

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**JAILSON NARCIZO DA SILVA**

**CONSTRUÇÃO DE UMA FRESADORA CNC DE TRÊS EIXOS COM ADAPTAÇÃO  
PARA CORTE E GRAVAÇÃO A LASER**

**MEDIANEIRA**

**2022**

**JAILSON NARCIZO DA SILVA**

**CONSTRUÇÃO DE UMA FRESADORA CNC DE TRÊS EIXOS COM ADAPTAÇÃO  
PARA CORTE E GRAVAÇÃO A LASER**

**Construction of a three-axis CNC milling machine with adaptation for laser  
cutting and engraving**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Alex Lemes Guedes.

**MEDIANEIRA**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**JAILSON NARCIZO DA SILVARUNO**

**CONSTRUÇÃO DE UMA FRESADORA CNC DE TRÊS EIXOS COM ADAPTAÇÃO  
PARA CORTE E GRAVAÇÃO A LASER**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 25/novembro/2022

---

Alex Lemes Guedes  
Mestrado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Alberto Noboru Miyadaira  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Lendro Antonio Pasa  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**MEDIANEIRA**

**2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria primeiramente fazer um agradecimento à minha família, pois possuem boa parte do mérito dessa conquista.

Agradeço ao meu orientador e amigo Prof. Me. Alex Lemes Guedes, pelo conhecimento e experiência transmitida em toda essa trajetória e por ter me auxiliado de diversas formas durante a graduação.

Gostaria de agradecer um amigo que ajudou muito na construção e idealização do projeto que é o Bruno Felipe Maihach e a todos os amigos que conheci durante o curso, no qual tiveram um papel importante na minha formação profissional e pessoal. Onde pude compartilhar momentos maravilhosos e que representaram uma segunda família para mim nesse período. Em especial todos do LAD.

Agradeço ao Prof. Dr. Leandro Herculano, pelo conhecimento, amizade e todos os trabalhos realizados durante período de estágio.

## RESUMO

As máquinas de comando numérico computadorizado (CNC) utilizam-se de alta tecnologia no que se refere à usinagem de precisão, podendo trabalhar com diversos tipos de materiais. Este trabalho tem como objetivo apresentar a construção de uma máquina de comando numérico computadorizado, demonstrando tanto o passo a passo da sua construção, como também todos os materiais utilizados, os desenhos e esquemas eletrônicos e os softwares de controle. O presente projeto surgiu a partir das dificuldades de desenvolvimento de produtos dentro do Laboratório de Automação e Desenvolvimento (LAD). Estas dificuldades vêm desde o processo de criação de placas de circuitos impresso até a construção da caixa de enclausuramento da eletrônica, entre outras peças. Com este tipo de maquinário é possível proporcionar vantagens como a otimização de tempo para o desenvolvimento de projetos e uma melhor qualidade de acabamento, tornando os produtos mais profissionais. Essa máquina foi construída com perfil estrutural de alumínio, fuso trapezoidal, motores de passo Nema e a plataforma de controle utilizada foi o Arduino rodando o firmware open source GRBL. O resultado desse projeto foi uma máquina leve, resistente e constituída de materiais de fácil aquisição. A máquina foi calibrada e os testes indicaram qualidade no trabalho com gravação em MDF (fibra de madeira de densidade média), necessitando que o usuário garanta que placa a ser fresada esteja nivelada em relação a máquina. Os testes com laser não foram realizados devido à falta de recurso financeiro para aquisição do material, mas a máquina tem suporte a encaixe de laser em seu cabeçote. Como melhorias futuras é sugerido a implementação de um sistema de auto nivelamento, e a melhoria de fusos e castanhas para evitar folgas que foram encontradas no sistema de movimentação da máquina.

**Palavras-chave:** motores elétricos; usinagem; microcontroladores; lasers.

## ABSTRACT

Computer numerical control (CNC) machines employ a high technology when it comes to precision machining, being able to work with different types of materials. This work aims to present the construction of a computerized numerical control machine, demonstrating step by step its construction, all the materials used, as well as electronic drawings, schematics and control software. The idea for the construction of this machine arose due to the difficulties of project development within the automation and development laboratory (LAD), these difficulties are found in the process of creating electronic circuit boards, their respective cases and other parts. With this type of machinery, it is possible to provide advantages such as time optimization in the development process of the projects, better quality of finishing in order to make more professional products. This machine was built with aluminum structural profile, trapezoidal spindle, Nema step motors and the control platform used was the Arduino running the open source GRBL firmware. The result of this project was a lightweight machine, resistant and constituted of materials of easy acquisition. The machine was calibrated, and the tests indicated quality in the work with engraving on MDF (medium density wood fiber), requiring the user to ensure that the plate to be milled is level in respect to the machine. The laser tests were not carried out due to lack of funds to acquire the material, but the machine supports laser fitting on its head. As future improvements, it is suggested the implementation a self-leveling system, and the improvement of spindles and nuts to avoid gaps that have been found in the machine's drive system.

**Keywords:** electric motors; machining; microcontrollers; lasers.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Arranjo de um sistema CNC .....	14
Figura 2 - Gráfico plano cartesiano .....	17
Figura 3 - Representação de uma máquina de 3 eixos lineares. ....	17
Figura 4 - Exemplo de fuso .....	18
Figura 5 - Motor de passo híbrido .....	19
Figura 6 - Tipo de ligação de motores de passo com 4,5,6,8 terminais .....	20
Figura 7 - Fluxograma de funcionamento .....	21
Figura 8 - Modelo dos perfis da CNC .....	22
Figura 9 - Guia ajustável com roldanas para perfil estrutural .....	22
Figura 10 - Modelo do acoplamento de Nylon .....	23
Figura 11 - Fuso trapezoidal.....	24
Figura 12 - Acoplamento flexível .....	24
Figura 13 - Modelo castanha sistema ante folga .....	25
Figura 14 - Explicação da estrutura eixo Z e Y e Cabeçote .....	25
Figura 15 - Montagem do cabeçote.....	26
Figura 16 - Acabamentos utilizados na CNC.....	27
Figura 17 - Diagrama do esquema elétrico da CNC.....	27
Figura 18 - Fonte 12V DC .....	28
Figura 19 - Botão e entrada USB .....	29
Figura 20 - Shield uno para interface de CNC.....	29
Figura 21 - <i>Driver</i> a4988 utilizado para acionamento dos motores .....	30
Figura 22 - Esquemático do circuito de controle velocidade do <i>spindle</i> .....	30
Figura 23 - Placa controle velocidade do <i>spindle</i> .....	31
Figura 24 - Motor de passo Nema 17 .....	31
Figura 25 - <i>spindle</i> .....	32
Figura 26 - Módulo <i>laser</i> .....	34
Figura 27 - Universal G-code Sender .....	35
Figura 28 - Calibração eixo X, Y e Z .....	36
Figura 29 - CNC finalizada vista frontal.....	38
Figura 30 - CNC finalizada vista traseira .....	38
Figura 31 - Ligação entra a estrutura com seu <i>hardware</i> .....	39
Figura 32 - Disposição do <i>hardware</i> da CNC.....	40
Figura 33 - Fresa 3mm formato em V .....	41
Figura 34 - Teste de calibração e repetibilidade do eixo X.....	42
Figura 35 - Teste de calibração e repetibilidade do eixo y .....	42
Figura 36 - Teste de continuidade dos eixos X e Y .....	43
Figura 37 - Deslocamento da ferramenta durante a usinagem .....	44
Figura 38 - Ponto da máquina onde tem jogo .....	44

Figura 39- Interface de controle rodando na CNC.....	45
Figura 40 - Teste de gravação em madeira.....	46



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista dos principais comandos em código G .....	16
Tabela 2 - Especificações do motor Nema 17 .....	32
Tabela 3 - Descrição do motor <i>spindle</i> .....	33
Tabela 4 - Descrição do <i>laser</i> .....	34

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Sistema de controle da CNC.....</b>	<b>13</b>
2.1.1	Unidade de entrada de dados e Controlador.....	14
2.1.2	Código G .....	15
2.1.3	Sistema de coordenadas da CNC .....	16
2.1.4	Sistema de movimentação .....	18
<b>2.2</b>	<b>Sistema de acionamento da CNC.....</b>	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS MÉTODOLÓGICOS.....</b>	<b>21</b>
<b>3.1</b>	<b>Estrutura .....</b>	<b>21</b>
3.1.1	Perfil estrutural e guias.....	21
3.1.2	Mancais .....	23
3.1.3	Fusos, Buchas e Castanhas.....	23
3.1.4	Cabeçote .....	25
3.1.5	Acabamentos .....	26
<b>3.2</b>	<b>Hardware .....</b>	<b>27</b>
3.2.1	Diagrama da parte elétrica .....	27
3.2.2	Alimentação.....	27
3.2.3	Arduino e USB.....	28
3.2.4	Drivers .....	29
<u>3.2.4.1</u>	<u>Acionamento dos Motores de passo .....</u>	<u>29</u>
<u>3.2.4.2</u>	<u>Acionamento do Spindle.....</u>	<u>30</u>
3.2.5	Motor de Passo .....	31
3.2.6	Spindle .....	32
3.2.7	Módulo laser .....	33
<b>3.3</b>	<b>Software Universal G-code Sender.....</b>	<b>34</b>
<b>3.4</b>	<b>Calibração .....</b>	<b>35</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>36</b>
<b>4.1</b>	<b>Testes em bancada .....</b>	<b>36</b>
<b>4.2</b>	<b>Montagem da parte elétrica .....</b>	<b>38</b>
<b>4.3</b>	<b>Testes .....</b>	<b>40</b>
4.3.1	Testes de precisão e repetibilidade .....	40
4.3.2	Teste de linhas .....	42

4.3.3	Gravação em madeira .....	45
4.3.4	Velocidade de trabalho .....	45
<b>4.4</b>	<b>Utilização da fresa com laser .....</b>	<b>46</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO E MELHORIAS FUTURAS .....</b>	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As máquinas de comando numérico surgiram em meados de 1950, quando seu primeiro projeto foi de uma copiadora que recebia dados através de uma fita perfurada. Com o passar do tempo, máquinas de comando numérico tiveram uma evolução na qual seu controle passou a ser feito por computador, de modo que todo o sistema de *hardware* foi trocado por um *software* (VOLPATO, Abril, 2014). Desta forma surgiram as primeiras máquinas CNC (comando numérico computadorizado).

Para (AZEVEDO, 2017), as máquinas de comando numérico computadorizado atualmente são encontradas em diversos lugares, desde oficinas de garagem até grandes empresas de manufatura. Percebe-se uma aprovação de mais de 90% de todas as máquinas CNCs vendidas atualmente, implicando na geração de emprego em diversas áreas do setor, como programador de CNC, operador de máquina, preparador de máquina, manutenção, entre outros profissionais que trabalham com equipamentos relacionados à CNC. Portanto, para lidar com esta tecnologia a capacitação profissional é imprescindível, de forma a gerar alto nível de entendimento sobre estas máquinas.

Hoje em dia as CNCs são muito empregadas para usinagem de precisão. Estas máquinas funcionam através de um conjunto de *hardware* e *software* que recebe informações que permitem realizar qualquer tipo de operação. Deste modo, elas possuem seus próprios programas que processam informações e devolvem comandos para o sistema através de sinais elétricos. Estes sinais são enviados para os *drivers* de potência que são responsáveis pelos acionamentos dos motores que darão movimento aos eixos, assim realizando uma sequência de operação programada (AZEVEDO, 2017).

Este trabalho tem como objetivo construir e mostrar a estrutura de máquinas operatrizes controladas numericamente por computador, mostrando gradativamente sua estrutura, com todos os materiais utilizados, desenhos, esquemas eletrônicos e *softwares* de controle. A ideia de construir essa máquina se dá devido às dificuldades de aquisição desse tipo de maquinário por laboratório de pequeno porte, que necessitam de produtos que não podem ser feitos manualmente, como placas de circuito impresso bem como do desenvolvimento de caixas para produtos de eletrônica e demais componentes. Além disso a utilização desse tipo de máquina traz

vantagem como a otimização do tempo para o desenvolvimento de projetos, qualidade e garante repetitividade nos produtos.

Portanto o objetivo deste trabalho consiste na construção de uma máquina de comando numérico computadorizado (CNC) com área de trabalho mínima de 80 x 80 centímetros nos eixos horizontais e 15 cm no eixo vertical, num sistema cartesiano. Este dispositivo deve possuir movimento controlado e conhecido através de comunicação com um computador e apresentar possibilidade de adaptação de sistema de gravação e corte a laser.

Para atingir o objetivo geral do trabalho, define-se os seguintes objetivos específicos:

- Pesquisar modelos construtivos de CNC;
- Definir os componentes físicos e eletrônicos;
- Projetar e construir a estrutura física;
- Definir os programas de controle de eixos;
- Calibração e testes de funcionamento.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO

As máquinas CNC têm empregada nelas uma alta tecnologia nas áreas de eletrônica, mecânica e computação. Esta junção é realizada com o objetivo de permitir a fabricação de peças em grande quantidade, com alta qualidade e erro mínimo, se comparado com peças fabricadas manualmente (SILVA, 2015).

Segundo (AZEVEDO, 2017), as máquinas CNC são equipamentos que tem uma certa complexidade no seu manuseio, de forma que necessita de mão de obra especializada. Com o passar do tempo e com o avanço tecnológico, estes equipamentos começaram a trazer muitas vantagens para as indústrias, entre elas estão:

- Produção em série;
- Produção de peças mais complexas, com melhor acabamento superficial;
- Troca rápida de ferramentas;
- Maior tempo de vida útil para as ferramentas;
- Maior flexibilidade na produção de pequenos lotes;
- Redução da fadiga dos operadores.

Para (SILVA, 2015), as máquinas CNCs também tem desvantagens, que são:

- Necessidade de mão de obra especializada;
- Manutenção e programação do equipamento;
- Ferramentas e dispositivos com alto custo;
- Suporte técnico extra.

### 2.1 Sistema de controle da CNC

O funcionamento do controle da CNC pode ser dividido nas seguintes partes: Unidade de entrada de dados, controladora e acionamento (B.REZENDE, 2020). A Figura 1 mostra através de um diagrama de blocos como é o seu funcionamento.

A unidade de entrada é responsável por receber os dados que vem de um computador, em forma de comando numérico, utilizando armazenamento próprio, processo que antigamente era feito através de fitas perfuradas. Hoje esse procedimento pode ser realizado através de outras interfaces, como: USB, WIRELESS, *Bluetooth*, cartão de memória entre outras.

Figura 1 - Arranjo de um sistema CNC



Fonte: B.Rezende (2020)

Já a unidade controladora pode ser composta por uma IHM (interface homem máquina), controladores lógicos programáveis ou microcontroladores, que são responsáveis por armazenar os dados que vem da unidade de entradas no formato de código padronizado. Ao executar este código, a unidade de controle enviará comandos para usinar o objeto desejado.

Na unidade de acionamento estão os mecanismos responsáveis por ler a linguagem decodificada do processador para acionar, por exemplo, servos motores, motores de passo, micro *switches*, atuadores etc.

### 2.1.1 Unidade de entrada de dados e Controlador

Atualmente a unidade controladora e de entrada de dados são interligadas por um único dispositivo, onde muitas dessas máquinas possuem um *firmware* e microcontrolador colocado no seu sistema. Máquinas de grande porte, podem possuir sua própria IHM e controladores próprios, mas para máquinas de pequeno porte, que são as normalmente utilizados em laboratórios menores, geralmente são utilizados microcontroladores de código aberto onde a própria comunidade auxilia no suporte para a utilização desses produtos.

O Microcontrolador ATmega328 é um exemplo desse modelo, pois consiste em uma plataforma de *software* e *hardware* livre para criação de projetos de baixo custo, possuindo um fácil manuseio com vários módulos e sensores fabricados especificamente para utilização nesta plataforma. A interface do Arduino se comunica em qualquer ambiente através do seu *hardware* e *software*. Foi desenvolvido na Itália em 2005, por Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino e David Mellis, com o objetivo de ajudar os estudantes no conhecimento de programação e eletrônica. Esta plataforma hoje em dia é implementada em diversas áreas como impressoras 3D, CNC entre outros (MCROBERTS, 2011).

O GRBL é um *firmware* gratuito que tem uma alta eficiência em controle de movimento das máquinas. Funciona como um intérprete do código G, que realiza a leitura das instruções criando comandos a serem enviados aos atuadores, conduzindo tanto ferramentas de desbastes quanto gravação de uma CNC na execução a manufatura de peças (Jeon & Skogsrud, 2021). Sua aplicação começou em impressoras 3D com código aberto, e hoje seu *firmware* é adaptável, podendo ser utilizado em máquinas de corte laser, CNCs, escritores automáticos entre outros projetos. A partir de 2009, Simen Svale Skosrud liberou código do GRBL para comunidade tornando o *software open source*, possuindo ainda atualizações periódicas (github, 2022).

### 2.1.2 Código G

Para a manufatura de peças na CNC são utilizados aplicativos ou *software* de controle numérico (NC) que convertem um desenho em uma sequência de instruções para que a máquina reproduza fisicamente o desenho, de forma que o programa da CNC se comporta como um interpretador dessas instruções. Esses comandos são padronizados pela ISO 6983.1, que criou normas específicas para sua utilização que hoje é conhecido como código G (B.REZENDE, 2020).

Dentro do código G existem diversas funções que, quando executadas ordenadamente, criam a sequência correta de funcionamento da máquina, por exemplo: especificação de unidade de medida, velocidade de trabalho, referência de



movimentação, entre outras (AZEVEDO, 2017). A Tabela 1 lista as principais funções dentro do código G.

**Tabela 1 - Lista dos principais comandos em código G**

Caractere	Significado
O	Número de programa
N	Identificação de linha
G	Função preparatória
X	Eixo X
Y	Eixo Y
Z	Eixo z
R	Raio
F	Taxa de avanço
S	Rotação do fuso
H	Compensação do comprimento da ferramenta
D	Compensação de raio da ferramenta
T	Definição de ferramenta
M	Função miscelânea

**Fonte: Azevedo (2017)**

### 2.1.3 Sistema de coordenadas da CNC

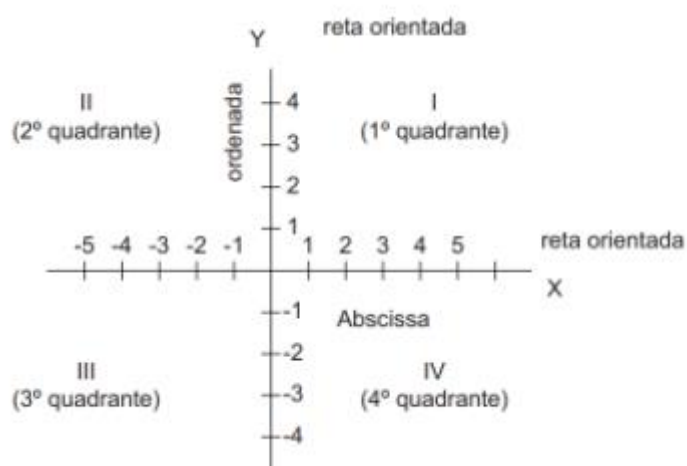
As CNCs utilizam um sistema de coordenadas cartesiano, que consiste em um traçado de retas perpendiculares, podendo cruzar um ponto em qualquer lugar no espaço, sendo uma na vertical, outra na horizontal e longitudinal, formando quadrantes. Estes quadrantes são divididos em quatro partes como e mostrado na Figura 2 (SILVA, 2015).

Para (AZEVEDO, 2017), a maioria das máquinas CNCs operam sobre 3 eixos, sendo X, Y e Z do plano cartesiano, podendo se movimentar de maneira síncrona (os 3 eixos ao mesmo tempo) ou de maneira não síncrona (um eixo espera o movimento de outro acabar para se movimentar). A Figura 3 mostra um exemplo de como são denominados os eixos em uma CNC.

Para (SILVA, 2015), é possível utilizar dois tipos de sistema de coordenadas em máquinas CNC: O sistema de coordenadas incrementais, que consiste em a ferramenta sair de uma referência (ponto zero), e ir até um o ponto a ser atingido, a

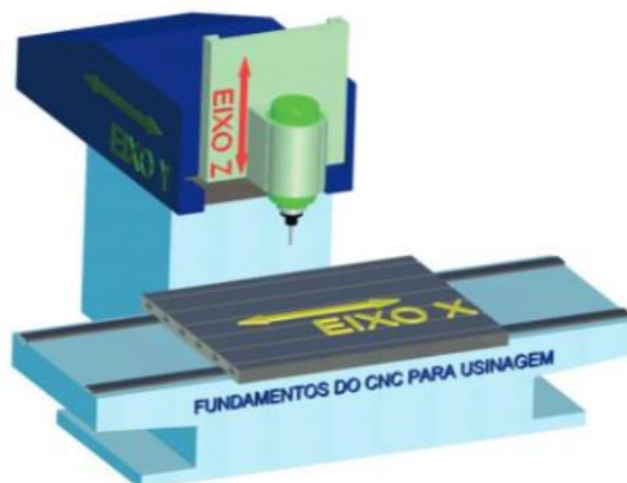
partir da qual sua referência agora passa a ser o ponto anterior, de forma que a ferramenta sempre assume que está no ponto zero, e o sistema de coordenadas absolutas, que sempre vai ter seu ponto de referência fixo, que pode ser no início ou no final da peça, ou ainda um ponto específico dos eixos de trabalho quando houver sensores de fim de curso nos eixos.

**Figura 2 - Gráfico plano cartesiano**



Fonte: Silva (2015)

**Figura 3 - Representação de uma máquina de 3 eixos lineares.**



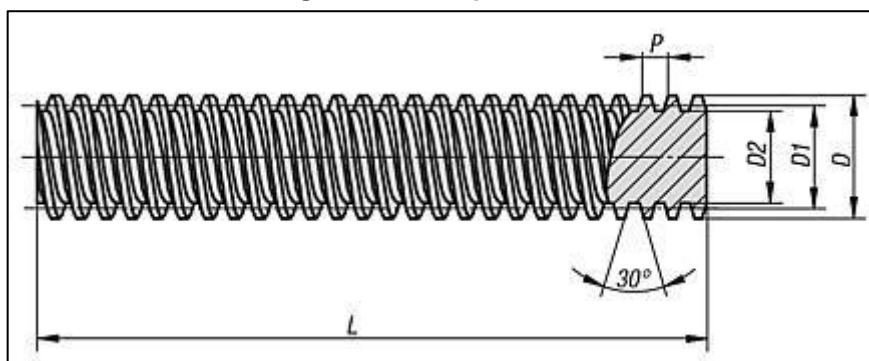
Fonte: Azevedo (2017)

#### 2.1.4 Sistema de movimentação

Para realizar a movimentação dos eixos de uma máquina CNC é necessário fazer uma transmissão entre o eixo e o motor. Para realizar esse processo existem componentes que o fazem, como fusos, cremalheiras, correntes e correias. Para manter os eixos em trajetória linear são utilizadas guias (AZEVEDO, 2017). No caso da máquina apresentada neste trabalho, o elemento utilizado para transmissão entre eixo e motor é o fuso.

Segundo (AZEVEDO, 2017), um fuso é uma barra de formato cilíndrico que pode ser constituído de materiais como ferro, plástico entre outros e se assemelha com uma barra roscada. Em conjunto com as castanhas, o fuso tem o objetivo de transportar um objeto através da transformação do movimento rotativo em um movimento linear. Existem diversos tipos de fusos, como de rosca quadrada, trapezoidal e com canais para esferas. A Figura 4 mostra um exemplo de fuso.

Figura 4 - Exemplo de fuso



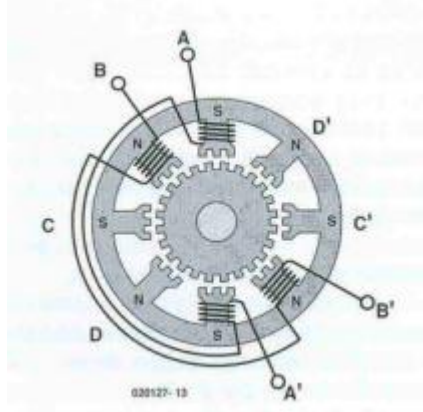
Fonte: Norelem (2022)

Para o transporte de ração até o destino, os silos graneleiros fixados em caminhões são utilizados para realizar o deslocamento sem que ocorra prejuízos ao alimento animal. Segundo a fabricante de silos AGPR (2021), o silo conta com sistema de roscas de transporte que passam pelo tubo de transporte posicionado para a descarga da ração, sendo que o sistema é acionado pela própria força do caminhão.

## 2.2 Sistema de acionamento da CNC

Os motores de movimentação dos eixos são os principais atuadores de uma CNC, e são, portanto, de fundamental importância para o equipamento. Os motores, junto ao sistema de movimentação, os guias e a estrutura mecânica determinam a força e os materiais que a CNC poderá usar. Um dos tipos de motores muito utilizados em CNCs de pequeno porte são os motores de passo, que podem ser de relutância variável de ímã permanente e o motor híbrido. Este último, por sua vez, é o mais usual, e possui um rotor magnetizado com duas engrenagens de aço dentadas onde uma extremidade se localiza no polo norte e a outra no polo sul. A precisão deste motor é dada pelo arranjo inteligente entre os dentes do rotor e do estator. O rotor tem 50 dentes, já o estator tem 48 dentes, de modo a criar uma certa defasagem entre eles, para que quando excitar uma sequência de fase do estator o motor dê um micro passo, assim os deslocando  $1,8^\circ$  graus para o exemplo citado (CONSTANDINOU, 2005). A Figura 5 como seria um motor de passo híbrido internamente.

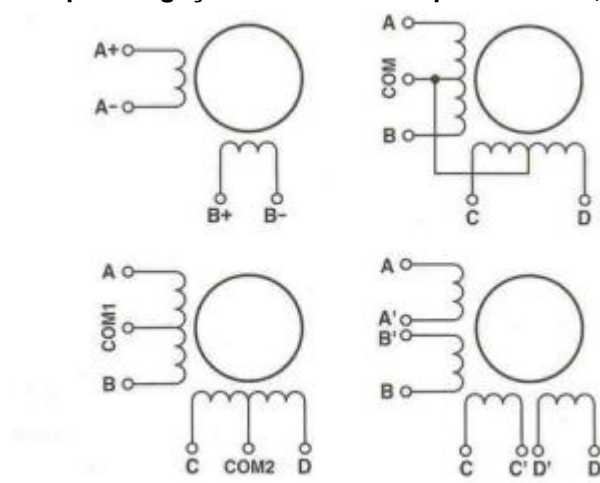
Figura 5 - Motor de passo híbrido



Fonte: Constandinou (2005)

Como afirma (CONSTANDINOU, 2005), os motores de passo são construídos com diferentes números de terminais. Os modelos mais usuais são os de 4,5,6 e 8 terminais. A Figura 6 a seguir mostra como são realizadas estas ligações nos motores de passo.

**Figura 6 - Tipo de ligação de motores de passo com 4,5,6,8 terminais**



Fonte: Constandinou (2005)

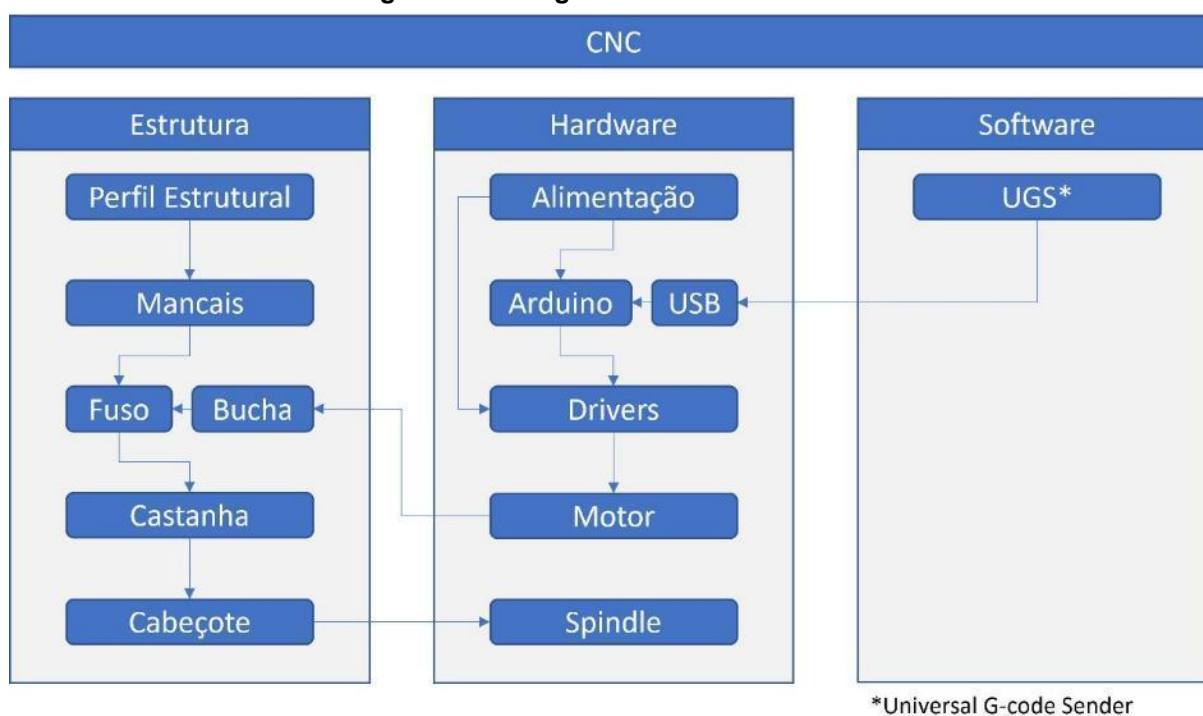
Para acionar os motores é necessário um circuito eletrônico de *Driver*, que possui a função transformar os sinais de baixa potência provenientes do microcontrolador em tensão e corrente apropriadas ao motor. Os *drivers* têm suas próprias características, como no fornecimento de potência e corrente, além de trabalharem de diversos modos. Atualmente muitas CNCs utilizam motor de passo para movimentação do seu eixo, de forma que para realizar essa movimentação de forma coordenada os motores de passo precisam de pulsos de corrente e tensão coordenados, garantindo assim a ação desejada sem a necessidade de um sistema em malha fechada. Dessa forma, os *drivers* e os atuadores precisam ser casados, para que as tarefas executadas pela CNC sejam feitas de forma adequada (Kalatec Automação, 2022).

### 3 PROCEDIMENTOS MÉTODOLÓGICOS

Essa CNC foi desenvolvida nas instalações da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Medianeira, no Laboratório de Automação e Desenvolvimento (LAD). Para construção dessa máquina procurou-se utilizar o máximo de componentes disponíveis em estoque no laboratório, assim minimizando os custos de aquisição de peças.

A Figura 7 mostra um diagrama de componentes que serão necessários para a construção e funcionamento da máquina, desde sua estrutura até os componentes eletrônicos e *software*.

Figura 7 - Fluxograma de funcionamento



Fonte: Autoria Própria (2022)

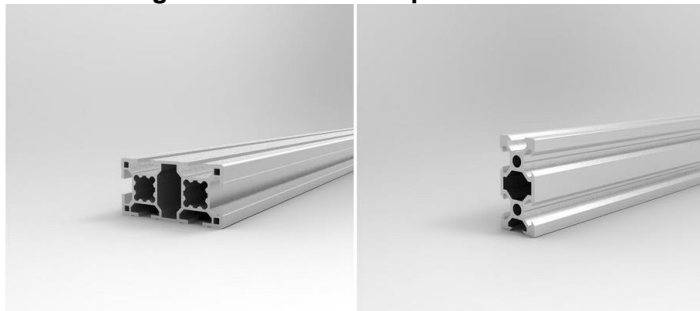
#### 3.1 Estrutura

##### 3.1.1 Perfil estrutural e guias

Para construção da estrutura da CNC, foi utilizado perfil estrutural de alumínio. Este material permite fácil manuseio, além de ser extremamente leve, e já possui ranhuras específicas para fixação de peças. Na base dos eixos X e Y foram utilizados

dois modelos de perfil: um medindo 30x60 mm e outro 20x40 mm. A Figura 8 mostra os dois tipos de perfil escolhidos.

**Figura 8 - Modelo dos perfis da CNC**



Fonte: Forseti (2022)

O modelo de perfil 20x40mm possui o formato *v-slot*, que é o mesmo formato dos guias lineares, responsáveis por garantir a movimentação de cada eixo em apenas uma direção. Esses guias, como mostrado na Figura 9, são compostos por 4 roldanas, duas fixas e duas com ajuste de posição. Esse ajuste tem a finalidade de evitar/reduzir folgas entre os guias e as barras de perfil estrutural.

**Figura 9 - Guia ajustável com roldanas para perfil estrutural**



Fonte: Forseti (2022)

### 3.1.2 Mancais

Os mancais são encaixes que servem para fixar os fusos na CNC na extremidade oposta ao posicionamento do motor. Esse tipo de peça permite a fixação translacional, permitindo apenas movimentos rotacionais, garantindo ainda, que a força sobre a movimentação dos eixos da CNC não seja exercida sobre o motor, prolongando assim sua vida útil.

**Figura 10 - Modelo do acoplamento de Nylon**



**Fonte: Aatoria Própria (2022)**

Foram necessários 3 mancais como o mostrado na figura anterior, sendo dois para o eixo X e um para o eixo Y. Essas peças foram produzidas na empresa USINTEC.

### 3.1.3 Fusos, Buchas e Castanhas

Para movimentação dos eixos da CNC foram utilizados fusos de 8 mm de diâmetro, com comprimento de 1000mm para os eixos X e Y e de 300mm para o eixo Z. A Figura 11 mostra os tipos de fusos utilizados.

Os fusos de movimentação dos eixos X e Y são do tipo rosca quadrada, possuem um avanço de 2mm a cada volta, ou seja, 2mm de avanço na ferramenta a cada volta do motor. Já o fuso do eixo Z e utilizado um do tipo trapezoidal possui um avanço de 8mm a cada volta.



**Figura 11 - Fuso trapezoidal**



**Fonte: Mamute (2022)**

Para fazer a conexão entre os motores e os fusos foram utilizados acopladores flexíveis. Este tipo de acoplador permite que a rotação do motor passe para o fuso mesmo que estejam desalinhados, garantido o funcionamento da máquina. A Figura 12 mostra o tipo de acoplamento.

**Figura 12 - Acoplamento flexível**



**Fonte: Mamute (2022)**

Além dos fusos e buchas o sistema de transmissão de movimentos da máquina também conta com castanhas. As castanhas são peças encaixadas nos fusos e nos carrinhos que transformam o movimento rotacional em translacional. Geralmente são peças feitas de materiais menos resistentes do que os fusos para que, a longo prazo, se danifique primeiro, mantendo assim a integridade do restante das peças. As castanhas utilizadas na construção da máquina possuem sistema anti-folga. Esse sistema é a inserção de uma mola entre a castanha e uma porca, garantido que a castanha sempre fique pressionada para o mesmo lado do fuso, evitando assim problemas relacionados com folgas entre a castanha e o fuso. A Figura 13 como e esse tipo castanha.

Figura 13 - Modelo castanha sistema ante folga

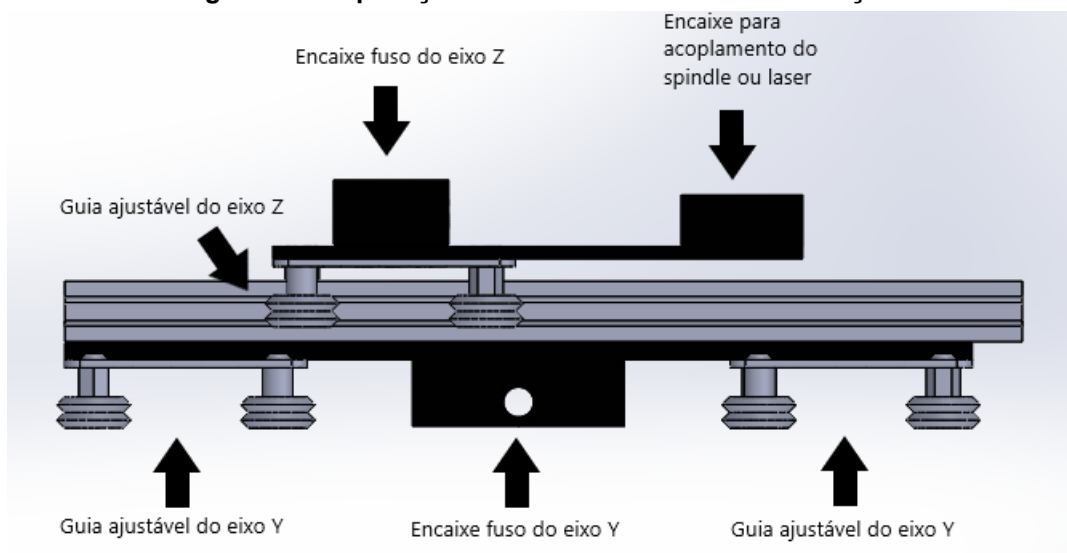


Fonte: Mamute (2022)

### 3.1.4 Cabeçote

O cabeçote é a parte da máquina responsável por fazer o acoplamento entre os eixos Y e Z, além de servir como suporte para a ferramenta, que neste caso será um *spindle* ou *laser*, como mostra a Figura 14. É uma peça fundamental na máquina, pois deve suportar todo o peso da ferramenta ao longo de todo o trabalho, sem vibração e de forma rígida.

Figura 14 - Explicação da estrutura eixo Z e Y e Cabeçote



Fonte: Autoria própria (2022)

O acoplamento com o eixo Y, é constituído por uma barra de ferro parafusada num perfil estrutural *v-slot*. Esse conjunto de peça é parafusado em dois guias encaixados no eixo Y, permitindo deslizar linearmente nesse mesmo eixo. Ainda

nesse mesmo conjunto é parafusado o encaixe da castanha, acoplando essa peça ao fuso do eixo Y.

A outra parte é constituída por um guia parafusado numa peça de ferro, com encaixe para o suporte do motor, e com encaixe para a castanha do eixo Z. A montagem dessas suas peças é apresentada na Figura 15, com a fixação de um *spindle* como ferramenta.

**Figura 15 - Montagem do cabeçote**



**Fonte: A autoria própria (2022)**

### 3.1.5 Acabamentos

Nesse tópico é listado os materiais utilizados para o acabamento da CNC, que tem como finalidade, organizar e deixar a máquina mais segura. Esses materiais são: conector USB, conector multipolar, botão de emergência com trava, organizador de fios espiral para cabo 10mm, pé de borracha, esteira porta cabos 15x20mm. A Figura 16 mostra alguns dos componentes para o acabamento.

**Figura 16 - Acabamentos utilizados na CNC**



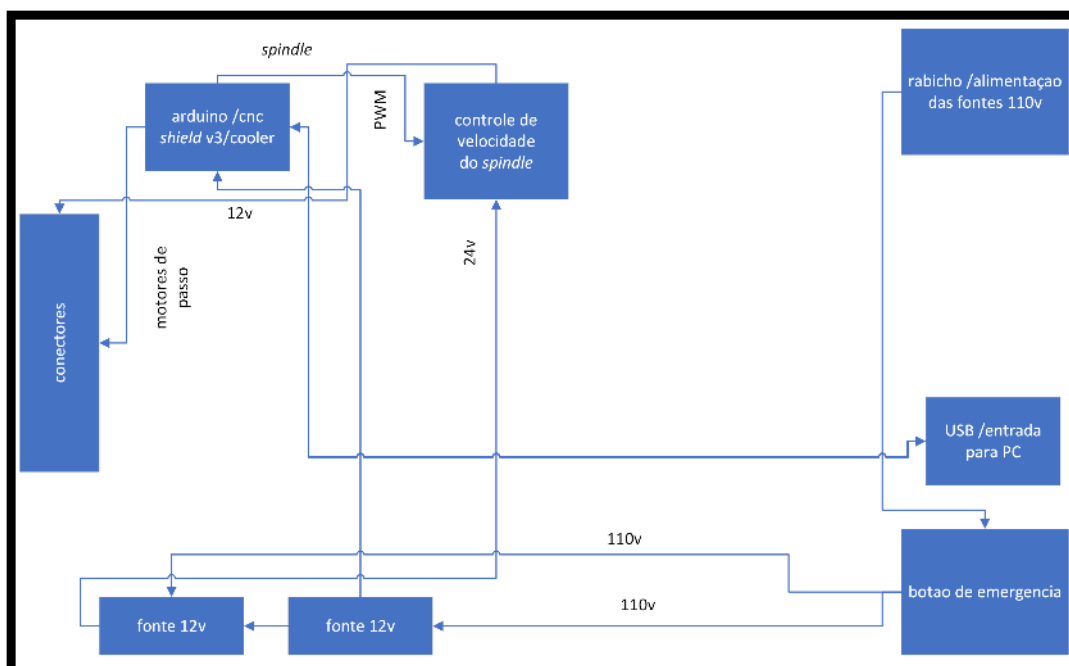
Fonte: Mamute (2022)

## 3.2 Hardware

### 3.2.1 Diagrama da parte elétrica

Para exemplificar como foi feita a ligação elétrica criou-se o diagrama mostrado na Figura 17. Os detalhes desse diagrama serão apresentados nas sub sessões seguintes.

**Figura 17 - Diagrama do esquema elétrico da CNC**



Fonte: Autoria Própria (2022)

### 3.2.2 Alimentação

A entrada de alimentação da CNC é feita por uma tomada de alimentação padrão 127 VAC. Antes da tensão de alimentação ser distribuída para os circuitos da

máquina, é passado pela botoeira de emergência e por duas fontes de tensão em série, que geram 12VCC cada. Os drivers dos motores de passo são alimentados por uma fonte específica, ou seja, em 12VCC, enquanto o *driver* do *spindle* é alimentado pela associação série das duas fontes de tensão, ou seja, em 24VCC. O conector USB serve tanto para passar as informações do *software* de controle quanto alimentar a placa de controle.

Cada fonte é de 12VDC 30A, sendo desta capacidade por ser um equipamento já disponível no laboratório. A Figura 18 mostra modelo de fonte utilizado.

**Figura 18 - Fonte 12V DC**



**Fonte: Mamute (2022)**

### 3.2.3 Arduino e USB

O *firmware* Grbl foi desenvolvido para os microcontroladores Atmega328 que integram a placa Arduino UNO. Neste projeto optou-se pela utilização do Arduino UNO devido as placas de circuitos que podem ser conectadas facilmente, além possuir um baixo custo. Para a otimização da montagem elétrica, o Arduino juntamente aos *drivers* estão localizados na região traseira da máquina, facilitando a conexão deles com o conector que leva os sinais até os respectivos atuadores. Para facilitar a conexão da máquina com *software*, foi instalado na região frontal da máquina um conector USB servindo como uma extensão para levar as informações até o Arduino. A Figura 19 mostra a interface USB instalada próximo a botoeira de emergência.

**Figura 19 - Botão e entrada USB**



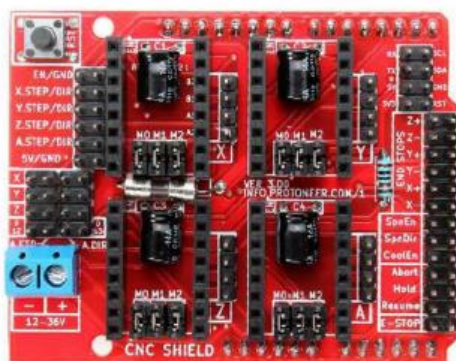
Fonte: Autoria Própria (2022)

### 3.2.4 Drivers

#### 3.2.4.1 Acionamento dos Motores de passo

O *driver* do motor de passo é constituído por dois componentes: *driver* a4988 e CNC *shield* v3. O *shield* simplifica toda a parte eletrônica entre a comunicação dos *drivers* a4988 de potência com o Arduino. A figura abaixo mostra CNC *shield* v3.

**Figura 20 - Shield uno para interface de CNC**



Fonte: Mamute (2022)

Essa placa é alimentada em 12V DC, e não alimenta a placa do Arduino. Além de conexão com os *drivers*, também possui interface de conexão com sensores fim de curso para os eixos da CNC e PWM (modulação por largura de pulso) para controle do *spindle* ou do laser.

O *driver* de potência utilizados para controle dos motores é o a4988. Estes *drivers* atendem as condições de potências requeridas pelos motores, que serão

explicados posteriormente, fornecendo o controle de corrente ideal para o trabalho. O modelo do *driver* mencionado é mostrado na Figura 21.

**Figura 21 - Driver a4988 utilizado para acionamento dos motores**

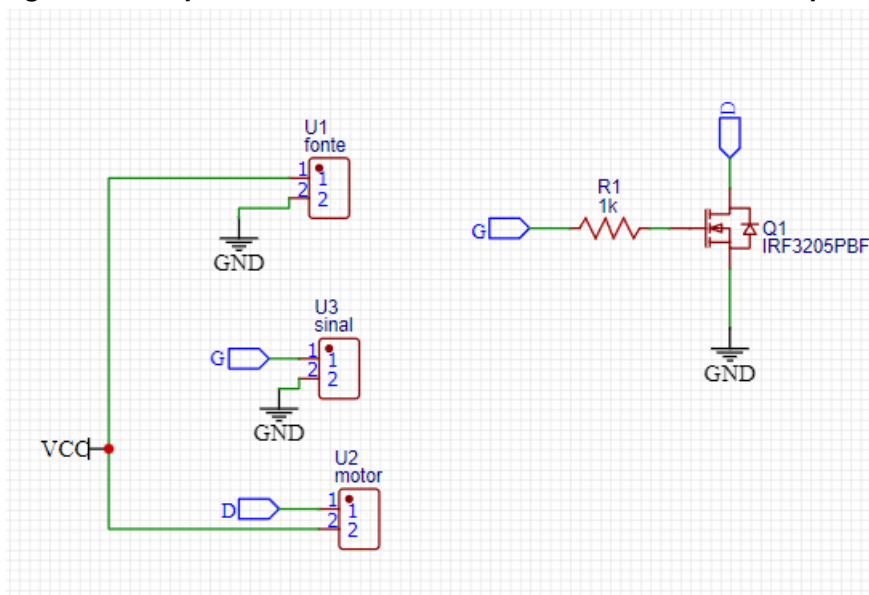


Fonte: Polulu (2022)

### 3.2.4.2 Acionamento do Spindle

Para controlar a velocidade do *spindle* foi desenvolvendo uma placa de circuito impresso é utilizado o transistor MOSFET IRF3205. A Figura 22 mostra o esquemático do circuito utilizado. O funcionamento desse circuito se dá pela entrada de um sinal PWM gerado pelo Arduino, onde 0% de *duty cycle* corresponde a aplicar uma tensão média de 0V no *spindle*, enquanto que 100% corresponde a aplicar 24V. Este sinal é via *software*, podendo ser definido diretamente através do Código G.

**Figura 22 - Esquemático do circuito de controle velocidade do *spindle***



Fonte: Autoria Própria (2022)

A Figura 23 mostra a placa de controle de velocidade do *spindle* finalizada. A 100% o *spindle* possui uma velocidade de aproximadamente 6000 rpm (rotações por minuto), metade de sua velocidade máxima que é de 12000 rpm (48V DC).

**Figura 23 - Placa controle velocidade do *spindle***



**Fonte: Aatoria Própria (2021)**

### 3.2.5 Motor de Passo

Para movimentação dos eixos da CNC serão utilizados motores de passo, um para o eixo Y, um para eixo Z e dois para o eixo X. O modelo dos motores são do tipo Nema 17, como mostrado na Figura 24. Suas características estão representadas na Tabela 2.

**Figura 24 - Motor de passo Nema 17**



**Fonte: Mamute (2022)**



**Tabela 2 - Especificações do motor Nema 17**

Especificações	
Modelo	17HD34008-22B
Tensão nominal	4.8 V
Potência: 6.6 W	6.6 W
Corrente nominal	1.5 A
Velocidade Nominal	500 RPM
Resistência por fase	3.2 $\Omega$
Ângulo do passo:	1.8 graus
indutância por fase:	3 mH;
Torque nominal:	320 NM
Dimensão	42 mm x 42 mm x 34 mm
Peso	230 g

**Fonte: Autoria Própria (2022)**

### 3.2.6 Spindle

O motor para usinagem de polímeros, ferro entre outros materiais é um *spindle*, que são motores mais utilizados por fresadoras *Router CNC*. A Figura 25 mostra o *spindle* utilizado com as seguintes características mostradas na Tabela 3.

**Figura 25 - spindle**

**Fonte: Autoria Própria (2022)**

**Tabela 3 - Descrição do motor *spindle***

Descrição	
Motor Spindle	CNC 400 Watts
Tensão de trabalho	48Vcc
Torque	400mN.m
Velocidade de rotação	3.000 RP a 12.000 RPM
Diâmetro	52mm
Precisão	0,01 - 0,05mm

**Fonte: Autoria Própria (2022)**

### 3.2.7 Módulo laser

Hoje em dia existem diversas máquinas de corte e gravação a *laser* que possuem grandes vantagens para fabricação de produtos. As máquinas mais baratas possuem *laser* vermelho ou azul a única diferença entre elas que alguns materiais a uma difração outros uma melhor absorção da luz as desvantagens dessas máquinas, elas não gravam em materiais como ferro ouro prata titânio entre outros matérias ferrosos, mas já o *laser* de fibras tem as seguintes vantagens que é a gravação de alta precisão e o corte nos seguintes materiais, ferro, cobre, alumínio, magnésio, zinco, ouro, prata, titânio, ABS, Resina epóxi entre outros materiais. As desvantagens que um laser muito caro em comparação com as outras máquinas a laser.

O modulo *laser* que vai ser utilizado para gravação ou corte de plástico, madeira, papel, tecido entre outros materiais. Pode ser controlado da mesma forma que o *spindle*, através de PWM. A Figura 26 mostra o modulo a ser adquirido *laser* com as seguintes características mostradas na Tabela 4.

Figura 26 - Módulo *laser*

Fonte: Mamute (2022)

Tabela 4 - Descrição do *laser*

Descrição	
Potência do laser	5.5 a 40 W
Tensão de trabalho	12Vcc
Distância focal ajustável	0 a 15mm
Comprimento de onda	450nm
Cor luminosa	Azul
Temperatura de operação ilimitada	-20 a 70 °C

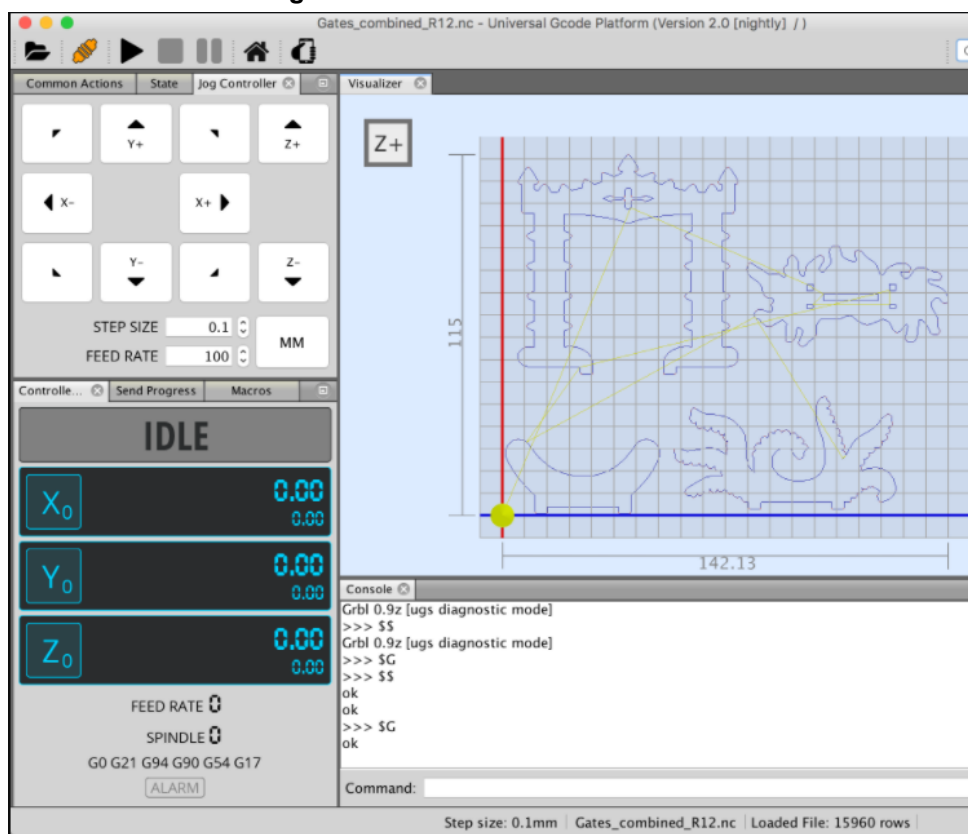
Fonte: Aatoria Própria (2022)

### 3.3 Software Universal G-code Sender

O *software* para controlar a CNC será o Universal G-code Sender (UGS) que consiste em um aplicativo Java independente, que pode ser usado na maioria dos computadores que executam Windows, MacOSX ou Linux. O programa possui uma estimativa de tempo total e um visualizador em tempo real do trabalho que está sendo

realizado pela máquina, possibilitando que o usuário supervisione o processo, caso algum erro ocorra na geração do G-code. A Figura 26 exibe a interface do UGS.

Figura 27 - Universal G-code Sender



Fonte: Github (2022)

O Universal G-code Sender tem diversas funções como controle dos eixos da máquina, posicionamento dos eixos, tamanho da mesa de trabalho utilizada quando colocado um desenho, comandos independentes, entre outras funções que podem aumentar o desempenho da CNC.

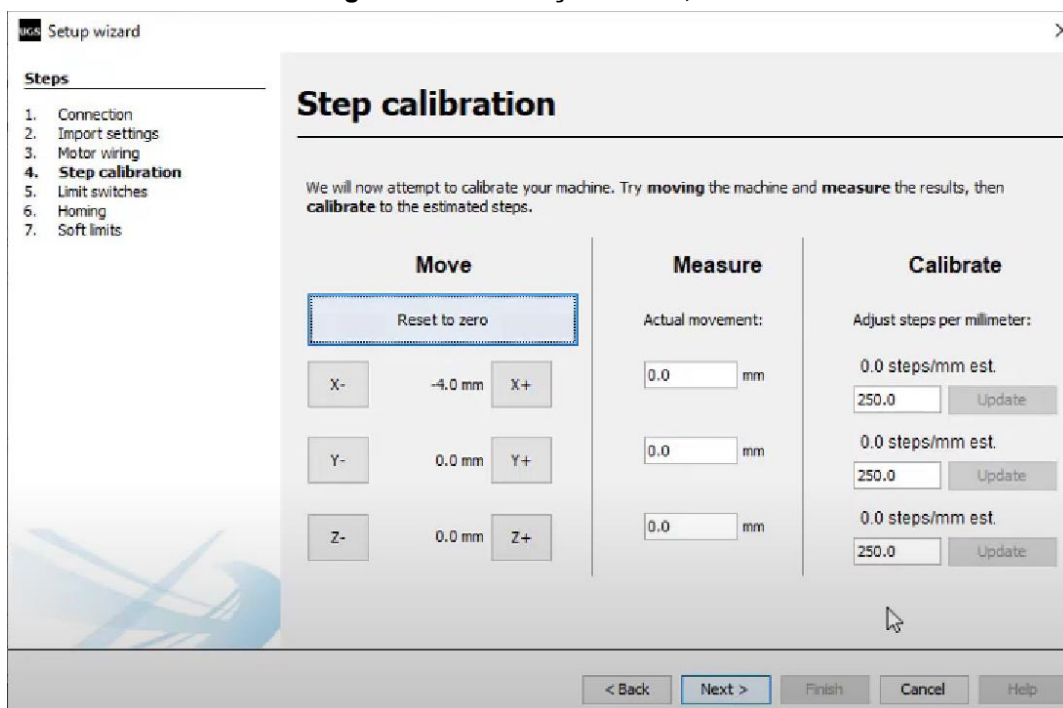
### 3.4 Calibração

A calibração da CNC é realizada via *software*, como mostra a Figura 27, em três passos:

- 1) Mover: Colocar uma distância a ser percorrida pelos eixos X, Y e Z;
- 2) Medir: Colocar o real deslocamento obtido.
- 3) Calibrar: Realizar o *update* do parâmetro de calibração conforme o indicado

pelos cálculos do *software*.

Figura 28 - Calibração eixo X, Y e Z



Fonte: Autoria Própria (2022)

O processo a partir da requisição da imagem até o recebimento e sua exibição é dividido em várias etapas. Tais etapas serão tratadas separadamente para sua melhor compreensão.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

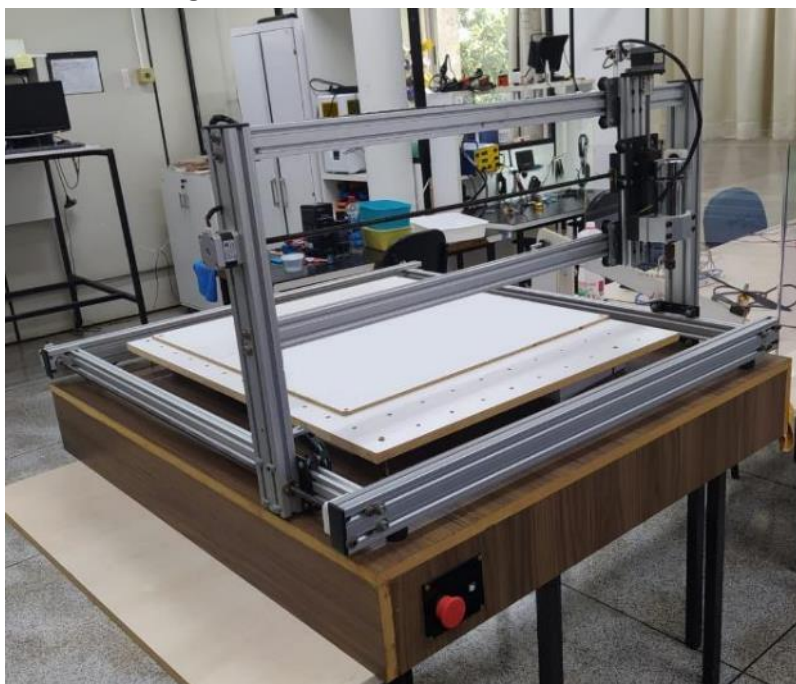
A seguir serão apresentados os resultados e discussões deste trabalho, separados em montagem física, elétrica e testes realizados.

### 4.1 Testes em bancada

O resultado após a finalização da montagem da máquina é a entrega de uma CNC com *design* industrial, com aproximadamente 30kg e tamanho total de 1100 x 1000 x 600 cm e área de trabalho de 850 x 750 x 100mm.

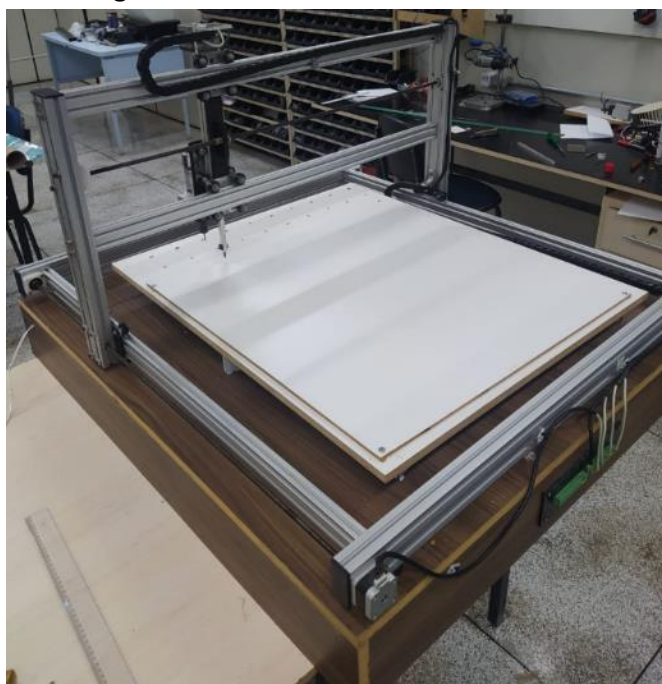
O projeto foi pensado com o objetivo de facilitar a operação da máquina, porém considerando também a estética. Dessa forma os conectores que interligam o comando com os atuadores foram alocados na parte traseira, enquanto o botão de emergência e a entrada USB estão colocadas na região frontal. A estrutura metálica de alumínio foi colocada sobre uma caixa feita de MDF (Fibra de Madeira de Densidade Media) de 18mm de espessura, com sua parte inferior aberta, onde está posicionada toda parte de *hardware*. A Figura 28 e 29 demonstram a CNC finalizada em vista frontal e traseira.

**Figura 29 - CNC finalizada vista frontal**



Fonte: Autoria Própria (2022).

**Figura 30 - CNC finalizada vista traseira**



Fonte: Autoria Própria (2022)

## 4.2 Montagem da parte elétrica

A Figura 30 mostra os cabos que vem da estrutura da CNC, esses respectivos cabos são conectados em conector multipolar 12 vias, que corresponde aos motores de passo e o *spindle* que seguem para o hardware da CNC.

**Figura 31 - Ligação entra a estrutura com seu *hardware***

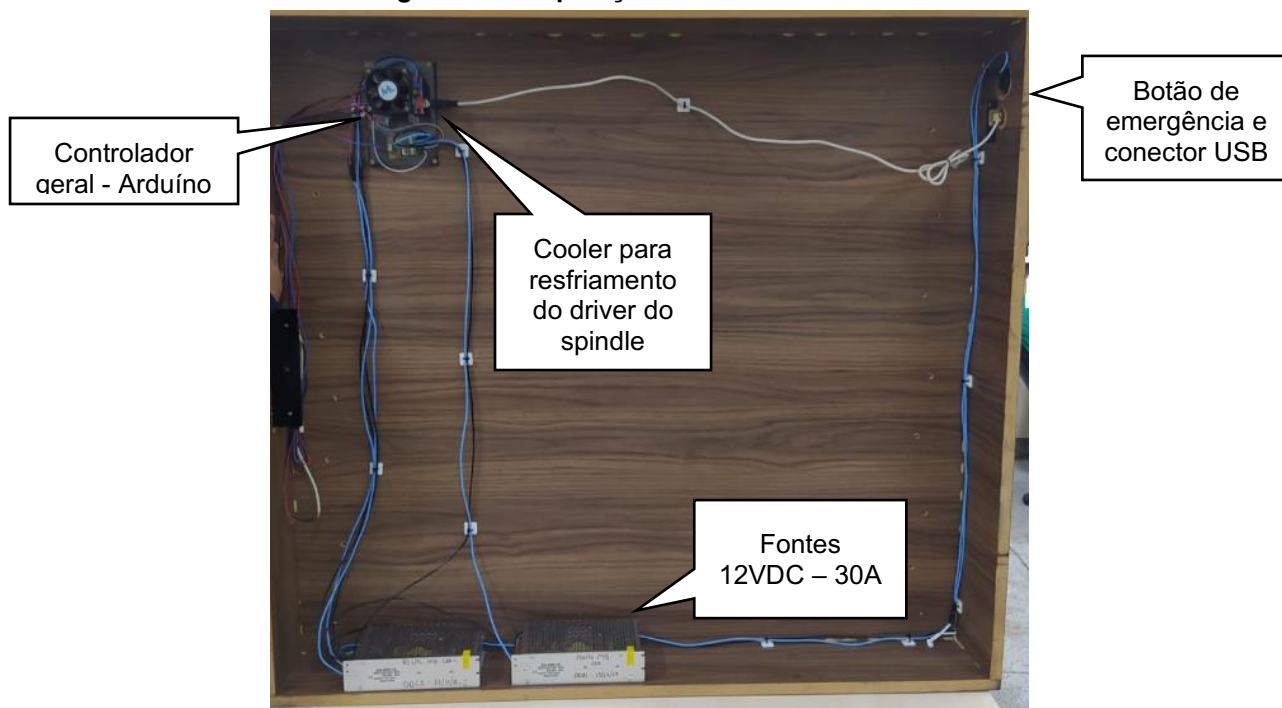


**Fonte: Autoria Própria (2022)**

Como pode-se perceber, há diversos pontos de conexão sobrando. Isso foi deixado propositalmente para a colocação, no futuro, de sensores de final de curso e para colocação do *Spindle*.

Como foi mencionado no começo desse tópico o hardware da CNC está dentro de uma caixa de MDF embaixo de sua estrutura, como mostra a Figura 21.



Figura 32 - Disposição do *hardware* da CNC

Fonte: Autoria Própria (2022)

## 4.3 Testes

### 4.3.1 Testes de precisão e repetibilidade

Para realizar os testes, primeiro foi realizada a calibração da máquina, que é feita através do procedimento descrito na sessão 3.4. As Figuras 34 e 35 mostram o resultado da calibração dos eixos X e Y. Para verificar o resultado da calibração da máquina, foi determinado que ela descesse até o ponto -1mm do eixo Z nos pontos 0 e 400mm do eixo y. Dessa forma, idealmente seria gerado no MDF de sacrifício dois pontos com exatamente 400mm um do outro. Utilizando fresa V, própria para desbaste, na espessura de 3mm, com 90 graus de abertura, na profundidade de -1 e -2mm no eixo Z. A Figura 33 mostra modelo de fresa utilizado.

**Figura 33 - Fresa 3mm formato em V**

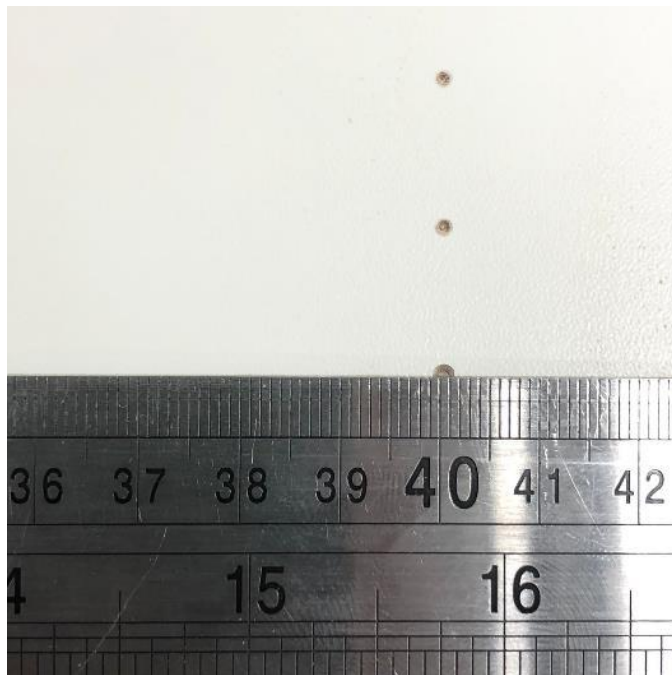


**Fonte: Autoria Própria (2022)**

Percebe-se que foi obtido um erro de mais ou menos 0,5 mm, ou seja, 0,125%. Este valor, por si só, é menor que o erro da régua, de modo que se conclui que a origem dele pode estar justamente nessa fonte, e não na CNC.

Posteriormente, este teste foi executado diversas vezes, variando 15mm no eixo Y a cada teste. Não foram detectadas diferença nas medidas, ou seja, não foi possível detectar erros na repetibilidade do equipamento com as ferramentas de aferição utilizadas.

**Figura 34 - Teste de calibração e repetibilidade do eixo X**



Fonte: Autoria Própria (2022).

**Figura 35 - Teste de calibração e repetibilidade do eixo y**



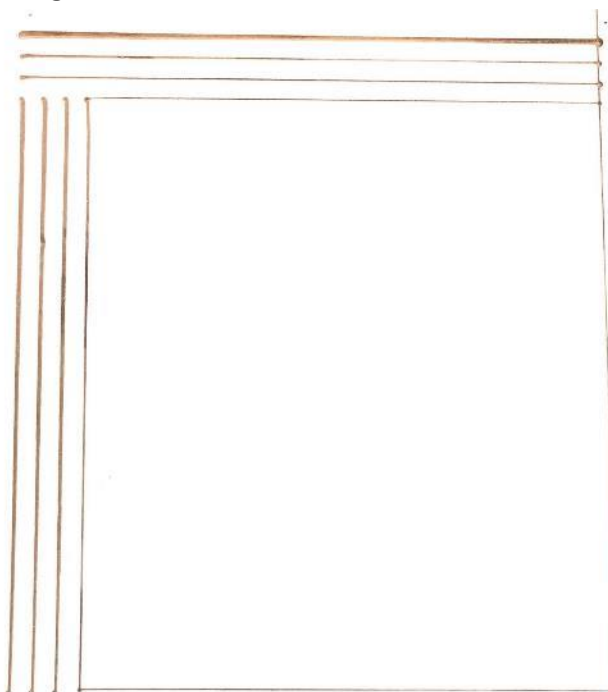
Fonte: Autoria Própria (2022)

#### 4.3.2 Teste de linhas

Este teste, também chamado de continuidade, consiste em a CNC fazer linhas contínuas no eixo X e Y., realizou movimentos de 400 mm desbastando uma madeira

de sacrifício, para finalizar esse teste foi feito um quadrado de 40 x 40 cm como mostra a Figura 36.

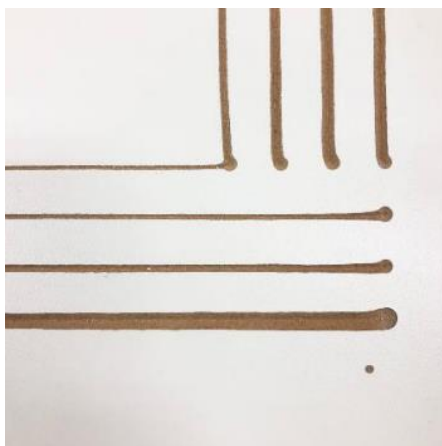
**Figura 36 - Teste de continuidade dos eixos X e Y**



**Fonte: Autoria Própria (2022)**

A finalidade dos testes de continuidade é a averiguação de que a máquina não irá parar em algum ponto durante seu percurso além de ser possível verificar o seu resultado de forma dinâmica, ou seja, durante o trabalho e submetida a atrito. Nota-se que foi completado todos os trajetos, mesmo que seja perceptível algumas falhas como as linhas com diferentes diâmetros. Isso ocorre devido o nivelamento entre a ferramenta da CNC com a madeira. Outra falha detectada foi que quando a ferramenta iniciava seu movimento ocorre um deslocamento inicial. A Figura 37 mostra este deslocamento de forma ampliada.

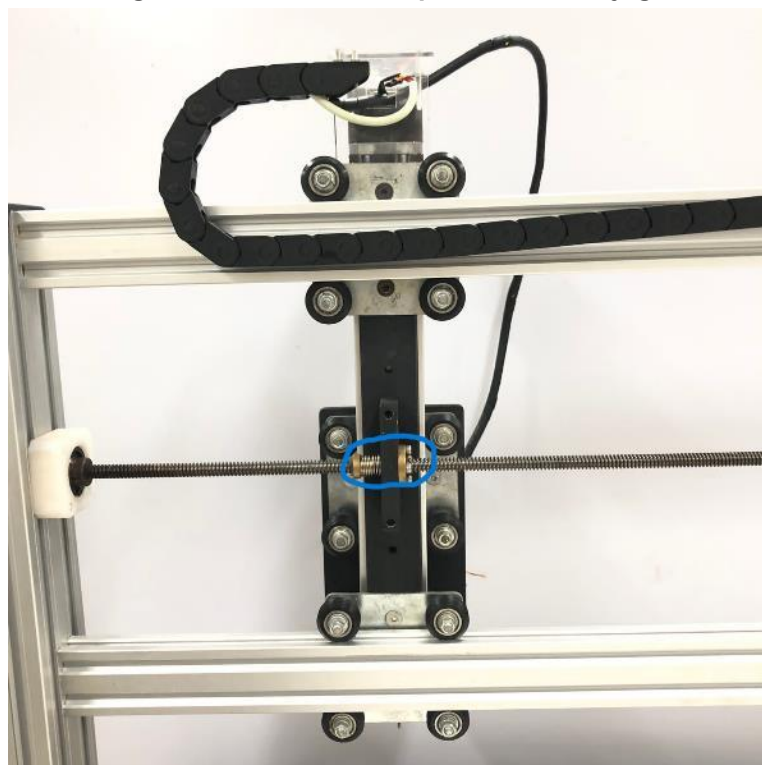
**Figura 37 - Deslocamento da ferramenta durante a usinagem**



**Fonte: Autoria Própria (2022)**

Este resultado evidencia a ocorrência de uma torção na estrutura. Provavelmente a mola que está no sistema anti-folga do eixo Y não está realizando a pressão necessária na castanha. Este mesmo problema ocorre devido ao peso do cabeçote do eixo Z. A Figura 38 mostra onde está essa folga.

**Figura 38 - Ponto da máquina onde tem jogo**

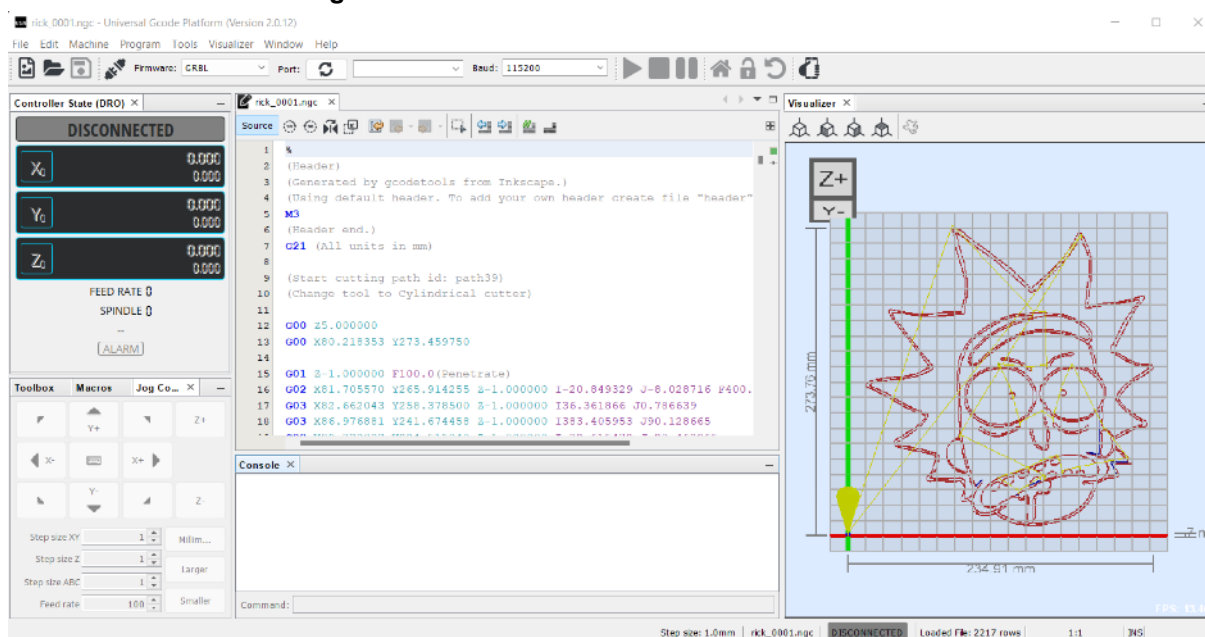


**Fonte: Autoria Própria (2022)**

### 4.3.3 Gravação em madeira

O último teste realizado foi de gravação sobre a superfície da madeira. Primeiro foi realizado a escolha de um desenho que foi passado por um conversor G-code e em seguida para o software de controle. A Figura 39 mostra o desenho escolhido no UGS que é o software de controle da CNC. Inicialmente o processo foi executado a uma altura de 2mm do eixo Z, ou seja, sem que a ferramenta encostasse na madeira, a fim de verificar se haveria algum erro. Em seguida o mesmo processo foi executado novamente com profundidade de 1mm, com a mesma fresa utilizada nos outros testes.

**Figura 39- Interface de controle rodando na CNC**



**Fonte: Autoria Própria (2022)**

A Figura 40 mostra o resultado da primeira gravação de um desenho da CNC em uma superfície de madeira.

### 4.3.4 Velocidade de trabalho

As CNCs possuem uma velocidade de trabalho máximo que é um ponto sensível, pois pode depender do material sendo usinado, da qualidade, tipo e da

situação da ferramenta sendo utilizada naquele momento, da precisão da CNC, da qualidade de acabamento que se deseja, da velocidade do *spindle*, entre outros fatores. De forma geral, quando maior a velocidade de movimentação dos eixos menor a qualidade alcançada, chegando a perder passos a partir da velocidade de 20mm por segundo. Devido ao aumento dos esforços mecânicos conforme se aumenta a velocidade, esses foram limitados até este ponto.

Figura 40 - Teste de gravação em madeira



Fonte: Autoria Própria (2022)

#### 4.4 Utilização da fresa com laser

A utilização da CNC com ferramenta laser é vantajosa quando comparada com o *spindle*. Esta vantagem é percebida principalmente no fato de que com a utilização do laser não há esforço mecânico na máquina, permitindo utilização em maiores velocidades sem causar stress na parte mecânica. Como não há atrito não haveria também torção ou movimentos indesejados na estrutura, de modo que os erros do teste de linhas não seriam grandes como os que ocorreram com o *spindle*.

Como não foi possível adquirir um módulo de laser antes da conclusão deste trabalho, nenhum teste foi executado com esta ferramenta, porém foram realizados procedimentos para que a utilização do mesmo se torne facilitada quando o equipamento for adquirido.



## 5 CONCLUSÃO E MELHORIAS FUTURAS

O presente trabalho propôs o desenvolvimento de uma máquina CNC capaz de auxiliar e desenvolver novos projetos dentro do laboratório de automação e desenvolvimento (LAD). Para cumprir esse objetivo, foi necessário utilizar a pesquisa, que envolveu áreas como: mecânica, eletrônica e programação,.

Todo este trabalho teve como resultado uma máquina com uma estrutura robusta e funcional, com área de trabalho de 750 x 850 x 100 mm. Os componentes foram fixados de forma que não são visíveis pelo usuário da máquina, de forma o seu design se aproxima do encontrado em equipamentos de mercado.

A utilização da CNC é simples e seus softwares possuem interface interativa e amigável, não exigindo muito conhecimento para sua utilização. Mesmo se mantendo simples, o software possui diversas funções que podem ser exploradas na parte de calibração e adição de sensores, que podem melhorar o desempenho da máquina.

Os testes foram realizados após a calibração da CNC. Inicialmente foram desenhadas formas geométricas em papel, para depois aumentar a complexidade dos desenhos, após os testes em papel passarem a ser usinagem com gravação em madeira. Os testes mostraram erro de calibração na ordem de 0,125%, enquanto que não foi possível detectar erro de repetibilidade com a ferramenta utilizada para medição da distância.

Nos testes de linha, foi verificado que houve torção na estrutura da máquina devido ao atrito, de forma que em trabalhos futuros indica-se melhoria na parte da castanha dos fusos, principalmente nos eixos X e Y. Após todos os testes, é possível perceber que a máquina consegue realizar os desenhos desejados com certa precisão, porém com algumas falhas e erros, que podem ser justificados devido o nivelamento da superfície onde ocorre o processo de usinagem, além dos outros problemas já citados.

Os testes com laser não foram possíveis de serem realizados, porque não houve a sua aquisição, mas a máquina tem um cabeçote projetado para ter suporte para encaixe de um laser, os conectores possuem espaço sobrando e a parte de programa suporta o acionamento desejado.

De forma geral é possível concluir que a máquina é capaz de realizar qualquer processo que seja desenhar, gravar ou usinar, desde que em material macio. Para

obter um bom desempenho, é necessário que o usuário garanta que a peça a ser usinada esteja nivelada com a máquina.

Para trabalhos futuros sugere-se a instalação de um sistema de auto nivelamento, pois o software utilizado tem suporte para este tipo de sistema. Outra atualização interessante é implementar um sistema de aspiração de detritos, e a instalação do laser para gravação e corte.

## REFERÊNCIAS

VOLPATO, N. **Introdução à Tecnologia CNC e à Programação Manual de Torno e Fresadora**. 5. ed. Curitiba: NUFER, Abril, 2014.

AZEVEDO, A. L. D. **Fundamentos do CNC para Usinagem**. 1. ed. São José dos Campos/SP: Jac, 2017.

SILVA, S. D. D. **Processos de Programação, Preparação e Operação de Torno CNC**. 1. ed. São Paulo : Érica, 2015.

B.REZENDE, H.  
FERRAMENTACOMPUTACIONALPARACONTOLEDEMÁQUINASCNC,  
Leopoldina/MG, 08 set. 2020. 8.

MCROBERTS, M. **Arduino básico**. São Paulo: Novatec, 2011.

SKOGRUD, S. S. . J. S. K. . & G. J. (. D. ). github, 2022. Disponível em:  
<<https://github.com/grbl/grbl>>. Acesso em: 30 ago. 2022.

NORELEM, 2022. Disponível em:  
<<https://www.norelem.com/us/pt/Produtos/Vis%C3%A3o-geral-de-produtos/Sistemas-e-componentes-para-a-constru%C3%A7%C3%A3o-de-m%C3%A1quinas-e-engenharia-mec%C3%A2nica-industrial/24000-Fusos-de-rosca-trapezoidal-Acionamento-por-fuso-de-esferas-Unidades-de-manc>>. Acesso em: 01 set. 2022.

KALATEC Automação, 2022. Disponível em: <<https://www.kalatec.com.br/drivers-motores-de-passo/>>. Acesso em: 12 set. 2022.

CONSTANDINOU, T. G. Tudo sobre motores de passo, Santa Maria/RS, 2005. 5.

FORSETI. Forseti Soluções, 2022. Disponível em:  
<[https://www.loja.forsetisolucoes.com.br/perfis-aluminio](https://www.loja.forsetisolucoes.com.br/perfis-aluminio/)>. Acesso em: 15 outubro 2021.

MAMUTE. Mamute eletrônica, 2022. Disponível em:  
<<https://www.mamuteeletronica.com.br/home#>>. Acesso em: 20 outubro 2021.

POLULU. Polulu Robotics e Eletronics, 2022. Disponível em:  
<<https://www.pololu.com/product/1182/>>. Acesso em: 05 outubro 2021. Novembro 2021.