



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

RODRIGO CHAVES COSTA

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE MÁQUINA-FERRAMENTA ACIONADA POR
COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO PARA FINS DIDÁTICOS.

FORTALEZA

2017

RODRIGO CHAVES COSTA

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE MÁQUINA-FERRAMENTA ACIONADA POR
COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO PARA FINS DIDÁTICOS.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Mecânica do Departamento
de Engenharia Mecânica da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Elicivaldo Lima

FORTALEZA

2017

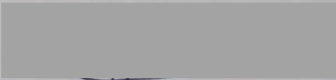


UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

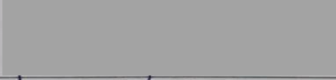
P A R E C E R

A Banca Examinadora composta pelos professores FRANCISCO ELICIVALDO LIMA ROBERTO DE ARAÚJO BEZERRA e PIERRE LAMARRY, designada para avaliar o Trabalho Final de Curso intitulado DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE MÁQUINA-FERRAMENTA ACIONADA POR COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO PARA FINS DIDÁTICOS , desenvolvido e defendido por RODRIGO CHAVES COSTA, matrícula n.º 356360, aluno do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, atribuiu nota final igual a 9,5 (NOVE INTeiros E CINCO DÉCimos) ao referido trabalho.

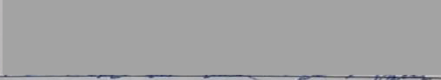
Fortaleza, 30 de novembro de 2015



Prof. Dr. Francisco Elicivaldo Lima
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof. Dr. Pierre Lamarry
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof. Dr. Roberto de Araújo Bezerra
Universidade Federal do Ceará (UFC)

RODRIGO CHAVES COSTA

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE MÁQUINA-FERRAMENTA ACIONADA POR
COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO PARA FINS DIDÁTICOS.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Mecânica do Departamento
de Engenharia Mecânica da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovada em __ / __ / ____.

BANCADA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Elicivaldo Lima
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Pierre Lamarry
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Roberto de Araújo Bezerra
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Primeiramente a Deus.

À minha família.

Aos meus colegas.

E aos meus professores.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me prover aptidões psicológicas e intelectuais necessárias para concluir o curso de engenharia mecânica e atingir meus objetivos

Ao meu orientador Francisco Elicivaldo Lima, pela excelente orientação e pela atenção dedicada ao meu trabalho.

A minha mãe, por financiar meus estudos e me prover os recursos necessários para que eu tivesse um desempenho próximo do ideal.

Aos professores, em especial, aos da banca examinadora, pelos tempo, críticas e reflexões.

Aos meus colegas, cuja ajuda foi crucial para que eu pudesse cumprir uma carga horária além da proposta pelo curso.

“Não adianta dizer “Estamos fazendo o melhor
que podemos” temos que conseguir
o que quer que seja necessário”

Winston Churchill

RESUMO

O projeto de uma CNC portátil e com fins didáticos se dividiu em 4 etapas. Sendo a primeira o projeto idealizado do sistema, a segunda a pesquisa por materiais e preços adequados, a terceira consistiu em sua montagem e na quarta etapa foram realizados testes. Sendo o projeto inicialmente desenhado e simulado, dentro das limitações de quem não conhece bem os materiais, no programa Fusion360. A pesquisa de materiais e preços foi feita na internet, principalmente em sites de vendas, e no comércio local, visto que um aspecto importante é o preço. A montagem se deu em paralelo com a compra de materiais, no ambiente disponibilizado pelo NMQS, sendo necessário se remodelar algumas partes da máquina. E a fase de testes foi realizada utilizando-se o software UniversalGcodeSender, consistindo em se realizar medições de alguns parâmetros relevantes.

Palavras-chave: Fusion360, UniversalGcodeSender, Montagem.

ABSTRACT

The design of a portable CNC for didactic purposes was divided into 4 stages. Being the first the idealized Project of the system, the second the research for suitable materials and pieces, the third consisted of its assembly and in the fourth stage tests were carried out. Being the Project initially designed and simulated, within the limitations of those who do not know the materials well, in the program Fusion360. The survey of materials and pieces was done on the internet, mainly in sales sites, and in the local commerce, since an important aspect is the price. The assembly took place in parallel with the purchase of the materials, in the environment provided by the NMQS, being necessary to remodel some parts of the machine. And the test phase was performed using the UniversalGcodeSender software, consisting of taking measurements of some relevant parameters.

Keywords: Fusion360, UniversalGcodeSender, Assembly.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Trilho telescópico light 250mm.....	19
Figura 2 – Junção entre motor de passo e fuso.....	19
Figura 3 – Desenho técnico do motor de passo.....	21
Figura 4 – Fontes utilizadas no projeto.....	22
Figura 5 – Controlador utilizado no projeto.....	22
Figura 6 – Controlador utilizado no projeto.....	23
Figura 7 – Modelo de placa de circuitos com furos.....	23
Figura 8 – Esquema de ligação do driver.....	24
Figura 9 – Vista superior da máquina.....	25
Figura 10 – Vista frontal da máquina.....	26
Figura 11 – Vista lateral da máquina.....	26
Figura 12 – Vista tridimensional da máquina.....	27
Figura 13 – Representação do motor de orientação do eixo x.....	27
Figura 14 – Representação dos trilhos horizontais e seus motores.....	28
Figura 15 – Representação do sistema elétrico principal.....	30
Figura 16 – Interface do programa de envio de dados.....	32
Figura 17 – Interface do programa de controle.....	33
Figura 18 – Acoplamento do eixo vertical.....	34
Figura 19 – Fixação dos trilhos verticais.....	35
Figura 20 – Fixação entre as guias horizontais.....	35
Figura 21 – Acoplamento das porcas à guia do eixo y.....	36
Figura 22 – Acoplamento das porcas à guia do eixo x.....	37
Figura 23 – Acoplamento do motor do eixo y ao seu fuso.....	38
Figura 24 – Acoplamento do motor do eixo z à máquina.....	39
Figura 25 – Acoplamento do motor do eixo y à máquina.....	40

Figura 26 – Acoplamento do motor do eixo x à máquina.....	40
Figura 27 – Sistema elétrico da máquina em fase de testes.....	42
Figura 28 – Fios jumper.....	43
Figura 29 – Vista inferior da placa de circuitos.....	44
Figura 30 – Aba de entrada de dados relativa à geometria da máquina.....	45
Figura 31 – Teste realizado para se determinar precisão.....	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Erro percentual no eixo X.....	49
Gráfico 2 – Erro percentual no eixo Y.....	50
Gráfico 3 – Erro percentual de acordo com a velocidade.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações técnicas Motores.....	20
Tabela 2 – Especificações Drivers.....	24
Tabela 3 – Dados de entrada do programa.....	46
Tabela 4 – Custos.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFC	Universidade Federal do Ceará
CNC	Controle Numérico Computadorizado

LISTA DE SÍMBOLOS

μF Micro Faraday

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Motivação	17
2	MATERIAIS	18
2.1	Estrutural	18
2.2	Guias.....	18
2.3	Mecanismo de Movimentação	19
2.4	Motores	20
2.6	Componentes Eletrônicos.....	22
3.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA MÁQUINA	25
4.	SISTEMA ELÉTRICO	30
5.	PROGRAMAÇÃO.....	32
6.	MONTAGEM.....	34
6.1	Montagem das Guias.....	34
6.2	Montagem dos Fusos.....	36
6.3	Acoplamento dos Fuso-Motor.....	38
6.4	Acoplamento Entre Motor-Máquina.....	39
6.4.1	Eixo Vertical.....	39
6.4.2	Eixos Horizontais.....	39
6.5	Sistema Elétrico.....	41
7.	ESPECIFICAÇÕES DO PROGRAMA	41
8.	RESULTADOS E DISCURSÃO.	49
9.	CONCLUSÃO.....	52

1. INTRODUÇÃO

Cerca de um terço da energia gerada no mundo é consumida na indústria (Lucian I. Cioca, Radu E. Breaz, 2012), boa parte das manufaturas desse setor são produzidas por máquinas-ferramentas. Sendo, uma em específico, de especial importância para a confecção de peças em aço, a fresa com três graus de liberdade.

Esse tipo de equipamento permite a usinagem de peças com um nível de complexidade e precisão superiores se comparados às máquinas rotativas comuns, podendo ser capaz de gerar curvas mais suaves (Shingo Tajima, Burak Sencer, 2017). No entanto, mesmo apresentando essa característica desejável, as peças demandadas pela indústria, dês de um passado recente, apresentam um grau de complexidade e capacidade produtiva crescentes que exigem agilidade e precisão que não podem ser atingidos sem automatização e o intermédio de computadores (Jan Duda, Janusz Pobożniak, 2017).

Essas máquinas que realizam processos de fresagem em 3 eixos por intermédio de um sistema de processamento (como um computador) utilizam comando numérico computadorizado (CNC). Sua programação é feita por meio de um programa de CAD associado ou disjunto de um sistema CAM, este é responsável por converter o desenho tridimensional em uma linguagem de programação capaz de ser “entendida” pela máquina.

O funcionamento de máquinas ferramentas pode se dividir em 3 períodos, sendo um de inicialização, um de espera e um de corte. Este período de espera é responsável por um gasto de energia sem ganho em termos de produtividade. Para se ter uma ideia do impacto que gastos como esse tem na economia mundial cita-se o exemplo, “a usinagem na China envolve mais de 7 milhões de máquinas-ferramentas, cujo poder total é superior a 70 milhões quilowatts. Isto é três vezes mais do que a capacidade instalada da Barragem das Três Gargantas, que é a maior central de energia hidrelétrica do mundo” (Fei Liu, Jun Xie, Shang Liu, 2015). O que se quer dizer com isso é que máquinas movidas por CNC tem esse tempo de atividade e espera reduzidos, o que, como se pode constatar, gera um enorme impacto na economia mundial do ponto de vista energético.

Não apenas o ganho em termos da redução do consumo de energia por peça produzida é evidenciado, mas também o aumento da produtividade que pode ser evidenciado na citação, “um ganho de produtividade de 0,16% médio relativo às tecnologias anteriores, o que em produções de

larga escala (como no caso da honda que produz anualmente 440.000 carros em uma unidade fabril) pode representar um ganho de milhões” (Raja Roy, Susan K. Cohen, 2015).

A consequencia desses ganhos se reflete nas estatisticas que mostram que quando as primeiras CNCs, produzidas a partir de 1975, em 1980, quando ainda eram pouco conhecidas, ocupavam apenas 3% do mercado dos EUA, mas em 1983 já ocupavam 34% e em 1987 50% (Raja Roy, Susan K. Cohen, 2015).

Os dados são animadores, mas o mesmo estudo citado anteriormente tambem evidencia que as industrias que apresentam uma produção mais diversificada de produtos temdem a ter, em um primeiro momento, uma redução e dificuldade na manutenção da qualidade da produção, causados principalmente pela dificuldade de se encontrar mão de obra qualificada e experiente para manuseio desse tipo de equipamento.

Sendo o intuito deste projeto a produção de um protótipo que viabilize a familiarização e difusão do conhecimento acerca da lógica de programação e das opções de programas disponíveis no mercado. Ou seja, um equipamento que seja acessível e tenha fins didáticos, possibilitando assim a entrada de proficionáís mais capacitados no mercado, especificamente no setor de manufatura.

1.1 Motivação

Uma maquina que opera por comando numérico computadorizado normalmente tem um custo proibitivo para a maioria das instituições de ensino, de modo que, uma CNC com uma estrutura simplificada, mas que conserve a programação normalmente utilizada nesses dispositivos, é de interesse daqueles que pretendem estudar o assunto e também para facilitar a realização de aula práticas destinadas ao assunto de programa em código G.

Sendo, portanto, o objetivo deste trabalho, a elaboração e construção de uma furadeira por comando numérico, que utilize uma programação similar à comercial (G-Code) e que apresente um baixo custo de fabricação e operacional.

2. PROJETO

O desenvolvimento do protótipo se divide em 4 partes: projeto; montagem; calibragem e testes, sendo as duas últimas feitas concomitantemente. O foco do presente tópico é abordar a etapa de projeto, envolvendo uma escolha preliminar de materiais, softwares utilizados e a produção de um modelo gráfico simplificado da máquina.

2.1 MATERIAIS

Para se realizar a montagem de maneira prática, não sendo necessário comprar materiais apenas quando solicitados, foi realizada uma pesquisa para escolha prévia do material utilizado.

2.1.1 Estrutural

Para viabilizar uma construção de baixo custo e que atenda ao objetivo proposto é preciso utilizar um material estrutural que atenda aos seguintes pré-requisitos:

- Facil usinabilidade
- Resistência mecânica a tração, compressão e cisalhamento adequadas
- Resistencia a umidade
- Resistencia térmica
- Baixo custo

Observa-se que, muitas dessas características apresentam-se de maneira subjetiva, visto que valores de referência não são quantificados. Isso se deve ao fato de não haverem disponíveis instrumentos que possam determinar com precisão a força que será necessária para realizar o processo de furação.

Sendo 2 materiais, dentre as muitas possibilidades disponíveis, escolhidos o HDPE (polietileno de alta densidade) e a madeira do tipo compensado.

A princípio os dois materiais apresentam características aceitáveis, no entanto, a preparação das placas de HDPE que seriam usadas na montagem do equipamento demonstraram demandar a utilização de equipamentos mais sofisticados que os disponíveis. Visto que, seria preciso fundir grandes quantidades de plástico em um pequeno intervalo de tempo e que os fornos

disponíveis tinham um tamanho inferior ao adequado, optou-se por fundir o material em uma temperatura maior que a convencional. O que causou a combustão do material.

Dessa forma, o material escolhido foi a madeira, visto que pode ser comprada em um formato próximo do desejado por um preço aceitável.

2.1.2 Guias

Para que os componentes da CNC possam posicionar a peça a ser usinada de forma precisa é necessário um sistema com rolamentos e guias precisos, no entanto eles tem um custo elevado e, frequentemente, tem dimensões desproporcionais para uma máquina de pequeno porte como essa.

Uma possibilidade razoável foram as corrediças telescópicas de 25cm do tipo light, que, apesar de não serem tão precisas, tem resistência mecânica suficiente para sustentar as peças da maquina, sendo posteriormente sua precisão posta a prova e substituída se necessário.

Figura 1 – Trilho telescópico light 250mm.



Fonte: <http://www.montatudo.com/ACESSORIOS-P/-MOVEIS/Corredicas/Trilho-Telescopico-para-Gaveta-25cm-Corredica-de-Gaveta/57488/>

2.1.3 Mecanismo de Movimentação

Com o intuito de garantir que a precisão e a força proveniente dos motores seja ampliada, escolheu-se realizar a transmissão de movimento por meio de parafusos acoplados aos motores por meio de uma junção com uma fita termo retrátil, como pode ser visto na figura 2.

Figura 2 – Junção entre motor de passo e fuso



Ou seja, o parafuso é posto colinear e próximo ao eixo de saída do motor, sendo ambos envolvidos por um tubo termo retrátil que será aquecido e manterá a união fixa. Além de uma certa flexibilidade, esse tipo de junção garante a conservação do torque de saída do motor.

Essa flexibilidade é importante, pois forças aplicadas radialmente à extremidade livre do parafuso poderiam danificar outros componentes. Ademais, pequenos desalinhamentos na fixação do conjunto poderiam gerar vibração e ruído.

2.1.4 Motores

Por uma questão de simplificação do projeto e redução de custos o motor escolhido foi o NEMA17 com torque de 1Kg.cm. Que pode ser facilmente conectado a um arduino e fornece um torque razoável, considerando-se que o sistema de movimentação e que o material a ser perfurado não apresenta muita resistência.

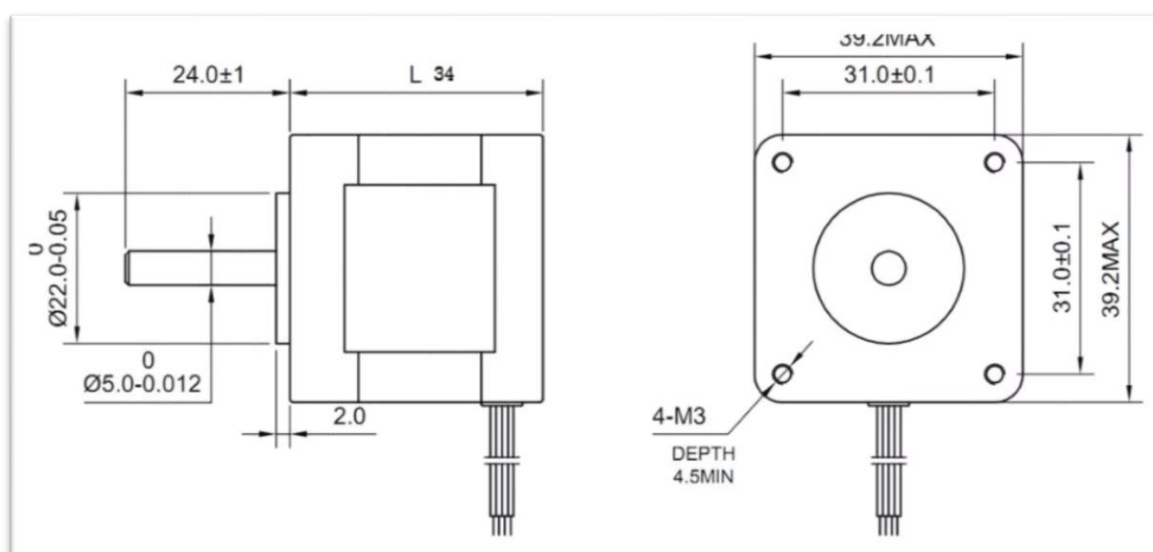
Tabela 1 – Especificações técnicas Motores

Torque	1,1Kgf.cm
Tensão	12V
Temperatura máxima de operação	80°C
Angulo por passo	1,8°

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pôde ser observado na tabela 1 esse motor opera a uma baixa temperatura, sendo necessário o acoplamento de um cooler para garantir seu funcionamento estável e seguro por um longo período de tempo.

Figura 3 – Desenho técnico do motor de passo.



Fonte: <http://www.techmakers.com.br/motores-de-passo/motor-de-passo-nema-17-1-10-kgf-cm-hibrido>

2.1.5 Componentes Eletrônicos.

Com o intuito de garantir a integridade do circuito optou-se pela utilização de dois tipos de fonte, uma de 12V 5A (fonte de notebook) e uma de 12V 10A. Sendo a primeira utilizada na fase de testes para garantir a integridade do circuito, visto que apresenta componentes internos que impedem que ocorram picos de tensão danosos ao sistema. E a segunda, utilizada quando o sistema

estiver devidamente protegido e testado, sendo ambas mostradas na figura 4. Deve-se ressaltar que ambas as fontes tem uma tensão de entrada de 220V.

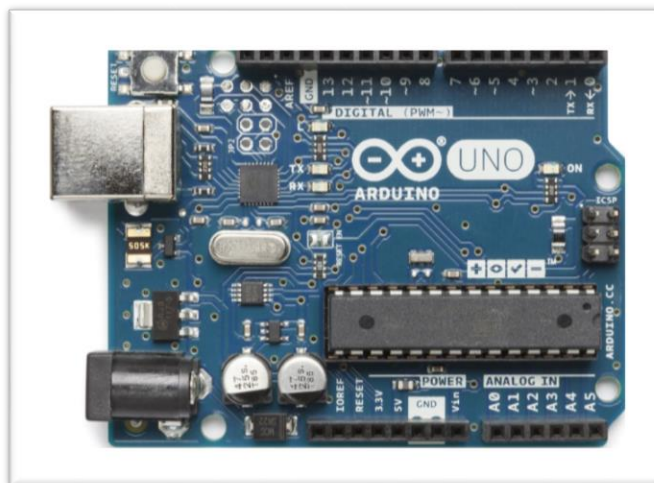
Figura 4 – Fontes utilizadas no projeto.



Fontes: <https://eletronicos.mercadolivre.com.br/fonte-cftv-estabilizada-chaveada-colmeia-12v-5a-bivolt>
http://www.casaarruda.com.br/index.php?route=product/product&product_id=830

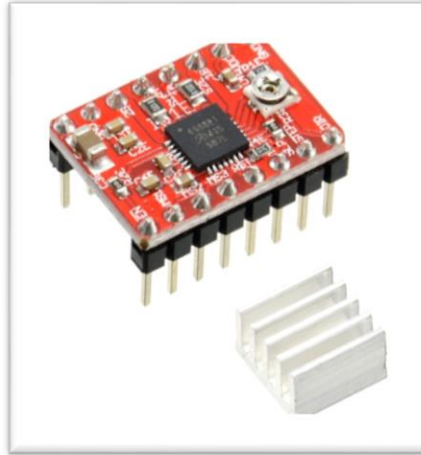
Para processamento de dados optou-se por utilizar um conjunto computador – arduino UNO, visto que o primeiro apresenta boa capacidade de processamento e o segundo tem baixo custo e uma interface fácil de se operar e adaptar, como pode ser observado na figura 5.

Figura 5 – Controlador utilizado no projeto



Fonte: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>

Figura 6 – Controlador utilizado no projeto.

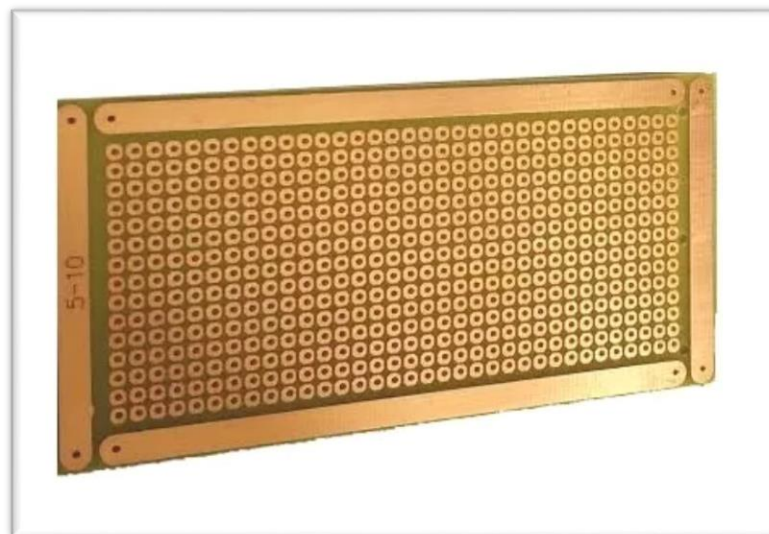


Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/driver-motor-de-passo-a4988/>

Para controle dos motores optou-se por utilizar o driver A4988, considerando-se apenas o fator preço, visto que um “easydriver” (a outra opção disponível) apresenta uma interface menos hostil e não demanda componentes auxiliares.

Sendo neste acoplado uma aleta, como mostrado na figura 6, para evitar superaquecimento durante um longo período de funcionamento.

Figura 7 – Modelo de placa de circuitos com furos.



Fonte: http://www.milcomp.com.br/produtos.asp?codigo_categoria=18&nome_categoria=Placas%20de%20Fenolite

Para proteção dos drivers, que são sensíveis a picos de tensão foram utilizadas fontes com capacitores internos, além de capacitores de 100 μ F nas fases de cada driver.

Para junção de todos os componentes utilizou-se uma “placailhada”, mostrada na figura 7, visto que o fato de ela ser furada e possuir “ilhas” de um metal facilita sua soldagem e o reparo de erros de solda de modo muito mais fácil que nos demais tipos de placa.

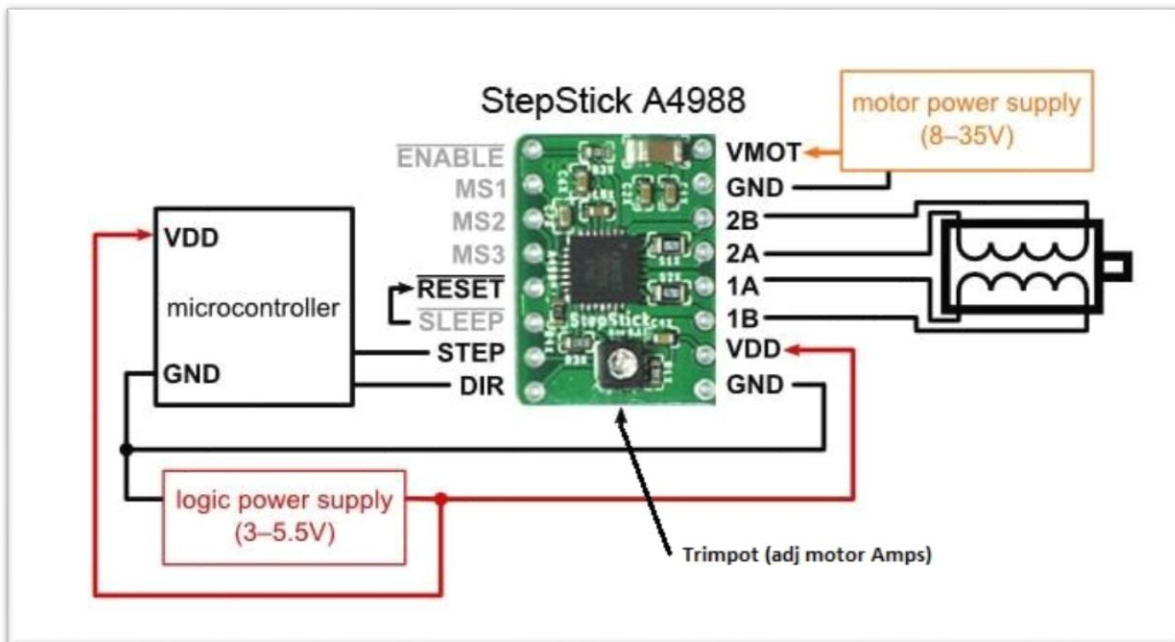
Todo o sistema elétrico além de contar com aletas deve ainda ser refrigerado por um cooler 12x12cm.

Tabela 2 – Especificações Drivers

Tensão de operação	Até 35V
Corrente de operação	Até 2A

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 8 – Esquema de ligação do driver.



Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/driver-motor-de-passo-a4988/>

2.2 Representação Gráfica da Máquina.

As dimensões das peças podem ser vistas nas figuras 9, 10 e 11, assim como sua representação tridimensional pode ser vista na figura 12, no entanto, alguns detalhes devem ser explicados para facilitar o seu entendimento.

Figura 9 – Vista superior da máquina.

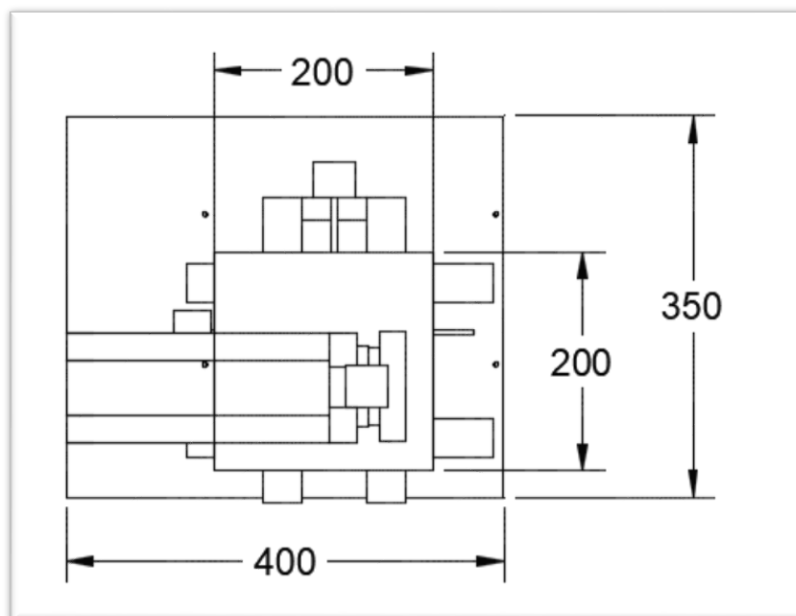


Figura 10 – Vista frontal da máquina.

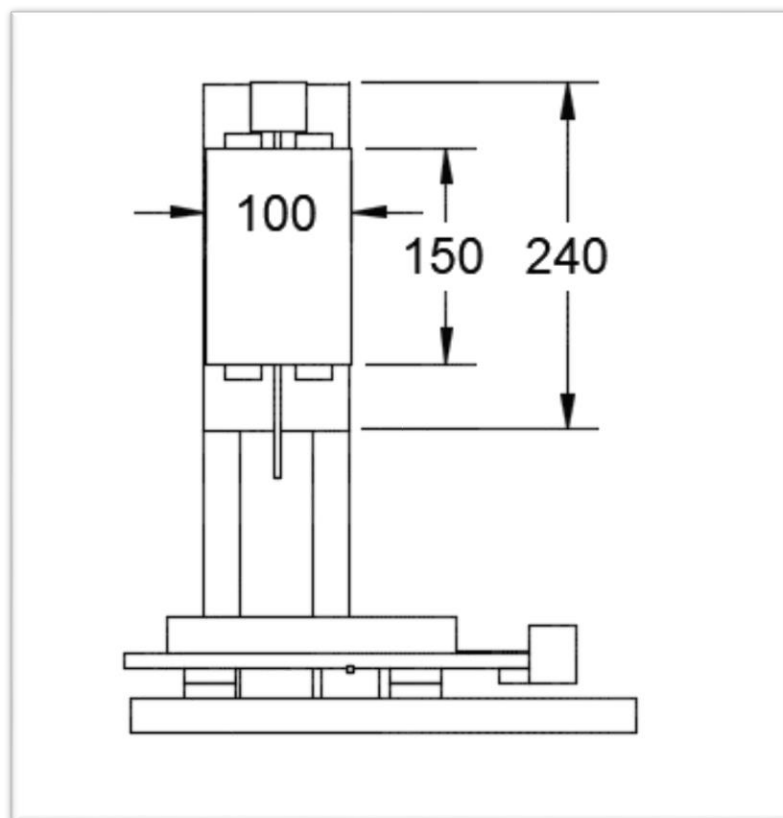


Figura 11 – Vista lateral da máquina.

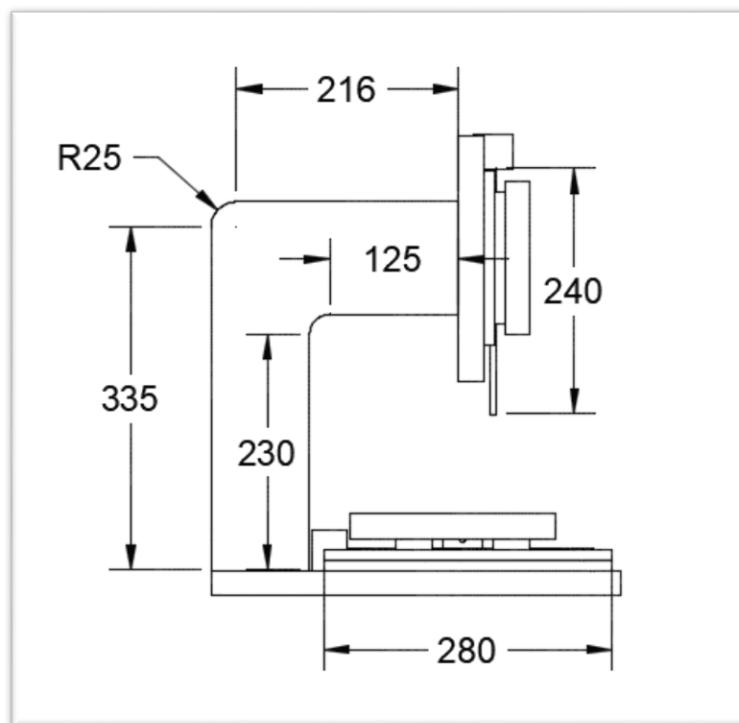


Figura 12 – Vista tridimensional da máquina.

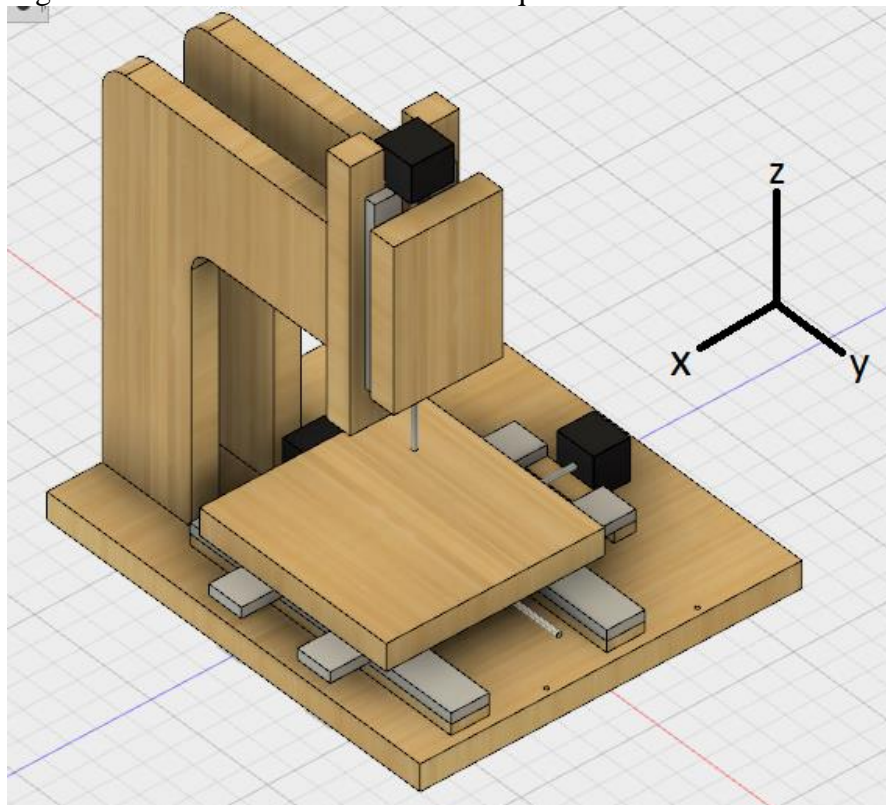
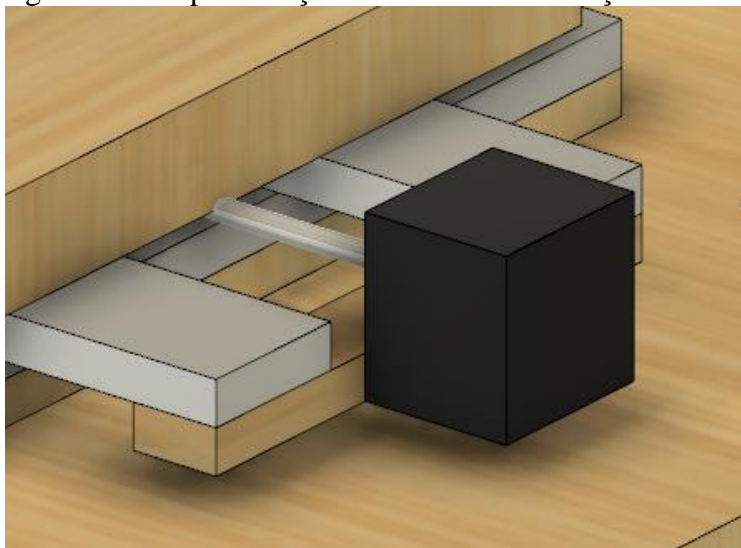
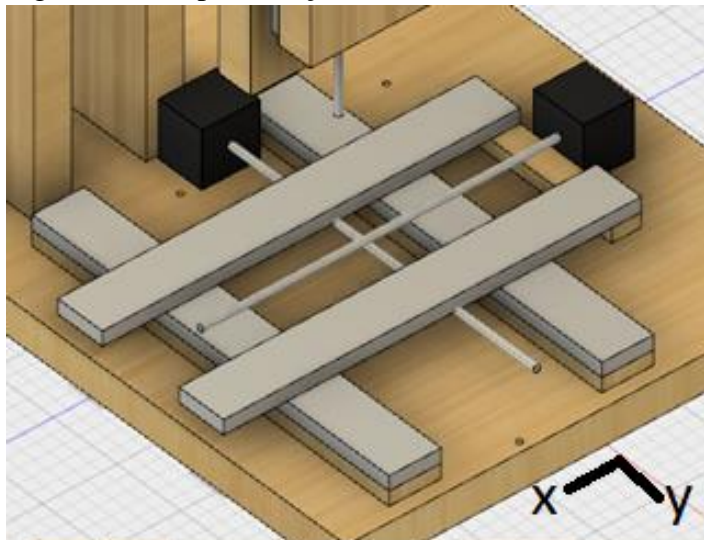


Figura 13 – Representação do motor de orientação do eixo x.



Iniciando-se essa explicação pela localização e forma da fixação do motor visto na figura 13, pode-se observar que ele é fixado em um suporte separado da base da máquina. Ele é posicionado dessa forma para viabilizar a movimentação da mesa de trabalho no eixo x (representado na figura 12) visto que para tal, considerando-se a disposição dos trilhos vista na figura 14 ele acompanhar a mesa pelo eixo y. Devendo-se ressaltar que esse suporte é fixado aos trilhos por parafusos.

Figura 14 – Representação dos trilhos horizontais e seus motores.



Os trilhos por sua vez são posicionados transversalmente, viabilizando a movimentação da mesa com 2 graus de liberdade. Sendo estes unidos por solda e fixados tanto a base quanto a mesa de trabalho por parafusos.

Devendo-se observar ainda que os trilhos não estão diretamente sobre a base, sendo utilizado um suporte para elevá-los, visto que não seria possível uma junção adequada entre o fuso do motor que opera no eixo y e os trilhos sem esse arranjo.

O acoplamento entre o fuso que opera a movimentação no eixo y e os trilhos deve ser feito por meio de porcas soldadas aos mesmos, enquanto que o acoplamento do fuso que opera a movimentação no eixo x deve ser feita por meio de porcas fixadas à mesa de trabalho.

Os fusos foram dimensionados todos com o mesmo comprimento, determinado na figura 11, no entanto, esse valor é apenas representativo, visto que para fins de melhoria da área de trabalho da máquina eles podem ser aumentados ou diminuídos.

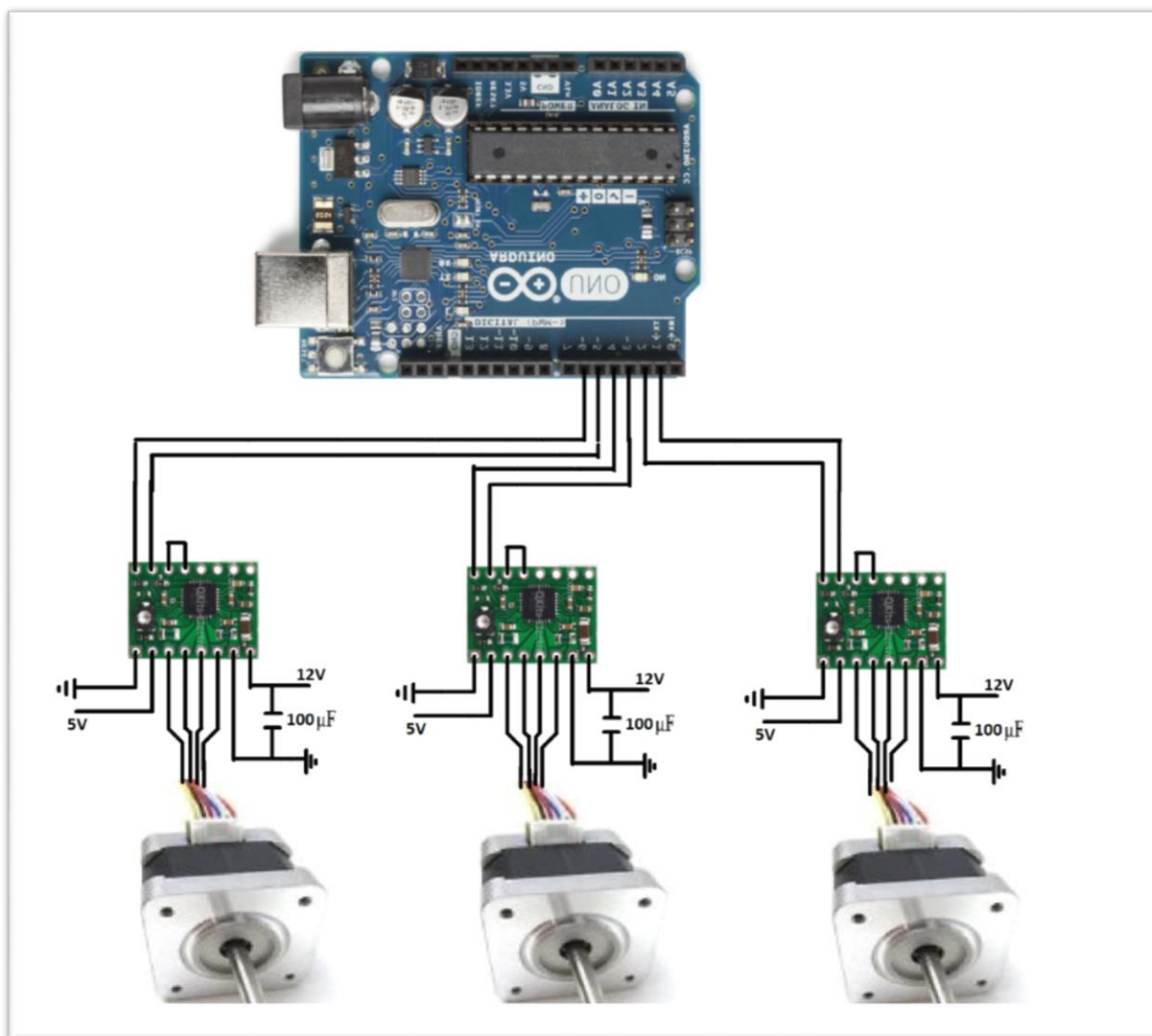
Deve-se observar ainda que o único motor que não apresenta um posicionamento fixo é o mostrado na figura 13, sendo, no entanto, todos fixados à máquina da mesma maneira, por parafusos.

Como pode ser visto na figura 11, o trilho que permite a movimentação da furadeira no eixo z não foi cotado, isso se deve ao fato de que a geometria e o preço exato dos trilhos disponíveis no mercado não é completamente conhecida pelo projetista, sendo esses parâmetros determinados apenas durante a compra do material e montagem da máquina. Sendo, portanto, essa peça dimensionada apenas durante a montagem do equipamento.

2.3 Sistema Elétrico

A figura 15 apresenta a representação esquemática do sistema elétrico que controlará os motores. Como pode ser visto ele é bem simples, sendo necessário, no entanto, que se expliquem alguns detalhes.

Figura 15 – Representação do sistema elétrico principal.



Primeiramente, observa-se que o sistema de arrefecimento dos motores e do circuito não está anexado a essa representação, tendo estes uma forma independente de alimentação que não precisa de explicação, são basicamente coolers ligados em uma fonte de 12V.

Os drivers precisam de 2 fontes de alimentação com tensões distintas, sendo uma, de 5V, utilizada para seu funcionamento e processamento e outra, de 12V, utilizada para viabilizar a movimentação dos motores. Cada driver é ligado por dois fios ao arduino, um deles gera os pulsos que indicam a quantidade de passos que o motor deve dar e o outro utiliza uma lógica não explicada aqui para indicar o sentido da movimentação dos motores.

Como já foi explicado anteriormente cada driver é protegido contra picos de tensão por um capacitor, como representado na figura 15.

Os motores por sua vez são ligados por 4 fios ao driver, esses fios viabilizam a energização de suas bobinas internas, viabilizando a realização de passos de 1,8°. Não sendo seu sistema de funcionamento completo explicado aqui.

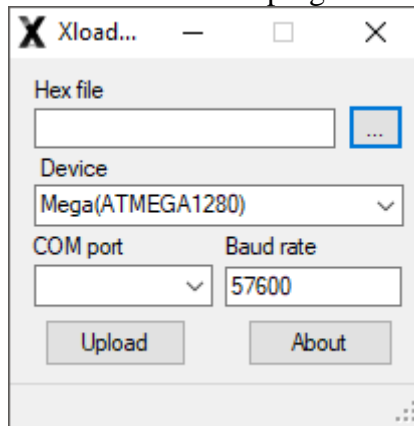
E por fim, o arduino é conectado a um computador por um cabo USB, que também será responsável por sua energização.

2.4 Programação

Como a adaptação de equipamentos de CNC já é uma prática comum na indústria, á uma vasta gama de bibliotecas e programas disponíveis e gratuitos para operação desse equipamento, sendo, portanto, sua programação dès de o início desnecessária.

Sendo este tópico destinado apenas a explicar quais os programas utilizados e sua forma básica de funcionamento.

Figura 16 – Interface do programa de envio de dados.

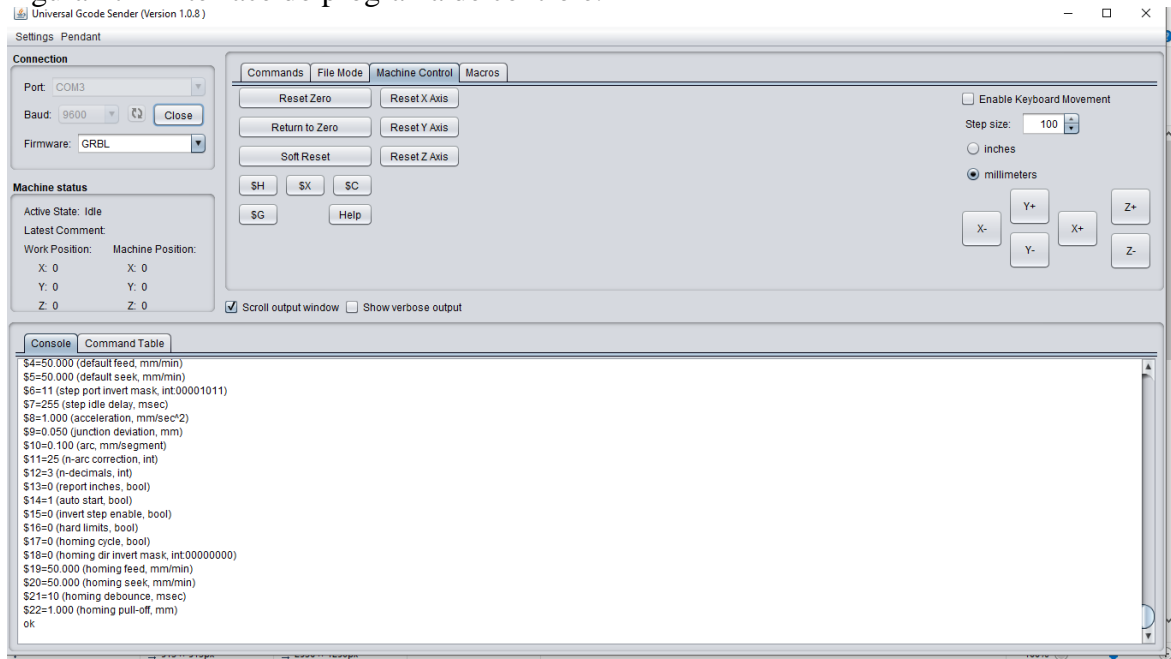


Toda a programação do arduino foi importada do site <<http://www.marlonnardi.com>> por meio de um arquivo chamado “grbl_v0_8c_atmega328p_16mhz_9600” .

Sendo este transferido para o equipamento por meio do programa Xloader, visto na figura 16, em que se escolhe o arquivo em “Hex file” e se determina o tipo de arduino e a porta USB em que os dados serão enviados.

Para operação da máquina optou-se pelo programa Universal Gcode Sender, representado na figura 17, sendo este escolhido pela sua facilidade de operação (utilização de setas ou entrada direta do GCODE) e pela possibilidade de se programar parâmetros de forma simplificada além de ser possível importar códigos completos com peças inteiras.

Figura 17 – Interface do programa de controle.



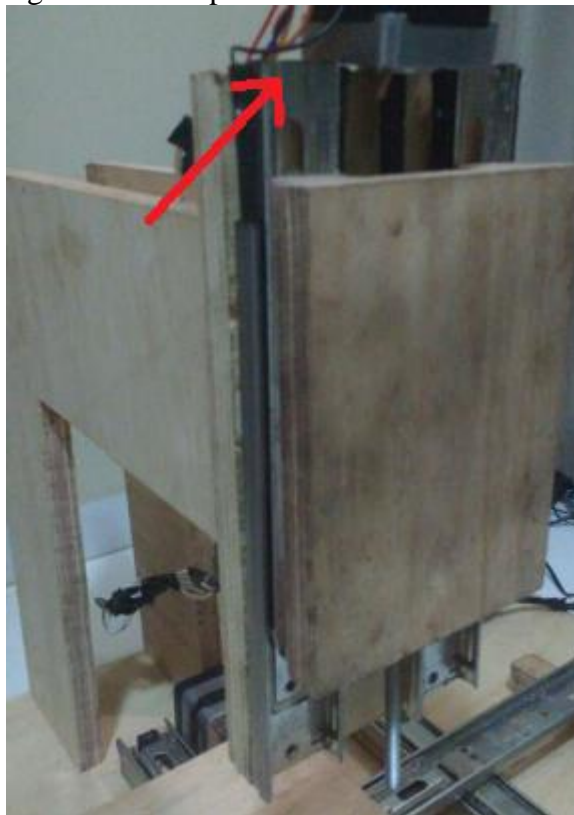
A geração do código utilizado pode ser feita de 2 maneiras, pelo Fusion 360, como explicado nos tutoriais do fabricante, ou por meio da “tradução” do desenho tridimensional de qualquer outro programa pelo site <<http://www.makercam.com/>>, que apresentou a interface que permite maior facilidade de uso dentre as vistas até o momento.

3. MONTAGEM

A montagem e compra de materiais apresentou divergências do projeto, sendo cada um dos aspectos geradores de complicação abordados neste tópico.

3.1 Montagem das Guias.

Figura 18 – Acoplamento do eixo vertical.



Planejou-se comprar guias telescópicas de 25cm unindo-as transversalmente com solda “fria”, no entanto não foi possível encontrar esse componente a um preço e prazo de entrega aceitáveis. De modo que optou-se por comprar guias de 30cm sendo realizadas algumas adaptações no eixo vertical.

Como pode ser observado na figura 18, essas guias não apresentam mais a configuração telescópica e tiveram seu fim de curso retirado. Essas duas mudanças foram feitas com dois intuitos, sendo o primeiro, permitir que a guia tivesse um tamanho adequado ao projeto, pois como

pode ser visto na imagem, elas tem um tamanho proporcional às peças nas quais foram acopladas. E o segundo intuito foi permitir o acoplamento do conjunto por meio de parafusos com um ajuste tão justo quanto possível, como mostrado na figura 19, nos acoplamentos 1 e 2.

Figura 19 – Fixação dos trilhos verticais.



Figura 20 – Fixação entre as guias horizontais.



Já as guias horizontais não precisaram ser reduzidas, no entanto, para que se realizasse a solda, era preciso lixar o alumínio, retirando-se todo o oxido, e utilizar-se de um estabilizador do qual não se dispunha no momento. Como alternativa tentou-se inicialmente uni-las usando arrebites

e cola, o que não foi viável, pois a união de metais por cola é quebradiça. Por fim, optou-se pela utilização de uma resina epóxi, um composto adesivo utilizado para unir objetos quebrados ou furados, comercialmente conhecido como Durepoxi. A montagem ficou tão firme quando seria se unida por solda, além de estar bem alinhada (dentro dos critérios do projeto) como pode ser visto na figura 20. Sendo, essa união, feita por meio do alinhamento de furos presentes nos 2 pares de trilhos, sendo esses furos preenchidos com a resina e imobilizados, esperando-se um período de 2 horas até o seu endurecimento.

No entanto, após endurecer completamente, é possível e provável que o Durepoxi trave os trilhos, sendo necessário lixar a união em alguns pontos e lubrificar os pontos lixados, permitindo assim um movimento suave da máquina. Assim como a lubrificação de todos os trilhos é recomendada.

3.2 Montagem dos Fusos.

Foram compradas duas barras rosqueadas de 1 metro, tendo estas $\frac{1}{4}$ de polegada e um avanço de 1mm por volta, além de suas respectivas porcas (6 unidades).

Figura 21 – Acoplamento das porcas à guia do eixo y.



Inicialmente, o projeto previa a solda de um par de porcas em cada grupo de peças específico que fosse se movimentar, sendo 1 par soldado a um trilho e os outros 2 soldadas a uma placa de fenolite, que por sua vez seria colada à madeira. No entanto, as porcas são de ferro fundido,

sendo inviável solda-las, principalmente com a solda disponível (solda “fria”). Tentou-se unir as porcas por um pouco de cola, apenas para o alinhamento, envolvendo-as por estanho, que apesar de não aderir as porcas poderia formar uma barreira mecânica caso as envolvesse, sendo essa tentativa também fracassada, pois a solda rompia-se com uma baixa pressão, exceto no caso do eixo vertical, que inexplicavelmente ficou fixado e resistiu. Por fim, como pode ser observado na figura 21, a fixação das porcas foi feita pela mesma resina utilizada anteriormente, sendo, no caso da união vista na figura, que foi inicialmente usada cola para realizar o alinhamento do fuso e posteriormente foi moldado um envoltório de Durepoxi, visando manter as porcas no lugar, devendo-se ressaltar que, novamente, essa aplicação foi feita sobre uma região perfurada do trilho, o que garante uma melhor fixação.

Para garantir o alinhamento o fuso foi mantido acoplado às porcas enquanto a cola e a resina endureciam, o que posteriormente causa uma complicação, a barra fica fixa ao conjunto após a secagem, sendo necessária a utilização de força para separá-los, tendo-se o cuidado de não danificar a barra, o que demandaria sua substituição. Durante a retirada do parafuso é possível notar que sua movimentação demanda muito torque, torque esse que não pode ser oferecido pelos motores, de modo que, após sua retirada, faz-se necessário lixar a parte interna do composto epóxi e lubrificá-lo, garantindo-se assim um movimento suficientemente suave.

Figura 22 – Acoplamento das porcas à guia do eixo x.



A segunda união, figura 22, foi similar à primeira, sendo no entanto necessário fazer furos na madeira para assegurar a fixação do conjunto, além de ter sido necessário retirar uma das porcas para assegurar a mobilidade adequada da mesa, o que prejudica muito pouco a precisão do conjunto, podendo gerar, na pior das hipóteses um erro de histerese no eixo y da mesa. Como pode

ser visto na figura a placa de fenolite que foi usada na tentativa anterior de fixar o conjunto continua fixa, visto que sua remoção poderia danificar a mesa.

3.3 Acoplamento dos Fuso-Motor

A princípio, optou-se por utilizar 2 camadas fita termo retrátil associadas a uma cola para unir os fusos ao motor, conferindo assim uma certa flexibilidade e evitando travamentos, no entanto, houve rompimento do conjunto, sendo testada uma borracha com certa resistência, o que não se demonstrou ser funcional, visto que a borracha é muito elástica e gera erros. Utilizou-se então a fita termo retrátil, associada a fita isolante (unidas por cola) e sobre o conjunto foi ainda posta a borracha, unida também por cola, o conjunto visto na figura 23 demonstrou-se bastante resistente e flexível, sendo no entanto importante ressaltar que é preciso ter cuidado para que a cola não entre no motor, tendo sido um dos motores do conjunto danificado dessa maneira.

Figura 23 – Acoplamento do motor do eixo y ao seu fuso.

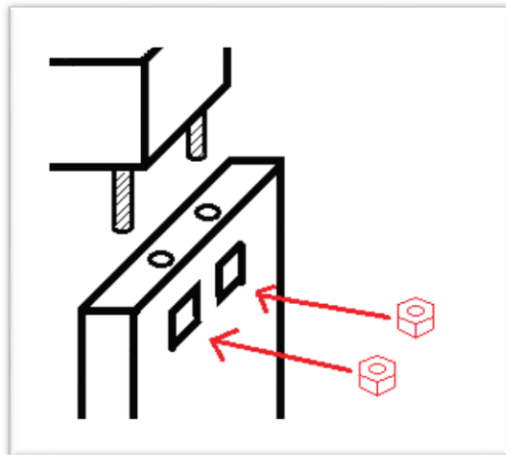


3.4 Acoplamento Motor-Máquina

Para se realizar a montagem é preciso que os motores sejam fixados, sendo cada uma das 3 formas de fixação abordadas a seguir.

3.4.1 Eixo Vertical

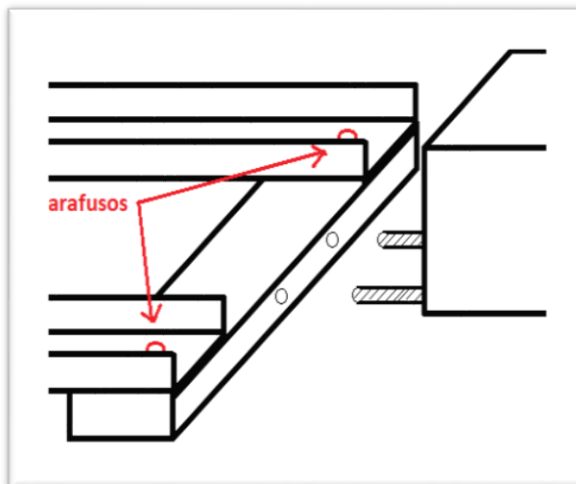
Figura 24 – Acoplamento do motor do eixo z à máquina.



Pensou-se inicialmente em fazer a fixação do eixo horizontal por meio de porcas e parafusos como pode ser visto na figura 24, no entanto, por uma questão de dificuldade de usinagem, montagem e compra de materiais, optou-se por fazer uma união similar, no entanto, ao invés da utilização de porcas, a fixação se deu utilizando-se cola, ou seja, os parafusos foram postos nos furos e unidos com uma cola.

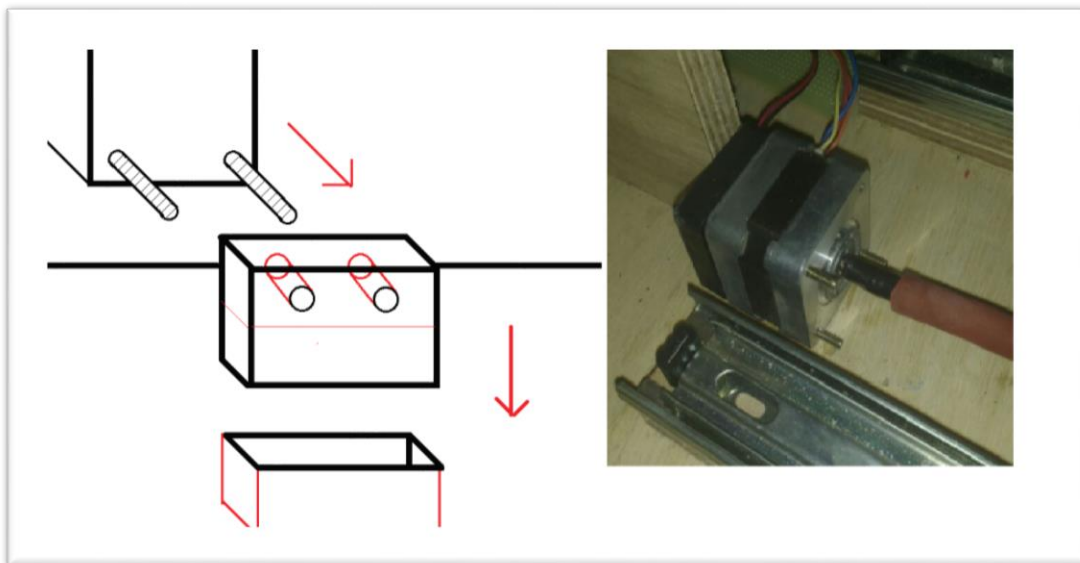
3.4.2 Eixos Horizontais.

Figura 25 – Acoplamento do motor do eixo y à máquina.



A união no eixo Y foi feita com o auxílio de uma base de madeira fixada às guias, figura 25, tendo um ajuste similar ao feiro anteriormente no eixo z.

Figura 26 – Acoplamento do motor do eixo x à máquina.



E por fim, para o eixo X pensou-se inicialmente em criar e acoplar uma peça, ilustrada na figura 26, no entanto por uma indisposição de materiais e ferramentas e por um efeito similar ao desejado optou-se por fixa-lo por cola, como pode ser visto na mesma imagem.

3.5 Sistema Elétrico

Este tópico destina-se a explicar detalhadamente como foi realizada a montagem do sistema elétrico, sendo determinado primeiramente os materiais utilizados na seguinte lista:

- Arduino UNO
- Fios comuns de diversas cores
- Fio de solda de estanho
- Placa perfurada
- Furador de placas
- Aparelho de solda

- Sugador de solda
- Drivers A4988
- Coolers
- Motores
- Fita isolante
- Esponja para limpeza da solda
- Alcol isopropílico
- Fontes de 12V 2A
- Fonte de 12V 10A
- Fios jumper
- Conectores
- Capacitores
- Multímetro

Apesar de este ser um circuito simples alguns cuidados são necessários para garantir que seus componentes, principalmente os mais caros, não serão danificados. Sendo alguns cuidados mais gerais listados a seguir:

Figura 27 – Sistema elétrico da máquina em fase de testes.



Para efeito de testes pode não ser indicado ligar o circuito, que é muito sensível a picos de tensão, diretamente em uma fonte de 12V, portanto, foram usadas 3 fontes de menor capacidade, mas que apresentavam um circuito interno visando evitar esses picos, os cabos das fontes são indicados na figura 27 pelo número 2.

No entanto, para fins práticos e estéticos, não é interessante se manter um circuito ligado em 3 fontes, por isso, após a fase de testes, como pode ser visto no número 5, foram ligados capacitores visando evitar esses picos e as fontes foram substituídas por uma única fonte de 12V e 10A.

Na junção entre os fios houveram 2 cuidados principais, sendo eles, sua união física “enrolar um fio no outro” e uma união química com estanho, evitando assim maus contatos, posteriores desconexões e a conseqüente necessidade de retrabalho, e o outro cuidado foi o de isolar cada ligação com fita isolante, evitando possíveis curto circuitos entre fios e a possibilidade de lesões aos usuários do equipamento.

Um cuidado também relevante, observado em 1 é o de se utilizar conectores para ligar as fontes, ao invés de simplesmente desencapar seus fios e inseri-los na placa, isso se deve ao fato de que esses fios são grossos, não permitindo sua adequada fixação e condução, e se for levado em consideração o fato de que as fontes são posteriormente substituídas essa pratica parece ainda mais sensata, pois evita a necessidade de se refazer soldas.

Observa-se em 3 que cada um dos drivers foi protegido termicamente por aletas, não podendo ser visto na mesma imagem que posteriormente foi posto sobre eles um cooler com a mesma finalidade, isso se deve ao fato de esse componente normalmente se aquecer muito durante longos períodos de trabalho.

Em 4, na mesma figura, observa-se a ligação com o Arduino existem 2 métodos mais comumente usados para essa junção, sendo um deles o “estanhamento” da ponta dos conectores e o outro a utilização de fios jumper, mostrados na ilustração 28. Sendo o segundo utilizado no projeto.

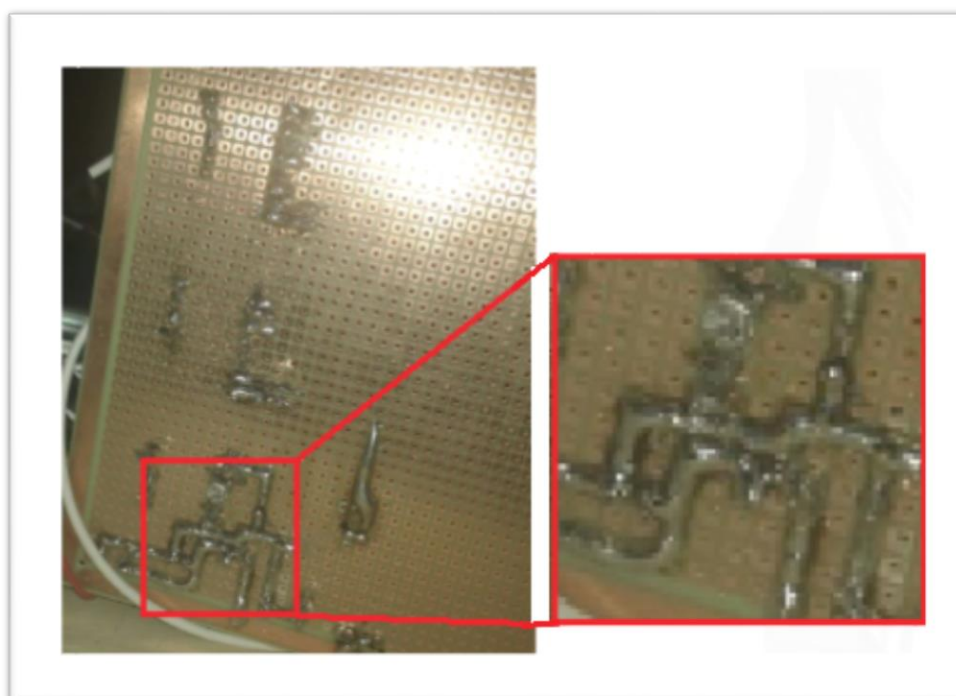
Figura 28 – Fios jumper.



Fonte: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-744718092-jumper-fio-60-pecas-macho-macho-para-arduino-protoboard-_JM

A vista inferior do circuito, figura 29, possibilita uma constatação importante que pode gerar graves prejuízos, não se pode deixar tanto o Arduino quanto o circuito sobre superfícies metálicas, visto que isso pode gerar curto circuitos, impedindo o funcionamento correto do equipamento ou até danificando seus componentes.

Figura 29 – Vista inferior da placa de circuitos.



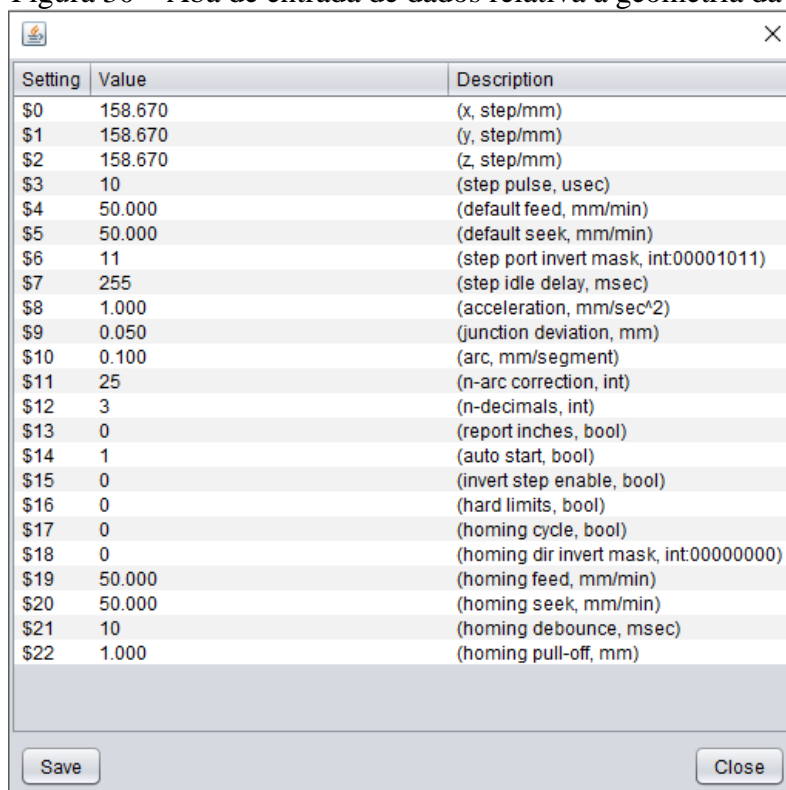
É possível observar na mesma imagem que suas soldas são muito próximas, sendo grande a possibilidade de curtos circuitos, para evitar o problema é importante testar todas as conexões, verificando se a curtos ou se há componentes em que houve falha na ligação. Para realizar reparos é interessante ter-se sempre disponível um ferro de solda e um sugador, refazendo-se ou desfazendo-se conexões necessárias.

É importante ressaltar-se ainda que não se deve utilizar fios mais finos que os que já vem anexados aos componentes, tendo todos os fios igual ou maior bitola que as mínimas.

4. ESPECIFICAÇÕES DO PROGRAMA

O programa utilizado para se operar a máquina foi o Universal Gcode Sender, sendo necessário se estabelecer determinadas especificações que variam dependendo do motor e da estrutura da CNC.

Figura 30 – Aba de entrada de dados relativa à geometria da máquina.



Setting	Value	Description
\$0	158.670	(x, step/mm)
\$1	158.670	(y, step/mm)
\$2	158.670	(z, step/mm)
\$3	10	(step pulse, usec)
\$4	50.000	(default feed, mm/min)
\$5	50.000	(default seek, mm/min)
\$6	11	(step port invert mask, int:00001011)
\$7	255	(step idle delay, msec)
\$8	1.000	(acceleration, mm/sec^2)
\$9	0.050	(junction deviation, mm)
\$10	0.100	(arc, mm/segment)
\$11	25	(n-arc correction, int)
\$12	3	(n-decimals, int)
\$13	0	(report inches, bool)
\$14	1	(auto start, bool)
\$15	0	(invert step enable, bool)
\$16	0	(hard limits, bool)
\$17	0	(homing cycle, bool)
\$18	0	(homing dir invert mask, int:00000000)
\$19	50.000	(homing feed, mm/min)
\$20	50.000	(homing seek, mm/min)
\$21	10	(homing debounce, msec)
\$22	1.000	(homing pull-off, mm)

Contando para isso com um comando chamado “GRBL”, presente dentro de uma aba chamada “Settings>>Firmware Settings”. Sendo alguns dos parâmetros utilizados explicados aqui e os demais deixados como padrão especificado pelo programa. Podendo todos ser visualizados na tabela 3.

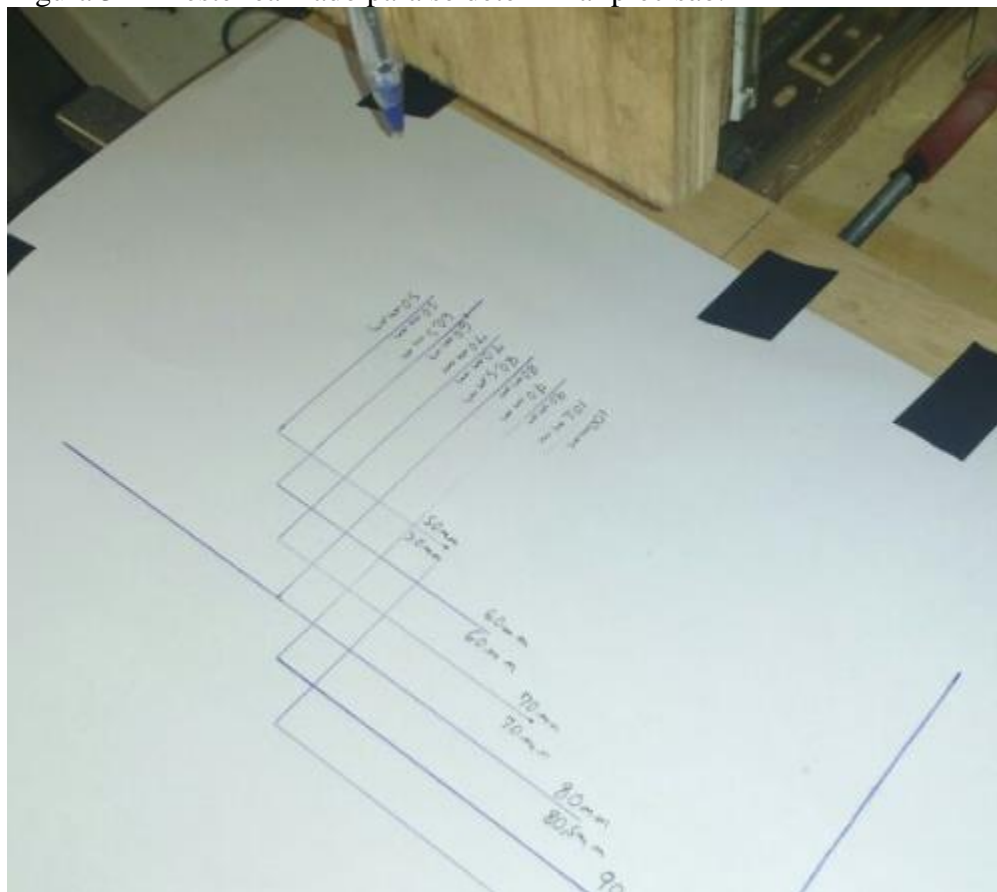
Tabela 3 – Dados de entrada do programa.

X	158,57 passo/mm
Y	158,57 passo/mm
Z	158,57 passo/mm
Step pulse	10 usec
Default feed	200 mm/min
Default seek	200 mm/min
Step port invert mask	0
Step ide delay	255msec
Acceleration	1mm/s ²
Junction derivation	0.05mm
Arc	0.10mm/segment
n-arc correction	25
n-decimals	3
Report inches	0 bool
Auto start	1 bool
Invert step	0 bool
Hard limits	0 bool
Homing cycle	0 bool
Homing dir invert mask	0 bool
Homing feed	200 mm/min
Homing seek	200 mm/min
Homing debounce	10msec
Homing pull-off	1mm

O motor utilizado apresenta 200 passos por volta, e a barra rosqueada se desloca aproximadamente 1mm a cada revolução. Sendo, portanto, o número de passos por mm igual a 200 tanto nos eixos x e y como no z, visto que os mesmos motores e barras foram utilizados. No entanto

foram feitos testes, figura 31, para se determinar a precisão do equipamento, nesse experimento foi imposto que a maquina realizasse um deslocamento de 10 cm, no entanto ela deslocou-se 12,25cm mostrando uma imprecisão imprevista, ao testar-se reduzir o número de passos por minuto 22,5% observou-se uma precisão significativamente maior em vários testes subsequentes. Por meio de tentativas sucessivas optou-se por utilizar 158.,67 como parâmetro de step/min em todos os eixos.

Figura 31 – Teste realizado para se determinar precisão.



Como pode ser visto na imagem, o teste consistiu em fixar uma caneta no local da furadeira e analisar o comprimento de seu traço em uma folha de papel.

Em step pulse digita-se o tempo de pulso do controlador, por recomendação do desenvolvedor do programa utilizou-se um valor de 10. No entanto, caso houvessem erros e não se pudesse determinar o valor aproximado do tempo de pulso o desenvolvedor recomenda testar valores.

Em todos os parâmetros que apresentam uma unidade em mm/min digitam-se parâmetros de referência na velocidade da mesa. Foram cronometradas as variações de cada um destes entre 50 e 200, mantendo-se as demais características não associadas a velocidades constantes. A máquina respondeu como esperado, levando o tempo que seria determinado por meio de cálculos para percorrer a distância de 10cm.

Para uma velocidade constante, inicialmente utilizou-se uma aceleração de 1 mm/s^2 e observou-se que o tempo registrado em um deslocamento de 10 cm foi de 29.6 segundos, ao se utilizar uma aceleração 10 vezes maior esse tempo foi reduzido para 24.78 segundos, no entanto foi possível ouvir-se um ruído estranho no motor no momento de partida, não sendo afetada de modo visível a precisão, no entanto, com o intuito de se evitar possíveis danos ou imprecisões essa aceleração foi reduzida para 5 mm/s^2 , resultando em um tempo de aproximadamente 25 segundos, o que é praticamente o mesmo do utilizado para o dobro da aceleração.

O comando “Sep ide delay” informa quanto tempo o programa irá esperar antes de realizar um comando diferente do que acabou de executar, foi mantido o padrão do programa, no entanto esse valor pode ser diminuído ou aumentado, no caso, como a aceleração dos motores escolhida é relativamente alta recomenda-se não utilizar um valor muito baixo para esse parâmetro para permitir que a máquina pare completamente antes de realizar cada movimento.

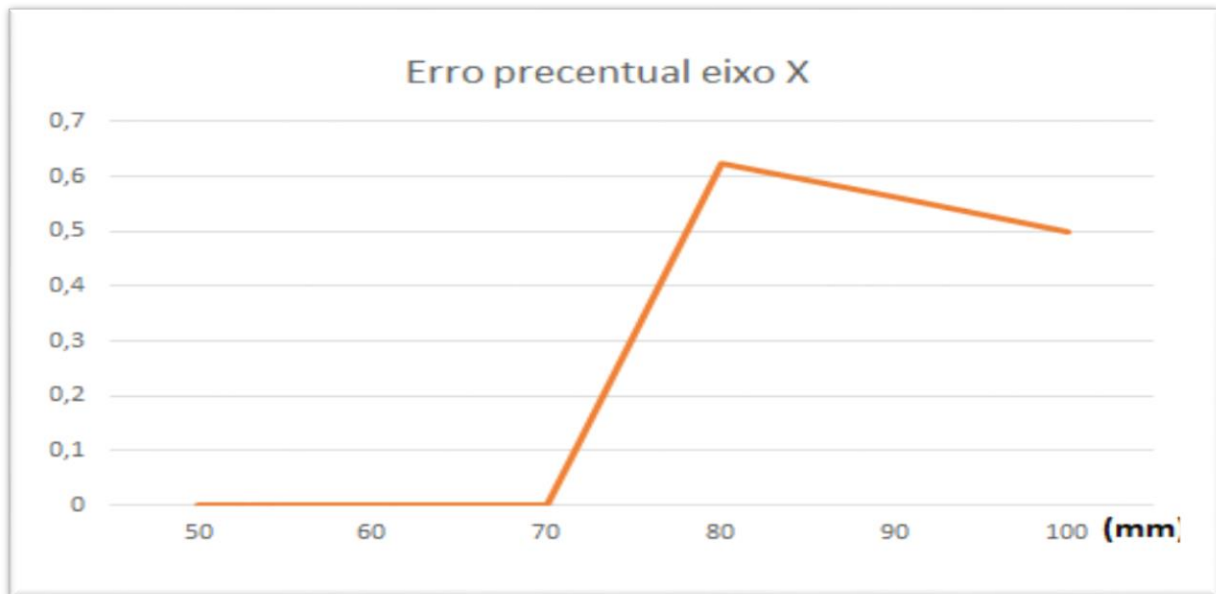
A aba “Direction port invert” é muito importante dependendo do sentido de direcionamento da rosca, visto que ela serve para se determinar se em algum dos eixos de trabalho será necessário inverter-se o sentido da direção positiva do eixo. As entradas possíveis desse comando podem ser encontradas nos anexos.

Quanto aos demais comandos, foram mantidos como determinado pelo site do desenvolvedor do software, visto que não tinham tanta relevância quanto os parâmetros anteriormente abordados.

5. RESULTADOS E DISCURSÃO.

O primeiro fator a ser observado foi a variação do erro percentual de acordo com a dimensão percorrida. Sendo testados valores entre 50 e 100 mm, como pode ser visto no gráfico 1. Esses valores de erro podem ser derivados de vários fatores. No entanto, de acordo com a observação do autor, podem se destacar 3. Sendo o primeiro o fato de a folha fixada na base da máquina poder ter um pequeno deslocamento horizontal devido a pressão exercida pela caneta. O segundo algum erro de histerese devido ao fato de a união entre os motores e os eixos ter alguma flexibilidade (inicialmente para se evitar travamentos). E o terceiro e mais relevante, o fato de que os instrumentos utilizados para calibração da máquina e medição da precisão (régua) não serem ideais para este tipo de teste.

Gráfico 1 – Erro percentual no eixo X.



Apesar de todos esses fatores geradores de erro, pode-se observar que a o erro no eixo X não passou de 0,7%, estando na ordem de meio milímetro. E no eixo Y esse erro máximo foi de 1%

Gráfico 2 – Erro percentual no eixo Y.

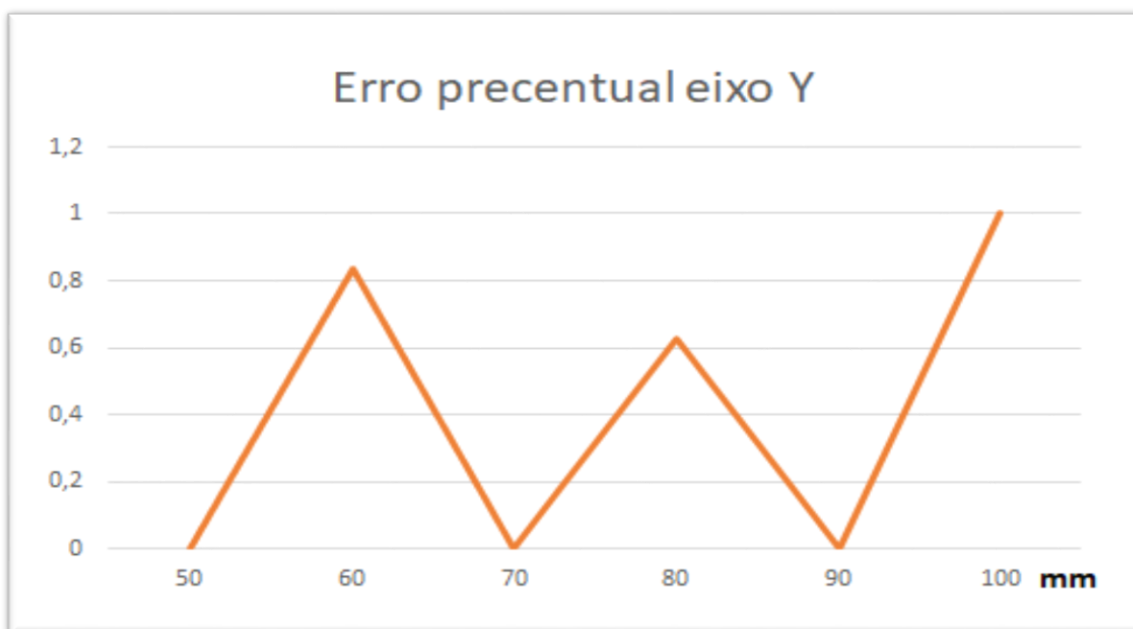
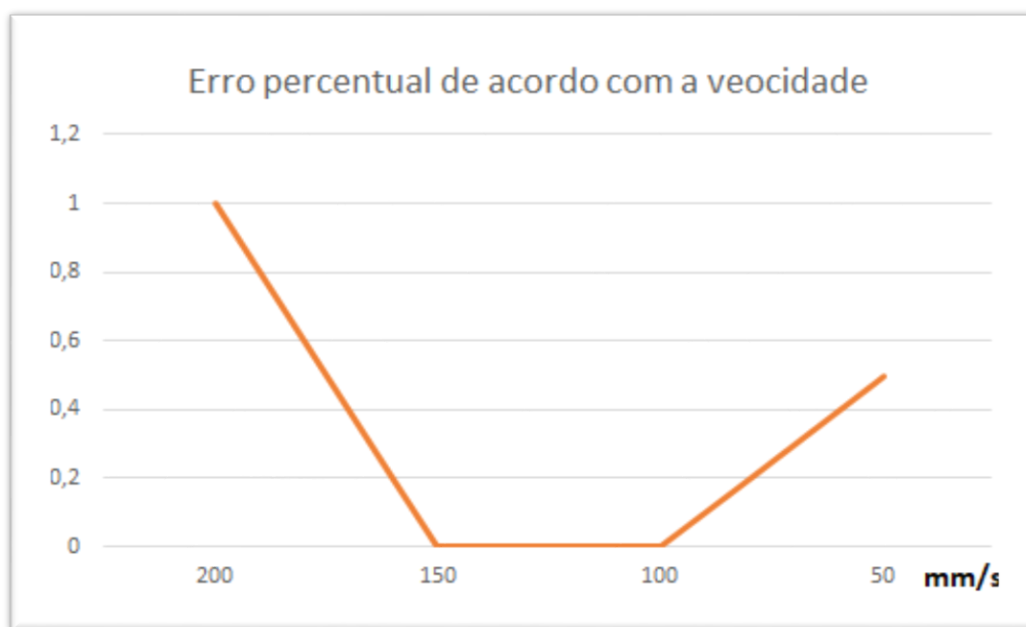


Gráfico 3 – Erro percentual de acordo com a velocidade.



Foi analisado também o erro percentual de acordo com a velocidade escolhida para a máquina, observou-se que esse erro máximo foi de 1%, no entanto, observou-se um erro maior quando se impôs a menor velocidade do que se observou em velocidades intermediárias. O que

pode indicar que a origem desse erro não é a variação da velocidade, mas sim os fatores geradores de erro anteriormente mencionados.

A partir dos custos de todos os materiais utilizados foi elaborada uma tabela com o valor médio dos produtos, não contando, no entanto, com seu frete (caso tenha havido)

Tabela 4 – Custos.

3 motores de passo	R\$ 90,00
3 drivers A4988	R\$ 60,00
Madeira	R\$ 50,00
6 Porcas	R\$ 3,00
Tubo termoretrátil	R\$ 2,00
Durepoxi	R\$ 5,00
Fita isolante	R\$ 2,50
Super cola	R\$ 15,00
4 Coolers	R\$ 40,00
Trilhos	R\$ 30,00
Furadeira	R\$ 50,00
Fonte	R\$ 30,00
Placa de circuito	R\$ 30,00
Parafusos em geral	R\$ 2,00
Arduino UNO	R\$ 20,00
Fios em geral	R\$ 5,00
Custo total	R\$ 434,5

6. CONCLUSÃO

Como pode ser visto nos resultados, a máquina tem uma precisão razoável para algo que foi construído sem a utilização de instrumentos precisos, podendo, todavia, ser adaptada por meio de medições simples (com instrumentos mais precisos) e adequação de parâmetros dentro da estrutura do programa utilizado.

Seu custo foi baixo se comparado há qualquer tipo de CNC comercial ou mesmo equipamentos montados a título de roby, mas que contenham um circuito ou sistema de acoplamentos pré-fabricados.

Sua operação se dá de 3 maneiras: uma utilizando setas e comandos de teclas não relacionados ao código utilizado comercialmente; outra por meio do Gcode, que é a linguagem mais utilizada e, por fim, pode (como determinado pelos criadores do programa adotado) operar por meio da entrada de comandos utilizados na construção de peças inteiras, sem a necessidade de se digitar comando por comando.

Considerando-se que seu fim é didático, é perceptível que um equipamento que possa operar com essa variedade de entradas distintas, tendo um baixo custo, tem a possibilidade de agregar conhecimentos práticos em termos de programação e comandos de operação a seus usuários.

Por meio da exposição dessas características fica evidente que todos os objetivos foram atingidos.

REFERÊNCIAS

- MERCADO LIVRE. **Motor de passo nema 16 1,2kgf**. Atualizado em 16/10/2017. <
https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-705536771-motor-passo-nema-16-arduino-toque-12-kgf--_JM> Acesso em 05 de maio. 2017.
- O MECATRÔNICO. **Driver para motor de passo A4988**. Atualizado em 16/10/2017. <
<http://omecatronico.com.br/blog/a4988-driver-de-motor-de-passo/>> Acesso em 05 de maio. 2017.
- STORE KITS. **Esquema ligação driver A4988**. Atualizado em 16/10/2017. <
<https://store.qkits.com/media/catalog/product/cache/1/image/600x600/97fd5f23dc0df5439fd6eab8cc3cddf0/a/4/a4988-hookup-connections.png>> Acesso em 05 de maio. 2017.
- MARLON NARDI. **Construa sua própria CNC**. Atualizado em 16/10/2017. <
<http://www.marlonnardi.com/p/construa-sua.html>> Acesso em 05 de maio. 2017.
- MERCADO LIVRE. **Fio jumper macho-macho 60 peças**. Atualizado em 16/10/2017. <
https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-744718092-jumper-fio-60-pecas-macho-macho-para-arduino-protoboard-_JM> Acesso em 05 de maio. 2017.
- GIT HUB. **Configuração de Grbl 0.9**. Atualizado em 16/10/2017. <
<https://github.com/grbl/grbl/wiki/Configuring-Grbl-v0.9>> Acesso em 05 de maio. 2017.
- MERCADO LIVRE. **Fonte 12V 10A corrente 220AC-12DC**. Atualizado em 16/10/2017. <
https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-753611801-fonte-12v-10-ampere-10a-cftv-paramera-de-seguranca-_JM> Acesso em 05 de maio. 2017.
- INTERNATIONAL JOURNAL OF MACHINE TOOLS AND MANUFACTURE. Corvallis, OR, USA: Oregon State University, 2017.
- PROCEDIA CIRP. Nagoya, Japão: DMGMORI Co, 2017
- PROCEDIA MANUFACTURING. Cracow, Polônia: Cracow University of Technology, 2017.
- JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION. Chongqing, China: Chongqing University; Chongqing University of Technology, 2015.
- CIRP ANNALS – MANUFACTURING TECHNOLOGY. UK: Loughborough University; The Wolfson School of Mechanical, Electrical and Manufacturing Engineering, 2016.
- RESEARCH POLICY. Chicago, IL, USA: Northeastern Illinois University; University of Pittsburgh, 2015.
- CIRP ANNALS – MANUFACTURING TECHNOLOGY. Gaithersburg, MD, USA; Charlotte, North Carolina, USA: Royal Institute of Technology; National Institute of Standards and Technology (NIST), 2016.

ANEXO A – TABELA PARA DETERMINAÇÃO DA INVERSÃO DA DIREÇÃO POSITIVA DOS MOTORES

Tabela para determinação da inversão da direção positiva dos motores.

Mask	Inverte X	Inverte Y	Inverte Z
00000000	Não	Não	Não
00000001	Sim	Não	Não
00000010	Não	Sim	Não
00000011	Sim	Sim	Não
00000100	Não	Não	Sim
00000101	Sim	Não	Sim
00000110	Não	Sim	Sim
00000111	Sim	Sim	Sim

ANEXO B – SUJESTÕES PARA NOVOS TCCS

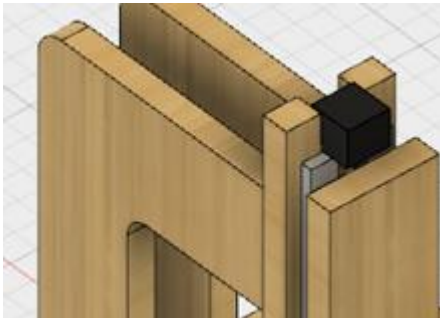
O projeto executou todos os objetivos almejados, no entanto é possível realizar-se várias melhorias. Sendo algumas delas listadas a seguir.

1 – Fixação das partes não móveis.

Pelo fato de não se contar com ferramentas totalmente adequadas para furação e moldagem das peças foi necessário fazer certas junções de forma não muito segura. Destacando-se a junção entre as guias horizontais e a base da máquina, que foi feita utilizando-se pregos mais curtos do que o desejado. Estando estes sujeitos a afrouxamento caso expostos por algum tempo a vibração (como no caso de transporte em um veículo). Sendo aconselhável ainda um ajuste similar nas guias verticais.

2 – Reforço estrutural.

As guias que dão suporte ao motor do eixo vertical, mostradas na figura abaixo, são de madeira, podendo estar sujeitas a flexão durante a furação, de modo que a utilização de uma terceira guia poderia deduzir o esforço individual de cada uma, diminuindo assim a chance de erros e vibração.



3 – Pintura.

O recobrimento do protótipo com uma camada de algum impermeabilizante e uma tinta além de gerarem uma melhoria estética, propiciam o aumento da durabilidade do projeto, visto que a madeira pode se desgastar quando em contato com água.

4 – Fusos e acoplamentos.

Os fusos utilizados apresentam um perfil triangular e são feitos de um material relativamente flexível, sendo, portanto, aconselhável substituí-los por um sistema com rosca quadrada, como o apresentado nos parafusos de potência convencionais. Sendo ainda interessante que se reforce as junções fuso motor, visto que estas estão sujeitas a desgaste ao longo do tempo.

5 – Motores.

Todo o circuito foi feito de modo a poder operar com um motor de maior potência, por exemplo um nema 17 de 5kgf, sendo necessário, no entanto utilizar-se uma fonte que forneça corrente suficiente para alimenta-los.

É também importante ressaltar que no caso da substituição dos motores existe a possibilidade da junção fuso-motor não resistir ao torque, podendo ser necessário reforça-la ou mesmo substituí-la por algum sistema diferente de transmissão de potência.

6 – Trilhos.

Estes podem ser reforçados interna e externamente por meio da adição de chapas de aço a sua superfície, diminuindo assim a chance de danos por conta do excesso de esforço que surja a partir de processos que requeiram maior preção radial da fresa.

7 – Fins de Curso.

Para que se possa assegurar a integridade dos componentes do equipamento pode ser interessante que se elabore um circuito simples que desabilita a alimentação dos motores ao se chegar no fim de curso, podendo isto ainda ser feito por meio de programação. O circuito consistiria em uma chave que abriria o circuito driver-fonte por meio de um relé. Esse seria ativado por meio de um segundo sistema elétrico que seria ativado mediante contato mecânico entre uma fonte e a chave do relé.

7 – Circuito Elétrico.

Todo o sistema elétrico da máquina é exposto, estando suscetível a danos causados por exemplo por respingo de água, oxidação das junções dos fios ou separação mecânica dos fios por trepidações ou choques.

Para evitar estes e outros prejuízos algumas medidas são interessantes, como: isolar os conjuntos de fios, principalmente suas junções; utilizar conectores específicos para os motores, facilitando-se ainda sua manutenção e isolar todo o circuito em algum tipo de recipiente (devidamente arrefecido)