

INSTITUTO FEDERAL
Santa Catarina

Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS LAGES
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

LUCAS VANASSI BERNARDI

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE UMA ROUTER CNC DE BAIXO
CUSTO**

LAGES

2023

LUCAS VANASSI BERNARDI

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE UMA ROUTER CNC DE BAIXO
CUSTO**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Santa
Catarina como requisito para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica
Orientador: Prof. Ricardo Teran Muhl

Lages

2023

LUCAS VANASSI BERNARDI

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE UMA ROUTER CNC DE BAIXO
CUSTO**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica e aprovado em sua forma final pelo Curso de graduação em Engenharia Mecânica

Lages, 18 de Dezembro de 2023.

Profa. Ma. Natalia Madalena Boelter
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Me. Ricardo Teran Muhl,
Orientador(a)
Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Me. Fernando da Silva Osório
Avaliador(a)
Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Me. Ariton Araldi
Avaliador(a)
Instituto Federal de Santa Catarina

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos aqueles que me apoiaram, me incentivaram e estiveram ao meu lado durante a minha trajetória acadêmica, em especial aos meus pais, que não pouparam esforços para que esse sonho fosse realizado.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, que sempre esteve comigo, em todos os momentos de minha vida, possibilitando que chegasse ao fim dessa caminhada, e através de minha fé, sempre me guiando, dando forças e repouso nos momentos mais difíceis, não permitindo que eu desistisse.

Imensamente aos meus pais, Janete e Roberto, por todo o amor incondicional, pelo exemplo que são para mim e por tudo que fizeram e pelo que deixaram de fazer para que eu me tornasse a pessoa que sou hoje e pudesse realizar meu sonho.

Aos meus irmãos, Rodolfo e Gabriel, por sempre me apoiarem e me incentivarem a perseguir meus objetivos.

À minha namorada, Franciele, por me apoiar em minha trajetória acadêmica, bem como por todo amor, carinho, paciência e compreensão que tem me dedicado.

Aos amigos que eu fiz na faculdade, pelos momentos compartilhados durante o curso.

Agradeço ao meu orientador professor, Ricardo Teran Muhl, por toda a dedicação, paciência e atenção ao longo da realização deste trabalho e de todo o curso.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, contribuíram na minha caminhada acadêmica, em especial aos meus familiares e amigos.

A todos muito obrigado.

RESUMO

Máquinas CNC (Comando Numérico Computadorizado) são equipamentos que executam de forma fácil projetos de alta complexidade em menor tempo pois conseguem com uma máquina reduzir algumas etapas dos processos de produção, com alta precisão. Contudo o custo para aquisição de uma máquina deste porte para uma pequena empresa dificilmente será viável, com isso, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver o projeto para a construção de uma *Router* CNC pequena que consiga usinar diversos tipos de materiais como ACM, MDF, plásticos entre outros. Para escolha dos materiais buscou-se escolher sempre produtos que sejam comerciais, fáceis de comprar, que estivessem prontos para uso, e também que fosse possível aumentar o tamanho da máquina e utilizar os mesmos materiais. Que assim o protótipo tenha a versatilidade de poder ser usado para diversos segmentos alterando poucos pontos da máquina, mas principalmente ser utilizado no setor moveleiro. O projeto foi validado com a construção do mesmo e posteriormente foi feito ensaios experimentais para verificar sua precisão.

Palavras-chave: CNC. Router. Baixo custo.

ABSTRACT

CNC machines (Computerized Numerical Control) are tools that allow you to easily develop highly complex projects in less time as they can use one machine to reduce some production processes and with high efficiency. However, the cost of purchasing a machine of this size for a small company will hardly be viable, therefore, the present work aims to develop the project for the construction of a small CNC Router that can machine different types of materials such as ACM, MDF, plastics among others. When choosing materials, always try to choose products that are commercial, easy to buy, ready to use, and also that it is possible to increase the size of the machine and use the same materials. This way, the prototype has suggestions of power to be used for different segments, changing few points of the machine, but mainly to be used in the furniture sector. The project was validated with its construction and later experimental tests were carried out to verify its accuracy.

Palavras-chave: CNC, Router, Low Cost.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fresadora Hydrotel da Cincinnati.....	17
Figura 2 - Fresa CNC Milwaukee-Matic-II.....	17
Figura 3 - Fresadora CNC	18
Figura 4 - Exemplo <i>Router</i> CNC três eixos	19
Figura 5 - Regra da mão direita.....	19
Figura 6 - Router CNC	20
Figura 7 - Fresamento de Topo	21
Figura 8 - Exemplo <i>G-code</i>	22
Figura 9 – Arduino	23
Figura 10 - CNC Shield.....	24
Figura 11 - Módulo A4988.....	24
Figura 12 - Módulo DRV8825	25
Figura 13 - Módulo TB6600	25
Figura 14 - Exemplo Spindle	26
Figura 15 - Motor de Passo	27
Figura 16 - Tipos de Fresas	28
Figura 17 - CNC A0404	29
Figura 18 - CNC New Black 9070	29
Figura 19 - CNC Rhino RMC 1500	30
Figura 20 - CNC JDR A6550.....	31
Figura 21 - Base CNC	32
Figura 22 - Eixo X.....	33
Figura 23 - Eixo Y	34
Figura 24 - Eixo Z	34
Figura 25 - Acoplamento Spindle	35
Figura 26 – Localização Motores CNC.....	36
Figura 27 - Sentido de Giro dos Motores	36
Figura 28 - Sensor de Fim de Curso.....	37
Figura 29 - Driver dos Motores	37
Figura 30 - Controlador Arduino.....	38
Figura 31 - Placa Controladora CNC Shield.....	39

Figura 32 - Adaptador CNC Shield.....	39
Figura 33 - Software Universal Gcode Sender.....	40
Figura 34 - Fixação da placa a ser usinada.....	41
Figura 35 - Fixação Porca Garra	41
Figura 36 - Protótipo pronto	42
Figura 37 - Fresa 6 mm	43
Figura 38 - Medida Laterais	43
Figura 39 - Medida diagonais.....	44
Figura 40 - Perpendicularidade Base com topo	44
Figura 41 - Medida Circulo	46
Figura 42- Circularidade da peça	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Resultados peças quadradas	45
Tabela 2 Medidas Circulos.....	47
Tabela 3 Valores do Projeto	48
Tabela 4 Comparativo de Valores Router	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - CNC Máquina A0404	29
Quadro 2 - CNC Sorocaba New Black 9070.....	30
Quadro 3 - Rhino RMC 1500	30
Quadro 4 - CNC JDR A6550	31
Quadro 5 - Especificações TB6600.....	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNC	Comando Numérico Computadorizado
CN	Comando Numérico
MIT	Massachusetts Institute Of Technology
APT	Automatically Programed Tool
3D	Três Dimensões
USB	Universal Serial Bus
VDC	Volt Corrente Continua
A	Ampere
RPM	Rotações por Minuto
MDF	Medium Density Fiberboard
ACM	Aluminium Composite Material
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PETG	Polietileno Tereftalato de Etileno Glicol
PLA	Poliático láctico
W	Watt
Cv	Cavalo-Vapor
Kgf	Quilograma-Força
°C	Grau Celcius

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	JUSTIFICATIVA	15
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivo Geral.....	15
1.2.2	Objetivos Específicos	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	MÁQUINAS CNC	16
2.1.1	Eixos de deslocamento.....	18
2.2	ROUTER CNC	19
2.2.1	G-code	21
2.3	PLACAS CONTROLADORAS.....	22
2.3.1	Arduino.....	22
2.3.2	Cnc shield	23
2.3.3	Driver motor de passo	24
2.3.4	Grbl.....	25
2.4	SPINDLE.....	26
2.5	MOTOR DE PASSO	27
2.6	FERRAMENTAS DE CORTE	28
2.7	MÁQUINAS EXISTENTES NO MERCADO	28
3	DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO	31
3.1	ESTRUTURA DA MÁQUINA.....	32
3.2	ELETRÔNICA	35
3.3	SOFTWARES	39
3.4	SISTEMA DE FIXAÇÃO	40
3.5	PROTÓTIPO DESENVOLVIDO	41

4	ANALISES E RESULTADOS	42
4.1	ENSAIOS EXPERIMENTAIS.....	42
4.1.1	Teste de Comparação	47
4.2	CUSTO DO PROJETO	48
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
5.1	RECOMENDAÇÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	50
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia e com a indústria 4.0 onde se busca cada vez mais a otimização e padronização dos processos uma máquina *Router* CNC (Comando numérico computadorizado) consegue executar peças complexas através de um programa específico para usinagem com o auxílio mínimo de um operador, pode ser de grande valia para empresas de diversos setores produtivos de pequeno e médio porte possuírem uma, devido à enorme versatilidade que elas possuem.

Contudo, a maioria das máquinas comercializadas possuem um alto valor de compra, o que torna esta máquina-ferramenta mais restrita a empresas de grande porte, os quais serão mostrados neste trabalho.

Devido a esses fatores, o presente trabalho busca projetar e construir uma máquina *Router* de baixo custo, com componentes que sejam facilmente encontrados no mercado nacional, e com conhecimento básico consigam desenvolver a construção e montagem da mesma. Tendo ainda a possibilidade de montar a máquina com poucas alterações, dimensões de espaço útil de usinagem maiores do que será apresentado neste trabalho, para auxiliar na produção moveleira.

Pensando na versatilidade da máquina busca-se utilizar somente *hardware* e *software* abertos, que possibilitam a utilização por qualquer pessoa e de modo gratuito, assim buscando as mais diversas aplicações em educação, pesquisa e pequenas empresas.

1.1 JUSTIFICATIVA

Os processos de usinagem que utilizam as ferramentas CNC's, têm trazido vantagens significativas para a indústria em geral, especialmente na área moveleira. Esses equipamentos possibilitaram a realização de tarefas de grande complexidade e repetibilidade, mantendo um custo baixo e redução de tempo na fabricação.

Porém, devido ao alto valor de uma máquina *Router* CNC torna-se inviável a compra de um equipamento deste porte para pequenas empresas, com isso o protótipo desenvolvido neste trabalho busca a construção de uma ferramenta com baixo custo no mercado nacional, além de trazer uma redução no tempo de produção.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo construir um protótipo de uma *Router* CNC, de baixo custo de fabricação.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Construir e validar o protótipo da máquina, utilizando materiais com custo baixo e presentes no mercado nacional;
- Definir as especificações do produto;
- Comparar tempo de usinagem manual em relação ao protótipo;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Primeiramente, foi realizado pesquisas nas literaturas referente ao tema trabalho com intuito de colocar informações e conhecimento teórico, com o objetivo de entender o funcionamento de diversos componentes necessários para o desenvolvimento da *Router* CNC e comprovar a viabilidade deste protótipo.

2.1 MÁQUINAS CNC

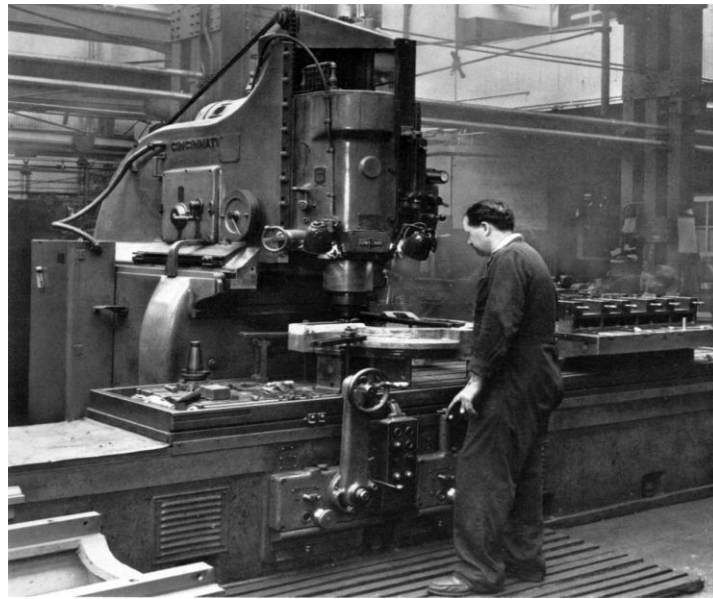
Comando numérico computadorizado (CNC) é um equipamento eletrônico capaz de controlar simultaneamente vários eixos, receber informações por meio de entrada própria, compilar estas informações e transmiti-las em forma de comando à máquina, automatizando o processo de produção sem a necessidade constante da supervisão de um operador. Contudo, historicamente nem sempre foi CNC, por volta de 1940 eram máquinas CN (Comando numérico), um tipo de máquina utilizada para usinar contornos de superfícies e os dados eram armazenados em cartões perfurados (FIGUEIRA, 2003).

A maior diferença entre máquinas que usam o CN e as que usam CNC, é que as primeiras não precisam de memória, apenas leem os comandos e os executam sem muitas alterações. Já as CNC são providas de memória e realizam alterações (MCNC, 2018).

Um sistema de controle numérico tem a finalidade de controlar as ações de uma ou mais máquinas, as quais realizam a interpretação automática que estão expressas em números. Os dados são convertidos como distâncias, ângulos, temperaturas e outros. As máquinas que são numericamente controladas recebem informações digitais (AZEVEDO, 2020).

A Figura 1 mostra a fresadora de três eixos *Hydrotel* da fabricante Cincinnati Milling Machine Company, modelo semelhante ao que foi utilizado para o primeiro protótipo (SEAMES, 2002).

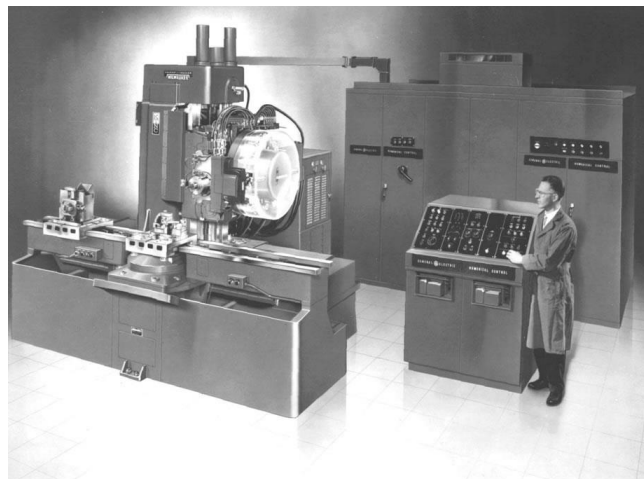
Figura 1 - Fresadora Hydrotel da Cincinnati



Fonte: lathes, 2016.

Já com o avanço das tecnologias em 1956 o MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) mostrou a possibilidade de programar peças assistido por computador, com isso em 1958 o MIT desenvolveu a primeira linguagem APT (*Automatically programmed tool*) para a programação de peças com a utilização de computador. Já em 1959, era apresentada a primeira fresadora CNC capaz de trocar automaticamente sua ferramenta de corte conforme Figura 2 (GENG, 2015, p.10),

Figura 2 - Fresa CNC Milwaukee-Matic-II



Fonte: (GENG, 2015, p.10).

No Brasil, as primeiras máquinas controladas numericamente chegaram em 1967 vindas dos Estados Unidos. Logo no início da década de 70, surgem as primeiras máquinas

CNC, e no Brasil surgem as primeiras máquinas CN de fabricação nacional. Já a primeira máquina CNC feita no Brasil veio somente em 1984 pela MCS, o CNC100 para máquinas transfer.

Hoje, após anos de pesquisas, máquinas CNC são facilmente encontradas em indústrias de todos os tipos, podendo ser uma fresadora – Figura 3 –, serra, furadeira ou qualquer outro tipo de equipamento. Ainda, possui outros modelos que possuem mais de uma função, de modo que a peça pode ser facilmente cortada ou perfurada para que saiam peças padronizadas e sem muito auxílio do operador.

Figura 3 - Fresadora CNC



Fonte: Ipesi, 2022.

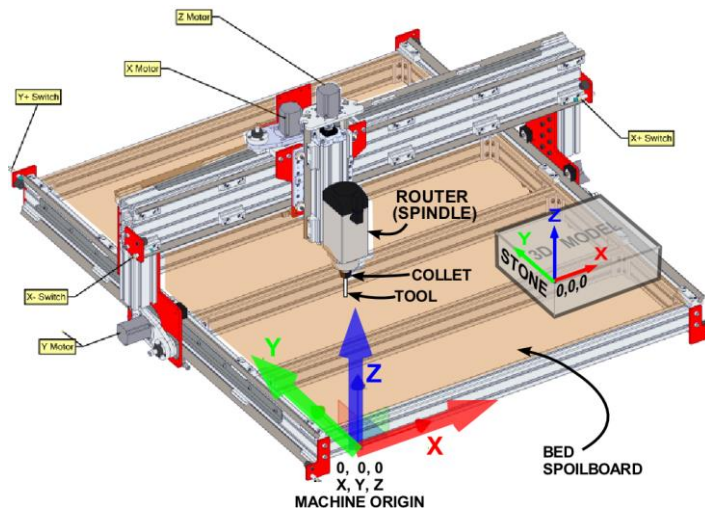
2.1.1 Eixos de deslocamento

Os eixos base primários utilizados são X, Y e Z, que são as coordenadas cartesianas, que se encontram situado a 90° uns dos outros. Quando é falado que uma máquina CNC possui 3 eixos, quer dizer que a mesma consegue se deslocar simultaneamente em 3 dimensões. Contudo, existem algumas máquinas mais complexas que possuem mais de 3 eixos, dessa forma, além das denominações normais possuem também os eixos U, V e W.

As máquinas CNC usam informações geométricas da peça inserida em um sistema de coordenadas cartesianas. As coordenadas da máquina precisam de um referencial para poder percorrer as dimensões da peça de forma correta. Esse referencial pode ser a coordenada inicial da máquina ou a coordenada inicial da peça (SMID, 2008).

Na Figura 4 podemos ver um exemplo de *Router* CNC com três eixos:

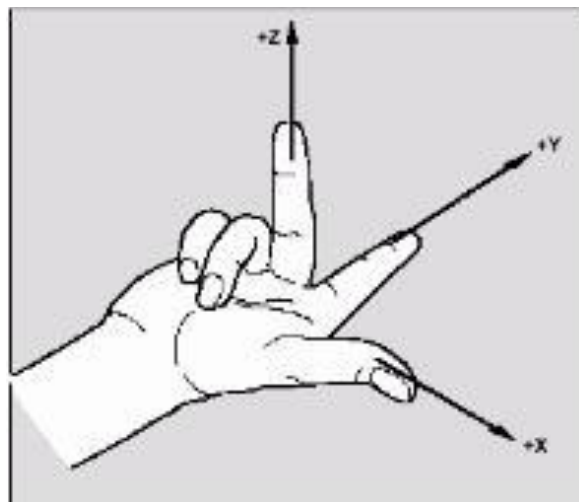
Figura 4 - Exemplo Router CNC três eixos



Fonte: nwssa, 2022.

Se encontrando de frente para a máquina CNC, pode-se usar a regra da mão direita para descobrir quais são os eixos. O eixo Z será o mais fácil de identificar, normalmente está acoplado a ferramenta, com esse identificado pode-se facilmente identificar os outros usando a regra conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Regra da mão direita



Fonte: Cursosguru, 2022.

2.2 ROUTER CNC

A definição de *Router* CNC pode ser tratada como uma fresadora controlada por um *software* de computador, no qual é gerado um código chamado de *G-code*¹ que é o responsável pela usinagem no material que o operador escolher. Normalmente é utilizada para usinar materiais mais leves como polímeros, madeiras e até mesmo algumas ligas de alumínio, como exemplo de *Router* podemos conferir a Figura 6.

Figura 6 - Router CNC



Fonte: Reprodução Internet.

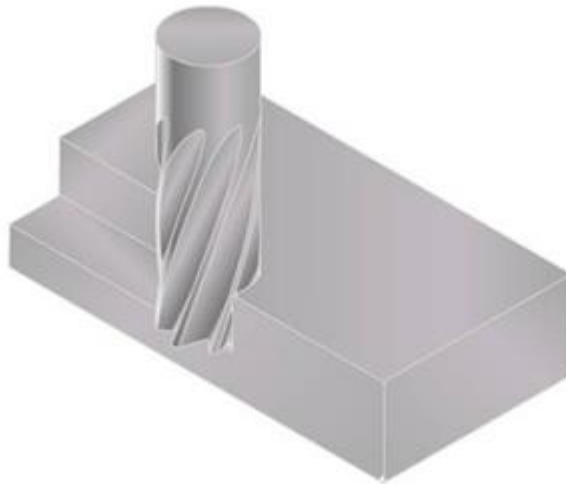
A máquina pode tanto priorizar a força de deslocamento quanto a velocidade, pois como a força e a velocidade têm uma relação inversa, isto é, à medida que aumentarmos a carga ou resistência a superar num determinado exercício a velocidade de deslocamento diminuirá (Raharinosy, 1988).

Podemos classificar, a usinagem sendo 2D ou 3D onde é adotado o fresamento de topo. O material é removido por uma ferramenta giratória (fresa) de múltiplos gumes cortantes. Cada gume remove certa quantidade de material a cada revolução do eixo o qual a ferramenta está fixada (CHIAVERINI, 1986).

Na Figura 7 podemos observar como seria um fresamento de topo, onde a ferramenta cortante vai retirando o material da peça.

¹ Tema abordado na página 28 deste trabalho.

Figura 7 - Fresamento de Topo



Fonte: Cimm, 2022.

2.2.1 G-code

Assim que um projetista desenha uma peça no computador são geradas várias informações sobre ela, essas são necessárias para produzi-las. O *G-code* seria o conjunto dessas informações transferidas de forma que a máquina consiga ler e executar o comando um exemplo de G-code pode ser observado na Figura 8.

G-code é uma notação abreviada para um conjunto de funções da máquina, que regulam o movimento das várias partes da máquina (BELL; CHARLES, 2014, p.14).

Os programas de código G podem ser executados de três maneiras diferentes:

- De maneira manual que é inserido um comando por vez e espera o deslocamento da máquina,
- Modo de passos é inserido uma etapa, a máquina roda uma linha e para, possui também
- Modo contínuo que o programa é executado do início ao fim sem intervenção do operador.

Figura 8 - Exemplo *G-code*

```

%
O100
G00 G40 G49 G20 G90
N05 M10
N10 M05
N15 G91 G28 Z0
N20 G90
N25 T1 M06
N30 G00 Z.1
N35 G00 X2.5 Y2.5
N40 G01 Z-.25 F200
N45 G01 X5 Y5
N50 G00 Z.1
N55 G28 X0 Y0
N60 M05
N65 M45
%
```

Fonte: Iniciando em CNC Router, 2022.

2.3 PLACAS CONTROLADORAS

As placas são responsáveis por receber e interpretar os dados enviados pelo computador, as elas são quem coordena os movimentos executados pela máquina, como sentido, velocidade e qual atuador deve ser acionado.

2.3.1 Arduino

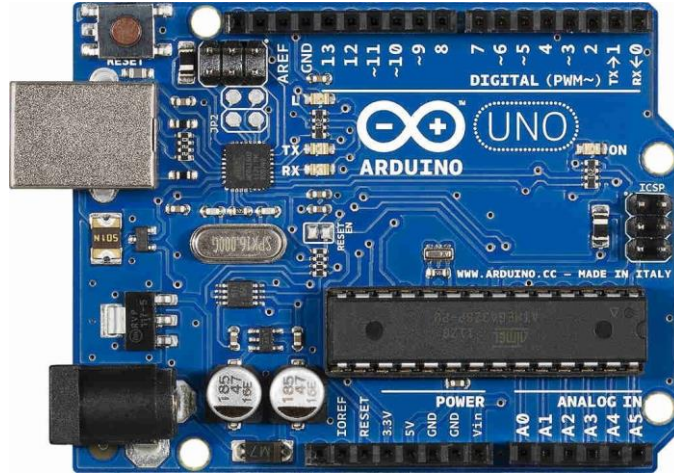
A placa controladora Arduino é uma plataforma de microcontrolador de código aberto e tem como linguagem padrão baseada em C/C++ e em *software* e *hardware* livres. Como podemos ver na Figura 9 ele possui 6 entradas analógicas, 14 pinos de entrada/saída digital, uma conexão USB que pode ser usada para adicionar o código a placa, o que faz ela ser muito versátil para ser utilizada com diversas aplicações.

Devido a ter uma ampla utilização o Arduino tem certas limitações para a produção de uma Router CNC, como a falta de memória e baixa velocidade de processamento, o que leva a ter que achar um *firmware* o mais otimizado possível para que atenda a necessidade.

Contudo, uma das grandes vantagens do Arduino é sua extensa biblioteca de códigos e projetos disponibilizados pelas comunidades ligadas a plataforma, o que permite ao usuário

programar o microcontrolador com linguagem de alto nível mesmo com pouco conhecimento em programação. (RENNA, 2013).

Figura 9 – Arduino



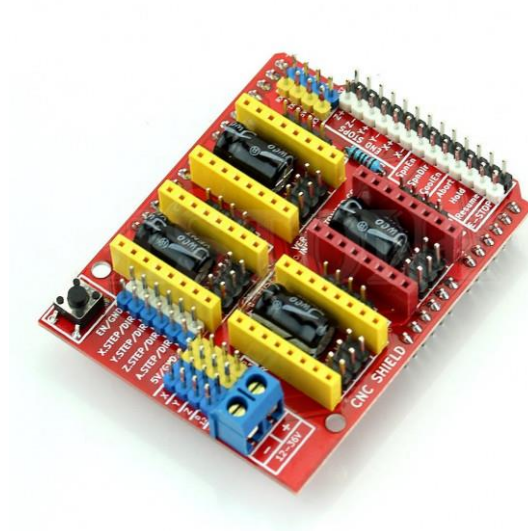
Fonte: Arduino, 2022.

2.3.2 Cnc shield

Conforme comentado no tópico 2.3.2, a placa controladora Arduino é muito versátil, isto é, possui vários acessórios que pode tornar a experiência do usuário muito mais prática. O CNC *shield* apresentado na Figura 10 foi projetado para se plugar em uma placa de Arduino e conseguir controlar até 4 motores de passo e dois conectores fim de curso para cada eixo.

Na utilização o Arduino sem a utilização dessa placa para controlar uma máquina CNC seria necessário ser feito diversas ligações e a utilização de diversos componentes o que deixaria inviável de se utilizar.

Figura 10 - CNC Shield



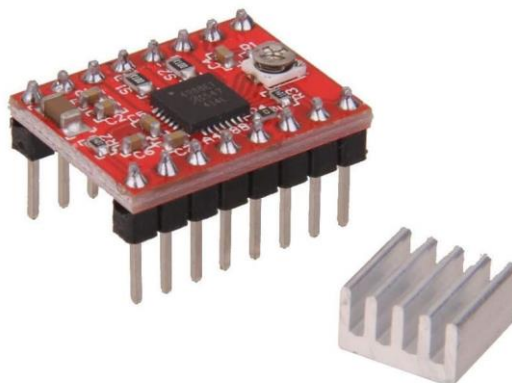
Fonte: Bau da Eletrônica, 2022.

2.3.3 Driver motor de passo

Pode-se adicionar drivers para controlar os motores de passo da máquina CNC com a implementação do CNC *shield*, podemos citar os drivers A4988, DRV8825 e também o TB6600, contudo, há diferença entre cada um desses módulos.

- a) Módulo A4988: Fabricado pela empresa Allegro, suporta uma tensão de 8 a 35VDC e tem corrente de saída de até 2A por bobina.

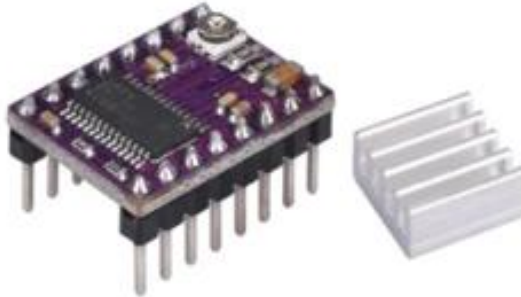
Figura 11 - Módulo A4988



Fonte: Reprodução Internet

- b) Módulo DRV8825: Este módulo é bastante parecido com o A9988, porém ele aguenta até 2,2A de corrente de saída por bobina.

Figura 12 - Módulo DRV8825



Fonte: Reprodução Internet

- c) Módulo TB6600: Este driver é baseado no circuito integrado da Toshiba TB6600, ele é um módulo de controle de motor de passo e garante alta eficiência e baixa vibração, ele aceita de 10 até 45 VDC de entrada de energia e saída de até 4,5 A de corrente por bobina para o motor. Para utilizar este driver na placa CNC *shield* deve-se utilizar um adaptador ou conectar fio por fio na placa, porém, este módulo é o que aceita motores de maior potência.

Figura 13 - Módulo TB6600



Fonte: Reprodução Internet,2023

2.3.4 Grbl

Grbl é um *software* aberto que foi desenvolvido para interpretar código G (*G-code*). É executado diretamente pela placa controladora Arduino, a qual recebe o programa via USB e interpreta as instruções que, a partir destas, envia os comandos para os *drivers* que transformam os sinais em movimentos.

Conforme dados do GITHUB, 2020, foi escrito em linguagem C altamente otimizada para funcionar em microcontroladores atmega328p, esses presentes em diversas placas, como por exemplo o Arduino Uno, que tem como finalidade coordenar máquinas operatrizes

2.4 SPINDLE

Spindle é o conjunto da máquina que exerce a rotação da ferramenta de corte, conseguindo fresar, perfurar, fazer furações, entre outros. Ele tem alta precisão e também uma alta rotação, podendo chegar até 150.000 RPM, oferecendo diferentes níveis de potência (TECMAF,2022).

O motor *spindle* apresenta algumas vantagens em relação aos motores elétricos universais, quanto ao tamanho reduzido, aliados a torque e grandes potências, conseguindo ainda ter controle de velocidade por meio eletrônico. O *spindle*, ainda comparado a motores de mesma potência, consegue economizar de 20 a 50% de energia elétrica.

Nota-se em muitas *Router CNC* onde não se quer gastar muito, a alternativa usada é a tupa laminadora, contudo, apesar de apresentar a mesma potência, não consegue ter o mesmo controle de velocidade e faz muito mais barulho, isso porque, para alguns materiais é necessária uma rotação mais baixa, e a falta de regulagem para tal, acaba sendo prejudicial na hora da usinagem.

Figura 14 - Exemplo Spindle



Fonte: Tecmaf, 2022.

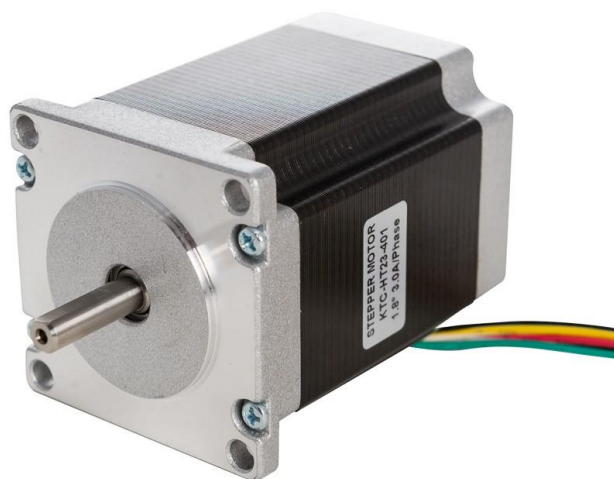
2.5 MOTOR DE PASSO

É um tipo de motor elétrico que converte um sinal de entrada em um ângulo com muita precisão de giro, ele ainda tem um número fixo de polos magnéticos, o que faz com que ele não precise de escovas, algo que é considerado bom tendo em vista que é um dos componentes que mais apresentam falhas.

Existem três tipos de motores de passo:

- a) Motor de passo com ímã permanente, que faz com que ele tenha um campo magnético permanente, somado com o campo das bobinas resultando em um torque alto na partida, em consequência isso diminui a precisão nos passos dele.
- b) Motor de passo de relutância variável, neste motor existe de 3 a 5 bobinas conectadas a um terminal comum, ele possui um ímã como o motor anterior. O que é diferente neste motor é que por não haver um campo magnético permanente ele tem um torque menor na saída.
- c) Motor de passo híbrido, que junta o melhor dos dois motores comentados anteriormente, usando a mecânica do motor de relutância variável somando com a potência do motor de ímã permanente e com uma melhor precisão nos passos dele.

Figura 15 - Motor de Passo



Fonte: Kalatec, 2022.

2.6 FERRAMENTAS DE CORTE

As ferramentas para corte na *Router* CNC são chamadas de fresas, como elas apresentam uma ampla variedade de utilização, muitas vezes depende da operação de corte a ser realizado e do serviço para a escolha da ferramenta mais adequada. Para cada tipo de material a ser usinado terá uma fresa que desenvolverá um melhor acabamento para a usinagem.

Existem vários tipos e formatos de fresas, -Figura 14- a fresa que mais é utilizada em uma *Router* CNC é a fresa de topo, a qual consegue abranger diversas etapas com uma única fresa, ela consegue abrir ranhuras, executar bolsões, rebaixos, matrizes, gravações, fresar contornos, internos e externos entre outras utilidades. Elas conseguem executar cortes tanto no fresamento frontal quanto tangencial, isso faz com que ela consiga ser usada em fresadoras horizontais e verticais.

Escolher uma fresa requer alguns cuidados, entre eles o tamanho do raio da ponta, diâmetro da haste para ver se encaixa na pinça do *spindle* que na maioria das *Router* varia entre os diâmetros 6, 6,35, 8 e 12mm.

Figura 16 - Tipos de Fresas

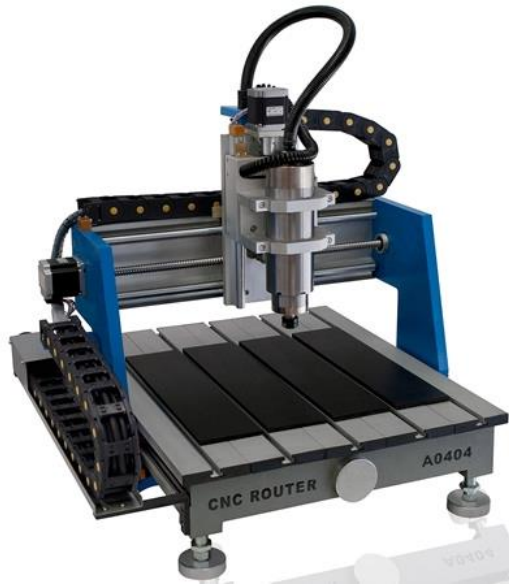


Fonte: Fresa para madeira, 2022.

2.7 MÁQUINAS EXISTENTES NO MERCADO

Antes da confecção do protótipo foram realizadas pesquisas para ter como parâmetro algumas máquinas já existentes no mercado, buscando que o custo final ficasse em um valor muito mais acessível do que as existentes. A seguir algumas das ferramentas que se tem hoje no mercado nacional:

Figura 17 - CNC A0404



Fonte: CNC maquinas, 2023.

Quadro 1 - CNC Máquina A0404

Espaço de Usinagem	400x400x100mm
Spindle	2cv
Motor de Passo	30kgf
Velocidade Máxima de deslocamento	6000mm/min
Preço	R\$ 40.350,00

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

Figura 18 - CNC New Black 9070



Fonte: CNC Sorocaba, 2023.

Quadro 2 - CNC Sorocaba New Black 9070

Espaço de Usinagem	900x700x80mm
Spindle	1cv
Motor de Passo	20kgf
Velocidade Máxima de deslocamento	8000mm/min
Preço	R\$ 18.000,00

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

Figura 19 - CNC Rhino RMC 1500



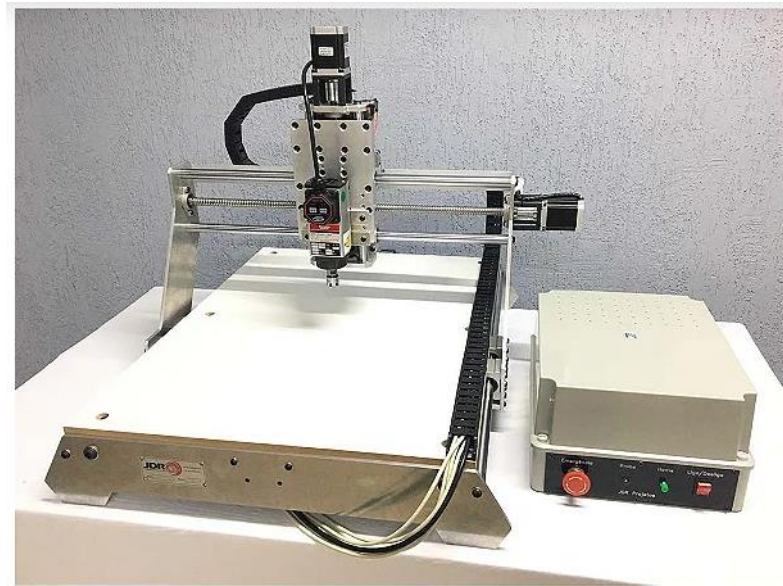
Fonte: Rhino Maquinas, 2023.

Quadro 3 - Rhino RMC 1500

Espaço de Usinagem	1000x1500x150mm
Spindle	3cv
Motor de Passo	30kgf
Velocidade Máxima de deslocamento	5000mm/min
Preço	R\$ 32.500,00

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

Figura 20 - CNC JDR A6550



Fonte: JDR Maquinas e Componentes, 2023.

Quadro 4 - CNC JDR A6550

Espaço de Usinagem	650x500x90mm
Spindle	1cv
Motor de Passo	20kgf
Velocidade Máxima de deslocamento	-
Preço	R\$ 12.320,00

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

3 DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

No referido trabalho busca-se alcançar uma alternativa para diversas áreas de atuação que necessitam fazer trabalhos com precisão e de forma automatizada, que queiram fazer de uma forma que não gere muitos custos para sua produção. Buscando de uma forma simplificada conseguir tais objetivos.

Espera-se que a máquina tenha um espaço útil de usinagem de no mínimo 450 mm no eixo X, 500 mm no eixo Y e 50 mm no eixo Z, consiga usinar matérias como madeira maciça, MDF (*Medium density fiberboard*), acrílico e ACM (*Aluminium composite material*).

Almeja-se ainda ampliar o meu conhecimento referente ao tema para que no futuro seja possível o desenvolvimento de máquinas maiores com espaço de usinagem superior ao apresentado neste projeto, com dimensões aproximadas de 2000 mm no eixo X, 3000 mm no

eixo Y e 70 mm no eixo Z. Com estas dimensões é possível realizar a usinagem de chapas de MDF inteiras, e não fracionadas.

A usinagem de chapas de MDF inteiras teria como benefício um desperdício menor de chapa, pois seria possível aproveitá-la melhor e ainda reduziria retrabalhos e processos na indústria moveleira.

3.1 ESTRUTURA DA MÁQUINA

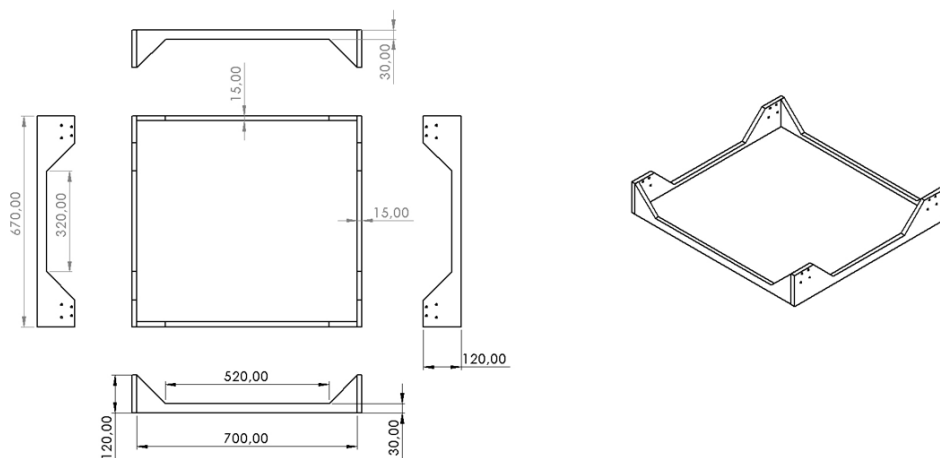
Pensando em um material de baixo custo e com facilidade de ser encontrado no mercado em geral, foi escolhido para fazer a estrutura do protótipo em MDF de 15 mm com melamina branca que deixará ela com um peso estimado de 13kg somente da estrutura, sendo assim conseguindo absorver um pouco das vibrações que serão geradas pelos motores.

Há outras possibilidades de materiais, como PEAD, e chapas de alumínio estrutural, porém em um primeiro momento por se tratar de um protótipo oneraria muito no custo final, o que não justificaria a troca do material.

O projeto foi desenvolvido no software Solidworks para estudante.

No que se refere a base do protótipo foi estipulado a dimensão necessária de 700 x 640 mm, para as laterais foram necessários quatro pedaços, dois de 700 x 120 mm e dois de 670 x 120 mm. Nas laterais somente por motivo estético foi feito alguns rebaixos para dar um melhor acabamento na estrutura. Para fixação destas laterais foi utilizado cola PVA extraforte nos topos do MDF, juntamente com 24 parafusos para madeira de 4,0 x 40 mm.

Figura 21 - Base CNC

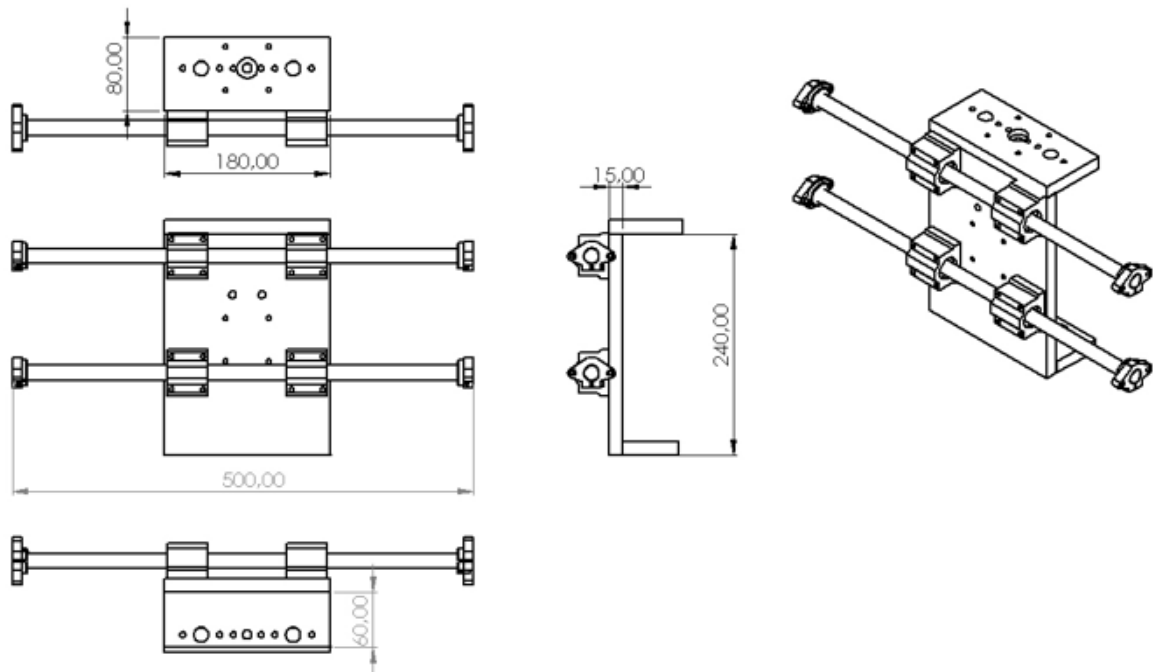


Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

Na confecção da estrutura do eixo X foi utilizado uma base de MDF de 15 mm com dimensões de 60x180 mm, uma travessa de 180x240 mm e um fechamento superior de 80x180 mm.

Foram utilizadas duas guias lineares de 500 mm de comprimento e diâmetro de 16 mm para apoiar o eixo, as quais foram fixadas nas laterais com 4 suportes de mesmo diâmetro para diminuir o risco de variação de medidas, a transmissão de movimento ficou a cargo de 4 *Pillow block* fechados, fixados com 16 parafusos M5x35, porcas autotravantes e arruelas na chapa de MDF.

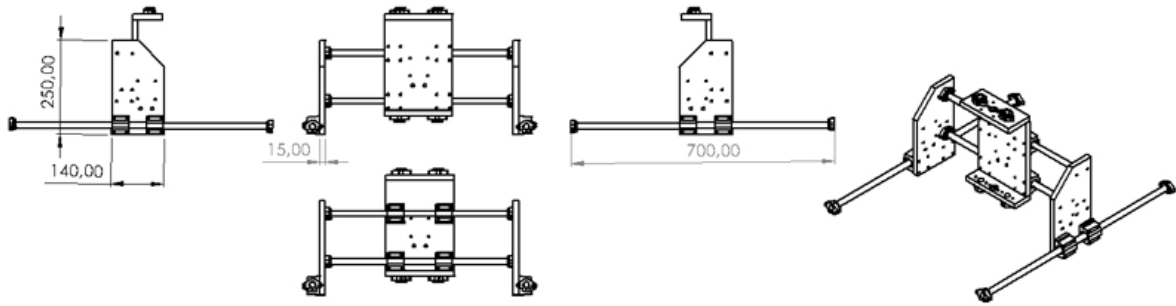
Figura 22 - Eixo X



Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

Na confecção do eixo Y foram utilizadas guias lineares de 16 mm com 700 mm de comprimento, com a movimentação do eixo sendo realizada através de 4 pillow block estando dois de um lado e dois de outro, para fixar foi usado suporte de guia lineares juntamente com 8 parafusos M5x35, porcas autotravantes e arruelas.

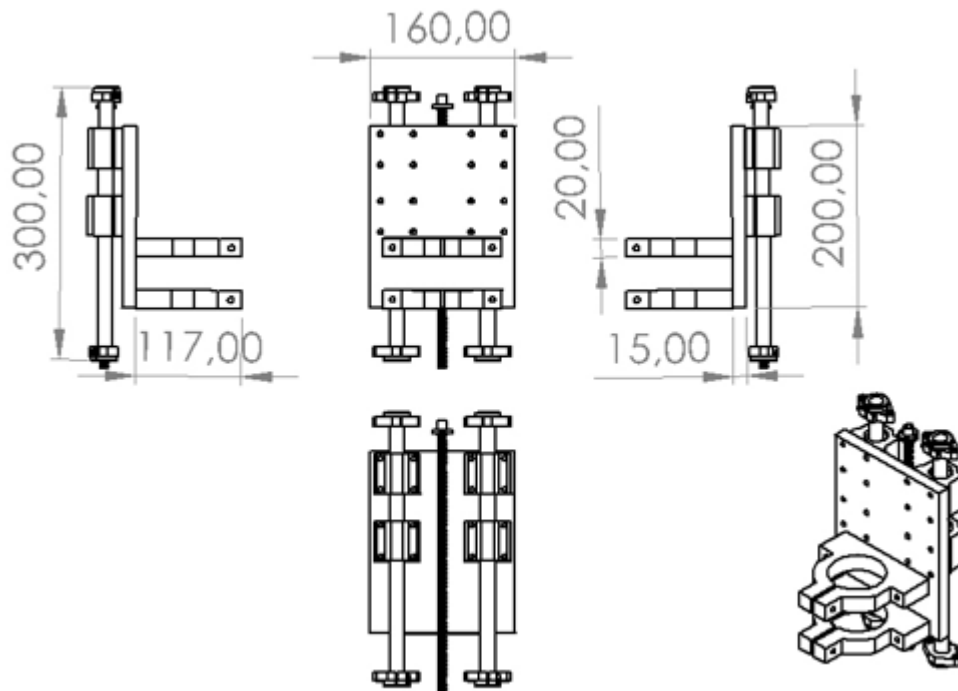
Figura 23 - Eixo Y



Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

A construção para a transmissão do eixo z foi feita utilizando castanha e fuso trapezoidal com diâmetro de 8 mm e passo de 2 mm com comprimento de 300 mm.

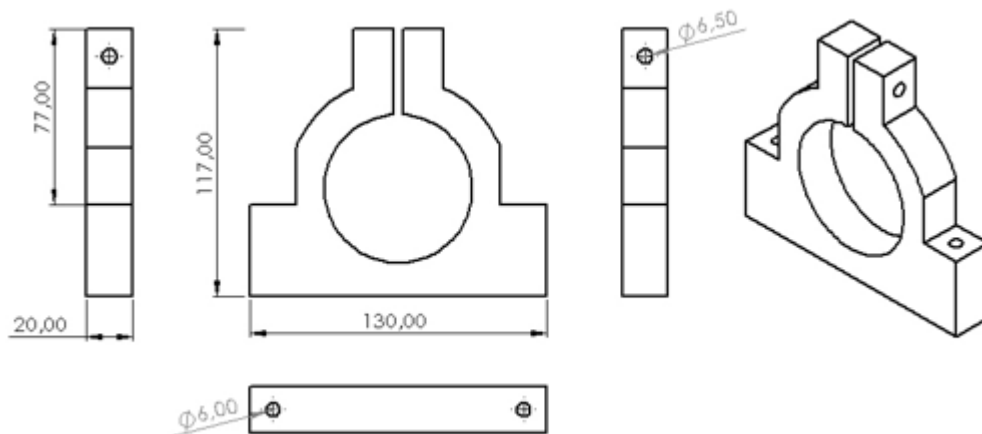
Figura 24 - Eixo Z



Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

O acoplamento para a tupa foi projetado a peça e posteriormente produzido através da manufatura aditiva 3D, essa peça foi executada com o material PETG o qual garante uma boa resistência a mecânica quando comparado ao material PLA (poliácido láctico) para a peça.

Figura 25 - Acoplamento Spindle



Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

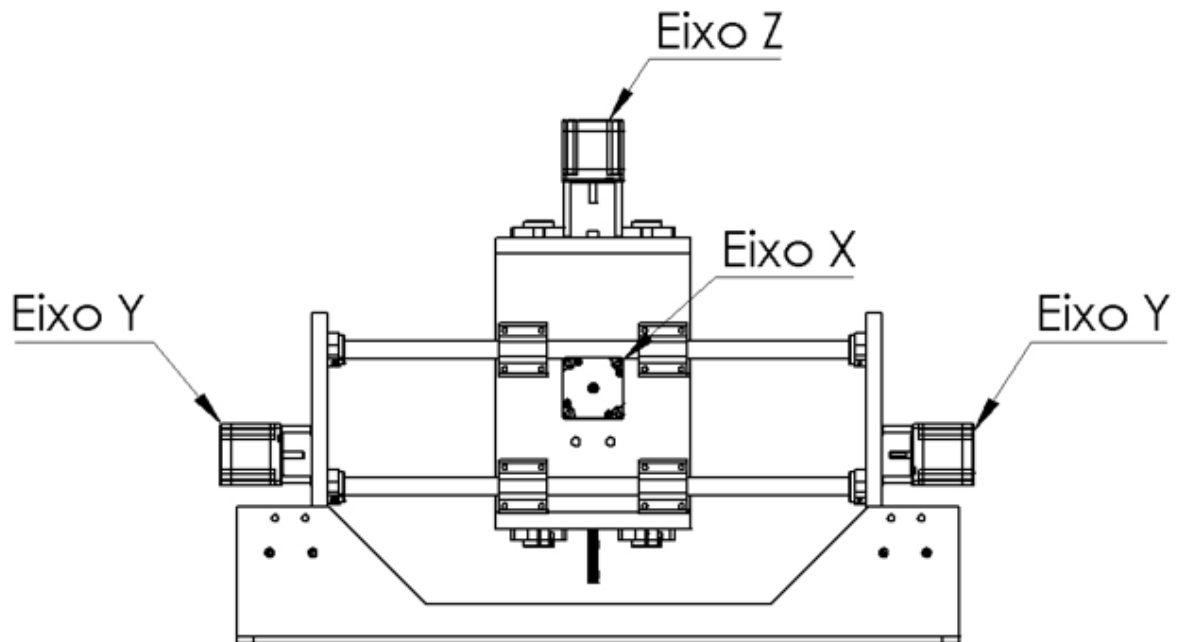
3.2 ELETRÔNICA

A eletrônica da *Router* CNC pode ser dividida em quatro componentes principais: motores de passo, Sensores de fim de curso, controlador e drivers dos motores.

Motor de passo, pensando que um dos intuitos do projeto é fazer uma CNC que seja possível aumentar as dimensões úteis da máquina, foi escolhido um motor de passo NEMA 23 com 20kgf.cm, com base nos manuais dos fabricantes e analisando *Routers* já existentes no mercado e seus motores, com isso eles irão ter força suficiente para a locomoção dos eixos realizando usinagem nos materiais como MDF, ACM e Madeira.

Foram utilizados 4 motores para realizar os movimentos necessários da *Router* sendo um para o movimento do eixo x, dois para o eixo y e um para o eixo z.

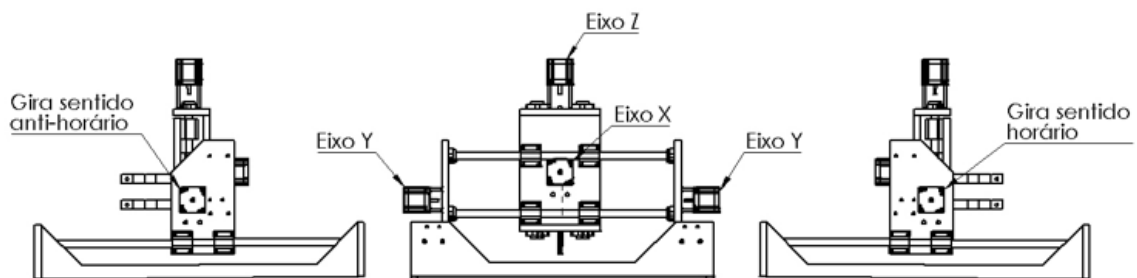
Figura 26 – Localização Motores CNC



Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

Contudo, como no protótipo da máquina os motores do eixo y fica um espelhado em relação ao outro a rotação de um dos motores é invertida, para que quando haja o acionamento dos motores eles estejam fazendo força para a mesma direção.

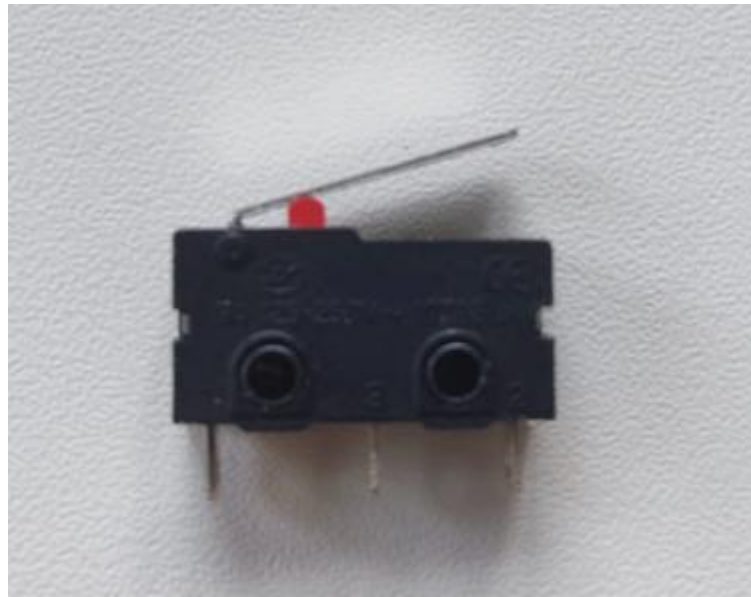
Figura 27 - Sentido de Giro dos Motores



Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

Sensores de fim de curso, faz com que a máquina consiga encontrar suas coordenadas para isso foi adicionado em cada eixo um sensor de fim de curso mecânico que é acionado pelo contato do eixo com o elemento do sensor, e tem como finalidade gerar um ponto de referência que será utilizado como ponto de partida do sistema.

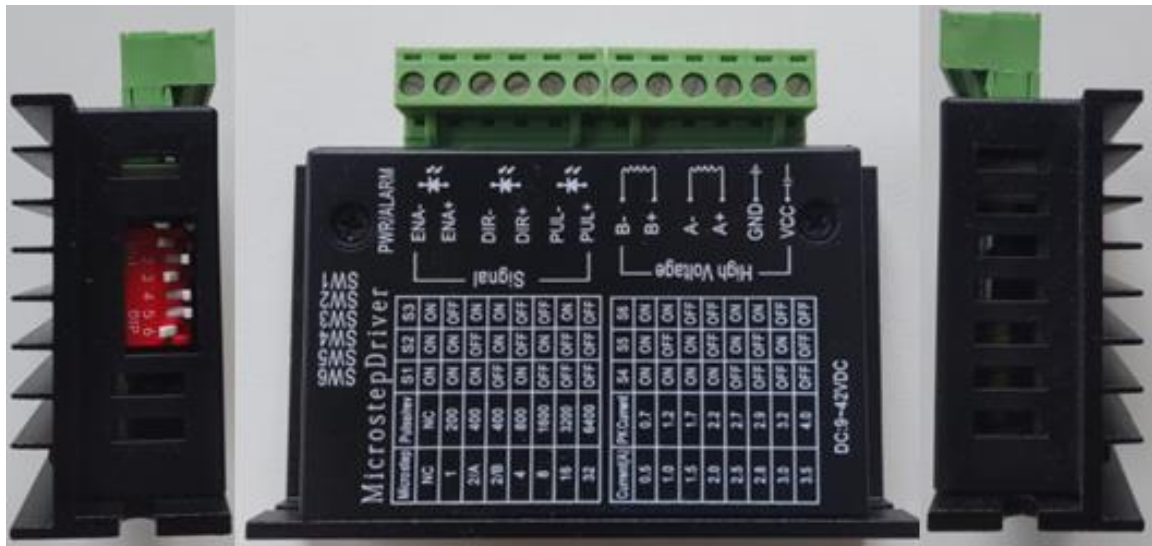
Figura 28 - Sensor de Fim de Curso



Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

Os drivers dos motores utilizados foram o TB6600 -Figura 29- que suportam motores com corrente de até 4A e tensão de DC 9-42V, mais algumas características mostradas na tabela a seguir:

Figura 29 - Driver dos Motores



Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023

Quadro 5 - Especificações TB6600

Tensão de entrada	DC 9-42V
Corrente mínima de entrada	Recomendado usar fonte de alimentação de 5A

Corrente de saída	0,5-4,0A
Consumo máximo de energia	160W
Temperatura de trabalho	-10 até 45°C
Resfriamento	Através de dissipador de calor
Dimensões	96x72x28mm
Peso	123g
Micro passos	1, 2/A, 2/B, 4, 8, 16, 32

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

A placa controladora desempenha um papel fundamental na operação do sistema. Ela é responsável por receber os comandos de movimento e controle vindos do software e transforma-los em sinais elétricos para os motores, drivers e outros dispositivos da máquina.

Tendo uma ampla comunidade de suporte e oferecer placas que podem facilmente ser acopladas, trazendo facilidade de montagem, e ainda por ter uma comunidade de usuários e fóruns, traz uma maior facilidade para todos que queiram manusear a máquina sem ter um estudo muito aprofundado no conteúdo.

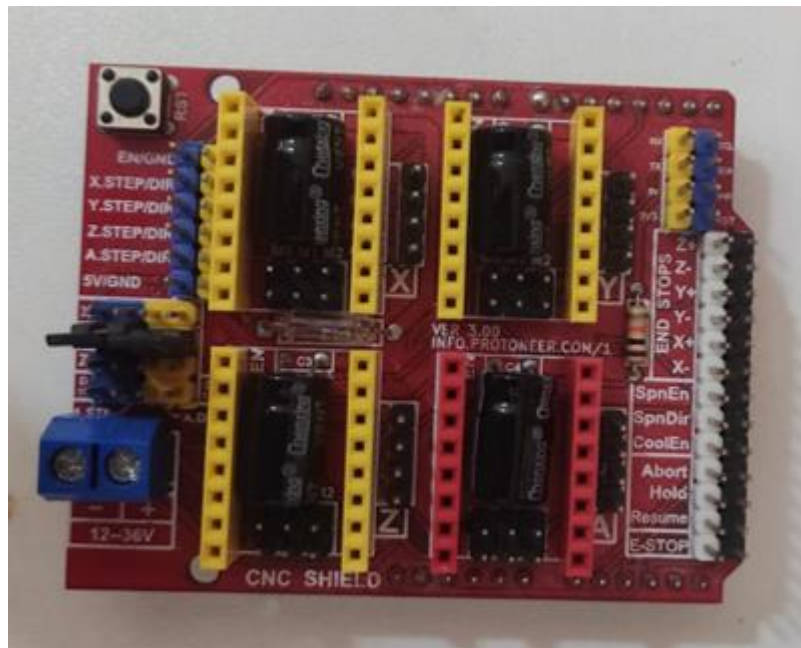
Figura 30 - Controlador Arduino



Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

Pensando em diminuir as chances de mal contato optou-se por usar *CNC Shield*, que é diretamente acoplada na placa controladora e facilmente instalada.

Figura 31 - Placa Controladora CNC Shield



Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

Nas ligações dos drivers dos motores foi utilizado outro adaptador para facilitar a montagem com os TB6600 e reduzir a chance de mau contato, pois de cada driver sairia 5 fios o que aumenta as chances de ter problemas.

Figura 32 - Adaptador CNC Shield



Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

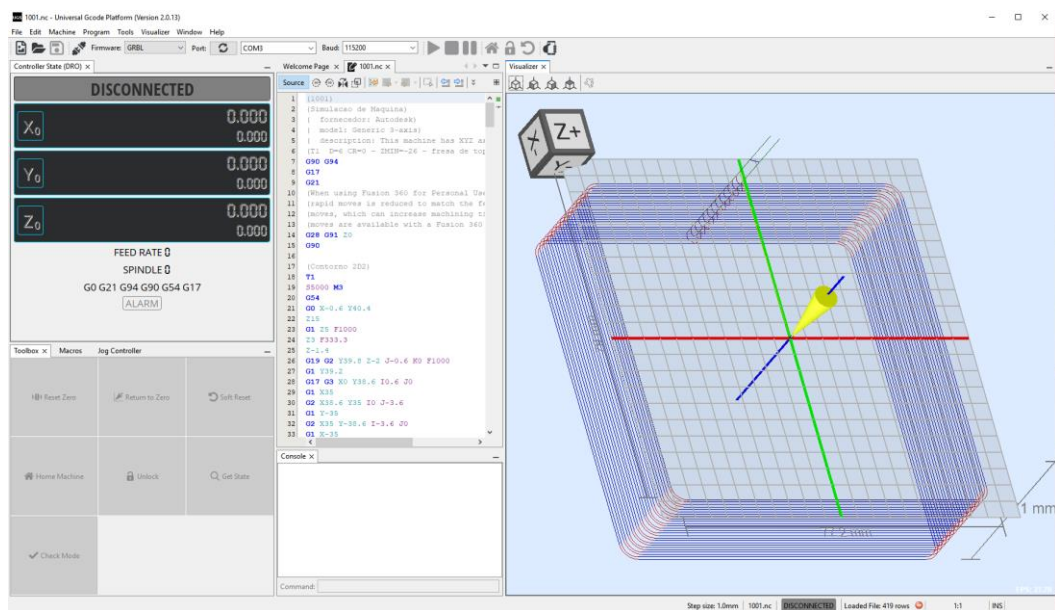
3.3 SOFTWARES

Como o intuito do trabalho é ter um baixo custo e facilidade para todos conseguirem construir uma *Router CNC*, o *firmware* escolhido foi o GRBL que é de código aberto, isto é, qualquer pessoa pode baixá-lo e utilizá-lo sem nenhum custo para isso.

Este *firmware* é compatível com a placa controladora Arduino, assim contendo temporização precisa e operação assíncrona. Feito para máquinas de até três eixos (x,y,z), sem eixo de rotação.

Após o grbl estar inserido dentro da placa controladora pode-se decidir qual software seria utilizado e que teria maior compatibilidade com o firmware. O escolhido foi o Universal Gcode Sender, ele tem o papel de pegar o arquivo feito em programa cad como Autodesk Fusion 360, sketchup make entre outros e transformá-los em arquivos de código G. Vale ressaltar que também é um programa de código aberto.

Figura 33 - Software Universal Gcode Sender

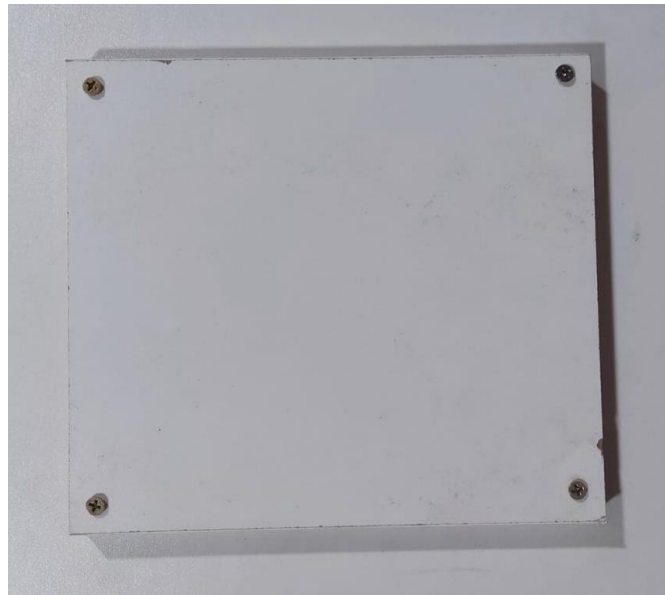


Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

3.4 SISTEMA DE FIXAÇÃO

Se tratando de um protótipo em um primeiro momento o sistema de fixação não foi feito está sendo fixado a peça a ser usinada na base da máquina com o auxílio de parafusos, é eficaz, contudo, se perde em área útil da peça a ser usinada.

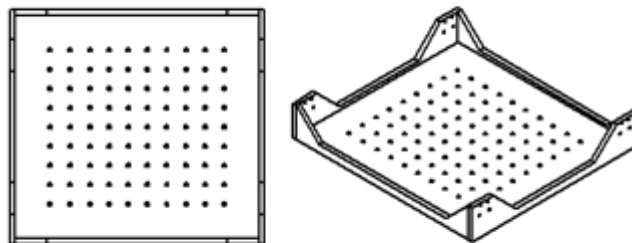
Figura 34 - Fixação da placa a ser usinada



Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

A forma que foi projetada para ser feita a fixação seria colocar 90 porcas garra de 8 mm cada em 5 em 5 cm na base e com o auxílio de um sargento para segurar a peça.

Figura 35 - Fixação Porca Garra

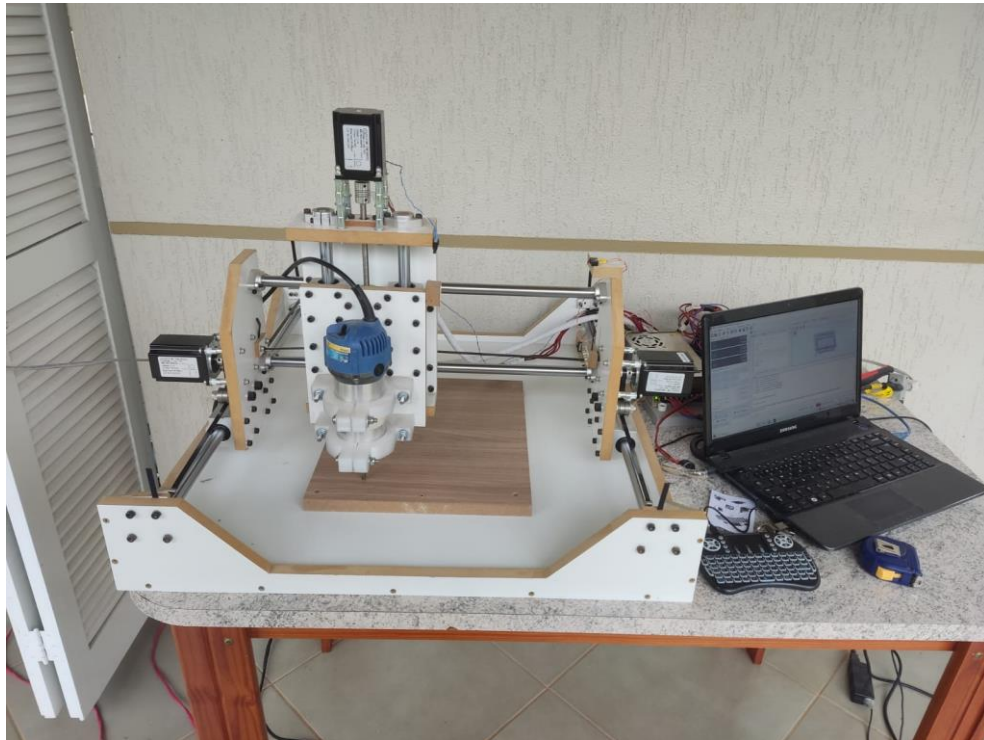


Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

3.5 PROTÓTIPO DESENVOLVIDO

Após desenvolver o esboço e escolher insumos necessários para a construção da máquina, ela foi montada a estrutura em MDF de 15mm onde teve peso de 13kg, utilizado guias lineares e *pillow blocks*, além do acoplamento para tupaia feito em impressora 3D as partes eletrônicas foi utilizado 4 motores NEMA de 20kgf, 4 drivers de motor TB6600 além de três sensores de final de curso e ainda como placa controladora o sistema Arduino junto com CNC *Shield*. Conforme a Figura 36 podemos ver como ficou o protótipo pronto.

Figura 36 - Protótipo pronto



Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

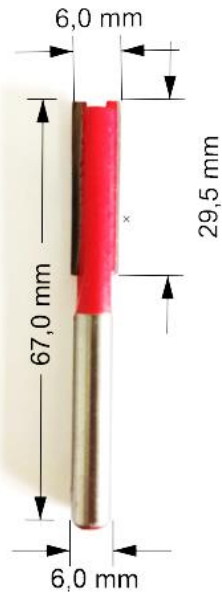
4 ANALISES E RESULTADOS

4.1 ENSAIOS EXPERIMENTAIS

Na realização dos ensaios de validação foram feitos alguns testes na máquina, cinco peças em forma de quadrado com medida de 50 mm e outras cinco em forma de círculo também com 50 mm de diâmetro, o intuito desses testes é analisar a variação de medida que cada uma das peças possui com isso será possível ver a precisão da máquina.

Considerando que está foi a primeira utilização da máquina, optou-se por utilizar uma fresa de topo reta de 6 mm de diâmetro e 29,5 mm de corte, após alguns testes será viável avaliar a confiabilidade da máquina e então trocar a fresa por uma com o diâmetro menor, diminuindo o desperdício gerado pela usinagem. Com a escolha dessa fresa o acabamento da peça não ficará perfeito, mas como o intuito dos testes não é em relação ao acabamento e sim as dimensões não haverá problema.

Figura 37 - Fresa 6 mm



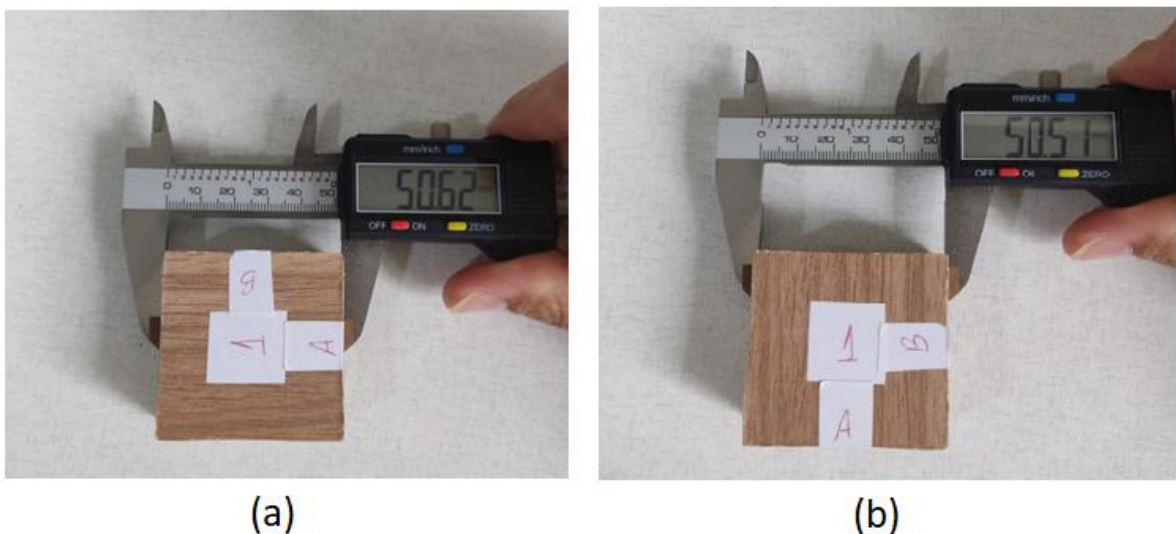
Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

As peças usinadas foram conferidas as dimensões finais feito 5 medições nas peças quadradas e 3 medições nas peças redondas. Sendo elas:

Nas peças quadradas, foram nomeadas cada uma delas sendo “1;2;3;4;5”, e também referenciado cada lado como “A” e “B” como mostra na Figura 37. A primeira medição foi feita em relação ao lado “A” e o lado paralelo a ele Figura 37 (a), conferida a medida e anotada.

Após isso feito o mesmo procedimento com o lado “B” e o lado paralelo a ele conforme Figura 37 (b).

Figura 38 - Medida Laterais



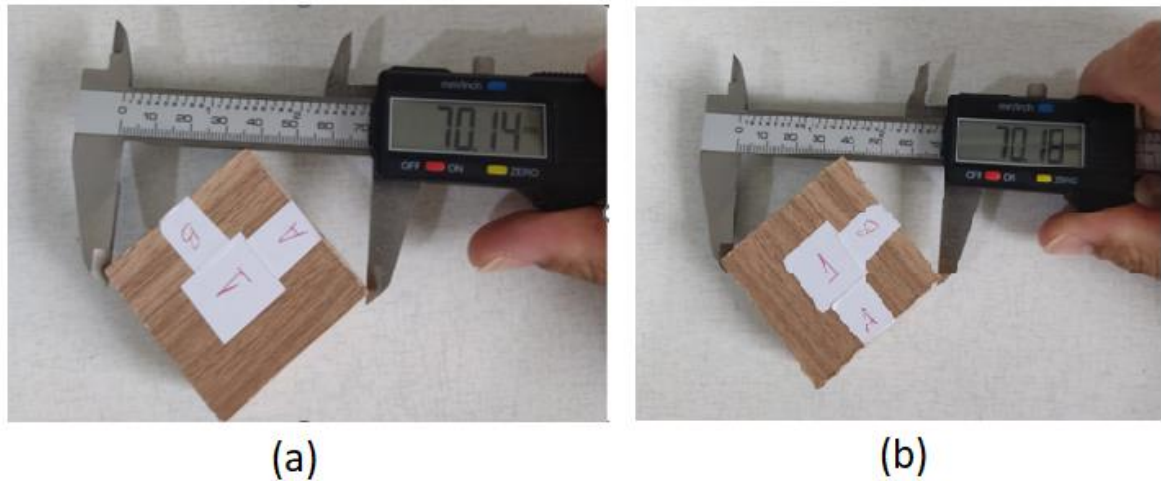
(a)

(b)

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

Outra medida feita foi para ver o esquadro da peça, com isso foi medido as duas diagonais do quadrado e comparado entre elas, caso elas não sejam iguais a peça estará fora de esquadro.

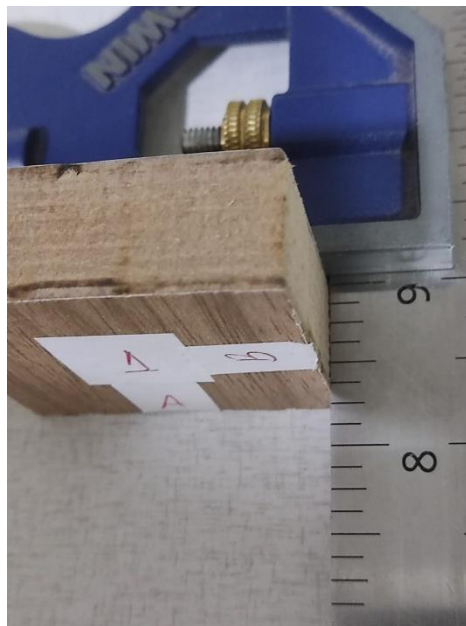
Figura 39 - Medida diagonais



Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

E a última medição foi a perpendicularidade da base com a lateral usinada da peça, essa medida tem o intuito de conferir se a máquina está usinando reto ou em cada passada está fazendo um caminho diferente, fazendo com que não tenha 90° graus em relação a base.

Figura 40 - Perpendicularidade Base com topo



Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

Os resultados obtidos nos testes das peças quadradas estão expostos na Tabela 1:

Tabela 1 Resultados peças quadradas

Peça	Lado A	Lado B	Diagonal 1	Diagonal 2	Perpendicularidade
1	50,62	50,51	70,18	70,14	Não
2	50,71	50,71	70,13	70,18	Não
3	50,72	50,72	70,11	70,15	Não
4	50,69	50,67	70,12	70,16	Não
5	50,71	50,68	70,11	70,16	Não

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023

Onde no seu tamanho teve-se uma diferença máxima de 0,72mm o que daria um erro em relação ao projetado de aproximadamente 1,42%. A média de erro para o lado “A” ficou em 0,69 mm ou seja 1,38% e o lado “B” ficou com 0,65 mm referente a 1,3%.

Foi realizado o cálculo de desvio padrão para os resultados obtidos no Lado A o resultado do desvio deu 0,0363 mm o que daria para esse lado uma incerteza de medição de $50 \pm 0,0363$ mm e o Lado B obteve-se 0,0762 mm, ficando com a incerteza de $50 \pm 0,0762$ mm com isso conseguimos ver que as amostras estão todas uniformes e com ajustes de parâmetros será possível conseguir um resultado mais preciso do que o já alcançado.

Vale ressaltar que na área da marcenaria é utilizado como ferramenta de medição a trena ou escala métrica para aferição onde o grau de precisão é o milímetro, sendo o paquímetro um equipamento com uma precisão muito superior sendo o grau de precisão de até 0,02mm.

Em relação a perpendicularidade da base com o topo do MDF todas as peças quadradas não atingiram essa exatidão, a fresa não fez sempre o mesmo caminho, sendo que cada vez que ela descia um pouco gerava uma nova camada.

As peças que possuíam o formato de círculo foram feitas a primeira medição em relação ao diâmetro dela como mostra na Figura 42.

Figura 41 - Medida Circulo



Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

Em seguida foram feitas as mesmas medições que foram realizadas nas peças quadradas para conferir se a base está em 90° com o topo.

E a última medição foi em relação a circularidade das peças, conferindo ver se a máquina está conseguindo fazer um círculo perfeito.

Figura 42- Circularidade da peça



Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

As medidas obtidas com as peças redondas podem ser vistas na tabela 2.

Tabela 2 Medidas Circulos

Peça	Medida	Circularidade	Perpendicularidade
1	50,16	Sim	Não
2	50,45	Sim	Não
3	50,11	Sim	Não
4	50,13	Sim	Não
5	50,15	Sim	Não

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023

Nas peças circulares se obteve melhores resultados em relação as peças quadradas, onde a diferença máxima do projeto foi de 0,45mm ou 0,9%, a média de todas as peças ficou em 50,2 ou 0,4%.

Foi também realizado o desvio padrão das medidas das peças circulares, onde foi encontrado como resultado o valor de 0,126 mm o qual daria uma incerteza de $50 \pm 0,126$ mm.

Em relação a circularidade das peças todas ficaram um círculo perfeito.

Contudo as peças redondas tiveram o mesmo problema que as peças quadradas tiveram, cada passada da máquina criou um caminho.

Em relação a diferenças dimensionais foi alterado o parâmetro de Step/mm dá máquina o que resultou em uma melhora, contudo por se tratar de um protótipo com estrutura feita toda em MDF e com usinagens feita a ‘mão livre’ considerou-se aceitável os resultados obtidos, pois como falado anteriormente na marcenaria é utilizado como ferramenta de medição trena, o que torna decimo de mm imperceptível.

4.1.1 Teste de Comparação

Foi realizado um teste de comparação em uma marcenaria para analisar quanto tempo demoraria para fazer a mesma usinagem utilizando a *Router CNC* e uma Tupia laminadora sendo operada pelo marceneiro.

Neste teste foi escolhido uma situação real dentro da empresa, onde seria feito uma usinagem para adicionar um suporte para um espelho, para tal feito foi necessário o desbaste de

uma chapa de MDF com dimensões de 100 mm de comprimento 45 mm de altura e 18 mm de profundidade.

Foi feito passadas de 3 em 3 mm e a cada passada era necessário o operador arrumar a altura da fresa na tupia manual, ao todo o operador precisou parar e alterar a fresa 15 vezes, sendo essa a parte mais demorada da usinagem, ao todo o operador demorou 17:41 minutos para realizar a usinagem.

Foi utilizada a mesma fresa em ambas as máquinas, de 6mm de diâmetro.

Na *Router* CNC foi obtido um resultado um pouco melhor do que na tupia laminadora manual, por passada demorou cerca de 52 segundos, e ao todo demorou 13:53 minutos.

Resultou em um ganho de tempo de 3:48 minutos, o que foi bem satisfatório.

Contudo o teste não levou em consideração o tempo gasto para a realização do código G para a usinagem, o que deixaria a *Router* em desvantagem, mas é possível ver que em trabalhos que tenham uma repetibilidade grande a *Router* se sai melhor do que usinagem manual.

4.2 CUSTO DO PROJETO

As peças para a construção da máquina CNC foram adquiridas por conta própria e os valores podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 3 Valores do Projeto

PEÇA	QTD	UN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Guias lineares de 16mm	3	m	R\$ 86,66	R\$ 260,00
Pillow Block 16mm	12		R\$ 26,66	R\$ 320,00
Suportes SHF16	12		R\$ 8,46	R\$ 101,50
Fuso 8mm 30cm	1		R\$ 23,81	R\$ 23,81
Rolamentos 608zz	14		R\$ 1,61	R\$ 22,60
Polias Gt2 20 dentes	3		R\$ 12,08	R\$ 36,24
Correia Gt2	3	m	R\$ 3,02	R\$ 9,06
Acoplador de motor 8x8mm	1		R\$ 10,20	R\$ 10,20
Motor NEMA 23 20Kgf	4		R\$ 162,00	R\$ 648,00
Fonte 24V 15A	1		R\$ 89,00	R\$ 89,00
Parafusos e Arruelas	442		R\$ 0,41	R\$ 181,46
Arduino UNO	1		R\$ 32,08	R\$ 32,08

Controlador TB6600	4		R\$ 59,06	R\$ 236,24
CNC Shield	1		R\$ 32,08	R\$ 32,08
Adaptador CNC Shield	4		R\$ 13,72	R\$ 54,90
Cabo PP 4 vias	5	m	R\$ 6,25	R\$ 31,27
Teclado controle sem fio	1		R\$ 22,49	R\$ 22,49
Sensores de fim de curso	3		R\$ 6,61	R\$ 19,85
Chapa MDF 15mm	1,26		R\$ 35,71	R\$ 45,00
Tupia laminadora	1		R\$ 290,00	R\$ 290,00
Kit 12 fresas	1		R\$ 70,00	R\$ 70,00
			Total	R\$ 2535,78

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

Vale ressaltar que por se tratar de um protótipo algumas peças foram superdimensionadas para a utilização posterior dos mesmos equipamentos em uma futura ampliação da máquina, isso acarretou um custo mais elevado do que realmente poderia ser. Algum dos custos que poderiam ser reduzidos seria: trocar os motores NEMA 23 de 20kgf por de 15kgf, com essa troca poderia ser usado os drivers Módulo DRV8825 ao invés dos TB6600 pois a corrente que os motores utilizariam seria menor e ainda diminuir a fonte para 10A ao invés de 15A.

Apenas com essas mudanças teria sido possível diminuir o valor total em aproximadamente 13,8% e sem alterar o funcionamento e nem estrutura da máquina.

Porém mesmo sem essas mudanças podemos comparar com outras máquinas disponíveis no mercado, conforme a Tabela 4, a *Router* ficou 79,41% mais barata do que CNC da empresa JDR a qual é a segunda com menor custo e 93,71% mais acessível do que a ferramenta da empresa CNC Máquina.

Tabela 4 Comparativo de Valores Router

Máquina	Valor
CNC Router baixo custo	R\$ 2.535,78
CNC JDR A6550	R\$ 12.320,00
CNC Sorocaba New Black 9070	R\$ 18.000,00
CNC Rhino RMC 1500	R\$ 32.500,00
CNC Máquina A0404	R\$ 40.350,00

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2023.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como principal intuito a construção de um protótipo de máquina CNC de pequeno porte e com baixo custo para sua produção, onde foi possível colocar em prática diversos aprendizados adquiridos durante o curso de engenharia mecânica, como desenho técnico, comando numérico computadorizado, programação computacional, metrologia entre outros.

A fresadora se mostrou funcional, sendo testada na realização de cortes em chapas de MDF de 18 mm, por ter uma operação fácil não é necessário grande conhecimento de CNC para sua utilização.

Os objetivos do trabalho foram atingidos, onde foi possível construir a *Router* com um valor muito abaixo que outros presentes no mercado, chegando a valores de 20% do valor de outras máquinas.

A máquina conseguiu resultados muito bons pela sua estrutura e o modo artesanal como foi feita sua fabricação, porém para trabalhos que necessitam de uma extrema precisão, é necessário fazer mais testes e melhorias na ferramenta e utilizar algum dos materiais já citados com maior resistência do que o MDF.

Recomenda-se ainda, trocar a estrutura de MDF da máquina por uma de alumínio estrutural, o que faria com que ela tivesse uma menor vibração, conseqüentemente uma maior precisão e uma vida útil da ferramenta muito maior do que com MDF. Como foi possível a produção da máquina com um custo de quase 80% menor do que as presentes no mercado, com essa alteração a ferramenta ainda ficaria cerca de 67,24% mais barata do que a da empresa JDR.

5.1 RECOMENDAÇÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Entre as diversas possibilidades de pesquisa e aprimoramento da arquitetura da máquina CNC, destaque-se:

Restruturação em relação ao tamanho da área passível de usinagem da CNC, substituindo os *pillow blocks* fechados por abertos e as guias lineares por eixos lineares apoiados, o que resultaria em uma maior precisão dimensional e sem risco de deformar devido ao peso do eixo X e Z.

Alterar a tupa ou spindle e utilizar a estrutura da máquina para usar gravadores/corte a laser ou ainda adicionar extrusoras para a confecção de peças em polímeros.

Utilizando o mesmo projeto eletrônico dá máquina seria possível também a confecção de uma cortadora a plasma, para ser utilizado em meio industrial metal mecânico nos cortes de chapas.

Ainda seria possível adicionar um quarto eixo para a usinagens mais complexas em que a peça precise girar para ser feita, o que só seria possível um torno para serem confeccionadas.

REFERÊNCIAS

- CALIXTO, lucas. Projeto e fabricação de uma Máquina de Comando Numérico Computadorizado, com foco em baixo custo de produção e manutenção. **Repositório aee**. 2021. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/18347/1/Lucas%20Henrique%20Cristino%20Calixto.pdf>. Acesso em: 7 de Jun. de 2022.
- CRAVO, Edilson. Spindle motor. **Kalatec Automação**. Disponível em: <https://blog.kalatec.com.br/spindle-motor>. Acesso em: 8 de Jun. de 2022.
- FRITZEN, Lucas. Projeto estrutural de uma router cnc de baixo custo. **Rdu unicesumar**. 2020. Disponível em: <https://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/7647/1/FRITZEN%2c%20Lucas%20Gustavo.pdf>. Acesso em: 8 de Jun. de 2022.
- GOBI, Nathan. Desenvolvimento de protótipo de máquina cnc de baixo custo para processos de corte e gravação em micro e pequenas empresas. **univates**. 2018. Disponível em: <https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/2322/1/2018NathanGobi.pdf>. Acesso em: 3 de Jun. de 2022.
- LOCATELLI, Caroline. Como utilizar o driver tb6600. **Curto circuito**. 2021. Disponível em: <https://www.curtocircuito.com.br/blog/como-utilizar-o-driver-tb6600-com-o-motor-de-passo-nema#:~:text=O%20Driver%20TB6600%20%C3%A9%20um,vers%C3%A3o%20mais%20atualizada%2C%20a%20pot%C3%Aancia>. Acesso em: 3 de Jun. de 2022.
- LYRA, Pablo Vinicius. Desenvolvimento de uma Máquina Fresadora CNC Didática. **Alvarestech**. 2010. Disponível em: <http://alvarestech.com/temp/cnc/Fresadora%20CNC%20Did%20tica.pdf>. Acesso em: 3 de Jun. de 2022.
- MARCICANO, João Paulo. Introdução ao Controle Numérico. **Poli usp**. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/pmr2202/arquivos/aulas/cnc.pdf>. Acesso em: 3 de Jun. de 2022. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/26293/1/cncrouterbaixocusto.pdf>. Acesso em: 3 de Jun. de 2022.
- MATTEDE, Henrique. O que é motor de passo? Funcionamento e aplicações. **Mundodaeletrica**. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-motor-de-passo-funcionamento-aplicacoes/#:~:text=O%20motor%20de%20passo%20%C3%A9,sem%20a%20necessidade%20de%20escovas>. Acesso em: 8 de Jun. de 2022.
- MAYER, Marconi Fagundes. Projeto de router cnc 4 eixos para corte de materiais para prototipagem. **Repositório ifsc**. 2020. Disponível em: https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/1757/TCC_Marconi.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 3 de Jun. de 2022.
- OCANHA, Denis. Projeto e construção de uma fresadora numericamente controlada . **lyceumonline usf** . 2009. Disponível em:

<http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1798.pdf>. Acesso em: 3 de Jun. de 2022.

POLASTRINI, Fernando. Desenvolvimento de uma máquina cnc de baixo custo com software e hardware abertos. **Formiga ifmg**.2017. Disponível em: https://www.formiga.ifmg.edu.br/documents/2017/PublicacoesTCCsBiblioteca/EE/TCC_FINAL_FERNANDOPOLASTRINI_2016_EE-.pdf Acesso em: 7 de Jun. de 2022.

REBEYCA, Claudimir. CNC. **labusig**. 2008. Disponível em:<http://www.labusig.ufpr.br/TMEC105/Apostl-Prof-Rebeyka.pdf>. Acesso em: 3 de Jun. de 2022.

SANTOS, Vitor Petrucci. A histórias das maquinas cnc. **Essencial cnc**, 2021. Disponível em: <https://essencialcnc.com.br/a-historias-das-maquinas-cnc/> Acesso em: 3 de Jun. de 2022.

TORRES, Roland. Proposta de uma arquitetura de máquina cnc com baixo custo de implementação e controle de manufatura sem perda de qualidade de produção. **Dspace uepb**. 2019. Disponível em: <http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/20484/1/PDF%20-%20Roland%20Montalvan%20Pires%20Torres%20Filho.pdf>. Acesso em: 8 de Jun. de 2022.

CONRADO, Rodrigo. Cnc Revolution 1. **Atividade maker**. 2023. Disponível em: <https://atividademaker.com.br/cnc-revolution-1>. Acesso em: 30 de Dez. de 2023.

MÁQUINA A0404. Cncmaquinas,2023 Disponível em: <https://cncmaquinas.com.br/>. Acesso em: 19 de Dez de 2023.

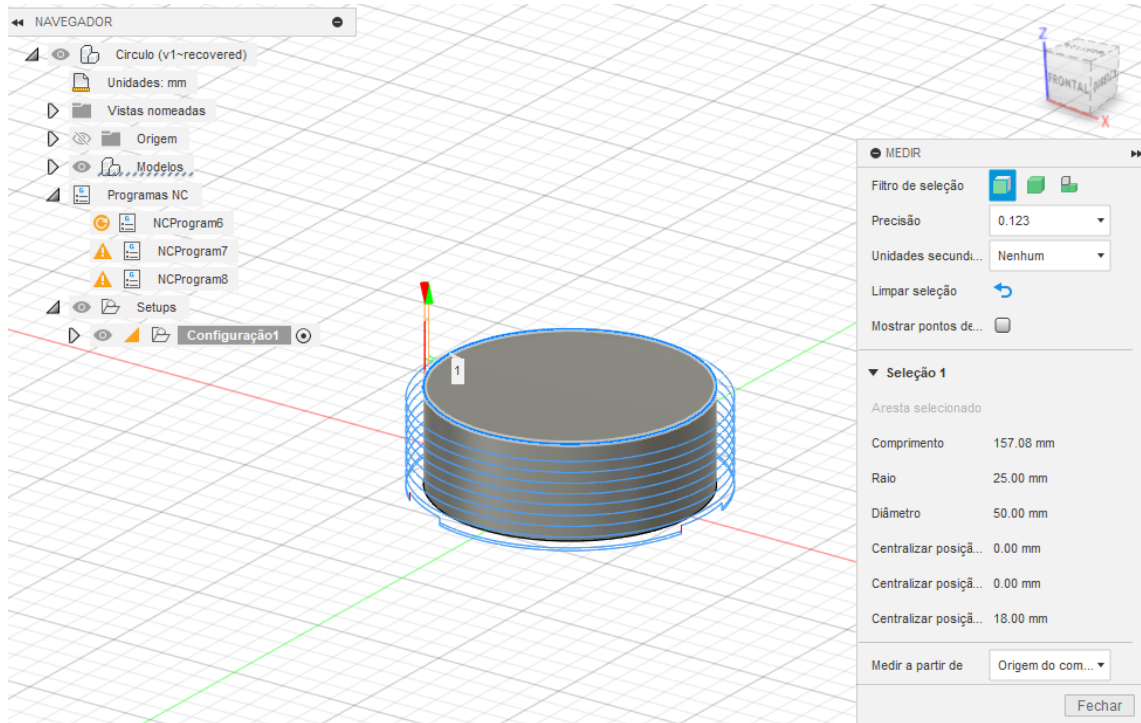
MÁQUINA NEW BLACK 9070. cncsorocaba,2023 Disponível em: <https://cncsorocaba.com.br/>. Acesso em: 19 de Dez de 2023.

MÁQUINA RHINO RMC 1500. rhinomaquinas,2023 Disponível em: https://www.rhinomaquinas.com.br/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAm4WsBhCiARIsAEJI EzXQhMZPHdYtBhnXmGalcyuLOzoOT5Y518c3Gw5Uefjj_4IX_ukSEjQaAuWHEALw_wcB. Acesso em: 19 de Dez de 2023.

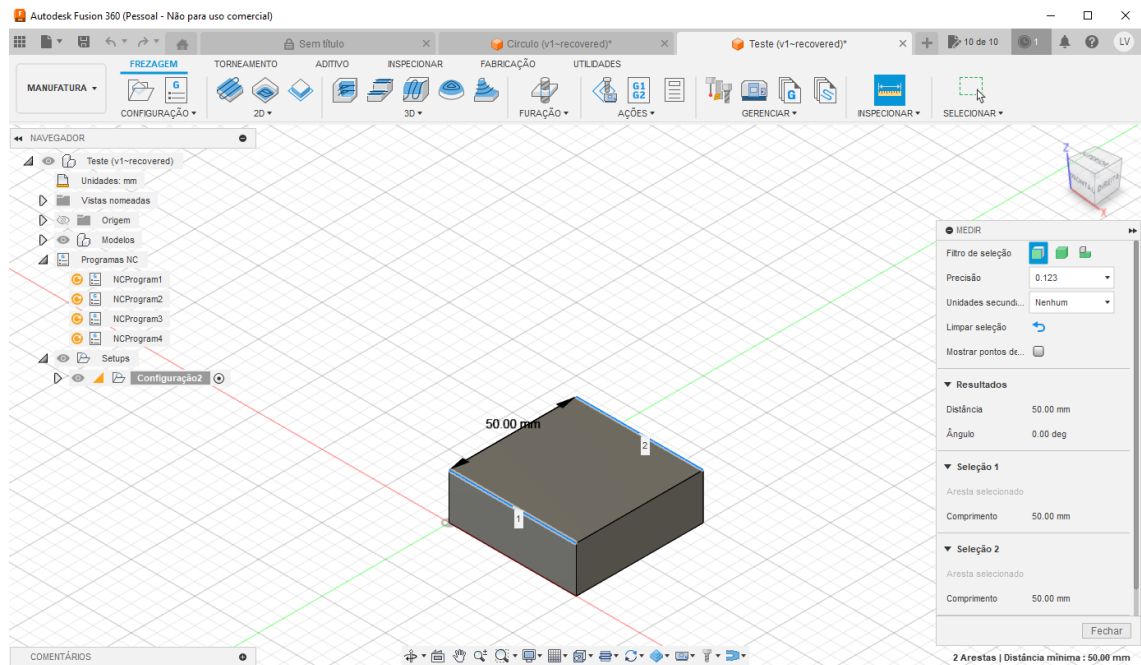
MÁQUINA JDR A6550. jdrprojetos,2023 Disponível em:<https://www.jdrprojetos.com.br/>. Acesso em: 19 de Dez de 2023.

APENDICE A - PROJETOS DAS PEÇAS DE TESTE

Projeto do Circulo de 50mm



Projeto do quadrado de 50mm



APENDICE B – CODIGO G UTILIZADO NA CONFECCÃO DAS PEÇAS

Código G utilizado para fazer a peça quadrada

1	(1002)	53	Ø X34.4 Y6.4 IO J-0.6	104	G2 X10 Y63 I3 JO	155	G3 Y5.8 Z-16 JO.6 KO F1000		
2	(T1 D=6 CR=0 - ZMIN=-18	54	G1 Y5.8	105	G1 X60	156	G1 Y6.4		
3	- fresa de topo plana)	55	G19 G2 Y5.2 Z-3.4 JO KO.6	106	G2 X63 Y60 IO J-3	157	G17 G3 X35 Y7 I-0.6 JO		
4		56	G1 Z5	107	G1 Y10	158	G1 X10		
5	G90 G94	57	X35.6	108	G2 X60 Y7 I-3 JO	159	G2 X7 Y10 IO J3	207	G28 G91 X0 Y0
6	G17	58	Z-1 F333.3	109	G1 X35	160	G1 Y60	208	G90
7	G21	59	Z-5.4	110	G3 X34.4 Y6.4 IO J-0.6	161	G2 X10 Y63 I3 JO	209	M5
8		60	G3 Y5.8 Z-6 JO.6 KO F1000	111	G1 Y5.8	162	G1 X60	210	M30
9		61	G1 Y6.4	112	G19 G2 Y5.2 Z-9.4 JO KO.6	163	G2 X63 Y60 IO J-3		
10	G28 G91 Z0	62	G17 G3 X35 Y7 I-0.6 JO	113	G1 Z5	164	G1 Y10		
11	G90	63	G1 X10	114	X35.6	165	G2 X60 Y7 I-3 JO		
12		64	G2 X7 Y10 IO J3	115	Z-7 F333.3	166	G1 X35		
13	(Contorno 2D3)	65	G1 Y60	116	Z-11.4	167	G3 X34.4 Y6.4 IO J-0.6		
14	T1	66	G2 X10 Y63 I3 JO	117	G3 Y5.8 Z-12 JO.6 KO F1000	168	G1 Y5.8		
15	S5000 M3	67	G1 X60	118	G1 Y6.4	169	G19 G2 Y5.2 Z-15.4 JO KO.6		
16	G54	68	G2 X63 Y60 IO J-3	119	G17 G3 X35 Y7 I-0.6 JO	170	G1 Z5		
17	G0 X35.6 Y5.2	69	G1 Y10	120	G1 X10	171	X35.6		
18	Z15	70	G2 X60 Y7 I-3 JO	121	G2 X7 Y10 IO J3	172	Z-13 F333.3		
19	G1 Z5 F1000	71	G1 X35	122	G1 Y60	173	Z-16.5		
20	Z3 F333.3	72	G3 X34.4 Y6.4 IO J-0.6	123	G2 X10 Y63 I3 JO	174	Y5.8 F1000		
21	Z-1.4	73	G1 Y5.8	124	G1 X60	175	Y6.4		
22	G19 G3 Y5.8 Z-2 JO.6 KO F1000	74	G19 G2 Y5.2 Z-5.4 JO KO.6	125	G2 X63 Y60 IO J-3	176	G17 G3 X35 Y7 I-0.6 JO		
23	G1 Y6.4	75	G1 Z5	126	G1 Y10	177	G1 X29		
24	G17 G3 X35 Y7 I-0.6 JO	76	X35.6	127	G2 X60 Y7 I-3 JO	178	Z-18 F333.3		
25	G1 X10	77	Z-3 F333.3	128	G1 X35	179	X10 F1000		
26	G2 X7 Y10 IO J3	78	Z-7.4	129	G3 X34.4 Y6.4 IO J-0.6	180	G2 X7 Y10 IO J3		
27	G1 Y60	79	G3 Y5.8 Z-8 JO.6 KO F1000	130	G1 Y5.8	181	G1 Y29		
28	G2 X10 Y63 I3 JO	80	G1 Y6.4	131	G19 G2 Y5.2 Z-11.4 JO KO.6	182	Z-16.5		
29	G1 X60	81	G17 G3 X35 Y7 I-0.6 JO	132	G1 Z5	183	Y41		
30	G2 X63 Y60 IO J-3	82	G1 X10	133	X35.6	184	Z-18 F333.3		
31	G1 Y10	83	G2 X7 Y10 IO J3	134	Z-9 F333.3	185	Y60 F1000		
32	G2 X60 Y7 I-3 JO	84	G1 Y60	135	Z-13.4	186	G2 X10 Y63 I3 JO		
33	G1 X35	85	G2 X10 Y63 I3 JO	136	G3 Y5.8 Z-14 JO.6 KO F1000	187	G1 X29		
34	G3 X34.4 Y6.4 IO J-0.6	86	G1 X60	137	G1 Y6.4	188	Z-16.5		
35	G1 Y5.8	87	G2 X63 Y60 IO J-3	138	G17 G3 X35 Y7 I-0.6 JO	189	X41		
36	G19 G2 Y5.2 Z-1.4 JO KO.6	88	G1 Y10	139	G1 X10	190	Z-18 F333.3		
37	G1 Z5	89	G2 X60 Y7 I-3 JO	140	G2 X7 Y10 IO J3	191	X60 F1000		
38	X35.6	90	G1 X35	141	G1 Y60	192	G2 X63 Y60 IO J-3		
39	Z1 F333.3	91	G3 X34.4 Y6.4 IO J-0.6	142	G2 X10 Y63 I3 JO	193	G1 Y41		
40	Z-3.4	92	G1 Y5.8	143	G1 X60	194	Z-16.5		
41	G3 Y5.8 Z-4 JO.6 KO F1000	93	G19 G2 Y5.2 Z-7.4 JO KO.6	144	G2 X63 Y60 IO J-3	195	Y29		
42	G1 Y6.4	94	G1 Z5	145	G1 Y10	196	Z-18 F333.3		
43	G17 G3 X35 Y7 I-0.6 JO	95	X35.6	146	G2 X60 Y7 I-3 JO	197	Y10 F1000		
44	G1 X10	96	Z-5 F333.3	147	G1 X35	198	G2 X60 Y7 I-3 JO		
45	G2 X7 Y10 IO J3	97	Z-9.4	148	G3 X34.4 Y6.4 IO J-0.6	199	G1 X41		
46	G1 Y60	98	G3 Y5.8 Z-10 JO.6 KO F1000	149	G1 Y5.8	200	Z-16.5		
47	G2 X10 Y63 I3 JO	99	G1 Y6.4	150	G19 G2 Y5.2 Z-13.4 JO KO.6	201	X35		
48	G1 X60	100	G17 G3 X35 Y7 I-0.6 JO	151	G1 Z5	202	G3 X34.4 Y6.4 IO J-0.6		
49	G2 X63 Y60 IO J-3	101	G1 X10	152	X35.6	203	G1 Y5.2		
50	G1 Y10	102	G2 X7 Y10 IO J3	153	Z-11 F333.3	204	Z15		
51	G2 X60 Y7 I-3 JO	103	G1 Y60	154	Z-15.4	205	G28 G91 Z0		
52	G1 X35	104	G2 X10 Y63 I3 JO	155	G3 Y5.8 Z-16 JO.6 KO F1000	206	G90		

Código G utilizado para fazer ao círculo

```

1 (1006)
2 (Simulacao de Maquina)
3 ( fornecedor: Autodesk)
4 ( model: Generic 3-axis)
5 ( description: This machine h
6 (T1 D=6 CR=0 - ZMIN=-18.5 - f
7 G90 G94
8 G17
9 G21
10
11
12
13
14 G28 G91 Z0
15 G90
16
17 (Contorno 2D1)
18 T1
19 S5000 M3
20 G54
21 M8
22 G0 X5.2 Y34.4
23 Z8
24 G1 Z5 F1000
25 Z3 F333.3
26 Z-1.4
27 G18 G2 X5.8 Z-2 I0.6 K0 F1000
28 G1 X6.4
29 G17 G3 X7 Y35 I0 J0.6
30 G2 X63 Y35 I28 J0
31 X7 Y35 I-28 J0
32 G3 X6.4 Y35.6 I-0.6 J0
33 G1 X5.8
34 G18 G3 X5.2 Z-1.4 I0 K0.6
35 G1 Z5
36 Y34.4
37 Z1 F333.3
38 Z-3.4
39 G2 X5.8 Z-4 I0.6 K0 F1000
40 G1 X6.4
41 G17 G3 X7 Y35 I0 J0.6
42 G2 X63 Y35 I28 J0
43 X7 Y35 I-28 J0
44 G3 X6.4 Y35.6 I-0.6 J0
45 G1 X5.8
46 G18 G3 X5.2 Z-3.4 I0 K0.6
47 G1 Z5
48 Y34.4
49 Z-1 F333.3
50 Z-5.4
51 G2 X5.8 Z-6 I0.6 K0 F1000
52 G1 X6.4
53 G17 G3 X7 Y35 I0 J0.6
54 G2 X63 Y35 I28 J0
55 X7 Y35 I-28 J0
56 G3 X6.4 Y35.6 I-0.6 J0
57 G1 X5.8
58 G18 G3 X5.2 Z-5.4 I0 K0.6
59 G1 Z5
60 Y34.4
61 Z-3 F333.3
62 Z-7.4
63 G2 X5.8 Z-8 I0.6 K0 F1000
64 G1 X6.4
65 G17 G3 X7 Y35 I0 J0.6
66 G2 X63 Y35 I28 J0
67 X7 Y35 I-28 J0
68 G3 X6.4 Y35.6 I-0.6 J0
69 G1 X5.8
70 G18 G3 X5.2 Z-7.4 I0 K0.6
71 G1 Z5
72 Y34.4
73 Z-5 F333.3
74 Z-9.4
75 G2 X5.8 Z-10 I0.6 K0 F1000
76 G1 X6.4
77 G17 G3 X7 Y35 I0 J0.6
78 G2 X63 Y35 I28 J0
79 X7 Y35 I-28 J0
80 G3 X6.4 Y35.6 I-0.6 J0
81 G1 X5.8
82 G18 G3 X5.2 Z-9.4 I0 K0.6
83 G1 Z5
84 Y34.4
85 Z-7 F333.3
86 Z-11.4
87 G2 X5.8 Z-12 I0.6 K0 F1000
88 G1 X6.4
89 G17 G3 X7 Y35 I0 J0.6
90 G2 X63 Y35 I28 J0
91 X7 Y35 I-28 J0
92 G3 X6.4 Y35.6 I-0.6 J0
93 G1 X5.8
94 G18 G3 X5.2 Z-11.4 I0 K0.6
95 G1 Z5
96 Y34.4
97 Z-9 F333.3
98 Z-13.4
99 G2 X5.8 Z-14 I0.6 K0 F1000
100 G1 X6.4
101 G17 G3 X7 Y35 I0 J0.6
102 G2 X63 Y35 I28 J0
103 X7 Y35 I-28 J0
104 G3 X6.4 Y35.6 I-0.6 J0
105 G1 X5.8
106 G18 G3 X5.2 Z-13.4 I0 K0.6
107 G1 Z5
108 Y34.4
109 Z-11 F333.3
110 Z-15.4
111 G2 X5.8 Z-16 I0.6 K0 F1000
112 G1 X6.4
113 G17 G3 X7 Y35 I0 J0.6
114 G2 X63 Y35 I28 J0
115 X7 Y35 I-28 J0
116 G3 X6.4 Y35.6 I-0.6 J0
117 G1 X5.8
118 G18 G3 X5.2 Z-15.4 I0 K0.6
119 G1 Z5
120 Y34.4
121 Z-13 F333.3
122 Z-17.4
123 G2 X5.8 Z-18 I0.6 K0 F1000
124 G1 X6.4
125 G17 G3 X7 Y35 I0 J0.6
126 G2 X16.129 Y55.686 I28 J0
127 G1 Z-17
128 G2 X26.522 Y61.686 I18.871 J-20.686
129 G1 Z-18 F333.3
130 G2 X62.35 Y40.999 I8.478 J-26.686 F1000
131 G1 Z-17
132 G2 X62.349 Y28.999 I-27.35 J-5.999
133 G1 Z-18 F333.3
134 G2 X26.522 Y8.314 I-27.349 J6.001 F1000
135 G1 Z-17
136 G2 X16.129 Y14.314 I8.478 J26.686
137 G1 Z-18 F333.3
138 G2 X7 Y35 I18.871 J20.686 F1000
139 G3 X6.4 Y35.6 I-0.6 J0
140 G1 X5.8
141 G18 G3 X5.2 Z-17.4 I0 K0.6
142 G1 Z5
143 Y34.4
144 Z-15 F333.3
145 Z-17.9
146 G2 X5.8 Z-18.5 I0.6 K0 F1000
147 G1 X6.4
148 G17 G3 X7 Y35 I0 J0.6
149 G2 X16.129 Y55.686 I28 J0
150 G1 Z-17
151 G2 X26.522 Y61.686 I18.871 J-20.686
152 G1 Z-18.5 F333.3
153 G2 X62.35 Y40.999 I8.478 J-26.686 F1000
154 G1 Z-17
155 G2 X62.349 Y28.999 I-27.35 J-5.999
156 G1 Z-18.5 F333.3
157 G2 X26.522 Y8.314 I-27.349 J6.001 F1000
158 G1 Z-17
159 G2 X16.129 Y14.314 I8.478 J26.686
160 G1 Z-18.5 F333.3
161 G2 X7 Y35 I18.871 J20.686 F1000
162 G3 X6.4 Y35.6 I-0.6 J0
163 G1 X5.8
164 G18 G3 X5.2 Z-17.9 I0 K0.6
165 G1 Z8
166 G17
167 M9
168 G28 G91 Z0
169 G90
170 G28 G91 X0 Y0
171 G90
172 M5
173 M30

```

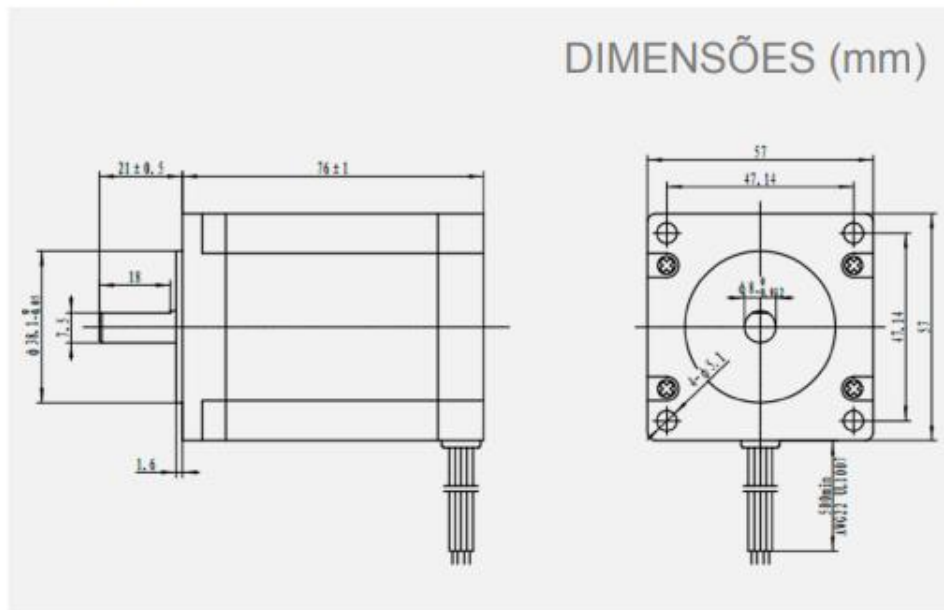
ANEXO 1 – MANUAL DE INSTRUÇÕES MOTORES DE PASSO POLICOMP

Datasheet e ligações dos motores



Motor de passo modelo: 57HS76-3004A08-D21				DIAGRAMA
ESPECIFICAÇÕES				
Âng. de Passo	1.8° ± 5%	Corrente	3 A	
Nº de Fase	2	Resistência	0,9 ± 10% Ω	
Resist. de Isolação	100 MΩ (500VDC)	Indutância	3,5 ± 20% mH	
Classe de Isolamento	B	Holding Torque	20 kgf.cm	
Ligação no driver:	Paralelo	A+ Vermelho A- Verde	B+ Amarelo B- Azul	

DIMENSÕES (mm)



Design	Data	Check	Data	Approve	Data
--------	------	-------	------	---------	------



www.policompcomponentes.com.br
e-mail: vendas@policompcomponentes.com.br

11 5661-7579 / 3368-4326

Rua Doutor Basílio Machado
Neto, 103 - Vila Lisboa

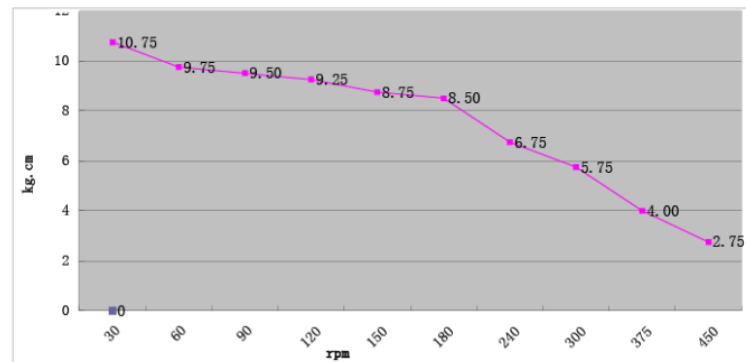
CEP: 04776-133 - São Paulo/SP

Teste de torque em relação a velocidade dos motores



CONDIÇÕES DE TESTE: 36V 3.2A 200P/R

speed (RPM)	30	60	90	120	150	180	240	300	375	450
torque (kg. cm)	10.75	9.75	9.50	9.25	8.75	8.50	6.75	5.75	4.00	2.75



www.policompcomponentes.com.br
e-mail: vendas@policompcomponentes.com.br

11 5661-7579 / 3368-4326

Rua Doutor Brásilio Machado
Neto, 103 - Vila Lisboa

CEP: 04776-133 - São Paulo/SP