

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ARTHUR WEBBER BALZANI**

**PROJETO DE FRESADORA CNC PARA PROTOTIPAÇÃO DE PLACAS DE  
CIRCUITO**

**SÃO LEOPOLDO  
2019**

Arthur Webber Balzani

**PROJETO DE FRESADORA CNC PARA PROTOTIPAÇÃO DE PLACAS DE  
CIRCUITO:**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial para  
obtenção do título de Graduado em  
Engenharia Elétrica, pelo Curso de  
Engenharia Elétrica da Universidade do  
Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Ms. Eduardo Augusto Martins

São Leopoldo

2019

## **AGRADECIMENTOS**

A todos os funcionários da instituição de ensino Unisinos por todo apoio e por proporcionaram um ambiente propício para o desenvolvimento do meu trabalho de conclusão de curso.

A todos os professores, por todo os conselhos e ajuda durante os meus estudos e elaboração do meu TCC.

Ao meu orientador Eduardo Martins por todo apoio e paciência ao longo da elaboração do meu projeto final.

Meus agradecimentos aos amigos, companheiros de trabalhos e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

Agradeço a minha mãe Lurdes, que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço.

Agradeço à minha namorada por estar ao meu lado em todos os momentos.

Por último, mas não menos importante a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização da minha pesquisa.

## RESUMO

Neste trabalho é apresentado o projeto e o desenvolvimento de uma fresadora CNC para prototipação de placa de circuito.

A estrutura principal da mecânica é composta por perfis de alumínio estrutural e chapas de MDF, pois esse tipo de material é de fácil manipulação, garantindo assim uma estrutura leve, facilitando o transporte e resistente o suficiente para suportar os esforços submetidos durante o processo de usinagem dos protótipos.

A movimentação dos três eixos da máquina é dada através de fusos trapezoidais, onde neles são conectados diretamente motores de passos responsáveis pela movimentação. A ferramenta de corte é feita através do acionamento de uma tupia.

As ações da máquina são todas controladas e supervisionadas por um microcontrolador que, através de uma interface de cartão de memória, interpreta os dados de comando em código G. O painel é responsável por receber os comandos manuais de movimentação dos eixos, início e parada de processo de usinagem.

**Palavras-chave:** Usinagem. Fresadora CNC. Placas de circuito impresso.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de PCI .....	14
Figura 2: Máquina CNC.....	17
Figura 3: Motor de Passo .....	21
Figura 4: Motor de passo com relutância variável .....	23
Figura 5: Motor de passo com ímã permanente .....	24
Figura 6: Motor de Passo Híbrido.....	24
Figura 7: Componentes do Servo Motor .....	25
Figura 8: Vista Interna do Servo Motor.....	26
Figura 9: Mecânica proposta pelos autores .....	29
Figura 10: Diagrama de blocos proposto pelos autores .....	30
Figura 11: Estrutura desenvolvida pelos autores .....	31
Figura 12: Projeto mecânico proposto pelos autores .....	32
Figura 13: Desenho 3D proposto pelos autores .....	33
Figura 14: Projeto mecânico pela vista em perspectiva .....	35
Figura 15: Projeto mecânico pela vista frontal.....	36
Figura 16: Perfil de alumínio estrutural.....	37
Figura 17: Chapas de MDF .....	37
Figura 18: Guia linear para movimentação.....	38
Figura 19: Fuso trapezoidal.....	38
Figura 20: Diagrama de blocos do sistema .....	39
Figura 21: Plataforma de desenvolvimento .....	40
Figura 22: Motor de passo utilizado .....	42
Figura 23: Circuito do circuito integrado A4988.....	43
Figura 24: Placa do circuito de controle .....	44
Figura 25: Caixa plástica utilizada.....	45
Figura 26: Circuito das chaves de controle .....	46
Figura 27: Chave modelo PBS-12B 2T .....	46
Figura 28: Projeto mecânico pela vista em perspectiva .....	47
Figura 29: Projeto mecânico pela vista frontal.....	48
Figura 30: Motor utilizado para fresamento .....	49
Figura 31: Fonte principal do circuito .....	50
Figura 32: Fluxograma do <i>Firmware</i> .....	51

Figura 33: Diagrama da leitura do cartão SD .....	52
Figura 34: Exemplo de comando em código G .....	53
Figura 35: Estrutura mecânica desenvolvida.....	56
Figura 36: Estrutura mecânica desenvolvida.....	57
Figura 37: Leiaute desenvolvido no Circuit Maker®.....	58
Figura 38: Projeto de Usinagem no FlatCAM®.....	58
Figura 39: Fresa utilizada para usinagem das placas .....	59
Figura 40: Resultado da usinagem realizada .....	60
Figura 41: Chapa de MDF de sacrifício.....	61
Figura 42: Painel de controle.....	62
Figura 43: Painel de controle.....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Referência de pinos especiais utilizados.....	40
Tabela 2: Referência de pinos de uso geral utilizados .....	41
Tabela 3: Sinais do painel de controle .....	45
Tabela 4: Comandos mais comuns do código G.....	54

## LISTA DE SIGLAS

3D	Três dimensões
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i> (Sistema Americano para a Classificação dos Aços)
APT	<i>Automatically Programmed Tools</i> (Ferramentas Programadas Automaticamente)
ARM	<i>Advanced RISC Machine</i> (Máquinas Avançadas RISC)
CAD	<i>Computer Aided Design</i> (Desenho Auxiliado por computador)
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i> (Manufatura Auxiliada por computador)
CC	Corrente Contínua
CD	<i>Compact Disc</i> (Disco Compacto)
CNC	Controle Numérico Computadorizado
DSP	<i>Digital Signal Processing</i> (Processamento Digital de Sinais)
EIA	<i>Electronics Industry Association</i> (Associação das Indústrias Eletrônicas)
IDE	<i>Integrated Development Environment</i> (Ambiente integrado de Desenvolvimento)
ISO	<i>International Standards Organization</i> (Organização Internacional para Padronização)
LASER	<i>Light Amplification Stimulated Emission of Radiation</i> (Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação)
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> (Tela de Cristal Líquido)
LED	<i>Light Emitting Diode</i> (Diodo Emissor de Luz)
LPT	<i>Line Print Terminal</i> (Terminal de Impressão em Linha)
MCU	<i>Microcontroller Unit</i> (Unidade de Microcontrolador)
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i> (Placa de Fibra de Média Densidade)
PCI	Placa De Circuito Impresso
PDA	<i>Personal Digital Assistants</i> (Assistente Pessoal Digital)
PIC	<i>Programmable Interface Controller</i> (Controlador de Interface Programável)
QFP	<i>Quad Flat Package</i> (Encapsulamento Quadrado)
RISC	<i>Reduced Instruction Set Computer</i> (Computador com um Conjunto Reduzido de Instruções)
SD	<i>Secure Digital</i> (Armazenamento Digital)
SOIC	<i>Small Outline Integrated Circuit</i> (Circuito Integrado de Perfil Pequeno)
SOT	<i>Small-outline transistor</i> (Transistor de Perfil Pequeno)



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1 Definição do Tema ou Problema .....	11
1.2 Objetivos .....	12
1.3 Justificativa.....	12
1.4 Organização do Trabalho .....	13
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1 Considerações Gerais Sobre PCIs</b> .....	<b>14</b>
2.1.1 PCI de Face Simples.....	15
2.1.2 PCI de Dupla-Face .....	16
2.1.3 PCI <i>Multi-Layer</i> .....	16
<b>2.2 Máquinas Tipo CNC</b> .....	<b>16</b>
2.2.1 Estrutura de <i>Hardware</i> .....	17
2.2.2 Estrutura de <i>Software</i> .....	18
<b>2.3 Linguagem de CNC</b> .....	<b>19</b>
2.3.1 Linguagem de programação Automática (APT) .....	19
2.3.2 Linguagem EIA/ISO.....	20
2.3.3 Linguagem Interativa .....	20
2.3.4 Programação Gráfica Através de CAM .....	20
<b>2.4 Tipos de Motores</b> .....	<b>20</b>
2.4.1 Motor de Passo .....	21
2.4.2 Motor de Passo de Relutância Variável.....	22
2.4.3 Motor de Passo de Imã Permanente .....	23
2.4.4 Motor de Passo Híbrido .....	24
2.4.5 Servo Motor .....	25
<b>2.5 Plataformas de Desenvolvimento</b> .....	<b>26</b>
2.5.1 Microcontroladores PIC .....	26
2.5.2 Microcontroladores ARM .....	27
<b>3 TRABALHOS CORRELATOS</b> .....	<b>29</b>
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>35</b>
<b>4.1 Mecânica</b> .....	<b>35</b>
4.1.1 Estrutura.....	36
4.1.2 Movimentação .....	37

<b>4.2 Estrutura de <i>Hardware</i></b> .....	<b>39</b>
4.2.1 Microcontrolador.....	39
4.2.2 Movimentação dos eixos.....	41
4.2.3 <i>Drivers</i> de acionamento.....	42
4.2.4 Painel de controle.....	44
4.2.5 Tupia da Fresadora.....	48
4.2.6 Fontes de Energia dos Circuitos.....	49
<b>4.3 Estrutura de <i>Firmware</i></b> .....	<b>50</b>
4.3.1 Movimentação dos Eixos.....	52
4.3.2 Leitura dos dados do Cartão SD.....	52
4.3.3 Interpretação do código G.....	53
4.3.4 Leitura das Entradas Digitais.....	54
<b>5 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>56</b>
<b>5.1 Estrutura Mecânica</b> .....	<b>56</b>
<b>5.2 Protótipo Placa de Circuito Impresso</b> .....	<b>57</b>
<b>5.3 Nivelamento do Eixo Z</b> .....	<b>60</b>
<b>5.4 Velocidade de Avanço</b> .....	<b>61</b>
<b>5.5 Painel de Controle</b> .....	<b>62</b>
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>63</b>
<b>6.1 Considerações finais</b> .....	<b>63</b>
<b>6.1 Problemas encontrados</b> .....	<b>64</b>
<b>6.1 Oportunidades de melhoria</b> .....	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Placas de circuito impresso, ou somente PCIs, estão presentes no dia a dia e geralmente fazem parte de tudo que envolve tecnologia como televisores, sistemas de segurança, brinquedos, carros, computadores e *smartphones*. Esses são apenas alguns exemplos de objetos que utilizam este tipo de tecnologia, que por sua vez, estarão repletas de componentes eletrônicos que desempenharão as mais diversas funcionalidades.

Essas placas são utilizadas como berço para componentes eletrônicos há algumas décadas e mesmo, na maioria das vezes, não estando visíveis, as PCIs trouxeram inúmeras vantagens ao longo do tempo para o contexto da eletrônica como maior resistência no suporte dos componentes, diminuição do peso e volume, facilidade e organização da montagem, etc.

Um circuito impresso é basicamente uma placa formada por camadas de materiais rígidos e isolantes como fenolite, fibra de vidro, fibra e filme de poliéster, entre outros polímeros, que conta com películas de substâncias metálicas como cobre, prata, ouro ou níquel. Essas películas formam as trilhas que serão responsáveis pela condução da corrente elétrica pelos componentes eletrônicos. Esses impulsos elétricos são transmitidos para os componentes, viabilizando o funcionamento de cada peça e, conseqüentemente, do sistema completo formado pela PCI.

A descrição a seguir apresenta o estudo de uma metodologia para a confecção dessas PCIs em ambiente acadêmico.

### 1.1 Definição do Tema ou Problema

Atualmente a fabricação e prototipagem de placas de circuito impresso comumente utilizada é o processo químico. Fábricas especializadas têm seu processo automatizado garantindo uma precisão incontestável.

No ambiente acadêmico ou por hobby, esse processo de confecção se torna manual, necessitando de inúmeros materiais e equipamentos como impressora *LASER*, carbono, papel especial, prensa térmica e material químico de corrosão. Para circuitos simples o método manual e químico de confecção, na maioria das vezes, atende satisfatoriamente.

Quando é necessária uma maior precisão, deve-se recorrer a algum fabricante especializado nesse processo, onde esses normalmente têm um preço elevado, por conta de seu processo produtivo controlado, quando é acessível financeiramente o tempo de entrega do protótipo pode ser longo.

Se a finalidade da placa de circuito for para um entusiasta em eletrônica, utilizar o serviço de uma fábrica para conceber um produto com qualidade, preço acessível e o prazo de recebimento um pouco longo não é problema. Quando entramos do mundo acadêmico o cenário não é o mesmo, pois cada vez mais a tendência é que as atividades tenham circuitos elaborados e complexos, aumentando o uso de circuitos integrados com tecnologia de montagem em superfície.

Trabalhos de conclusão de curso não estão fora dessa situação e se inclinam a uma taxa mais rápida e utilizarão componentes de montagem em superfície cada vez menores. Esperar de três a seis meses para ter uma PCI pronta e em mãos, para um projeto proposto que tem um prazo de entrega estipulado, esse método não se torna mais viável, onde então se deve recorrer a outras estratégias.

## **1.2 Objetivos**

O objetivo desse trabalho é estudar, desenvolver, aplicar e observar os resultados de um projeto de uma fresadora por Controle Numérico Computadorizado popularmente conhecido por CNC, do inglês *Computer Numeric Control*, que permite a prototipagem, de forma simples, de placas de circuito impresso para o ambiente acadêmico.

Durante o desenvolvimento de todo o trabalho devem ser alcançados os seguintes objetivos específicos:

- a) Estudar métodos para a solução do problema proposto;
- b) Determinar o melhor método para desenvolver a proposta de projeto;
- c) Montar o projeto para obter a solução mais adequada;
- d) Validar com teste e medidas o projeto desenvolvido;

## **1.3 Justificativa**

Para a elaboração de placas de circuito impresso que demandem uma exatidão maior ou com alguma repetitividade, o método de confecção manual não contempla

suficientemente, pois na corrosão do material metálico sobreposto sobre a placa é certamente onde podem ocorrer a maioria das grandes falhas e inconvenientes, pois a técnica demanda um longo tempo de aplicação, é perigosa e quase sempre a espessura original projetada para a trilha é alterada.

A partir do problema e dificuldades encontradas no ambiente acadêmico, pretende-se desenvolver um sistema que aumentará a qualidade e garantia de confecção de protótipos de circuitos impressos.

O sistema é basicamente constituído por uma máquina automática com base na definição de comando numérico computadorizado, ou também CNC, que por meio de uma ferramenta de corte realiza o desenho das trilhas do circuito. A aplicação de CNC para a manufatura de placas de circuito é uma forma de automatizar a problemática de prototipagem, que visa garantir vantagens de precisão, repetitividade e tornar o processo mais limpo e fácil.

O texto apresenta a metodologia de desenvolvimento e implementação de uma fresadora automatizada, esta tem uma estrutura mecânica com 3 eixos de movimentação (X, Y e Z), onde motores atuam na movimentação desses eixos independentemente entre si. Esses motores, por sua vez, são controlados por um circuito e um microcontrolador, que via interface de cartão de memória recebe as informações dos dados das orientações em linguagem de programação de CNCs.

#### **1.4 Organização do Trabalho**

Este trabalho está organizado de forma a apresentar o estudo desenvolvimento e aplicação...

No capítulo 1 é realizada a introdução do texto. O capítulo 2 apresenta uma pesquisa bibliográfica e um referencial teórico do trabalho. Uma abordagem dos trabalhos correlatos é realizada no capítulo 3. Os métodos utilizados para a realização do trabalho são descritos do capítulo 4. O capítulo 5 é analisado e discutidos os resultados obtidos. No capítulo 6 é apresentado as considerações finais e pontos de melhoria. O cronograma de todo o projeto exibido no capítulo 7. A referências utilizadas para a realização desse documento é mostrado ao final do documento.

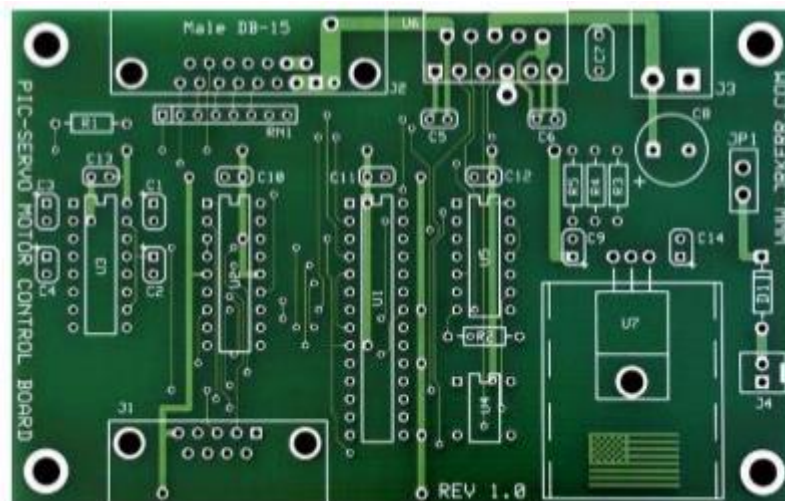
## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para a montagem do projeto final, são utilizadas diferentes tecnologias e conhecimentos distintos, como os apresentados nas seções a seguir.

### 2.1 Considerações Gerais Sobre PCIs

As Placas de Circuito Impresso (PCIs) têm utilização para interconectar os componentes eletrônicos. Na atualidade, é consistente uma técnica básica de criar circuitos, sem previsão de substituição em um futuro próximo. (SCHMIDT, 2000). A Figura 1 apresenta um exemplo dessa tecnologia.

Figura 1: Exemplo de PCI



Fonte: Schmidt (2000)

A indústria vem fazendo investimentos de forma pesada no objetivo do aumento da precisão e diminuição de custos, todavia procurando o aumento da qualidade. Mas, mesmo fazendo a utilização de um processo usado já a bastante tempo, não houveram muitas alterações nos blocos essenciais do processo de produção. Isto é, tem ocorrência uma ampliação e aperfeiçoamento da técnica, sem existir esforços direcionado aos processos que a substituíssem. (COOMBS, 2008).

De maneira inicial, as PCIs tiveram desenvolvimento para utilização em equipamentos militares, para adaptação de métodos de interconexão de produção em massa, agrupando esquemáticos para a economia em espaço e peso dos equipamentos. (SCHMIDT, 2000).

A reprodução dos parâmetros elétricos perante as PCIs logo teve reconhecimento como um atributo de grande importância e valor. Sua utilização acabou possibilitando diminuir tamanhos e larguras das interconexões fundamentais para a ligação dos componentes e de erros que provém de possíveis falhas destas interconexões, em exceção daquelas que surgissem por culpa do projeto original do projetista. (COOMBS, 2008).

Essa grande descoberta na área militar acabou possibilitando uma grande flexibilidade de desenho de projeto, sendo logo percebida como uma ótima opção para prover características elétricas e mecânicas com compatibilidade como todo o tipo de equipamentos eletrônicos. (COOMBS, 2008).

Dentro das indústrias, a adaptação dos circuitos impressos para a automação e na fabricação acabou resultando na economia de custos, e ainda com maior importância, na confiabilidade de todo o sistema eletrônico. (OVERBY, 2010).

Mesmo contanto com o sucesso e avanço da técnica, a própria utilização da terminologia "circuito impresso" tem sido bastante controverso desde sua primeira utilização. Diversos acham com maior expressividade a utilização da terminologia "trilhas impressas" para caracterização do processo, terminologia que vem tendo utilização cada vez mais frequentemente na literatura. (OVERBY, 2010).

### 2.1.1 PCI de Face Simples

As PCIs de face simples são também denominadas de PCIs de um *layer*. O *layer* na linguagem usada para PCIs tem referência com a camada onde há a existência de trilhas de cobre, fazendo ligações elétricas para a interconexão dos componentes. No entanto, em uma placa denominada de PCI de um *layer*, podem haver vários outros *layers* que não são para ligações elétricas, como é caso dos *layers* de serigrafia. (SCHMIDT, 2000).

Somente uma face da PCI é o tipo mais simples de placas, utilizados para circuitos simples e com pouca sofisticação, com aplicação quando o projeto não é demandante de características de ligação elétrica bastante complexas. (SCHMIDT, 2000).

### 2.1.2 PCI de Dupla-Face

As PCIs de face dupla são bastante comuns utilizadas quando existe a necessidade de mais de uma camada plana com trilhas de ligações elétricas. Tem utilização um *layer* em cada lado da placa de circuito impresso com denominação de *layers* superior e inferior. (VANTERESIAN, 2002).

Nesta técnica, é fundamental a criação de um método de interconexão destas duas camadas de *layers*. Geralmente, estas interconexões são realizadas com pequenos furos que acabam atravessando a placa de um lado ao outro, com um material condutor em seu interior de maneira a fazer a condução da corrente elétrica, mantendo estes dois pontos em um mesmo potencial elétrico nos dois *layers* da placa. (VANTERESIAN, 2002).

### 2.1.3 PCI *Multi-Layer*

Podem existir mais de duas camadas de cobre numa placa, fazendo a criação de uma PCI *multi-layer*. É possível a imaginação do processo como uma conjuntura de diversas placas de dupla-face com aglutinação juntas, com uma camada de isolamento entre elas e com furos transpassantes para conexões elétricas. A maior parte das placas tradicionalistas possuem entre 4 ou 8 *layers*, mas PCIs com aproximadamente 100 *layers* podem ter construção. (COOMBS, 2008).

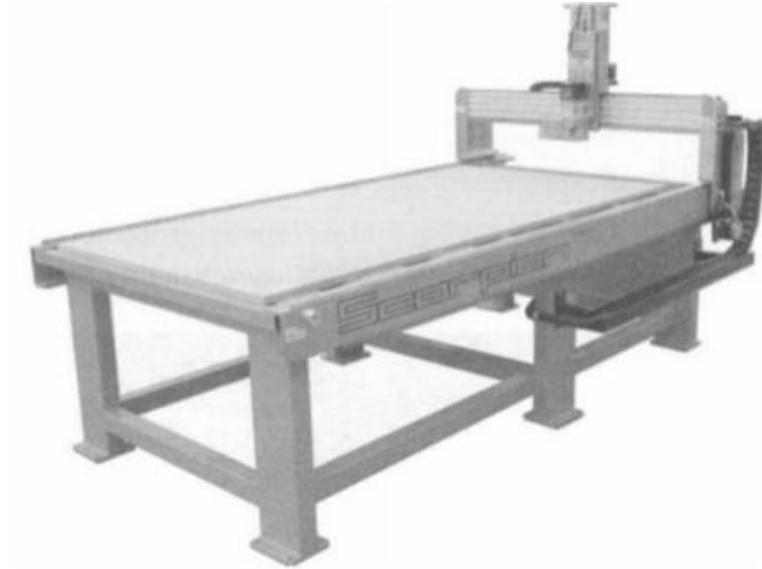
## 2.2 Máquinas Tipo CNC

Uma máquina CNC pode ter sua definição como uma máquina possuinte de diversos eixos de movimento que usa tecnologia diferenciada para realizar comandos e operações, o que permite o controle simultâneo de seus diversos eixos, partindo de uma lista de movimentos escrita em código específico. (NABER et al. 2000).

Há vários fatores que podem ter influência na qualidade de uma máquina CNC, como é possível ver na Figura 2, que terão destaque a seguir:



Figura 2: Máquina CNC



Fonte: Naber et al. (2000)

Uma máquina qualquer que utiliza Comando Numérico computadorizado realiza seu trabalho em uma sequência previamente programada, baseado na programação de sistemas de coordenadas cartesianas para elaboração de qualquer perfil geométrico. (MACHADO, 1990).

CNC nasceu a partir de uma pequena empresa que fabricava hélices e rotores de helicóptero. Na década de 40 desenvolveu e implementou uma forma simples e prática de realizar o controle de uma máquina de usinagem através de números, onde eram inseridas instruções através de cartões perfurados em um computador. (VALENTINO e GOLDENBERG, 2013).

Graças à tecnologia CNC, foi possível produzir peças de extrema complexidade e grande precisão, principalmente quando associados a aplicativos específicos para o projeto do *layout* de peças. (SILVA, 2004).

### 2.2.1 Estrutura de *Hardware*

Para a seleção de uma prototipação CNC de qualidade e com adequação a utilização desejada, o primeiro passo que é fundamental prestar atenção é a qualidade construtiva da máquina. Neste momento, é preciso tomar bastante cuidado para não ser enganado pela aparência. Diversas companhias fazem a utilização dos mesmos componentes de estrutura na máquina, mas fazendo a adição de simples folhas de

metais finais, com colocação no exterior a máquina somente para a melhora de sua aparência. (NERY et al. 2008).

O que é preciso ficar em atenção realmente é o tipo do metal usado em sua estrutura. A intenção é possuir uma construção sólida, com base bem soldada de grande massa, juntamente com uma superfície rígida e não flexível. (NERY et al. 2008).

Na atualidade, a conexão com maior confiabilidade ainda é considerada a porta paralela, por já ser a maneira de comunicação mais testada e usada, apresentando uma melhor performance e menor custo. (VARTERESIAN, 2002).

Uma característica que é necessário ter bastante cuidado é relacionado com a velocidade da máquina. De maneira intuitiva, é possível esperar que, todavia, será melhor a CNC, possuente de uma maior velocidade. (NERY et al. 2008).

Diversas empresas fazem destaque que a CNC é possuente de uma enorme velocidade de movimento do cabeçote guiado através do controlador numérico, usando motores de passo. Realmente, se trata de uma característica bastante útil, mas de maneira frequente a utilização de algum tipo de roldana ou polia de redução, resulta numa alta velocidade de viagem, mas baixo torque, resolução e precisão. (VARTERESIAN, 2002).

Para não ter comprometimento na performance geral da máquina e caso haja a necessidade da garantia de alta velocidade, é preciso realizar investimentos em sistemas de servo motor. (VARTERESIAN, 2002).

### 2.2.2 Estrutura de *Software*

Caso o usuário desejar ter acesso ao código da máquina e possuir a possibilidade de fazer sua programação segundo suas necessidades, é de grande importância a utilização de um sistema com base de maneira nativa no controle com código G, característica de tão grande importância quanto ter uma boa qualidade de construção na máquina. (SCHMIDT, 2000).

Os principais motivos são que essa linguagem teve desenvolvimento para esta própria aplicabilidade, dando uma maior liberdade e condições para a pessoa desenvolvedora poder acabar tirar o máximo proveito do *hardware*. Sem contar que a maior parte das CNCs são vendidas para utilização em código G, e se o usuário

acabar adquirindo uma segunda máquina no futuro, é bastante fácil compatibilizar. (SCHMIDT, 2000).

Se estiver utilizando um *software* pronto em especificidade, não tem a necessidade de usuário prender-se ao *hardware* e *software* da mesma empresa. Aqui a única indicação é realizar uma pesquisa prévia e selecionar o que mais tem adaptação as necessidades do usuário e sua familiaridade com o sistema. (SCHMIDT, 2000).

## 2.3 Linguagem de CNC

Nos sistemas CNCs é possível fazer a introdução do programa, executar e modificação a própria maneira de execução de seus dados. O programa CNC tem em sua composição dois tipos de dados, que são: geométrico e tecnológico. (COOMBS, 2008).

Os dados geométricos têm a responsabilidade pelo movimento geométrico do instrumento, fazendo a determinação das posições a serem alcançadas; direção e sentido do movimento; sequências de movimentos; e os endereços usados, que são: X, Y, Z. (VARTERESIAN, 2002).

A grande maioria e também a maior parte dos programas para CNC se constitui das coordenadas dos pontos que se referem às distancias para os eixos. Essas coordenadas X, Y e Z, junto com as declarações que indicam como a máquina é usada, influenciam tanto no movimento da ferramenta como no posicionamento da ferramenta em relação a peça. (FITZPATRICK, 2013).

Já os dados tecnológicos têm a responsabilidade pelas condições de usinagem com envolvimento no processo, como é possível citar: a ferramenta desejada com rotação e sentido de rotação corretos; avanços e rotações em compatibilidade com o material usinado. (VARTERESIAN, 2002).

### 2.3.1 Linguagem de programação Automática (APT)

Com o aparecimento do CNC nos anos 50, a primeira linguagem de programação usada foi a APT. Na atualidade apenas tem utilização como instrumento de auxílio na programação de peças com geometrias bastante complexas, especialmente para máquinas de quatro e cinco eixos. (SCHMIDT, 2000).

### 2.3.2 Linguagem EIA/ISO

Padronização de códigos, também denominada como código G, é atualmente a com maior utilização na programação manual e na programação gráfica, onde tem utilização o CAM (*Computer Aided Manufacturing*) (NERY et al. 2008).

Os códigos EIA/ISO tiveram criação antes mesmo do surgimento das máquinas CNC, eles tinham utilização nos escritórios em máquinas de escrever automáticas que usavam cartões perfurados. (NERY et al. 2008).

### 2.3.3 Linguagem Interativa

Programação através de blocos com parametrização possuintes de blocos prontos e não faz a utilização de códigos. Como exemplo, é possível citar a linguagem Mazatrol com aplicação as máquinas MAZAK. (SCHMIDT, 2000).

### 2.3.4 Programação Gráfica Através de CAM

Não é considerada mais uma linguagem de programação, mas sim uma forma grafica de programar, onde o programador precisará ser possuinte de conhecimentos de: processos de usinagem; materiais; instrumentos e dispositivos para usinagem; informática para manipular arquivos; máquinas; domínio de um software de CAD, e um de CAM. (NERY et al. 2008).

Com descrição de uma forma simples, somente para fácil entendimento, o programador acaba entrando com o desenho da peça, que pode ter realização no próprio CAM ou em desenhos recebidos no CAD, faz definição da matéria-prima, instrumentos e outros parâmetros e corte, seleciona o pós-processador segundo a máquina que fará a usinagem e o software de CAM acabará se encarregando da geração do programa, usando os códigos de padronização EIA/ISSO. (NERY et al. 2008).

## 2.4 Tipos de Motores

O motor de corrente continua tem como característica a versatilidade. Eles podem ser projetados para apresentar uma grande variedade de características como tensão *versus* corrente ou até de torque *versus* velocidade, através das combinações

distintas de enrolamentos de campo, excitado em derivação, independentemente ou série. Máquinas CC tem, com frequência, sido usadas nas aplicações que exigem ampla faixa de velocidade ou de um controle preciso de posições, isso devido a facilidade com que podem ser controladas. (UMANS, 2014).

#### 2.4.1 Motor de Passo

O motor de passo é considerado um transdutor que faz a conversão de energia elétrica em movimento com controle partindo de pulsos, possibilitando o controle por passo, onde passo é considerado o menor deslocamento angular. (UMANS, 2014).

A Figura 3 exemplifica um tipo comumente utilizado de motor de passo:

Figura 3: Motor de Passo



Fonte: Kalatec (2017)

Também tem consideração como um motor elétrico que faz o deslocamento de um ângulo definido pelo fabricante a cada pulso que recebe do drive de controle. O número de passos que o motor gera, é igual ao número de pulsos que são recebidos, e a velocidade do motor é igual a frequência de entrada de pulsos. (KALATEC, 2017).

Os motores, resumindo, quando aplicado uma tensão aos seus terminais giram continuamente. Os motores de passo funcionam de forma diferente desse padrão. No motor de passo quando aplicado, na sequência correta, pulsos de comando elétrico o eixo gira em incrementos separados de ângulo, esses incrementos são determinados na sua construção. (PETRUZELLA, 2013).

Os motores de passo são projetados para produzir um grande número de passos por rotação, por exemplo, um motor com 360, 200, 100 ou 50 passos corresponde a um deslocamento angular de  $1^\circ$ ,  $1,8^\circ$ ,  $3,6^\circ$  e  $7,2^\circ$  por passo. Aplicações

típicas com esse sistema de motores incluem, posicionamento de cabeça de impressão em impressoras e plotters, acionamento e posicionamento da cabeça em unidades de disco e CD *players*, posicionamento da mesa de trabalho e da ferramenta em equipamentos de usinagem controlados numericamente. Uma característica e vantagem da utilização de motores de passo é que em muitas aplicações, a informação da posição pode ser obtida apenas deixando registrado o número de pulsos enviados ao motor, não sendo necessário sensores de posição. (UMANS, 2014).

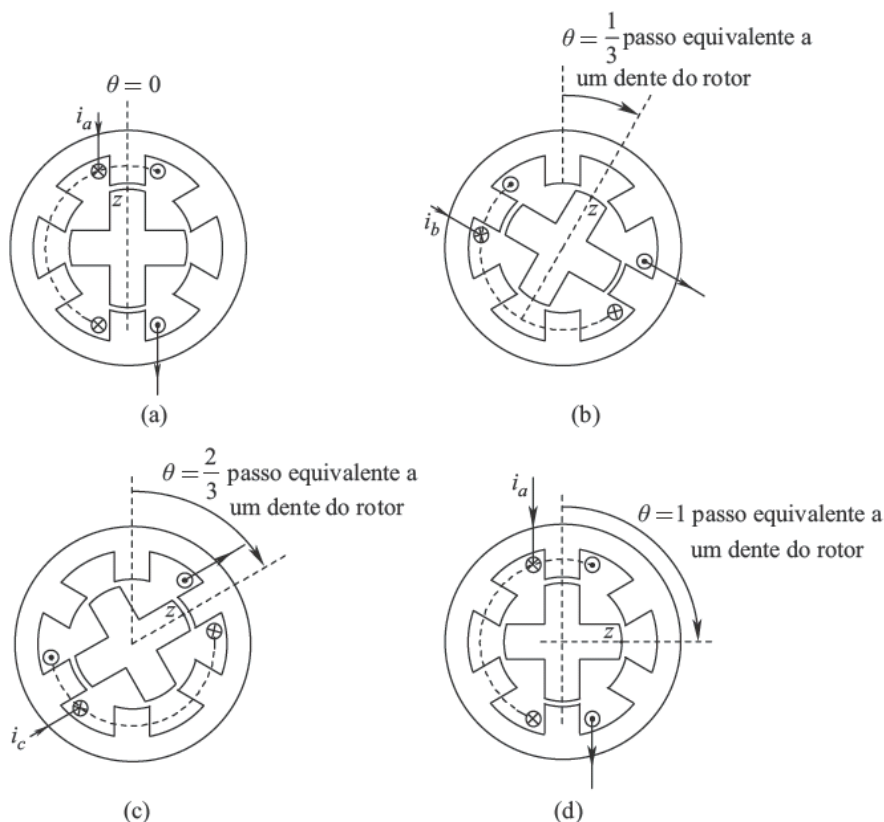
Quando é necessário a obtenção de uma rotação em específico de um determinado grau, é calculado o número de rotação por pulsos, possibilitando uma boa precisão em seu movimento. (KENJO, 2006).

Com o passar dos tempos, existiu um grande aumento na popularidade desse motor, especialmente por causa de seu tamanho e custo pequeno e também uma grande adaptação aos controles digitais. Outra vantagem relacionada a esse motor de passo com relação aos outros motores é sua estabilidade. (CUNHA, 2003).

#### 2.4.2 Motor de Passo de Relutância Variável

Esse tipo de motor de acordo com a Figura 4 consiste de um rotor de ferro doce, possuinte de múltiplos dentes e um estator laminado contando com rolamentos. Por não ser de um ímã, quando tem sua energização acaba apresentando torque estáticos em nulidade. Quando os enrolamentos estados possuem energização com corrente de Regime de Alimentação de Cargas de Corrente Contínua (CC) os polos possuem magnetização. A rotação tem ocorrência quando os dentes do estator têm atração para os polos do estator com energização, por causa da força que surge, para que o sistema tenha o circuito com uma menor relutância. Assim, possuindo uma baixa inércia de rotor não pode ter utilização como carga inercial grande. (KENJO, 2004).

Figura 4: Motor de passo com relutância variável



Fonte: Mohan (2015)

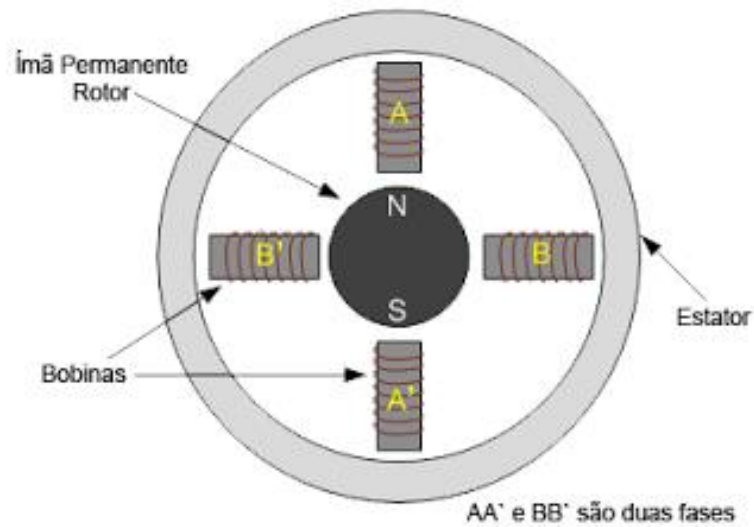
### 2.4.3 Motor de Passo de Imã Permanente

Este tipo de motor de acordo com a Figura 5 é possuínte de uma baixo custo e baixa resolução, com passos típicos de  $7,5^\circ$  a  $15^\circ$ . (KALATEC, 2017).

Imãs permanentes são colocados no rotor do motor de passo de imã permanente, o estator tem dois enrolamentos de fase, onde cada enrolamento é montado com quatro polos, o mesmo número de polos do rotor. O rotor por sua vez não possui vários dentes como os motores de relutância variável, em vez disso o rotor é magnetizado com alternância de polos norte e sul situado numa linha relata paralela ao eixo do rotor. (MOHAN, 2015).

Quando comparados aos motores de relutância variável os motores de imã permanente possuem melhores características de torque, pois os polos magnetizados do rotor proporcionam uma intensidade de fluxo magnético maior. (MOHAN, 2015).

Figura 5: Motor de passo com ímã permanente

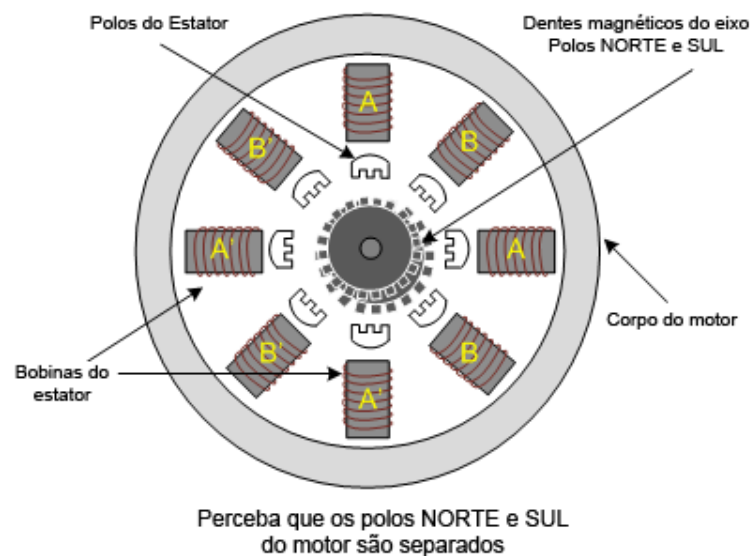


Fonte: Kalatec (2017)

#### 2.4.4 Motor de Passo Híbrido

O motor de passo híbrido de acordo com a Figura 6 é provido de um melhor desempenho relacionado com a resolução de passo, torque e velocidade. (KALATEC, 2017).

Figura 6: Motor de Passo Híbrido



Fonte: Kalatec (2017)

Acaba apresentando uma grande precisão (3%), bom relacionamento torque/tamanho e ângulos pequenos. Esse motor faz a combinação das melhores



características dos motores de ímã permanente e motor de relutância variável. O rotor é de ímã permanente ao redor de seu eixo e com magnetização axial, é multi-dentado como no motor de relutância variável. O dente do rotor acaba provendo de um melhor caminho, ajudando para guiar o fluxo de magnetismo para locais preferido no *gap* de ar. Para que o rotor venha avançar um passo é fundamental que a polaridade de magnetismo de um dente do estator tenha alinhamento com a polaridade magnética em oposição de um dente do rotor. (KENJO, 2004).

#### 2.4.5 Servo Motor

Os servos motores têm utilização em diversas aplicações quando é desejado a movimentação de algo de maneira precisa e com controle. Sua característica de maior marco é sua capacidade de movimentação de seu braço até uma posição e a mantê-lo, mesmo quando acaba sofrendo uma força em outra direção. (FEIS, 2013).

Para entender seu funcionamento é fundamental o conhecimento de sua parte interna, conforme é possível observar na Figura 7 abaixo:

Figura 7: Componentes do Servo Motor



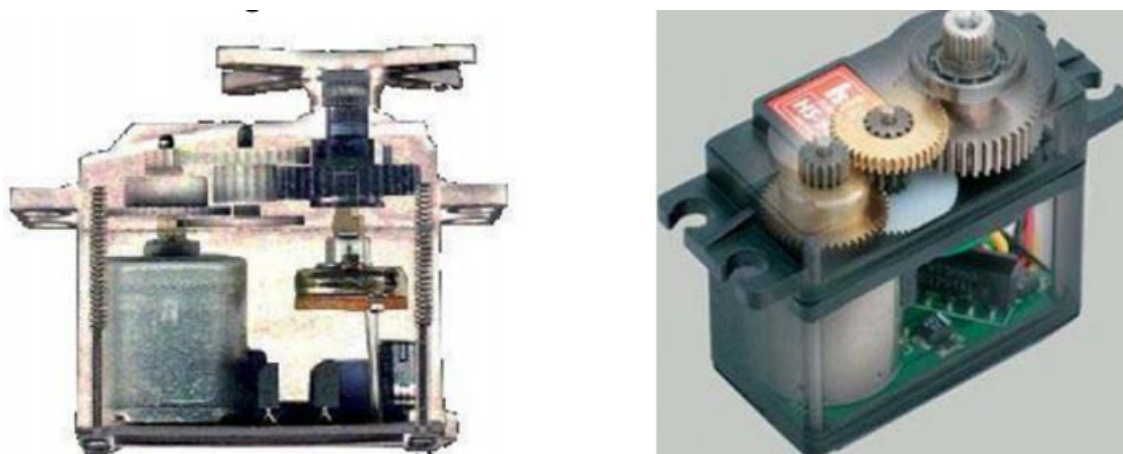
Fonte: Feis (2013)

O circuito de controle tem a responsabilidade por monitorar o potenciômetro e acionamento do motor visando a obtenção de uma posição pré-determinada. O potenciômetro com ligação ao eixo de saída do servo faz a monitoração do

posicionamento do mesmo. O motor faz a movimentação das engrenagens e o eixo principal do servo. As engrenagens fazem a redução da rotação do motor, transferindo maior torque ao eixo principal de saída, movimentando o potenciômetro juntamente ao eixo. A caixa do servo tem serventia para acondicionamento das várias partes do servo. (FEIS, 2013).

Esses componentes possuem posicionamento de maneira interna na caixa do servo, conforme Figura 8 abaixo:

Figura 8: Vista Interna do Servo Motor



Fonte: Feis (2013)

## 2.5 Plataformas de Desenvolvimento

No presente tópico serão abordadas as principais plataformas de desenvolvimento de *software* que são utilizadas.

### 2.5.1 Microcontroladores PIC

O Controlador de Interface Programável, ou da sigla em inglês somente PIC, tem sua definição de microcontrolador como um pequeno componente eletrônico, com a capacidade de armazenar e processar comandos gravados em sua memória, ele tem utilização para fazer o controle de processos lógicos. (PICTRONICS, 2014).

De acordo com Pereira (2003, p.34),

Os primeiros dispositivos programáveis tinham seu código escrito em uma linguagem chamada de código de máquina que era constituída por dígitos binários que era inserido através de um dispositivo de entrada de dados, eram usadas fitas perfuradas teclado ou discos magnéticos

O controle dos processos precisa ter sua compreensão como o controle de periféricos, como: LEDs, servo motores, displays de cristal líquido (LCD), sensores, resistência, dentre outros. Tem em sua denominação controladores lógicos, pois a operação do sistema tem como base as ações lógicas que precisam ter execução, dependendo do estado dos periféricos de entrada ou saída. (ANTONIO, 2006).

Como o PIC é considerado um dispositivo programável, o programa é possuinte de objetivo deixar instruções para que o PIC tenha a possibilidade de realizar atividades com definição através do programador. Um programa tem sua construção através de um conjunto de instruções sequenciais, onde cada uma fará a identificação de maneira precisa a função básica que o PIC fará executar. (ANTONIO, 2006).

Um arquivo de texto que possua um programa em *assembly* tem sua denominação de *source* ou código *assembly*. Uma vez com preparação o código *assembly*, precisará de um programa para fazer a tradução das instruções e todas as outras maneiras convencionalistas com que se escreve o código numa série de números reconhecível diretamente pelo PIC. Esse programa é denominado compilador *assembler*. (ANTONIO, 2006).

## 2.5.2 Microcontroladores ARM

*Advanced RISC Machine*, ou apenas ARM, é uma arquitetura de processador de 32 bits utilizada especialmente em sistemas embarcados. São processadores que visam a simplificação das instruções, no objetivo de atingir a máxima eficácia por ciclo, podendo realizar tarefas menores com ciclos mais curtos, e uma maior ordenação das operações dentro do núcleo do processamento. É bastante usado na indústria e na informática. (BOCCATO, 2016).

A família de processadores ARM é uma grande quantidade de processadores escalonáveis, com uma grande eficiência energética e fáceis de usar. Os processadores são suportados pela grande maioria de ecossistemas embarcados. Os processadores ARM ajudam os desenvolvedores a fornecer mais recursos, em menos tempo, a um custo menor, com conectividade versátil, a reutilização de código é muito abrangente, a segurança padrão e eficiência energética de são última geração e um ponto forte. (ARM, 2005).

Esses processadores são conhecidos por causa de sua versatilidade, pois são possuintes de poucas instruções para programação. É possível encontrar em PDAs, telefone celulares, aplicações industriais, dentre outros. (BOCCATO, 2016).

O processador é possuinte de sete modos de operação que podem ser intercambiados partindo do *software*, interrupções externas e processamento de execuções. Geralmente as aplicações têm execução a nível de usuário. Enquanto o processador está no modo usuário, o programa tendo execução não tem a capacidade de acessar alguns recursos protegidos do sistema ou alterar de modo. (ROSA, 2008).

### 3 TRABALHOS CORRELATOS

Samuel Filipe Carstens e Tiago Alexandre Carstens (2015), no seu Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia Em Mecatrônica Industrial pelo Instituto Federal De Santa Catarina, aborda o tema com o título de Projeto e Fabricação de uma Fresadora CNC para prototipagem de placas de circuito impresso.

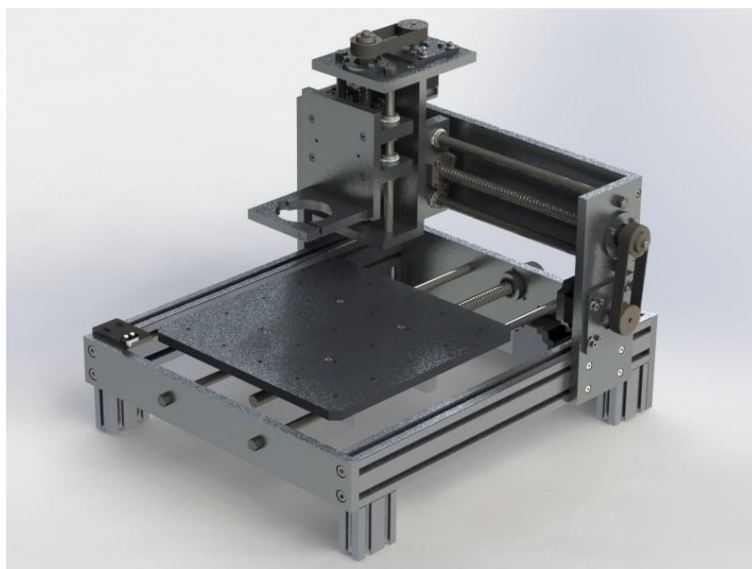
Segundo os autores, um método para obter uma estrutura rígida que suporte todos os esforços em uma fresadora CNC é a utilização de perfis de alumínio, onde esse é um material rígido o suficiente, além de ser um material de fácil manipulação, que garante uma estrutura leve facilitando o transporte.

A movimentação dos eixos da fresadora CNC é dada através de motores de passo juntamente com correias sincronizadas ligadas a fuso de esferas recirculares. O acionamento da ferramenta de corte é feito através de uma tupa.

Os controles das ações da fresadora, segundo os autores, são supervisionados e controlados por um *software* de terceiros, o MACH3®, executados em um computador com ambiente Windows®. Para o acionamento dos motores e demais periféricos é utilizado um painel elétrico, onde esse é responsável por isolar os sinais. Para a comunicação entre o computador e o painel elétrico é utilizado duas portas paralelas LPT.

A Figura 9 apresenta a estrutura mecânica proposta pelos autores.

Figura 9: Mecânica proposta pelos autores



Fonte: Samuel Filipe Carstens e Tiago Alexandre Carstens (2015)

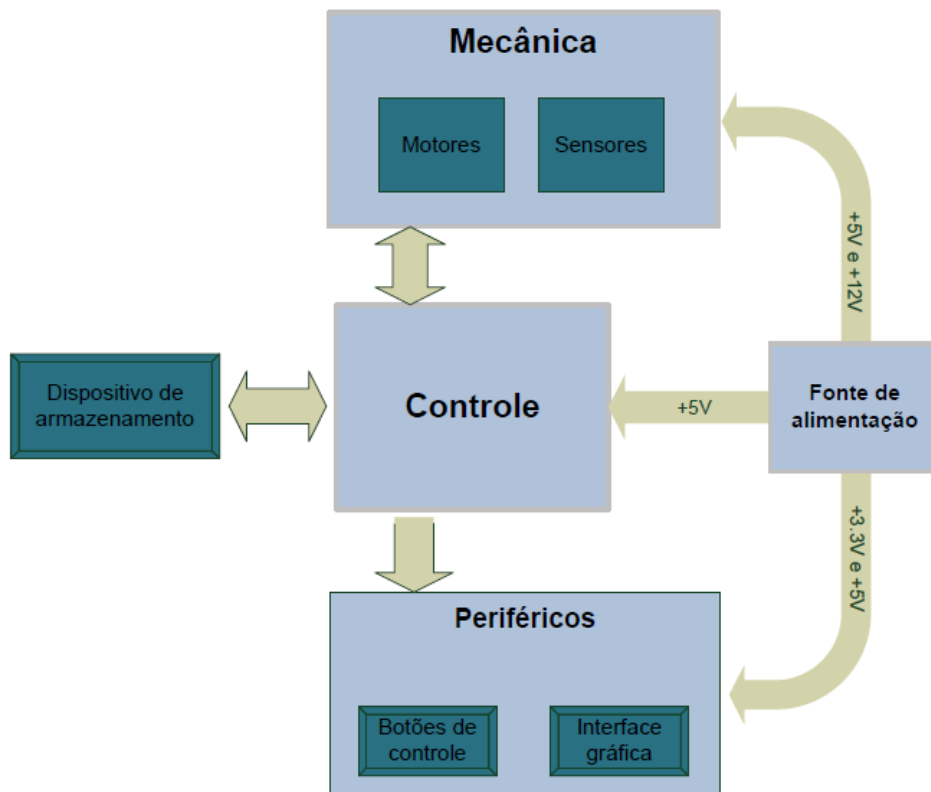
Arielton Trento e Fernando Patrick Ruiz Santiche Pilato (2010), no seu Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Paraná, UFPR, aborda o tema com o título de Fresadora Microcontrolada para Placa de Circuito Impresso.

Conforme indicado pelos autores, foi utilizado materiais alternativos, devido ao alto custo dos materiais recomendados, pois esse trabalho é realizando visando o baixo custo. A estrutura mecânica do projeto foi desenvolvida utilizando MDF e barras roscadas, canaletas de alumínio e rolamentos para a movimentação, conectados a motores de passo que realizando o procedimento de movimentação.

Foi escolhido para o projeto um microcontrolador de 8 bits, o PIC18F2550 do *Microchip* para controle das ações da fresadora, principalmente devido as características de custo-benefício. Para o acionamento dos motores de passo é utilizado um *driver* conhecido como *Linistepper*, o controle do *driver* é realizado através de cinco pinos conectados ao processador e possui diferentes tipos de acionamento dos motores.

A Figura 10 apresenta o diagrama de blocos do projeto proposto pelos autores.

Figura 10: Diagrama de blocos do projeto proposto pelos autores



Fonte: Arielton Trento e Fernando Patrick Ruiz Santiche Pilato (2010)

Jander Pereira, Lucas Santana e Yuri Marinho Alcântara (2015), no seu Artigo Científico para o XIV SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica pela Universidade Salvador, UNIFACS, aborda o tema com o título de Desenvolvimento de uma Mesa Fresadora CNC para Placas de Circuito Impresso para Telecomunicações.

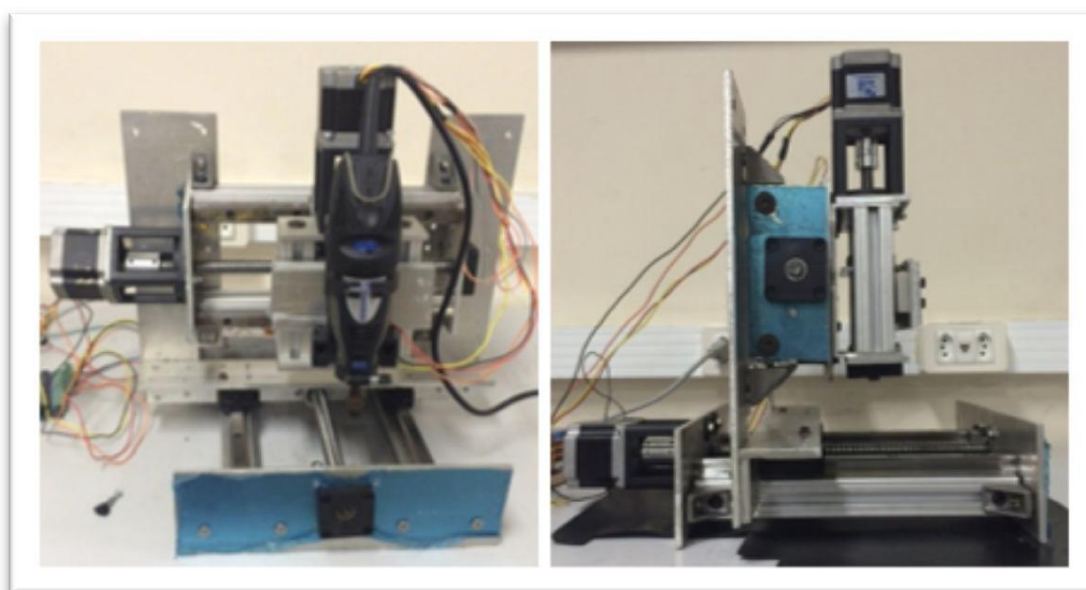
Segundo os autores, a construção mecânica foi realizada utilizando peças de aço usinadas, garantindo rigidez e firmeza para o processo. O tipo de estrutura escolhida consiste numa adaptação de designs já existentes, essas adaptações foram realizadas para atender limitações de ferramentas de usinagem.

A movimentação dos eixos da fresadora é dada por motores de passo, que possuem 1,8 graus por passo, acoplados diretamente em eixos de esferas, que são os melhores para transmitir movimentos rotacional em linear, porém em contrapartida são consideravelmente mais caros. Para auxílio as movimentações são utilizadas guias lineares, dando mais estabilidade e resistência mecânica ao conjunto.

Para a interface de fresadora CNC com o controle é utilizado o *software* MACH3®, executados em um computador com ambiente Windows®. O controle dos motores de passo é dado através do *driver* Toshiba TB6560AHQ, que interpreta as instruções e as transmite para os motores realizando a movimentação e consequentemente realizando o desenho na PCI.

A estrutura desenvolvida pelos autores do trabalho é apresentada na Figura 11.

Figura 11: Estrutura desenvolvida pelos autores



Fonte: Jander Pereira et al. (2015)



Bruno Watanabe, Clara Rodrigues Moreira, Érico Pessoa Felix, Fabíola Tocchini de Figueiredo Kokumai, Guilherme Cruz Moutinho, Nilson Roberto Inocente Junior e Raul Galdino Tancredo, (2016), no seu Artigo Científico para a Revista Interdisciplinar de Tecnologias e Educação (RIInTE) pelo Instituto Federal de São Paulo, IFSP, aborda o tema com o título de Construção de uma fresadora CNC confeccionadora de circuitos impressos, de baixo custo.

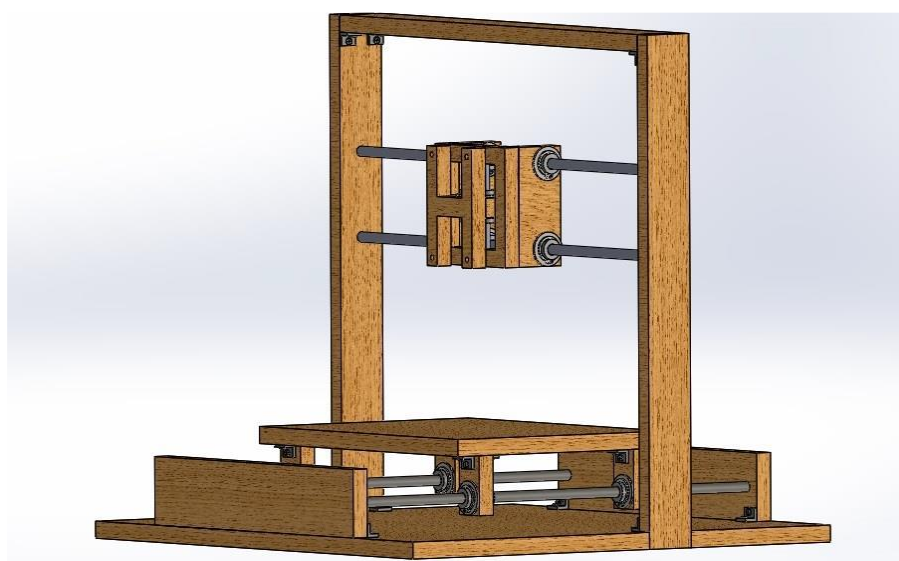
Conforme indicado pelos autores, foi utilizando um *software* de desenho 3D para o projeto mecânico, isso facilita a implementação e minimiza os erros, pois é possível integrar as peças e permite observar a movimentação de cada parte móvel. O material principal utilizado para a construção da estrutura da CNC foram chapas de 15 mm de espessura de MDF.

A utilização da plataforma Arduino é enfatizada pela facilidade de encontrar esse tipo de material, pela disponibilidade, pelo seu custo em relação a outras plataformas e pela facilidade de programação. O Arduino é responsável por todo o controle de movimentação dos eixos e a comunicação com computador.

É utilizado motores de passo para a movimentação dos eixos da fresadora associados a *drivers* A4988 que utilizam um circuito próprio para o controle, além disso uma placa adaptadora é utilizada para deixar os *drivers* compatíveis com a plataforma de desenvolvimento Arduino. Para realizar o processo de usinagem das placas de cobre é utilizado micro retifica como equipamento de corte.

O projeto mecânico proposto pelos autores é apresentado na Figura 12.

Figura 12: Projeto mecânico proposto pelos autores



Fonte: Bruno Watanabe et al. (2016)



Carlos Henrique Sincak, Richard Thomas Lermen, Vanessa Dilda, (2016), no seu Artigo Científico para a Revista de Empreendedorismo, Inovação e Tecnologia pelo Faculdade Meridional, IMED, aborda o tema com o título de Projeto, Construção e Funcionamento de uma Máquina CNC com Plataforma Livre - Arduino.

Segundo os autores, chapas de aço AISI 1020 foram utilizadas para os componentes estruturais da máquina, buscando as características estruturais de rigidez, robustez, resistência aos esforços, leveza e funcionalidade.

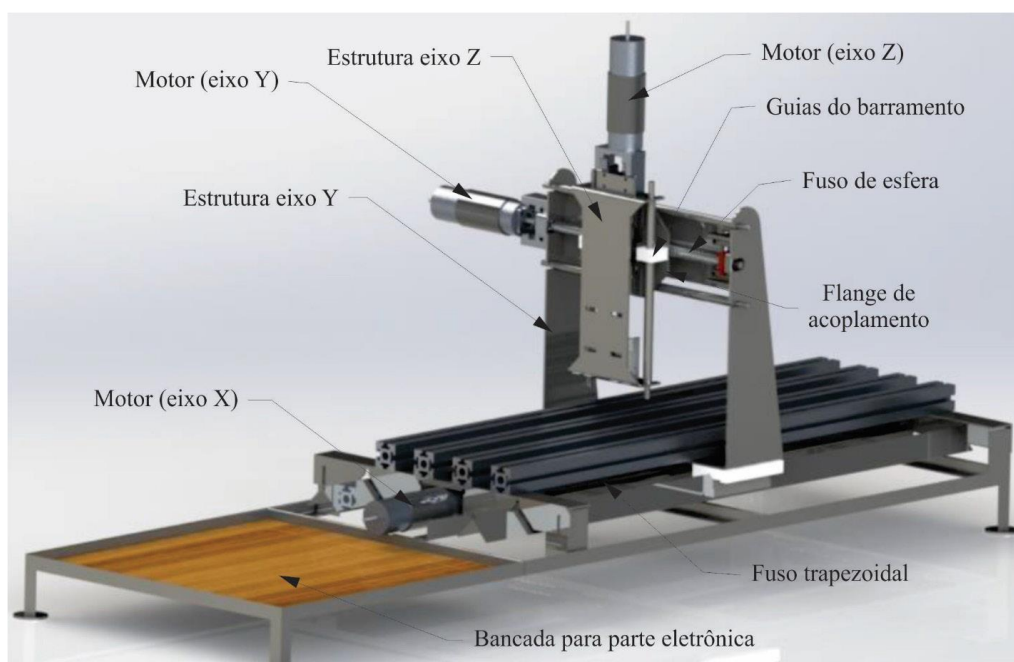
Para garantir a precisão e repetibilidade na movimentação dos eixos e do processo de usinagem, foram utilizados fuso de esferas recirculares e fuso trapezoidal. Associados aos fusos, guias lineares foram fabricadas utilizando barras de aço AISI 1020 e para garantir a rigidez foram incorporadas duas cantoneiras posicionada nas extremidades da estrutura principal.

Servo motores DC com tacômetro integrado, EG&G *Torque Systems* modelo MT2130-012BE, foram utilizados para realizar a movimentação dos fusos nos três eixos. Circuitos do tipo ponte H controlam os motores da máquina CNC.

Uma plataforma similar a placa Arduino UNO R3, a Robocore BlackBoard v1.0, controla e executa os programas, juntamente com um computador que realiza a interface homem-máquina.

A Figura 13 ilustra o projeto proposto pelos autores

Figura 13: Desenho 3D proposto pelos autores



Fonte: Carlos Henrique Sincak et al (2016)

Como é possível observar nesta seção, o estudo nesta área é comum e vem sendo desenvolvido ao longo dos anos. Os trabalhos correlatos abrangem os mais variados tipos de estruturas mecânicas e controle dos motores de passo. Também é possível observar que, são explorados diferentes métodos de movimentação, plataformas de controle e formas de comunicação, com a finalidade de garantir uma ótima precisão na confecção de placas de circuito impresso.

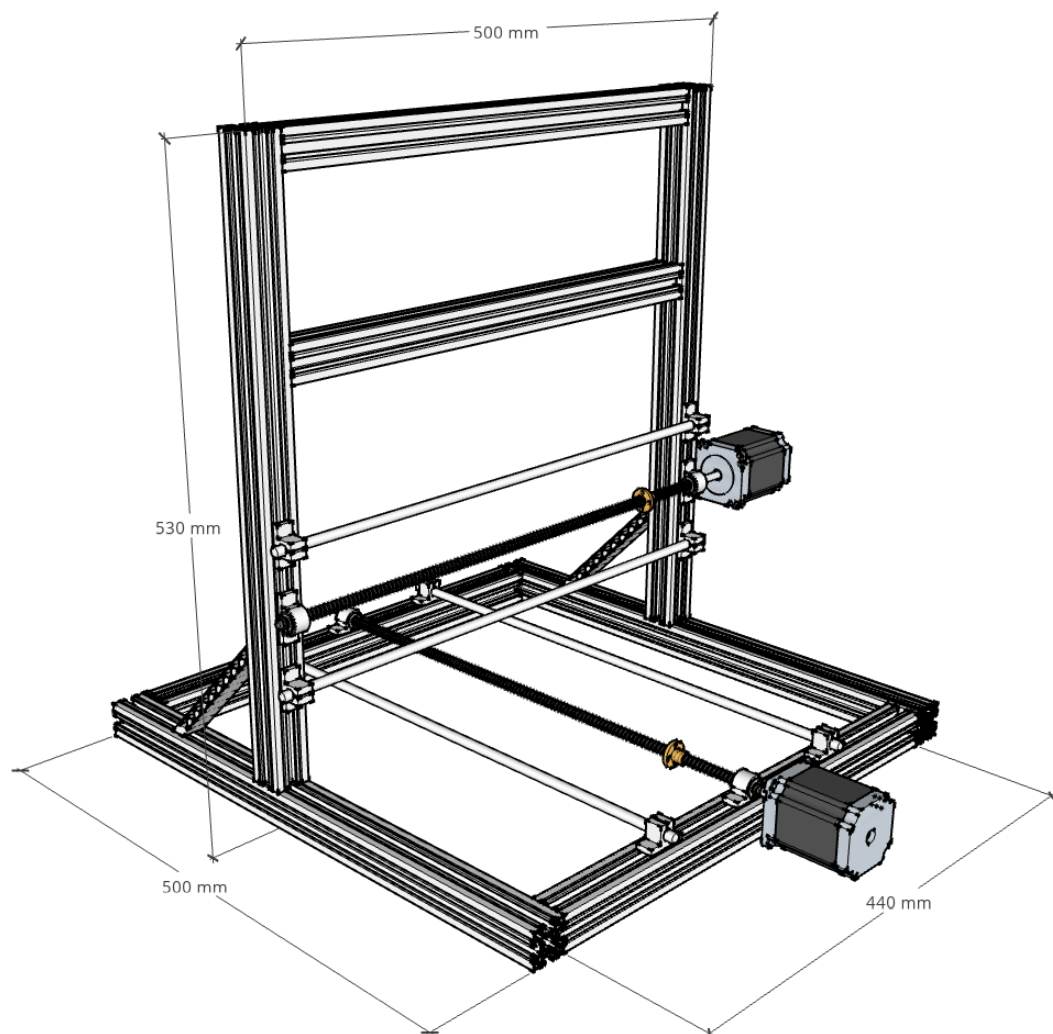
## 4 METODOLOGIA

Este capítulo aborda os métodos e ferramentas para o desenvolvimento do projeto e da fabricação. Para um melhor entendimento, esse tópico foi dividido em sub tópicos colocando maior ênfase nos assuntos de mecânica, estrutura de *software* e estrutura de *hardware*.

### 4.1 Mecânica

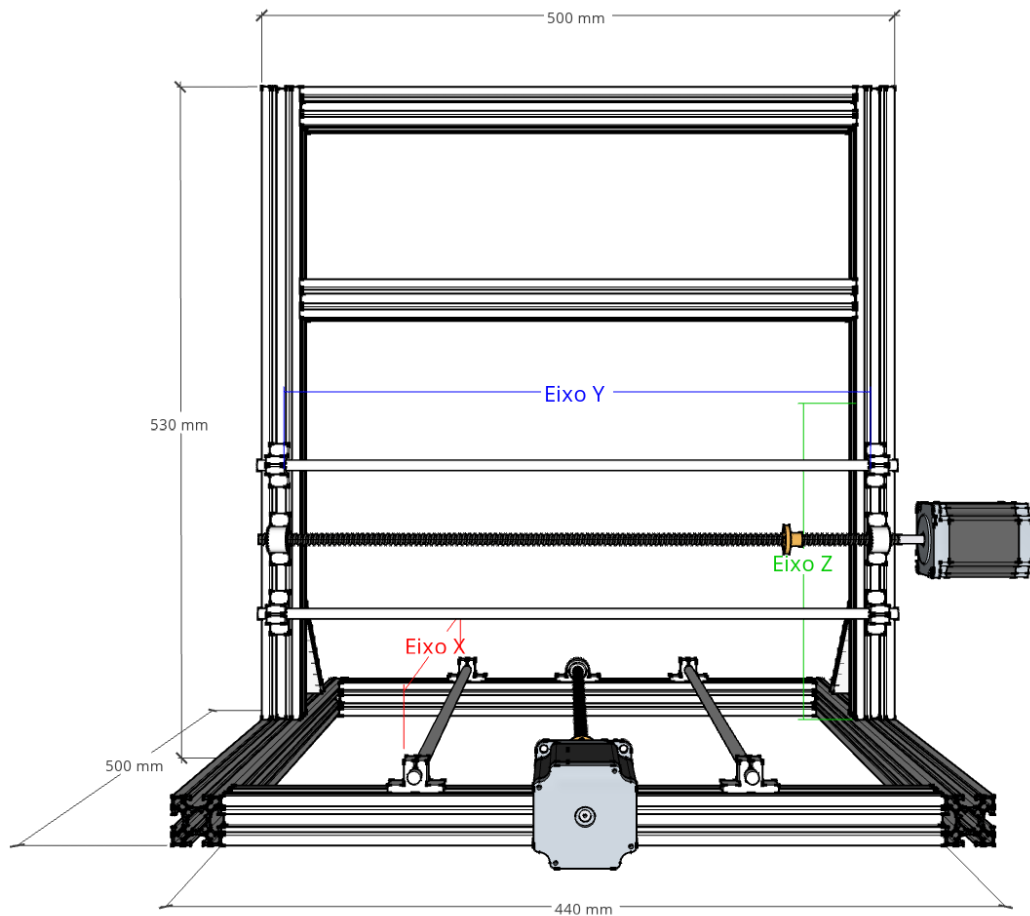
O projeto mecânico é detalhado na Figura 14 e Figura 15, com suas respectivas dimensões.

Figura 14: Projeto mecânico pela vista em perspectiva



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 15: Projeto mecânico pela vista frontal



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.1 Estrutura

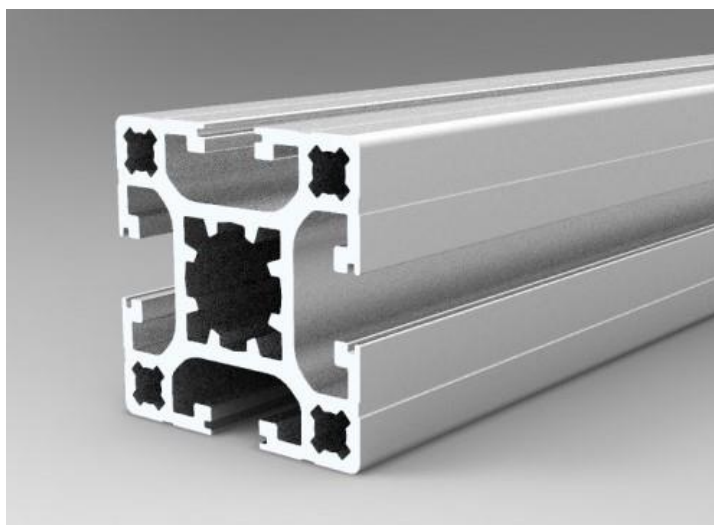
Levando em consideração os recursos disponíveis, tanto de conhecimento quanto ferramental, dois materiais foram escolhidos para montar a estrutura. O MDF e perfil de alumínio são os principais elementos, esses foram escolhidos por serem fáceis de trabalhar ou terem um conjunto de peças adicionais que podem ajudar.

As chapas de MDF utilizadas são de 6 mm de espessura sem coloração aplicada e tem funções como a mesa de apoio para o material e suporte para o eixo Y e Z usinado. As dimensões da mesa de apoio são de 300 mm de largura por 260 mm de comprimento e as dimensões do suporte para o eixo Y e Z são de 200mm de largura por 100 mm de comprimento.

Os perfis de alumínio estrutural serão utilizados para montar a estrutura como um todo, pois são rígidos e fáceis de manusear. Os perfis têm seção quadrada com 30 mm de lado.

A Figura 16 e a Figura 17 exemplificam os tipos de materiais utilizados.

Figura 16: Perfil de alumínio estrutural



Fonte: Forseti Soluções (2018)

Figura 17: Chapas de MDF



Fonte: Masisa (2018)

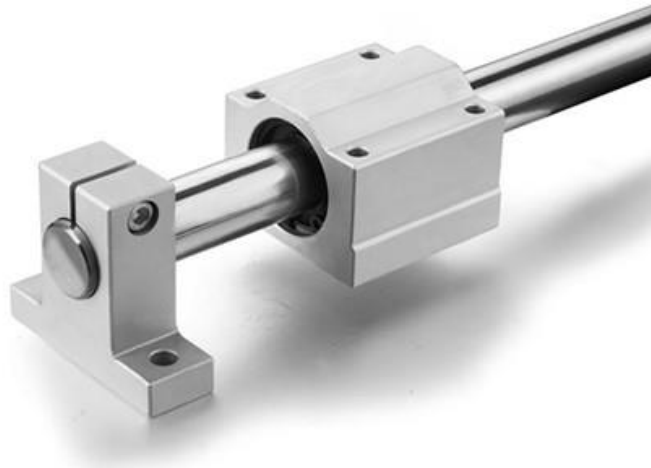
#### 4.1.2 Movimentação

Para a movimentação dos eixos X, Y e Z são usadas barras lisas de 8 milímetros de alumínio como guias lineares e fusos trapezoidais também de 8 milímetros com passo de 2 milímetros. Castanhas de latão são usadas para garantir uma movimentação fluida sem necessidade de lubrificante.

Esses itens foram escolhidos devido a seu preço e facilidade de encontrar, em contraponto não possuem uma precisão tão grande comparado como outros métodos de movimentação.

Na Figura 18 e Figura 19 são apresentadas imagens exemplificando os métodos utilizados

Figura 18: Guia linear para movimentação



Fonte: Jaraguá CNC (2018)

Figura 19: Fuso trapezoidal

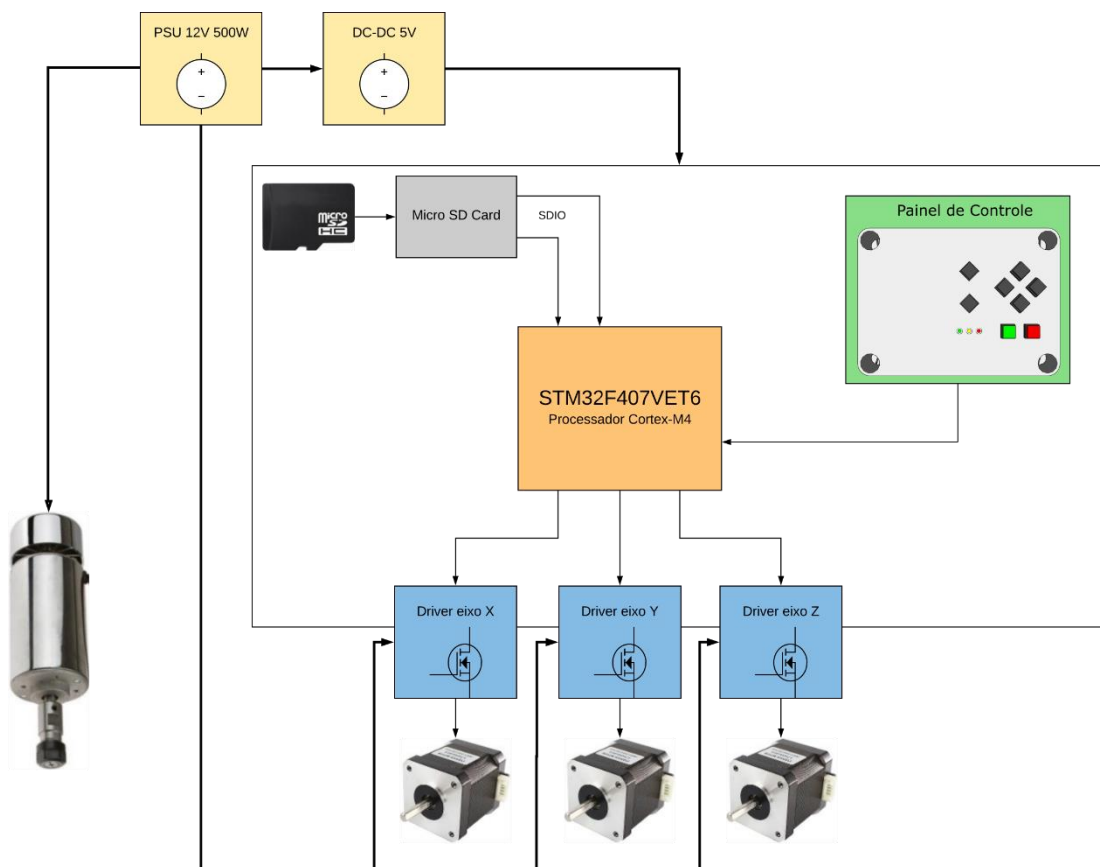


Fonte: Ali Express (2017)

## 4.2 Estrutura de *Hardware*

O hardware foi projetado para controlar simultaneamente 3 eixos de movimentação, ler o código de CNC de um cartão micro SD e realizar a leitura de entradas digitais do painel de controle. O diagrama de blocos na Figura 20 ilustra o diagrama geral do hardware, junto com os tipos de comunicação e protocolos utilizados.

Figura 20: Diagrama de blocos do sistema



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 4.2.1 Microcontrolador

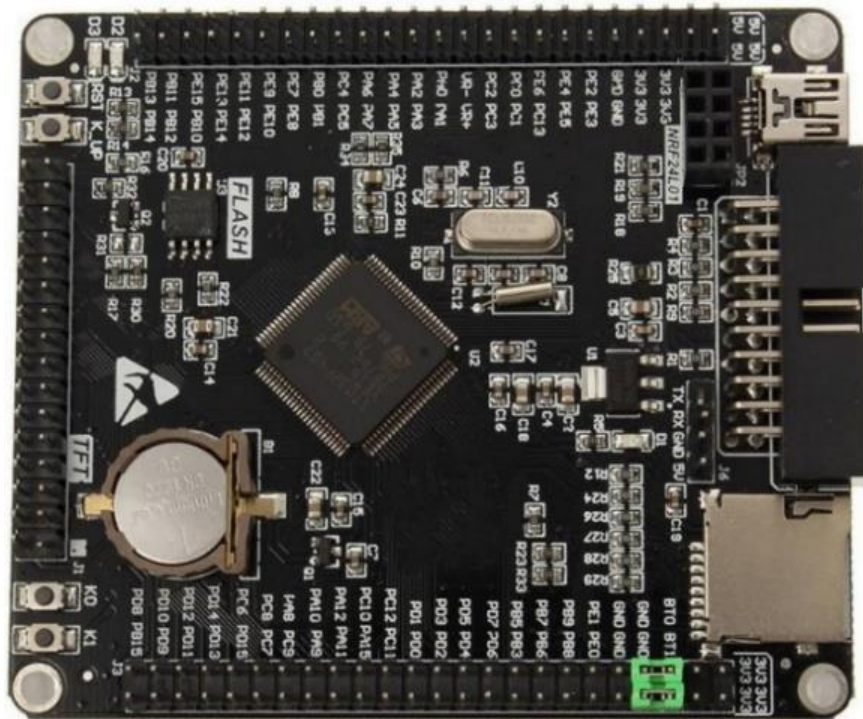
O controlador escolhido foi um ARM Cortex-M4 de 32bits, com uma frequência de até 168 MHz e unidade de DSP. Apesar do controlador possuir uma capacidade de processamento maior que o necessário para a realização do projeto, ele foi escolhido por possuir uma plataforma de desenvolvimento de baixo custo e com recursos úteis para projeto, como a entrada para cartão micro SD.



Nessa plataforma foi desenvolvido todo o *software* de controle necessário para a o controle do movimento dos eixos, leitura e interpretação dos comandos.

A Figura 21 exemplifica a plataforma de desenvolvimento que será utilizada com todas as saídas de hardware necessárias, assim facilitando o projeto.

Figura 21: Plataforma de desenvolvimento



Fonte: STM32duino (2017)

A Tabela 1 apresenta os pinos especiais utilizados na plataforma de citada anteriormente, o tipo de interface utilizado e quais sinais são ligados a eles.

Tabela 1: Referência de pinos especiais utilizados

Nº Pino MCU	Nº Pino PCI	Nome Pino	Sinal	Tipo
65	SD_CARD	SDIO_D0	-	SD_IO
66	SD_CARD	SDIO_D1	-	SD_IO
78	SD_CARD	SDIO_D2	-	SD_IO
79	SD_CARD	SDIO_D3	-	SD_IO
80	SD_CARD	SDIO_SCK	-	SD_IO
83	SD_CARD	SDIO_CMD	-	SD_IO

Fonte: Elaborado pelo autor.



A Tabela 2 apresenta os pinos de propósito geral, como saídas e entradas, utilizados na plataforma de desenvolvimento, o tipo de interface utilizado e quais sinais são ligados a eles.

Tabela 2: Referência de pinos de uso geral utilizados

Nº Pino MCU	Nº Pino PCI	Nome Pino	Sinal	Tipo
25	J2_25	PA2	Controle Eixo X+	Entrada
26	J2_26	PA3	Controle Eixo X-	Entrada
29	J2_27	PA4	Controle Eixo Y+	Entrada
30	J2_28	PA5	Controle Eixo Y-	Entrada
31	J2_29	PA6	Controle Eixo Z+	Entrada
32	J2_30	PA7	Controle Eixo Z-	Entrada
33	J2_31	PC4	Botão <i>Pause</i>	Entrada
35	J2_33	PB0	Botão <i>Start</i>	Entrada
36	J2_34	PB1	LED Verde	Saída
38	J2_35	PE7	LED Amarelo	Saída
39	J2_36	PE8	LED Vermelho	Saída
96	J3_13	PB9	Sentido de Rotação	Saída
93	J3_15	PB7	Comando de Passo	Saída
91	J3_17	PB5	<i>Reset Driver</i>	Saída
88	J3_19	PD7	<i>Micro Stepping 1</i>	Saída
86	J3_21	PD5	<i>Micro Stepping 2</i>	Saída
84	J3_23	PD3	<i>Micro Stepping 3</i>	Saída
82	J3_25	PD1	<i>Enable Driver</i>	Saída

Fonte: Elaborado pelo autor.

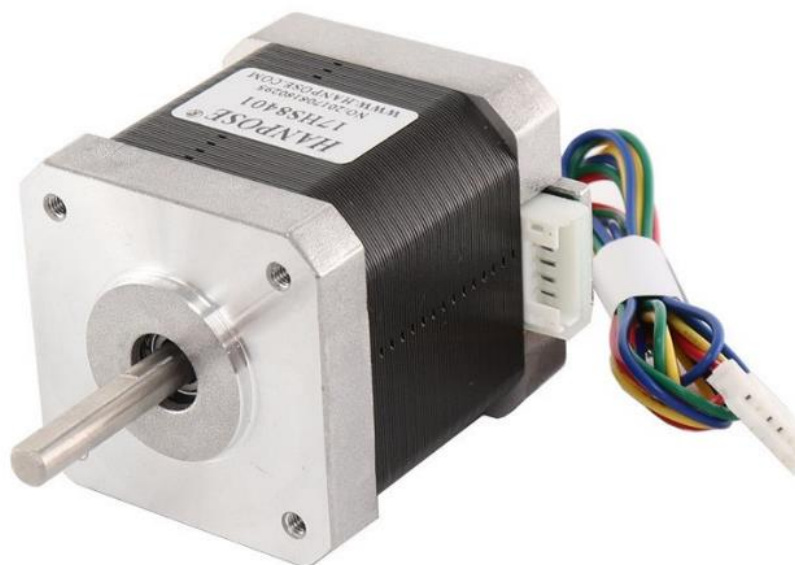
#### 4.2.2 Movimentação dos eixos

A movimentação dos eixos é realizada por motores de passo híbrido do tipo bipolar, pois esse tipo de motor garante um torque maior que os motores unipolares em uma proporção de tamanho menor, mas em contrapartida a complexidade do driver aumenta consideravelmente.

Para o movimento dos elementos dos eixos X e Y foi escolhido o motor de passo de modelo NEMA-17 17HS8401, exibido na Figura 22, que possui as seguintes características principais:

- 200 passos por revolução;
- Ângulo do passo de  $1,8^\circ$ ;
- Ângulo do meio passo de  $0,9^\circ$ ;
- Torque nominal de 48 N.cm;
- Corrente nominal de 1,7 A;
- Tensão nominal de 12 V

Figura 22: Motor de passo utilizado



Fonte: Hanpose (2018)

#### 4.2.3 Drivers de acionamento

Considerando a premissa de que os motores de passo são do tipo bipolares, a estratégia para acionamento foi utilizar um circuito integrado de *driver* dedicado para essa finalidade, assim facilitando a operação dos motores.

O *driver* escolhido considerando as necessidades do projeto é o A4988 e foi especialmente desenvolvido para controle de pequenos passos (*micro stepping*) para motores de passo bipolares. Com esse *driver* é possível controlar com precisão todos os passos do motor, além de garantir um controle da corrente e tensão de acionamento dos motores

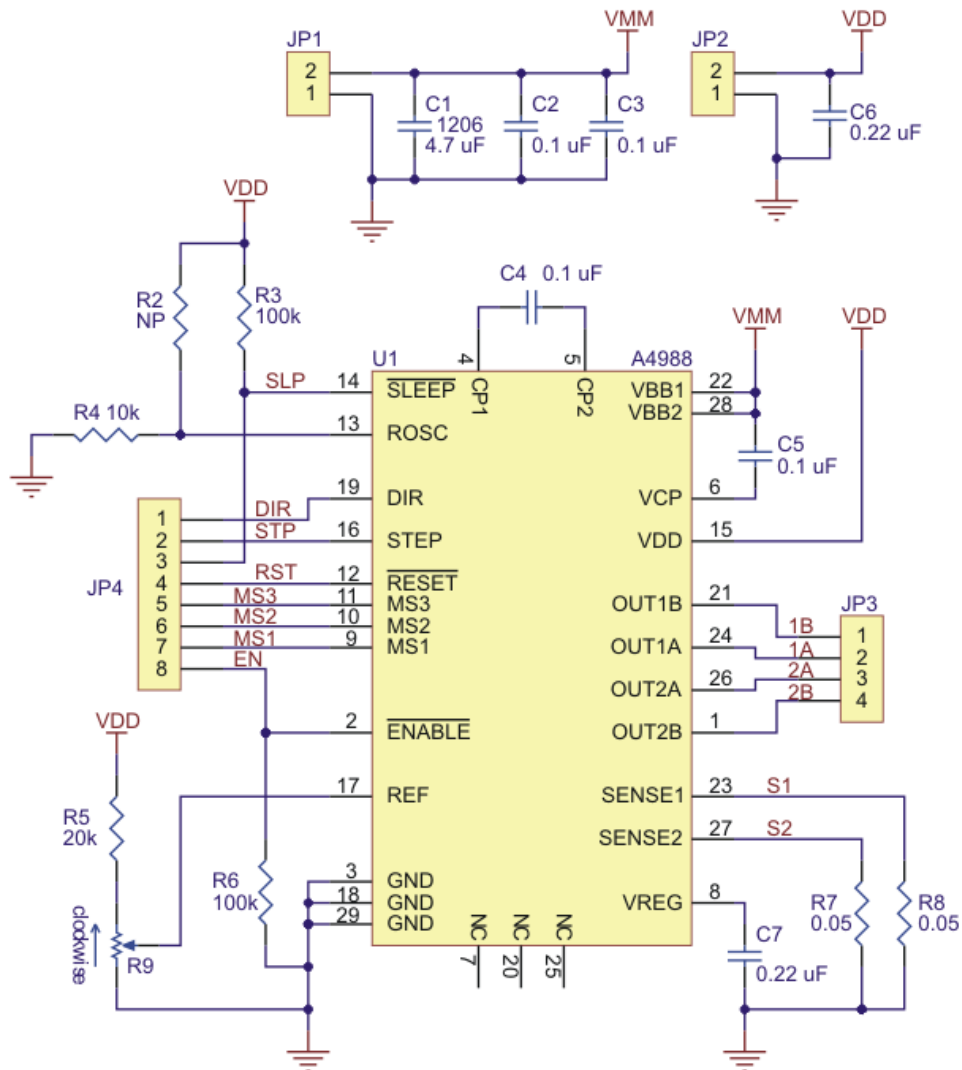
As características principais desse *driver* são apresentadas na relação a baixo:

- Controle de passos e direção;
- Tensão lógica de controle: 3 V - 5,5 V;

- Tensão de saída dos motores: 8 V - 35 V;
- Controle de corrente dos motores até 2 A;
- Proteção controla sobre carga.

A seguir a Figura 23 a baixo mostra o circuito utilizado.

Figura 23: Circuito do circuito integrado A4988

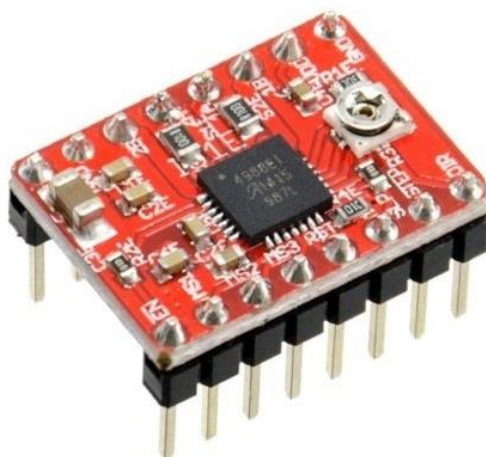


Fonte: FilipeFlop (2018)

Uma placa de controle pode ser encontrada facilmente para montagem, pois por se tratar de um circuito integrado específico para essa aplicação é amplamente utilizado no meio de projetos de eletrônica.

A Figura 24 exemplifica um tipo de modelo de placa de circuito que utilizando esse controlador como base de seu projeto.

Figura 24: Placa do circuito de controle



Fonte: Ali Express (2018)

#### 4.2.4 Painel de controle

O painel de controle foi pensado e desenvolvido para controlar todos os eixos de forma manual, assim se pode definir a posição inicial de usinagem da placa de circuito.

No painel de controle há seis botões disponíveis para controle independente dos eixos. Os botões de movimentação dos eixos disponíveis são X+, X-, Y+, Y-, Z+ e Z-, onde esse são responsáveis por movimentar o seu respectivo eixo.

No painel de controle também está disponível botões START e PAUSE, esses representados pelas cores verde e vermelho respectivamente. O botão START inicia a operação de usinagem e o ponto de partida é o definido pelos botões de comandos dos eixos. O botão PAUSE para o sistema no estado e lugar onde ele se encontra no momento do pressionamento do botão e o pressionamento do botão START fara com que o sistema volte a funcionar.

Para indicar o funcionamento e estado do sistema há a três indicadores luminosos. O indicador luminoso verde adverte que o sistema está em espera e pronto para iniciar a usinagem da placa, nesse estado o sistema se encontra parado e espera o comando START. Para o indicar que o sistema está em processo de usinagem da placa de circuito há um indicador amarelo, ou seja, foi pressionado o botão START e se deve ter cuidado e precaução no manuseio da máquina. Quando pressionado o botão PAUSE o indicador luminoso vermelho é acionado e o sistema se encontra parado.

Os seguintes comandos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Sinais do painel de controle

Controle Eixo X+	Entrada de Comando
Controle Eixo X-	Entrada de Comando
Controle Eixo Y+	Entrada de Comando
Controle Eixo Y-	Entrada de Comando
Controle Eixo Z+	Entrada de Comando
Controle Eixo Z-	Entrada de Comando
Botão <i>Pause</i>	Entrada de Comando
Botão <i>Start</i>	Entrada de Comando
LED Verde	Saída de <i>Status</i>
LED Amarelo	Saída de <i>Status</i>
LED Vermelho	Saída de <i>Status</i>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para realizar o projeto mecânico do painel de controle, e planejando acomodar todos os componentes eletrônicos, foi utilizado como base a caixa plástica do modelo Caixa Light da fabricante Steck® com as dimensões 154 mm de largura, 110 mm de altura e 70 mm de profundidade.

A Figura 25 exemplifica um tipo de caixa plástica utilizada como painel de controle para acomodação dos componentes eletrônicos.

Figura 25: Caixa plástica utilizada



Fonte: Steck (2019)

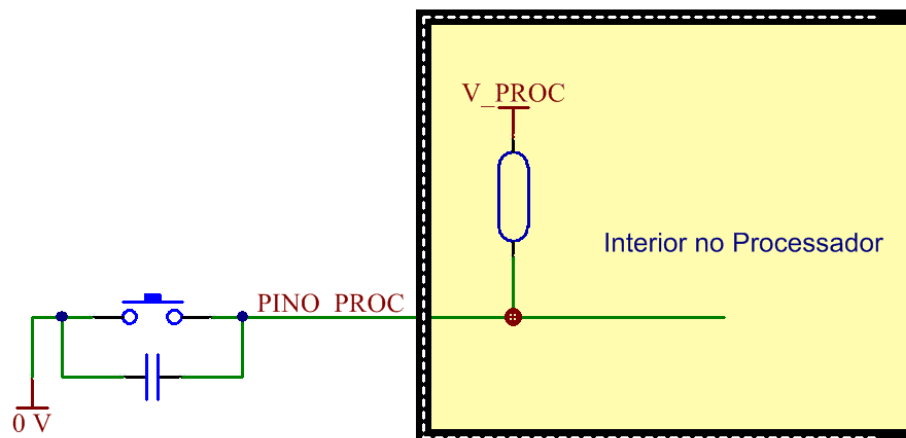
Para realizar a leitura adequada das entradas é necessário garantir o nível de tensão correto no pino do processador. Também é importante ter em mente que deve existir uma proteção para evitar possíveis danos aos circuitos mais sensíveis.

Levando em conta todos os fatores citados anteriormente, os dispositivos de comando do painel são chaves do tipo *push button* conectadas no sinal 0 V dos circuitos, evitando colocar sinais carregados com energia nos pinos do circuito e no microcontrolador.

Para garantir o nível lógico alto, durante a utilização dessas chaves, é configurado resistores de *pull-up* internamente nos pinos do microcontrolador. Em paralelo com as chaves do tipo *push button* é adicionado um capacitor para evitar repiques causados durante o acionamento.

A Figura 26 a seguir mostra o circuito utilizado para cada dispositivo de comando. A chave utilizada é do modelo PBS-12B 2T e é apresentado na Figura 27.

Figura 26: Circuito das chaves de controle



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 27: Chave modelo PBS-12B 2T



Fonte: Jietong Electronic (2019).

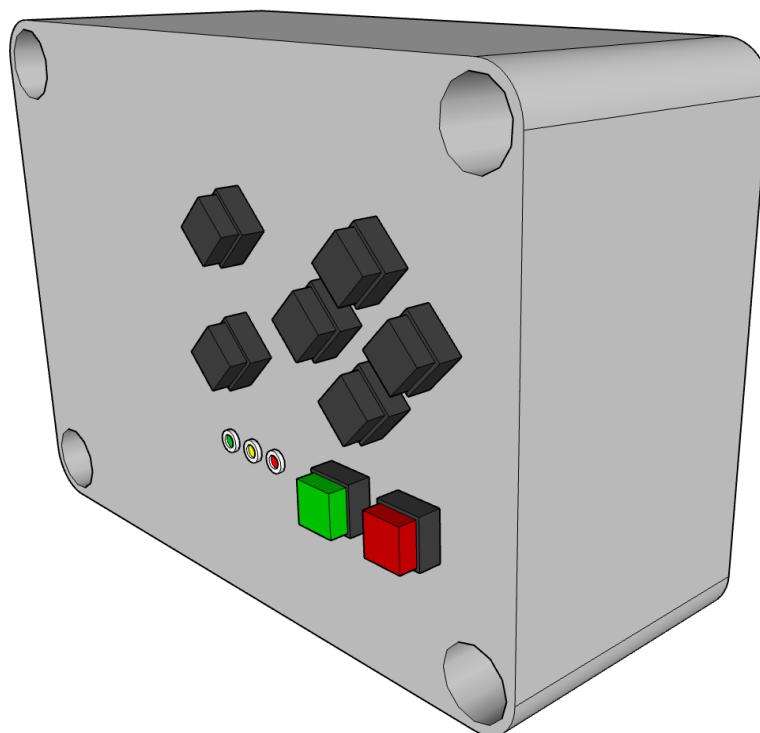
As teclas do modelo PBS-12B 2T utilizadas foram escolhidas pelo seu baixo custo e facilidade na aplicação, além de atender todas as especificações mínimas requeridas pelo projeto.

As características principais desse circuito são apresentadas na relação a baixo:

- Tensão máxima de funcionamento: 250 V<sub>AC</sub>;
- Corrente máxima de acionamento: 3 A;
- Tipo de contato: 1 contato normalmente aberto;
- Sem trava;
- Aplicação para painel;

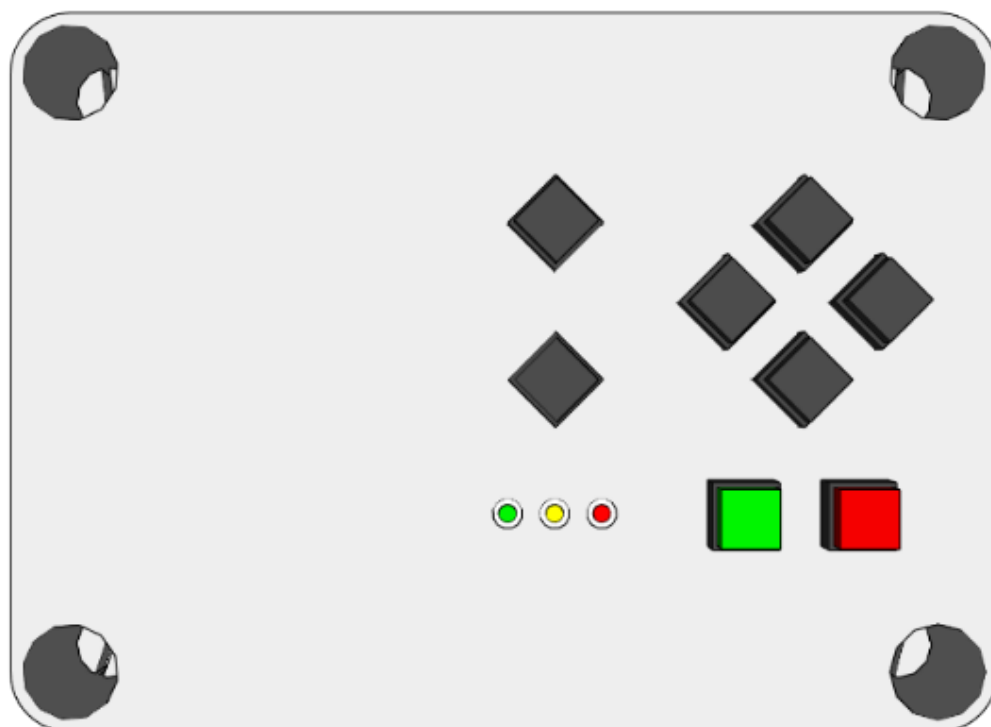
A partir de todos os itens definidos para utilização, foi realizado um projeto mecânico do painel de comandos. Nas Figura 28 e Figura 29 é apresentado o projeto mecânico do painel com respectivas vistas em perspectiva e vista frontal.

Figura 28: Projeto mecânico pela vista em perspectiva



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 29: Projeto mecânico pela vista frontal



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.5 Tupia da Fresadora

Para os materiais que serão usinados, que normalmente serão de placas de circuito como fibra de vidro, fenolite, etc. será utilizado um motor com um mandril acoplado ao eixo.

A potência do motor deve ser suficiente para usinar qualquer material utilizado para confeccionar placas de circuito.

O motor utilizado tem as seguintes características a seguir:

- Tensão de funcionamento: 12 V - 48 V;
- Potência: 300 W;
- Velocidade de rotação: 3000 rpm;
- Torque: 40 N.cm.

A Figura 30 apresenta um modelo do motor utilizado.



Figura 30: Motor utilizado para fresamento



Fonte: Ali Express (2017)

Esse motor é utilizado, juntamente com a ferramenta de fresamento, para retirar o material de cobre da superfície de uma placa virgem de circuito integrado.

#### 4.2.6 Fontes de Energia dos Circuitos

As fontes utilizadas devem atender os requisitos mínimos de correntes e potências dos circuitos. Levando em consideração tudo que é alimentado como motores, *driver* e microcontrolador.

Os principais elementos acoplados no sistema que consomem energia são o motor da fresadora com 300 W, e os motores de movimentação dos eixos que cada um pode consumir 21 W, ou seja, o consumo total do sistema de motores é de 363 W.

Para a alimentação da placa de controle, se utiliza um regulador de tensão linear para 5 V, pois o consumo da placa de controle é mínimo.

As características da fonte principal utilizada são as seguintes:

- Modelo: S-500-12;
- Tensão de saída: 12 V;
- Corrente de saída: 41 A;
- Potência: 500 W;
- Tensão de entrada; 85 V-265 V.

A Figura 31 a seguir ilustra a fonte principal que será utilizada:

Figura 31: Fonte principal do circuito

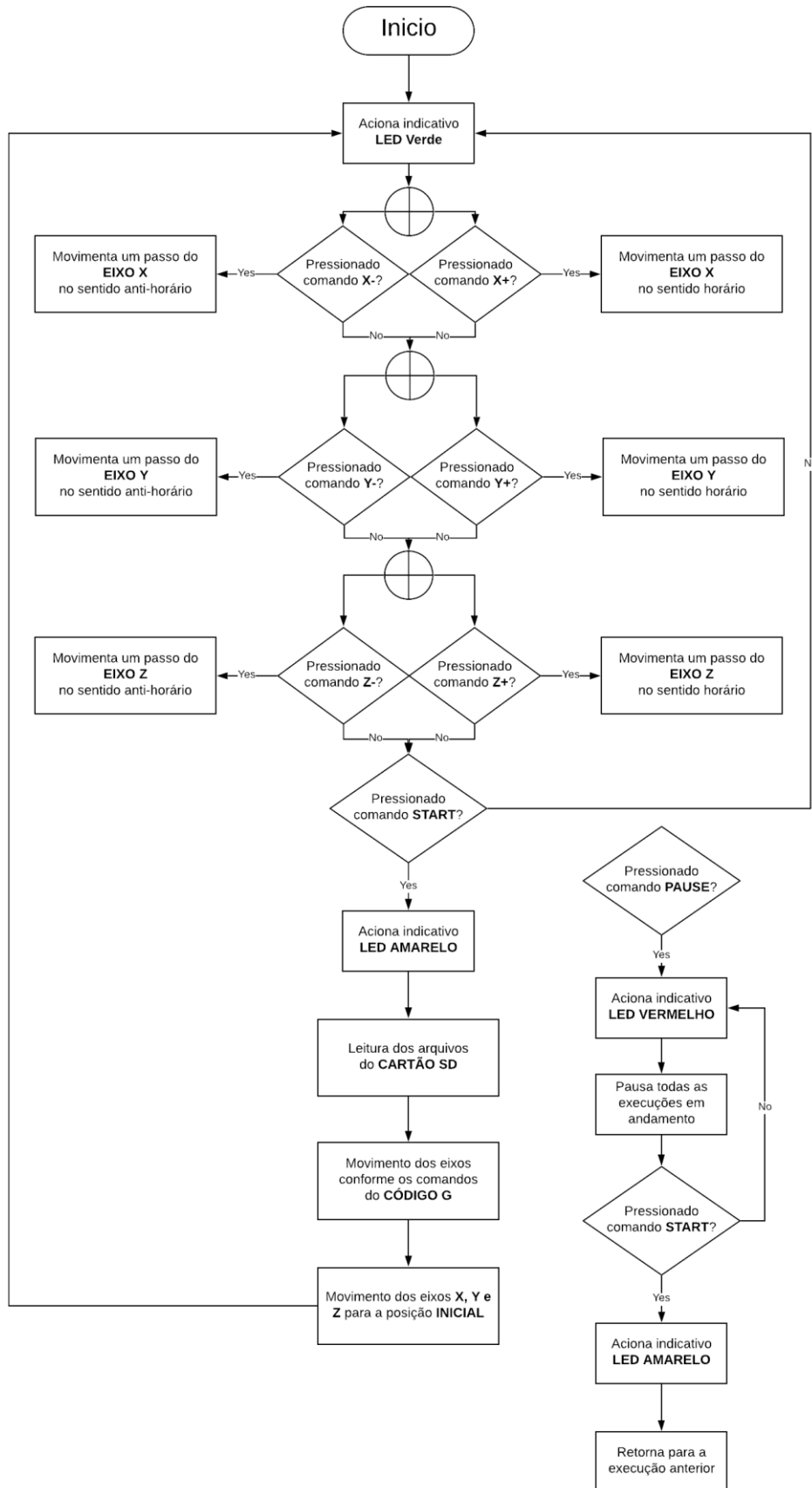


Fonte: Leyu Electric (2017)

Essa fonte será responsável por converter a corrente e tensão alternada para uma corrente e tensão contínua.

### 4.3 Estrutura de *Firmware*

O *firmware* é desenvolvido em linguagem de programação C e o ambiente de programação utilizado é a IDE System Workbench for STM32 da STMicroelectronics. A estruturação do *firmware* implementado deve seguir o fluxograma apresentado na Figura 32 a seguir. A estrutura do *firmware* consiste basicamente em movimentação dos eixos X, Y e Z, leitura dos arquivos no cartão de memória SD, interpretação dos comandos em códigos G, leitura das entradas e sinalização dos estados no painel de controle.

Figura 32: Fluxograma do *Firmware*

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.3.1 Movimentação dos Eixos

O bloco de *firmware* de movimentação dos eixos tem a função de garantir que a distância correta seja percorrida pelos mesmos. Para assegurar esse funcionamento é usada uma rotina que aciona o driver do motor de passo e conta a quantidade de passos dada pelo motor, então a partir das equações (1) e (2) é mensurada a distância percorrida durante a usinagem.

$$x_{mm} = \frac{x_{step}}{200} \cdot 2 \quad (1)$$

$$x_{mm} = \frac{x_{step}}{400} \cdot 2 \quad (2)$$

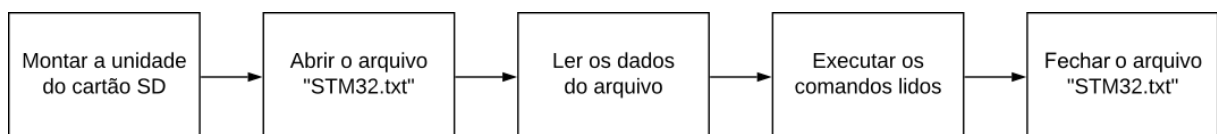
A equação (1) é utilizada para calcular a distância percorrida utilizando passo completo. A equação (2) é utilizada para calcular a distância percorrida utilizando meio passo.

As diferenças de passos são necessárias para obter resolução, precisão e velocidades diferentes, ou seja, com passo completo é obtido o dobro de velocidade do meio passo, porém com metade da resolução. Os valores da resolução do meio passo e passo completo são 0,05 mm e 0,025 mm respectivamente. A opção de movimentação por meio passo é usada para garantir uma precisão maior em pequenas distâncias, mas para percorrer distâncias sem ocorrer a usinagem do material é usado o passo completo para diminuir o tempo do processo de fabricação.

#### 4.3.2 Leitura dos dados do Cartão SD

A leitura dos dados deve ser realizada de tal forma que possam ser interpretados os comandos existentes nos arquivos do cartão SD. A Figura 33 a seguir apresenta um diagrama simplificado do procedimento de leitura dos arquivos do cartão SD.

Figura 33: Diagrama da leitura do cartão SD



Fonte: Elaborado pelo autor.

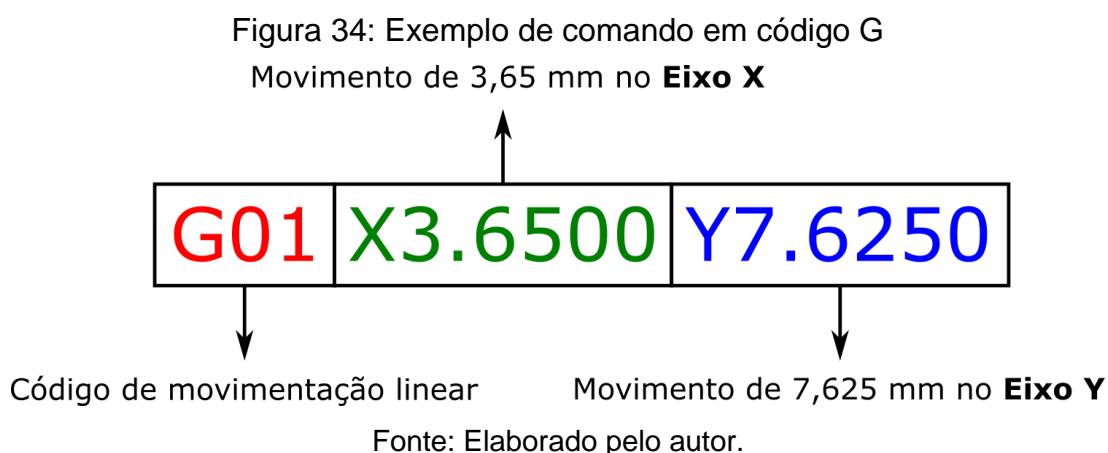
O código G é utilizado para a realização das tarefas e rotinas de movimentação dos eixos. Esses comandos devem ser salvos em um arquivo de tipo simples, com o formato de texto puro ASCII (extensão .txt) com o nome de STM32. A leitura e execução dos comandos é realizada, linha após linha, evitando *buffer* desnecessário na memória do dispositivo.

O meio de comunicação com o cartão SD é pelas linhas SDIO, ou seja, é utilizado quatro linhas de sinal, mais rápida que utilizando SPI. O padrão SDIO é destinada a tornar o cartão SD utilizável sem a necessidade da instalação de um driver ou hardware específico para essa função.

#### 4.3.3 Interpretação do código G

Após a correta leitura dos dados do cartão SD deve ser realizada a interpretação do código descrito na linha do arquivo. O código G deve ter apenas um código por linha e há uma tabela com códigos pré-definidos que devem ser seguidos. Os códigos são padronizados e devem ser seguidos por todas as máquinas que operam com esse padrão.

O padrão de escrita do código G é definido basicamente pelo código do comando a ser executado, seguido pela distância que deve ser percorrido a partir de um ponto e deve ser descrito para qualquer eixo utilizado. Para comandos mais complexos pode haver mais parâmetros adicionais que devem ser levados em consideração para a utilização. A Figura 34 a seguir exemplifica um comando em código G.



A Tabela 4 apresenta os comandos mais comuns utilizados para a usinagem no código G.

Tabela 4: Comandos mais comuns do código G

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
G00	Movimento Rápido
G01	Interpolação Linear
G02	Interpolação Circular Sentido Horário
G03	Interpolação Circular Sentido Anti-Horário
G17	Seleciona Plano XY
G18	Seleciona Plano XZ
G19	Seleciona Plano YZ
G20	Dados em Polegadas
G21	Dados em Milímetros
G28	Retorno a Posição de Referência
G90	Coordenadas Absolutas
G91	Coordenadas Incrementais

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.3.4 Leitura das Entradas Digitais

As entradas digitais são necessárias para a interpretação para o início e pausa de processo de usinagem da placa de circuito impresso e para a movimentação manual dos eixos X, Y e Z.

Para a movimentação manual adequada dos eixos, é utilizado seis dispositivos de comando que é interpretado com nível lógico baixo, ou seja, ao ser colocar um sinal para o potencial de 0 V<sub>DC</sub>, o movimento é realizado com um passo a cada 5 milissegundos para os eixos X e Y e um passo a cada 40 milissegundos para o eixo Z. Um movimento manual mais lento no eixo de profundidade garante uma precisão maior durante o posicionamento inicial.

O sinal de início e pausa é interpretado com nível lógico baixo, ou seja, ao ser colocado um sinal para o potencial de 0 V<sub>DC</sub>, é instantaneamente iniciado ou parado o processo respectivamente com o botão pressionado. O pressionamento do comando de pausa faz o sistema para no estado e posição atual de usinagem. Após o comando de início não é possível realizar comandos de movimentos manuais, pois assim se evita que possa ocorrer desvios e erros durante a usinagem da placa.

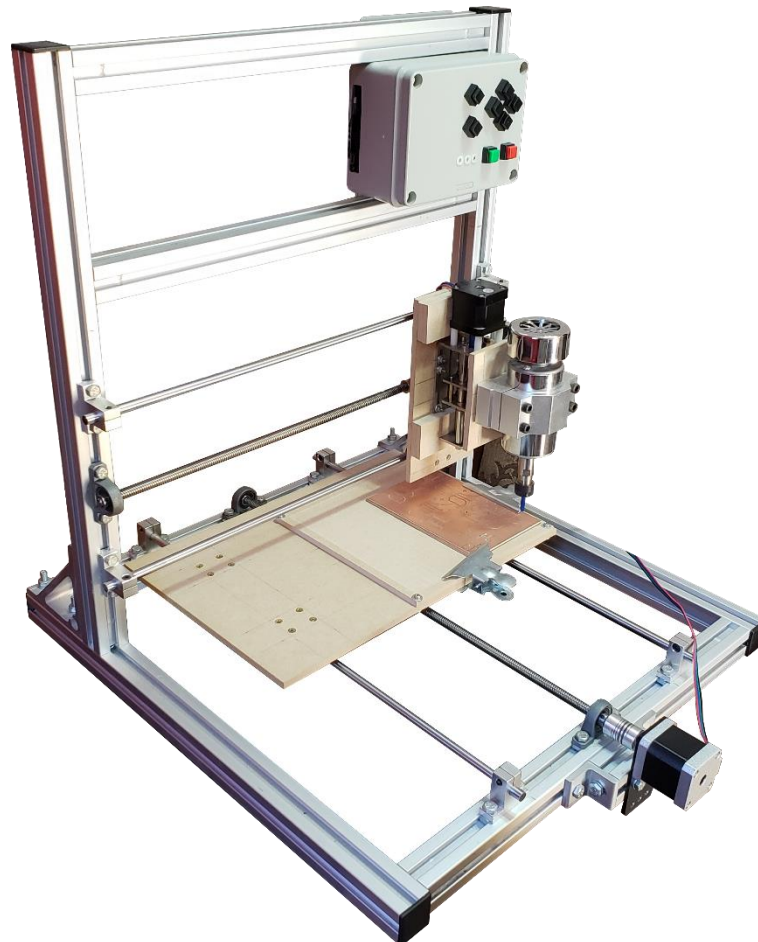
## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, são apresentadas as análises de resultados e discussões pertinentes ao protótipo desenvolvido neste trabalho.

### 5.1 Estrutura Mecânica

Perfis de alumínio se mostraram boas soluções para o desenvolvimento estrutural do projetada, sendo rígida o suficiente e resistindo de forma adequada as vibrações geradas pelo processo de fresamento. A facilidade no manuseio e montagem é dada pela grande variedade de acessório disponíveis no mercado, assim se atingindo agilidade na montagem do projeto. Foi possível realizar todo o processo de fabricação da estrutura sem modificações no projeto original. A Figura 35 e a Figura 36 a seguir apresenta o resultado obtido na montagem da estrutura mecânica.

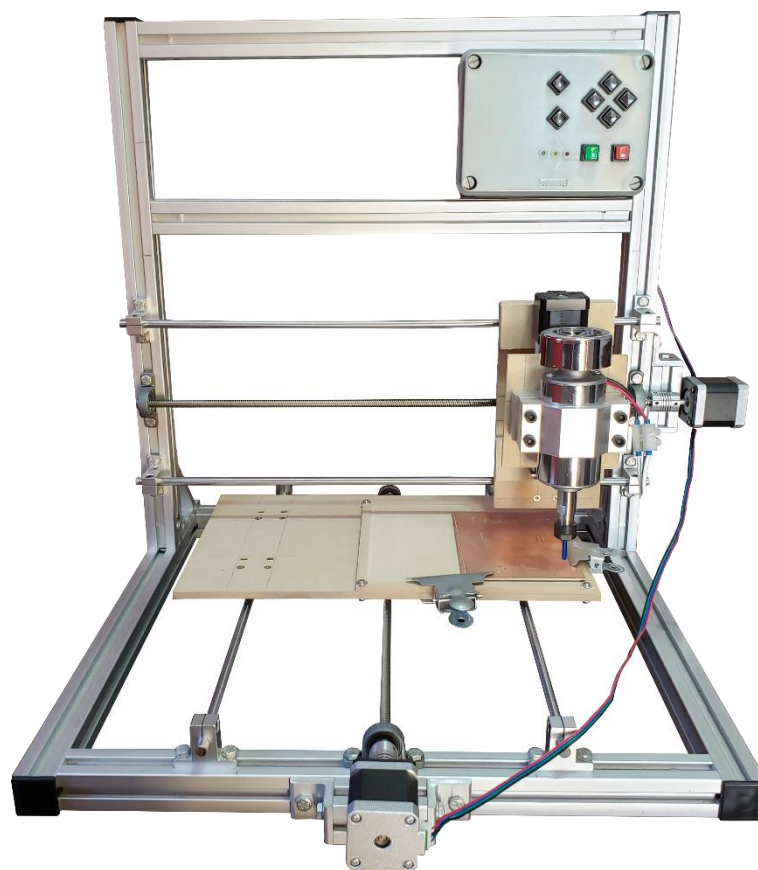
Figura 35: Estrutura mecânica desenvolvida



Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 36: Estrutura mecânica desenvolvida



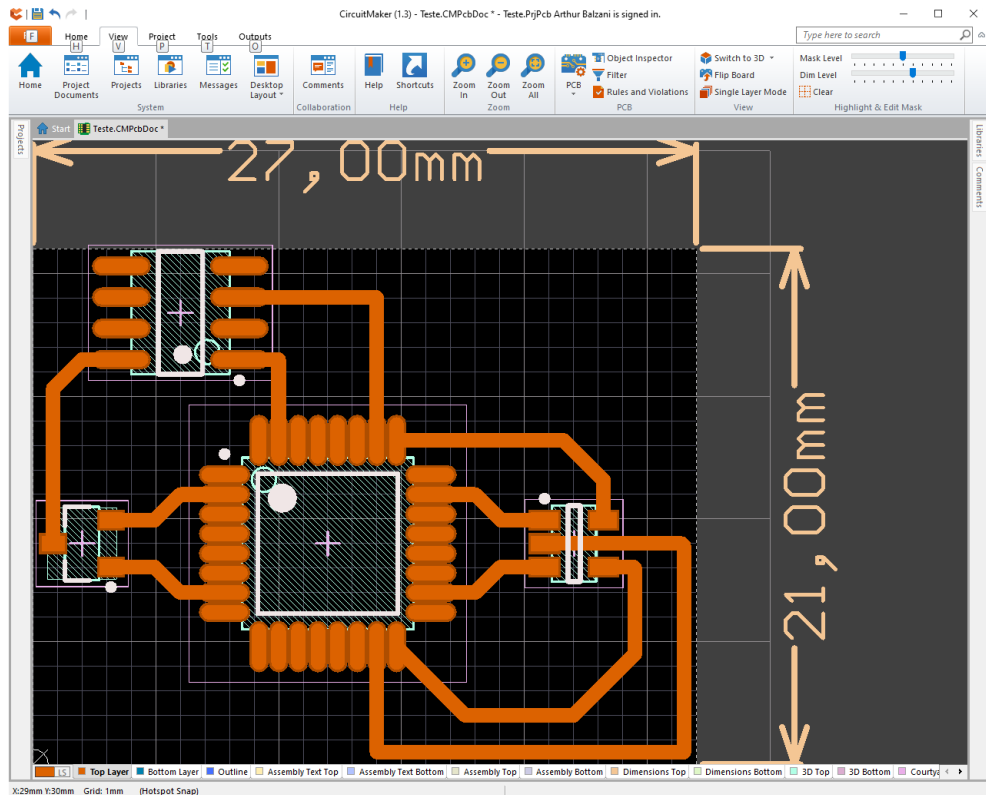
Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5.2 Protótipo Placa de Circuito Impresso

Para realizar a validação do projeto e do equipamento construído foi gerado os arquivos no formato suportado a partir dos softwares Circuit Maker®, onde esse foi responsável pelo desenho do esquema eletrônico e do desenho da placa de circuito, e do software FlatCAM®, esse responsável por transformar os arquivos da placa de circuito impresso em comando de código G.

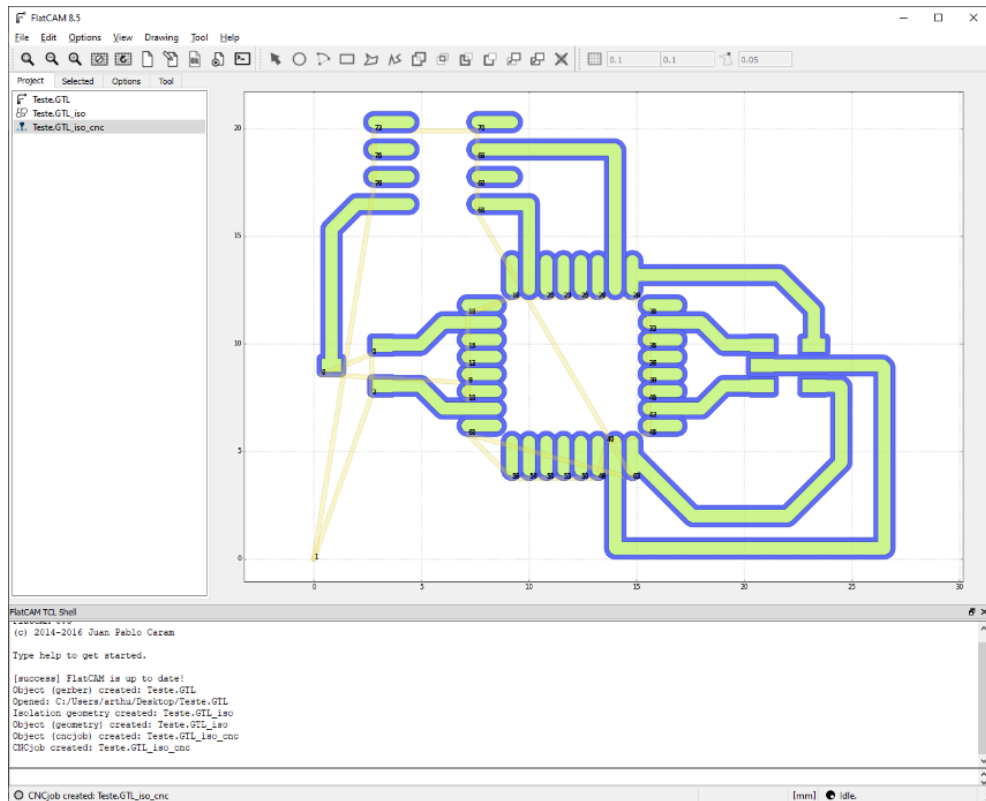
O projeto da placa de circuito realizado no Circuit Maker® pode ser verificado na Figura 37, o projeto da usinagem desenvolvido no FlatCAM® é mostrado na Figura 38.:

Figura 37: Leiaute desenvolvido no Circuit Maker®



Fonte: Elaborado pelo autor.

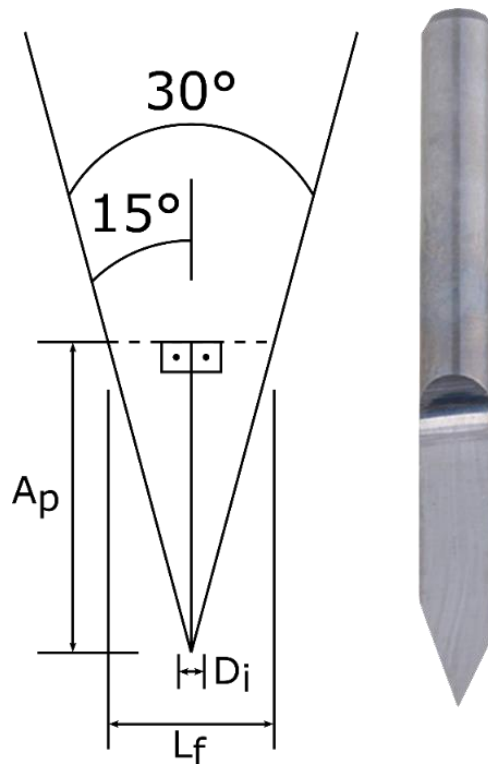
Figura 38: Projeto de Usinagem no FlatCAM®



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi utilizado uma ferramenta cônica com diâmetro de corte inicial de 0,1 milímetros e com um ângulo de corte de 30 °. Conforme a Figura 39, para uma profundidade de perfuração 0,1 milímetros se pode obter uma cavidade de aproximadamente 0,2 milímetros de largura, essa profundidade é suficiente para remover o cobre presente na placa e isolando o circuito eletrônico projetado. Esse tipo de usinagem é compatível com a tecnologia SMT.

Figura 39: Fresa utilizada para usinagem das placas



Fonte: Elaborado pelo autor.

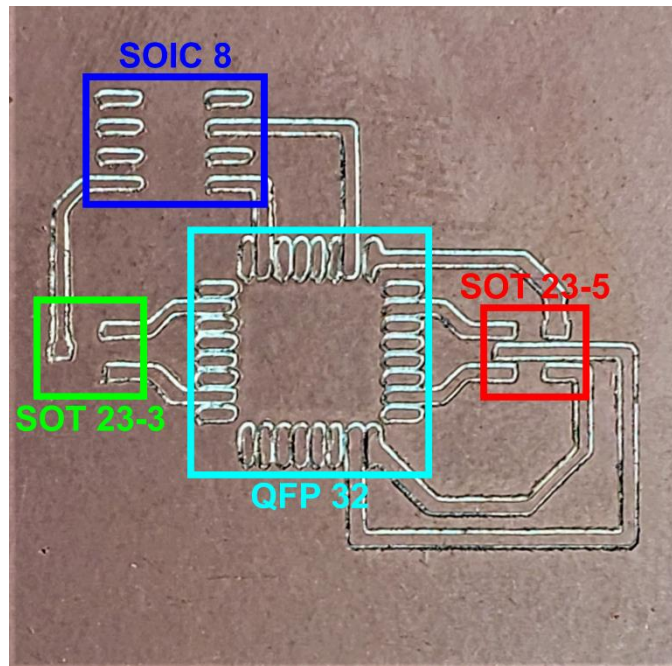
Onde:

- $L_f$  = Largura da usinagem em milímetros;
- $A_p$  = Profundidade de corte em milímetros;
- $D_i$  = Diâmetro inicial da fresa;
- $\theta$  = Ângulo da fresa em graus;

Através da resolução obtida com os motores de passo, o conjunto mecânico de movimento e juntamente com a fresa cônica de diâmetro inicial de 0,15 mm com ângulo de corte de 30 °, é possível obter precisão na usinagem de uma placa de circuito impresso com uma alta densidade de componentes SMD. Na Figura 40 é possível visualizar o resultado obtido na usinagem realizada.

A largura da trilha do circuito impresso não depende e não tem ligação com a espessura ou o ângulo da fresa utilizada, a fresa apenas realiza um contorno na trilha, ela não invadirá a trilha e prejudicar o projeto.

Figura 40: Resultado da usinagem realizada



Fonte: Elaborado pelo autor.

O elemento principal da Figura 40 é um componente SMD com encapsulamento QFP 32, onde as trilhas fabricadas pela máquina possuem aproximadamente 0,6 mm de largura. É possível observar também componentes com outros tipos de encapsulamento como SOIC 8, SOT 23-3 e SOT 23-5, todos destacados na imagem.

### 5.3 Nivelamento do Eixo Z

Um desnível na mesa já era esperado antes mesmo do início da fabricação da estrutura da máquina, tanto pela montagem manual, quanto pelo tipo de alguns materiais utilizados serem de baixo custo. Pode ser verificado um desnível de aproximadamente 0,2 mm de altura em vários pontos da mesa de apoio, esse desnível foi constatado durante testes de usinagem em placas. Para contornar esse problema foi adicionado, sobre a mesa, mais uma chapa de MDF conforme pode ser visto na Figura 41.

Figura 41: Chapa de MDF de sacrifício



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando adicionado uma chapa sobre a mesa foi possível resolver o problema de nivelamento, realizando um faceamento, utilizando um fresa de topo, por toda a área da chapa com 0,3 milímetros de profundidade. Ao sobrepor essa chapa sobre a mesa principal também é possível evitar danos a ferramenta de corte e/ou a própria mesa principal, servindo como elemento de sacrifício.

Durante a usinagem realizada, é possível verificar nos resultados obtidos que os protótipos não apresentam irregularidade e diferenças na profundidade, então o problema de nivelamento foi resolvido. É recomendável que a substituição da placa de sacrificio seja substituído com tempo de uso, conforme necessidade.

#### **5.4 Velocidade de Avanço**

O máximo valor de velocidade de avanço alcançado foi de 1200 milímetros por minuto. Caso a velocidade de avanço for aumentada acima desse valor, com a sequência de acionamento das fases, os motores de passo podem perder a sincronia. Como não há um controle de posicionamento, ocorre a perda de sincronia dos passos e causa conseqüentemente a perda da referência. Para velocidades de avanço maiores que 900 milímetros por minuto a perda de torque é proporcionalmente reduzido. Desta forma, para garantir um bom acabamento e uma precisão maior,

durante a usinagem a velocidade de avanço é fixa em 90 milímetros por minuto e não pode ser alterada, visto que apenas placas de circuito serão produzidos nessa máquina.

### 5.5 Painel de Controle

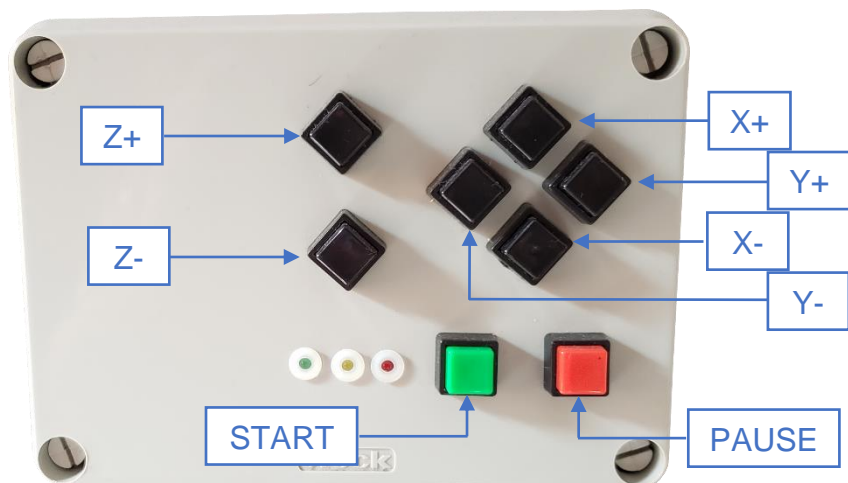
A seguir a Figura 42 e a Figura 43 mostra o painel de controle e apontando todos os comandos e indicadores disponíveis.

Figura 42: Painel de controle



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 43: Painel de controle



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 6 CONCLUSÃO

Nesta seção, são apresentadas as considerações finais, problemas encontrados no desenvolvimento e oportunidades de melhoria.

### 6.1 Considerações finais

Neste trabalho de conclusão de curso foi desenvolvido uma fresadora CNC didática de pequeno porte, para prototipação de placas de circuito impresso, proporcionando com detalhes os elementos chave envolvidos nas etapas de projeto e fabricação da estrutura mecânica, do *hardware* envolvido e da estrutura base do *software*.

A partir da metodologia, do trabalho realizado e dos resultados obtidos, se pode definir que a proposta inicial foi realizada com sucesso. Após a finalização da montagem do protótipo, é possível avaliar que o sistema se demonstra totalmente funcional, integrando todas as funcionalidades necessárias que foram previamente definidas.

Conforme já mencionado neste trabalho, de acordo com os resultados obtidos, foi desenvolvido uma máquina compacta com tamanho de 500 milímetros de comprimento, 500 milímetros de largura e 530 milímetros de altura, precisão com resolução de 0,025 milímetros e velocidade de avanço de 90 milímetros por minuto. Isso é possível devido a utilização de perfis de alumínio estrutural juntamente com guias lineares e fusos trapezoidais, que se mostraram uma solução extremamente vantajosa, de baixo custo e de fácil implementação.

A operação da fresadora durante o processo de prototipagem é considerada simples, exceto nas etapas de fixação da placa virgem, troca de ferramenta de corte e referenciamento da ponta da ferramenta de corte no eixo Z, onde esses elementos são os que exigem maior atenção e cuidado. Não há grandes riscos de acidente durante o processo de operação da máquina, porém, as normas de segurança NR 10 e NR 12 não foram completamente atendidas, pois não existem proteções que evitem o manuseio durante a operação da fresadora e não há um botão de emergência para o desligamento direto.

Quanto ao microcontrolador, especificamente, se mostrou muito capaz de integrar todas as necessidades pertinentes a este protótipo. Este microcontrolador



pode ser utilizado sem problemas para todas as aplicações, principalmente quando se trata de uso contínuo onde a velocidade de processamento e aquisição de informações são importantes.

Resumindo, foi possível integrar todas as etapas de construção mecânica, movimentação e controle com a demais funcionalidades, o trabalho apresentado autentica na prática o conceito proposto. Para que este protótipo se torne um produto, são necessárias diversas melhorias e certamente ele pode se tornar um, e ser instalado em centros de usinagem e universidades fornecendo ao usuário um valor muito próximo do seu consumo e permitindo o planejamento e controle de gastos.

### **6.1 Problemas encontrados**

Dada complexidade e a quantidade de áreas tecnológicas envolvidas, surgiram vários desafios durante as etapas de projeto e fabricação, exigindo a integração do conhecimento obtido em cada unidade curricular do curso de engenharia elétrica, e auxílio do professor orientador.

As principais barreiras enfrentadas foram a necessidade da correta montagem dos elementos mecânicos, principalmente o alinhamento das guias lineares e do fuso trapezoidal. Porcas anti folga foram a solução encontrada para os problemas de folga nos elementos de movimentação, e para o problema de torção nos elementos do eixo Z a solução foi a utilização de calços de apoio.

A fixação do elemento a ser usinado é algo crítico e um empecilho que deve ser levado em consideração. A solução utilizada foi projetada para proporcionar uma troca rápida da placa de circuito e não é a melhor opção, visto isso deve ser utilizado elementos adicionais de fixação como parafusos passantes e fitas dupla face.

### **6.1 Oportunidades de melhoria**

Com a fresadora CNC para prototipação de placas concluída, se pode observá-la com olhar crítico, para corrigir eventuais problemas e inovar as tecnologias empregadas, uma rápida reflexão sobre implementações de certas melhorias são sugeridas como propostas para novos trabalhos acadêmicos.

A implementação de dispositivos de controle de posição são uma ótima oportunidade de melhorar o controle da máquina, adicionado elementos de final de



curso de movimento e também um sensor *encoder* de posição acoplados aos eixos trapezoidais ligados aos motores de passo, esse para garantir o correto movimento os eixos.

Adicionar uma tela gráfica, assim melhorando o aspecto de *design* e utilização, capas de exibir os arquivos disponíveis no cartão de memória, ou até mesmo mostrar a movimentação dos eixos com o trabalho já realizada na usinagem, juntamente com o tempo realizado e tempo restante de trabalho.

Adicionar um sistema de troca automatizada de ferramenta, garantiria uma melhoria na utilização e um aumento na confiabilidade do funcionamento da máquina, em conjunto com um controle na velocidade do *spindle*.

## REFERÊNCIAS

ALIEXPRESS. **3D Printer T8 Stainless Steel Trapezoidal Lead Screw + Nut + Shaft Coupling + Mounting Support 8MM Pitch 2mm Length 250 mm**. Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/item/3D-printer-T8-Stainless-Steel-Trapezoidal-Lead-Screw-nut-Shaft-Coupling-mounting-support-Dia-8MM-Pitch/32808877401.html?spm=a2g03.10010108.1000016.1.635d72f5Z587wO&isOriginalTitle=true>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

ALIEXPRESS. **CNC 3D Printer Parts Accessory Reprap pololu A4988 Stepper Motor Driver Module with Heatsink for ramps 1.4 Free Shipping**. Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/item/CNC-3D-Printer-Parts-Accessory-Reprap-pololu-A4988-Stepper-Motor-Driver-Module-with-Heatsink-for-ramps/32548659485.html?spm=a2g03.10010108.1000016.1.47c36b4fXVbVJ1&isOriginalTitle=true>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

ALIEXPRESS. **CNC Spindle 300W DC Spindle Motor ER11 Air Cooled Routers 52mm 0.3KW Milling Machine Tools**. Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/item/CNC-Spindle-300W-DC-Spindle-Motor-ER11-Air-Cooled-Routers-52mm-0-3KW-Milling-Machine-Tools/32833871456.html?spm=a2g03.10010108.1000016.1.351063cf70on2v&isOriginalTitle=true>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

ZHEJIANG LEYU ELECTRIC CO., LTD. **Big Power Single Output 500W Switching Power Supply S-500-12 12V Output PSU**. Disponível em: <<https://leyuelectric.en.made-in-china.com/product/IsZQdIGTXhkA/China-Big-Power-Single-Output-500W-Switching-Power-Supply-S-500-12-12V-Output-PSU.html>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

ANTONIO, Marco. CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO ESPÍRITO SANTO (CEFETES). **Programação de Microcontroladores PIC Utilizando Linguagem C**. Vitória, [2006]. Disponível em: <<http://www.pictronics.com.br/downloads/apostilas/Apostila-Pic-C.pdf>>. Acesso em: 09 mai. 2018.

ARM LIMITED. **ARM Architecture Reference Manual**. [S.l.], [2005]. Disponível em: <[https://www.scss.tcd.ie/~waldroj/3d1/arm\\_arm.pdf](https://www.scss.tcd.ie/~waldroj/3d1/arm_arm.pdf)>. Acesso em: 22 mai. 2018.

BOCCATO, Levy. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP). **Processador ARM**. Campinas, [2016]. Disponível em: <[http://www.dca.fee.unicamp.br/~lboccatto/topico\\_3.1\\_processor\\_ARM.pdf](http://www.dca.fee.unicamp.br/~lboccatto/topico_3.1_processor_ARM.pdf)>. Acesso em: 23 mai. 2018.

CARSTENS, Samuel Filipe; CARSTENS, Tiago Alexandre. **Projeto e Fabricação de uma Fresadora CNC para Prototipagem de Placas de Circuito Impresso**. 2015. 189 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, do Instituto Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015. Disponível em: <<http://joinville.ifsc.edu.br/~bibliotecajoi/arquivos/tcc/mecind/156169.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

COOMBS, Clyde. F. **Printed Circuits Handbook, Sixth Edition**. 6th ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

CUNHA, Henrique. **Tipos e especificações de motores de passo**. Revista Controle e Instrumentação, [S.l.], ed. 87, p. 24-32, Dezembro, 2003.

FILIPEFLOP COMPONENTES ELETRÔNICOS LTDA. **Driver Motor de Passo A4988**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/driver-motor-de-passo-a4988>>. Acesso em: 22 jun. 2018.

FITZPATRICK, Michael. **Introdução à usinagem com cnc**. 1. Porto Alegre Bookman 2013 (Tekne) ISBN.

FORSET SOLUÇÕES. **Perfil Estrutural em Alumínio 30x30 Básico**. Disponível em: <<https://loja.forsetisolucoes.com.br/image/cache/data/PF40-01-500x500.jpg>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

GUANGZHOU HANPOSE 3D TECHNOLOGY CO., LTD. **Stepper Motor 42 Motor 17HS8401 2-Phase Stepper Motor for CNC Machine**. Disponível em: <<https://hanpose.en.made-in-china.com/product/XyNJGWjPIVke/China-Stepper-Motor-42-Motor-17HS8401-2-Phase-Stepper-Motor-for-CNC-Machine.html>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

JARAGUA CNC. **O que é Router CNC?**. Disponível em: <<https://jaraguacnc.com.br/o-que-e-router-cnc.html>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

KALATEC. **Motor de Passo – Tudo o que você precisa saber**. [S.l.], [2016]. Disponível em: <<http://www.kalatec.com.br/motoresdepasso/motor-de-passo>>. Acesso em: 02 Mai. 2017.

KENJO, Takashi. **Stepping Motors and Their Microprocessor Controls**. 1. Ed. Oxford University Press, 2004.

MACHADO, Aryoldo. **Comando numérico: aplicado às máquinas-ferramenta**. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1990. 461 p.

MASISA. **MDF**. Disponível em: <<http://www.masisa.com/eng/producto/mdf/>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

MOHAN, Ned. **Máquinas elétricas e acionamentos curso introdutório**. Rio de Janeiro 2015.

NABER, J.; BRANSON, J.; EDELEN, G. **A simplistic printed circuit board fabrication process for course projects**. IEEE Transaction on Education, 43(3), 257-261, 2000.

NERY, H.; DAMIÃO, P.; JESYS, W.; STEFANO, L. **Prototipadora de placas de circuito impresso para sistemas eletrônicos**. Centro Universitário Uniradial. São Paulo, 2008.

NINGBO JIETONG ELECTRONIC CO., LTD. **Push-Button Switch**. Disponível em: <[http://www.jietongswitch.com/en/product\\_show.asp?id=1853](http://www.jietongswitch.com/en/product_show.asp?id=1853)>. Acesso em: 15 out. 2019.

OVERBY, A. C. N. C. **Machining Handbook: Building, Programming and Implementation**. New York: McGraw-Hill, 2010.

PEREIRA, Fabio. **PIC – Programação em C**. Editora Érica Ltda, São Paulo, 2003.

PEREIRA, Jander; SANTANA, Lucas; ALCÂNTARA, Yuri Marinho. **Desenvolvimento de uma Mesa Fresadora CNC para Placas de Circuito Impresso para Telecomunicações**. 2015. 13 f. Artigo Científico - XIV SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica. Universidade Salvador. Disponível em: <[www.revistas.unifacs.br/index.php/sepa/article/download/3825/2767](http://www.revistas.unifacs.br/index.php/sepa/article/download/3825/2767)>. Acesso em: 10 jun. 2018.

PETRUZELLA, Frank. **Motores elétricos e acionamentos**. 1. Porto Alegre Bookman 2013.

PICTRONICS (2014). **Tudo sobre PIC**. [S.l.], [2016]. Disponível em: <<http://www.pictronics.com.br/artigos-tecnicos/43-eletronica-e-automacao.pdf>>. Acesso em: 23 Mar. 2017.

ROSA, Vitor. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS). **Advanced RISC Machine**. Porto Alegre, [2008]. Disponível em: <<http://www.inf.ufrgs.br/~flavio/ensino/cmp237/arm7.pdf>>. Acesso em: 23 mai. 2018.

SCHMIDT, S. **PCB Prototyping Systems Put to Word**. Wireless Design & Development, 2000.

SILVA, Sidnei Domingues da. **CNC: programação de comandos numéricos computadorizados - torneamento**. São Paulo: Érica, 2004. 308 p.

SINCAK, Carlos Henrique; LERMEN, Richard Thomas; DILDA, Vanessa. **Projeto, Construção e Funcionamento de uma Máquina CNC com Plataforma Livre - Arduino**. 2016. 10 f, 67-76. Artigo Científico - Revista de Empreendedorismo, Inovação e Tecnologia. Faculdade Meridional. Disponível em: <<https://seer.imed.edu.br/index.php/revistas/article/view/1538/1093>>. Acesso em: 22 jun. 2018.

STECK. **Caixa Light - 154 x 110 x 70**. Disponível em: <<https://www.steck.com.br/produtos/caixas-de-passagem-e-distribuicao/caixas-light/caixa-light-154-x-110-x-70>>. Acesso em: 12 out. 2019.

STM32DUINO. **STM32F407**. Disponível em: <<http://wiki.stm32duino.com/index.php?title=STM32F407>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

TRENTO, Arielton; PILATO, Fernando Patrick Ruiz Santiche. **Fresadora Microcontrolada para Placas de Circuito Impresso**. 2010. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/170.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

UMANS, Stephen D. **Máquinas elétricas : de Fitzgerald e Kingsley**. 7. ed. Porto Alegre: AMGH Ed., 2014.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP). **Servo Motor**. [S.l.], [2013].

Disponível em:

<<http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/aula-4---servo-motor-13-03-2013-final.pdf>>. Acesso em: 09 Mai. 2018.

VALENTINO, James; GOLDENBERG, Joseph. **Introduction to computer numerical control (CNC)**. 5th ed. Boston: Pearson, 2013. x, 541 p.

WATANABE, Bruno; MOREIRA, Clara Rodrigues; FELIX, Érico Pessoa; KOKUMAI, Fabíola Tocchini de Figueiredo; MOUTINHO, Guilherme Cruz; JUNIOR, Nilson Roberto Inocente; TANCREDO, Raul Galdino. **Construção de uma fresadora CNC confeccionadora de circuitos impressos, de baixo custo**. 2016. 9 f. Artigo Científico - Revista Interdisciplinar de Tecnologias e Educação (RIInTE). Instituto Federal de São Paulo (IFSP). Disponível em:

<[docplayer.com.br/docview/52/30785878](http://docplayer.com.br/docview/52/30785878)>. Acesso em: 22 jun. 2018.