

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DE MINAS GERAIS – *CAMPUS* BETIM  
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**Guilherme Sousa Brito Figueiredo**

**PROJETO E FABRICAÇÃO DE UM DISPOSITIVO DE FURAÇÃO  
MÚLTIPLA PARA PRODUÇÃO DE LUMINÁRIAS DE LED**

Betim

2021

**GUILHERME SOUSA BRITO FIGUEIREDO**

**PROJETO E FABRICAÇÃO DE UM DISPOSITIVO DE FURAÇÃO  
MÚLTIPLA PARA PRODUÇÃO DE LUMINÁRIAS DE LED**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso Bacharelado em Engenharia Mecânica  
do Instituto Federal de Minas Gerais – Campus  
Betim para obtenção do grau de bacharel em  
Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Msc. Gabriel Mendes de  
Almeida Carvalho

Betim

2021

F475p Figueiredo, Guilherme Sousa Brito.

Projeto e fabricação de um dispositivo de furação múltipla para produção de luminárias de LED / Guilherme S.B. Figueiredo. -2021. 37p.:il.

Orientador: Prof. Dr. Gabriel Mendes de Almeida Carvalho.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Betim, 2021.

1. Projeto mecânico. 2. Furação. 3. Luminária. 4. LED.I.  
Instituto Federal de Minas Gerais. II. Título.

CDD 621

Catálogo: Rejane Valéria Santos - CRB-6/2907

# PROJETO E FABRICAÇÃO DE UM DISPOSITIVO DE FURAÇÃO MÚLTIPLA PARA PRODUÇÃO DE LUMINÁRIAS DE LED

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Betim para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Mecânica.

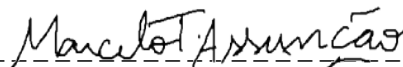
Aprovado em: 21 / 12 / 2021 pela banca examinadora:



Prof. Msc. Gabriel Mendes de Almeida Carvalho – IFMG (Orientador)



Prof. Fagner Guilherme Ferreira Coelho - UFMG



Prof. Marcelo Teodoro Assunção - IFMG Campus Arcos

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela saúde e por iluminar o meu caminho até aqui.

Ao Instituto Federal de Minas Gerais pela oportunidade de formação acadêmica, juntamente com todos os professores e colaboradores para que o campus funcione de forma exemplar.

À minha família, pela condição e apoio que me deram.

À Fernanda, minha companheira, que sempre esteve ao meu lado incentivando e apoiando.

Ao Professor Bruno Baptista pela amizade, incentivar a criação do grupo de extensão IFBB – Baja Betim e por me apresentar ao grupo Aalok.

Ao Professor Gabriel Mendes pelo incentivo ao grupo IFBB, pelas aulas ministradas com maestria e didática ímpar, além da orientação deste trabalho.

À empresa AALOK, que possibilitou aplicar a maioria dos conceitos aprendidos em sala de aula, em especial ao mestre, amigo e chefe Marco Aurélio Machado.

## RESUMO

A tecnologia LED, do inglês *Light Emitting Diode*, ou seja, diodo emissor de luz, nasceu na década de 60 e até os anos 2000 não foi utilizada com o intuito de iluminar ambientes, e sim como luzes de sinalização. A partir da primeira década do século XXI, o avanço tecnológico de materiais e processos permitiram o desenvolvimento de LEDs com eficiência luminosa competitiva com as demais tecnologias (Lâmpadas fluorescentes e Incandescentes), com expectativa de vida até 50 vezes maior e eficiência luminosa até 10 vezes superior, inaugurando assim, uma nova função para estes componentes eletrônicos. Com o incremento de potência nos LEDs, veio a necessidade de construções mais robustas e elaboradas, principalmente no sentido do controle de temperatura, já que a vida útil do LED depende, dentre outros fatores, diretamente da temperatura de operação. Assim, são construídos dissipadores com o objetivo de receber e dissipar o calor gerado pela conversão de energia elétrica em luminosa. Na AALOK Indústria, os dissipadores são fabricados em Alumínio Extrusado, liga 6063 T5, onde são montados a placa de LEDs (com até 75W) e a lente que garante o direcionamento da luz gerada. Para tal, foram construídos alguns equipamentos que formam a linha de produção destes dissipadores, processos de corte e usinagem de furos e roscas. Objeto de estudo do presente trabalho é o equipamento que realiza a furação do perfil nos pontos de fixação da lente, com o objetivo de elaborar um projeto mecânico de um dispositivo capaz de substituir o equipamento atual e melhorar o processo produtivo que é bastante interrompido por intervenções de manutenção corretiva.

**Palavras-chave:** Projeto mecânico, Furação, Luminária LED.

## **ABSTRACT**

LED technology, or light emitting diode, was born in the 60s and until the 2000s it was not used with the intention of lighting environments, but as signal lights. From the first decade of the 21st century, technological advances in materials and processes allowed the development of LEDs with luminous efficiency competitive with other technologies (fluorescent and incandescent lamps), with a life expectancy up to 50 times longer and luminous efficiency up to 10 times, inaugurating a new function for this electronic component. With the increase in power in the LEDs, came the need for more robust and elaborate constructions, especially in terms of temperature control, since the useful life of the LED depends, among other factors, directly on the operating temperature. Thus, heat sinks are built in order to receive and dissipate the heat generated by the conversion of electrical energy into light. At AALOK Industry, the heat sinks are manufactured in Extruded Aluminum, alloy 6063 T5, where the LED board (with up to 75W) and the lens that guarantee the direction of the generated light are mounted. To this end, some equipment was built that make up the production line for these heat sinks, cutting processes and drilling holes and threads. The object of study of this work is the equipment that performs the perforation of the profile at the lens fixation points, with the objective of developing a mechanical design of a device capable of replacing the current equipment and improving the production process, which is largely interrupted by interventions corrective maintenance.

**Keywords:** Mechanical design, Drilling, LED luminaire.

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1 - BROCA HELICOIDAL E SUA GEOMETRIA</b>	<b>15</b>
<b>FIGURA 2 - MOVIMENTAÇÃO NO PROCESSO DE FURAÇÃO</b>	<b>16</b>
<b>FIGURA 3 - TIPOS DE FURAÇÃO</b>	<b>17</b>
<b>FIGURA 4 - FORMAÇÃO DE ARESTAS POSTIÇAS</b>	<b>18</b>
<b>FIGURA 5 - TIPOS DE ENGRENAGENS</b>	<b>19</b>
<b>FIGURA 6 - TREM DE ENGRENAGENS COMPOSTO</b>	<b>20</b>
<b>FIGURA 7 - PRINCÍPIO DE PASCAL</b>	<b>21</b>
<b>FIGURA 8 - CILINDRO DE SIMPLES AÇÃO</b>	<b>21</b>
<b>FIGURA 9 - CILINDRO DE DUPLA AÇÃO</b>	<b>22</b>
<b>FIGURA 10 - REPRESENTAÇÃO DAS POSIÇÕES DE UMA VÁLVULA</b>	<b>22</b>
<b>FIGURA 11 - VÁLVULA DIRECIONAL</b>	<b>23</b>
<b>FIGURA 12 - ILUSTRAÇÃO DO <i>SolidWorks</i>®</b>	<b>24</b>
<b>FIGURA 13 - PERFIL DE ALUMÍNIO FINALIZADO</b>	<b>25</b>
<b>FIGURA 14 - SISTEMA DE TRANSMISSÃO</b>	<b>25</b>
<b>FIGURA 15 - ESQUEMA DE AVANÇO PNEUMÁTICO</b>	<b>26</b>
<b>FIGURA 16 - ESTRUTURA DE ALUMÍNIO</b>	<b>27</b>
<b>FIGURA 17 - CONFIGURAÇÃO DO TREM DE ENGRENAGENS</b>	<b>28</b>
<b>FIGURA 18 - ROLAMENTO DE ESFERAS SKF 619/8</b>	<b>29</b>
<b>FIGURA 19 - VISTA EM CORTE DOS ALOJAMENTOS DOS ROLAMENTOS FORMADO PELO CONJUNTO DE CHAPAS</b>	<b>30</b>
<b>FIGURA 20 - EIXOS COM ANÉIS ELÁSTICOS INFERIORES AOS ROLAMENTOS</b>	<b>31</b>
<b>FIGURA 21 - KIT CONTROLADOR E MOTOR JACK, MODELO JK513A1</b>	<b>32</b>
<b>FIGURA 22 - ARQUITETURA DO EQUIPAMENTO ANTIGO</b>	<b>34</b>
<b>FIGURA 23 - SISTEMA DE TRAVAMENTO DE BROCAS TIPO PINÇA - MARCA MERIGLARE</b>	<b>35</b>



## **LISTA DE TABELAS**

**TABELA 1 - COMPARAÇÃO ENTRE PARÂMETROS DE USINAGEM**

**32**

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES**

**CNC** - COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO

**LED** - LIGHT EMITTING DIODE (DIODO EMISSOR DE LUZ)

**RPM** - ROTAÇÕES POR MINUTO

**TCC** - TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**V** - VOLTS (UNIDADE DE DIFERENÇA DE POTENCIAL ELÉTRICO)

**W** - WATTS (UNIDADE DE POTÊNCIA)

**M** - METRO

**MIN** - MINUTO

**MM** - MILÍMETRO

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
2. OBJETIVO .....	13
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3. JUSTIFICATIVA.....	14
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
4.1. PROCESSOS DE USINAGEM .....	15
4.1.1 FURAÇÃO .....	15
4.1.2 FURAÇÃO EM ALUMÍNIO .....	17
4.2. ENGRENAGENS .....	18
4.2.1 MATERIAIS.....	19
4.2.2 TREM DE ENGRENAGENS .....	19
4.3 SISTEMAS PNEUMÁTICOS.....	20
4.3.1 ATUADORES.....	21
4.3.2 VÁLVULAS DE CONTROLE DIRECIONAL.....	22
5. METODOLOGIA .....	23
5.1 SOFTWARE 3D .....	23
5.2 FURAÇÃO EM ALUMÍNIO .....	24
5.3 MOTOR E SISTEMA DE TRANSMISSÃO .....	25
5.4 SISTEMA DE AVANÇO PNEUMÁTICO .....	25
5.5 ESTRUTURA E MONTAGEM.....	26
6. ASPECTOS CONSTRUTIVOS .....	28
6.1. TREM DE ENGRENAGENS .....	28
6.2. EIXOS E ROLAMENTOS.....	29
6.3. MOTOR.....	31
6.4 VELOCIDADES DE CORTE .....	32
7. DESEMPENHO.....	33
7.1 TEMPO E RUÍDO.....	33
7.2 MONTAGEM .....	33
8. PROPOSTAS DE MELHORIA.....	34
8.1 ACOPLAMENTO .....	34
8.2 FIXAÇÃO DAS BROCAS .....	34
8.3 ERGONOMIA.....	35
9. CONCLUSÕES.....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	37

## 1. INTRODUÇÃO

A furação é um processo de usinagem mecânica muito comum na indústria metal mecânica, e pode ser aplicada a diversas finalidades, desde simples furos para remoção de material cujo objetivo é o balanceamento de massa, até a formação de canais com furação profunda (DINIZ, 1998). Dentre essas, a preparação de furos para roscas é uma das mais aplicadas no processo produtivo da AALOK Indústria, uma empresa de eficiência energética que tem no portfólio a produção de luminárias industriais de tecnologia LED. Com produção de peças em série, que requerem um *setup* único, tornou-se mais rentável e vantajoso a construção de um equipamento dedicado à produção de furos como alternativa ao equipamento de usinagem que utiliza a tecnologia de comando numérico computadorizado (CNC), ao seu alto custo de aquisição, demanda de mão de obra qualificada e ferramentas específicas.

Na AALOK Indústria, as luminárias são construídas em alumínio extrusado e variam as fotometrias, a quantidade de módulos e fixações. As fotometrias são definidas conforme lente aplicada acima da placa de LEDs, e cada módulo, conjunto óptico, contempla uma placa de LEDs e sua lente fixos em um perfil dissipador. A fixação da lente no perfil de alumínio se dá por 8 parafusos M3 x 10 mm distribuídos ao seu redor. A necessidade de furação e abertura de roscas em cada um dos oito pontos de fixação é uma das atividades mais complexas na linha de produção das luminárias e o equipamento atual foi construído com brocas concêntricas em 9 motores e este conjunto forma um cabeçote que percorre duas guias lineares, para realizar a movimentação de avanço, que é realizada por dois cilindros pneumáticos. Cada motor do tipo *brushless - outrunner* tem seu comando eletrônico, operam com tensão contínua (12 V) e utilizam uma pinça de acoplamento que recebe as brocas de 2,7 mm. Além do ruído proveniente dos motores, é observado um fator que dificulta a manutenção quando uma broca se quebra ou solta: a proximidade no posicionamento dos motores. Esta se dá pois os eixos são concêntricos com as brocas e é preciso respeitar as posições de fixação da lente, assim os motores foram instalados com distanciamentos ínfimos, e que se tornam problemáticos para a manutenção.

Desta forma, o presente trabalho contempla a concepção, desenvolvimento e execução do projeto de um dispositivo de furação múltipla em perfis de alumínio para produção de luminárias de LED.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo é construir um dispositivo similar ao que está na produção atual, que opere com apenas um motor, projetando uma transmissão de forma a manter o posicionamento das brocas e aproveitar a estrutura e a pneumática existentes, com o objetivo de reduzir as intervenções de manutenção corretiva, mantendo a produtividade e que o conjunto seja menos ruidoso.

### **2.1 Objetivos específicos**

- Desenvolver um novo equipamento de furação múltipla para produção de luminárias, aproveitando os componentes disponibilizados pela parceria com a AALOK.
- Reduzir de intervenções por manutenções corretivas.
- Tornar a operação mais silenciosa com o novo equipamento.

### **3. JUSTIFICATIVA**

O novo equipamento de furação elevará a capacidade do processo produtivo da empresa, visto que, o dispositivo utilizado atualmente se tornou um gargalo no processo produtivo de luminárias de LED, devido sua manutenção complexa e recorrente.

O equipamento atual tem como princípio a utilização de um motor para cada posição de furo de fixação da lente, o que tornou sua construção bastante complexa. A proximidade entre os centros dos furos aproximou os motores de forma a dificultar a montagem e manutenção dos componentes mecânicos do equipamento, como por exemplo, a substituição de brocas desgastadas. Além da dificuldade no acesso, a demanda por unidades controladoras dos motores demandou um arranjo robusto e complexo de eletrônica, demandando baterias para suprir a alta demanda de corrente elétrica contínua em tensão baixa (12 V). Mesmo com a elaboração de quadros controladores eletrônicos, o movimento de avanço é comandado por relés temporizadores, necessitando ajustes de acordo com o nível de desgaste das brocas ou pressão de ar comprimido.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

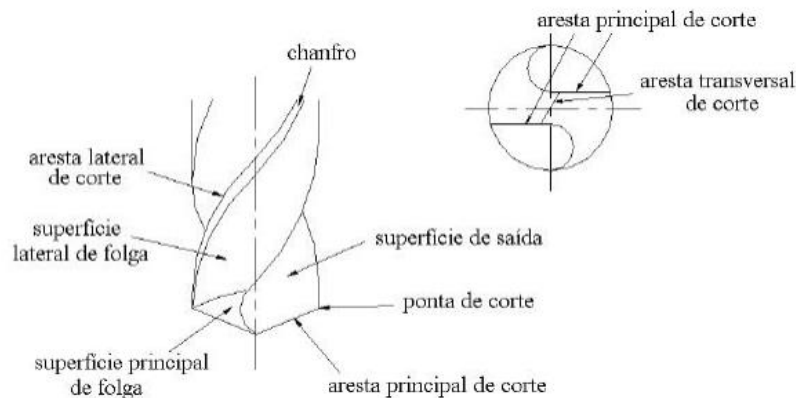
### 4.1. Processos de usinagem

O processo de usinagem de materiais é amplamente utilizado na indústria metal-mecânica, sendo minoria os casos de peças que não necessitem de algum processo de usinagem, seja para conferir ao material forma, o dimensional correto ou acabamentos. Segundo Ferraresi (1970), pode-se definir como usinagem o grupo de operações que produzem cavaco, ou seja, porções de material sem forma regular que são retiradas da peça pela ferramenta de corte. Existem diversos processos de usinagem classificados de acordo com a máquina operatriz, a ferramenta de corte e o movimento relativo entre a ferramenta e a peça a ser trabalhada.

#### 4.1.1 Furação

O processo de usinagem por furação utiliza ferramenta com mais de uma aresta de corte e geometria definida e que consiste na remoção gradual de material da peça, formando, geralmente, um cilindro que varia o diâmetro e a altura de acordo com a ferramenta de corte, denominada broca. O que pode ser observado na figura 1 a seguir.

Figura 1: Broca Helicoidal e sua geometria.



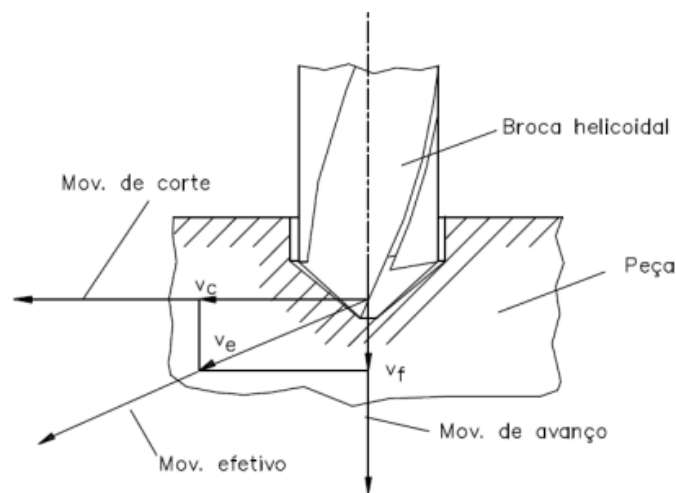
Fonte: SILVEIRA, 20-?

Para Diniz (1998) e Ferraresi (1970), este processo é um dos mais utilizados na indústria visto que os processos de fabricação dificilmente originam peças com furos prontos para utilização final e é obtido com movimentação relativa da peça com a ferramenta que se deslocam em trajetória retilínea e coincidente. A figura 2 ilustra as movimentações envolvidas neste processo, sendo estas:

- Movimentação de avanço: Resultante da aplicação da força no sentido axial, de encontro à peça.
- Movimentação de corte: Este se dá pela rotação da ferramenta.
- Movimentação efetiva: É o resultado vetorial dessas duas movimentações simultâneas.

Para que a furação aconteça, se faz necessário a movimentação da aresta de corte tanto na rotação quanto no avanço, com a remoção dos cavacos gerados através das faces helicoidais.

Figura 2: Movimentação no processo de Furação



Fonte: Machado 2009

A velocidade de corte na furação pode ser calculada conhecendo a rotação e o diâmetro da broca, como descrito na equação 1 a seguir:

Equação 1

$$vc = \frac{\pi DCn}{1000}$$

onde:

vc - Velocidade de corte em m/min

DC – Diâmetro da ferramenta em mm

n – Rotação em rpm

Existem algumas formas de realizar a furação, e pode-se destacar as principais: Furação em cheio, furação com pré furo, furação escalonada e de centros, ilustrados na Figura 3 (FERRARESI, 1970).

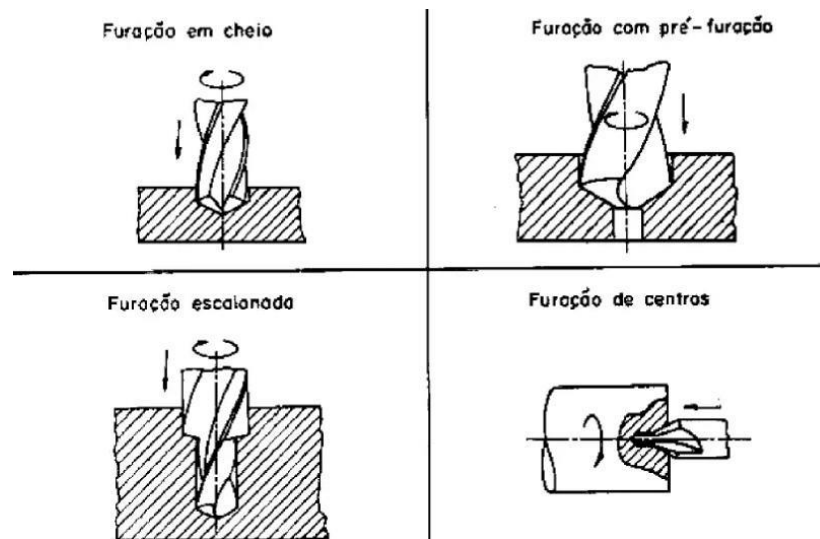
- Furação em cheio: remoção de todo material que formava o cilindro aberto pelo furo em apenas uma operação.
- Furação com Pré Furo: Aumento no diâmetro de um furo já existente na peça,



que é utilizado como guia, melhorando a concentricidade.

- Furação escalonada: Quando a intenção é obter furos com mais de um diâmetro na mesma operação.
- Furação de Centros: Realização de furo central para operações posteriores na peça.

Figura 3: Tipos de Furação



Fonte: Adaptado de Ferraresi, 1970

#### 4.1.2 Furação em alumínio

O objeto a ser desenvolvido no presente trabalho realizará a operação de furação em cheio em perfis de alumínio liga 6063-T5 com brocas de aço rápido com diâmetro de 2,7 mm. Para tal, é preciso se atentar aos parâmetros de corte aplicáveis à situação. Segundo Diniz (1998), a usinabilidade de um material não está relacionada somente com a sua resistência mecânica e dureza, mas também com outras propriedades como taxa de encruamento, condutividade térmica e ductilidade. O Alumínio, portanto, é um material de boa usinabilidade, sendo necessária pouca energia por volume de material removido, pode-se utilizar velocidades de corte altas e manter a tendência de desgastar menos a ferramenta de corte, quando a operação é realizada dentro dos parâmetros adequados.

Um dos problemas que ligas de alumínio podem apresentar é a formação de arestas postiças (figura 4) devido à sua dureza mais baixa e velocidade de corte incorreta, o que compromete a capacidade de corte da ferramenta e ocasiona problemas com a rugosidade do furo. Outro problema a ser tratado é a deformação da peça. Por ter uma elasticidade elevada, peças em alumínio tendem a se deformar quando submetidas a esforços moderados, comprometendo assim, as tolerâncias geométricas da peça, ou seja, um fator limitante na

aplicação de esforços na peça, seja na fixação ou na execução do furo, visto que, com os controles de qualidade cada vez mais exigentes, uma peça fora das especificações será descartada.

Figura 4: Formação de Arestas postiças



Fonte: Sandvik Coromant

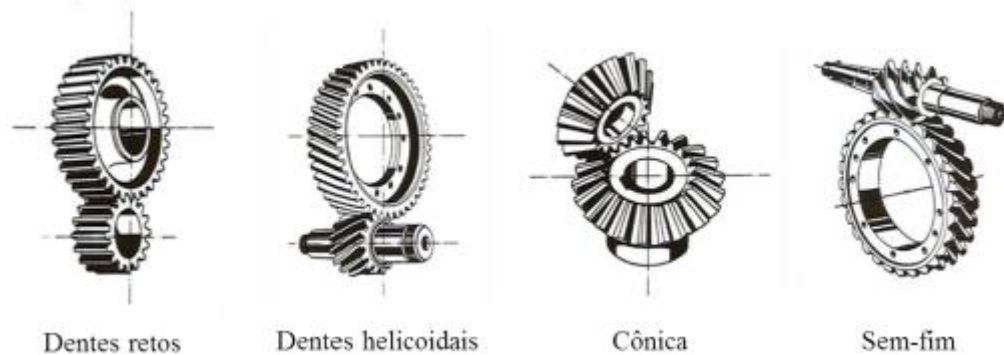
## 4.2. Engrenagens

Engrenagens podem ser definidas por rodas dentadas que transmitem movimento de um eixo a outro. São amplamente utilizadas desde séculos antes de Cristo, com evidências em projetos de carruagens orientais, Aristóteles em seus manuscritos e até mesmo em projetos de DaVinci na era moderna (JUVINALL, 2013). Dentre os elementos de transmissão de movimento, correntes, correias e polias, as engrenagens são os mais robustos e complexos, podendo variar em diversos parâmetros e tipos.

Os principais tipos de engrenagens podem ser classificados como: engrenagens cilíndricas de dentes retos, engrenagens de dentes helicoidais, engrenagens cônicas e engrenagens sem fim, como ilustrado na figura 5 e descrito a seguir (BUDYNAS, 2011).

- Engrenagens de dentes retos: São engrenagens que possuem os dentes paralelos ao eixo de rotação, usadas na transmissão de movimento de eixos paralelos.
- Engrenagens de dentes helicoidais: São engrenagens que possuem os dentes inclinados ao eixo de rotação, implicando diretamente na maneira em que ocorre o engrenamento. São utilizadas em eixos paralelos como nas retas, porém cria-se forças axiais conforme ângulo formado. Como vantagem, tem operação mais silenciosa e maior capacidade de carga e velocidade.
- Engrenagens Cônicas: Com formato cônico são aplicados quando há demanda de transmissão de movimento em eixos que se cruzam.
- Engrenagens sem fim: Aplicadas quando tem-se uma relação de transmissão elevada e eixos não paralelos.

Figura 5: Tipos de Engrenagens



Fonte: Adaptado de Stipkov Filho

#### 4.2.1 Materiais

Há um número limitado de metais e ligas apropriados para sistemas de transmissão de potência por engrenagens, podendo ser combinados entre pinhão e coroa (motriz e movida) e entre diferentes materiais. Algumas ligas permitem endurecimento superficial ou total, uma vantagem, já que com maior resistência, a tendência ao desgaste é menor (NORTON, 2013). Pode-se relacionar os principais materiais:

- Ferros fundidos cinzentos: É amplamente utilizados por seu custo baixo, alta resistência ao desgaste e pelas suas inclusões de grafite que causam um amortecimento na estrutura interna.
- Ferros fundidos nodulares: Tem usinabilidade maior que o cinzento, maior resistência mas o custo é maior.
- Aços: Bastante utilizados na indústria, podem ser tratadas termicamente, inclusive com tratamentos superficiais para aplicações específicas.
- Bronzes: São os materiais não ferrosos mais comuns usados para engrenagens, pelo seu módulo de elasticidade baixo que melhora a divisão de carga entre os dentes.
- Não metálicas: Muitas possibilidades de materiais. São vantajosos por emitir menor ruído, alguns são auto lubrificadas. A resistência do material é um fator limitante na sua utilização.

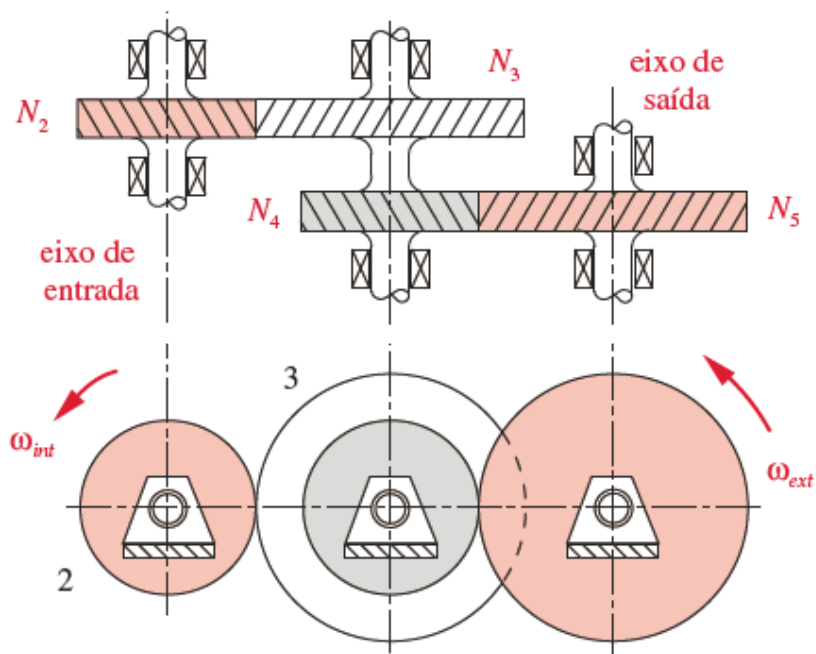
#### 4.2.2 Trem de engrenagens

Norton (2013) classifica como trem de engrenagens qualquer conjunto de duas ou mais engrenagens conectadas, com a finalidade transmissão do movimento de um eixo ao outro, podendo, através da relação de transmissão, alterar as intensidades de torque ou rotação de acordo com o quociente do número de dentes entre elas. O trem de engrenagens mais simples

é composto por apenas duas delas e este tipo está limitado a relações de 10:1. Quando se faz necessário relações de transmissão superiores, temos os trens compostos ou epicíclicos (planetárias).

Os trens compostos podem ser definidos quando pelo menos um eixo tem mais de uma engrenagem, como ilustrado na figura 6 (NORTON, 2013).

Figura 6: Trem de Engrenagens Composto

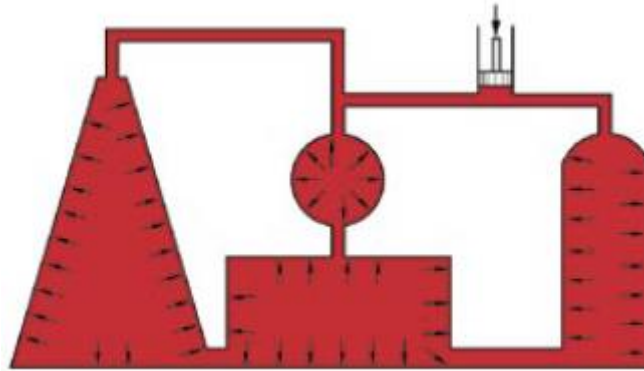


Fonte: NORTON, 2013

### 4.3 Sistemas pneumáticos

Um dos princípios físicos mais explorados do ar é a compressibilidade, utilizado nos compressores que trabalham para elevar a pressão do fluido ao ponto de este ser capaz de realizar trabalho. Outro princípio simples que torna isto possível é o Princípio de Pascal, ilustrado pela figura 7, no qual Parker (2000) diz: "A pressão exercida em um líquido confinado em forma estática atua em todos os sentidos e direções, com a mesma intensidade, exercendo forças iguais em áreas iguais". Desta forma elevamos o potencial de trabalho com ar comprimido, podendo-se movimentar cargas através de atuadores pneumáticos.

Figura 7: Princípio de Pascal



Fonte: PARKER, 2000

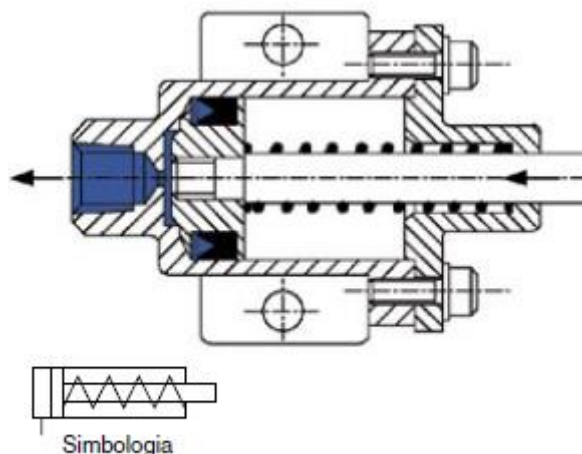
#### 4.3.1 Atuadores

Os atuadores pneumáticos são componentes capazes de converter a energia do fluido comprimido em energia mecânica, que por sua vez pode ser utilizada em algum processo ou operação e podem ser divididos em dois grupos principais: lineares (cilindros) ou giratórios (motores) (SIMÕES, 2016).

Nos cilindros, temos diversas variações possíveis quanto ao curso, diâmetros, amortecimentos e retornos. Os mais simples são os cilindros de simples ação e de dupla ação e com estes já é possível realizar diversos tipos de projeto de automação de equipamentos.

Os cilindros de simples ação utilizam o ar comprimido para produzir trabalho em apenas um dos sentidos, sendo que o outro sentido, ou retorno, é realizado pela ação de força externa ou mola, como ilustrado na figura 8. Um fato que deve ser levado em conta no momento do dimensionamento de esforços, é a força que a mola absorve quando é acionada, reduzindo sua eficácia.

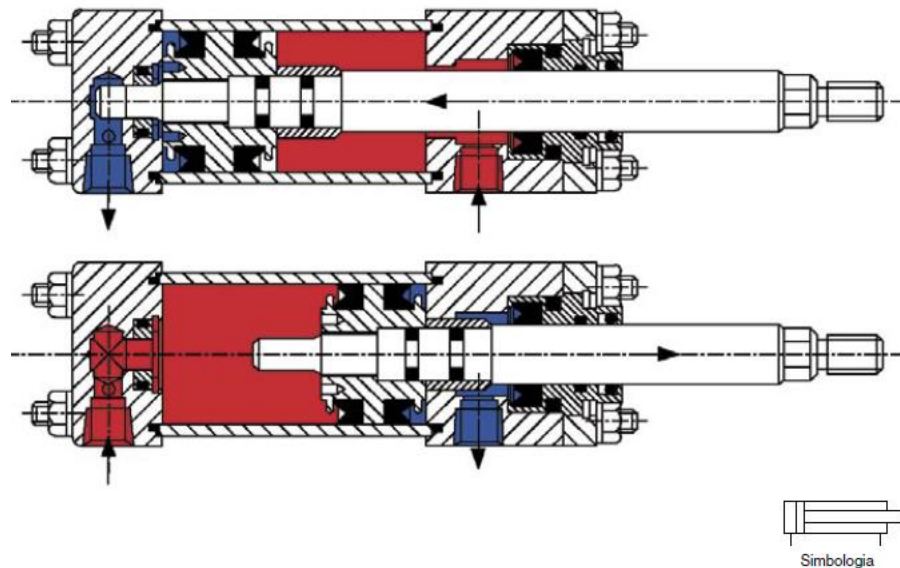
Figura 8: Cilindro de Simples Ação



Fonte: PARKER, 2000

Os cilindros de dupla ação utilizam o ar comprimido para realizar a movimentação nos dois sentidos, ou seja, é capaz de produzir trabalho tanto no avanço quanto no retorno. Neste caso temos uma diferença nas forças exercidas em cada uma delas, visto que em uma delas a área ocupada pela haste não é considerada no exercício da força na direção da movimentação, como é possível observar na figura 9 a seguir.

Figura 9: Cilindro de Dupla Ação



Fonte: PARKER 2000

#### 4.3.2 Válvulas de controle direcional

Válvulas de controle direcional tem como função orientar a direção do fluxo de ar para então realização do trabalho nos atuadores. São representadas por retângulos que são divididos em quadrados, que, por sua vez, representam a quantidade de posições da válvula, como exemplificado na figura 10. O número de posições significa o número de manobras diferentes que a válvula pode executar.

Figura 10: Representação das posições de uma válvula

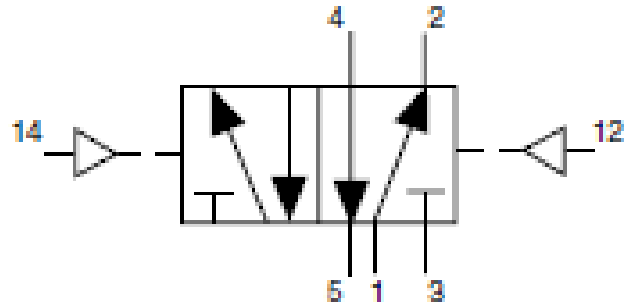


Fonte: PARKER, 2000

Além das posições, a quantidade de vias, as direções do fluxo e os tipos de acionamentos (comandos) possíveis também são contemplados na representação das válvulas,

facilitando o entendimento e desenvolvimento de diagramas pneumáticos, como é possível analisar na figura 11 a seguir.

Figura 11: Válvula direcional



Fonte: PARKER, 2000

A partir da figura 11, é possível concluir que trata-se de uma válvula:

- De duas posições
- 5 vias, das quais: 3 e 5 são de escape, 2 e 4 são de saída para aplicação, 1 é alimentação com ar comprimido.
- Acionamento por solenóides nos pontos 12 e 14.
- Na posição inicial o atuador receberá o ar de 2 e terá saída em 4, que, através de 5, será despejado na atmosfera.

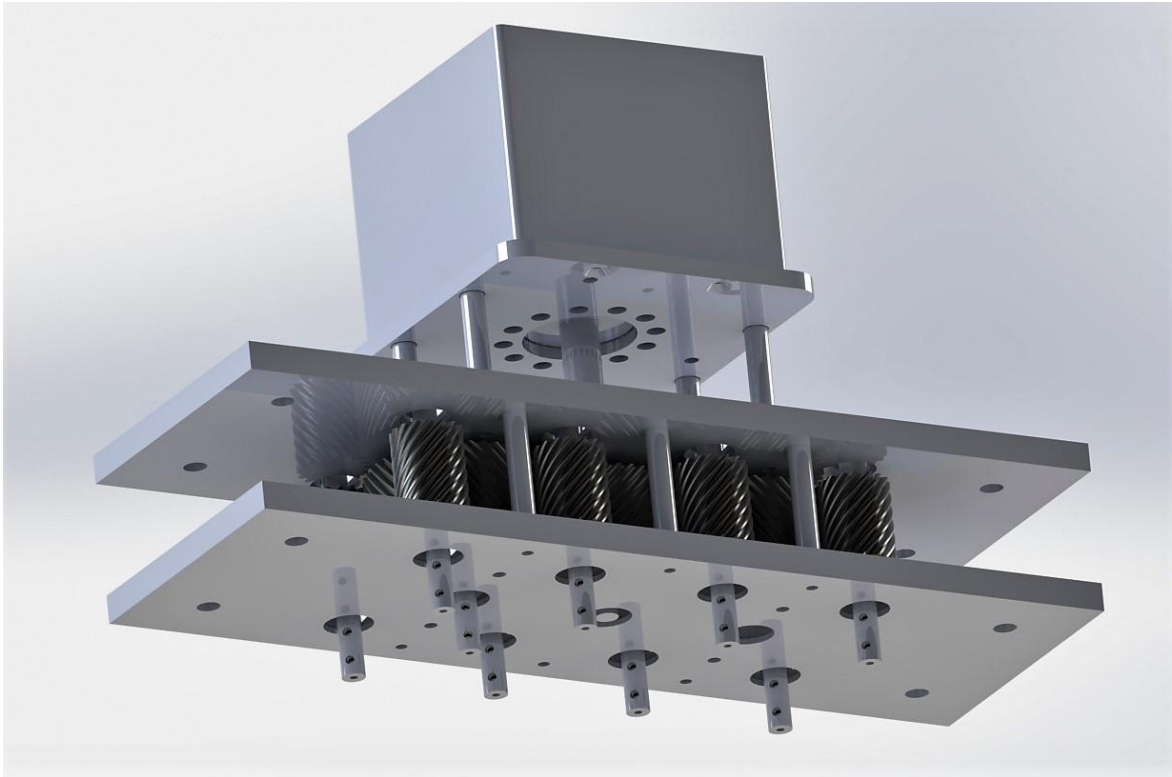
## 5. METODOLOGIA

A elaboração e construção do projeto deve ser desenvolvida considerando os recursos existentes na empresa, materiais, maquinário, parceiros de serviços, espaço físico e inclusive as peças do equipamento que será substituído, buscando componentes simples e comerciais.

### 5.1 Software 3d

O desenvolvimento do projeto será feito por meio de *software* de desenho disponível no laboratório da empresa, no caso o *SolidWorks®*. Por meio deste será possível desenhar os componentes, realizar a montagem do equipamento, como na figura 12, e até simular a movimentação.

Figura 12: Ilustração do SolidWorks®



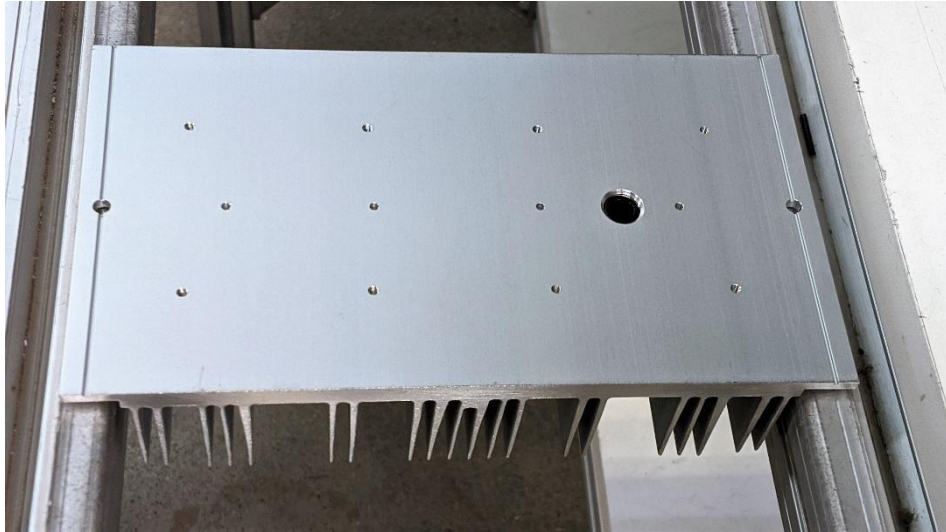
Fonte: Do autor

## 5.2 Furação em alumínio

A construção de um equipamento de usinagem eficiente deve considerar os parâmetros corretos de usinagem do material, mantendo o rendimento na produção e maximizando o aproveitamento da vida útil da ferramenta, no caso as brocas. Desta forma, o estudo dos conceitos de usinagem é essencial para dimensionamento dos componentes do equipamento, mantendo a qualidade dos furos executados nos perfis das luminárias, como pode ser observado na figura 13.



Figura 13: Perfil de Alumínio finalizado

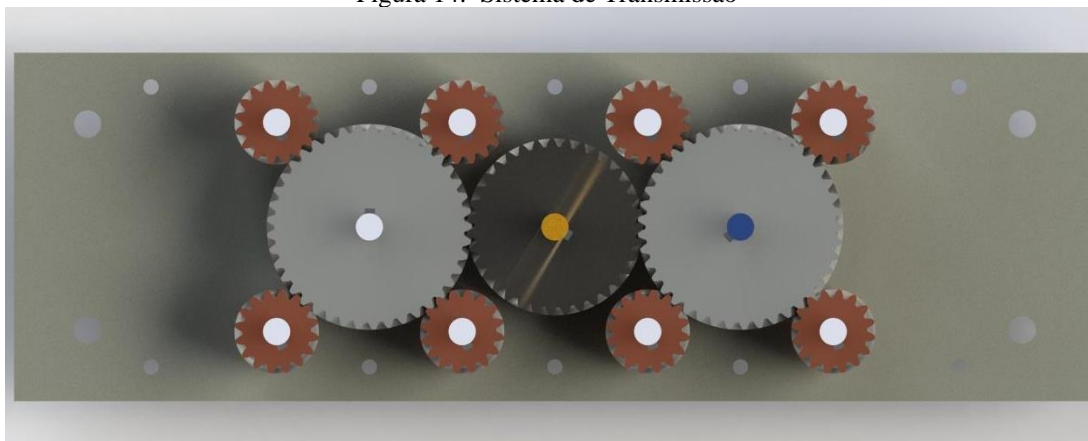


Fonte: Do autor

### 5.3 Motor e sistema de transmissão

A partir dos parâmetros ideais de usinagem, principalmente potência e torque demandados, velocidade de corte e avanço, será possível determinar os requisitos de performance mínimos de um motor elétrico para construção do equipamento. O sistema de transmissão será desenvolvido a partir dos pontos de fixação da lente, tendo em consideração que, para cada um destes tem-se uma broca e serão acionadas por apenas um motor, como destacado na figura 14 pela engrenagem mais escura.

Figura 14: Sistema de Transmissão



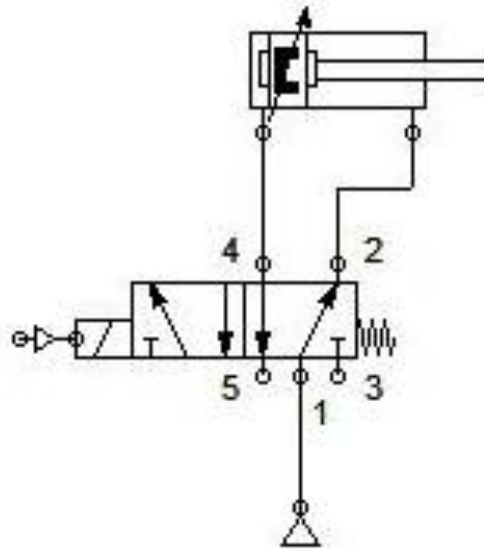
Fonte: Do Autor

### 5.4 Sistema de avanço pneumático

O avanço, no processo de usinagem por furação, é fundamental para a eficiência do processo, e assim como no equipamento atual, será realizado por um cilindro de dupla ação

para a movimentação vertical, sendo possível ajuste de força aplicada conforme pressão de trabalho da linha pneumática, conforme figura 15.

Figura 15: Esquema do Avanço Pneumático

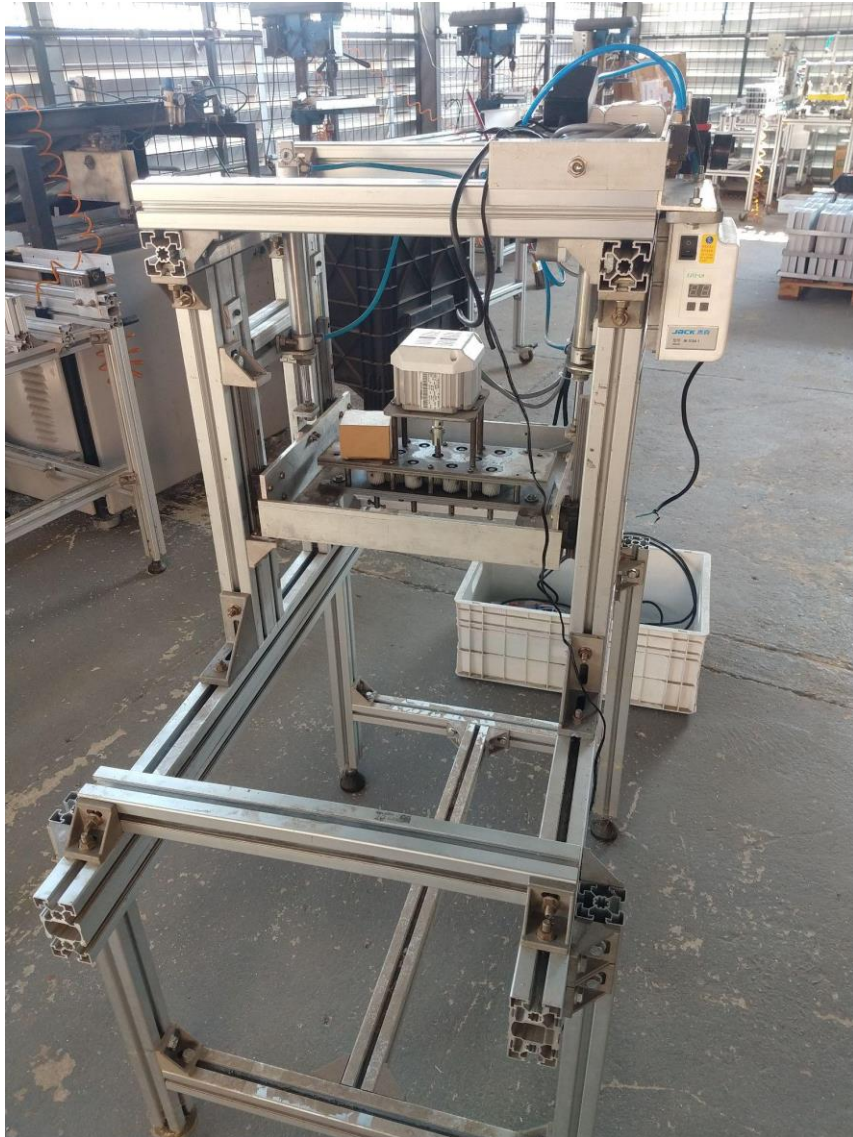


Fonte: Do Autor

### 5.5 Estrutura e montagem

A estruturação e ergonomia do equipamento como um todo não sofrerão muitas alterações com relação ao equipamento anterior, conforme figura 16. A estrutura em perfis de alumínio, as guias lineares e seus carros devem ser aproveitados o máximo possível, reduzindo os custos tanto para a aquisição de novos componentes quanto no descarte da máquina anterior.

Figura 16: Estrutura de Alumínio



Fonte: Do Autor

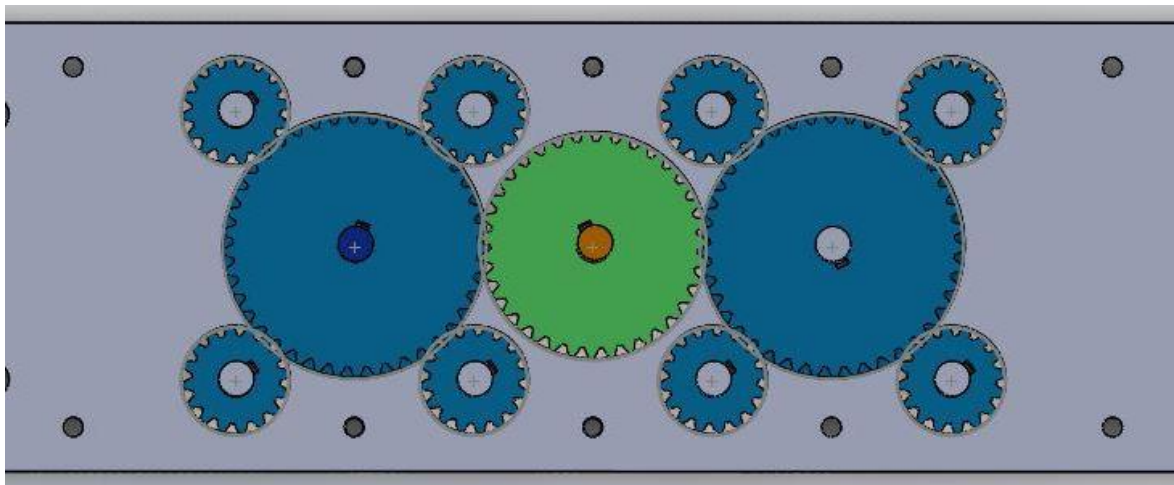
## 6. ASPECTOS CONSTRUTIVOS

Nesta seção serão expostos os detalhes dos principais componentes do equipamento, sendo eles as engrenagens, eixos, rolamentos, os materiais utilizados e o motor. Além dessas características será confrontado a velocidade ideal de corte e a velocidade de corte praticada.

### 6.1. Trem de engrenagens

As engrenagens foram desenvolvidas a partir das distâncias de centro dos furos da lente, desta forma foi definida a engrenagem motora no centro do trem de engrenagens, com duas engrenagens movidas que por sua vez transmitem o movimento a outras quatro engrenagens cada uma, de forma a alcançar o objetivo de mover as oito brocas no mesmo sentido e rotação com apenas um motor, como ilustrado na figura 17.

Figura 17: Configuração do Trem de Engrenagens.



Fonte: Do autor.

Em parceria com a empresa que executou a fabricação das engrenagens, DHS Engrenagens, a fim de amenizar o ruído, diminuir o custo e facilitar a usinagem, foi selecionada a combinação de engrenagens helicoidais de nylon, definido o passo e o módulo, visto que o material e o modelo helicoidal geram menos ruído do que concepções comumente utilizados de dentes retos em materiais metálicos neste tipo de equipamento, como o latão e o aço.

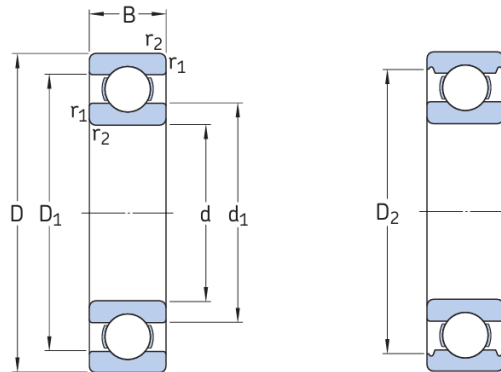
Diante da limitação dos raios das engrenagens e a disposição do arranjo temos dois estágios de transmissão: o primeiro com a polia do motor e as movidas, e o segundo das movidas para as polias das brocas. A relação de transmissão do trem é produto desta configuração, sendo no primeiro estágio uma relação de 1: 1,13, ou seja uma redução, e a do segundo estágio de 0,39, aumentando a rotação das brocas. A relação total do trem é de 0,44.

## 6.2. Eixos e rolamentos

Para a construção do equipamento um dos critérios foi a aquisição de materiais comerciais, isto é, de fácil aquisição, acesso, e informação. Desta forma, contando com parte do material já disponível no estoque da empresa, foi selecionado um rolamento rígido de esferas, modelo SKF 619/8, já presente no equipamento em uso na linha de produção. Suas características estão expostas na figura 18, com as informações retiradas do catálogo de produtos SKF.

Figura 18: Rolamento de esferas SKF 619/8.

### 1.1 Rolamentos rígidos de uma carreira de esferas d de 3 a 10 mm



Dimensões principais			Classificações básicas de carga		Limite de carga de fadiga $P_u$	Classificações de velocidade		Massa	Designação
d	D	B	dinâmica C	estática $C_0$		Velocidade de referência	Velocidade-limite		
mm			kN		kN	r/min		kg	–
<b>8</b>	19	6	1,46	0,465	0,02	85 000	53 000	0,0071	<b>619/8</b>

Fonte: Catálogo SKF.

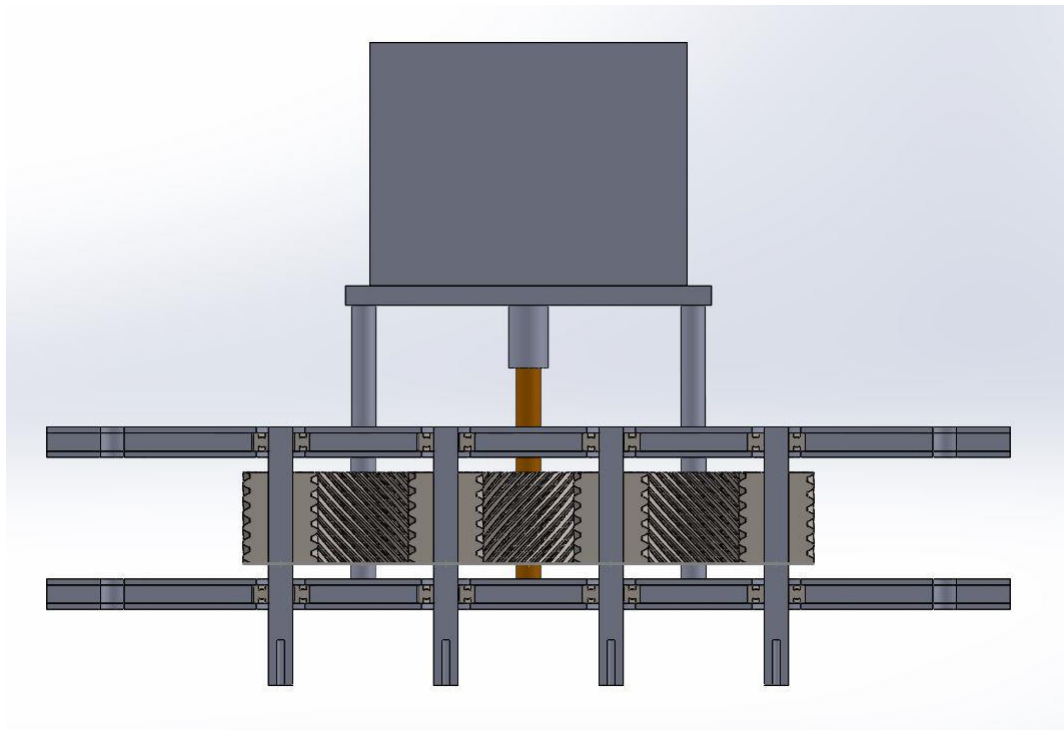
Após a definição do rolamento, a sequência do desenvolvimento do projeto foi o alojamento destes. Para tal, utilizou-se de quatro chapas de aço inox 304, por ser um material resistente a oxidação, cortadas a laser e montadas da seguinte forma: duas chapas externas, aqui denominadas Chapas A, com espessura de 2 mm, e duas chapas internas, denominadas Chapas B, com espessura de 3 mm, vide figura 19. Vale ressaltar que as duas chapas internas de 3 mm poderiam ter sido substituídas por uma única chapa de 6 mm (espessura dos rolamentos), porém a decisão de utilizar duas chapas com a metade desta espessura foi uma consideração comercial e financeira do projeto, já que as chapas menos espessas são consideravelmente mais acessíveis,



tanto em relação ao seu custo quanto sua oferta no mercado, do que as de 6 mm. Deve-se atentar para o fato de que a resistência à flexão nesta montagem é reduzida, ao passo que a espessura da chapa é reduzida pela metade e entende-se a espessura como a altura na equação do momento de inércia de uma peça com perfil retangular.

A função das chapas internas é garantir a concentricidade dos rolamentos com o eixo de furação, assim, foi utilizado um ajuste com folga mínima. Já as chapas externas, também apresentam cortes concêntricos, porém de menor diâmetro, a fim de garantir folga mínima dos rolamentos no sentido axial.

Figura 19: Vista em corte do alojamento dos rolamentos formado pelo conjuntos de chapas.



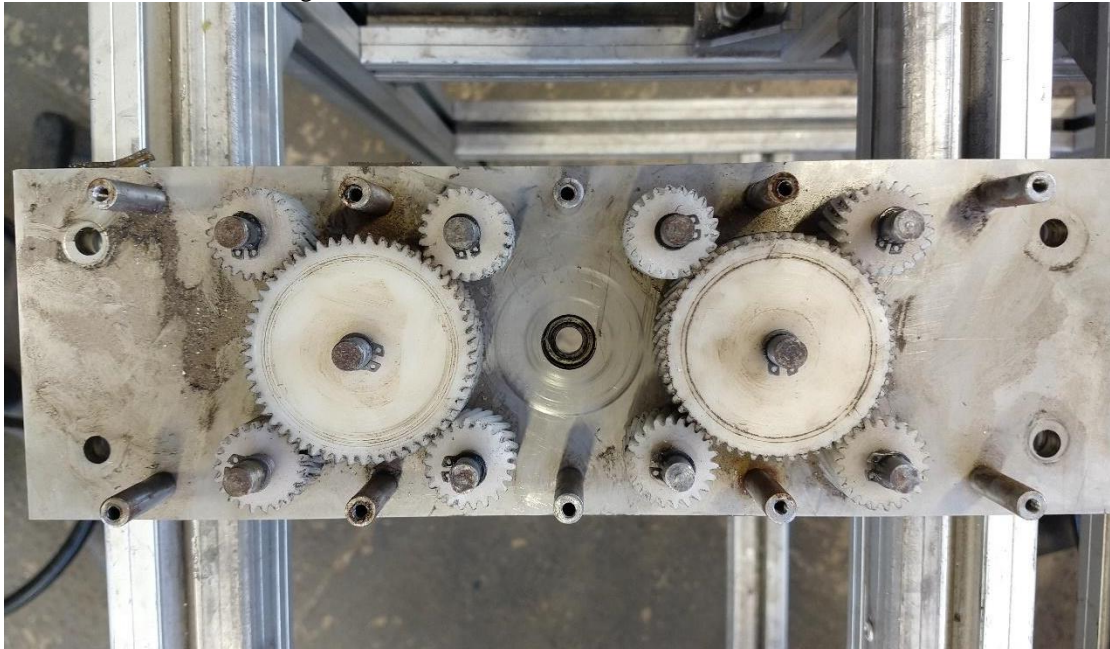
Fonte: Do autor.

Com as engrenagens, rolamentos e alojamentos definidos, as variantes ainda não solucionadas para os eixos seriam os comprimentos e posições para fixação, tanto do próprio eixo quanto das engrenagens e brocas. Visto que os diâmetros utilizados nos eixos foram definidos a partir dos diâmetros internos dos rolamentos, e o material, aço 1020, foi selecionado por ser de fácil acesso e bom custo benefício, já que o conjunto não será submetido a grandes esforços.

Para solucionar a posição de fixação do eixos e os comprimentos, foram posicionados anéis elásticos inferiores e superiores em cada rolamento, como pode ser observado na figura

20, e pinos elásticos atravessados nas engrenagens. E para fixação das brocas foram realizados furos concêntricos para recepção destas, com parafusos M3x0,5 no sentido radial.

Figura 20: Eixos com anéis elásticos inferiores aos rolamentos.



Fonte: Do autor.

### 6.3. Motor

Como a relação de transmissão foi obtida de forma indireta no projeto, fez-se necessário um motor com possibilidade de trabalho em diferentes rotações para adequação à melhor velocidade de corte das brocas no dissipador de alumínio. Contando com a disponibilidade em estoque de um motor que atende estas características, foi utilizado um kit com o controlador e o motor eletrônico de indução da fabricante de máquinas de costura JACK, modelo JK513A1 - 550W, conforme figura 21.

O *range* de rotação deste motor varia de 200 a 4.700RPM, podendo ser configurado a velocidade, sentido de rotação, desaceleração e até mesmo freio no controlador.

Figura 21: Kit controlador e motor JACK, modelo JK513A1.



Fonte: Welttec.

#### 6.4 Velocidades de corte

A partir da equação da velocidade de corte para furação, é possível calcular a rotação ideal no motor, para que com o conjunto, seja possível alcançar tal número considerando brocas de aço rápido furando alumínio numa operação de desbaste.

Foram reunidos na tabela 1 os dados referentes aos valores ideais de velocidade de corte para alumínio de 60 a 90 m/min para operações de desbaste e acabamento, respectivamente, utilizando-se brocas de aço rápido e o valor praticado de 43 m/min. Observa-se que a velocidade de corte ideal poderia ser alcançada com a variação da velocidade do motor. Porém, em testes que buscavam avaliar o tempo para a furação do dissipador de 8 mm, e a formação de cavacos, os melhores resultados se deram quando do uso de velocidade menor no motor (2.400 rpm).

Tabela 1: Comparação entre parâmetros de usinagem.

Parâmetro	Ideal	Praticado
Velocidade de Corte (m/min)	60	43
RPM Motor (rpm)	3.114	2.400
RPM Brocas (rpm)	7.077	5.454
Relação Transmissão	0,44	
Diâmetro da Broca (mm)	2,7	

Fonte: Do autor.



## **7. DESEMPENHO**

O desempenho do equipamento foi avaliado em grande parte através do comparativo da experiência sensorial, em relação ao equipamento antigo e novo, dos funcionários que conheciam e/ou operavam a máquina antiga e operam a máquina nova.

### **7.1 Tempo e ruído**

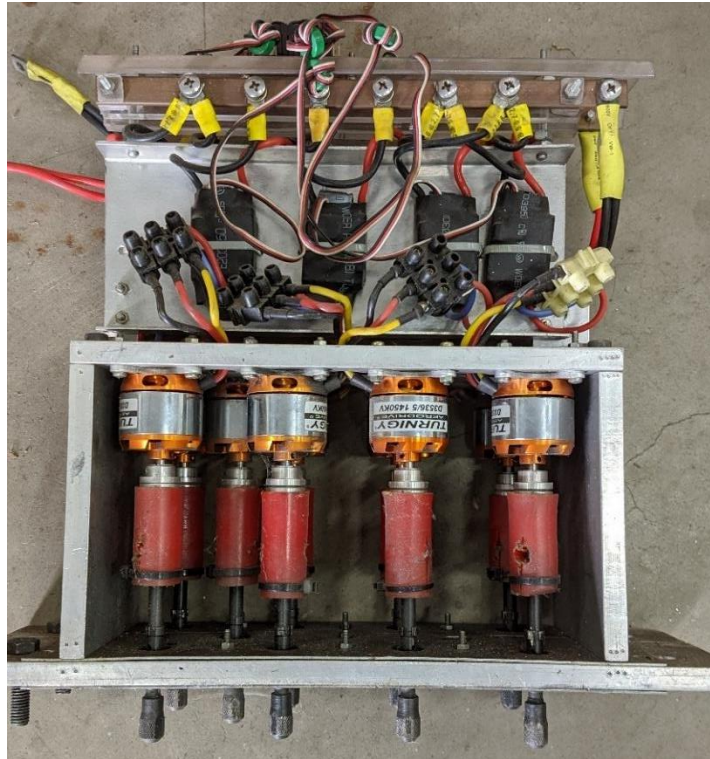
Visto que a máquina substituída furava um perfil diferente da máquina projetada não foi considerado ideal e/ou relevante averiguar a variação do tempo de furação entre ambas. Já para realização de manutenções no equipamento, o tempo foi reduzido devido a nova arquitetura da máquina.

Quanto à variação do ruído entre a máquina anterior e a nova, quando questionados, os funcionários que trabalhavam operando ambas as máquinas, as respostas foram de que houve melhora no nível de emissão de ruído. Resultado esperado, visto que, houve a substituição de um conjunto com nove motores girando em alta velocidade, pelo do projeto que possui apenas um motor com velocidade mais baixa.

### **7.2 Montagem**

Como a montagem foi simplificada, o objetivo de tornar a manutenção do equipamento menos complexa foi alcançado, já que o kit com motor único elimina a eletrônica necessária para controlar cada um dos nove motores anteriores, tornando livre o acesso às brocas e reduzindo as interrupções por parada de motores.

Figura 22: Arquitetura do equipamento antigo.



Fonte: Do autor.

## 8. PROPOSTAS DE MELHORIA

O equipamento pode ser revisado em alguns pontos que atrapalham o seu desempenho.

### 8.1 Acoplamento

O acoplamento do motor com o eixo de entrada de engrenagens é do tipo cruzeta, formada por dois parafusos M3x0,5 de aço inox que transpassam os eixos. Ao longo dos ciclos de furação, a vibração e as acelerações que são submetidas causam falha por fadiga nos parafusos.

Para resolver este problema, faz-se necessário a adoção de um acoplamento que não sofra com as acelerações e que compense a descentralização dos eixos.

### 8.2 Fixação das Brocas

O sistema de fixação das brocas deve ser revisado já que a parede para rosquear o parafuso é estreita (2,6mm) após algumas trocas de broca, algumas roscas se espanaram impossibilitando a correta fixação.

O ideal seria um sistema do tipo pinça semelhante aos utilizados em micro retíficas conforme figura 23.

Figura 23: Sistema de travamento de brocas tipo pinça – Marca Meriglare.



Fonte: Anúncio de internet – Fonte desconhecida.

### 8.3 Ergonomia

A fim de melhorar a condição do operador da máquina, é necessário corrigir a altura do equipamento em relação ao assento do operador, uma vez que foram aproveitadas as estruturas de apoio da máquina anterior, ficando nesta nova condição uma altura fixa não ideal aos operadores que devem projetar o tórax para frente e para baixo a cada peça produzida.

A ergonomia pode ser melhorada caso seja possível ajustar o posto de trabalho conforme porte físico e estatura do operador.

## **9. CONCLUSÕES**

A aplicação da engenharia na proposição da solução em estudo foi determinante para contornar as limitações como a seleção de materiais, orçamento e o posicionamento dos furos das lentes das luminárias. Sendo assim, ao final da construção do equipamento e passagem pelo período de avaliação dos resultados, foi possível concluir e verificar a eficácia do projeto, com aprovação tanto da diretoria envolvida quanto dos operadores da linha de produção.

Cada um dos objetivos específicos definidos no escopo do projeto foram atendidos. O posicionamento das brocas foi respeitado, e a estrutura e pneumática existentes foram mantidas, apesar de ao final da avaliação do equipamento ter sido observado a necessidade de ajustes para fins ergonômicos nesta.

A frequência de manutenção relativa a motores e parte elétrica foi reduzida de forma expressiva, com a eliminação do sistema eletrônico de comando dos diversos motores, também subtraídos no projeto. Somando-se às vantagens, o ambiente de trabalho se tornou menos ruidoso com a adoção do motor de indução e engrenagens helicoidais de material não metálico.

Apesar do desempenho ser considerado positivo em relação ao escopo, o projeto pode ser modificado a fim de atender as propostas de melhoria tratadas no corpo do trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DINIZ, A. E. MARCONDES, F. C. COPPINI, N. L. **Tecnologia de Usinagem dos Materiais**. São Paulo: MM Editora, 1998.

NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas**. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

LEDIL. **Modelo de Lente aplicável ao projeto - CS12862\_STRADA-IP-2X6-DWC**  
Disponível em: <[https://www.LEDiL.com/data/prod/Strada/12862/e01f3b-CS12862\\_STRADA-IP-2X6-DWC\\_Datasheet.pdf](https://www.LEDiL.com/data/prod/Strada/12862/e01f3b-CS12862_STRADA-IP-2X6-DWC_Datasheet.pdf)> Acesso em: Julho 2021

FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Blucher, 1970.

FURAÇÃO – **Processos de usinagem: Furação** – Disponível em:  
<<https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knownLEDge/drilling/pages/drilling-wear-and-troubleshooting.aspx>> Acesso em: Julho 2021

Juvinall, Robert C. **Fundamentos do projeto de componentes de máquinas I** Robert C. Juvinall, Kart M. Marshek ; tradução e revisão técnica Fernando Ribeiro da Silva.- [Reimpr.]. -Rio de Janeiro : LTC, 2013.

SILVEIRA, José Luís. **Notas de Aula de Usinagem**: Departamento de Engenharia Mecânica UFRJ. Rio de Janeiro: [s. n.], 20--?. 74 p. Disponível em: <<chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fwww.mecanica.ufrj.br%2Futil%2Fb2evolution%2Fmedia%2Fblogs%2Fjoseluis%2Fusinagem.pdf&clen=2344572&chunk=true>>. Acesso em: 23 nov. 2021.

BUDYNAS, Richard G., NISBETT, J. Keith . **Elementos de Máquinas de Shigley**. AMGH Editora, 2011.

STIPKOVIC FILHO, Marco. **Engrenagens: geometria, dimensionamento, controle, geração, ensaios**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1987.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada** / Robert L. Norton ; tradução: Konstantinos Dimitriou Stavropoulos, et al. – 4. ed.– Porto Alegre : Bookman, 2013.

PARKER. **Tecnologia Pneumática Industrial – Apostila M1001 BR**. Jacareí: Parker Training, 2000.

SIMÕES, Roberto Mac Intyer. **Sistemas hidráulicos e pneumáticos** – Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A, 2016.

WELTTEC. **MOTOR ELETRÔNICO COM POSICIONADOR DE AGULHA: JK - 513/563**. [S. l.]. Disponível em: [https://www.welttec.com.br/produto.php?cd\\_produto=364](https://www.welttec.com.br/produto.php?cd_produto=364). Acesso em: 3 nov. 2021.