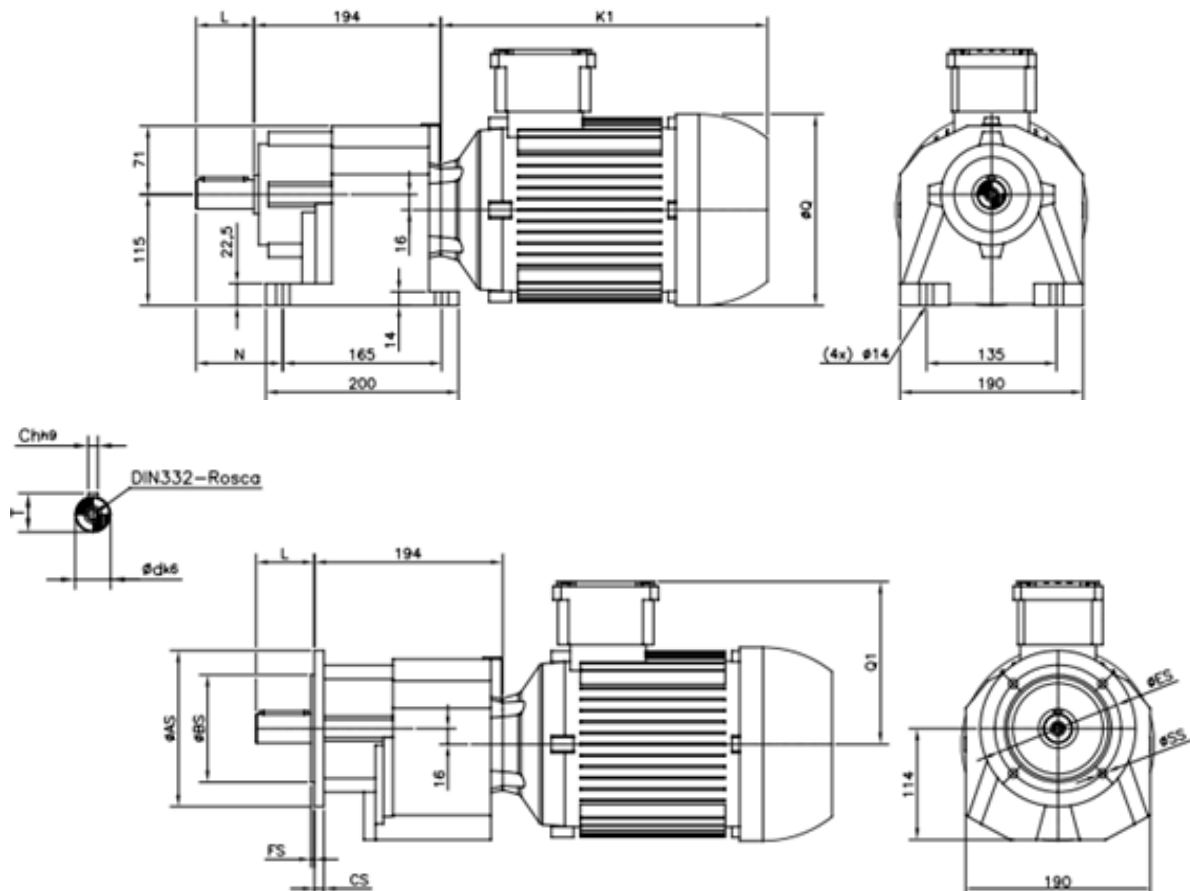
- P = Potência de saída (kW).
- N = Rotação de saída (Rpm).



- $T$  = Torque de saída (N.m).
- $\pi$  = Constante trigonométrica 3,1415...

Assim obteve-se como resultado, um torque de 3.963,57 N.m, aplicando um coeficiente de segurança de 1,5 com um torque final de 5.945,36 N.m, em que o mesmo será utilizado para os cálculos.

**Figura 15** – Moto redutor WCG20



Fonte: Weg Cestari Brasil, 2017.

## 2.12 PAINEL ELÉTRICO DE ACIONAMENTO DO MOTOR

A máquina fragmentadora deve possuir um painel elétrico com uma botoeira liga/desliga, no qual deverá ser o comando de acionamento e desligamento, para atender a norma regulamentadora NR-12 o painel deverá conter também, um botão de emergência que ao pressionado desarmará o equipamento instantaneamente, e também deverá conter uma chave inversora de sentido do motor, com a finalidade de caso eventualmente aconteça algum, travamento no equipamento, por excesso de material, seja invertido o sentido de rotação, para

que aconteça o destravamento da mesma, dando então continuidade, no processo.

Assim projeta-se e descreve-se cada elemento da máquina fragmentadora de resíduos sólidos, usando como base as já existentes no mercado, concluindo então, com o próximo tópico, em que trata-se sobre os resultados e discussões do projeto.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme citado acima, o projeto em questão, auxiliado por softwares possibilitando então usar uma ferramenta de simulação do mesmo, em que especifica-se o material, a geometria da peça e os esforços contidos nela e então, o programa cria uma malha, sobre o elemento em simulação e calcula em vários pontos a teoria do critério de falha de Von Mises, que será a reação do material sob tensão, gerando assim, um resultado dessa análise. Garantindo então, o sucesso ou falha em medidas e materiais adotados, neste projeto.

Conforme escolhido o elemento gerador de potência, que neste caso é o moto redutor WCG20 da fabricante Weg Cestari, no qual gera um torque de 3963,57 N.m, aplicando um coeficiente de segurança de 1,5 tem então, um torque final de 5.945,36 N.m que será aquele a ser considerado.

Já para calcular a força tangencial, que as engrenagens irão propor utiliza-se a equação (2):

$$F_t = \frac{2 \cdot T}{D_o}$$

Onde:

- $F_t$  = Força Tangencial.
- $T$  = Toque aplicado.
- $D_o$  = Diâmetro Primitivo.

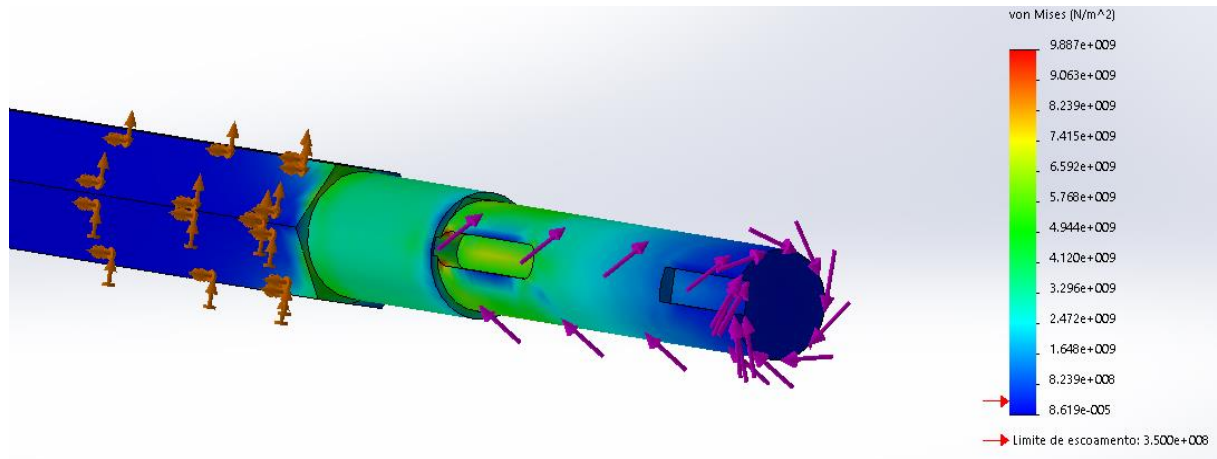
Como o módulo da engrenagem padrão é 2,750 mm, obteve-se um diâmetro primitivo de 110 mm e utilizou-se o torque de 5.945,36 N.m que já se encontra aplicado, com o coeficiente de segurança.

$$F_t = \frac{2 \cdot 5945,36}{0,11}$$

Obteve-se uma força tangencial de 108.098,45 N usada para simular a carga aplicada, nos eixos e engrenagens.

Assim, começou-se a simular pelo eixo motor, o qual será acoplado, no redutor, como demonstra a Figura 17 e logo após simulou-se o eixo movido, como mostra a Figura 18.

**Figura 17** – Simulação de torção no software SolidWorks no eixo motor

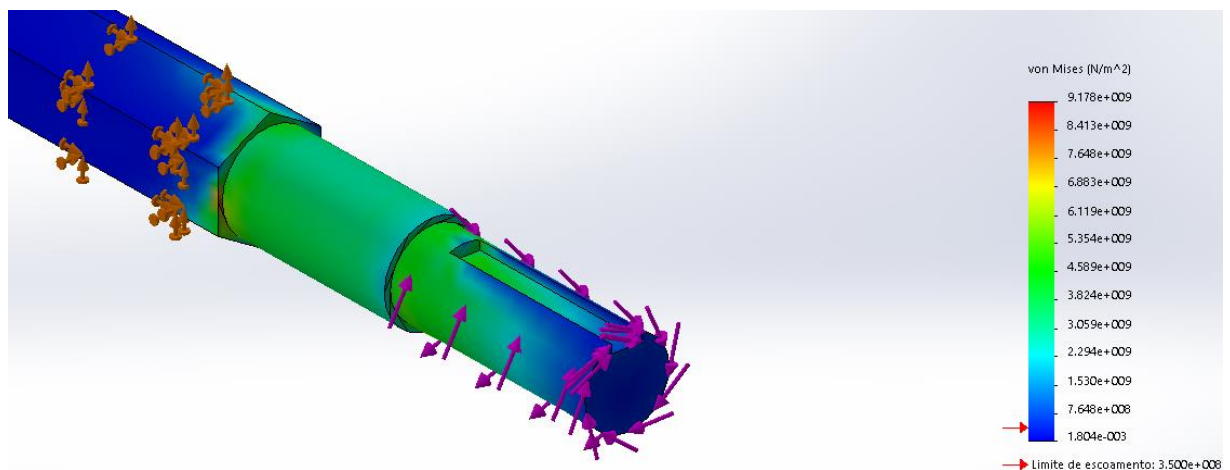


Fonte: Luis Carlos Galan Junior , 2017.

A barra observada ao lado direito na Figura 17 e 18 indica a intensidade da força aplicada em relação à resistência do material no qual é submetido o esforço, onde, quando a região se encontra na tonalidade de azul à verde o material resiste de forma satisfatória, quando a tonalidade se torna amarela o material resiste de forma próxima ao limite de escoamento, já quando a tonalidade se torna vermelha o material não resiste ao esforço submetido.

Portanto nota-se na Figura 17 que o eixo fabricado, em material aço carbono 1020 laminado à frio (AISI), com medida mínima de diâmetro 7/8” ou 22,23 mm suporta a torção à que foi submetido, portando as especificações adotadas atendem os requisitos mínimos, da máquina fragmentadora, de resíduos sólidos.

**Figura 18** – Simulação de torção no software SolidWorks no eixo movido.



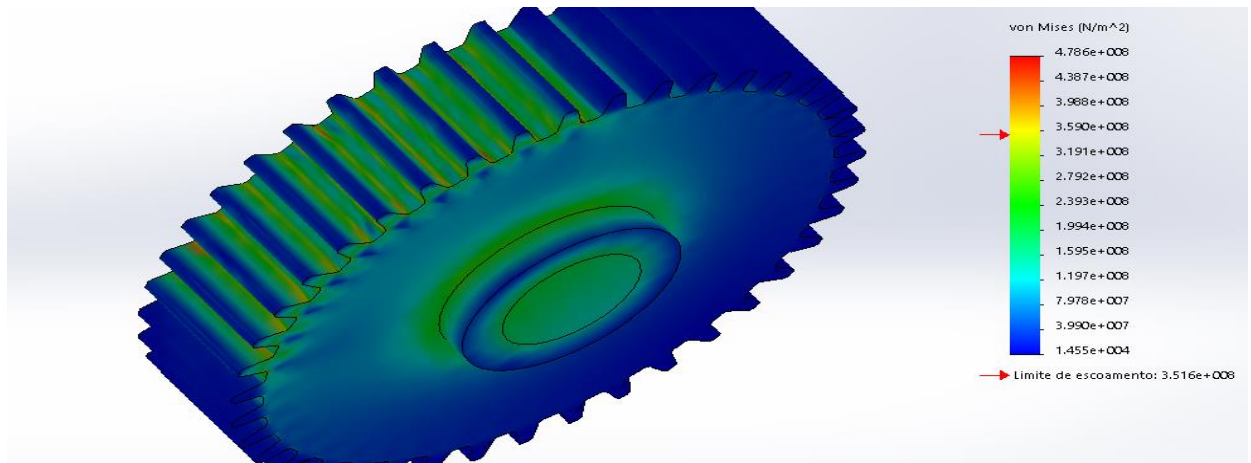
Fonte: Luis Carlos Galan Junior , 2017.

Nota-se na Figura 18 que o eixo movido também suporta o torque aplicado, na transmissão pela engrenagem, já que o material adotado é o mesmo do eixo motor, em que foi aplicado também, o torque de módulo 5945,36 N.m.

Assim nota-se que por meio da simulação os eixos motor e movido suportam os esforços produzidos pela máquina fragmentadora e atenderão de maneira eficaz o projeto proposto.

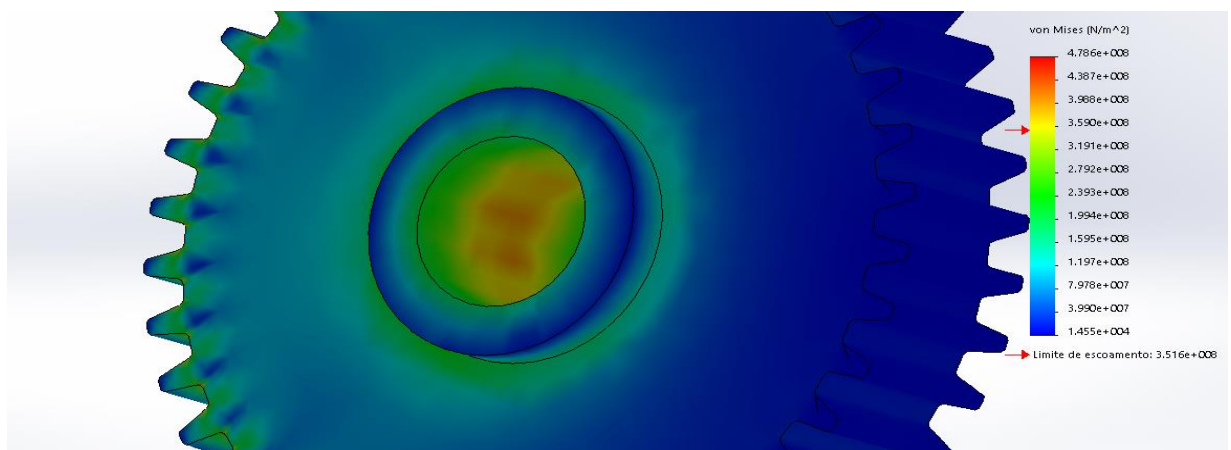
A terceira simulação foi feita nas engrenagens, aplicando uma força tangencial de 108.098,45 N, em cerca de 10 dentes, sendo o engrenamento das mesmas, como observado nas Figuras 19 e 20.

**Figura 19** - Simulação de força aplicada no software SolidWorks na engrenagem visualização externa dos dentes.



Fonte: Luis Carlos Galan Junior , 2017.

**Figura 20** - Simulação de força aplicada no software SolidWorks na engrenagem visualização na parte interna no furo do eixo.



Fonte: Luis Carlos Galan Junior , 2017.

Com base na análise das simulações nota-se que as engrenagens suportarão os esforços aplicados, ressalva-se que o esforço aplicado foi cerca de 150% do que realmente, acontece no sistema, para efeitos de segurança do operador e do equipamento, assim observa-se que o material e as medidas adotadas, para as engrenagens e eixos estão de acordo, com as especificações do equipamento.

O projeto geral da máquina fragmentadora de resíduos sólidos podemos conferir em ANEXO.

## **4 CONCLUSÕES**

Conclui-se que, o projeto proposto encontra-se de acordo com normas regulamentadoras e respeita as configurações de equipamentos, em seu segmento. Nota-se que todos os materiais e medidas de elementos, que sofrem esforços foram simulados em software e conseqüentemente foi analisado que eles suportarão os esforços máximos, que a máquina aplica em seus segmentos.

Para a execução deste projeto, necessita-se de pessoas com conhecimentos técnicos e práticos avançados, para que se obtenha um resultado esperado, ou seja, para que a máquina fragmentadora de resíduos sólidos desempenhe, a função na qual foi direcionada a ela, que se descreve, em atender à demanda de papel recolhido, na coleta seletiva da faculdade UniRV e conseqüentemente satisfazendo o objetivo principal deste artigo.

Como observou-se os materiais, dimensões, análises e cálculos foram feitos, restando então apenas a execução do projeto, assim tornando a máquina, uma realidade.

## *SIZING OF A SOLID WASTE FRAGMENTING MACHINE*

### **ABSTRACT**

With the great advancement of technology, a new era of machines and equipment has started, which facilitates various activities in the present time. However, there has also been an increase in the production of solid waste by the population, causing enormous impacts on the environment. Aiming to reduce this impact, the need arose to design a solid waste shredder to support the selective collection coming from the project “its role in Selective Collection of UniRV” at the University of Rio Verde, so through this article we worked on the elaboration of a machine project, respecting the regulatory norms and existing models, defining its elements, its dimensions and the material to be used aiming at the use of recyclable and reusable, determining the working rpm and its capacity of fragmentation. Thus, the simulation was performed in a software of active straining in the equipment, it was concluded that, the adopted parameters correspond with the existing norms and specifications, making possible the execution of the project and the manufacture of the machine in question.

Keywords: Equipment. Environment. Project. Recycling. Technology.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. A. de. *Resíduos sólidos na indústria siderúrgica: Usina semi-integrada – Um estudo de caso*. 2005. 150p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção) – UNIMEP - Universidade Metodista de Piracicaba, São Paulo, 2005.

BAZZO, W. A. *Introdução à engenharia: conceitos, ferramentas e comportamentos*. Nacional: Ed. da UFSC, 2006. 270p.

CARDOSO, A. S. T. *Contribuição para melhoria da manutenção de Máquina Fragmentadora*. 2014. 129p. Dissertação do MIEM (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) U. PORTO – Universidade do Porto, Porto-Portugal, 2014.

GONÇALVES, A. G.; SOUTO, J.; CIRO, L.; SIQUEIRA, M. T. *Ensaios mecânicos em papel*. 2011. 11p. Trabalho acadêmico (Centro de tecnologia e Geociências Departamento de Engenharia Química no Curso de Química Industrial) UFPE – Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco – Brasil, 2011.

HIBBELER, R. C. *Resistência dos materiais*. 7 ed. Nacional: Pearson Prentice, 2010. 641p.

JUVINALL, R. C.; MARSHEK, K. M. *Fundamentos do projeto de componentes de máquinas*. 4 ed. Nacional: Ltc, 2008. 500p.

LIMA, N. N. F. *Projeto e desenvolvimento de um equipamento triturador de vidro*. 2013. 158p. Tese de mestrado (Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em Engenharia Mecânica) UMinho - Universidade do Minho, Braga-Portugal, 2013.

MELCONIAN, SARKIS. *Elementos de máquinas*. 9 ed. rev. Nacional: Érica, 2008. 376p.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (MTE). Site Oficial. *Norma Regulamentadora número 12*, 2015. Disponível em:  
<<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR12/NR12atualizada2015.pdf>>.  
Acesso em: 28 de junho de 2017.

NORTON, R. L. *Projeto de máquinas*. 4 ed. Nacional: Bookman, 2013. 1030p.

RUSSO, M. A. T. *Tratamento de Resíduos Sólidos*. 2003. 196p. (Faculdade de ciências e tecnologia departamento de engenharia civil) UC - Universidade de Coimbra, Coimbra-Portugal, 2003.

SKF BRASIL. Site oficial. *Conjunto de mancal FY 505 M e o rolamento YET 205-100*, 2017. Disponível em <<http://www.skf.com/br/products/bearings-units-housings/bearing-units/ball-bearing-units/y-bearing-flanged-units/y-brg-square-flanged-units/index.html?designation=FY%201.%20FM>>. Acesso em: 3 de outubro de 2017.

WEG CESTARI. Site oficial. *Moto redutor WCG20*, 2017. Disponível em <[http://www.wegcestari.com.br/index.php/pt/produtos/motorreducores/wcg20/coaxialwgc20/it em/download/173\\_5951077f5bf694108caebb6b9b7252a5](http://www.wegcestari.com.br/index.php/pt/produtos/motorreducores/wcg20/coaxialwgc20/it em/download/173_5951077f5bf694108caebb6b9b7252a5)>. Acesso em: 3 de outubro de 2017.



## ANEXO

## DESENHO 3D GERAL DA MÁQUINA FRAGMENTADORA DE RESÍDUOS SÓLIDOS

