



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**GESSÉ PAULO DA SILVA NETO**

**MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA LAPIDAÇÃO DE VÁLVULAS  
GLOBO**

**JOÃO PESSOA - PB**

**2018**

**GESSÉ PAULO DA SILVA NETO**

**MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA LAPIDAÇÃO DE VÁLVULAS  
GLOBO**

Monografia apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia  
Mecânica pelo Departamento de Engenharia  
Mecânica da Universidade Federal da Paraíba.

Orientador: Dr. José Gonçalves de Almeida.

**JOÃO PESSOA - PB**

**2018**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

N469m Neto, Gesse Paulo da Silva.

Máquina semiautomática para lapidação de válvulas globo  
/ Gesse Paulo da Silva Neto. - João Pessoa, 2018.  
81 f. : il.

Orientação: José Gonçalves de Almeida.  
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Válvulas globo. 2. Lapidação. 3. Manutenção. 4.  
Software de desenho 3D. I. de Almeida, José Gonçalves.  
II. Título.

UFPB/BC

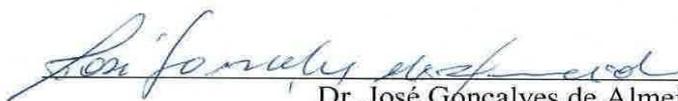
GESSÉ PAULO DA SILVA NETO

**MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA LAPIDAÇÃO DE VÁLVULAS  
GLOBO**

Monografia apresentada pelo acadêmico GESSÉ PAULO DA SILVA NETO, do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, como parte das exigências à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, tendo obtido o conceito **APROVADO**, conforme a apreciação da Banca Examinadora:

João Pessoa, 01 de novembro de 2018

BANCA EXAMINADORA

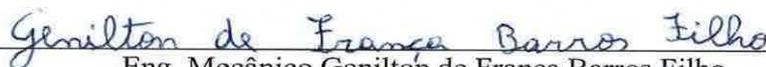


Dr. José Gonçalves de Almeida  
Orientador

Universidade Federal da Paraíba - UFPB



Dr. Koje Daniel Vasconcelos Mishina  
Universidade Federal da Paraíba - UFPB



Eng. Mecânico Genilton de França Barros Filho  
Universidade Federal da Paraíba - UFPB

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pelo que Ele é e por tudo que tem feito em minha vida.

Aos meus pais, Gessé e Ivonete.

À minha tia, Kell, que sempre me deu suporte e me ajudou muito.

À minha namorada, Rebecca, que me ajudou com todo o seu suporte e força, me auxiliando em determinados momentos deste trabalho.

À Doutora Marlene pela oportunidade de crescimento profissional e pessoal, e por ter cedido o local da usina para que fosse feito algumas observações importantes para o trabalho.

Ao supervisor da caldeira, Leandro Bezerra, exemplo de profissional, muito dedicado ao que faz e que me ajudou muito durante todo o tempo em que precisei ir a usina. E aos demais integrantes da área de geração de vapor da usina que me auxiliaram.

Ao professor Dr. José Gonçalves de Almeida, por ter aceitado ser meu orientador, me dando a oportunidade de realizar esse trabalho de conclusão de curso, com sua ajuda e compreensão.

Por fim, mas não menos importante, agradeço a todos os meus amigos e familiares que me ajudam e me motivam a cada dia.

## RESUMO

O presente trabalho é um projeto de máquina para auxílio na manutenção de válvulas globo. Para obter o melhor desempenho deste tipo de válvula, a manutenção deve ser realizada periodicamente. Porém, alguns dos procedimentos de manutenção, como a lapidação, geralmente é realizado manualmente, trabalho este que demanda muito tempo do operário, além de poder causar danos à sua saúde. Portanto, viu-se a necessidade de tornar a operação semiautomática por meio da elaboração do projeto com uma morsa coordenada adaptada para realizar esse tipo de reparo. Para o projeto buscou-se entender como a operação manual era realizada, para então identificar os pontos críticos do problema, que poderiam facilitar o procedimento de lapidação com a máquina. Além disso, viu-se a necessidade que a máquina fosse fabricada e montada com facilidade, utilizando perfis e estruturas padronizadas e de fácil uso e manutenção. Foi utilizado *software* de desenho 3D, para facilitar a visualização de todo o sistema.

**Palavras-chave:** Válvulas globo, Lapidação, Manutenção, *Software* de desenho 3D.

## **ABSTRACT**

The present work is a machine project for aid in the maintenance of valves globe. To obtain the best acting of this valve type, the maintenance it should be accomplished periodically. However, some maintenance procedures, as the lapping procedure, it is usually accomplished manually, this that demands the worker's a lot of timework, besides could cause damages to his health. Therefore, was seen the need to turn the operation semiautomatic through the elaboration of the project with a coordinated walrus adapted to accomplish that repair type. For the project it was looked for to understand as the manual operation was accomplished, for then to identify the critical points of the problem, that could facilitate the lapping procedure with the machine. Besides, was seen the need that the machine was manufactured and mounted with easiness, using profiles and standardized structures and of easy use and maintenance. Software of drawing 3D was used, to facilitate the visualization of the whole system.

**Keywords:** Valves globe, Lapping procedure, Software of drawing 3D.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Componentes básicos das válvulas globo .....	16
Figura 2 – Modelo de lapidação utilizado na Idade da Pedra.....	17
Figura 3 – Esquema do princípio básico do processo de lapidação de peças planas .....	19
Figura 4 – Esquema mostrando o movimento de rolamento dos grãos abrasivos .....	20
Figura 5 – Esquema mostrando o movimento de deslizamento dos grãos abrasivos.....	21
Figura 6 – Esquema dos grãos abrasivos incorporados no bloco de lapidação.....	21
Figura 7 – Procedimento de lapidação manual em válvula de 2” .....	28
Figura 8 – Procedimento de lapidação manual em válvula de 4” .....	28
Figura 9 – Válvula globo a ser preenchida com solda.....	29
Figura 10 – Morsa Coordenada .....	31
Figura 11 – Sistema completo das guias em vista isométrica .....	34
Figura 12 – Sistema das guias em outra perspectiva.....	35
Figura 13 – Redução do limite de resistência à fadiga causado pelo acabamento superficial .....	38
Figura 14 – Fator geométrico em função do número de dentes .....	40
Figura 15 – Fator de velocidade, $K_v$ .....	41
Figura 16 – Fator de vida em função do número de ciclos, $C_{Li}$ .....	44
Figura 17 – Peças.....	47
Figura 18 – Forças atuantes no conjunto pinhão-cremalheira.....	48
Figura 19 – Representação do eixo 1 com as forças atuantes .....	50
Figura 20 – Forças atuantes no eixo pelos planos ZX e ZY .....	51
Figura 21 – Determinação de $K_t$ e $K_{ts}$ . .....	56
Figura 22 – Determinação de $q$ e $q_{\text{cisalhamento}}$ , respectivamente.....	56
Figura 23 – Máquina de lapidação .....	58
Figura 24 – Máquina montada com válvula de 2” classe 150#.....	59
Figura 25 – Máquina montada com válvula de 4” classe 600# .....	59
Figura 26 – Assentamento da válvula sobre a morsa coordenada.....	61
Figura 27 – Válvula fixada na morsa com o bloco de lapidação montado em seu interior .....	62
Figura 28 – Eixo conectado na luva .....	63
Figura 29 – Verificação do estado da sede da válvula .....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipo de abrasivo para lapidação e sua dureza .....	22
Tabela 2 – Tamanho médio das partículas dos grãos abrasivos .....	22
Tabela 3 – Compostos abrasivos e sua descrição .....	25
Tabela 4 – Módulos normalizados .....	35
Tabela 5 – Fator de carga e fator gradiente .....	37
Tabela 6 – Fator de confiabilidade, $k_r$ .....	38
Tabela 7 – Fator de sobrecarga, $K_o$ .....	40
Tabela 8 – Fator de sobrecarga, $K_m$ .....	41
Tabela 9 – Resistência à fadiga superficial, $S_{fe}$ .....	42
Tabela 10 – Fator de confiabilidade, $C_R$ .....	43
Tabela 11 – Valores do Coeficiente Elástico, $C_p$ , para engrenagens de dentes retos em $\sqrt{\text{MPa}}$ .....	44
Tabela 12 – Parâmetros para o fator de modificação de Marin .....	53
Tabela 13 – Fatores de confiabilidade, $k_e$ .....	54

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	14
<b>2.1. Objetivo Geral</b> .....	14
<b>2.2. Objetivos Específicos</b> .....	14
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	15
<b>3.1. Válvulas</b> .....	15
3.1.1. <i>Válvulas Globo</i> .....	15
<b>3.2. Processo de Lapidação</b> .....	17
3.2.1. <i>História do surgimento dos Processos Abrasivos</i> .....	17
3.2.2. <i>Definição do Processo De Lapidação</i> .....	18
3.2.3. <i>Abrasivo utilizado na Lapidação</i> .....	22
3.2.4. <i>Lapidação em Válvulas</i> .....	23
3.2.4.1. <i>Precauções para uma boa lapidação</i> .....	25
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	27
<b>4.1. Idealização da Máquina</b> .....	27
<b>4.2. Escopo</b> .....	29
<b>4.3. Especificações Técnicas</b> .....	30
<b>4.4. Dados do Projeto</b> .....	30
4.4.1. <i>Morsa Coordenada</i> .....	30
4.4.1.1. <i>Dimensionamento do Fuso da Morsa</i> .....	31
4.4.1.2. <i>Dimensionamento do Fuso da Mesa Coordenada</i> .....	33
4.4.2. <i>Guias</i> .....	33
4.4.2.1. <i>Cantoneiras</i> .....	35
4.4.2.2. <i>Contrapeso</i> .....	35
4.4.2.3. <i>Pinhão e cremalheira</i> .....	36
4.4.2.3.1. <i>Análise detalhada de resistência à fadiga por flexão do dente da engrenagem</i> .....	37
4.4.2.3.2. <i>Análise de fadiga superficial dos dentes</i> .....	42
4.4.2.4. <i>Eixo 1</i> .....	49
4.4.2.4.1. <i>Forças atuantes no pinhão</i> .....	49
4.4.2.4.2. <i>Força de reação nos mancais</i> .....	50
4.4.2.4.3. <i>Momento Fletor</i> .....	51
4.4.2.4.4. <i>Cálculo do diâmetro</i> .....	52
4.4.2.5. <i>Rolamentos</i> .....	57

4.4.3. <i>Motor Elétrico</i> .....	58
<b>4.5. Montagem Final da Máquina</b> .....	58
<b>4.6. Descrição do Funcionamento da Máquina</b> .....	60
<b>4.7. Descrições da Fabricação e Montagem</b> .....	60
4.7.1. <i>Morsa Coordenada</i> .....	60
4.7.2. <i>Guias</i> .....	60
4.7.3. <i>Motor Elétrico</i> .....	61
<b>4.8. Descrição Geral da Operação</b> .....	61
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	65
<b>6. SUGESTÃO</b> .....	66
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	67
<b>APÊNDICE A – DESENHOS</b> .....	68

## 1. INTRODUÇÃO

Válvulas são dispositivos cuja função é controlar e interromper o fluxo em tubulações. São acessórios muito importantes existentes nas tubulações, e que por isso devem merecer bastante cuidado na sua seleção, especificação, localização e manutenção (TELLES, 2003). Existe uma grande variedade e tipos de válvulas, algumas para uso geral, outras para fins específicos.

Dentre essas válvulas, vale-se destacar a válvula de regulação do tipo globo, que foi, justamente, o tipo de válvula analisada neste trabalho.

A válvula globo é um dispositivo geralmente empregado no controle ou bloqueio de vazão para um determinado fluido em tubulações, empregadas para quaisquer pressões e temperaturas, em diâmetros até 8” (TELLES, 2003). Este tipo de válvula é muito utilizado por proporcionar ótimo sistema de vedação. Para obter o melhor desempenho desse dispositivo, a manutenção deve ser realizada de forma preventiva periodicamente, sem que haja a parada do equipamento ou tubulação para posterior manutenção corretiva.

A manutenção deste tipo de válvula, assim como de outros tipos, é um procedimento extremamente importante para garantir o seu perfeito funcionamento, assegurando que a máquina na qual a válvula é utilizada possa operar de maneira segura e produtiva. Uma manutenção preventiva permite que seu alto desempenho não seja interrompido por situações inesperadas, que, conseqüentemente, geram elevação dos custos com uma manutenção corretiva ou a substituição da peça, dependendo da situação e dos danos ocasionados.

As vantagens de manutenção são muitas, sendo a principal a redução dos custos por substituição, uma vez que os ajustes periódicos custam, geralmente, menos que o valor de uma válvula nova. Além disso, um equipamento parado é bastante oneroso para empresas e impactam diretamente na qualidade e eficiência do processo produtivo. Todos os equipamentos e maquinários industriais devem passar por verificações constantemente, para não sofrerem prejuízos em qualidade e segurança, gerando impacto financeiro (FOXWALL, 2008).

Os procedimentos utilizados para recuperação dessas válvulas vão desde retificação, lapidação, recolocação dos anéis de vedação, usinagem do ressalto e ranhuras do flange, até o enchimento com solda, entre outros. Porém alguns desses procedimentos como a retificação e lapidação podem ser feitos manualmente, trabalho que demanda muito tempo do operário, tempo esse, que poderia ser melhor aproveitado em outras

atividades, além de desgastar fisicamente o operário. Outra dificuldade é o assentamento da válvula, para realização da atividade.

Segundo os resultados obtidos pelo estudo de Ligeiro (2010), que avaliou 10 indivíduos, utilizando 16 ferramentas de análise ergonômica, cuja atividade era realizar o procedimento de lapidação em válvulas globo de 3”, constatou que algumas ferramentas indicaram punho/mão como região mais acometida, enquanto outras ferramentas definiram a prioridade de intervenção indicando maior importância para braços/cotovelos e punho/mãos/dedos.

Devido às dificuldades operacionais e possíveis danos à saúde do operador para a realização da atividade de lapidação manual, viu-se a necessidade de tornar a operação semiautomática, por meio da elaboração de um projeto com uma morsa coordenada adaptada para realizar esse tipo de reparo em válvulas tipo globo com diâmetro de até 4 polegadas.

O estudo foi feito com base no que foi visto na Usina Monte Alegre S/A, durante o período de estágio. A empresa atua no setor sucroalcooleiro, com a produção de açúcar e etanol atendendo ao mercado interno e externo. Além disso, obtém-se como terceiro produto, a energia elétrica, através do processo de cogeração, que permite atender a demanda interna, da indústria e do campo, e externa com exportação do excedente para rede de distribuição. Gerando anualmente cerca de 2000 empregos diretos no setor agrícola durante o período de safra, que são distribuídos nos diversos setores da usina, tais como na parte da indústria (moenda, caldeira, casa de força, fabricação do açúcar, instrumentação), oficina mecânica, oficina mecânica de automóveis, destilaria, entre outros.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Projetar uma máquina semiautomática para realização do procedimento de lapidação de válvulas globo.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Concepção do sistema mecânico;
- Dimensionar os elementos de máquinas;
- Desenhar o sistema por meio de *software* CAD (*Computer-Aided Design*);
- Projetar e delimitar todos os parâmetros que a máquina deve atender.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1. Válvulas

Telles (2003) afirma que em qualquer instalação deve sempre haver o menor número de válvulas, compatível com o funcionamento da mesma, pois as válvulas são peças caras, onde há sempre a possibilidade de vazamentos e que introduzem perdas de carga no sistema, entretanto são peças fundamentais, sem as quais as tubulações seriam totalmente inúteis.

Segundo Telles (2003), os tipos mais importantes de válvulas são:

- Válvulas de Bloqueio: válvulas de gaveta, válvulas macho, válvulas de esfera, válvulas de comporta;
- Válvula de Regulagem: válvulas globo, válvulas de agulha, válvulas de controle, válvulas borboleta, válvulas diafragma;
- Válvulas que Permitem o Fluxo em um só Sentido: válvulas de retenção, válvulas de retenção e fechamento, válvulas de pé;
- Válvulas que Controlam a Pressão de Montante: válvulas de segurança e de alívio; válvulas de excesso de vazão, válvulas de contrapressão;
- Válvulas que Controlam a Pressão a Jusante: válvulas redutoras e reguladoras de pressão, válvulas de quebra-vácuo.

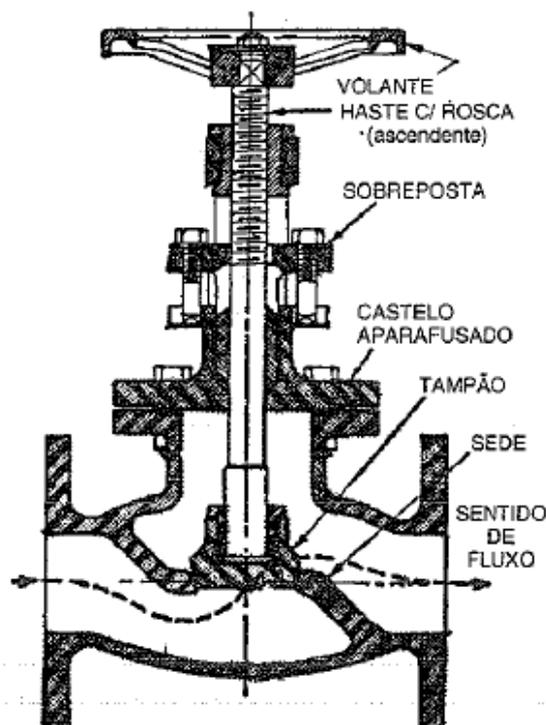
Pelo fato dessas válvulas poderem trabalhar em diferentes níveis de pressão, que também são divididas as classes de pressões que elas suportam, tais como: 150 #, 300 #, 600 #, 900 #, 1500 # e 2500 #. Onde # significa psi (libras por polegada ao quadrado).

##### 3.1.1. Válvulas Globo

A válvula globo é um dispositivo geralmente empregado no controle ou bloqueio de vazão para um determinado fluido em tubulações, empregadas para quaisquer pressões e temperaturas, em diâmetros até 8" (não é usual o emprego desse tipo de válvula em diâmetros maiores, pois seriam muito caras e dificilmente dariam uma boa vedação) (TELLES, 2003). Seu fechamento é feito por meio de um tampão, também chamado de obturador ou disco móvel, que se ajusta contra uma sede ou anel fixo, cujo orifício está

geralmente em posição paralela ao sentido geral de escoamento do fluido, conforme mostra a Figura 1. O tampão pode ter uma superfície de assentamento cônica, plana ou esférica.

Figura 1 – Componentes básicos das válvulas globo



Fonte: Telles (2003)

As válvulas podem trabalhar não somente em posição aberta ou fechada, mas também em quaisquer posições intermediárias de fechamento, isto é, são válvulas de regulagem. Porém, elas causam, em qualquer posição, grandes perdas de cargas, devido a mudança de direção e turbilhonamentos do fluido dentro dela (TELLES, 2003).

Telles (2003) afirma que as válvulas globo devem ser instaladas de forma que o fluido entre pela face inferior do tampão.

Elas são usadas basicamente para serviços de regulagem em linhas de água, óleos, líquidos em geral (não muito corrosivos), bem como para vapor, ar e outros gases. Empregam-se também para bloqueio em linhas de vapor, para diâmetro até 8" e, em muitos casos, para o fechamento estanque em linhas de gases em geral (TELLES, 2003).

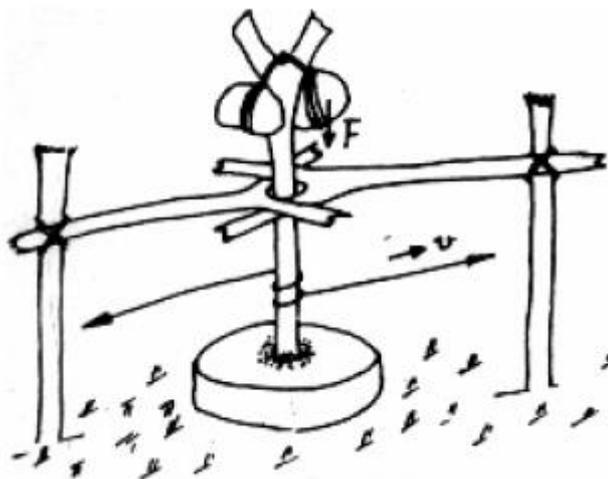
### 3.2. Processo de Lapidação

Segundo Sunanta (2002), lapidação é uma operação comumente usada em baixas velocidades e baixa pressão, para obtenção de superfícies planas, com baixa rugosidade e ótimo acabamento. A definição usual de lapidação é a fricção aleatória de uma peça contra um disco ou bloco ou placa de lapidação (geralmente de composição de ferro fundido ou outro material que é mais macia do que a peça) usando uma mistura abrasiva, geralmente resultando em um acabamento de colocação multidirecional, melhorando o acabamento (LYNAH, 1989 *apud* Sunanta, 2002). As aplicações da lapidação são inúmeras, embora sua aplicação seja mais frequente em superfícies planas.

#### 3.2.1. História do surgimento dos Processos Abrasivos

O primeiro mecanismo de remoção de material utilizado pela humanidade foi a abrasão. Desde os primórdios esse processo já era empregado para a fabricação de utensílios, ferramentas e armas. Segundo Stähli (1985 *apud* CRUZ, 2009), a lapidação talvez seja o mais antigo dos processos de usinagem, remontando inclusive à Idade da Pedra, como mostrado no artefato da Figura 2. Utilizando-se este aparato rudimentar eram produzidos furos em rodas de pedras com o auxílio de areia úmida, funcionando como um abrasivo, e uma vara pressionada e rotacionada contra a superfície. Esse processo fundamentava-se numa combinação de fricção, velocidade e força.

Figura 2 – Modelo de lapidação utilizado na Idade da Pedra



Fonte: Stähli (1985) *apud* Cruz (2009)

Com a descoberta dos metais forjados, a lapidação ficou em desuso até se demandar alta qualidade de acabamentos superficiais como na fabricação dos blocos padrões utilizados na calibração de instrumentos e medição de peças. Porém o conhecimento do processo manteve-se em segredo com os fabricantes por um longo tempo. A lapidação somente tornou-se popular com a introdução de novas tecnologias usadas em outras aplicações, como na área da óptica. Mesmo com esse avanço a lapidação era cara e inexata. A técnica da lapidação manual não satisfazia os anseios da indústria. Na Segunda Guerra Mundial enormes demandas de qualidade, intercambialidade e de produção em massa, e mais tarde seguida pela indústria automobilística trouxeram a lapidação para o conjunto dos processos de usinagem industrial (STÄHLI, 1985 *apud* CRUZ, 2009).

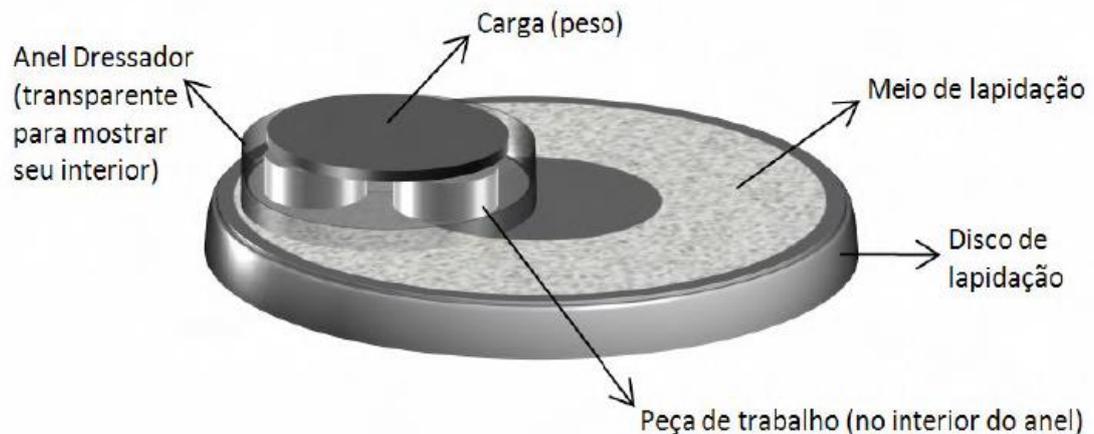
### 3.2.2. *Definição do Processo de Lapidação*

A lapidação é um processo de usinagem envolvendo grãos abrasivos dispersos em um meio de lapidação, capaz de transferir para a peça a forma da ferramenta de lapidação através da remoção promovida pelos grãos que descrevem movimentos aleatórios sobre a superfície da peça (KÖNIG, 1980 *apud* CRUZ, 2009).

Basicamente, uma peça é pressionada contra uma película de um composto abrasivo que é gotejado continuamente (ou pré-aplicado) no bloco ou disco de lapidação. O movimento é lento e como sempre há o óleo ou pasta entre a peça e a placa de lapidação. Isso resulta em menos distorção de calor do que na retificação (SUNANTA, 2002).

Os principais componentes de uma lapidadora plana são: bloco ou disco ou placa de lapidação, anel de acondicionamento de peças (anel dressador) e carga. Estes componentes podem ser observados na Figura 3.

Figura 3 – Esquema do princípio básico do processo de lapidação de peças planas



Fonte: Cruz (2009)

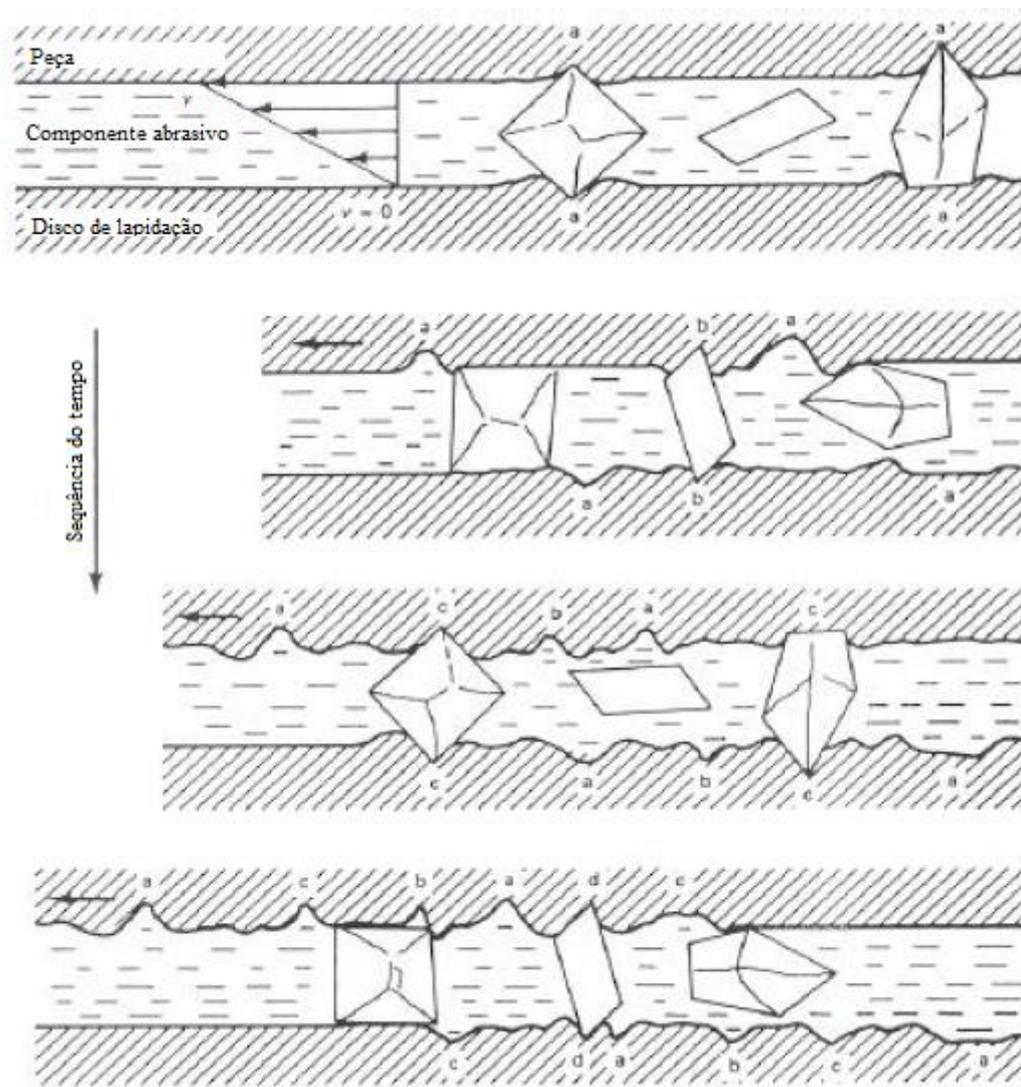
O bloco de lapidação e o anel dressador possuem as funções de: conter as peças de trabalho, rotacionar as peças durante a usinagem, manter a planicidade e transferi-la à peça, conformar o meio de lapidação em um fino filme com distribuição uniforme das partículas abrasivas para assegurar a perfeita acomodação do bloco com a superfície plana da peça, eliminar o material removido na usinagem e guiar a carga que pressiona o bloco. Apesar desses elementos mecânicos participarem do processo, o agente primordial do processo é o tipo de abrasivo e a forma como ocorre a remoção de material (STÄHLI, 1985 *apud* CRUZ, 2009).

Os grãos do composto abrasivo podem ter uma variedade de formas e tamanhos. Cada grão abrasivo solto que entra em contato com a peça funciona como uma ferramenta de corte microscópica. Há três componentes de abrasão que ocorrem durante o processo, dependendo da forma do grão abrasivo e da composição das superfícies da placa de lapidação. Partículas abrasivas maiores tendem a “enrolar” ou “deslizar” entre a placa de lapidação e a peça de trabalho, enquanto pequenas partículas ficam “embutidas” na superfície da placa (que geralmente é mais macia do que a peça de trabalho) (SUNANTA, 2002). Os três componentes do processo, segundo Sunanta (2002) são:

- Rolamento dos grãos abrasivos: as bordas afiadas dos grãos são forçadas para dentro da superfície da peça de trabalho fazem com que o material lasque partículas microscópicas. A Figura 5 mostra o movimento de rolagem de grãos abrasivos. À medida que a peça se move com uma determinada velocidade, o

abrasivo se move junto. No entanto, a velocidade do composto abrasivo na placa de lapidação é zero. Idealmente, uma distribuição de velocidade com uma transição gradual se desenvolveria e seria perturbada pelos grãos abrasivos contidos no composto. Os caminhos, que se desenvolvem na pasta, captam e endireitam os grãos uniformes que estão estendidos. Assim, estes grãos também são forçados a fazer a abrasão pré-estabelecida;

Figura 4 – Esquema mostrando o movimento de rolamento dos grãos abrasivos

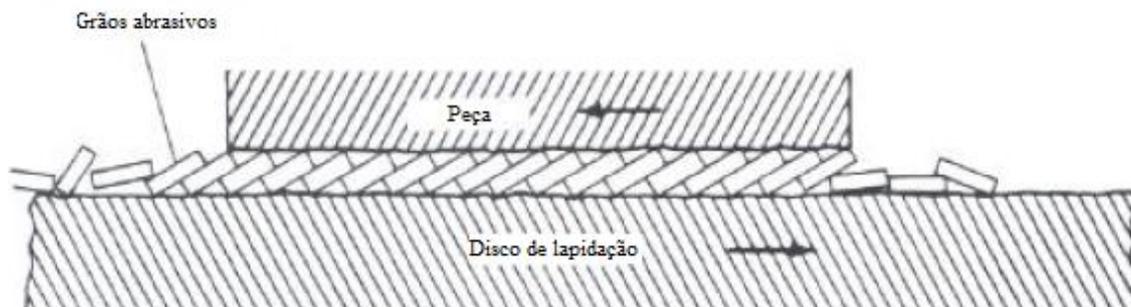


Fonte: Adaptado de Suntura (2002)

- Deslizamentos dos grãos abrasivos: as condições para o deslizamento são semelhantes às do rolamento. A diferença é que o deslizamento ocorre para grãos abrasivos que são mais planos ou em forma de placa na configuração. Ele simula a ação de corte de minúsculos raspadores como mostrado na Figura 5. Acredita-

se que os grãos abrasivos parecidos com placas se empilham uns sobre os outros (semelhante a dominós tombados), proporcionando muitas arestas de corte para raspar a superfície da peça de trabalho;

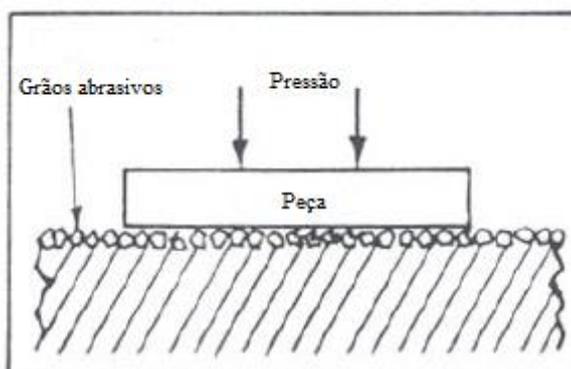
Figura 5 – Esquema mostrando o movimento de deslizamento dos grãos abrasivos



Fonte: Adaptado de Suntana (2002)

- **Incorporação:** os grãos abrasivos que estão realizando a maior parte do trabalho são incorporados a placa de lapidação e agem como ferramentas de raspagem microscópica. Estes grãos abrasivos eventualmente se quebram em grãos menores e mais afiados. Os grãos abrasivos maiores que incorporam na placa de apoio proporcionam a ação de polimento mais agressiva quando ocorre um movimento relativo entre a peça de trabalho e o bloco de lapidação. À medida que esses grãos maiores são desgastados ou quebram, os grãos menores começam a incorporar. A Figura 6 a seguir mostra a ação de corte via grãos abrasivos incorporados.

Figura 6 – Esquema dos grãos abrasivos incorporados no bloco de lapidação



Fonte: Adaptado de Sunanta (2002)

### 3.2.3. Abrasivo utilizado na Lapidagem

Os abrasivos vêm em uma ampla variedade de formas: macio a duro, forte a quebradiço, grosso a fino, uniforme a irregular. Eles se apresentam de formas cristalinas naturais ou artificiais. O tamanho e a forma dos grãos abrasivos têm efeito sobre a ação de lapidação (SUNANTA, 2002). Uma ampla distribuição de tamanho pode causar arranhões e ser mais lenta do que um grão abrasivo com distribuição de tamanho restrita (INDGE, 1990 *apud* SUNANTA, 2002). Assim, o abrasivo usado na lapidação deve ser cuidadosamente avaliado quanto ao tamanho (MCKEE *apud* SUNANTA, 2002). As Tabela 1 e Tabela 2 ilustram, respectivamente, os tipos, dureza e tamanhos de grãos abrasivos que são mais comuns em lapidação.

Tabela 1 – Tipo de abrasivo para lapidação e sua dureza

ABRASIVO	DUREZA (MOHS)
Diamante	10
Nitreto de Boro	9.7
Óxido de Alumínio	9
Carboneto de Silício (Carborundum)	9
Óxido de Cromo	8.5

Fonte: Brown *apud* Sunanta (2002)

Tabela 2 – Tamanho médio das partículas dos grãos abrasivos (continua)

NÚMERO DO TAMANHO DO GRÃO	POLEGADAS
100	0,0068
120	0,0056
150	0,0048
180	0,0034
220	0,0026
240	0,00248
280	0,00175
320	0,00128
400	0,00090

Fonte: Brown *apud* Sunanta (2002)

Tabela 2 – Tamanho médio das partículas dos grãos abrasivos (conclusão)

NÚMERO DO TAMANHO DO GRÃO	POLEGADAS
500	0,00065
600	0,00033
900	0,00024
1000	-
1200	-

Fonte: Brown *apud* Sunanta (2002)

Os abrasivos usados na lapidação geralmente estão na forma de suspensões abrasivas ou compostos (pastas), ou seja, é imerso em um transportador aglutinante. O abrasivo serve como o principal meio de corte; o aglutinante fornece lubrificação, evita o superaquecimento do trabalho e, em alguns casos, cimenta com firmeza o abrasivo na face do bloco. Aumentar ou diminuir o tamanho de partícula do abrasivo ou variar a quantidade e os tipos de lubrificante usados no aglutinante pode alterar a ação de qualquer composto individual. Não há regras claras a seguir e cada operador deve testar ou experimentar para encontrar o composto abrasivo adequado (SUNANTA, 2002). As regras práticas para a seleção de compostos abrasivos são: o abrasivo em um composto deve ser tão duro quanto o material a ser lapidado; um composto não incorporado ou sem carga deve ser usado para metais moles e quanto mais macio o metal, mais macio o abrasivo, o recíproco também é verdadeiro (BROWN *apud* SUNANTA, 2002).

#### 3.2.4. Lapidação em Válvulas

Foi tomado como revisão bibliográfica para este tópico o trabalho desenvolvido por Mathias (2014) e o manual de instrução da Crosby, onde ambos falam a respeito da manutenção de válvulas de segurança e de alívio de pressão. Estas válvulas requerem uma ótima estanqueidade, já que trabalham “sempre” fechadas. Por outro lado, as válvulas globo, que não foram desenvolvidas para o mesmo tipo de trabalho, em alguns casos também trabalham totalmente fechadas exigindo-se, pois, uma boa estanqueidade da mesma. Então se presumiu que os procedimentos feitos no reparo de válvulas de segurança, mais precisamente o procedimento de lapidação, também podem ser feitos em válvulas globo. A diferença é que em válvulas de segurança, o bocal (que pode ser comparado com a sede das válvulas globo) pode ser retirado de dentro da válvula e feito

a lapidação por fora. Este procedimento, que a princípio não pode ser feito em válvulas globo, torna-se possível através da inserção do bloco de lapidação no interior da válvula, como mostrado a seguir neste trabalho.

Segundo Mathias (2014), quando uma válvula é instalada num sistema estável e consegue atender o prazo máximo estabelecido pela norma, mesmo que esteja calibrada e vedando de maneira correta, ela deverá ser submetida a uma manutenção periódica. Com base no mesmo autor, existem quatro procedimentos que são obrigatórios para que a válvula possa ser instalada novamente e posta em operação:

- Desmontagem completa da válvula, limpeza e inspeção dos componentes;
- Lapidação do disco (que pode ser comparado com o obturador das válvulas globo) e bocal (sede das válvulas globo) antes da montagem;
- Verificação da vedação.

A lapidação consiste em deixar as superfícies de vedação extremamente planas, e com excelente acabamento, para que essas superfícies possam impedir o vazamento do fluido de processo (na pressão normal de operação) (MATHIAS, 2014).

Antes da desmontagem, durante a lapidação e remontagem da válvula, a limpeza é obrigatória e essencial no sentido de se evitar descontinuidade no acabamento final. A planicidade da base de lapidação é outro fator determinante para o resultado da lapidação e, conseqüentemente, uma boa vedação da válvula. O paralelismo, o alinhamento e perpendicularidade entre as superfícies de vedação e o sistema de guia são obrigatórios para o correto funcionamento da válvula (MATHIAS, 2014).

Durante o processo de lapidação não se deve rodar o bloco continuamente, mas utilizá-lo com um movimento oscilante (movimentos de “vai-e-vem”). Deve-se ter extremo cuidado durante todo o processo para garantir que o bocal esteja mantido perfeitamente plano. Se for necessária uma lapidação mais pesada, deve-se colocar uma pequena camada de composto ou pasta de granulação média grossa sobre o bloco de lapidação. Após a lapidação com o composto de granulação média grossa, deve ser lapidado novamente com composto de grão médio. Se uma lapidação profunda não for necessária, o primeiro passo não precisa ser executado. Em seguida, se deve lapidar de novo usando um composto de granulação fina. Na Tabela 3 pode ser visto o número do composto, de acordo com a sua descrição (CROSBY).

Os discos devem ser lapidados da mesma forma que os bocais. Discos muito danificados que não possam ser recuperados pelo processo de lapidação devem ser substituídos. A reusinagem do disco não é recomendada, pois pode alterar as dimensões críticas, afetando a ação da válvula (CROSBY).

Tabela 3 – Compostos abrasivos e sua descrição

NÚMERO DO COMPOSTO	DESCRIÇÃO
320	Médio Grosso
400	Médio
600	Fino
900	Polimento

Fonte: Crosby.

#### 3.2.4.1. Precauções para uma boa lapidação

A seguir são citadas algumas dicas para o processo de lapidação em válvulas de segurança e de alívio de pressão, segundo Mathias (2014):

- Cada peça (disco e bocal) deve ser lapidada separadamente em seus respectivos blocos de lapidação;
- Não se deve lapidar o disco e o bocal com esforço excessivo descendente. Esta força pode ser exercida pelo peso do próprio bloco;
- Garantir a planicidade entre o bloco de lapidação e a peça a ser lapidada;
- A lapidação não deve ser feita girando continuamente o bloco de lapidação. Este movimento causa um arredondamento nas bordas interna e externa da superfície de vedação, prejudicando a capacidade de vedação da válvula, pois reduz sua vida útil. Fazer movimentos nesse sentido pode causar riscos, por exemplo, em espiral vindo de dentro para fora da superfície de vedação (ou vice-versa), sendo um “caminho” para vazamentos;
- Não se deve lapidar o disco contra o bocal, pois além de causar riscos e rebarbas, também causa arredondamento entre as superfícies;
- Sempre que for mudar o abrasivo, deve ser feito a limpeza completa da superfície que está sendo lapidada, principalmente se for passar de um abrasivo mais grosso para outro mais fino;

- Não deve ser feita a limpeza da superfície de vedação com papel macio seco, principalmente quando o abrasivo for do tipo grosso. O papel macio deve estar molhado com o removedor (álcool doméstico ou um produto semelhante para o mesmo fim, que seja de rápida evaporação e que não deixe resíduos) antes de limpar a peça;
- Não se deve deixar o recipiente do composto abrasivo aberto e exposto a contaminantes.

## **4. METODOLOGIA**

### **4.1. Idealização da Máquina**

O estudo para a idealização da máquina lapidadora foi realizado com base no que foi visto durante o período de estágio na Usina Monte Alegre S/A, situada na cidade de Mamanguape-PB.

O procedimento de lapidação das válvulas ocorre somente em períodos de entressafra da cana-de-açúcar, que é o período que a usina para as suas unidades para manutenção de seus equipamentos. A atividade não possui tarefa prescrita, pois esta depende do estado em que cada válvula se encontra, ou seja, a situação encontrada em cada válvula impõe a manutenção que a mesma deve sofrer. Assim, um mesmo tipo e tamanho de válvula pode se encontrar de maneiras diferentes dependendo da linha, pressão e tempo de atividade que ela atende, ou ainda se passou por manutenções ao longo do tempo de utilização. Nestes casos, o funcionário da empresa desmonta, avalia cada válvula minuciosamente e estabelece os itens a serem reparados ou trocados; e isto faz com que cada tarefa seja específica para cada válvula, fazendo com que o tempo de cada ciclo e as posturas de reparo variem bruscamente de acordo com cada colaborador e válvula a ser reparada.

O procedimento é feito manualmente pelos operários como visto nas Figura 7 e Figura 8. Porém é uma atividade que demanda muito tempo do operário, tempo este, que poderia ser melhor aproveitado em outras atividades, além de desgastar fisicamente o funcionário. E como foi dito, seguindo os resultados obtidos pelo estudo de Ligeiro (2010), que avaliou 10 indivíduos, utilizando 16 ferramentas de análise ergonômica, cuja atividade era realizar o procedimento de lapidação em válvulas globo de 3”, constatou-se que algumas ferramentas indicaram punho/mão como região mais acometida, enquanto outras ferramentas definiram a prioridade de intervenção indicando maior importância para braços/cotovelos e punho/mãos/dedos. Outras dificuldades desta atividade é justamente o assentamento da válvula, que é feito em cantoneiras, porém não garantem uma perfeita fixação da mesma, além da questão de centralização do obturador com a sede da válvula.

Figura 7 – Procedimento de lapidação manual em válvula de 2”



Fonte: O autor (2018)

Figura 8 – Procedimento de lapidação manual em válvula de 4”

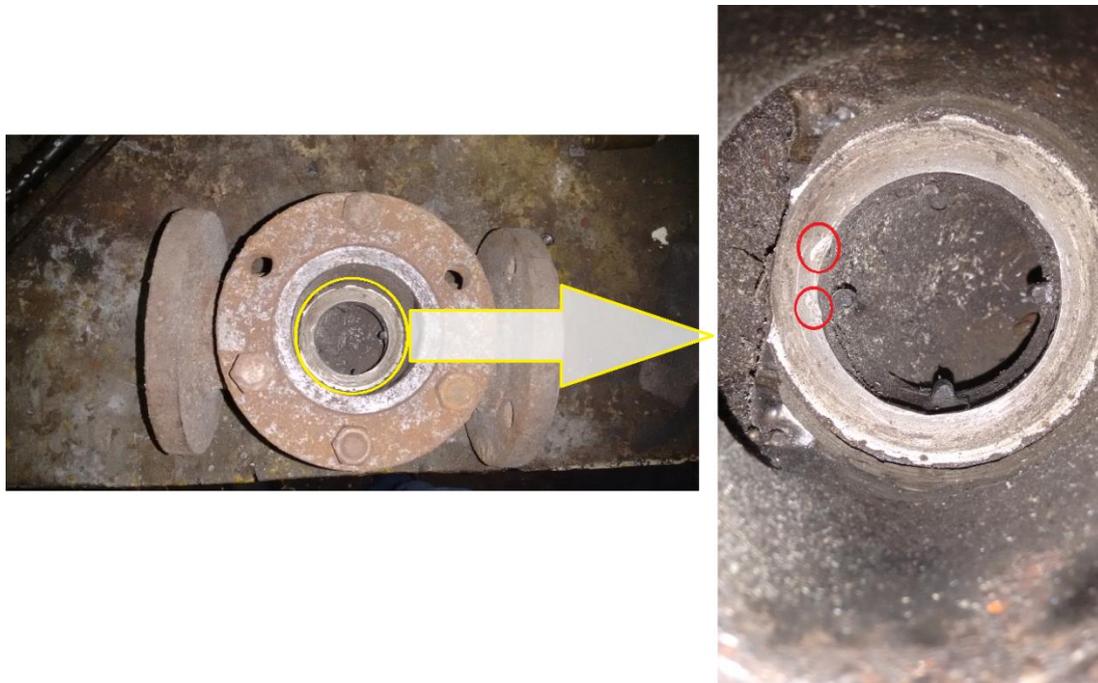


Fonte: O autor (2018)

A recuperação da sede, que é justamente local por onde todo fluxo é direcionado proporcionando um desgaste localizado, se dá através de enchimento com solda nas

regiões de desgaste, como ilustrado na Figura 9, para posteriormente ser direcionada para usinagem com intuito de uniformizar a vedação juntamente com o obturador.

Figura 9 – Válvula globo a ser preenchida com solda



Fonte: O autor (2018)

Devido as dificuldades operacionais e possíveis danos à saúde do operador para a realização da atividade, viu-se a necessidade de tornar a operação semiautomática, por meio da elaboração de um projeto com uma morsa coordenada adaptada para realizar esse tipo de reparo em válvulas do tipo globo com diâmetro de até 4” da classe 600 #, pois foi a maior válvula encontrada no qual se realiza este tipo de reparo na usina.

#### 4.2. Escopo

O projeto em questão visa atender a necessidade de se ter uma máquina que acelere o processo de lapidação de válvulas globo, além de semiautomatizar o procedimento tornando-o de mais fácil realização e sem prejudicar a saúde do operador, através de uma construção simples, formada por itens comerciais, atendendo a esta demanda de maneira eficiente e barata.

O projeto seguiu as seguintes etapas:

- Definição do *layout* e esboço do primeiro modelo;
- Divisão da máquina em módulos: morsa coordenada, guias, motor elétrico;
- Dimensionamento dos elementos principais dos módulos;
- União dos módulos para montagem final e definição do *layout* final.

### **4.3. Especificações Técnicas**

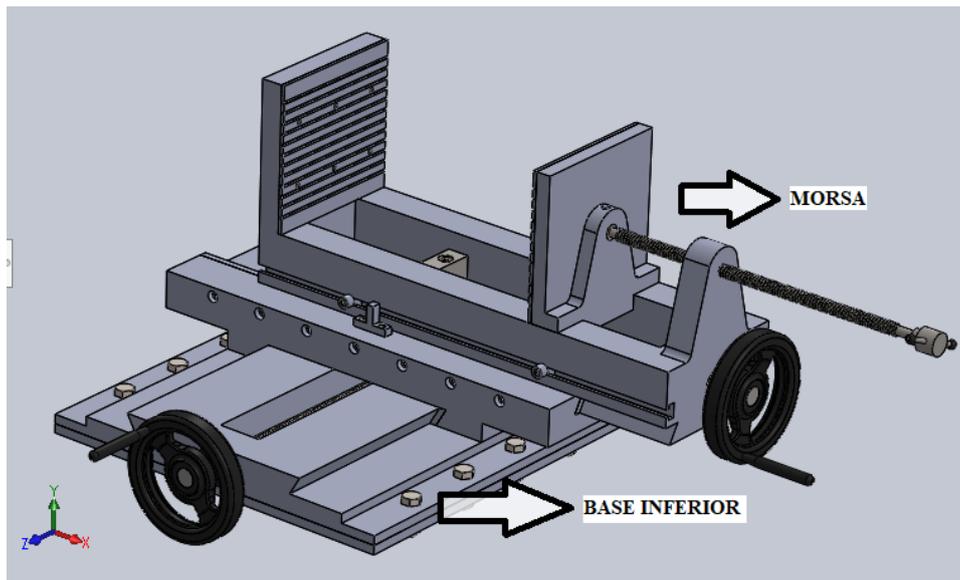
- Dimensões (Comp. x Larg. x Alt.): 800 x 1315 x 2080 mm.
- Curso longitudinal x transversal: 400 x 275 mm.
- Largura do mordente: 200 mm.
- Abertura da morsa: 500 mm.
- Tipo de Acionamento: Manual.
- Público Alvo: Usinas e empresas que atuam no ramo de válvulas industriais, tendo como atividade a lapidação de válvulas globo.
- Material usado na construção: Aço.
- Necessidade de fonte de energia: Motor Elétrico.

### **4.4. Dados do Projeto**

#### *4.4.1. Morsa Coordenada*

Como uma das dificuldades citadas no item 4.1 é a questão de assentamento da válvula, percebeu-se a possibilidade de utilização de uma mesa coordenada, tendo liberdade de movimento nos eixos X e Z, onde nela pudesse adaptar uma morsa, que seria a responsável pela fixação da válvula. Ou seja, a mesa coordenada é composta pela base inferior e a base superior, onde foi acoplado a morsa, como pode ser visto na Figura 10.

Figura 10 – Morsa Coordenada



Fonte: O autor (2018)

Para determinar as dimensões da morsa coordenada, foi levado em consideração quatro diferentes fabricantes de válvulas globo, onde foi analisado as diferentes dimensões das válvulas de 4" da classe 600#. Com isso, ficou determinado então, que a morsa deveria ter abertura máxima entre mordentes de 500 *mm*.

Visando uma melhor maneira, no momento em que for colocar a válvula sobre a morsa, é que foi escolhido que a base superior tenha um deslocamento de 400 *mm* no eixo Z.

#### 4.4.1.1. Dimensionamento do Fuso da Morsa

Para o dimensionamento do fuso da morsa, foi escolhido, primeiramente, o passo do fuso com 6 fios por polegada, ou seja,  $p \cong 4,23 \text{ mm}$  (afim de evitar um esforço excessivo por parte do operador no momento em que for colocar a morsa na posição desejada) com um diâmetro primitivo,  $d_p = 15,875 \text{ mm}$ , diâmetro comumente utilizado para fusos de mesa coordenada. Logo após, foi adotado o avanço do fuso,  $l = 10 \text{ mm/s} = 0,010 \text{ m/s}$ . Com essas suposições, pode-se então calcular a rotação que será dada no fuso:

$$l = n \cdot p \Rightarrow n = \frac{l}{p} \quad (1)$$

$$n = \frac{10}{4,23} \cong 2,36 \text{ rps}$$

Logo, pode-se observar que esta rotação é algo aceitável para o funcionário.

Após o cálculo da rotação do fuso, calculou-se a força axial atuando sobre a área normal da rosca do fuso, para só então calcular o torque que o funcionário deveria exercer sobre o fuso, para promover a movimentação da morsa sobre o eixo X.

Para o cálculo da força axial, foi adotado que seria colocado sobre a morsa a maior válvula da usina, que iria passar pelo procedimento de lapidação, cuja massa era cerca de 80 kg, junto com todo o sistema da morsa que iria se movimentar, onde foi estimado o peso deste conjunto em 71 kg, utilizando uma propriedade do *software* utilizado para fazer o desenho CAD. Foi adotado também que o sistema partiria do repouso e que alcançaria a velocidade de avanço em 0,1 segundos. Logo:

$$F = ma = m \frac{\Delta V}{\Delta t} = m \frac{V_f - V_i}{t_f - t_i} \quad (2)$$

$$F = (80 + 71) \left( \frac{0,010 - 0}{0,1 - 0} \right) = 15,1 \text{ N}$$

Para o cálculo do torque, foi adotado um coeficiente de atrito estático,  $f = 0,2$ , comumente utilizado quando se existe o atrito metal/metal. Com isso tem-se que:

$$T = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m + fl} \right) \quad (3)$$

onde,

$$d_m = d_p - \frac{p}{2} \quad (4)$$

$$d_m = 15,875 - \frac{4,23}{2} = 13,76 \text{ mm}$$

logo,

$$T = \frac{15,1 \times 0,01376}{2} \left( \frac{0,01 + 0,2\pi \times 0,01376}{0,01376\pi + 0,2 \times 0,01} \right) \cong 0,043 \text{ Nm}$$

Conclui-se então que o torque que deverá ser exercido pelo operador enquanto posiciona a morsa, não irá requerer muito esforço do mesmo.

#### 4.4.1.2. Dimensionamento do Fuso da Mesa Coordenada

Para este fuso foram levados em consideração as mesmas características do fuso da morsa, tais como:

- Passo,  $p \cong 4,23 \text{ mm}$ ;
- Diâmetro primitivo,  $d_p = 15,875 \text{ mm}$ ;
- Rotação,  $n \cong 2,36 \text{ rps}$ ;
- *peso do conjunto morsa + peso da maior válvula* =  $80 + 71 = 151 \text{ kg}$ ;
- Diâmetro médio,  $d_m = 13,76 \text{ mm}$ ;
- Coeficiente de atrito estático metal/metal,  $f = 0,2$ .

Utilizando a propriedade do *software* utilizado para fazer o desenho CAD, estima-se que a massa da base móvel, no qual a morsa se movimenta, em torno de  $53 \text{ kg}$ . Logo, fazendo uso da Equação (2), tem-se:

$$F = (151 + 53) \left( \frac{0,010 - 0}{0,1 - 0} \right) = 20,4 \text{ N}$$

Aplicando este resultado na Equação (3), tem-se que:

$$T = \frac{20,4 \times 0,01376}{2} \left( \frac{0,01 + 0,2\pi \times 0,01376}{0,01376\pi + 0,2 \times 0,01} \right) \cong 0,058 \text{ Nm}$$

Com este valor, também é observado que o torque para movimentar a mesa coordenada pelo eixo Z, é muito pequeno.

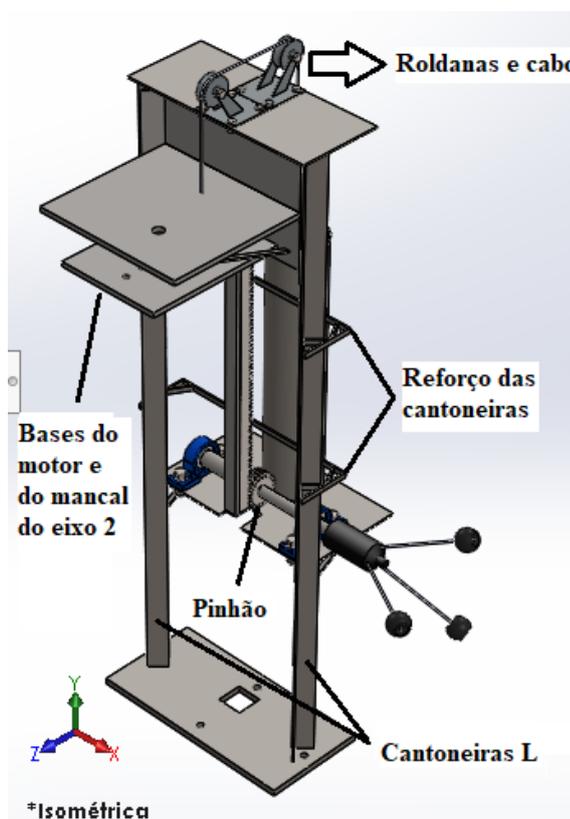
#### 4.4.2. Guias

Foram escolhidas como guias do sistema que irá erguer ou baixar o motor, no qual está acoplado o eixo que transmitirá o movimento de rotação até o bloco de lapidação,

cantoneiras em L. Escolheu-se utilizar este tipo cantoneira como guia devido a sua fácil montagem, além de ser facilmente encontrada no mercado e com baixo custo.

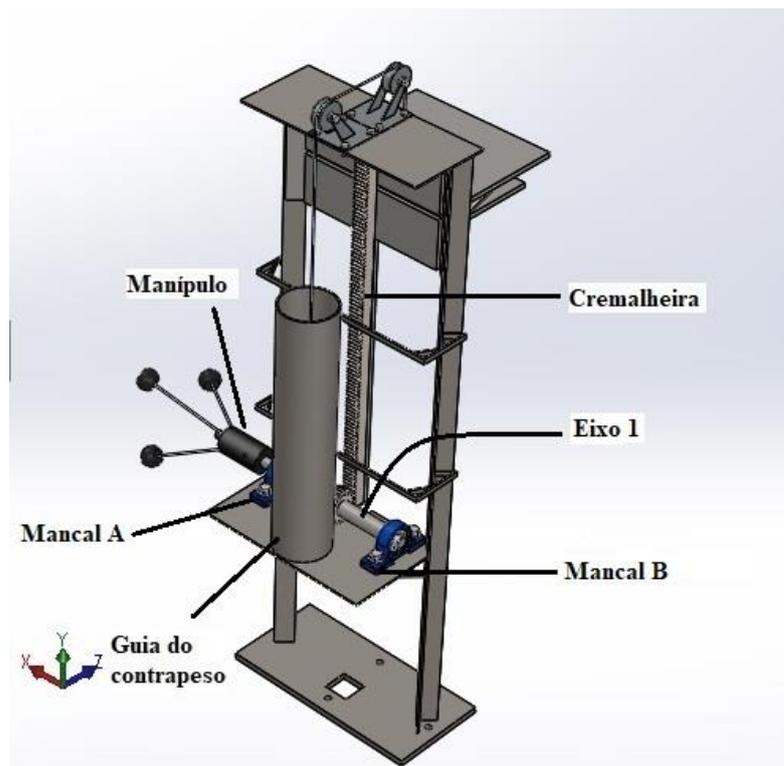
As cantoneiras também foram utilizadas como base para o suporte onde foi instalado o eixo 1 com o pinhão, juntamente com os rolamentos, além do guia do contrapeso. Na sua parte superior foram instaladas as roldanas, por onde passa o cabo que segura o contrapeso e o sistema do motor, como pode ser observado nas Figura 11 e Figura 12.

Figura 11 – Sistema completo das guias em vista isométrica



Fonte: O autor (2018)

Figura 12 – Sistema das guias em outra perspectiva



Fonte: O autor (2018)

#### 4.4.2.1. Cantoneiras

As cantoneiras escolhidas para a realização da máquina foram cantoneiras em L com abas de  $1\frac{1}{2}$  por  $\frac{1}{8}$  de largura e comprimento de 1200 mm.

#### 4.4.2.2. Contrapeso

Contrapeso foi calculado com relação as massas do motor, do mancal do eixo 2, das suas respectivas bases, do eixo 2 e da cremalheira.

Utilizando a mesma propriedade do *software* de desenho CAD, foi-se estimado que a massa do sistema que deve ser balanceado é 20 kg mais a massa do motor elétrico que é cerca de 2,5 kg. Logo a massa do contrapeso deve ser  $\geq 22,5$  kg. Adota-se então uma massa para o contrapeso igual à 23 kg, levando em consideração possíveis erros de medição.

#### 4.4.2.3. Pinhão e cremalheira

Com o pinhão e a cremalheira definidos, foram realizados cálculos para determinar se esses componentes suportariam a força necessária do sistema.

Para o dimensionamento do pinhão foram estabelecidos alguns parâmetros. São eles:

- Ângulo de pressão normal,  $\phi_n = 20^\circ$ , pois é um valor padronizado e de maior utilização;
- Módulo,  $m = 2,5 \text{ mm/dente}$ , conforme a Tabela 4;
- Como regra, engrenagens cilíndricas de dentes retos devem ter uma largura de face de 3 a 5 vezes o passo circular. Tendo que o passo circular é dado por  $\pi m$ . Portanto, pode-se aproximar para  $b = 10m$ , obtendo assim uma largura de face de  $b = 25 \text{ mm}$ .

Tabela 4 – Módulos normalizados

Módulos $m(\text{mm/dente})$	
Preferidos	1, 1,25, 1,5, 2, 2,5, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50
Próxima escolha	1,125, 1,375, 1,75, 2,25, 2,75, 3,5, 4,5, 5,5, 7, 9, 11, 14, 18, 22, 28, 36, 45

Fonte: Shigley (2016)

Para determinar o menor número de dentes do pinhão de dentes retos que operará com uma cremalheira sem interferência, é necessário utilizar a Equação (6):

$$N = \frac{2k}{\text{sen}^2 \phi_n} \quad (6)$$

Usando  $k = 1$  (dentes de altura completa), obtêm-se que  $N = 18$ . Foi escolhido, então, 23 dentes para o pinhão, por questões de montagem.

Com isso, já é possível determinar o diâmetro do pinhão através da Equação (7).

$$m = \frac{d}{N} \quad (7)$$

Portanto,  $d = 57,5 \text{ mm}$ .

#### 4.4.2.3.1. Análise detalhada de resistência à fadiga por flexão do dente da engrenagem

Através desta análise foi possível determinar se a engrenagem escolhida suporta a força de trabalho dada pelo torque no volante do veículo. Essa análise é feita através da comparação da tensão de fadiga efetiva calculada pela Equação (8), com o correspondente limite de resistência a fadiga, calculado a partir da Equação (10).

$$S_n = S'_n C_L C_G C_S k_r k_t k_{ms} \quad (8)$$

Onde:

$S_n$  = limite de resistência à fadiga

$S'_n$  = limite de resistência a fadiga padronizado R. R. Moore

$C_G$  = fator gradiente

$C_S$  = fator de superfície

$k_r$  = fator de confiabilidade

$k_t$  = fator de temperatura

$k_{ms}$  = fator de tensão média

O limite de resistência à fadiga padronizado por R.R Moore é descrito por JUVINALL (2013), como:

$$S'_n = 0,5S_{ut} \quad (9)$$

O pinhão e a cremalheira escolhidos são fabricados em aço SAE 1045, que possui limite de escoamento,  $S_y = 530 \text{ MPa}$ , e limite de resistência a tração  $S_{ut} = 630 \text{ MPa}$ . Sendo assim,  $S'_n = 315 \text{ MPa}$ .

O fator de carga e fator gradiente podem ser determinados através da Tabela 5:

Tabela 5 – Fator de carga e fator gradiente

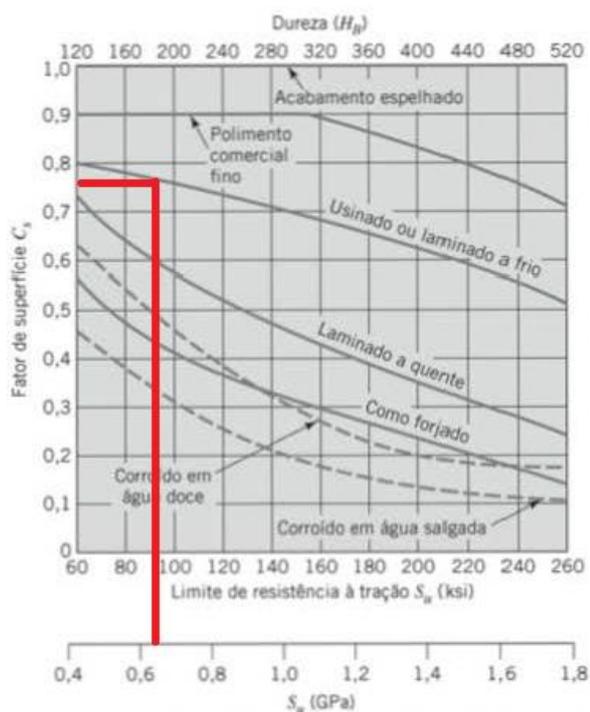
	Flexão	Carga Axial	Torção
$C_L$ (fator de carga):	1,0	1,0	0,58
$C_G$ (fator gradiente):	1,0	0,7 a 0,9	1,0
diâmetro < (0,4 in ou 10 mm)			
(0,4 in ou 10 mm) < diâmetro < (2 in ou 50 mm) <sup>c</sup>	1,0	0,7 a 0,9	0,9

Fonte: Juvinal (2013)

Considerando que as cargas que atuam sobre o pinhão e a cremalheira são cargas de flexão, então,  $C_L = 1$  e  $C_G = 1$ .

O fator de acabamento de superfície, que também causa redução do limite de resistência a fadiga, foi obtido a partir da Figura 13:

Figura 13 – Redução do limite de resistência à fadiga causado pelo acabamento superficial



Fonte: Juvinal (2013)

Considerando o acabamento superficial da engrenagem dado através da usinagem:  $C_S = 0,76$ .

O fator de confiabilidade  $k_r$  pode ser obtido a partir da Tabela 6. Esse fator determina a porcentagem de chance do componente falhar antes que seja alcançada a vida útil para a qual foi projetado.

Tabela 6 – Fator de confiabilidade,  $k_r$ 

Confiabilidade (%)	50	90	99	99,9	99,99	99,999
Fator $k_r$	1,000	0,897	0,814	0,753	0,702	0,659

Fonte: Juvinal (2013)

Cabe ao projetista determinar a confiabilidade aplicada ao projeto e para esse caso foi aplicado 99% de confiabilidade, portanto:  $k_r = 0,814$ .

O fator de temperatura é determinado de acordo com a temperatura de trabalho. Considerando que a temperatura de trabalho será abaixo de 160 °F, então  $k_t = 1$ .

Fator de tensão média é dado conforme o tipo de aplicação da engrenagem. Esse fator também é apresentado dividido em dois casos por JUVINALL (2013):

$k_{ms} = 1$ , para engrenagens intermediárias (cargas alternadas)

$k_{ms} = 1,4$ , para engrenagens de entrada e saída (flexão em único sentido)

Como o pinhão e apresenta rotação nos dois sentidos, conforme a solicitação do piloto, determinou-se:  $k_{ms} = 1$ .

Após levantamento de todos os fatores necessários, foi calculado o limite de resistência à fadiga:

$$S_n \cong 194,87 \text{ MPa}$$

Foi considerado um fator de segurança de 10% para as engrenagens, a fim de prevenir possíveis incertezas do projeto e da fabricação deste. Desta forma, foi determinado o limite de resistência a fadiga considerando o fator de segurança.

$$S' = 0,9S_n \cong 175,38 \text{ MPa}$$

Continuando na análise detalhada, aplicou-se a Equação (10), para determinar a força tangencial máxima suportada pelo pinhão e pela cremalheira:

$$\sigma = \frac{F_t}{mbJ} K_v K_o K_m \quad (10)$$

Onde:

$\sigma$ : tensão de flexão dos dentes

$F_t$ : componente tangencial da força

$m$ : módulo

$b$ : largura da face do dente

$J$ : fator geométrico da engrenagem de dentes retos

$K_v$ : fator de velocidade

$K_o$ : fator de sobrecarga

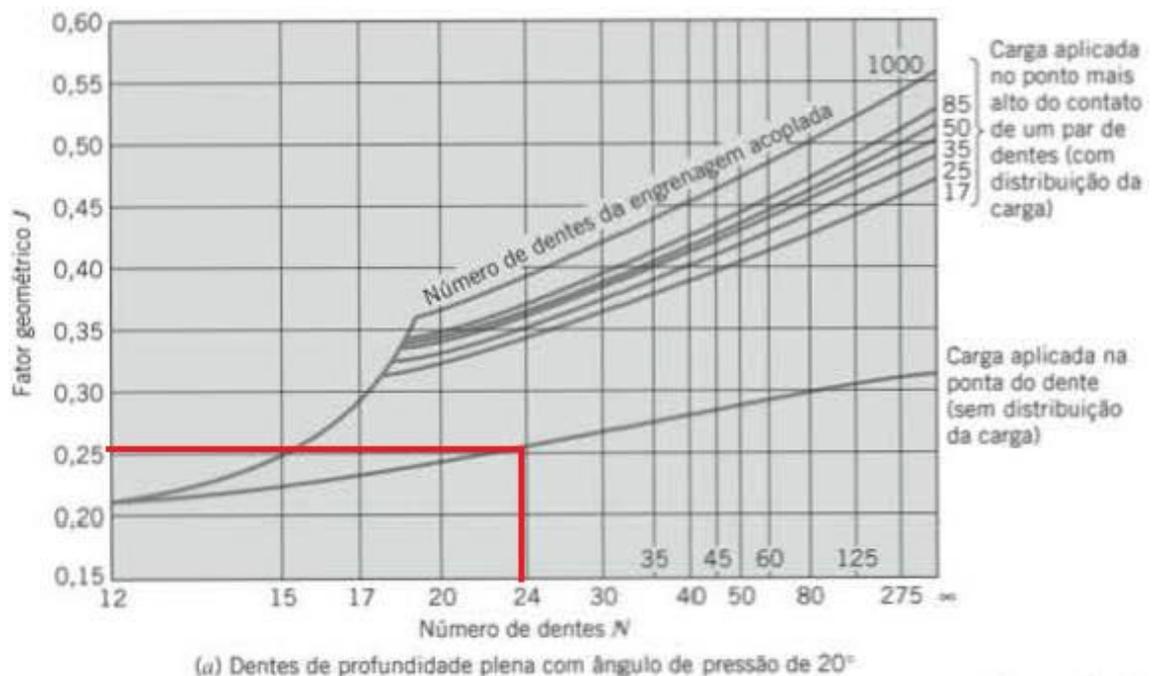
$K_m$ : fator de montagem

A tensão de flexão dos dentes foi considerada igual ao limite de resistência à fadiga calculado com o fator de segurança, logo:  $\sigma = 175,38 \text{ MPa}$ .

O módulo e a largura da face da engrenagem foram determinados anteriormente, sendo:  $m = 2,5$  e  $b = 25 \text{ mm}$ .

O fator geométrico das engrenagens de dentes retos incorpora o fator de forma de Lewis Y, e também um fator de concentração de tensão que se baseia em um filete no dente com um raio de  $0,35/P$  (JUVINALL, 2013). O fator geométrico foi obtido a partir da Figura 14, no qual foi considerado  $J = 0,28$ .

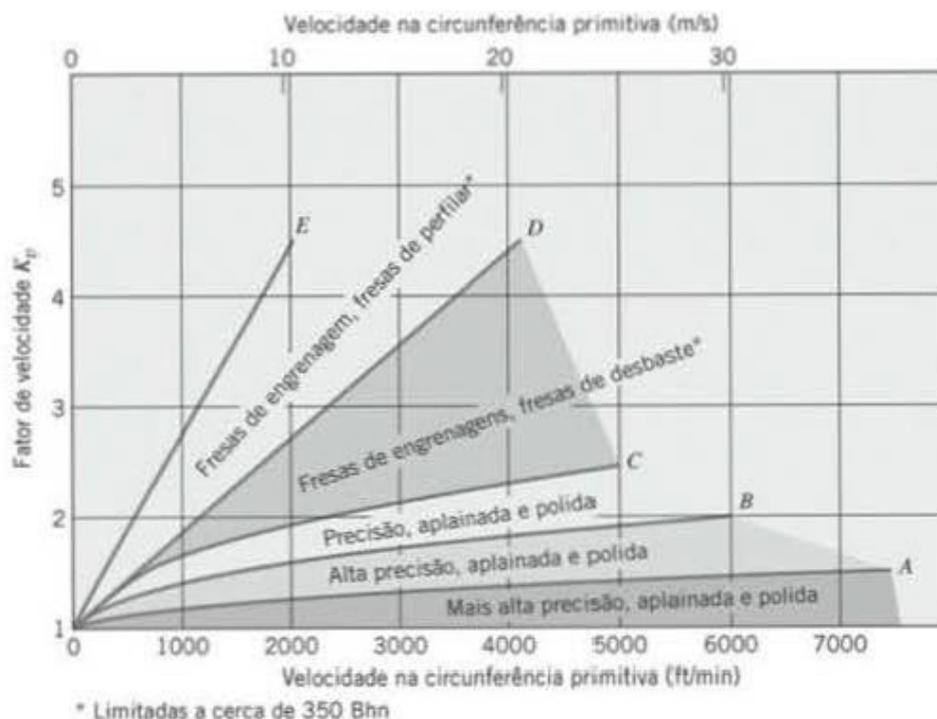
Figura 14 – Fator geométrico em função do número de dentes



Fonte: Juvinall (2013)

O fator de velocidade  $K_v$  é responsável por indicar a severidade do impacto quando pares de dentes são engrenados de forma sucessiva. Esse fator é em função da velocidade da circunferência primitiva e da precisão de fabricação e foi determinado pela Figura 15.

Figura 15 – Fator de velocidade,  $K_v$



Fonte: Juvinal (2013)

Considerou-se que a velocidade na circunferência primitiva é muito pequena e, para todos os métodos de fabricação considerados na Figura 15 em baixas velocidades, o fator  $K_v$  está próximo de um. Logo foi considerado:  $K_v = 1$ .

O fator de sobrecarga,  $K_o$ , mostra a não uniformidade na aplicação do torque nas engrenagens e seu valor foi obtido a partir da Tabela 7.

Tabela 7 – Fator de sobrecarga,  $K_o$

Fonte de Potência	Máquina Conduzida		
	Uniforme	Impacto Moderado	Impacto Forte
Uniforme	1,00	1,25	1,75
Impacto leve	1,25	1,50	2,00
Impacto médio	1,50	1,75	2,25

Fonte: Juvinal (2013)

O torque aplicado na engrenagem foi considerado uniforme, porém, na cremalheira foi considerado o impacto moderado, portanto:  $K_o = 1,25$ .

Um importante fator está relacionado à precisão do alinhamento das engrenagens, conhecido como fator de montagem e este foi determinado usando a Tabela 8, no qual foi considerado igual a 1,3.

Tabela 8 – Fator de sobrecarga,  $K_m$

Características do Suporte	Largura da Face (in)			
	0 até 2	6	9	acima de 16
Montagens precisas, pequenas folgas nos mancais, deflexões mínimas, engrenagens precisas	1,3	1,4	1,5	1,8
Montagens pouco rígidas, engrenagens pouco precisas, contato ao longo de toda a face	1,6	1,7	1,8	2,2
Precisão e montagem de forma que o contato não ocorra em toda a largura da face				Acima de 2,2

Fonte: Juvinal (2013)

Com a determinação de todos os fatores envolvidos na equação, é possível encontrar a máxima força tangencial suportada pelos dentes da engrenagem. A Equação (10) foi rearranjada deixando  $F_t$  em evidência:

$$F_t = \frac{\sigma b m J}{K_v K_o K_m} \quad (11)$$

Substituindo os valores dos parâmetros encontrado anteriormente na Equação (11), obtêm-se que  $F_t \cong 1573,9 N$ . Logo a força máxima admissível na engrenagem feita em aço SAE 1045.

#### 4.4.2.3.2. Análise de fadiga superficial dos dentes

Assim como nas tensões de flexão do dente calculadas anteriormente, as tensões de contato também são influenciadas pela velocidade no círculo primitivo, pelo carregamento de impacto, pela precisão de fabricação, pelo desalinhamento e deslocamento do eixo, entre outros fatores (JUVINALL, 2013).

Essa análise foi feita aplicando as informações da resistência à fadiga superficial e comparando a tensão de fadiga de superfície do dente da engrenagem Equação (12), com a resistência de fadiga superficial que é a tensão calculada na Equação (15).

$$S_H = S_{fe} C_{Li} C_R \quad (12)$$

Onde:

$S_H$ : limite de resistência à fadiga superficial

$S_{fe}$ : resistência à fadiga superficial

$C_{Li}$ : fator de vida

$C_R$ : fator de confiabilidade

O limite de resistência à fadiga é determinado conforme o material utilizado. Utilizando a relação dada na Tabela 9, foi calculado o limite de resistência à fadiga para a engrenagem de dentes retos fabricada em aço SAE 1045, para confiabilidade de 99% e fator de vida de  $10^7$  ciclos, conforme pode ser visto na Equação (13).

Tabela 9 – Resistência à fadiga superficial,  $S_{fe}$

Material	$S_{fe}$ (ksi)	$S_{fe}$ (MPa)
Aço	0,4 (Bhn)–10 ksi	28 (Bhn)–69 MPa
Ferro nodular	0,95 [0,4 (Bhn)–10 ksi]	0,95 [28 (Bhn)–69 MPa]
Ferro fundido, classe 20	55	379
classe 30	70	482
classe 40	80	551
Estanho-bronze	30	207
AGMA 2C (11% de estanho)		
Alumínio-bronze	65	448
(ASTM B 148—52) (Liga 9C—H.T.)		

Fonte: Jvinall (2013)

$$S_{fe} = 2,8(Bhn) - 69MPa \quad (13)$$

Aço SAE 1045: dureza = 600 HB (normalmente, após a usinagem, as engrenagens são submetidas a um tratamento de endurecimento superficial por carbonetação,

nitretação ou cimentação, permitindo durezas superficiais entre 400 e 800 HB). Logo,  $S_{fe} = 1611 \text{ MPa}$ .

O fator de confiabilidade aplicado nessa análise foi de 99%. Desta forma, pela Tabela 10,  $C_R = 1$ .

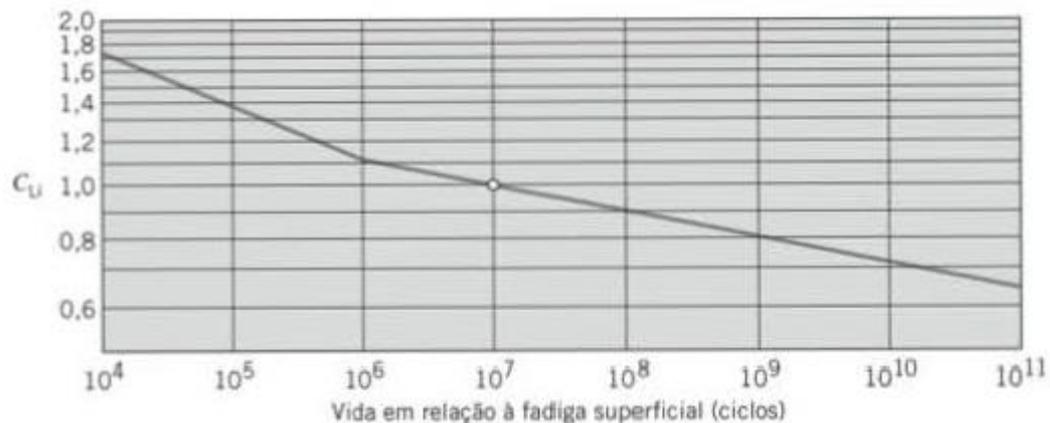
Tabela 10 – Fator de confiabilidade,  $C_R$

Confiabilidade (%)	$C_R$
50	1,25
99	1,00
99,9	0,80

Fonte: Juvinal (2013)

Foi estipulado que o produto deve apresentar vida infinita, portanto o fator de vida deve atender à  $10^7$  ciclos. Logo pela Figura 15,  $C_{Li} = 1$ .

Figura 16 – Fator de vida em função do número de ciclos,  $C_{Li}$



Fonte: Juvinal (2013)

Com todos os fatores da Equação (12) determinados, o valor do limite de resistência à fadiga superficial fica,  $S_H = 1611 \text{ MPa}$ .

O mesmo fator de segurança usado na análise anterior será aplicado nessa análise, portanto tem-se fator de segurança de 10%. Desta forma:

$$S'_H = 0,9S_H = 1449,9 \text{ MPa}$$

Dando continuidade à análise da fadiga superficial, o resultado foi comparado ao valor da tensão de fadiga de superfície, para que a força máxima admissível no dente fosse determinada.

$$\sigma_H = C_p \sqrt{\left(\frac{F_t}{dbZ_I} K_o K_v K_m\right)} \quad (14)$$

Onde:

$\sigma_H$ : tensão de fadiga de superfície

$C_p$ : coeficiente elástico

$F_t$ : componente tangencial da força

$b$ : largura da face do dente

$d$ : diâmetro primitivo

$Z_I$ : fator geométrico

$K_v$ : fator de velocidade

$K_o$ : fator de sobrecarga

$K_m$ : fator de montagem

A tensão de fadiga dos dentes foi considerada igual ao limite de resistência à fadiga calculado com o fator de segurança. Logo:  $\sigma_H = 1449,9 \text{ MPa}$ .

O coeficiente elástico depende apenas das propriedades do material utilizado e seu valor foi determinado pela Tabela 11.

Tabela 11 – Valores do Coeficiente Elástico,  $C_p$ , para engrenagens de dentes retos em  $\sqrt{\text{MPa}}$

Material do Pinhão ( $\nu = 0,30$ em Todos os Casos)	Material da Coroa			
	Aço	Ferro Fundido	Alumínio-Bronze	Estanho-Bronze
Aço, $E = 207 \text{ GPa}$	191	166	162	158
Ferro fundido, $E = 131 \text{ GPa}$	166	149	149	145
Alumínio-bronze, $E = 121 \text{ GPa}$	162	149	145	141
Estanho-bronze, $E = 110 \text{ GPa}$	158	145	141	137

Fonte: Jvinall (2013)

Tanto o pinhão quanto a cremalheira são fabricados em aço SAE 1045, logo:  $C_p = 191 \sqrt{\text{MPa}}$ .

O fator geométrico é uma combinação dos termos relacionados à geometria do dente, e foi calculado pela Equação (15):

$$Z_I = \frac{\sin \phi_n \cos \phi_n}{2} \frac{R}{R + 1} \quad (15)$$

Onde:

R = relação de diâmetros do pinhão e da coroa

$$R = \frac{d_c}{d_p} \quad (16)$$

Sabe-se que nesse projeto o sistema é formado por um pinhão e uma cremalheira e que esta é caracterizada como uma engrenagem de raio infinito. Desta forma:

$$R = \infty$$

$$Z_I \cong 0,161$$

Os fatores de velocidade, sobrecarga e montagem são os mesmos calculados na análise de fadiga por flexão:  $K_v = 1$ ;  $K_o = 1,25$ ;  $K_m = 1,3$ .

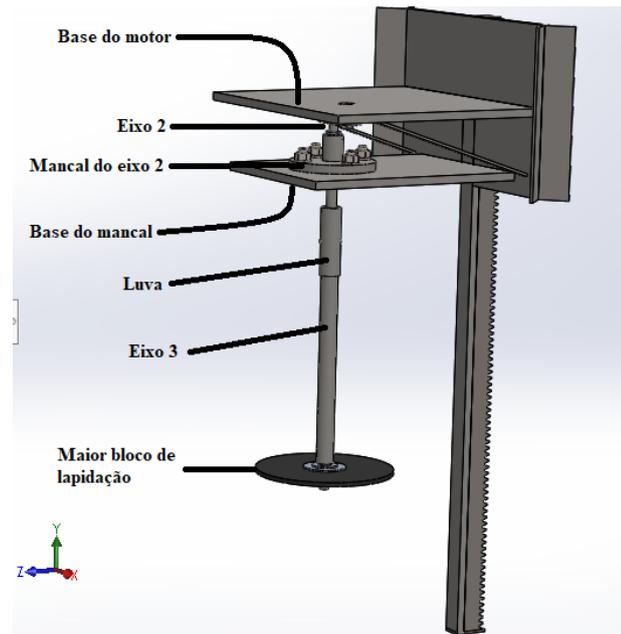
Com a determinação de todos os fatores envolvidos na equação, foi possível encontrar a máxima força tangencial suportada pelos dentes da engrenagem na análise de fadiga superficial. A Equação (14) foi rearranjada deixando  $F_t$  em evidência:

$$F_t = \left( \frac{\sigma_H}{C_p} \right)^2 \frac{bdZ_I}{K_o K_v K_m} \quad (17)$$

Substituindo os valores dos parâmetros encontrados na Equação (17), obtêm-se  $F_t \cong 8207,1 \text{ N}$ .

Com a existência do contrapeso, a força exercida sobre os dentes do pinhão é devido a força peso, proveniente das massas do bloco de lapidação, juntamente com o eixo no qual o bloco de lapidação está fixado (eixo 3) e da luva de fixação, como pode ser visto na Figura 17.

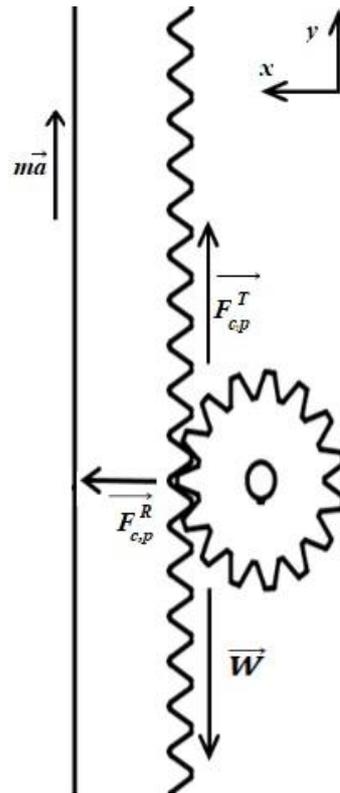
Figura 17 – Peças contrabalanceadas (com exceção do bloco de lapidação)



Fonte: O autor (2018)

Com base no *software* de desenho, verifica-se que a massa de todas as peças, cujo peso é relevante para os cálculos, é cerca de 2 kg. Lembrando que foi considerado para o cálculo, a utilização do maior bloco de lapidação, enquanto é feito a elevação do sistema, fazendo então com que os cálculos sejam baseados no maior esforço que pode ser feito. A partir da Figura 18, pode ser visto com mais clareza as forças atuantes no sistema.

Figura 18 – Forças atuantes no conjunto pinhão-cremalheira



Fonte: O autor (2018)

Como pode ser observada na Figura 18, a força tangencial aplicada no pinhão,  $F_{c,p}^T$ , é determinada a partir da Segunda Lei de Newton:

$$\begin{aligned}\sum \vec{F} &= ma \\ F_{c,p}^T - W &= ma \\ F_{c,p}^T &= m(g + a)\end{aligned}\quad (18)$$

Sabe-se que  $m = 2 \text{ kg}$ , foi adotado  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ , e para determinar a velocidade linear máxima da cremalheira desejada para o projeto, sabendo-se que o espaço percorrido por ela é  $550 \text{ mm}$ , foi estimado que o tempo para percorrer esse espaço, partindo do repouso, seria de 3 segundos. Com isto tem-se que a velocidade linear vai ser:

$$V = \frac{550}{3} = 183,3 \text{ mm/s}$$

Levando em consideração que atinja essa velocidade em 2 segundos, a aceleração do movimento é:

$$a = \frac{183,33}{2} \cong 91,66 \frac{mm}{s^2} = 0,09166 m/s^2$$

Então, pela Equação (18), tem-se que  $F_{c,p}^T \cong 19,8 N$ .

Portanto, a partir desta análise detalhada, constatou-se que a engrenagem escolhida suporta as cargas geradas, visto que as forças tangenciais admissíveis para flexão nos dentes e para fadiga superficial foram de 433,2 N e 4229,1 N, respectivamente, enquanto a força tangencial realmente aplicada será de 19,8 N.

Após a realização das análises, concluiu-se que o pinhão e a cremalheira escolhidos suportam as tensões as quais serão submetidos.

#### 4.4.2.4. Eixo 1

Após ter dimensionado o conjunto pinhão-cremalheira, o próximo passo é determinar o diâmetro do eixo 1, de tal modo que ele suporte o pinhão, o torque e o momento fletor. Para o dimensionamento dele, foi utilizado uma sequência visando otimizar os cálculos. O seguinte passo a passo foi utilizado:

- I.** Verificação das forças atuantes no pinhão ( $F_{c,p}$ ) que já foram obtidas na seção anterior;
- II.** Determinar as forças de reação dos mancais ( $F_A, F_B$ ). Pela Figura 11 pode ser visto que foi utilizado dois mancais;
- III.** Determinar o diagrama de momento fletor;
- IV.** Verificar em que ponto do eixo o momento fletor resultante será maior, pois será o valor máximo que determinará o diâmetro mínimo necessário. Verificar também o torque atuante no eixo;
- V.** Calcular o diâmetro do eixo para fadiga (considerando concentradores de tensão).

##### 4.4.2.4.1. Forças atuantes no pinhão

Como foi calculado anteriormente, a força tangencial será de 19,8 N. Já a partir da Equação (19), é possível identificar a força radial.

$$F_{c,p}^R = F_{c,p}^T \tan \phi_n \quad (19)$$

$$F_{c,p}^R = 19,8 \tan 20^\circ = 7,21 \text{ N}$$

Adotando o sistema de coordenadas vistas na Figura 18, obtêm-se:

$$F_{c,p}^x = F_{c,p}^R = 7,21 \text{ N}$$

$$F_{c,p}^y = F_{c,p}^T = 19,8 \text{ N}$$

$$F_{c,p}^z = 0$$

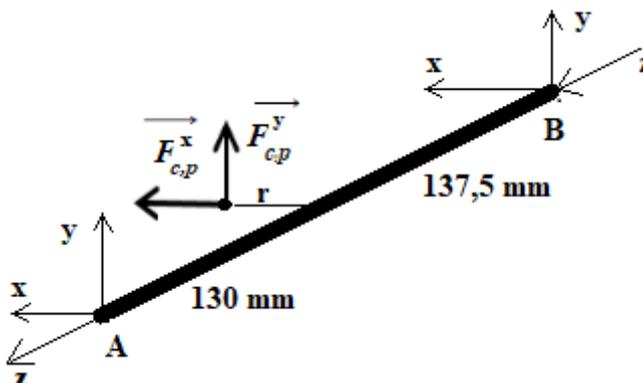
Logo, escrevendo a força sob a forma de vetor:

$$\vec{F}_{c,p} = \begin{bmatrix} 7,21 \\ 19,8 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ N}$$

#### 4.4.2.4.2. Força de reação nos mancais

Fazendo um diagrama 3D para melhor visualização das forças atuantes no eixo, como pode ser visto na Figura 19 - .

Figura 19 – Representação do eixo 1 com as forças atuantes



Fonte: O autor (2018)

Feito isto, foi aplicando o somatório de momentos no mancal B, para então determinar as forças de reação no mancal A. Logo em seguida foi aplicado a segunda Lei de Newton, para então obter a forças de reação no mancal B.

$$F_A = \begin{bmatrix} F_A^x \\ F_A^y \\ 0 \end{bmatrix} \text{ e } F_B = \begin{bmatrix} F_B^x \\ F_B^y \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\sum \vec{M}_B = \vec{0} \Rightarrow \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0,2675 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} F_A^x \\ F_A^y \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,02 \\ 0 \\ 0,1375 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} F_{c,p}^x \\ F_{c,p}^y \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ T \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} F_A^x & -3,706 \text{ N} \\ F_A^y & -10,178 \text{ N} \\ T & 0,396 \text{ Nm} \end{matrix}$$

$$\sum \vec{F}_y = \vec{0} \Rightarrow F_{c,p}^y + F_A^y + F_B^y = 0 \Rightarrow F_B^y = 9,622 \text{ N}$$

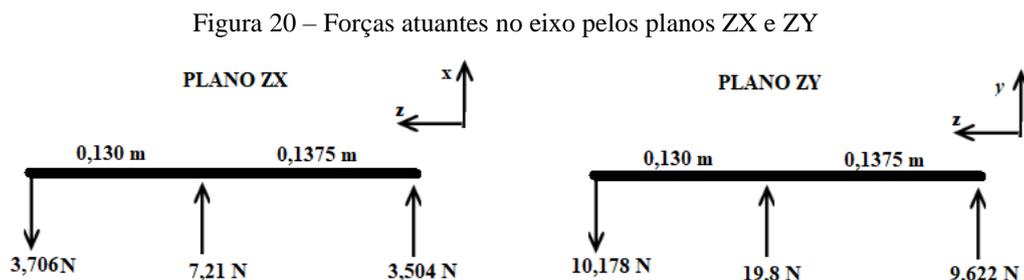
$$\sum \vec{F}_x = \vec{0} \Rightarrow F_{c,p}^x + F_A^x + F_B^x = 0 \Rightarrow F_B^x = 3,504 \text{ N}$$

Conclui-se que as reações nos mancais serão então:  $\begin{bmatrix} F_A^x \\ F_A^y \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3,706 \\ -10,178 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ N}$  e

$$\begin{bmatrix} F_B^x \\ F_B^y \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,504 \\ 9,622 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ N.}$$

#### 4.4.2.4.3. Momento Fletor

Analisando os momentos nos planos ZX e ZY, como pode ser observado na Figura 20.



Fonte: O autor (2018)

Efetuada os cálculos é possível determinar que o momento máximo atuante no eixo é cerca de,  $M_{m\acute{a}x} = 1,406 Nm$ , que se encontra a uma distância de  $130 mm$ , no sentido da esquerda para direita. Com torque, calculado anteriormente,  $T = 0,396 Nm$ .

#### 4.4.2.4.4. Cálculo do diâmetro

No cálculo do dimensionamento de eixos, aplica-se os fundamentos de resistência dos materiais. Neste trabalho, foram aplicadas restrições de resistências para o dimensionamento do eixo, calculando o diâmetro mínimo do eixo através da análise por fadiga.

Para fabricação de eixos usa-se o aço como material devido seu elevado módulo de elasticidade. Para cálculo inicial deste projeto optou-se por usar o aço SAE 1020, laminado a frio, sem tratamento, devido a facilidade de encontrá-lo no mercado. A partir da tabela do Shigley (2016), foram retiradas as especificações deste material: limite de resistência à tração  $S_{ut} = 470 MPa$  e limite de escoamento  $S_y = 390 MPa$ .

Foi aplicado o critério de DE-Soderberg, por ser o mais conservador, apresentado por Shigley (2016), para determinação do diâmetro mínimo do eixo para o material escolhido. Esse diâmetro pode ser calculado pela Equação (20):

$$d = \left( \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \sqrt{[4(k_f M_a)^2 + 3(k_{fs} T_a)^2]} + \frac{1}{S_{ut}} \sqrt{[4(k_f M_m)^2 + 3(k_{fs} T_m)^2]} \right\} \right)^{1/3} \quad (20)$$

Onde:

$n$ : Fator de segurança

$S_e$ : Limite de Resistência à fadiga corrigido

$S_{ut}$ : Limite de resistência à tração

$k_f$ : Fator de concentração de tensão por flexão

$k_{fs}$ : Fator de concentração de tensão por torção

$M_a$ : Momento fletor alternante

$M_m$ : Momento fletor médio

$T_m$ : Torque médio

$T_a$ : Torque alternado

Vale ressaltar que no eixo analisado o momento fletor médio e o torque alternado são nulos. Então a Equação (20) pode ser simplificada na Equação (21).

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[ \frac{2k_f M_a}{S_e} + \frac{\sqrt{3}(k_{fs} T_m)}{S_{ut}} \right] \right\}^{1/3} \quad (21)$$

Foi-se considerado um fator de segurança,  $n = 2$ .

O limite de resistência à fadiga corrigido, determinado por Marin tem por objetivo considerar fatores como material, manufatura, ambiente de trabalho e o projeto no cálculo do limite de resistência à fadiga e com isso, aproxima este limite das situações de aplicação real. Para determinação desse limite, aplica-se a Equação (22).

$$S_e = S'_e k_a k_b k_c k_d k_e k_f \quad (22)$$

Onde:

$k_a$ : Fator de modificação de condição de superfície

$k_b$ : Fator de modificação de tamanho

$k_c$ : Fator de modificação de carga

$k_d$ : Fator de modificação de temperatura

$k_e$ : Fator de modificação de confiabilidade

$k_f$ : Fator de modificação para outros efeitos

$S'_e$ : Limite de resistência à fadiga

O fator de modificação de superfície vai depender da resistência à tração do material e da qualidade de acabamento da superfície da peça. A Tabela 12 a seguir fornece os valores de a e b, que são em função do acabamento de superfície, e assim  $k_a$  pode ser determinado pela Equação (23):

$$k_a = a S_{ut}^b \quad (23)$$

Tabela 12 – Parâmetros para o fator de modificação de Marin

Acabamento superficial	Fator $a$		Expoente $b$
	$S_{ut}$ , kpsi	$S_{ut}$ , Mpa	
Retificado	1,34	1,58	-0,085
Usinado ou laminado a frio	2,70	4,51	-0,265
Laminado a quente	14,4	57,7	-0,718
Forjado	39,9	272,	-0,995

Fonte: Shigley (2016)

Portanto:

$$a = 4,51 \text{ (usinado ou laminado a frio)}$$

$$b = -0,265$$

$$S_{ut} = 470 \text{ MPa}$$

$$k_a = 0,88$$

Para o cálculo do fator de modificação de tamanho, foi necessário fazer uma estimativa do valor do eixo. As relações que podem ser aplicadas para eixos que sofrem de torção e flexão podem ser observadas na Equação (24):

$$k_b = \begin{cases} 1,24d^{-0,107} & 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1,51d^{-0,157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases} \quad (24)$$

Estimando  $d = 20 \text{ mm}$  (valor de eixo padrão, encontrado em tabelas de rolamentos e engrenagens), obtêm-se  $k_b = 0,90$ .

Com relação ao fator de modificação de carga,  $k_c$ , deve ser aplicado conforme o tipo de solicitação sofrida, pelo eixo. Como o eixo em questão possui carregamento de flexão e torção, adota-se o valor  $k_c = 0,59$ .

O fator de modificação de temperatura, considerando a temperatura de trabalho próxima a temperatura ambiente, pode ser dado por  $k_d = 1$ .

O fator de modificação de confiabilidade determina a porcentagem de chance do componente falhar antes que seja alcançada a vida útil para a qual foi projetado. A Tabela 13 mostra valores para algumas confiabilidades padrão:

Tabela 13 – Fatores de confiabilidade,  $k_e$ 

Confiabilidade, %	Variante de transformação $z_e$	Fator de confiabilidade $k_e$
50	0	1,000
90	1,288	0,897
95	1,645	0,868
99	2,326	0,814
99,9	3,091	0,753
99,99	3,719	0,702
99,999	4,265	0,659
99,9999	4,753	0,620

Fonte: Shigley (2005)

Para confiabilidade estabelecida de 99%, tem-se  $k_e = 0,814$ .

O fator de modificação de outros efeitos serve apenas como lembrete de que outros possíveis efeitos podem modificar o projeto. Não existe valor definido para esse fator, e sua aplicação é feita conforme as características do projeto. Para o cálculo deste projeto, esse fator não trará modificações, portanto  $k_f = 1$ .

Em relação ao limite de resistência à fadiga é baseado em ensaios realizados em laboratório e depende apenas do limite de resistência à tração do material, como pode ser visto na Equação (25).

$$S'_e = \begin{cases} 0,5S_{ut} & \text{para } S_{ut} \leq 1460 \text{ MPa} \\ 740 \text{ MPa} & \text{para } S_{ut} > 1460 \text{ MPa} \end{cases} \quad (25)$$

Como já se sabe que  $S_{ut} = 470 \text{ MPa}$ , logo,  $S'_e = 235 \text{ MPa}$ .

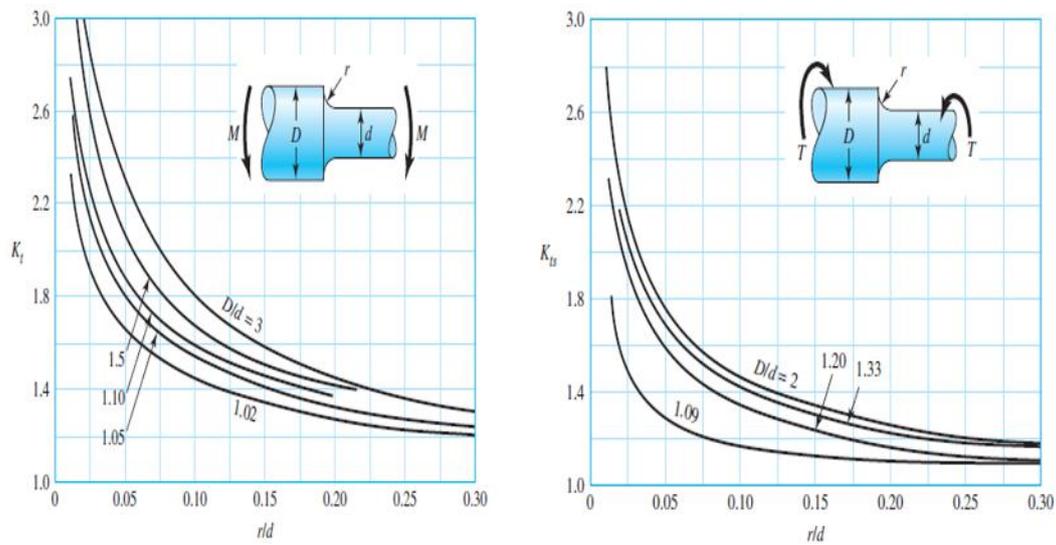
Portanto o limite de resistência à fadiga corrigido,  $S_e = 89,4 \text{ MPa}$ .

Os fatores de concentração de tensão por flexão e torsão são determinados pelas Equações (26) e (27):

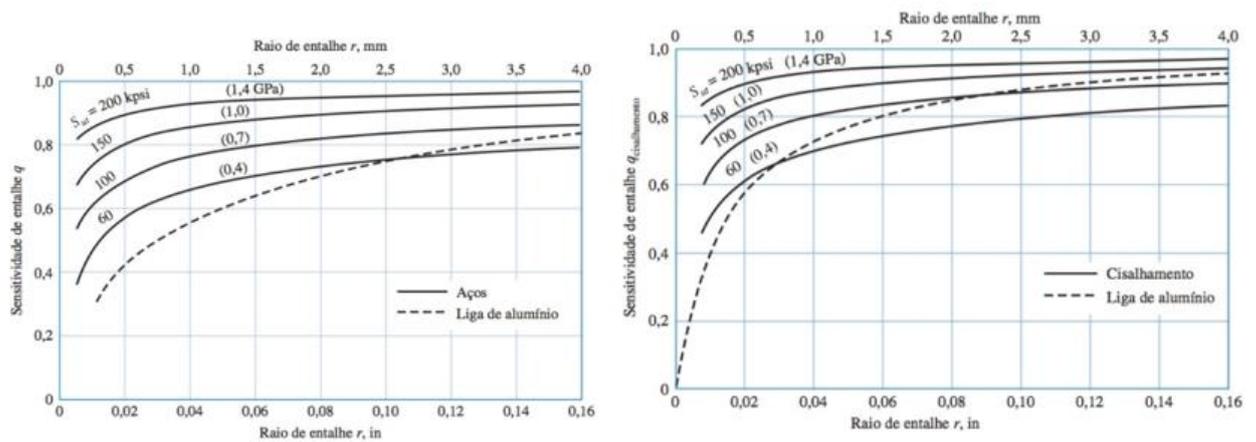
$$k_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (26)$$

$$k_{fS} = 1 + q_{\text{cisalhamento}}(K_{ts} - 1) \quad (27)$$

Onde o  $K_t$ ,  $K_{ts}$ ,  $q$  e  $q_{\text{cisalhamento}}$  são determinados através das Figura 21 e Figura 22, respectivamente, onde foi considerado um raio de entalhe,  $r = 0,3 \text{ mm}$ ,  $d = 20 \text{ mm}$  e  $D = 25 \text{ mm}$ .

Figura 21 – Determinação de  $K_t$  e  $K_{ts}$ .

Fonte: Shigley (2016)

Figura 22 – Determinação de  $q$  e  $q_{\text{cisalhamento}}$ , respectivamente.

Fonte: Shigley (2016)

Com isso,  $k_f = 1,64$  e  $k_{f_s} = 1,48$ .

Após a determinação de todos os fatores da equação de DE-Soderberg, foi calculado o diâmetro mínimo do eixo:  $d = 8,31 \text{ mm}$ .

Porém, por questões de montagem, preferiu-se utilizar o eixo com diâmetro de  $20 \text{ mm}$ .

#### 4.4.2.5. Rolamentos

Com o diâmetro do eixo já foi determinado, deve-se então encontrar um rolamento de 20 mm de diâmetro interno, no qual suporte o carregamento. As forças resultantes em cada rolamento são calculadas a seguir:

$$F_A^R = \sqrt{3,706^2 + 10,178^2} = 10,832 \text{ N}$$

$$F_B^R = \sqrt{3,504^2 + 9,622^2} = 10,240 \text{ N}$$

Sendo assim, visando uma melhor facilidade durante a montagem do rolamento, foi-se escolhido rolamentos Y com pino roscado, no qual suporta uma carga estática,  $C_0 = 6550 \text{ N}$ . Utilizando a Equação (28), pode-se então estabelecer a vida do rolamento em horas, considerando que o mesmo tenha uma rotação, durante o trabalho, de  $n = 2 \text{ rps} = 120 \text{ rpm}$ .

$$L_h = \frac{10^6}{60n} \left( \frac{C}{P} \right)^m \quad (28)$$

Onde:

$L_h$ : Vida do rolamento em horas

$n$ : Rotação em rpm

$C$ : Capacidade de carga do rolamento

$P$ : Carga atuante no rolamento

$m$ : considerado igual a 3 para rolamentos de esfera

Aplicando as variáveis na Equação (28) é possível obter uma vida  $L_h = 4,42 \cdot 10^{15} \text{ hrs}$ , para o rolamento instalado no ponto A, e  $L_h = 5,23 \cdot 10^{15} \text{ hrs}$  para o rolamento instalado no ponto B.

#### 4.4.3. Motor Elétrico

O motor escolhido para o projeto foi um motor de passo (*step motor*), que funciona a partir de passos, geralmente 200 passos, girando  $1,8^\circ$  criando um acionamento de forma precisa, com alta repetibilidade. O acionamento se dá através de um *driver* com dois sinais de controle: *step* e *dir* (passo e direção/sentido de giro).

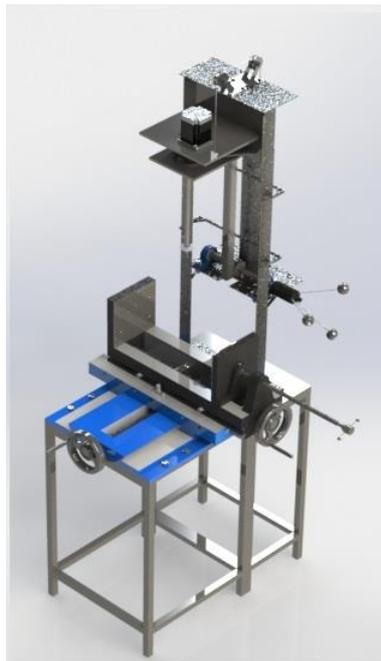
Este motor foi escolhido devido ao seu torque ser o necessário para atuar no sistema, além de poder fornecer uma rotação em dois sentidos, fazendo com que o bloco de lapidação não gire continuamente, mas realize movimentos oscilantes (“vai-e-vem”), como recomendado nas bibliografias.

No eixo do motor foi colocada uma engrenagem, no qual transmite o movimento para o eixo 2, que é conectado a luva que prende o eixo no qual o bloco de lapidação está preso.

#### 4.5. Montagem Final da Máquina

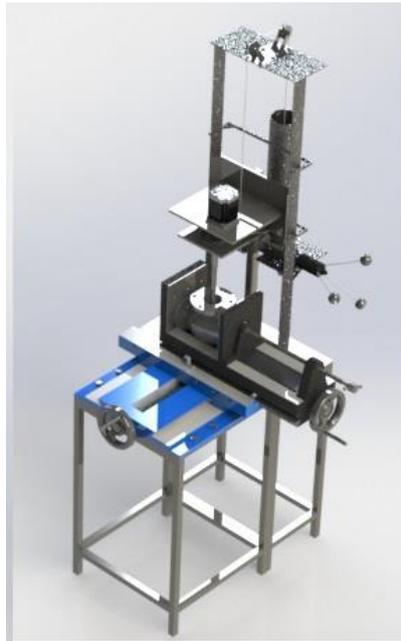
Neste tópico é mostrado a montagem final da máquina, onde na Figura 23 pode ser observado a montagem da máquina sem nenhuma válvula instalada. Já nas Figuras 24 e 25 pode-se observar a montagem da máquina com as válvulas de 2” e 4”, respectivamente.

Figura 23 – Máquina de lapidação



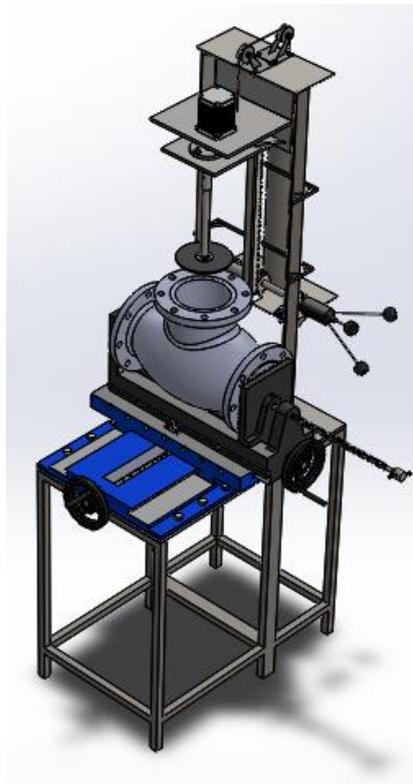
Fonte: O autor (2018)

Figura 24 – Máquina montada com válvula de 2" classe 150#



Fonte: O autor (2018)

Figura 25 – Máquina montada com válvula de 4" classe 600#



Fonte: O autor (2018)

#### **4.6. Descrição do Funcionamento da Máquina**

O funcionamento é relativamente simples, a morsa coordenada serve para fixar e posicionar a válvula, enquanto que as guias manuseiam o motor elétrico no sentido vertical, de modo que o procedimento de lapidação seja realizado por meio do bloco de lapidação que está conectado no eixo em rotação. Já o motor elétrico pode ser ligado ou desligado por meio de um botão, bem como sua velocidade deve ser controlada no painel onde se encontra o botão de liga/desliga.

Todas as operações de posicionamento da válvula sobre a morsa coordenada, bem como o movimento ascendente e descendente do motor, juntamente com o seu ligamento ou desligamento é feito de maneira manual pelo operador da máquina.

#### **4.7. Descrições da Fabricação e Montagem**

O projeto foi pensado para que seja necessário a fabricação do mínimo de peças possíveis. Porém alguns processos de usinagem serão inevitavelmente necessários.

##### *4.7.1. Morsa Coordenada*

Os fusos da morsa são formados por eixos que necessitam ser usinados para obtenção da rosca quadrada e do passo desejado, além das réguas de ajustes que também deverão ser usinadas. Já os volantes utilizados para movimentação da mesa podem ser comprados, bem como os rolamentos e parafusos. Enquanto que o corpo da morsa coordenada precisaria ser feito por meio de fundição e depois passar por alguns processos de usinagem.

##### *4.7.2. Guias*

Grande parte das peças que se encontram nesse sistema são itens que podem ser comprados, como as cantoneiras em L, rolamentos, parafusos, roldanas, tubo do alojamento do contrapeso, fio revestido que seguram os pesos, chapas de aço, parafusos, pinhão e cremalheira. Já o eixo onde vai ser montado o pinhão, será preciso ser usinado para colocar a chaveta e o batente do pinhão.

Um dos principais trabalhos nesse sistema é a montagem desses componentes na máquina. Cujas operações necessárias para a sua construção são corte e solda, apesar de serem processos simples devem ser precisos e controlados.

#### 4.7.3. Motor Elétrico

Grande parte desse sistema é constituído por itens comprados, como fios, sensores, placa dos sistemas eletrônicos de controle do motor, motor de passo e rolamentos.

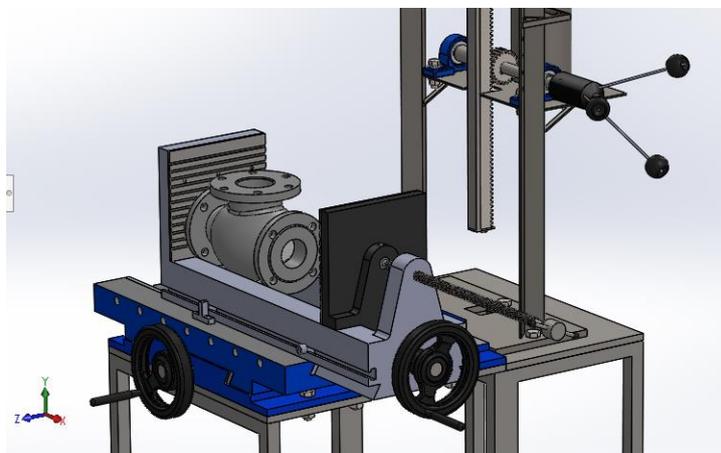
Já peças como o eixo 2, mancal do eixo 2, luva e eixo 3, são elementos que precisarão passar pelo processo de usinagem para chegar na geometria requerida. Já os blocos de lapidação devem ser adquiridos por meio do processo de fundição e depois passar por alguns processos de usinagem, para acabamento.

### 4.8. Descrição Geral da Operação

A seguir são reveladas algumas operações de que devem ser feitas para que seja alcançada um bom manuseio da máquina de lapidação em válvulas globo, considerando que a válvula, ao chegar na máquina, já esteja limpa e em condições de receber o procedimento de lapidação:

- 1) Primeiramente deve ser colocado a válvula sobre a morsa coordenada, conforme mostrado na Figura 26;

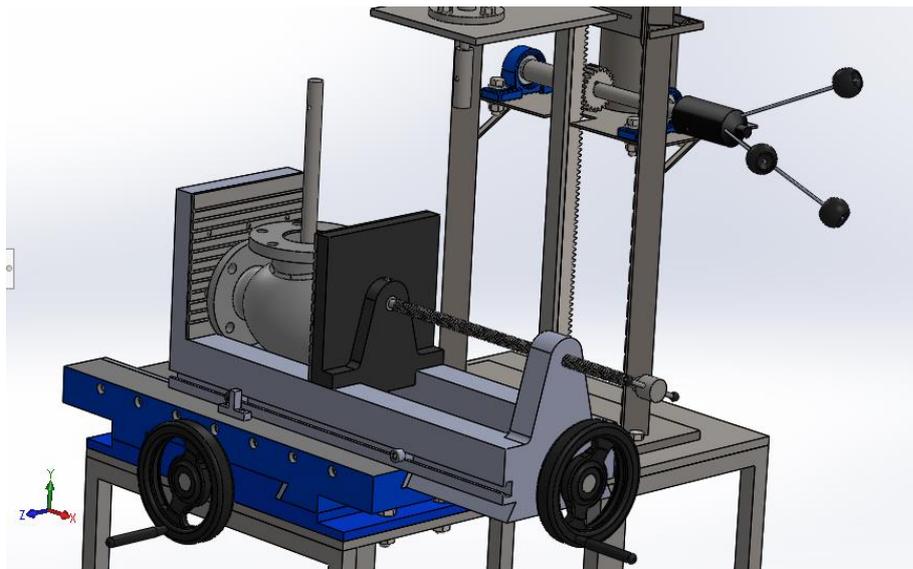
Figura 26 – Assentamento da válvula sobre a morsa coordenada



Fonte: O autor (2018)

- 2) Após o assentamento da válvula sobre a morsa coordenada, é feito o aperto para fixação da mesma;
- 3) O operador deve analisar o nível de necessidade de lapidação, para só então escolher que tipo de componente abrasivo que deve ser utilizado;
- 4) Após determinação de qual válvula será feito o procedimento de lapidação, seleccionar o bloco de lapidação referente a válvula, conectá-lo ao eixo e passar o componente abrasivo sobre o bloco, de preferência no local que estará em maior contato com a válvula;
- 5) Colocar o bloco de lapidação conectado no eixo, no interior da válvula, para garantir o paralelismo entre as faces da sede da válvula e do bloco de lapidação, conforme mostrado na Figura 27;

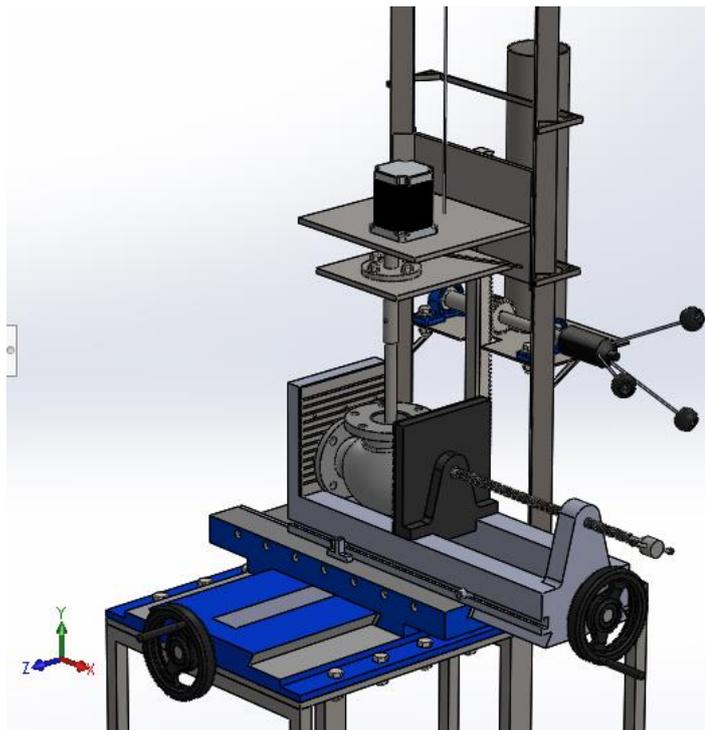
Figura 27 – Válvula fixada na morsa com o bloco de lapidação montado em seu interior



Fonte: O autor (2018)

- 6) Fazer o posicionamento da válvula, juntamente com o bloco de lapidação em seu interior, para então se fazer a conexão do eixo com a luva que transmitirá o movimento de rotação do motor para o bloco, por meio de um pino. A Figura 28 ilustra o posicionamento deste passo;

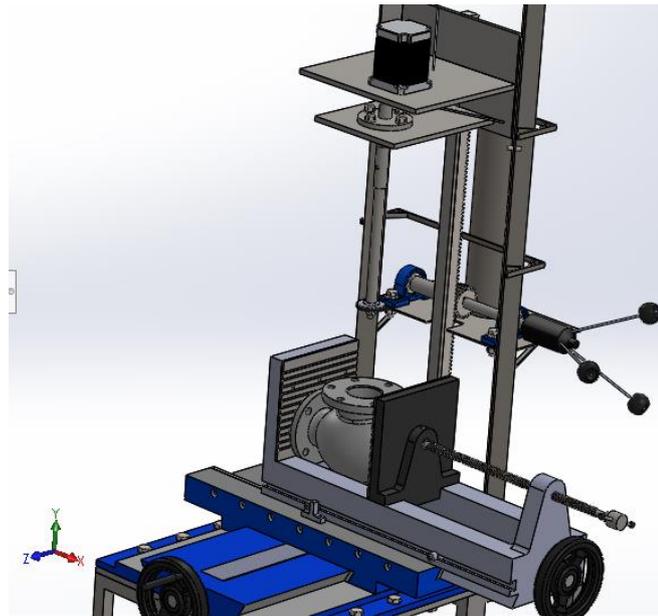
Figura 28 – Eixo conectado na luva



Fonte: O autor (2018)

- 7) Após feito todos os procedimentos descritos, o motor elétrico deve ser ligado e então o procedimento deve ser acompanhado pelo operador;
- 8) Quando o operador achar que o procedimento está terminando, desliga-se o motor e eleva a sua estrutura, de forma que possa ser visto o interior da válvula, então coloca-se um pino na guia, para fixar a estrutura. A Figura 29 mostra o posicionamento dos elementos neste passo;

Figura 29 – Verificação do estado da sede da válvula



Fonte: O autor (2018)

- 9) Realiza-se, então, uma limpeza na sede da válvula e no bloco de lapidação, com um papel macio molhado com removedor;
- 10) Após a limpeza da válvula, se o operador achar que ela está pronta para ser colocada em operação, deve-se então retirá-la da morsa coordenada e então fazer o teste hidrostático para saber como está a estanqueidade da mesma. Caso contrário, os procedimentos de 3) à 7) devem ser repetidos;
- 11) Ao final da operação, a válvula deve ser retirada da morsa, limpa e verificada sua estanqueidade, como dito anteriormente, bem como o bloco de lapidação também deve ser desinstalado, limpo e depois guardado.

## 5. CONCLUSÃO

A saúde do trabalhador assim como as patologias associadas, vem crescendo conforme as pesquisas, onde mostra resultados significativos que provam que a prevenção e/ou adaptações no posto de trabalho estabelece melhora na qualidade de vida do trabalhador, diminuindo riscos de DORT ou outras doenças no trabalho. Na Norma regulamentadora 17.1 explica que devem ser estabelecidos parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente (GUIA TRABALHISTA).

O trabalho em questão buscou desenvolver projeto conceitual que oferece soluções mecânicas que pudessem acelerar o processo de lapidação em válvulas globo. Além de ser um trabalho de muita criação e desenhos, é também necessário pensar em qual será o impacto no detalhamento e fabricação do projeto, para que estes não se tornem atividades onerosas.

A construção da máquina para lapidação pode ser uma solução para a substituição do trabalho exclusivamente manual, diminuindo a mão de obra e acelerando o processo produtivo.

## **6. SUGESTÕES**

Sugere-se, portanto, tentar fazer um aperfeiçoamento da máquina de lapidação para possibilitar seu uso portátil, diminuindo custos com usinagem e montagem de materiais.

Após ser feita uma análise de custo, iniciar o processo de fabricação do protótipo. E então, testar, calibrar e validar o equipamento.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRUZ, J. H. D. **Proposta de uma máquina para processo de abrasão baseado na combinação de algumas características da lapidação e retificação**. 2009. 103 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – UNESP, Bauru-SP, 2009.

FOXWALL. **Manual de Instruções – Válvula Globo Sede Simples**. 2008.

Guia Trabalhista, **NR 17 – NORMA REGULAMENTADORA 17**. Disponível em: <<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr17.htm>>. Acesso em: 12 de outubro de 2018.

JUVINALL, R.; MARSHEK, K. **Fundamentos do Projeto de Componentes de Máquinas**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

LIGEIRO, J. **Ferramentas de avaliação ergonômica em atividades multifuncionais: a contribuição da ergonomia para o design de ambientes de trabalho**. 2010. 219 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – UNESP, Bauru-SP, 2010.

MATHIAS, A. C. **Válvulas: Industriais, Segurança e Controle**. 2014. 2 ed. Editora Artliber. 464 p.

SHIGLEY, J. E.; MISCHLKE, C. R.; BUDYNAS, R. G. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 7 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

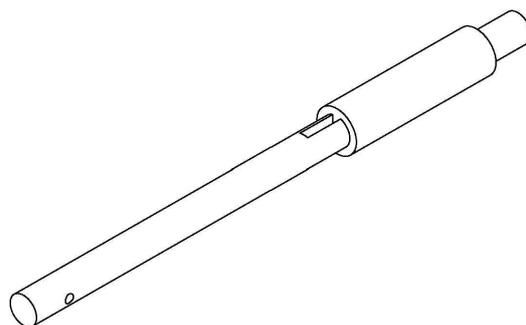
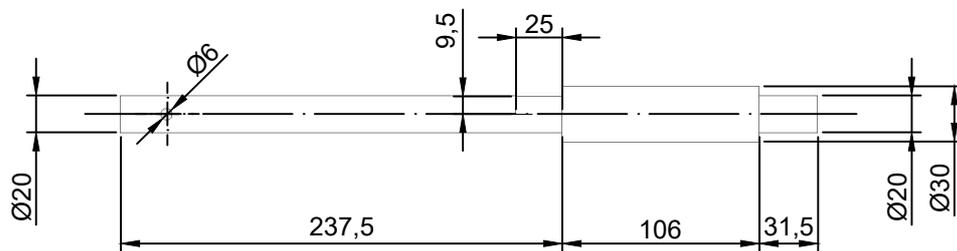
SHIGLEY, J. E.; BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 10 ed. São Paulo: LTC, 2010.

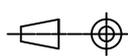
SUNANTA, O. **Flat surface lapping: process modeling in an intelligent environment**. 2002. University of Pittsburgh.

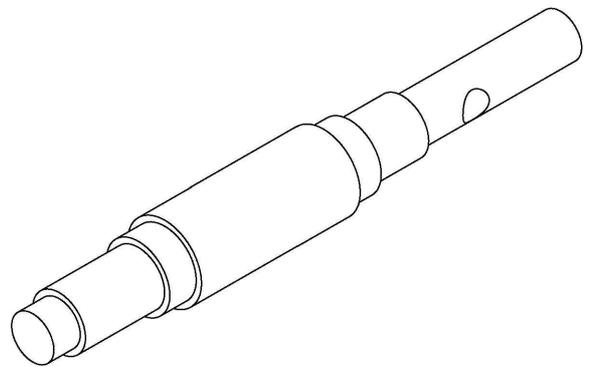
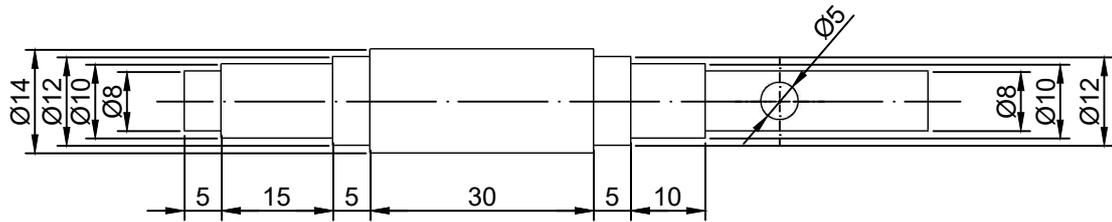
TELLES, P. C. S. **Tubulações Industriais: Materiais, Projeto, Montagem**. 10 ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2001. 266 p.

VÁLVULAS CROSBY INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. **Manual de Instalação, Manutenção e Ajustes – Válvulas Crosby Modelos JOS-E, JBS-E, JLT-E**. São Paulo.

**APÊNDICE A – DESENHOS**



<b>UFPB</b>	<b>Título:</b> <i>Eixo 1</i>	<b>Material:</b> <i>Aço SAE 1020</i>
	<i>CENTRO DE TECNOLOGIA</i>	<b>Unidade:</b> <i>mm</i>
	<i>ENGENHARIA MECÂNICA</i>	<b>Escala:</b> <i>1:4</i>
<b>Aluno:</b> <i>Gessé Paulo da Silva Neto</i>		<b>Projeção:</b> 
<b>Trabalho de Conclusão de Curso</b>		<b>Data:</b> <i>25/10/2018</i>



**UFPB**

**Título:**  
*Eixo 2*

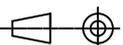
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**

**Material:**  
*Aço SAE 1020*

**Unidade:**  
*mm*

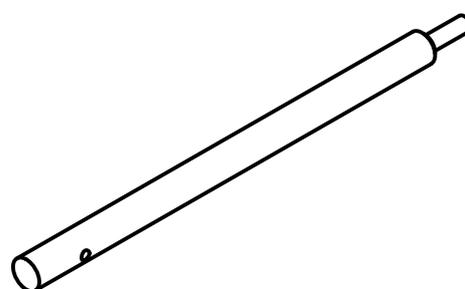
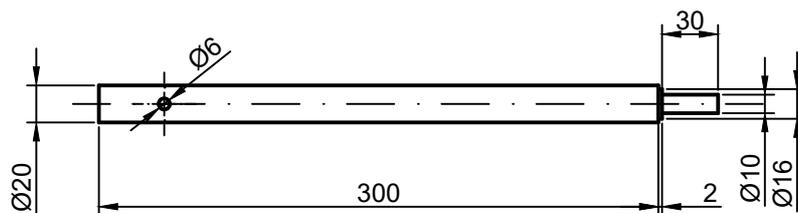
**Escala:**  
*1:1*

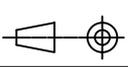
**Aluno:**  
*Gessé Paulo da Silva Neto*

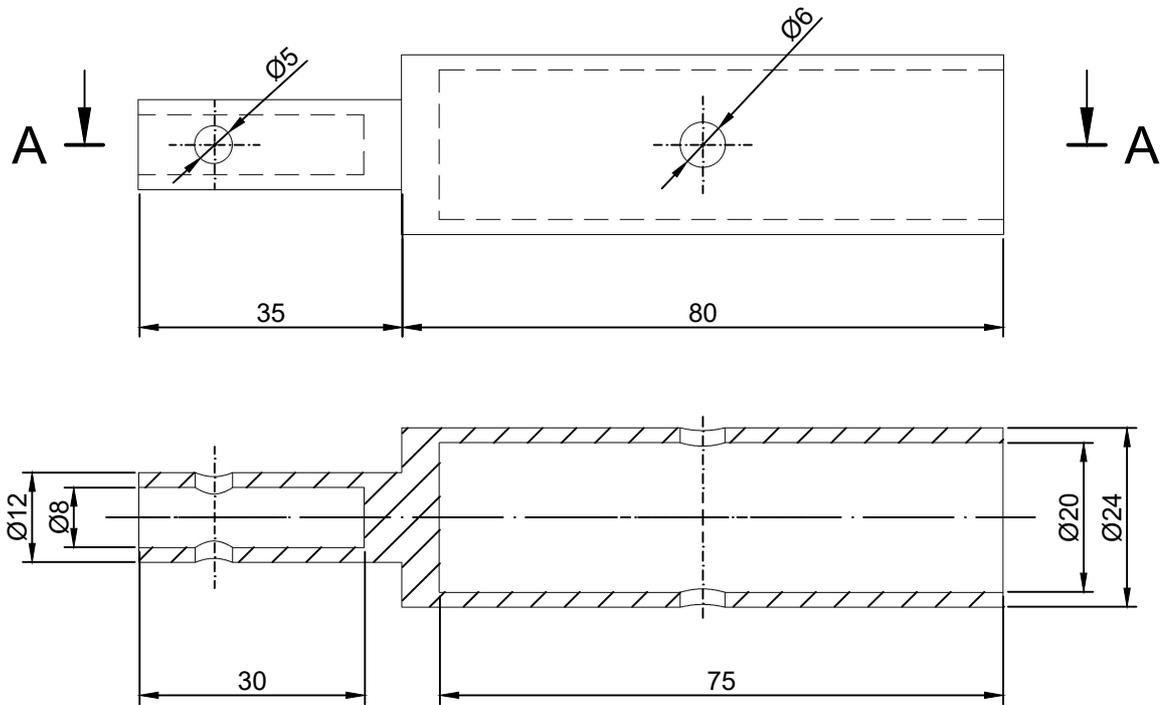
**Projeção:**  


**Trabalho de Conclusão de Curso**

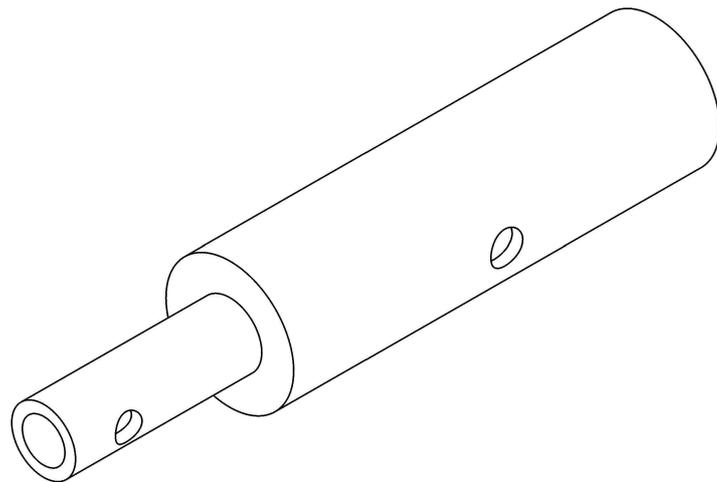
**Data:**  
*25/10/2018*

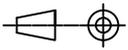


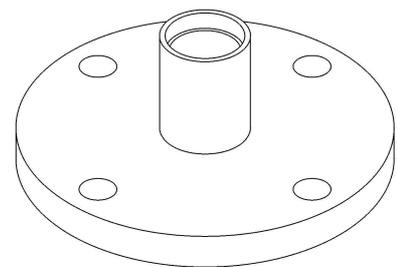
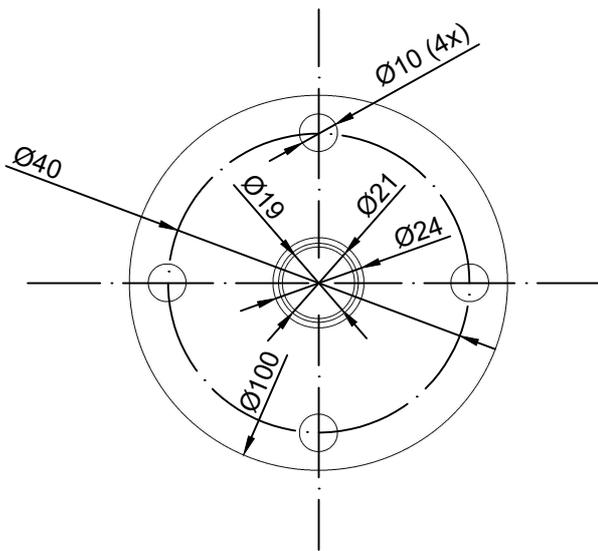
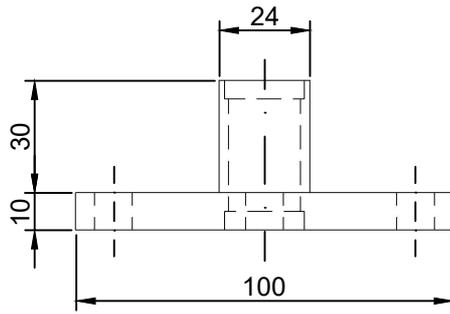
<i>UFPB</i>	<i>Título:</i> <i>Eixo 3</i>	<i>Material:</i> <i>Aço SAE 1020</i>
	<i>CENTRO DE TECNOLOGIA</i>	<i>Unidade:</i> <i>mm</i>
	<i>ENGENHARIA MECÂNICA</i>	<i>Escala:</i> <i>1:4</i>
<i>Aluno:</i> <i>Gessé Paulo da Silva Neto</i>		<i>Projeção:</i> 
<i>Trabalho de Conclusão de Curso</i>		<i>Data:</i> <i>25/10/2018</i>



Seção A-A



<b>UFPB</b>	<b>Título:</b> <i>Luva</i>	<b>Material:</b> <i>Aço SAE 1020</i>
	<i>CENTRO DE TECNOLOGIA</i>	<b>Unidade:</b> <i>mm</i>
	<i>ENGENHARIA MECÂNICA</i>	<b>Escala:</b> <i>1:1</i>
<b>Aluno:</b> <i>Gessé Paulo da Silva Neto</i>		<b>Projeção:</b> 
<i>Trabalho de Conclusão de Curso</i>		<b>Data:</b> <i>26/10/2018</i>



*UFPB*

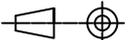
*Título:*  
**Mancal eixo 2**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**

*Material:*  
**Aço SAE 1020**

*Unidade:*  
**mm**

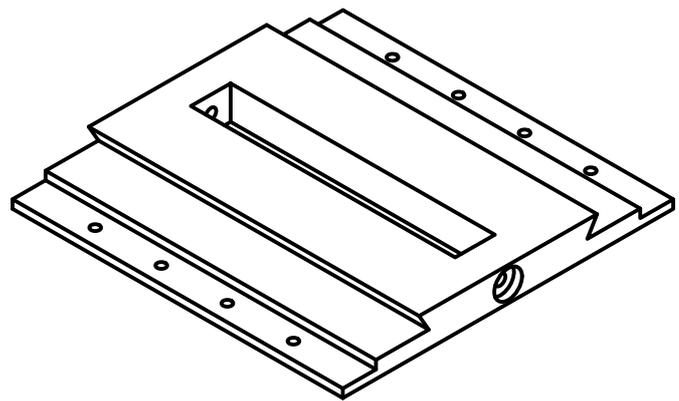
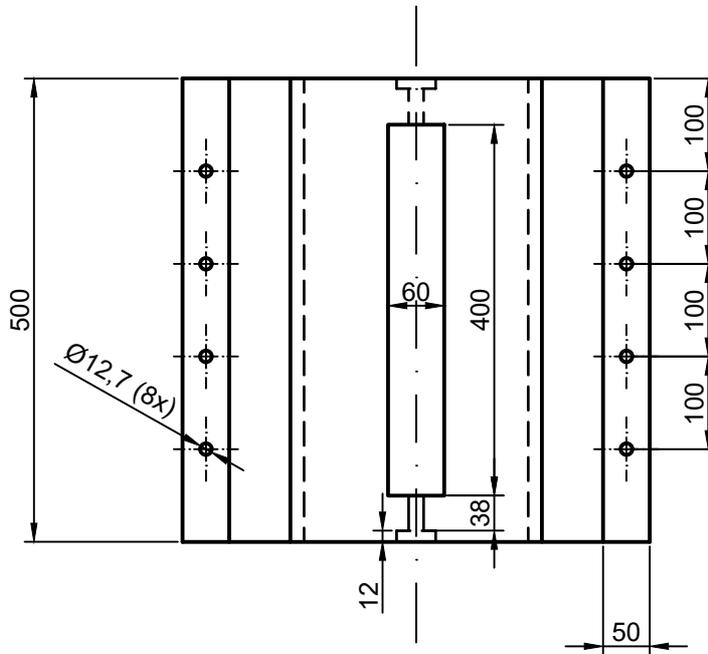
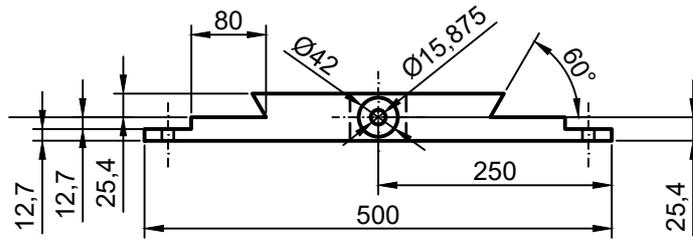
*Escala:*  
**1:2**

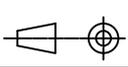
*Aluno:*  
**Gessé Paulo da Silva Neto**

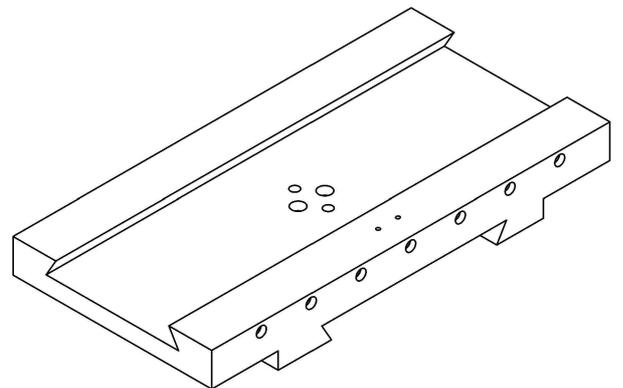
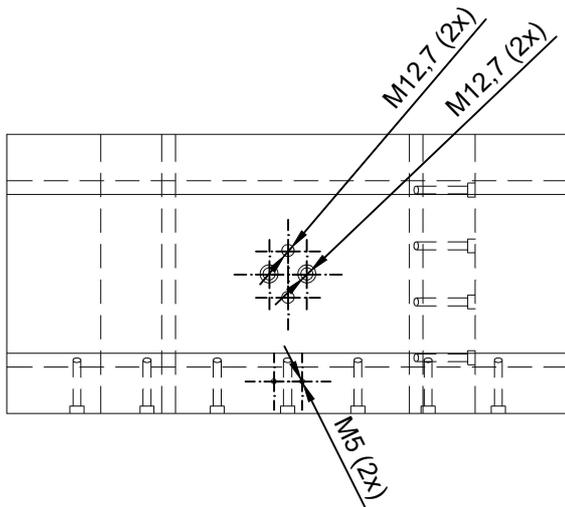
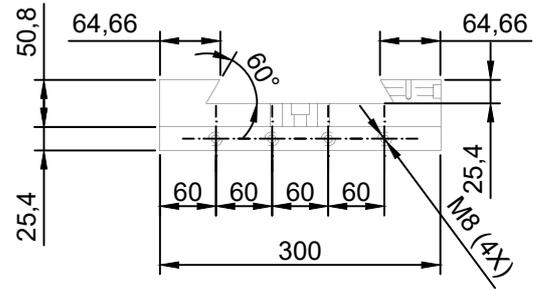
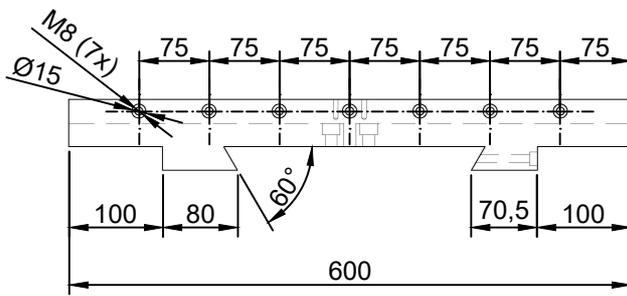
*Projeção:* 

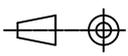
**Trabalho de Conclusão de Curso**

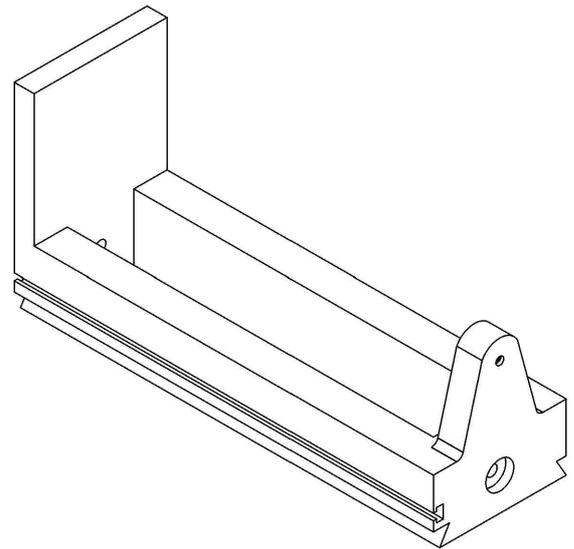
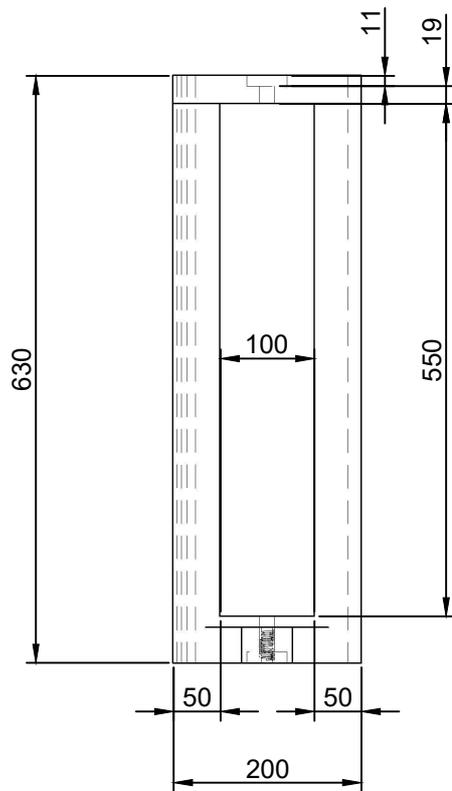
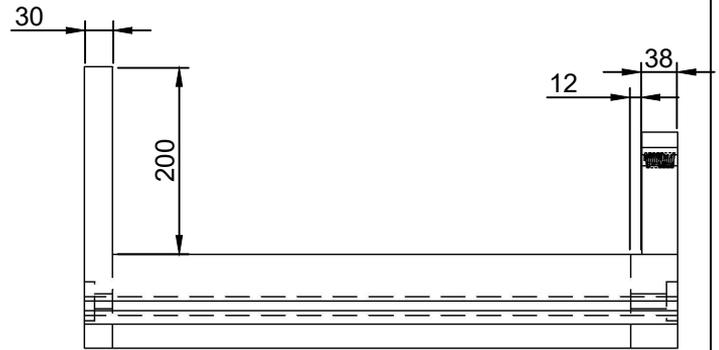
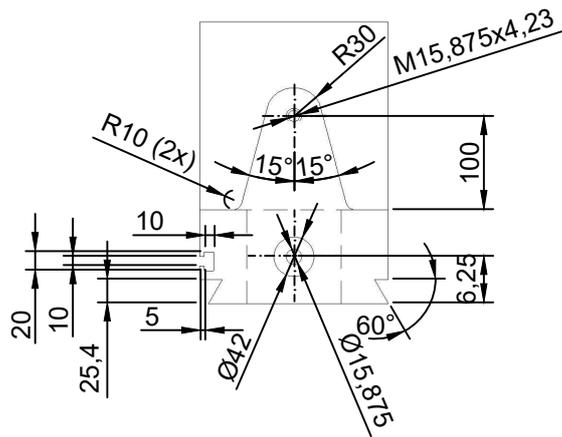
*Data:*  
**26/10/2018**



<i>UFPB</i>	<i>Título:</i> <b>Base inferior</b>	<i>Material:</i> <b>Ferro Fundido</b>
	<i>CENTRO DE TECNOLOGIA</i>	<i>Unidade:</i> <b>mm</b>
	<i>ENGENHARIA MECÂNICA</i>	<i>Escala:</i> <b>1:8</b>
<i>Aluno:</i> <b>Gessé Paulo da Silva Neto</b>		<i>Projeção:</i> 
<b>Trabalho de Conclusão de Curso</b>		<i>Data:</i> <b>25/10/2018</b>



<i>UFPB</i>	<i>Título:</i> <i>Base da morsa</i>	<i>Material:</i> <i>Ferro Fundido</i>
	<i>CENTRO DE TECNOLOGIA</i>	<i>Unidade:</i> <i>mm</i>
	<i>ENGENHARIA MECÂNICA</i>	<i>Escala:</i> <i>1:8</i>
<i>Aluno:</i> <i>Gessé Paulo da Silva Neto</i>	<i>Projeção:</i> 	<i>Data:</i> <i>26/10/2018</i>
<i>Trabalho de Conclusão de Curso</i>		



*UFPB*

*Título:*  
**Morsa**

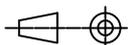
*Material:*  
**Ferro Fundido**

*CENTRO DE TECNOLOGIA*  
*ENGENHARIA MECÂNICA*

*Unidade:*  
**mm**

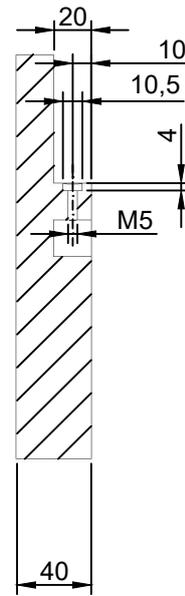
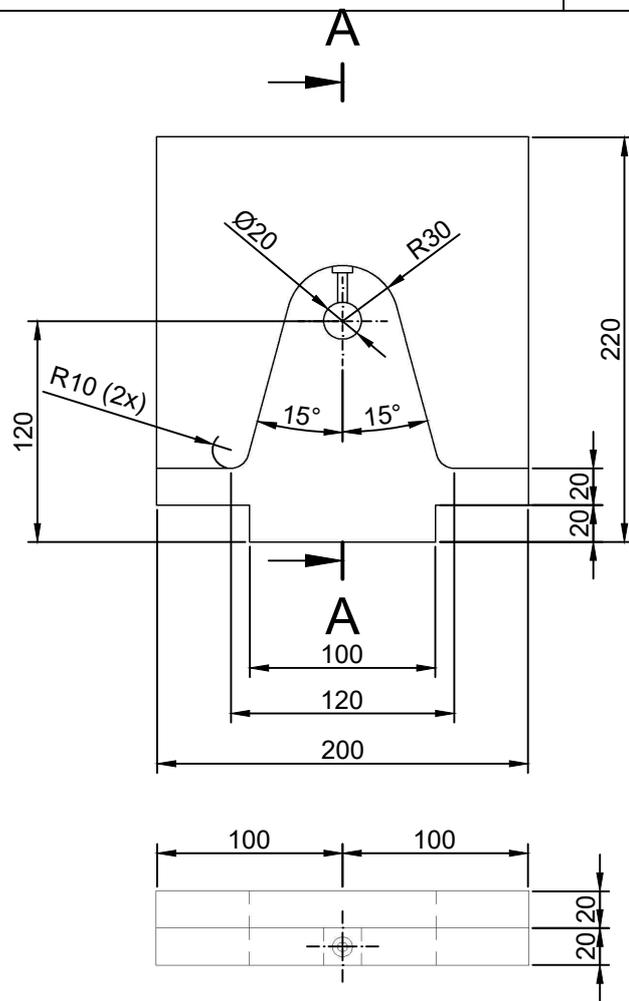
*Escala:*  
**1:8**

*Aluno:*  
**Gessé Paulo da Silva Neto**

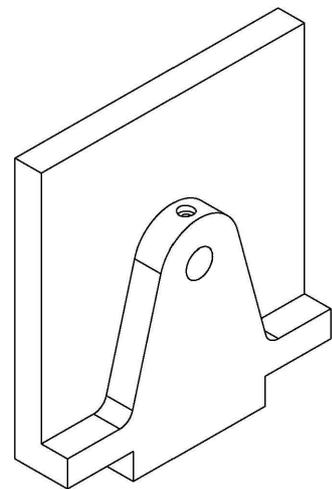
*Projeção:* 

**Trabalho de Conclusão de Curso**

*Data:*  
**25/10/2018**



Seção A-A



*UFPB*

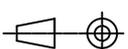
**Título:**  
*Mordente Móvel*  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**

**Material:**  
*Ferro Fundido*

**Unidade:**  
*mm*

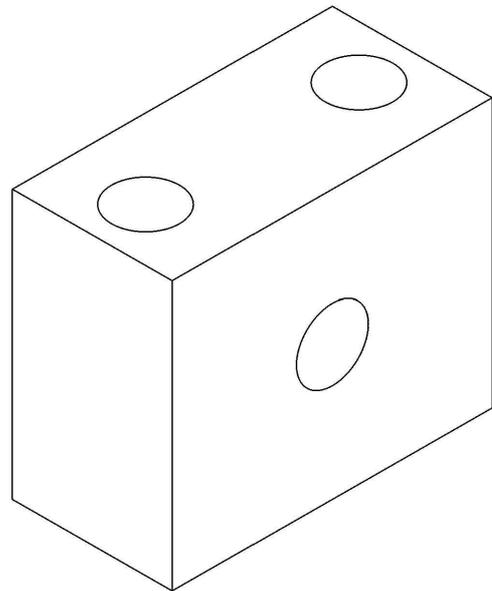
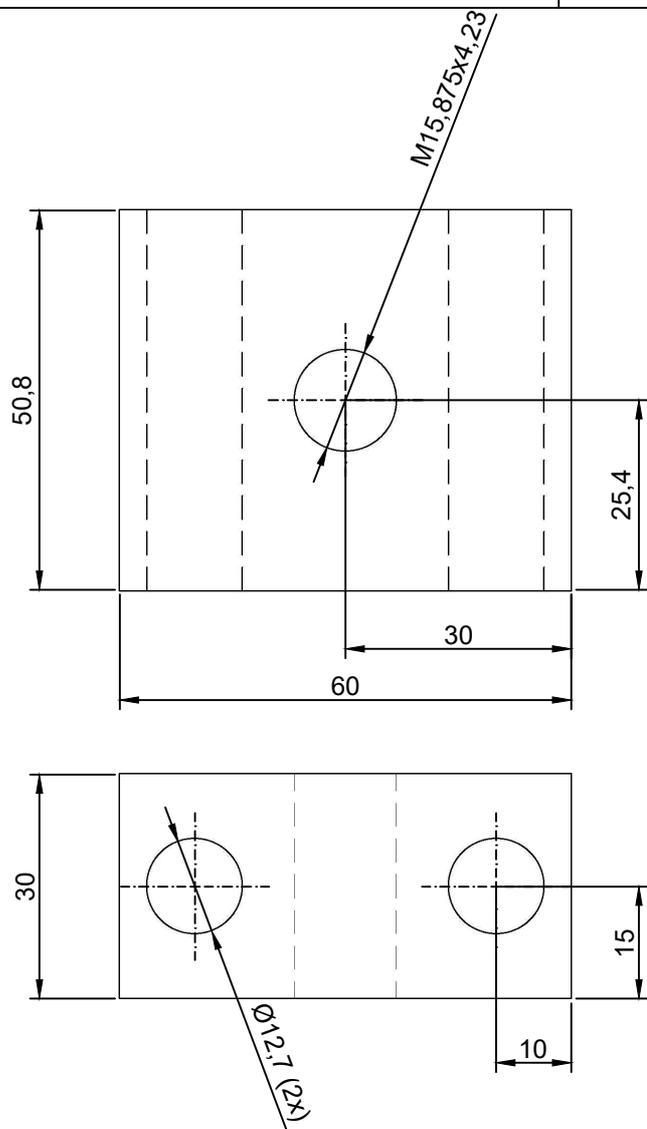
**Escala:**  
*1:4*

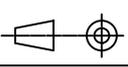
**Aluno:**  
*Gessé Paulo da Silva Neto*

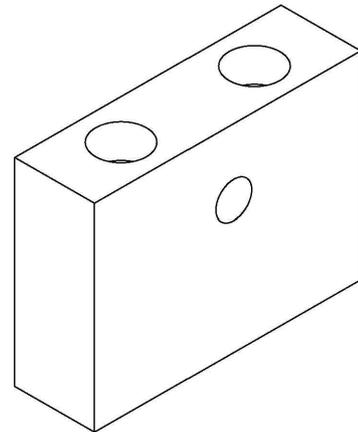
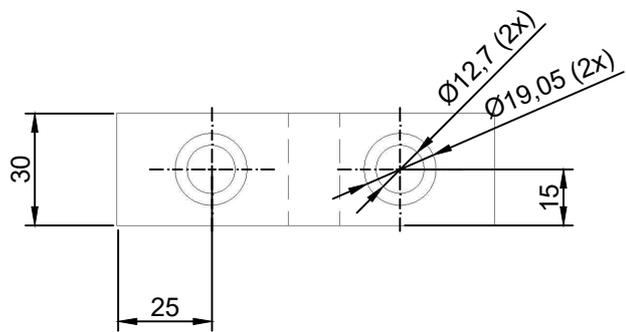
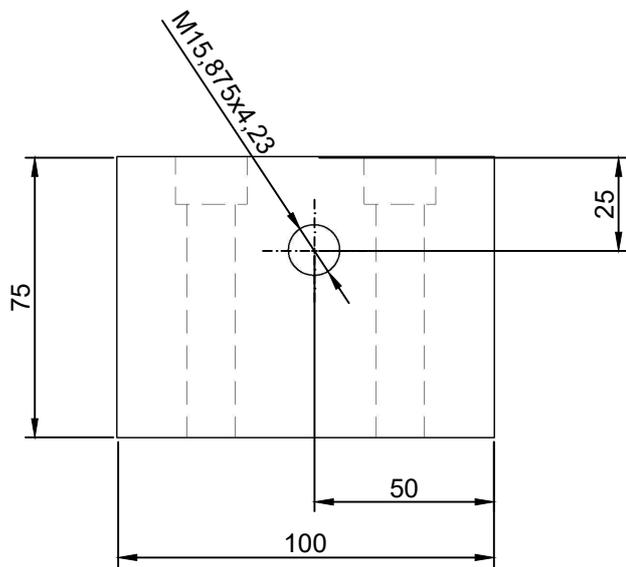
**Projeção:**  


*Trabalho de Conclusão de Curso*

**Data:**  
*25/10/2018*



<b>UFPB</b>	<b>Título:</b> <i>B. fuso base inf.</i>	<b>Material:</b> <i>Aço SAE 1020</i>
	<b>CENTRO DE TECNOLOGIA</b>	<b>Unidade:</b> <i>mm</i>
	<b>ENGENHARIA MECÂNICA</b>	<b>Escala:</b> <i>1:1</i>
<b>Aluno:</b> <i>Gessé Paulo da Silva Neto</i>	<b>Projeção:</b> 	<b>Data:</b> <i>25/10/2018</i>
<b>Trabalho de Conclusão de Curso</b>		



**UFPB**

**Título:**  
*B. fuso da morsa*  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**

**Material:**  
*Aço 1020*

**Unidade:**  
*mm*

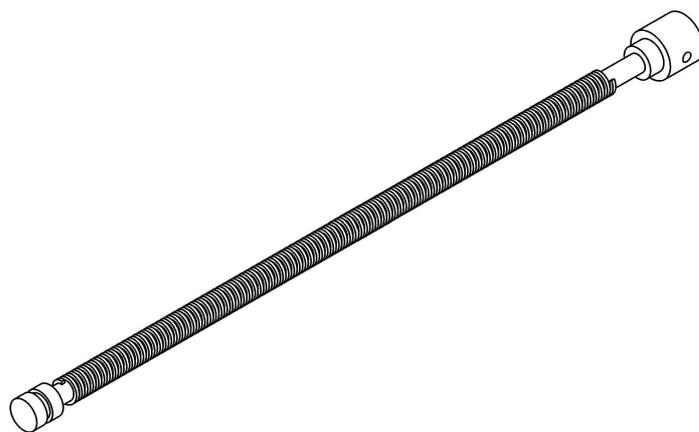
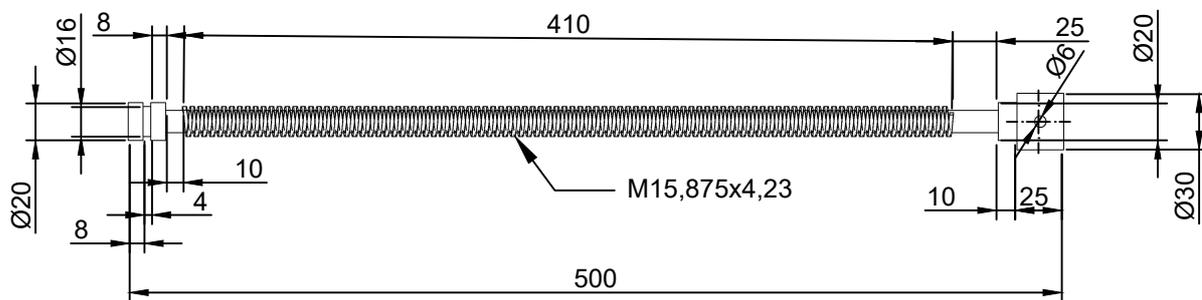
**Escala:**  
*1:2*

**Aluno:**  
*Gessé Paulo da Silva Neto*

**Projeção:**

**Trabalho de Conclusão de Curso**

**Data:**  
*25/10/2018*



**UFPB**

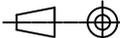
**Título:**  
*Haste roscada*  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**

**Material:**  
*Aço SAE 1020*

**Unidade:**  
*mm*

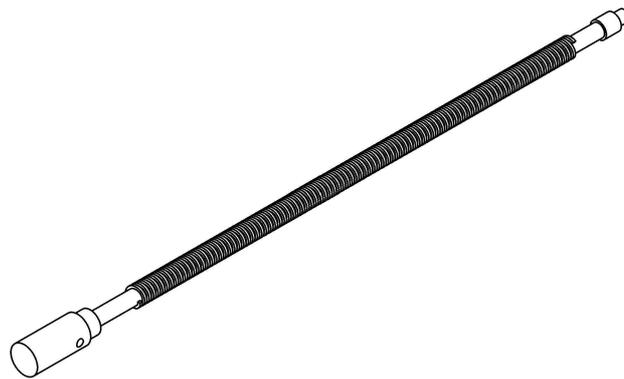
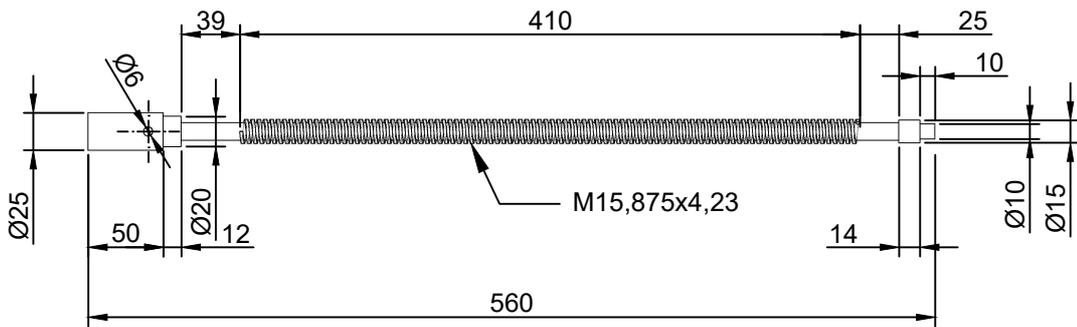
**Escala:**  
*1:4*

**Aluno:**  
*Gessé Paulo da Silva Neto*

**Projeção:**  


**Trabalho de Conclusão de Curso**

**Data:**  
*26/10/2018*



**UFPB**

**Título:**  
*Fuso base inf.*

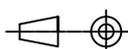
**Material:**  
*Aço SAE 1020*

**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**

**Unidade:**  
*mm*

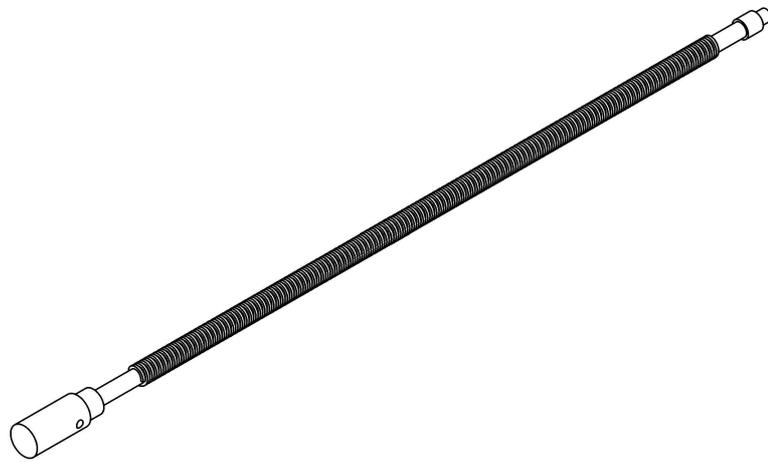
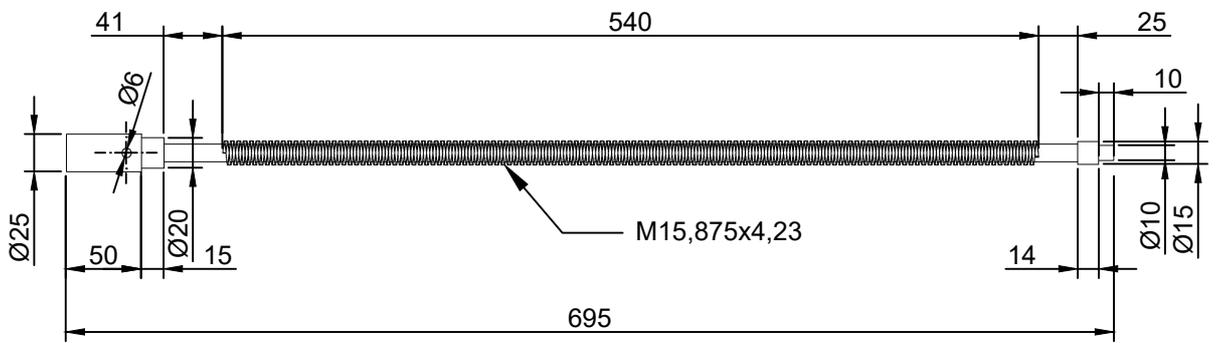
**Escala:**  
*1:5*

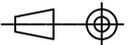
**Aluno:**  
*Gessé Paulo da Silva Neto*

**Projeção:**  


**Trabalho de Conclusão de Curso**

**Data:**  
*26/10/2018*



<b>UFPB</b>	<b>Título:</b> <i>Fuso da morsa</i>	<b>Material:</b> <i>Aço SAE 1020</i>
	<b>CENTRO DE TECNOLOGIA</b>	<b>Unidade:</b> <i>mm</i>
	<b>ENGENHARIA MECÂNICA</b>	<b>Escala:</b> <i>1:8</i>
<b>Aluno:</b> <i>Gessé Paulo da Silva Neto</i>	<b>Projeção:</b> 	
<b>Trabalho de Conclusão de Curso</b>	<b>Data:</b> <i>26/10/2018</i>	