



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
ENGENHARIA MECÂNICA

PAULO OLÍMPIO MAIA NETO

**MONTAGEM E VALIDAÇÃO DE UMA MÁQUINA CONTROLADA POR CNC  
UTILIZANDO MATERIAIS QUE PODEM SER ENCONTRADOS NO  
COMÉRCIO LOCAL**

CARAÚBAS  
2022

PAULO OLÍMPIO MAIA NETO

**MONTAGEM E VALIDAÇÃO DE UMA MÁQUINA CONTROLADA POR CNC  
UTILIZANDO MATERIAIS QUE PODEM SER ENCONTRADOS NO  
COMÉRCIO LOCAL**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado a Universidade Federal  
Rural do Semi-Árido como requisito  
para obtenção do título de  
Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Rudson de  
Souza Lima

Coorientador: Francisco de Assis  
Brito Filho

## CARAÚBAS

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

O469m

Olímpio Maia Neto, Paulo.

Montagem e validação de uma máquina controlada por CNC utilizando materiais que podem ser encontrados no comércio local / Paulo Olímpio Maia Neto. - 2022.

140 f. : il.

Orientador: Rudson de Souza Lima.

Coorientador: Francisco de Assis Brito Filho.

Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Mecânica, 2022.

1. Máquina. 2. Ferramenta. 3. CNC. 4. Revolução. 5. Tecnologia. I. de Souza Lima, Rudson, orient. II. de Assis Brito Filho, Francisco, co-orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

PAULO OLÍMPIO MAIA NETO

**MONTAGEM E VALIDAÇÃO DE UMA MÁQUINA CONTROLADA POR CNC  
UTILIZANDO MATERIAIS QUE PODEM SER ENCONTRADOS NO  
COMÉRCIO LOCAL**

Monografia apresentada a  
Universidade Federal Rural do Semi-  
Árido como requisito para obtenção  
do título de Engenheiro Mecânico

Defendida em: 13/06/2022

**BANCA EXAMINADORA**  
Rudson de Souza Lima Assinado de forma digital por Rudson de Souza Lima  
Dados: 2022.06.24 12:04:23 -03'00'

---

Prof. Dr. Rudson de Souza Lima  
Orientador

FRANCISCO DE ASSIS Assinado de forma digital por FRANCISCO DE ASSIS BRITO FILHO  
Dados: 2022.06.23 12:33:00 -03'00'  
BRITO FILHO: [Redacted]

---

Prof. Dr. Francisco de Assis Brito Filho  
Coorientador  
WENDELL ALBANO Assinado digitalmente por WENDELL ALBANO:05837526404  
DN: CN=WENDELL ALBANO, OU=UFERSA, O=Universidade Federal Rural do Semi-Árido, O=ICPEdu, C=BR  
Razão: Eu sou o autor deste documento  
Localização: sua localização de assinatura aqui  
Data: 2022.06.23 16:07:23-03'00'  
Foxit PDF Reader Versão: 11.2.2  
[Redacted]

---

Prof. Dr. Wendell Albano  
Examinador  
JACKSON DE BRITO Assinado de forma digital por JACKSON DE BRITO  
SIMOES: [Redacted]  
Dados: 2022.06.22 15:03:08 -03'00'  
SIMOES: [Redacted]

---

Prof. Dr. Jackson de Brito Simões  
Examinador

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder saúde, sabedoria e paciência para com a minha vida, à minha família por sempre me incentivar e apoiar, sem sombras de dúvidas, vocês são à base da minha formação acadêmica e os principais responsáveis por tornar os meus sonhos realidade. Em especial, agradeço a minha mãe Solange, meu pai Everaldo, minha eterna Avó Nita e a minha tia Lena que nunca medem esforços para me ajudar, dedico esse trabalho a vocês. As minhas irmãs, Samara, Emile e Marina por sempre serem minhas amigas e me incentivarem. Também agradeço a minha namorada Anna Clara por segurar minha mão mesmo quando a situação era difícil, pela paciência comigo ao longo desse período e por sempre me mostrar onde posso chegar.

Também gostaria de agradecer aos meus amigos, tanto de Belém como de Caraúbas, que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Quero agradecer de coração ao Técnico do Laboratório Samir Sena por ter me auxiliado nos momentos que precisei e pela disponibilidade para comigo em diversas etapas do meu projeto. Sem a sua contribuição o difícil se tornaria ainda mais difícil. Também agradeço pelos ensinamentos profissionais e pessoais ao longo de todo o curso, e pelas boas conversas.

E por último, mas de maneira alguma menos importante, agradeço ao meu Orientador Rudson de Souza Lima e ao meu Coorientador Francisco de Assis Brito Filho, que me guiaram e me motivaram neste projeto, se mostrando excelentes profissionais. A contribuição de vocês foi de fundamental importância para o meu crescimento pessoal e profissional. Obrigado principalmente por terem me compreendido em momentos que falhei e por toda a paciência que tiveram comigo durante esse trajeto. Agradeço, também, a banca examinadora pelo tempo disponibilizado na leitura e avaliação do meu trabalho.

## RESUMO

O domínio da técnica e da tecnologia por uma sociedade é capaz de melhorar a sua qualidade de vida e perspectiva em relação ao futuro. Porém, muitos dos equipamentos, principalmente os sofisticados e de precisão, são inacessíveis para o público em geral, ficando restritos a indústrias e universidades, em decorrência do alto custo. Com isso em mente, o presente trabalho se presta a abordar e apresentar a montagem e validação da parte mecânica, eletrônica e de controle de uma máquina de pequeno porte numericamente controlada. O foco deste projeto é a utilização de componentes mecânicos que podem ser encontrados no comércio local e que podem ser aplicados em máquinas-ferramentas, aliado com baixo custo, como perfil de metalon, barra roscada e MDF, além da utilização de plataformas e softwares gratuitos. A estrutura da máquina possui sistema de movimentação em três eixos (x, y e z). Os eixos X e Y possuem 50 e 30cm de comprimento, totalizando uma área útil de 1500 cm<sup>2</sup>. Foram realizados testes de tração do eixo para diferentes velocidades de avanço, movimentação dos três eixos simultaneamente, teste de perpendicularidade da ferramenta e área de contato entre ferramenta e mesa. Os resultados se mostraram satisfatórios. Por fim, foi desenvolvida uma máquina CNC que, com algumas alterações de projeto, pode servir como router, impressora 3D, soldagem automatizada e outros processos de fabricação.

**Palavras-chave:** Máquina. Controle numérico. Tecnologia. Processo de fabricação.

## **ABSTRACT**

The mastery of technique and technology by a society is capable of providing a better quality of life and prospects for the future. However, it is mainly private individuals in public and precision access, being mainly private individuals in public and precision access, being mainly private individuals in public access and general equipment, in particular public and private access, high cost. With that in mind, the present work lends itself to approaching and presenting the assembly and validation of the mechanical, electronic and control part of a small numerically controlled machine. The focus of this is the use of mechanical design components that can be used in local trade and that can be applied in machine tools, also at low cost, such as metal profile, threaded bar and MDF for use by platforms and software. free. The machine structure has a movement system in three axes (x and z). The X and Y axes are 50 and 30 cm long, totaling a working area of 1500 cm<sup>2</sup>. Tests of feed speed between the axes were performed, simultaneous axes test, axis test, tool perpendicularity and contact area between tools and axes. Results benefit. Finally, a machine was developed that, with some design changes, can serve as a router, 3D editor, CNC production, and other manufacturing processes.

**Keywords:** Machine. Numerical control. Technology. Manufacturing process.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Plaina Neolítica .....                                                | 15 |
| Figura 2 - Mandriladora de Canhão.....                                           | 16 |
| Figura 3 - Revoluções Industriais .....                                          | 17 |
| Figura 4 - Caixinha de Música.....                                               | 20 |
| Figura 5 - Máquina CNC.....                                                      | 21 |
| Figura 6 - Sistema de coordenadas de uma máquina .....                           | 22 |
| Figura 7 - Guia linear.....                                                      | 23 |
| Figura 8 - Mancais de rolamento .....                                            | 24 |
| Figura 9 - Sistemas de engrenagens.....                                          | 25 |
| Figura 10 - Elementos Transmissores e Conversores de Movimento .....             | 26 |
| Figura 11 - Classificação de alguns acoplamentos .....                           | 27 |
| Figura 12 - Arduíno UNO.....                                                     | 29 |
| Figura 13 – Diagrama de pinos do arduíno UNO .....                               | 29 |
| Figura 14 - CNC Shield .....                                                     | 30 |
| Figura 15 - Substituição da CNC Shield pela Protoboard.....                      | 31 |
| Figura 16 - Driver de Potência.....                                              | 31 |
| Figura 17 - Motor de Passo .....                                                 | 33 |
| Figura 18 - Estrutura do Motor de Passo.....                                     | 33 |
| Figura 19 - Magnetização dos Rotores do Motor de Passo (Unipolar e Bipolar)..... | 34 |
| Figura 20 - Sensores .....                                                       | 36 |
| Figura 21 - Fonte ATX 12V.....                                                   | 36 |
| Figura 22 - Montagem de peças no CAD .....                                       | 38 |
| Figura 23 - Exemplo de G-Code (Linguagem de Máquina) .....                       | 39 |
| Figura 24 - Layout do Universal GCode Sander.....                                | 40 |
| Figura 25 - Colaboradores Grbl.....                                              | 41 |
| Figura 26 - Entradas e Saídas / Arduíno UNO .....                                | 42 |
| Figura 27 - Fluxograma da Metodologia.....                                       | 43 |
| Figura 28 - Fluxograma da parte mecânica.....                                    | 45 |
| Figura 29 - Base e eixo Y .....                                                  | 46 |
| Figura 30 - Montagem da base e eixo Y.....                                       | 47 |
| Figura 31 - Eixo X.....                                                          | 47 |
| Figura 32 - Eixo X montado .....                                                 | 48 |
| Figura 33 - Eixo Z.....                                                          | 49 |
| Figura 34 - Eixo Z montado .....                                                 | 50 |
| Figura 35 - Projeto CAD e execução .....                                         | 51 |
| Figura 36 - Fluxograma parte eletrônica.....                                     | 52 |
| Figura 37 - CNC Shield V3.....                                                   | 53 |
| Figura 38 - Configuração dos Passos. ....                                        | 53 |
| Figura 39 - Habilitação do Enable .....                                          | 54 |
| Figura 40 – Montagem da CNC Shield e Driver's.....                               | 55 |
| Figura 41 - Conexão da Shield ao Arduíno .....                                   | 55 |
| Figura 42 - Componentes para fazer ajuste do VRef .....                          | 56 |
| Figura 43 - Potenciômetro .....                                                  | 57 |
| Figura 44 - Ajuste de V(ref) .....                                               | 58 |
| Figura 45 - Conexão do motor de passo ao driver .....                            | 58 |
| Figura 46 - Especificações Técnicas do Motor de Passo .....                      | 59 |
| Figura 47 - Conexão do motor na shield .....                                     | 59 |



|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| Figura 48 - Conexão da fonte de alimentação à shield .....  | 61 |
| Figura 49 - Fluxograma parte de controle .....              | 61 |
| Figura 50 - Layout do site do arduíno.....                  | 62 |
| Figura 51 - Site GitHub.....                                | 63 |
| Figura 52 - Inclusão do Grbl no Arduíno (1) .....           | 63 |
| Figura 53 - Inclusão do grbl no arduíno (2) .....           | 64 |
| Figura 54 - Inclusão do grbl no arduíno (3) .....           | 64 |
| Figura 55 - Download Universal G-Code Sender .....          | 65 |
| Figura 56 - Layout Universal G-Code Sender .....            | 65 |
| Figura 57 - Cotação de preços .....                         | 71 |
| Figura 58 - Teste de tração .....                           | 72 |
| Figura 59 - Teste de precisão e perpendicularidade .....    | 75 |
| Figura 60 - Teste de movimentação simultânea dos eixos..... | 76 |
| Figura 61 – Contato ferramenta-mesa real .....              | 77 |
| Figura 62 - Contato ferramenta-mesa ideal.....              | 78 |

## **LISTA DE ANEXOS**

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| Anexo 1 – Detalhamento Mecânico .....     | 87  |
| Anexo 2 – Data Sheet motor de passo ..... | 114 |
| Anexo 3 – Configuração do Grbl .....      | 115 |

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| Consumo energético dos componentes .....                        | 60 |
| Descrição, quantidade e preços das peças de MDF.....            | 68 |
| Descrição, quantidade e preços dos componentes metálicos .....  | 68 |
| Descrição, quantidade e preços dos componentes impressos .....  | 68 |
| Descrição, quantidade e preços dos componentes eletrônicos..... | 68 |
| Relação velocidade/força do eixo X e Y .....                    | 73 |
| Relação velocidade/força do eixo Z.....                         | 74 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| Relação velocidade/força do eixo X e Y ..... | 73 |
| Relação velocidade/força do eixo Z .....     | 74 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

|        |                                                  |
|--------|--------------------------------------------------|
| CNC    | Controle Numérico Computadorizado                |
| MDF    | Medium Density Fibeboard                         |
| TCC    | Trabalho de Conclusão de Curso                   |
| MIT    | Massachusetts Institute of Technology            |
| PCI    | Placa de Circuito Impresso                       |
| PWM    | Pulse Width Modulation                           |
| MHz    | Mega Hertz                                       |
| USB    | Universal Serial Bus                             |
| CAD    | Projeto Auxiliado por Computador                 |
| CAM    | Manufatura Auxiliada por Computador              |
| FEA    | Análise por Elementos Finitos                    |
| UFERSA | Universidade Federal Rural do Semi-árido         |
| ABIMAQ | Associação Brasileira de Máquinas e Equipamentos |
| MEJ    | Movimento Empresa Júnior                         |
| 3D     | Três Dimensões                                   |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| mm              | Milímetros            |
| cm              | Centímetros           |
| cm <sup>2</sup> | Centímetros cuadrados |
| V               | Volts                 |
| A               | Amper                 |
| I               | Corrente              |
| °               | Graus                 |
| %               | Porcentagem           |
| min             | Minuto                |

## SUMÁRIO

|       |                                                                                       |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.    | INTRODUÇÃO.....                                                                       | 15 |
| 2.    | OBJETIVOS.....                                                                        | 19 |
| 2.1   | Objetivo Geral.....                                                                   | 19 |
| 2.2   | Objetivo específico .....                                                             | 19 |
| 3.    | REFERENCIAL TEÓRICO .....                                                             | 20 |
| 3.1   | O CONTROLE NUMÉRICO COMPUTADORIZADO.....                                              | 20 |
| 3.2   | MECÂNICA DO EQUIPAMENTO.....                                                          | 22 |
| 3.2.1 | Guias Lineares e sua Respectiva Relação com o Sistema de Coordenadas da Máquina ..... | 22 |
| 3.2.1 | Mancais de Rolamentos .....                                                           | 24 |
| 3.2.2 | Elementos Transmissores e Conversores de Movimento....                                | 25 |
| 3.2.3 | Acoplamentos.....                                                                     | 26 |
| 3.3   | ELETRÔNICA DO EQUIPAMENTO .....                                                       | 28 |
| 3.3.1 | Controlador.....                                                                      | 28 |
| 3.3.2 | CNC Shield.....                                                                       | 30 |
| 3.3.3 | Driver's .....                                                                        | 31 |
| 3.3.4 | Dispositivos de acionamento (Atuadores) .....                                         | 32 |
| 3.3.5 | Sensores .....                                                                        | 35 |
| 3.3.6 | Sistema de Alimentação .....                                                          | 36 |
| 3.4   | COMANDO E CONTROLE DO EQUIPAMENTO .....                                               | 37 |
| 3.4.1 | CAD e CAM.....                                                                        | 37 |
| 3.4.2 | G-Code.....                                                                           | 39 |
| 3.4.3 | Universal GCode Sender.....                                                           | 40 |
| 3.4.4 | Grbl.....                                                                             | 41 |
| 4.    | MATERIAIS E MÉTODOS.....                                                              | 43 |
| 4.1   | PARTE MECÂNICA DA MÁQUINA .....                                                       | 44 |
| 4.1.1 | Base e Eixo Y .....                                                                   | 46 |

|       |                                                                                         |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1.2 | Eixo X.....                                                                             | 47 |
| 4.1.3 | Eixo Z.....                                                                             | 48 |
| 4.2   | PARTE ELETRÔNICA DA MÁQUINA.....                                                        | 52 |
| 4.3   | PARTE DE CONTROLE DA MÁQUINA.....                                                       | 61 |
| 5.    | RESULTADOS E DISCUSSÕES.....                                                            | 67 |
| 5.1   | Custos.....                                                                             | 67 |
| 5.2   | Teste de tração.....                                                                    | 72 |
| 5.3   | Teste de deslocamento individual de cada eixo e de perpendicularidade entre eixos ..... | 75 |
| 5.4   | Teste de deslocamento simultâneo dos eixos.....                                         | 76 |
| 5.5   | Teste de contato entre ferramenta-mesa.....                                             | 77 |
| 6.    | CONCLUSÃO .....                                                                         | 79 |
| 7.    | PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS.....                                                     | 81 |

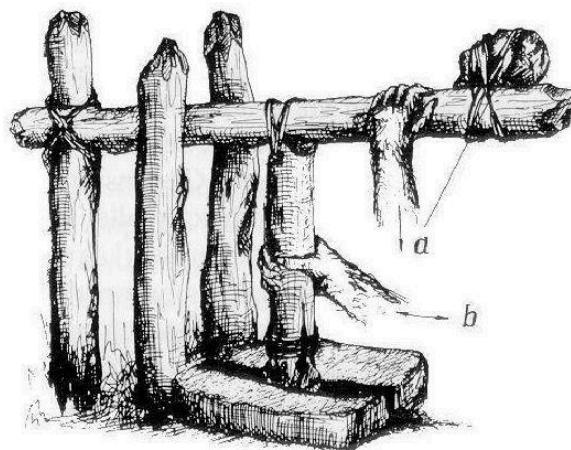


## 1. INTRODUÇÃO

Na Pré-História, o homem, de alguma forma, processava pedras, madeira e outras inúmeras matérias-primas proporcionadas pelo ambiente para a confecção de utensílios que o ajudassem no dia a dia. Tais ferramentas foram muito úteis para atividades como caça, pesca, coleta, e até mesmo para a proteção do grupo, porém, essas ainda não se encaixavam no conceito de máquina, o que só veio acontecer muito tempo depois (ABIMAQ, 2006; BRAGNOLO, 2018).

De acordo com Stoeterau (2004), a origem das máquinas-ferramentas remonta o período Neolítico, cerca de 6000 a.C, onde os nossos ancestrais, fazendo uso de madeira e barbante, construíram a estrutura de uma plaina, utilizando pedra lascada como ferramenta de corte (Figura 1).

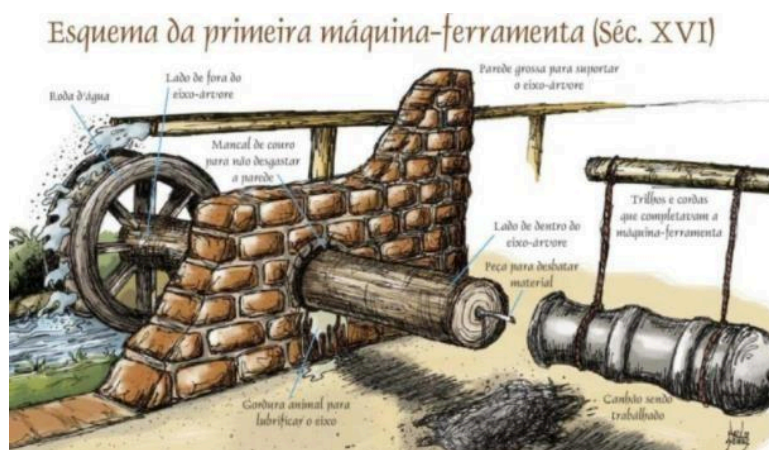
Figura 1 - Plaina Neolítica



Fonte: Spur (1979)

Porém, de acordo com a definição moderna de máquina-ferramenta: “Máquina estacionária, não portátil, acionada por uma fonte de energia externa – não humana nem animal – que modifica a forma de peças, com decorrente remoção de massa.”, a primeira máquina-ferramenta foi a mandriladora de canhões de bronze do século XVI (Figura 2) (ABIMAQ, 2006; BUDYNAS E NISBETT, 2011).

Figura 2 - Mandriladora de Canhão



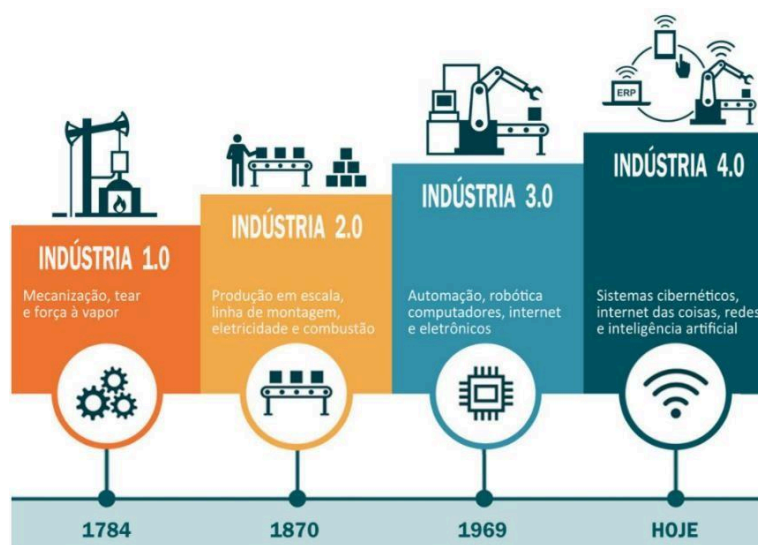
Fonte: Uinguiston (2016)

O aperfeiçoamento de inventos como esse proporcionou a fabricação de pistões com tolerâncias dimensionais jamais vistas, o que mais tarde mostrou-se ser peça fundamental para a fabricação de motores a vapor, deflagrando assim a Primeira Revolução Industrial (Século XVIII), marco histórico para a humanidade, que teve como principal nome o engenheiro e inventor James Watt.

A Segunda Revolução, iniciada no século XIX, pode ser caracterizada pela aplicação em massa das máquinas mecânicas na indústria e o advento da eletricidade como força motriz. Originando as primeiras linhas de montagem. Entretanto, é somente na Terceira Revolução Industrial, século XX, com o surgimento do computador e dos microcontroladores, que a máquina ganha a capacidade de ser operada automaticamente, através de controle numérico computadorizado (MACHADO, 1989)

Hoje, alguns autores acreditam estarmos adentrando a Quarta Revolução Industrial, ou indústria 4.0, marcada pela internet das coisas, computação em nuvem, impressoras 3D e inteligência artificial (Figura 3). De acordo com a BBC (2016), a indústria 4.0 não é caracterizada por tecnologias emergentes em si mesmas, mas pela união, barateamento, transição e utilização de um emaranhado de conhecimentos antigos aplicados sobre a infraestrutura da Revolução Digital.

Figura 3 - Revoluções Industriais



Fonte: Werb Ambiental (2019)

Nos dias de hoje, componentes mecânicos e eletrônicos são facilmente encontrados no mercado, além de softwares gratuitos que permitem a movimentação de máquinas de forma automática a partir do controle numérico computadorizado.

O controle numérico computadorizado ou (CNC) proporciona maior estabilidade e velocidade de corte, precisão, possibilidade da realização de movimentos sincronizados e acompanhamento em tempo real da máquina.

De acordo com Machado (1986) a máquina, quando dotada de sistema CNC, torna-se capaz de fabricar qualquer perfil geométrico. Porém, tecnologias como essa eram adstritas a governos e grandes indústrias até o final do século XX (PERCHÉ, 2013).

Impulsionadas pela grande difusão e pelo respectivo barateamento dos computadores que se deu no começo do século XXI, surgiram diversas tecnologias, softwares e plataformas livres/gratuitas, como por exemplo o arduíno, sensores, driver's de acionamento, programas CAD e CAM, entre outros, tornando o cidadão comum, sem muitos conhecimentos técnicos, capaz de construir sua própria máquina-ferramenta CNC (HADAS, 2015)

A inserção de uma máquina CNC no ambiente acadêmico, principalmente nos cursos de engenharia e seus correlatos, pode servir de grande incentivo para o melhor aprendizado do aluno, pois, de acordo com Pekelman (2004), é interessante que os alunos possam ver na prática como a teoria funciona, porque

isso cria um ambiente propício ao desenvolvimento de pesquisas e consequentemente de avanços tecnológicos.

Sanches (2008), em sua dissertação, descreve equipamentos experimentais fabricados com materiais baratos, de fácil montagem e implementação, para o ensino de matemática, física, engenharia, computação e etc.

Porém, de acordo com Sanches (2009) e Perché (2013) a maioria das máquinas CNC's oferecidas no mercado requerem um alto investimento, cerca de R\$ 100.000,00, fator que em muitos casos impede escolas/universidades e o pequeno/médio empresário de adquirir a tecnologia.

Dessa forma, o presente trabalho se presta a montar, testar, validar e apresentar o detalhamento mecânico de uma máquina-ferramenta com tecnologia CNC. Visa-se tornar o projeto versátil, eficiente e adaptável, utilizando materiais que podem ser encontrados no comércio local, como metalon, médium density fibeboard (MDF), barra roscada, além de hardwares e softwares abertos.

Vale ressaltar que o projeto atual nasce da necessidade de continuidade do projeto apresentado pelo autor como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do Bacharelado em Ciência e Tecnologia, onde, a ênfase, por questões financeiras e de tempo, foi projetar, modelar e fabricar a estrutura mecânica da máquina.

Dito isso, para uma maior compreensão do leitor e para que o mesmo consiga replicar/adaptar o projeto, o presente trabalho irá se dividir nas seguintes partes: Mecânica, Elétrica e Controle; sendo aconselhável seguir a sequência para a respectiva fabricação e montagem.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Este projeto tem como objetivo desenvolver uma máquina ferramenta conceitual funcionável, versátil e adaptável utilizando materiais que podem ser encontrados no comércio local, como: metalon, barra roscada e MDF. Além disso, visa-se também utilizar plataformas e softwares gratuitos, facilitando a reprodução e até mesmo a modificação do projeto.

### **2.2 Objetivo específico**

- Montar e testar a parte mecânica;
- Montar e testar a parte eletrônica;
- Instalar e testar a parte de controle;
- Validar a máquina-ferramenta;
- Desenvolver o projeto mecânico;
- Desenvolver tabela de custo dos componentes utilizados.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

Esse capítulo tem como objetivo abordar e aprofundar os conhecimentos necessários dos componentes, mecanismos, softwares e hardwares utilizados neste trabalho. Primeiramente será exposto algumas noções básicas do controle numérico computadorizado, em seguida, para uma maior compreensão e entendimento do leitor, o referencial teórico abordará a parte mecânica, eletrônica e de controle da máquina.

#### 3.1 O CONTROLE NUMÉRICO COMPUTADORIZADO

A máquina convencional é operada manualmente pelo operador através do acionamento das diversas manivelas, molinetes, alavancas e botões presentes no equipamento, de forma que a qualidade da peça fabricada dependa diretamente da habilidade do operador, tornando quase impossível a fabricação de duas peças idênticas. Além da impossibilidade de fabricação de peças com geometrias complexas, dada a elevada necessidade de coordenação motora para esse tipo de serviço.

Um dos primeiros esforços para a criação de um controle automatizado aconteceu na Holanda, por volta de 1650, quando um tambor giratório equipado com pinos foi posto para tocar carrilhões. Mais tarde esse dispositivo foi miniaturizado, dando origem as populares “caixinhas de música” (Figura 4) (SILVEIRA, 2007).

Figura 4 - Caixinha de Música

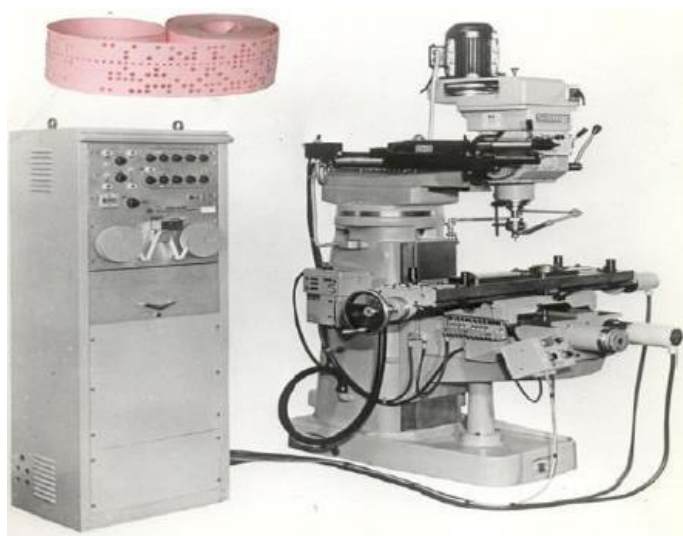


Fonte: IstockPhoto (2022)

Em 1800, Joseph Marie Jacquard utiliza esse conceito e desenvolve uma leitora automática de cartões perfurados, vindo a aplicar mais tarde em um tear mecânico. Porém, segundo Carstens e Carstens (2015), é somente em 1949 que surge o primeiro esforço organizado para a criação de uma máquina-ferramenta que tenha a capacidade de ser numericamente controlada.

O Massachusetts Institute of Technology (MIT) em conjunto com a Força Área Americana e uma fabricante de rotores chamada *Parsons Comporation* fizeram a integração do controle numérico a uma máquina de usinagem convencional através da utilização de um computador capaz de ler a sequência em um papel perfurado e repassar a informação para a máquina, convertendo a sequência em movimento. Em 1953 o projeto foi concluído e apresentado (Figura 5), dando início a era das máquinas numericamente controladas ou máquinas CNC.

Figura 5 - Máquina CNC



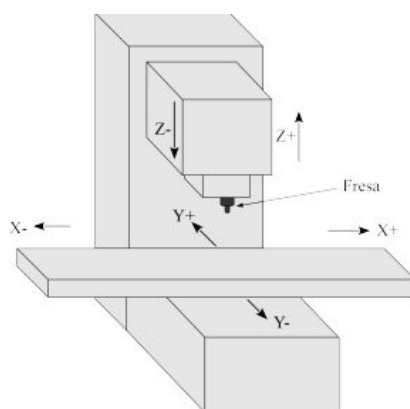
Fonte: Bragagnolo (2018)

### 3.2 MECÂNICA DO EQUIPAMENTO

#### 3.2.1 Guias Lineares e sua Respectiva Relação com o Sistema de Coordenadas da Máquina

Para que uma máquina atue eficazmente é necessário que a movimentação de seus componentes se dê de maneira ordenada, organizada e padronizada. A movimentação acontece com base em um sistema de coordenadas, onde cada eixo de deslocamento representa um grau de liberdade (Figura 6). Atualmente existem CNC's que conseguem se mover com até 7 graus de liberdade (MADISON, 1996; MASCARENHAS, 2013; GOBBI, 2014).

Figura 6 - Sistema de coordenadas de uma máquina



Fonte: Adaptado de Madison (1996)

A guia linear (Figura 7) é o elemento estrutural mecânico responsável por garantir que um determinado componente deslize em relação a outro em um padrão dado. A maioria dos guias são do tipo linear, onde o padrão de movimento é retilíneo e restrito a um grau de liberdade.



Figura 7 - Guia linear



Fonte: Adaptado de OBR (2019).

Os primeiros registros da utilização desse elemento de máquina datam mais de 1.100 anos a.C, quando os Assírios utilizaram o conceito da roda e aplicaram em mecanismos simples baseados em elementos rolantes. Entretanto, a sua aplicação em máquinas-ferramentas aconteceu somente em 1932; tratava-se de uma guia com duas carreiras de esferas recirculantes montadas em um bloco que deslizava sobre um trilho com canais em forma circular (STOETERAU, 2004).

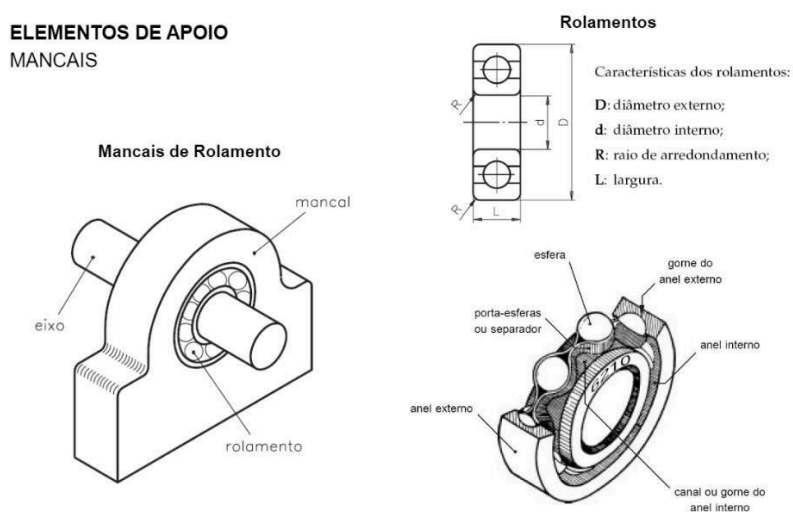
Ainda segundo Stoeterau (2004) as guias podem ser classificadas de quatro formas distintas, sendo:

- Quanto a forma da seção transversal;
- Quanto aos graus de liberdade;
- Quanto a forma de movimento;
- Quanto a forma de restrição à rotação ao longo do eixo de translação.

### 3.2.1 Mancais de Rolamentos

Assim como as guias lineares, os mancais de rolamentos são elementos de máquina que têm como característica a restrição da movimentação de um corpo em relação ao outro a um grau de liberdade, nesse caso, sendo o de rotação (Figura 8).

Figura 8 - Mancais de rolamento



Fonte: Gordo; Ferreira (2005).

O primeiro povo a registrar a utilização de mancais foram os egípcios, por volta de 200 a.C, entretanto, acredita-se que os assírios utilizaram tal sistema bem antes, por volta de 650 a.C (JUVINAL E MARSHEK, 2016).

Ao que tudo indica, os mancais de esferas e roletes, que são utilizados até os dias de hoje, foram inventados por Leonardo da Vinci (1452-1519). A ele também é atribuído o parcial desenvolvimento. A partir do século XX, com a introdução de materiais melhores e com o apoio da tecnologia de manufatura, surge os mancais modernos, com alto grau de precisão e elevada resistência a fadiga, temperatura e rotação. (NORTON, 2013; JUVINAL E MARSHEK, 2016).

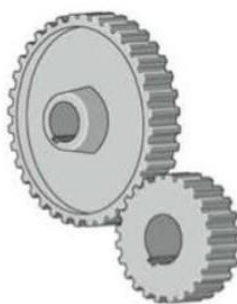
### 3.2.2 Elementos Transmissores e Conversores de Movimento

As diversas partes que se movimentam da máquina são interconectadas por elementos denominados de elementos de transmissão de potência/movimento. Existe uma gama de soluções mecânicas que possibilitam a transmissão do movimento da fonte geradora para o ponto onde deseja-se o movimento, bem como outros mais que possibilitam a conversão do movimento, de angular para linear e virse-versa. De acordo com Budynas e Nisbett (2011), os mecanismos mais conhecidos e utilizados são:

- Engrenagens;
- Roscas sem-fim;
- Cremalheiras;
- Polias;
- Correntes;

Para Norton (2013) a engrenagem foi uma das primeiras formas de transmissão de movimento utilizada e estudada pelo homem (Figura 9).

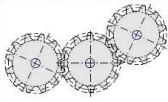
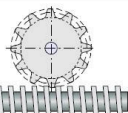
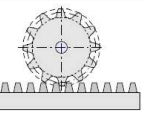
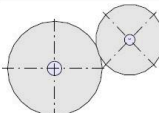
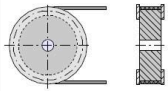
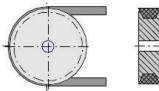
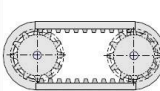
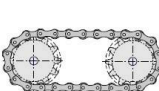
Figura 9 - Sistemas de engrenagens



Fonte: Adaptada de Juvinal e Marshek (2016)

Em seu trabalho, Stoeterau descreve vários tipos de elementos transmissores e conversores de movimento em relação a diversas características fundamentais para projeto de máquinas (Figura 10).

Figura 10 - Elementos Transmissores e Conversores de Movimento

| <i>Tipo</i>                                | <i>Trens de engrenagens</i>                                                        | <i>Engrenagens / Sem-fim</i>                                                       | <i>Engrenagens / Cremalheiras</i>                                                   | <i>Rodas de atrito</i>                                                               |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Requisitos</b>                          |   |   |   |   |
| Custo                                      | Médio                                                                              | médio                                                                              | baixo                                                                               | alto                                                                                 |
| Vibrações                                  | alto                                                                               | médio                                                                              | alto                                                                                | baixo                                                                                |
| Sincronismo do movimento                   | alto                                                                               | alto                                                                               | médio                                                                               | alto                                                                                 |
| Trans.forças/torque                        | alta                                                                               | alta                                                                               | alta                                                                                | baixa                                                                                |
| Facilidade de manutenção                   | média                                                                              | média                                                                              | média                                                                               | baixa                                                                                |
| Vida útil                                  | alta                                                                               | alta                                                                               | alta                                                                                | alta                                                                                 |
| <i>Tipo</i>                                | <i>Polias</i>                                                                      |                                                                                    |                                                                                     | <i>Correntes</i>                                                                     |
|                                            | <i>Planas</i>                                                                      | <i>Em "V"</i>                                                                      | <i>Sincronizadoras</i>                                                              |                                                                                      |
| <b>Requisitos</b>                          |  |  |  |  |
| Custo                                      | baixo                                                                              | baixo                                                                              | baixo                                                                               | baixo                                                                                |
| Vibrações                                  | baixo                                                                              | médio                                                                              | médio                                                                               | alto                                                                                 |
| Sincronismo do movimento                   | médio                                                                              | médio                                                                              | alto                                                                                | médio                                                                                |
| Capacidade de transmissão de forças/torque | média                                                                              | média                                                                              | média                                                                               | alta                                                                                 |
| Facilidade de manutenção                   | alta                                                                               | média                                                                              | média                                                                               | alta                                                                                 |
| Vida útil                                  | alta                                                                               | alta                                                                               | média                                                                               | média                                                                                |

Fonte: Stoeterau (2004)

### 3.2.3 Acoplamentos

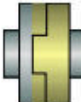
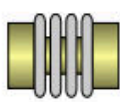
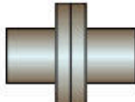
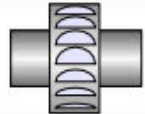
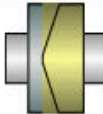
O acoplamento pode ser caracterizado como o elemento de máquina que tem como principal finalidade a transmissão do movimento de um eixo para outro através da sua respectiva ligação/conexão, garantindo que a união seja feita com o mínimo de desalinhamento possível (DAVIDSON, 1972; SLOCUM, 1992).

De acordo com Bardelli (2012) uma das tarefas mais difíceis em um projeto mecânico, com destaque para aqueles que a precisão é essencial, é o correto ajuste e alinhamento entre os eixos motores e movidos da máquina.

Existe uma grande variedade de acoplamentos no mercado, cada qual com as suas características específicas, de modo que a utilização de um ou de outro varia de projeto para projeto. Em geral os acoplamentos podem ser divididos em rígidos e complacentes (flexíveis) (NORTON, 2013).

Stoeterau (2004) caracteriza e resume em uma imagem (Figura 11) os tipos de acoplamentos mais utilizados, em função do seu respectivo custo, rigidez, erro de segmento e capacidade de compensação de desalinhamento.

Figura 11 - Classificação de alguns acoplamentos

| Tipo                          | Acoplamentos Permanentes                                                            |                                                                                    |                                                                                       |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                               | Rígidos                                                                             | Flexíveis                                                                          | Por Atrito                                                                            |
| <b>Requisitos</b>             |    |  |    |
| Custo                         | 5                                                                                   | 3                                                                                  | 3                                                                                     |
| Rigidez                       | 5                                                                                   | 5                                                                                  | 4                                                                                     |
| Erro de segmento              | 5                                                                                   | 4                                                                                  | 3                                                                                     |
| Compensação do desalinhamento | 1                                                                                   | 5                                                                                  | 1                                                                                     |
| Tipo                          | Embreagens                                                                          |                                                                                    |                                                                                       |
|                               | Hidráulicos                                                                         | Magnéticos                                                                         | Por Forma                                                                             |
| <b>Requisitos</b>             |  |                                                                                    |  |
| Custo                         | 2                                                                                   | 1                                                                                  | 3                                                                                     |
| Rigidez                       | 3                                                                                   | 4                                                                                  | 4                                                                                     |
| Erro de segmento              | 2                                                                                   | 4                                                                                  | 4                                                                                     |
| Compensação do desalinhamento | 2                                                                                   | 3                                                                                  | 3                                                                                     |

Stoeterau (2004)

### 3.3 ELETRÔNICA DO EQUIPAMENTO

O sistema eletroeletrônico em conjunto com o sistema mecânico torna possível a movimentação da máquina-ferramenta de forma automatizada. Para que ocorra o movimento de translação sobre os eixos da máquina, uma série de etapas precisam ser realizadas para que a movimentação ocorra de fato.

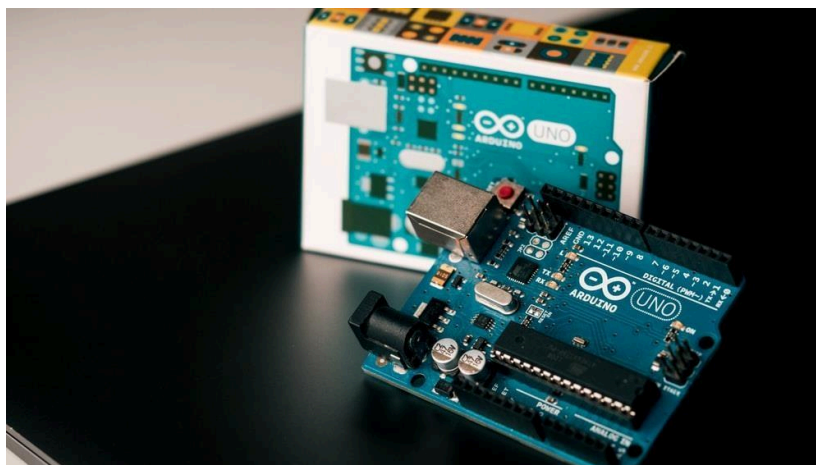
#### 3.3.1 Controlador

Os diversos movimentos realizados por uma CNC são coordenados pela placa controladora. A controladora é o componente responsável por receber, interpretar e processar os dados enviados pelo computador. Após processados, os comandos são enviados da controladora em forma de pulsos elétricos e recebidos pelos atuadores, acionando-os. O acionamento dos atuadores promove a movimentação da máquina-ferramenta. (POLASTRINI, 2016).

Hoje, as placas controladoras estão bastante difundidas, sendo possível encontrar vários modelos de diferentes marcas no mercado, como exemplo pode-se citar a plataforma arduino. Também existe a possibilidade de a criação artesanal de dispositivos de controle utilizando Protoboard ou Placas de Circuito Impresso (PCI's).

De acordo com Polastrini (2016) a plataforma arduino é amplamente difundida e utilizada pelos desenvolvedores e pela comunidade em geral, proporcionando uma vasta disponibilidade de material gratuito e um amplo suporte por parte dos usuários. O que torna a criação de projetos mais acessível (Figura 12).

Figura 12 - Arduino UNO

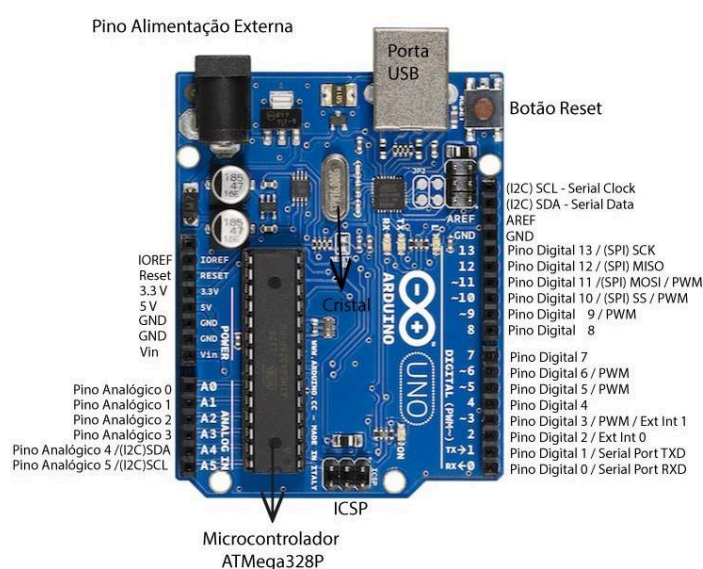


Fonte: Unsplash.com (2022)

O arduino UNO é baseado no microcontrolador ATmega328. Possui quatorze (14) pinos digitais de entrada/saída, sendo seis entradas analógicas e seis saídas Pulse Width Modulation (PWM), além de um ressonador cerâmico de 16MHz, 32MHz de memória flash, e um conector USB (Universal Serial Bus) por onde o computador é alimentado e virse-versa (Figura 13).

É a partir do funcionamento e interação dessas diversas partes que a comunicação com a máquina acontece, fazendo-a se movimentar.

Figura 13 – Diagrama de pinos do arduino UNO

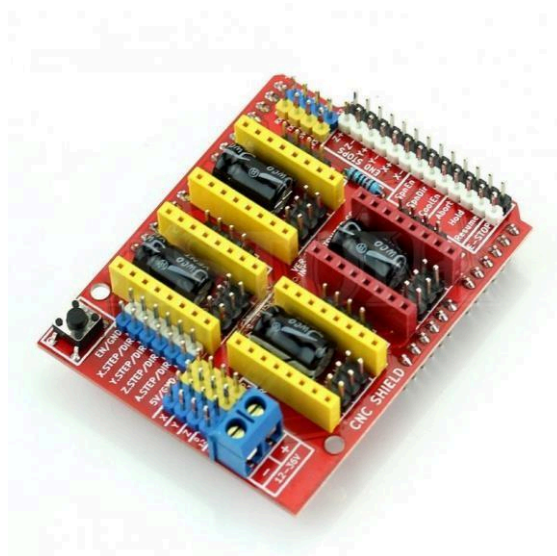


Fonte: SmartKits.com (2022)

### 3.3.2 CNC Shield

*Shields* (do inglês escudos) (Figura 14) são placas de circuitos que podem ser facilmente conectadas às placas controladoras arduino ou até mesmo a outras *Shields*. Tais placas quando conectadas ao arduino promovem uma melhor operabilidade, expandindo a capacidade e facilitando as conexões com drivers, *displays*, leitores de cartão de memória, módulos *bluetooth*, entre outros. Esse dispositivo facilita e organiza as conexões entre o arduino e outros componentes, evitando falhas (BRAGAGNOLO, 2018).

Figura 14 - CNC Shield

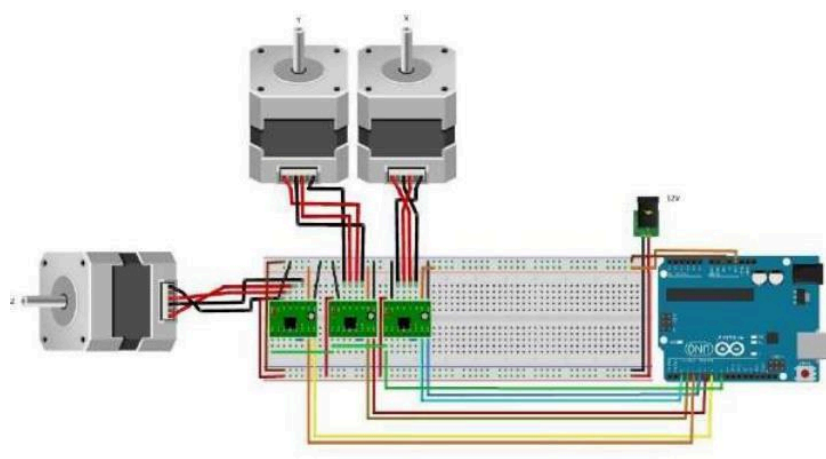


Fonte: baudaeletronica.com.br (2022)

Para fins exemplificativos, segue um exemplo (Figura 15) de como ficaria o circuito no caso de ser utilizada uma protoboard para fazer as conexões, ao invés da Shield.



Figura 15 - Substituição da CNC Shield pela Protoboard



Fonte: Robocore.net (2022)

### 3.3.3 Driver's

Os driver's (Figura 16) são responsáveis por receber os sinais de baixa tensão enviados pela placa controladora (neste trabalho, o arduíno), transformá-los em de alta e posteriormente enviá-los para os motores de passo, permitindo o controle de velocidade, aceleração/desaceleração e direção com grande precisão (SILVA E ZANIN, 2011; POLASTRINI, 2016).

Figura 16 - Driver de Potência



Fonte: Microwat.com.br (2022)

De acordo com Lyra (2010), cada pulso elétrico enviado pelo driver chega ao dispositivo de acionamento e é convertido em um micro passo, para que o eixo do motor dê uma volta completa, ou seja, um passo de  $360^\circ$ , pode ser

necessário entre 200 a 100.000 pulsos. Quanto maior o número de pulsos necessários para se completar uma revolução, maior será a precisão com que ocorrerá a rotação.

### 3.3.4 Dispositivos de acionamento (Atuadores)

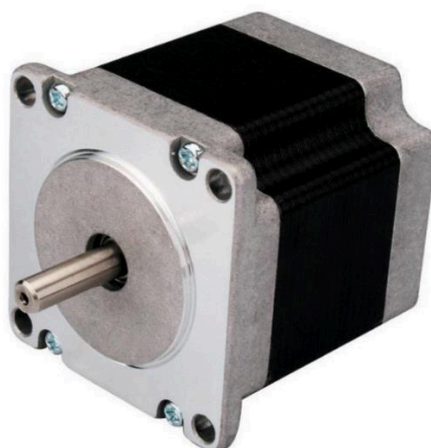
Os atuadores são os elementos caracterizados pela capacidade de transformar certo tipo de energia em movimento (energia cinética) (POLASTRINI, 2016).

Para que haja movimentação em um dispositivo, é necessário que exista a presença de algum tipo de atuador. Os primeiros atuadores utilizados pelo homem foram a sua própria força braçal, para movimentar manivelas, eixos e etc, a utilização de forças oriundas de outros animais, em substituição ao seu próprio trabalho, e o aproveitamento das forças produzidas pela natureza, como a eólica, motriz e os outros muitos exemplos, que até os dias de hoje movimentam moinhos, embarcações, indústrias/fábricas, usinas hidrelétricas, entre outras mais.

Com a evolução da tecnologia e o consequente advento da eletricidade surgiram os motores elétricos, que são os tipos de atuadores comumente utilizados hoje em dia na maioria das máquinas, para atender a inúmeras finalidades, dada a sua versatilidade de aplicação, baixa taxa de emissão de ruído, alto coeficiente de desempenho, excelente relação custo-benefício e facilidade de instalação.

Os motores que são normalmente utilizados em máquinas CNC's, (máquina caracterizada pela sua necessidade de precisão) são motores de passo (Figura 17).

Figura 17 - Motor de Passo

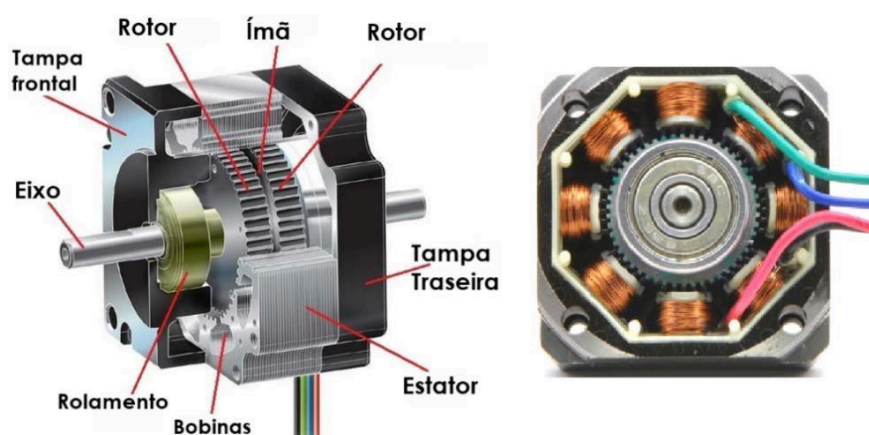


Fonte: Neo Motion (2022)

O motor de passo é um dispositivo eletromecânico de precisão, pois como o próprio nome sugere, a movimentação do seu eixo se dá a partir da sequência de incrementos (pequenas rotações, passos) que acontece no eixo do motor cada vez que este recebe um pulso elétrico vindo do driver de acionamento (KUO, 1974; BRITES E SANTOS, 2008).

De acordo com Carstens e Carstens (2015) o motor de passo foi inventado pelo engenheiro francês Marius Lavet, em 1936. Segundo Pazos (2002) este é um tipo especial de motor, pois diferentemente do motor a corrente contínua, este consegue movimentar-se de forma controlada a partir do incremento de movimentos angulares discretos (Figura 18).

Figura 18 - Estrutura do Motor de Passo

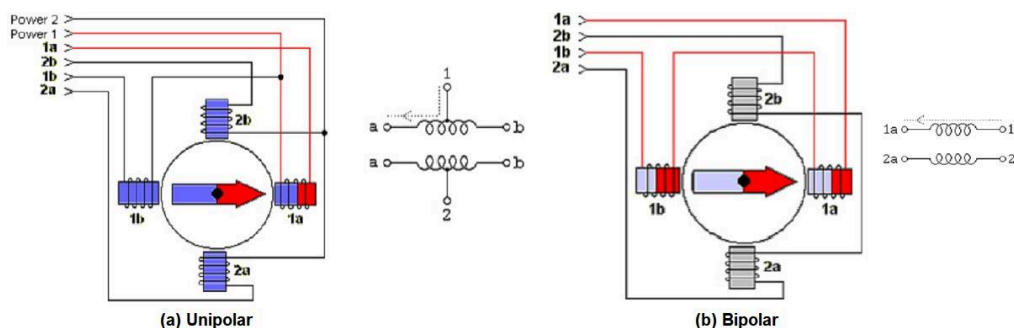


Fonte: Adaptado de Curtocircuito.com.br e Pololu.com (2022)

O passo é executado toda vez que a bobina (enrolamento de cobre na Figura 18) é energizado, criando um campo magnético no eixo, atraindo o rotor que se encontra magnetizado e forçando-o a ficar alinhado. Esses acionamentos, quando realizados em sequência, ocasionam a movimentação do eixo do motor, e consequentemente a movimentação da máquina (SOUZA, 2007).

Os motores de passo mais comuns são de dois tipos em relação ao seu modo de operação, sendo o unipolar e o bipolar. Apresentando como principal diferença o modo como as bobinas são energizadas (Figura 19).

Figura 19 - Magnetização dos Rotores do Motor de Passo (Unipolar e Bipolar)



Fonte: Queiroz (2003)

De acordo com Brites e Santos (2008), com relação a estrutura física, os motores de passo são dos seguintes tipos:

- Relutância Variável
- Ímã Permanente
- Híbrido: Junção dos dois anteriores

De acordo com Perché (2013), as principais vantagens do motor de passo são:

- Apresenta posicionamento preciso e boa repetibilidade dos movimentos;
- Excelente tempo de resposta para iniciar, parar e reverter;
- Vida útil longa, devido à ausência de escovas em contato com o rotor. A vida útil depende apenas da vida útil do rolamento;

- Capacidade de ser controlado com precisão em um sistema de malha aberta. Eliminando a necessidade de feedback sobre a sua posição;
- Erros de passo não cumulativos;
- Quando os enrolamentos estão energizados e o motor está parado o seu torque é total.

Ainda segundo o autor, as principais desvantagens são:

- Ressonâncias que poderão ocorrer;
- Não indicado para operar em altas velocidades

### 3.3.5 Sensores

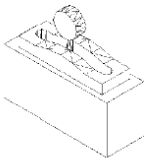
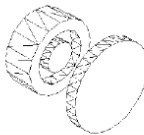
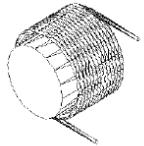
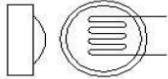
Os sensores da máquina, assim como as partes sensoriais de inúmeros seres vivos, servem para fornecer o senso de posição, orientação, movimentação, precisão e limites críticos a partir do feedback fornecido para a parte física interna das mudanças ocorridas no ambiente físico externo (PRUDENTE E LISBOA, 2015; BRAGAGNOLO, 2018).

De acordo com Stoeterau (2004) existe uma ampla variedade de sensores no mercado, sendo os principais os que tem a capacidade de detectar:

- Força;
- Potência;
- Temperatura;
- Deformação;
- Emissão acústica;
- Vibração;
- Velocidade;
- Distância.

O autor ainda descreve em seu trabalho os principais modelos de sensores em função de seu custo, vida útil e eficiência (Figura 20).

Figura 20 - Sensores

| PRINCÍPIO             | ELETROMECAÂNICO                                                                   | CAPACITIVO                                                                        | INDUTIVO                                                                           | ÓPTICO-ELETRÔNICO                                                                   |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| REQUISITOS FUNCIONAIS |  |  |  |  |
| Custo                 | 5                                                                                 | 4                                                                                 | 4                                                                                  | 4                                                                                   |
| Vida útil             | 4                                                                                 | 3                                                                                 | 3                                                                                  | 2                                                                                   |
| Eficiência            | 5                                                                                 | 3                                                                                 | 4                                                                                  | 2                                                                                   |

Fonte: Stoeterau (2004)

### 3.3.6 Sistema de Alimentação

A principal finalidade da fonte de alimentação é prover energia suficiente para o sistema. Antes da sua escolha, é importante determinar a demanda energética de todos os componentes eletrônicos utilizados no projeto, a fim de evitar danos e/ou falhas por subalimentação ou superalimentação.

A Figura 21 traz o exemplo da fonte de alimentação ATX, normalmente utilizada em computadores convencionais.

Figura 21 - Fonte ATX 12V



Fonte: Carrefour (2022)

### 3.4 COMANDO E CONTROLE DO EQUIPAMENTO

#### 3.4.1 CAD e CAM

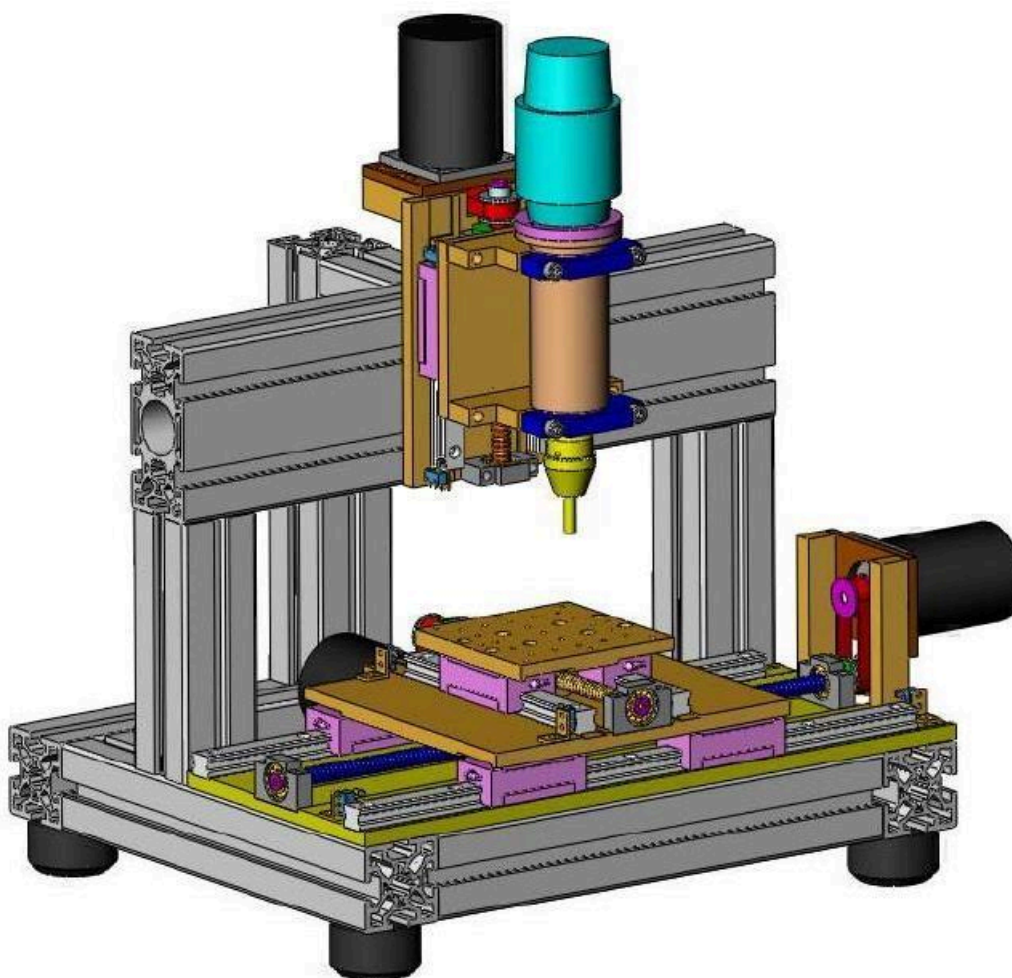
Antes do advento do computador e da invenção dos softwares do tipo *Computer Aided Design* (Projeto Auxiliado por Computador - CAD), os projetistas em geral contavam apenas com o auxílio de papel e lápis para prover seus desenhos, plantas, projetos e etc, o que tornava a atividade de projetar uma tarefa demasiadamente complexa e demorada (SCHODEK ET AL, 2007).

Ainda segundo Schodek et al (2007), o computador teve uma grande contribuição no que diz respeito ao desenvolvimento do projeto e modelagem na engenharia e arquitetura, possibilitando desenhos mais complexos, com maior precisão e agilidade na execução, através de ambientes dinâmicos e iterativos, que possibilitam a criação e visualização de peças, plantas e etc em 3D, além de permitir montagem de componentes e até mesmo simulação de esforços estáticos e dinâmicos através do método de análise por elementos finitos (*Finit Elements Analysis* - FEA), podendo prever se determinado elemento vai resistir a certo esforço aplicado nele antes mesmo dele ser construído fisicamente.

Segundo Klein (1992) e Ayres e Scheer (2007) o CAD surge da necessidade de visualizar o modelo pretendido de forma tridimensional, podendo ser entendido como um conjunto de ferramentas para a criação, manipulação e alteração de projetos e desenhos de forma interativa.

Através de uma interface gráfica (Figura 22) pode-se criar um desenho bidimensional ou tridimensional com riqueza de informações e detalhes como largura, altura e profundidade, além da exibição de particularidades como furos, rebaixos, material utilizado e etc.

Figura 22 - Montagem de peças no CAD



Fonte: Sanches (2009)

Como exemplos de programas CAD podemos citar: Inventor, SketchUp, SolidWork, AutoCAD, Catia, Revit e outros mais. Para esse trabalho iremos utilizar os dois primeiros citados.

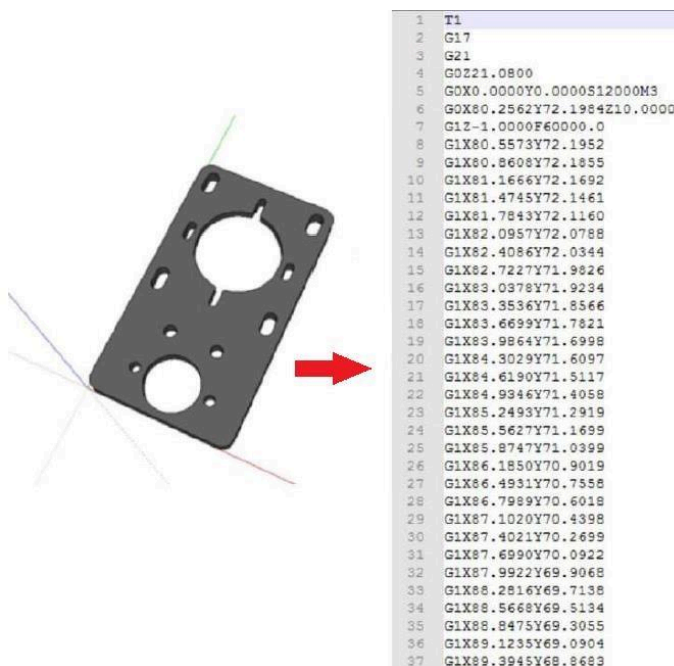
Já o programa de Manufatura Assistida por Computador (*Computer-Aided Manufacturing – CAM*) tem a função de pegar o desenho realizado no CAD, converter suas dimensões em coordenadas e posteriormente em linguagem de máquina. O CAM calcula os percursos e trajetos de deslocamento da máquina de acordo com as dimensões do objeto e faz o ajuste de acordo com a ferramenta de corte utilizada na manufatura, possibilitando a movimentação da máquina com enorme precisão para qualquer tipo de geometria desenhada (POLASTRINI, 2016).



### 3.4.2 G-Code

O G-code é o nome dado para a conversão das coordenadas geométricas da peça desenhada no CAM em linguagem de máquina. A Figura 23 ilustra um exemplo da realização dessa conversão.

Figura 23 - Exemplo de G-Code (Linguagem de Máquina)



Fonte: Hadas (2015)

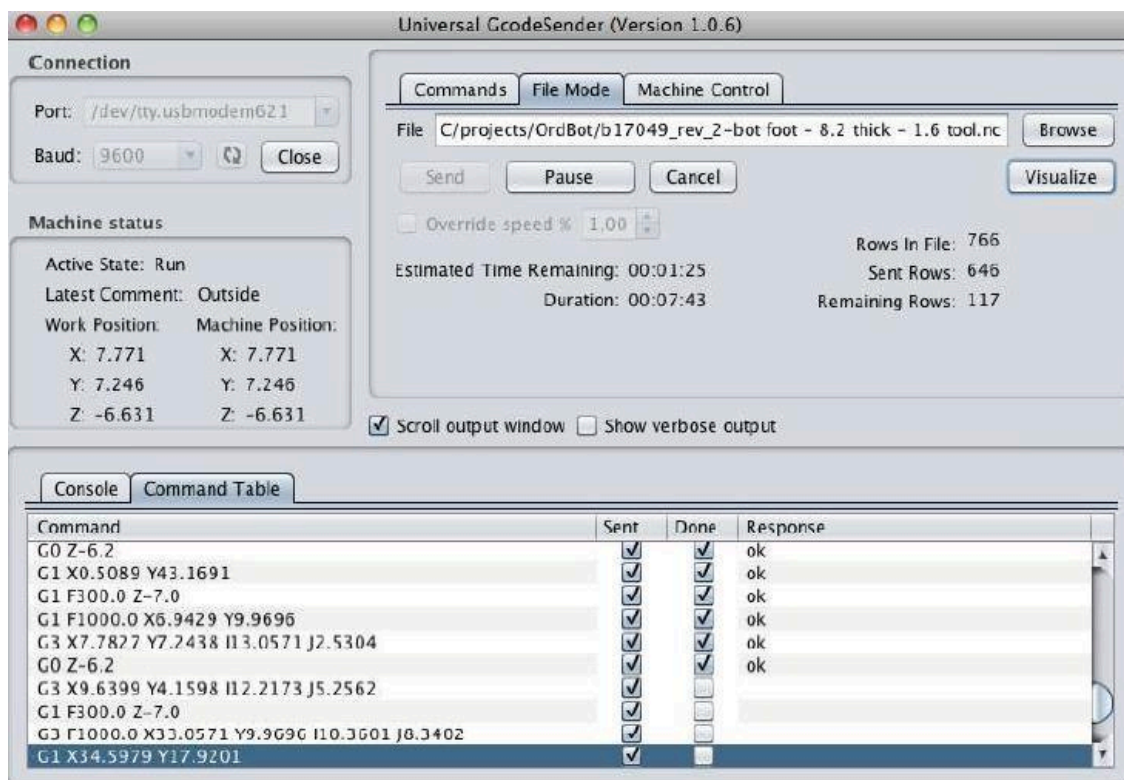
De acordo com a Polaris Motion (1994), empresa canadense reconhecida na área de controle e movimento de máquinas de alto desempenho, o código G usa linhas, arcos e splines em três dimensões para criar o caminho da ferramenta de uma máquina-ferramenta fazendo-a se movimentar através do fornecimento dessas informações e instruções a um controlador.

### 3.4.3 Universal GCode Sender

O Universal GCode Sender é o programa responsável por receber o G-Code, fazer sua leitura e enviar para o controlador. Esse programa também oferece a possibilidade da criação de rotinas de máquina, além do acompanhamento dos eixos e coordenadas da máquina em tempo real (POLASTRINI, 2016).

Na Figura 24 podemos observar o layout da tela de comando do programa.

Figura 24 - Layout do Universal GCode Sander



Fonte: GitHub (2015)

O Universal GCode Sander trata-se de um software em plataforma livre (gratuita), lançado sobre a licença GPLv3, podendo ser operado em vários sistemas operacionais distintos, como: Windows, Linux, OSX e Raspberry Pi.

#### 3.4.4 Grbl

Software gratuito, lançado sob a licença GPLv3 e desenvolvido em C, que pode ser gravado em microcontroladores ATmega328 (presente em controladores Arduíno) (GOBBI, 2014).

Essa plataforma, pelo fato de ser gratuita, conta com um grupo de colaboradores que trabalham desenvolvendo e aprimorando o programa, a Figura 25 ilustra os principais colaboradores.

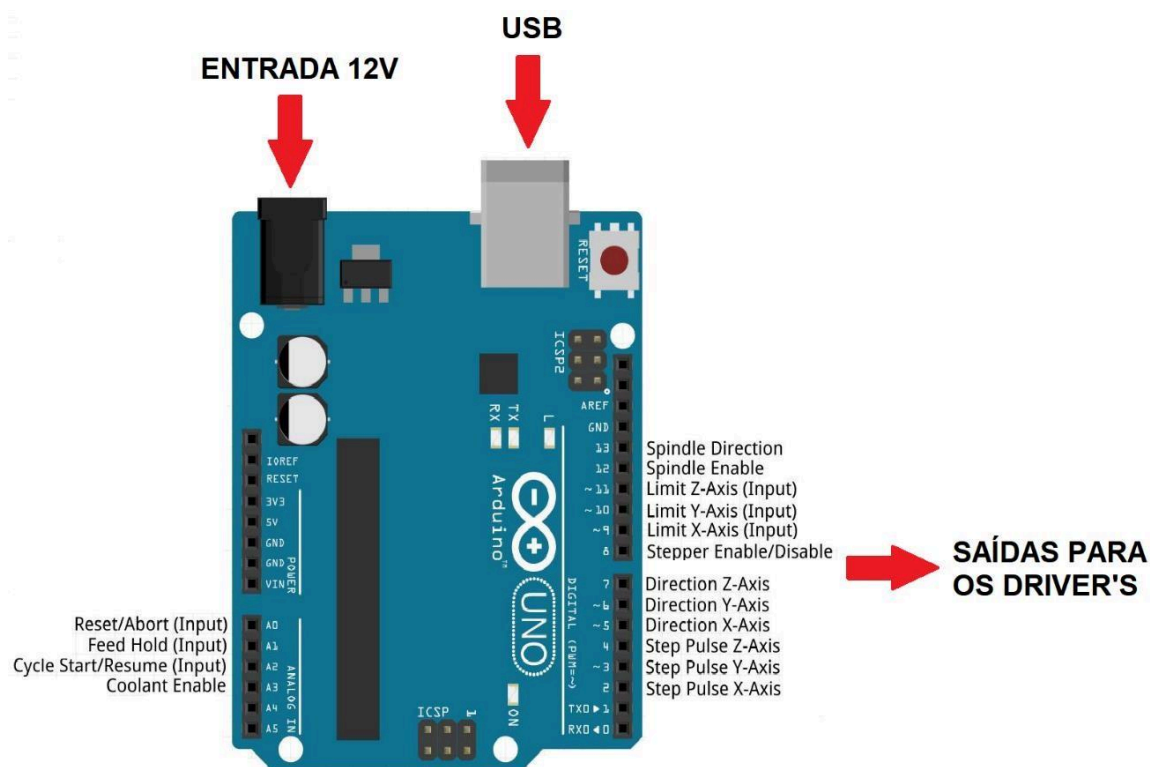
Figura 25 - Colaboradores Grbl



Fonte: GitHub (2015)

Sua principal finalidade é receber via USB as informações que estão em linguagem de máquina (G-Code), no caso deste trabalho, enviadas do Universal GCode Sander, e interpretá-las. Possibilitando o acionamento dos drives de acordo com os padrões recebidos e consequentemente o acionamento dos atuadores. Controlando os movimentos da máquina operatriz. A Figura 26 ilustra as entradas e saídas do Arduino UNO.

Figura 26 - Entradas e Saídas / Arduino UNO



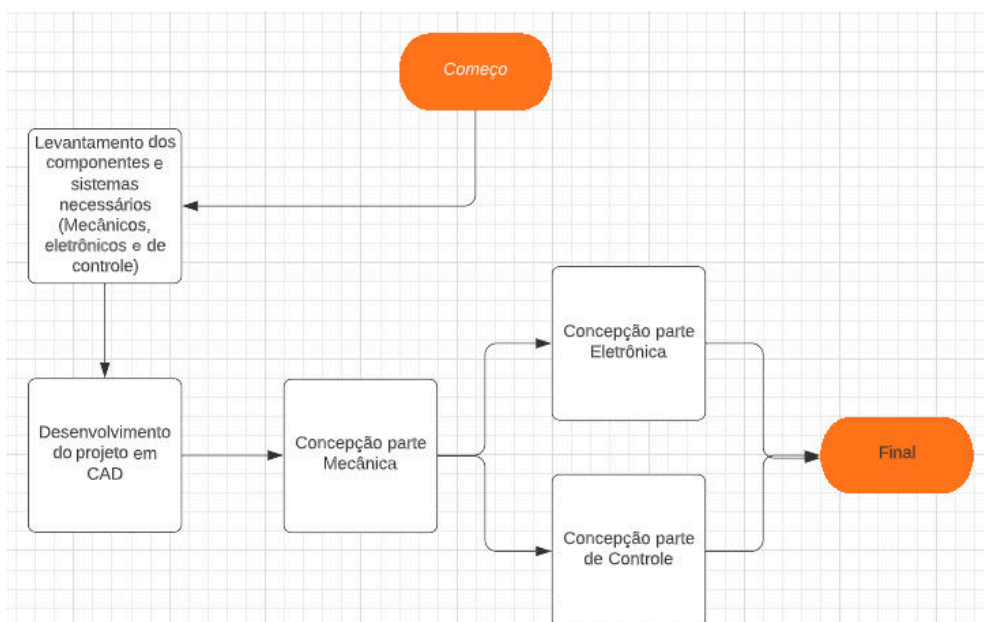
Fonte: Letmeknow (Acesso em 2022)

O site dos desenvolvedores do Grbl disponibiliza o manual de configuração do software.

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Com a finalidade de facilitar a compreensão do leitor no que diz respeito a concepção, fabricação e montagem de uma máquina CNC, o presente trabalho se dividirá em três etapas fundamentais, que são: mecânica, elétrica e de controle. Aconselha-se constituir as etapas na sequência citada; embora na teoria os sistemas sejam independentes entre si, na prática eles se mostram dependentes e interconectados. A Figura 27 apresenta o fluxograma dos procedimentos executados.

Figura 27 - Fluxograma da Metodologia



Fonte: O Autor.

Vale ressaltar que no Trabalho de Conclusão de Curso do Bacharelado em Ciência e Tecnologia o autor do presente trabalho enfatizou a parte mecânica da máquina com maior rigor, portanto, neste trabalho a ênfase será na parte elétrica e de controle.

Esse projeto foi construído associando-se duas três variáveis fundamentais: O custo-benefício do componente utilizado, sua facilidade de obtenção no comércio local e sua funcionalidade.

Tendo isso em mente foi utilizado MDF de 15mm de espessura para a composição de várias peças estruturais da máquina, como: base, suporte da base, cabeceira, laterais, pórticos, suporte dos pórticos, suporte do eixo Z e suporte da ferramenta, por ser um material mais barato em relação ao metal, portanto mais acessível; além de apresentar resistência mecânica considerável.

Em substituição aos guias lineares cilíndricos e aos fusos com rosca quadrada, comumente utilizados em máquinas desse tipo e que apresentam elevado custo, foi utilizado metalon quadrado (25 mm x 25mm) e corrediça de gaveta (para o eixo Z) em vez das guias cilíndricas, e barras roscadas (10mm) no lugar dos fusos. Materiais que podem ser facilmente encontrados no comércio local, como por exemplo em materiais de construção, casa de ferragens, lojas, oficinas e etc.

As peças utilizadas na parte eletrônica são fáceis de comprar pela internet e costumam ser vendidas em kit's, barateando o custo de aquisição e diminuindo a logística de obtenção.

Os softwares utilizados na parte de controle são todos abertos, podendo ser acessado pelo público em geral.

#### 4.1 PARTE MECÂNICA DA MÁQUINA

Para a construção de uma máquina é necessário o estabelecimento de uma série de parâmetros que definirão como o projeto será desenvolvido.

Os parâmetros levados em consideração para o desenvolvimento da máquina apresentada neste projeto foram: área útil de usinagem, número de eixos que a máquina deve possuir, grau de complexidade que se deseja obter no trabalho da máquina, custo dos materiais utilizados, facilidade de obtenção dos materiais no comércio local e utilidade do componente.

Uma variedade de materiais podem ser encontrados no mercado para a concepção da estrutura e das peças da máquina, como: alumínio, aço, fibra, tecnil, entre outros. Cada material apresenta vantagens e desvantagens em relação uns aos outros. Por exemplo, seria viável, do ponto de vista estrutural, construir a máquina de alumínio ou aço, porém do ponto de vista financeiro essa escolha pode não ser adequada. Essa relação também é válida para a escolha da guia linear da máquina e para o elemento de transmissão utilizado.

Visando construir a máquina com materiais acessíveis, foi escolhido MDF de 15 mm de espessura para compor a maioria das peças estruturais da máquina.

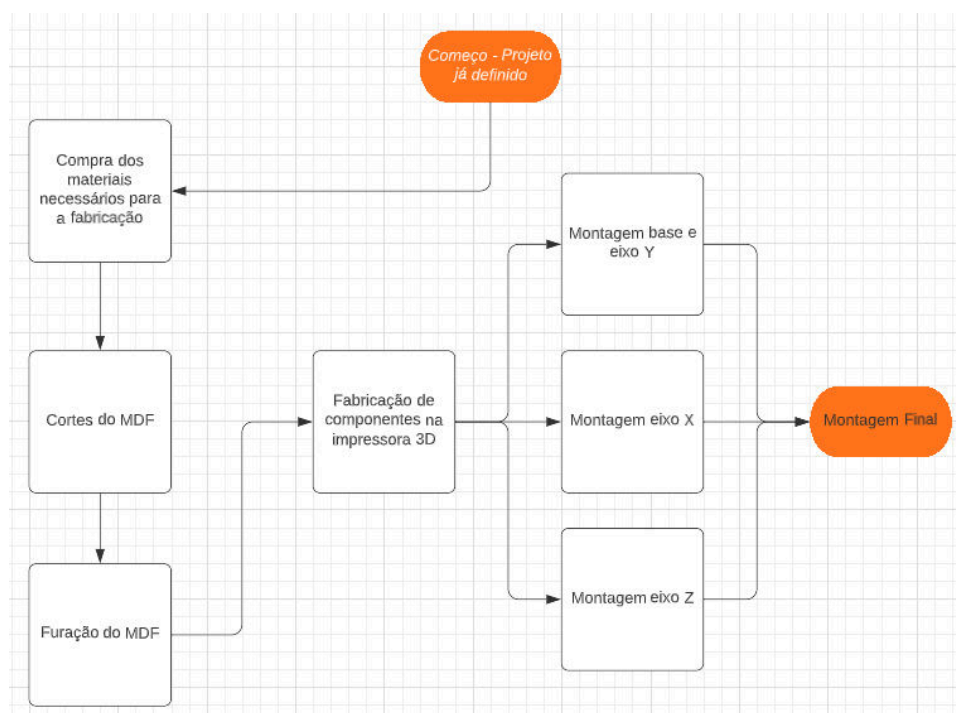
Para a composição das guias lineares foi adotado uma solução diversificada, que foi a utilização de perfis de metalon quadrado de 25 por 25mm. Barras roscadas comuns em conjunto com porcas de 10 mm de diâmetro foram utilizadas para compor o sistema de transmissão de movimento da máquina-ferramenta.

A parte mecânica se divide em três subsistemas fundamentais, sendo eles: Eixo X, Y e Z. Com o intuito de não misturar os processos e procedimento para facilitar a compreensão do leitor, cada subsistema foi montado separadamente e em seguida unidos.

Visando modelar e construir o projeto de forma a se adequar às condições citadas na introdução do capítulo, utilizou-se como suporte a máquina 3D da Ufersa Campus Caraúbas para a concepção de algumas peças.

A Figura 28 apresenta o fluxograma das tarefas realizadas na concepção da parte mecânica da máquina.

Figura 28 - Fluxograma da parte mecânica



Fonte: O Autor.



O detalhamento mecânico da máquina pode ser verificado no Anexo 1.

#### 4.1.1 Base e Eixo Y

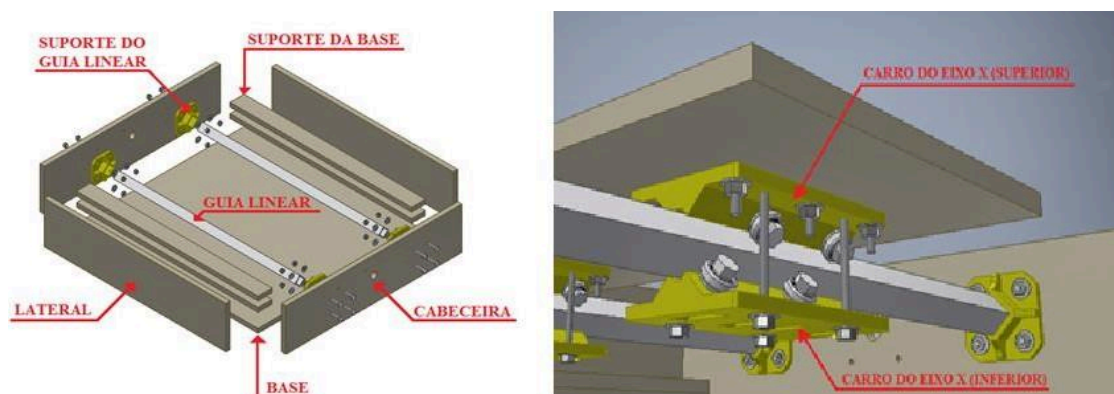
A base da máquina é constituída basicamente de chapas de MDF com 15 mm de espessura. Foi utilizada uma esquadrejadeira para fazer os cortes das chapas utilizadas.

A estrutura inicial da máquina é composta pelas seguintes peças:

- Base;
- Suporte da base;
- Cabeceira;
- Lateral.

O eixo Y é montado a partir dessa estrutura inicial (base). Fazendo-se uso do metalon (atuando como guia linear), barra roscada (atuando como fuso) e seus suportes, respectivamente, e uma mesa móvel montada sobre carros, que serve como mesa de sacrifício (Figura 29).

Figura 29 - Base e eixo Y



Fonte: Adaptada de Maia Neto (2019)

Na Figura 30 temos a execução do projeto do eixo Y. Além de todos os itens descritos na Figura 29, têm-se o suporte do motor do eixo Y, a barra roscada e o seu respectivo mancal.



Figura 30 - Montagem da base e eixo Y

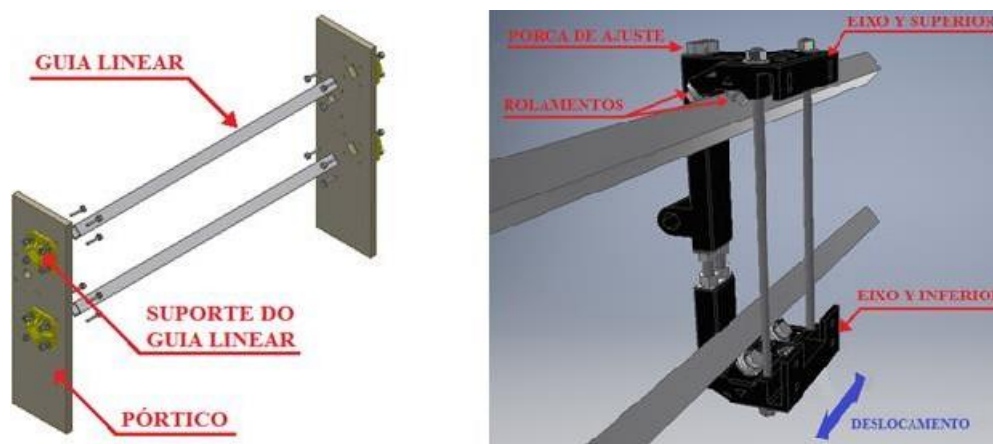


Fonte: O Autor

#### 4.1.2 Eixo X

O eixo X é composto por pórticos de MDF de 15 mm, guias lineares e seus respectivos suportes, e uma estrutura fabricada utilizando-se a impressora 3D, a qual servirá de base para os componentes do eixo Z. A Figura 31 ilustra as peças do projeto em CAD.

Figura 31 - Eixo X



Fonte: Adaptada de Maia Neto (2019)

Na Figura 32 pode-se observar a execução do projeto do eixo X. Além de todos os itens descritos na Figura 31, têm-se o suporte do motor do eixo X, a barra roscada e o seu respectivo mancal.

Figura 32 - Eixo X montado



Fonte: O Autor

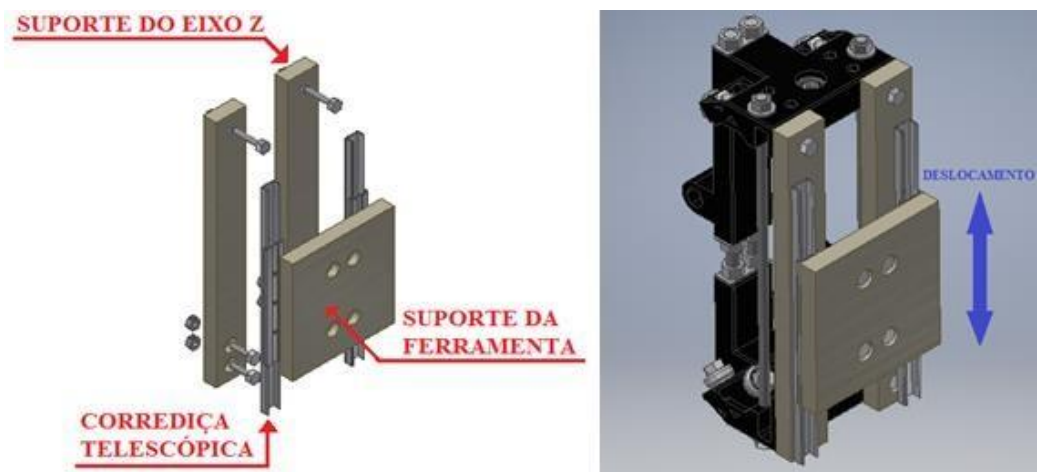
#### 4.1.3 Eixo Z

O eixo Z da máquina é responsável por abrigar a ferramenta da máquina. Aquela foi confeccionada utilizando-se MDF para compor sua estrutura.

O grande diferencial do eixo Z foi a utilização de corrediças de gaveta servindo como guias lineares.

A Figura 33 ilustra os componentes do eixo Z em explosão.

Figura 33 - Eixo Z



Fonte: Adaptado de Maia Neto (2019)

A Figura 34 apresenta a execução do eixo Z na prática. Devido ao grande número de componentes envolvidos, esse foi o eixo que apresentou maior nível de dificuldade de montagem.

Figura 34 - Eixo Z montado

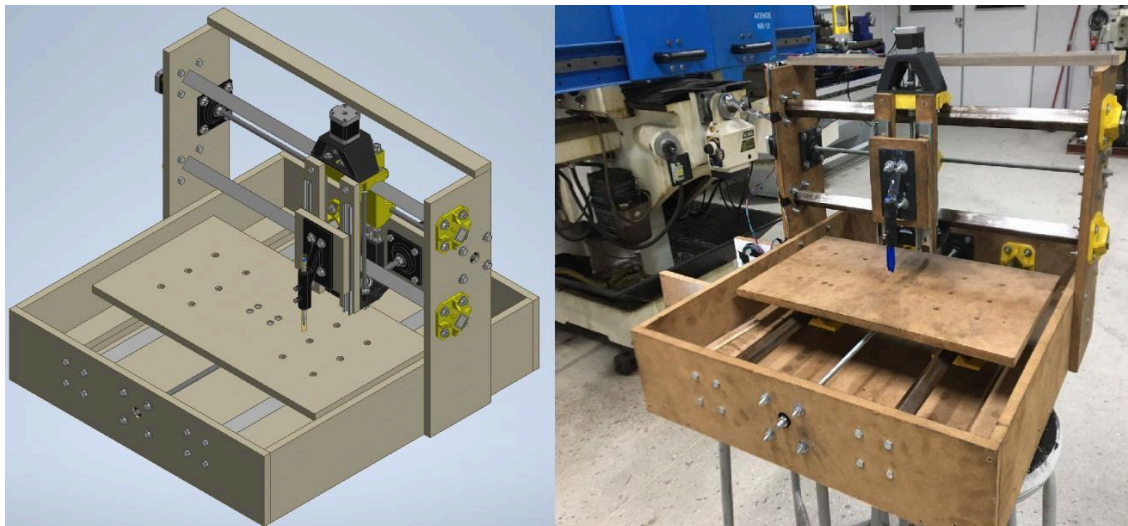


Fonte: O autor



A Figura 35 apresenta a comparação entre o projeto desenvolvido no CAD e sua execução.

Figura 35 - Projeto CAD e execução

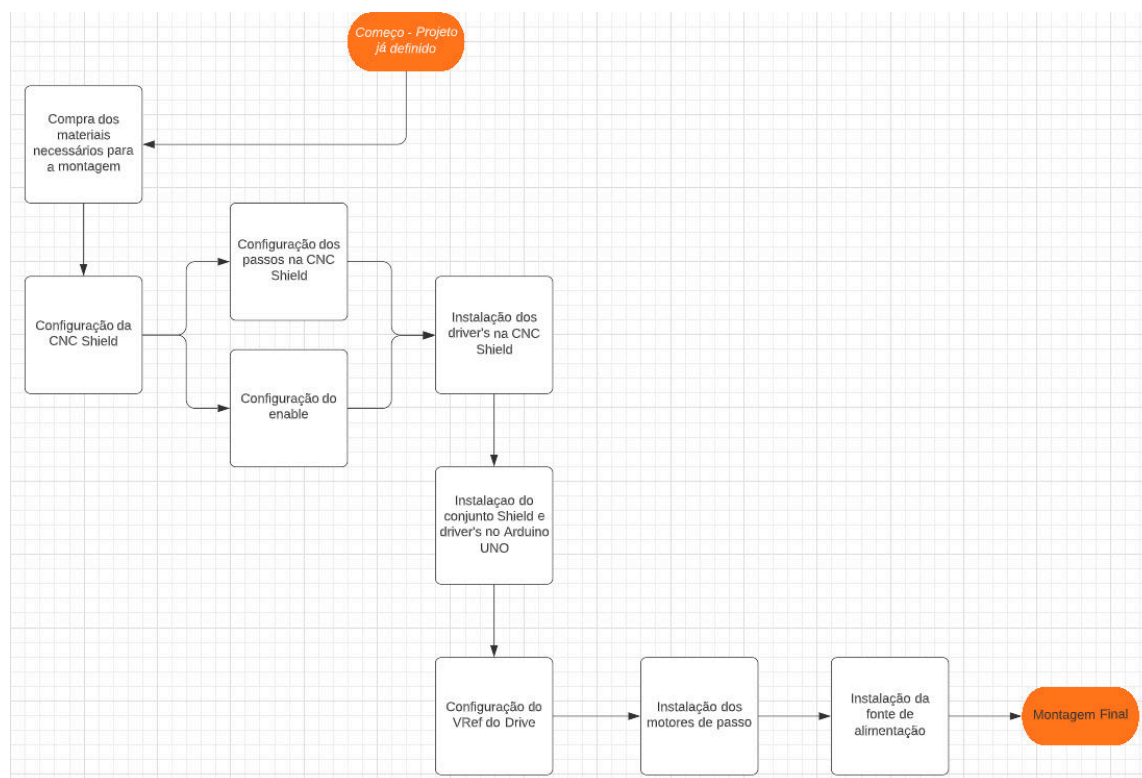


Fonte: O autor.

## 4.2 PARTE ELETRÔNICA DA MÁQUINA

Para facilitar a compreensão do leitor, a Figura 36 apresenta o fluxograma da montagem da parte eletrônica da máquina.

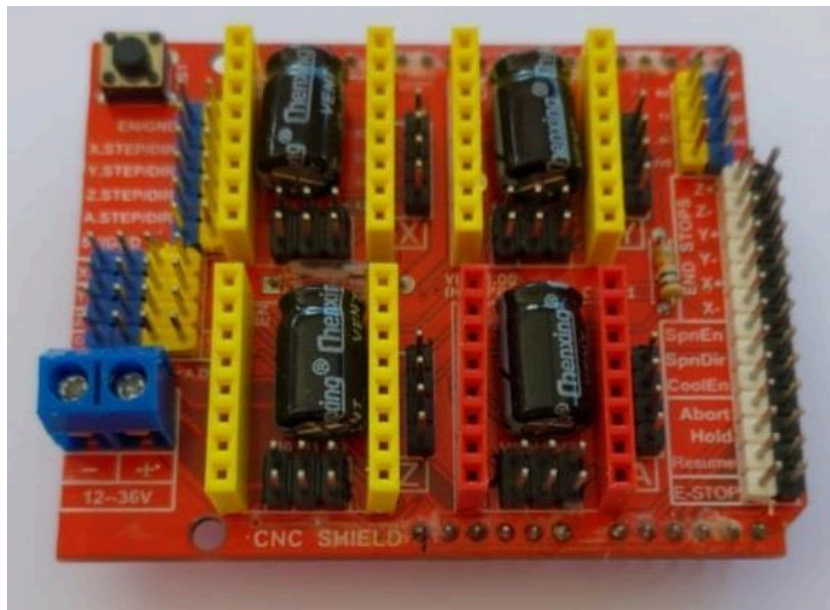
Figura 36 - Fluxograma parte eletrônica



Fonte: O Autor.

Como evidenciado no fluxograma, a parte eletrônica é iniciada pela respectiva configuração da CNC Shield (Figura 37).

Figura 37 - CNC Shield V3



Fonte: O Autor.

A primeira configuração realizada pelo projetista foi a forma como os motores darão os passos. Por exemplo: se dará um passo (1,8º conforme datasheet do motor) a cada pulso recebido do driver, ou se dará somente meio passo a cada pulso. Quanto menor for o passo dado pelo motor, maior será sua precisão no que diz respeito a movimentação.

Essa configuração é realizada utilizando-se jumper's para fazer conexões nas saídas MS0, MS1 e/ou MS2 de acordo com as sequências citadas na Figura 38.

Figura 38 - Configuração dos Passos.



Pololu A4988 Stepper Driver configuration:

| MS0  | MS1  | MS2  | Microstep Resolution |
|------|------|------|----------------------|
| Low  | Low  | Low  | Full step            |
| High | Low  | Low  | Half step            |
| Low  | High | Low  | Quarter step         |
| High | High | Low  | Eighth step          |
| High | High | High | Sixteenth step       |

Fonte: Adaptado de Conrado (2016).

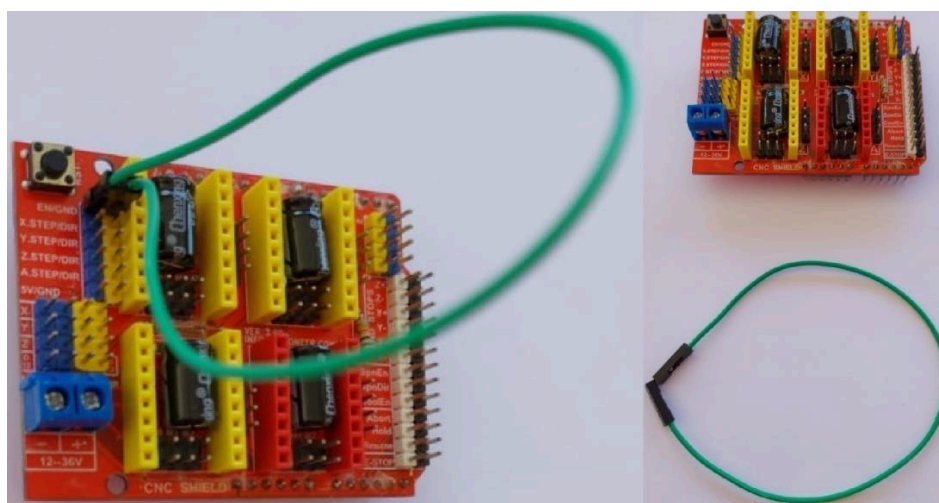
Essa escolha depende da precisão desejada pelo projetista, bem como do mecanismo de transmissão utilizado no projeto.

Como a barra roscada, utilizada no projeto para realizar a movimentação dos eixos, tem um passo de rosca bastante pequeno, sendo de 1,5875 mm por passo, optou-se por utilizar o *Full Step* (passo completo) na configuração da Shield. Conforme Figura 38, para tal configuração não é preciso fazer nenhuma conexão. Caso se desejasse meio passo, por exemplo, colocaríamos um jumper no M0.

A próxima configuração realizada foi habilitar o *Enable* da CNC Shield. Isso permite que a placa seja utilizada sempre que solicitada pelo microcontrolador. Para fazer essa configuração também se utiliza jumper's.

Nesse projeto foi utilizado um fio com conexões fêmeas para fazer o jumper nos pinos GND da placa Shield, conforme Figura 39.

Figura 39 - Habilitação do Enable



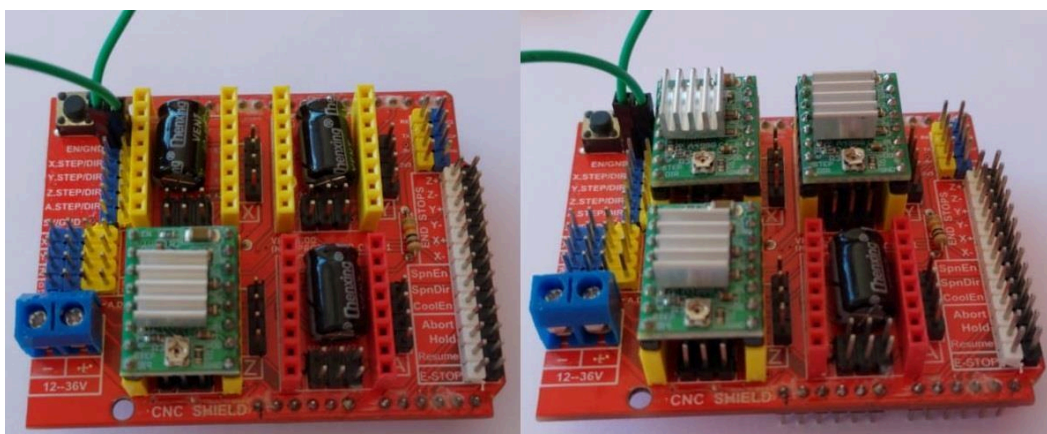
Fonte: O Autor.

Também é possível configurar a CNC Shield V3 para operar com um quarto motor, porém esse detalhe não será objeto desse trabalho, já que se trabalhará apenas com três atuadores.

Após realizar a pré-configuração da CNC Shield, os driver's são acoplados na placa (Figura 40).



Figura 40 – Montagem da CNC Shield e Driver's

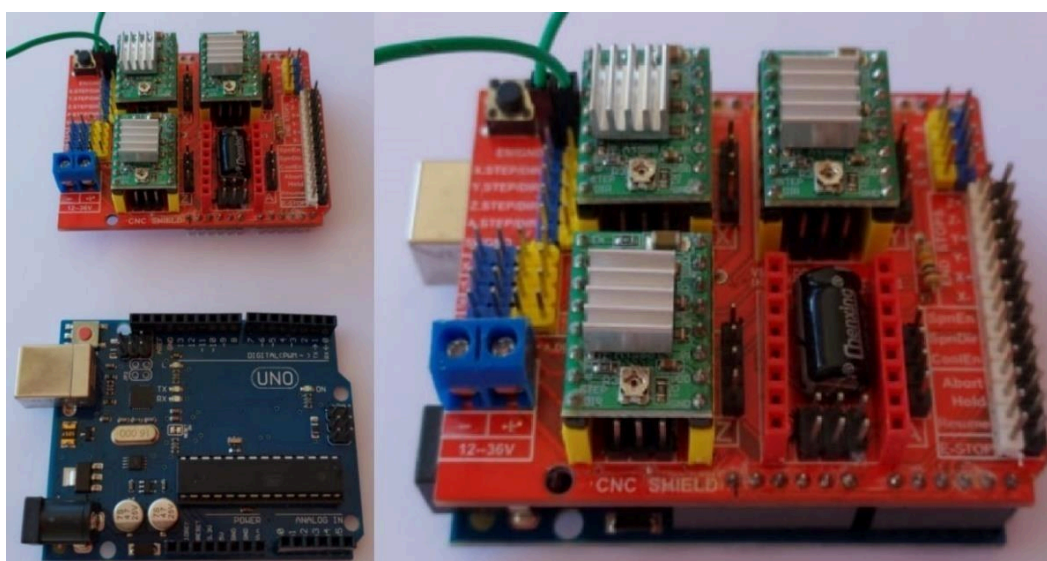


Fonte: O Autor.

Na montagem, a saída *enable* do driver deve coincidir com a entrada *enable* do slot da Shield.

Após a finalização dessa etapa, a Shield é conectada ao arduíno UNO, conforme Figura 41.

Figura 41 - Conexão da Shield ao Arduíno.



Fonte: O Autor.

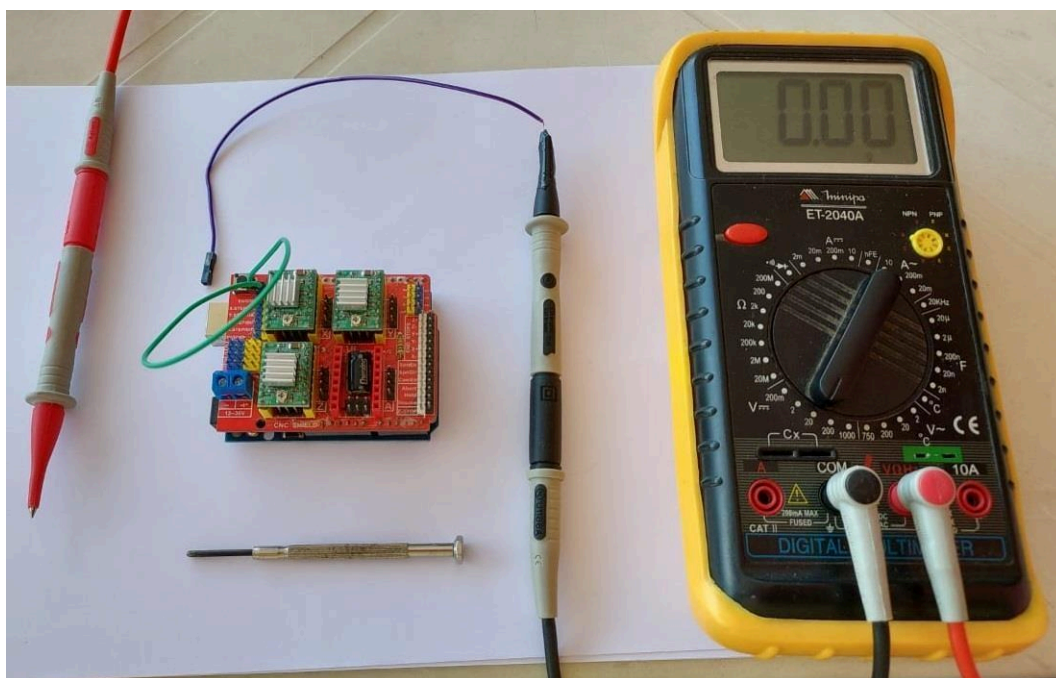
Para este projeto, a solução mais versátil e de baixo custo encontrada foi à utilização de um microcontrolador Arduíno UNO em conjunto com a placa CNC Shield V3 e Drivers A4988. Todos os componentes citados são facilmente encontrados no mercado nacional.

O próximo passo consiste em fazer a regulagem da tensão de referência nos driver's. Esse ajuste é realizado no potenciômetro do driver e serve para o driver não mandar o pulso elétrico numa tensão maior do que o atuador pode suportar, prevenindo, dessa forma, a queima do componente.

Para fazer esse ajuste é necessário (Figura 42):

- Multímetro (utilizado na escala 20 de tensão contínua);
- Conexão fêmea (para ligar no *enable* da Shield);
- Chave philips (para ajustar o potenciômetro);
- Cabo USB (para ligar o arduíno).

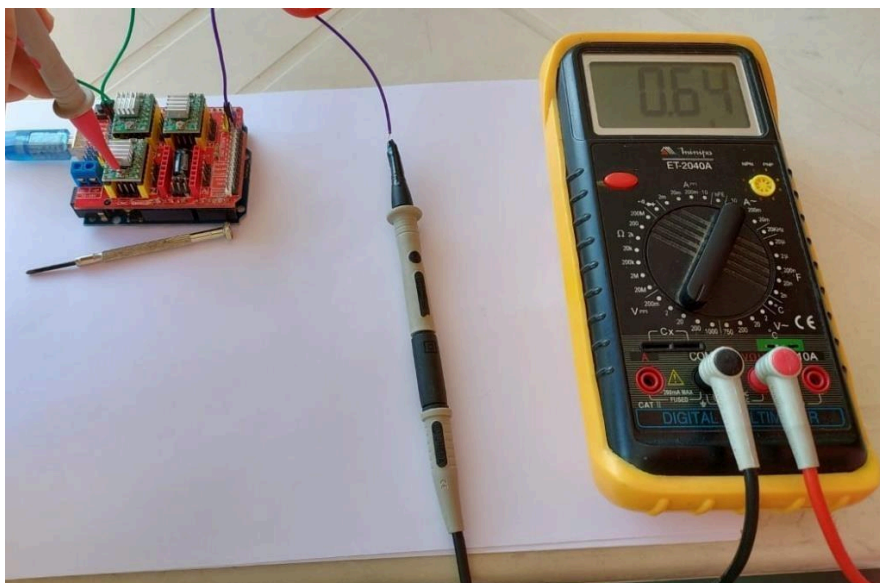
Figura 42 - Componentes para fazer ajuste do VRef.



Fonte: O Autor.

Primeiro liga-se o arduíno ao computador via cabo USB, em seguida liga-se o polo negativo (cabo preto) do multímetro a saída GND da CNC Shield. Posicionando o polo positivo do multímetro (cabo vermelho) no potenciômetro do driver, conseguimos aferir a tensão que está saindo do componente, conforme Figura 43.

Figura 43 - Potenciômetro



Fonte: O Autor.

Com o auxílio da chave, rotacionamos o potenciômetro para fazer a regulação e se obter a tensão desejada.

De acordo com Conrado (2016), a tensão de referência utilizada pode ser calculada pela seguinte fórmula:

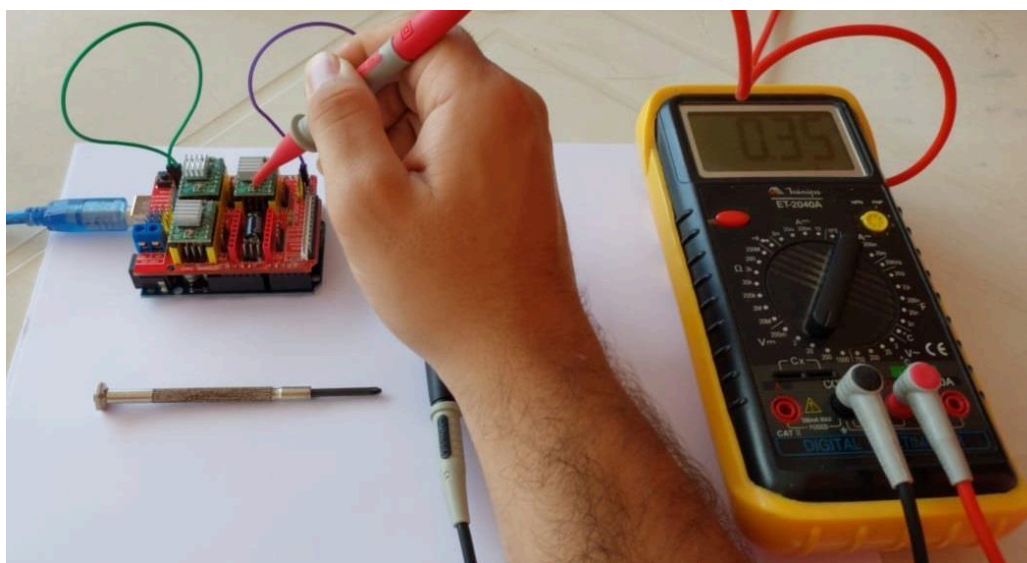
$$V(ref) = \frac{I_{(Motor)}}{2,5} \quad (I)$$

Onde  $I_{(motor)}$  é a corrente na qual o motor opera.

De acordo com o datasheet do motor (Anexo 2), o atuador utilizado opera na faixa de 1 Amper. Substituindo na equação, temos:

$$V(ref) = \frac{1}{2,5} = 0,4$$

Por questões de segurança, utilizaremos 0,35, conforme Figura 44.

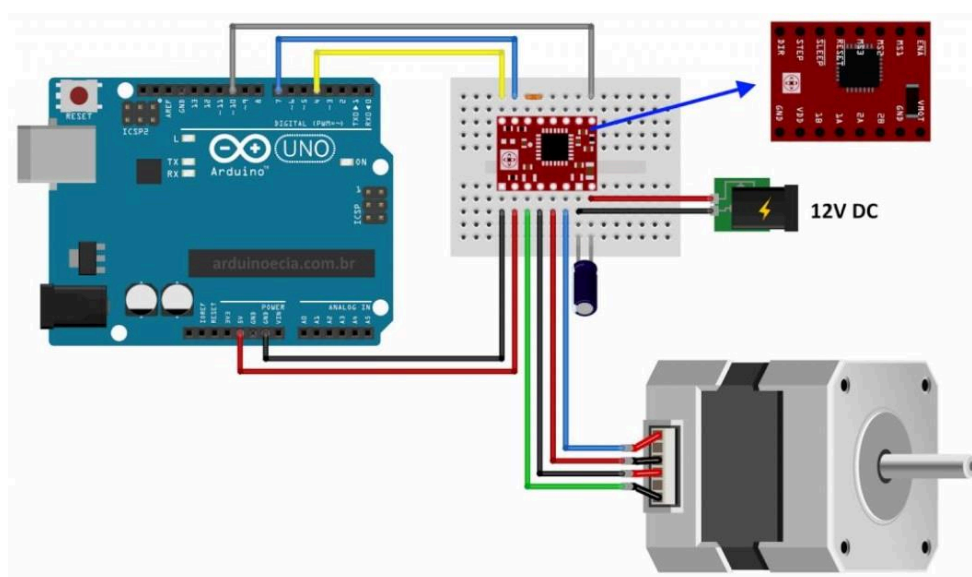
Figura 44 - Ajuste de  $V(\text{ref})$ 

Fonte: O Autor.

Feito isso, podemos conectar os motores e a fonte de alimentação à CNC Shield.

Os motores de passo são conectados aos slots que ficam localizados ao lado dos driver's de acionamento. Os fios (para o Nema 17, 4 fios) podem ser conectados conforme figura 45.

Figura 45 - Conexão do motor de passo ao driver



Fonte: Arduino e Cia (2022)



Para esse trabalho, foi utilizado três motores de passo NEMA 17 (Figura 46), sendo um por eixo. O anexo 2 traz as especificações completas deste motor.

Figura 46 - Especificações Técnicas do Motor de Passo

| Item                  | Specifications             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------------------|----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Step Angle            | 1.8°                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Step Angle Accuracy   | ±5%(full step,no load)     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Resistance Accuracy   | ±10%                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Inductance Accuracy   | ±20%                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Temperature Rise      | 80℃max                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Ambient Temperature   | -20℃~+50℃                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Insulation Resistance | 100 MΩ Min. ,500VDC        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Dielectric Strength   | 500VAC for 1minute         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Shaft Radial Play     | 0.02Max. (450g-load)       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Shaft Axial Play      | 0.08Max. (450g-load)       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Max. radial force     | 28N (20mm from the flange) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Max. axial force      | 10N                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

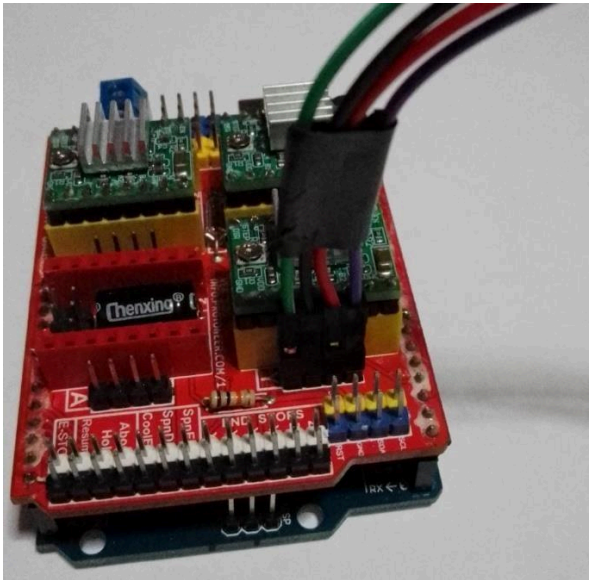


| Modelo          | Tensão Nominal | Corrente/ Fase | Resistência/ Fase | Indutância/ Fase | Torque de contenção | #   | Torque de retenção | Inércia do Rotor  | Inércia do Rotor | Peso |
|-----------------|----------------|----------------|-------------------|------------------|---------------------|-----|--------------------|-------------------|------------------|------|
|                 | V              | A              | Ω                 | mH               | kg.cm               | No. | g.cm               | g.cm <sup>2</sup> | (L)mm            | kg   |
| JK42HS40-1004AC | 3.9            | 1              | 3.9               | 8.9              | 4.0                 | 4   | 150                | 54                | 40               | 0.28 |

Fonte: Adaptado de Neo Motion (2022)

Utilizando a CNC Shield, a conexão dos fios fica conforme Figura 47. Atenção para a sequência das cores dos fios dos motores. O potenciômetro do driver pode ser utilizado como referência para orientação das conexões.

Figura 47 - Conexão do motor na shield



Fonte: O Autor.

O último passo da eletrônica é conectar a potência (fonte de alimentação) à CNC Shield, com a finalidade de suprir a demanda energética dos componentes elétricos.

De antemão, é necessário fazer o levantamento da energia de operação de cada componente, com vistas a fazer a escolha da fonte de alimentação utilizada no projeto (Quadro 1). Esse levantamento pode ser realizado a partir do datasheet dos componentes e varia de projeto para projeto.

O Quadro 1 traz a demanda energética de cada componente.

Quadro 1 - Quadro de consumo energético dos componentes

| CONSUMO DE ENERGIA - ELETROELETRÔNICA |            |                    |         |               |
|---------------------------------------|------------|--------------------|---------|---------------|
| Componente                            | Quantidade | Tensão de Operação | Consumo | Consumo Total |
| Arduino UNO                           | 1          | 7 a 12V            | 800mA   | 800mA         |
| Drivers A4988                         | 3          | 8 a 35V            | 50mA    | 150mA         |
| Motores de Passo (NEMA 17)            | 3          | 5 a 36V            | 70mA    | 210mA         |
| CNC Shield V3                         | 1          | 12 a 36V           | 0mA     | 0             |
| <b>Totais</b>                         | 8          | X                  | X       | 1,16A         |

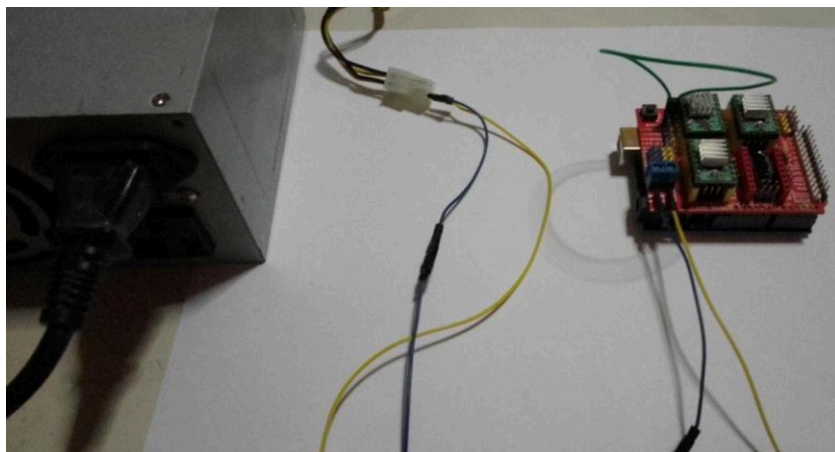
Fonte: O autor

A fonte de alimentação escolhida foi a fonte padrão ATX, pois é facilmente encontrada no comércio local e até mesmo em sucatas; estas são utilizadas em computadores convencionais. Oferece 264 Watts de potência e saídas de tensão de +3.3V, +5V, +12V e -12V. A saída de +12V fornece correntes de até 14 Amperes, fatores que justificam a escolha da mesma.

Analisando a tabela, podemos observar que todos os componentes eletrônicos utilizados obedecem a essa faixa de tensão.

A Figura 48 evidencia a conexão realizada entre a fonte de alimentação e as entradas de energia da CNC Shield.

Figura 48 - Conexão da fonte de alimentação à shield

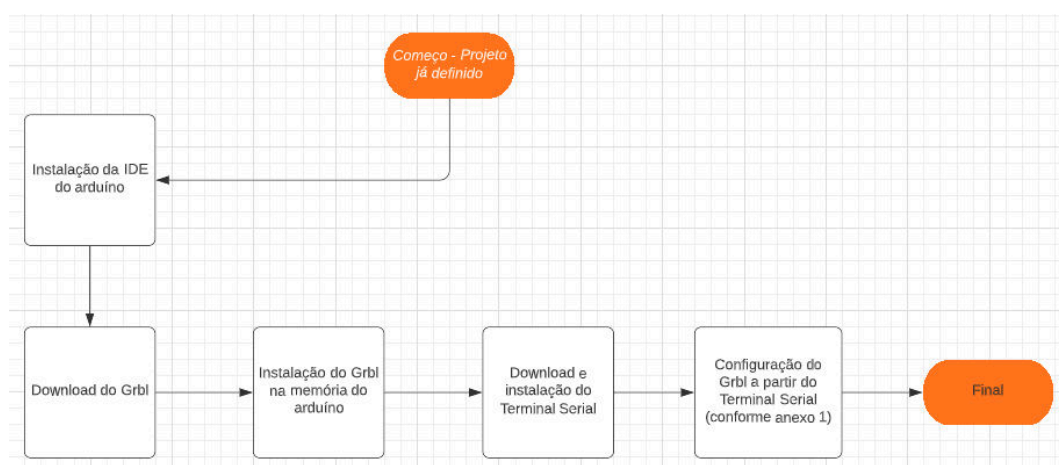


Fonte: O Autor.

### 4.3 PARTE DE CONTROLE DA MÁQUINA

Para melhorar a compreensão do leitor acerca de como se deu o procedimento de instalação e configuração dos softwares de controle da máquina desenvolvida no presente trabalho, a Figura 49 apresenta o fluxograma dos procedimentos realizados.

Figura 49 - Fluxograma parte de controle

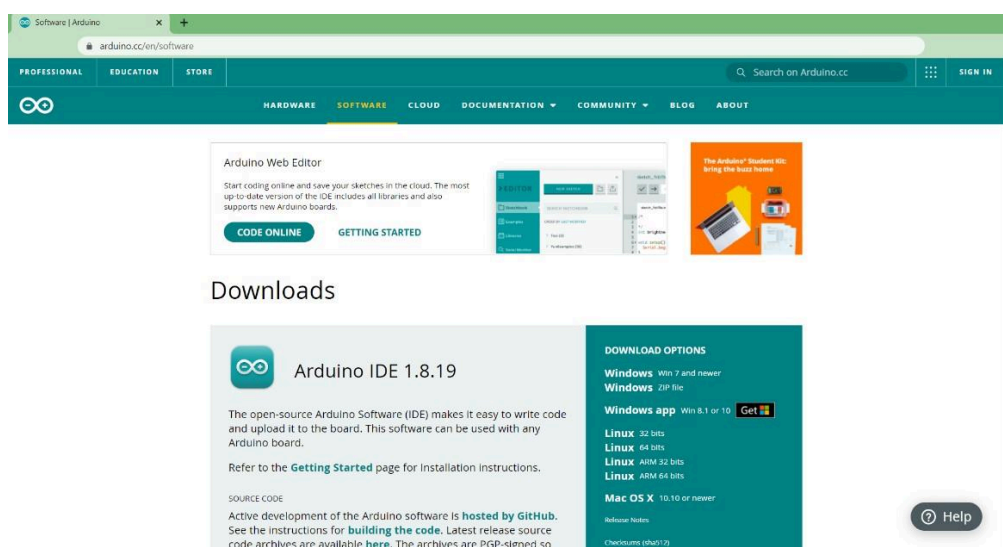


Fonte: O Autor.

O primeiro passo para iniciar a eletrônica foi realizar o download da IDE do arduíno, software este que é responsável por fazer a comunicação entre o computador e o microcontrolador (arduíno).

A IDE pode ser encontrada facilmente para download utilizando o navegador do computador através do site do próprio arduíno (Figura 50). Vale ressaltar que essa plataforma é totalmente gratuita e pode ser instalada em qualquer sistema operacional.

Figura 50 - Layout do site do arduíno



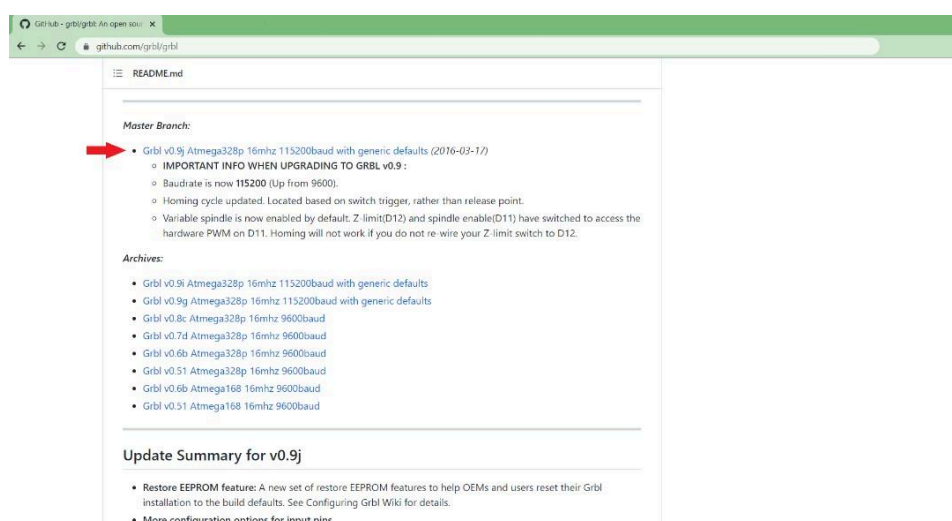
Fonte: O Autor.

Após esse procedimento, basta conectar o arduíno no computador utilizando um cabo USB que aquele se torna operacional. A configuração padrão do software traz exemplos já prontos em seu menu, podendo ser executado e testado.

A próxima tarefa a ser realizada é a instalação do GRBL dentro do arduíno UNO. Para isso, basta entrar no navegador, pesquisar “grbl” e acessar o site da GitHub. A plataforma disponibiliza diversas versões para download. A usada nesse projeto foi a versão v0.9j Atmega328p (Figura 51).



Figura 51 - Site GitHub

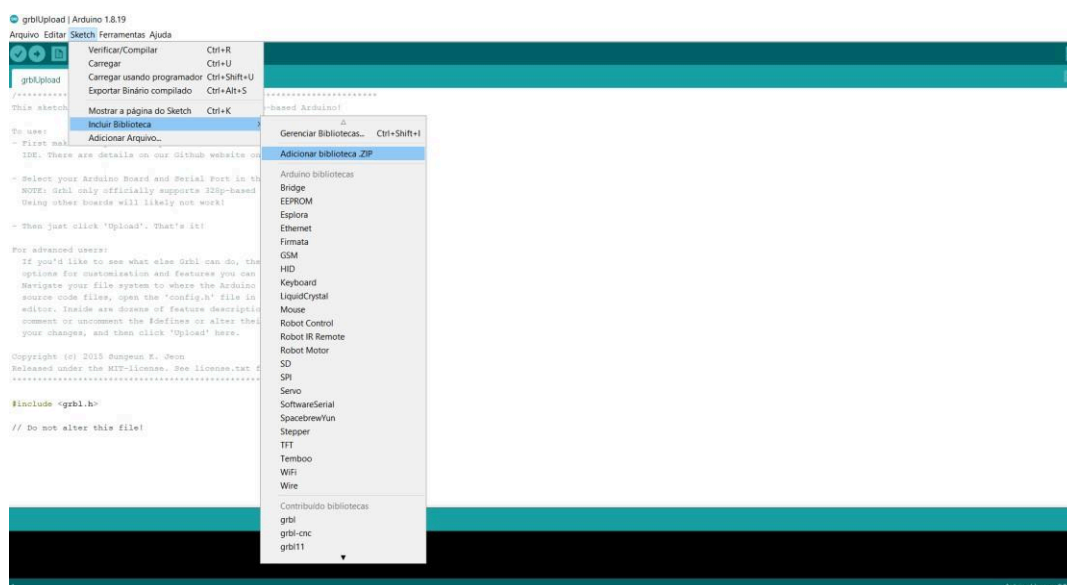


Fonte: O Autor.

Em seguida esse programa é incluído no arduíno UNO utilizando a IDE apresentada no primeiro passo de Controle (Figura 45). Basta seguir a sequência descrita nas Figuras 52, 53 e 54 para fazer a inclusão. Esse procedimento também é detalhado no anexo 3 deste trabalho.

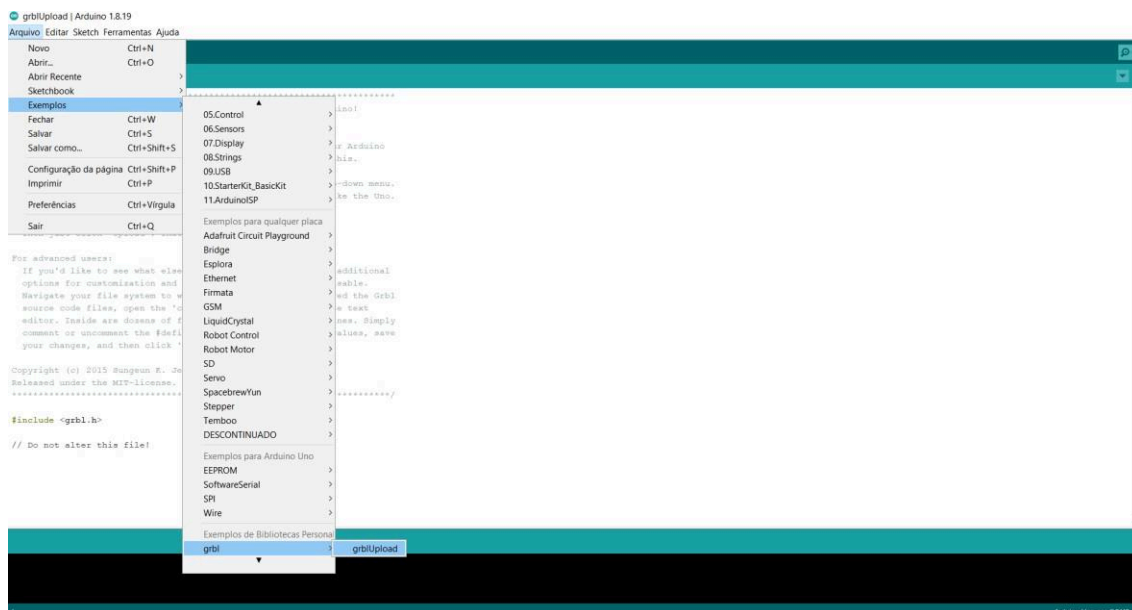
Vale ressaltar que o arduíno precisa estar conectado ao computador para esse passo ser executado corretamente.

Figura 52 - Inclusão do Grbl no Arduíno (1)



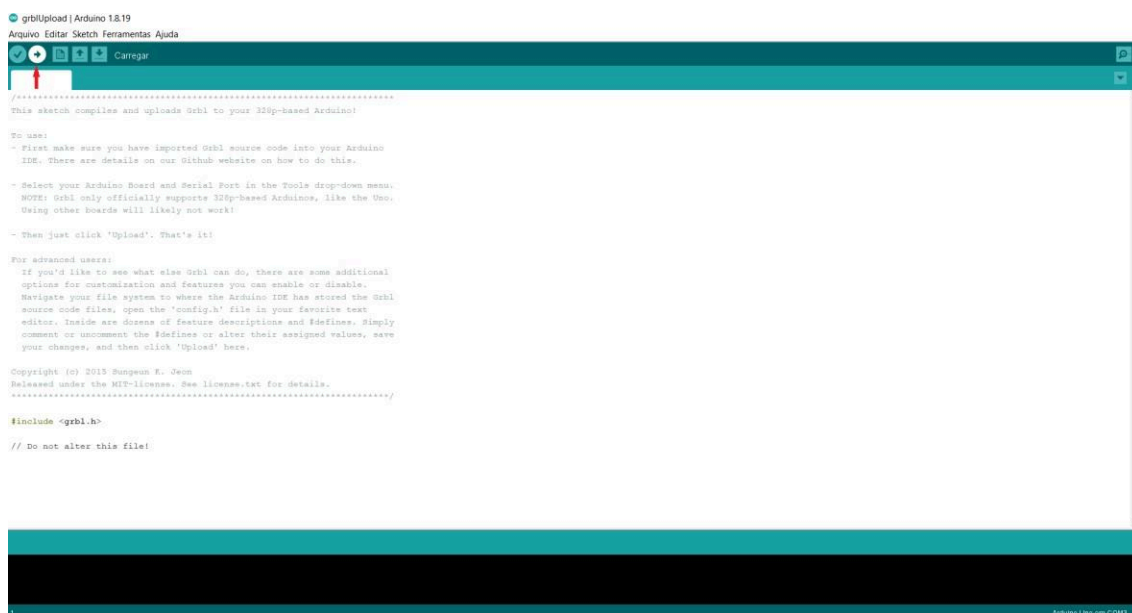
Fonte: O Autor.

Figura 53 - Inclusão do grbl no arduino (2)



Fonte: O Autor

Figura 54 - Inclusão do grbl no arduino (3)

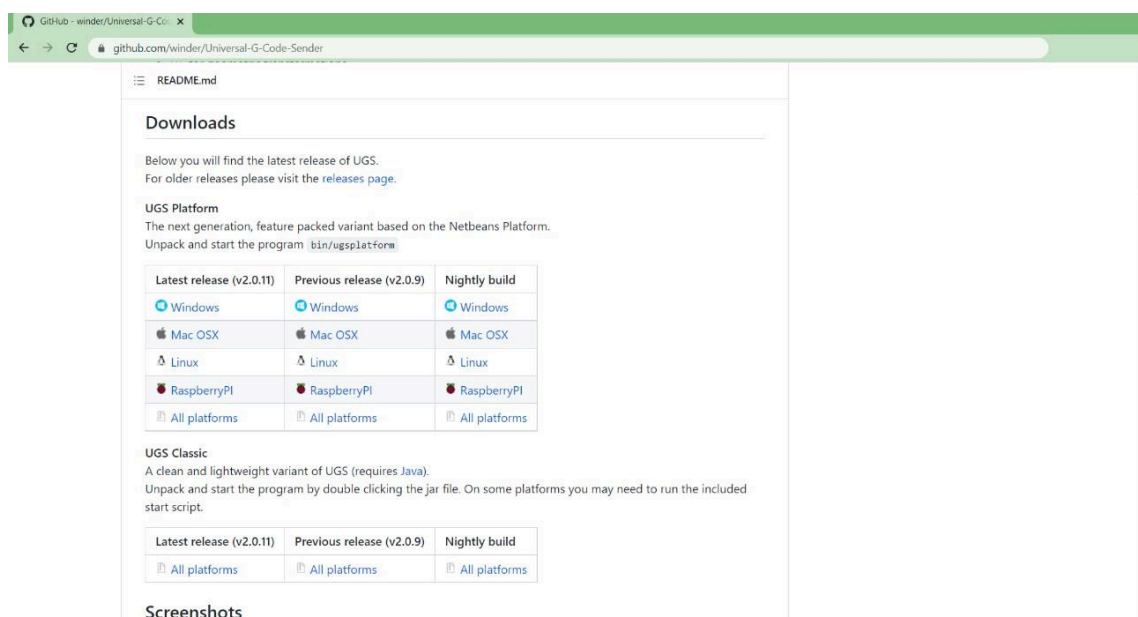


Fonte: O Autor.

Para finalizar, foi instalado um Terminal Serial. O utilizado nesse projeto foi o Universal G-Code Sander.

Esse software, entre outros mais, pode ser encontrado na plataforma do GitHub. Seu download é gratuito, fácil, rápido e disponibilizado para todos os sistemas operacionais (Figura 55).

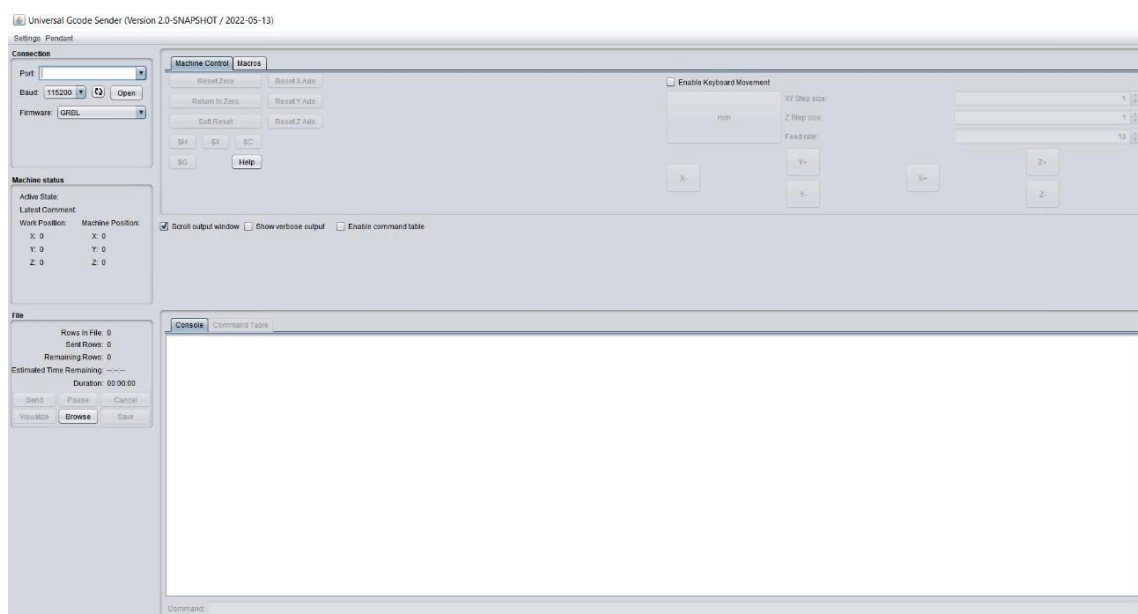
Figura 55 - Download Universal G-Code Sender



Fonte: O Autor.

O utilizado nesse trabalho foi o UGS Classic versão Nightly Build (Figura 56). Para o acesso desse software é necessário ter o Java instalado.

Figura 56 - Layout Universal G-Code Sender



A configuração do Universal G-Code Sender é apresentada no anexo 3 deste trabalho. Para este trabalho optou-se por utilizar o manual desenvolvido e disponibilizado por Conrado (2016) em seu site Atividade Maker. O tutorial desenvolvido por ele é bastante detalhado, didático e autoexplicativo, além de ser em português, diferentemente do disponibilizado pela GitHub.

Feito isso, os motores de passo se tornam controláveis.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo visa evidenciar os resultados obtidos pela máquina-ferramenta em relação a sua força de tração, precisão na movimentação dos eixos de forma individual e simultânea, perpendicularidade do eixo e da ferramenta de corte e superfície de contato ferramenta-mesa. Com isso procura-se demonstrar que a máquina consegue realizar movimentos em uma, duas e três dimensões automaticamente e, portanto, ser objeto de estudos, aperfeiçoamento e adaptação. Além disso foi feito um levantamento de custos realizados na máquina-ferramenta, visando comparar com as vendidas no mercado nacional.

### 5.1 Custos

Esta seção apresenta os custos estimados do projeto. Tendo em vista que foi um projeto realizado no âmbito acadêmico, e que várias máquinas e ferramentas utilizadas para a fabricação e montagem do protótipo foram disponibilizadas pelo Campus, torna-se praticamente impossível mensurar os custos realizados com mão de obra e ferramentas utilizadas. Desta forma, optou-se por apresentar nas Tabelas 1, 2, 3 e 4 os gastos realizados com os materiais utilizados.

A Tabela 1 traz o custo das peças fabricadas em MDF em sua totalidade, pois o projeto com as suas respectivas dimensões foi fornecido ao marceneiro, sendo o material da fabricação e a mão de obra por sua conta. O valor total cobrado pelo serviço foi R\$ 200,00.

Tabela 1 – Descrição, quantidade e preço das peças de MDF

| <b>Descrição</b>        | <b>Quantidade</b> | <b>Valor Unitário (R\$)</b> | <b>Valor Total Parcial (R\$)</b> |
|-------------------------|-------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Base                    | 1                 | INDEFINIDO                  |                                  |
| Suporte da Base         | 4                 | INDEFINIDO                  |                                  |
| Lateral                 | 2                 | INDEFINIDO                  |                                  |
| Cabeceira               | 2                 | INDEFINIDO                  |                                  |
| Pórtico                 | 2                 | INDEFINIDO                  |                                  |
| Mesa de Sacrifício      | 1                 | INDEFINIDO                  | 200,00                           |
| Suporte do Eixo Z       | 2                 | INDEFINIDO                  |                                  |
| Base do Eixo Z          | 1                 | INDEFINIDO                  |                                  |
| Mão de Obra - Corte MDF | X - X – X         | INDEFINIDO                  |                                  |
| Total                   | 15                |                             | 200,00                           |

Fonte: O Autor.

Todos os materiais mencionados na Tabela 2 foram comprados no comércio local pelos preços mencionados, exceto o rolamento, que foi obtido por meio da internet, dada a viabilidade econômica.

Tabela 2– Descrição, quantidade e preço dos componentes metálicos

| <b>Descrição</b>           | <b>Quantidade</b> | <b>Valor Unitário (R\$)</b> | <b>Valor Total Parcial (R\$)</b> |
|----------------------------|-------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Rolamento 608RS            | 30                | 1,50                        | 45,00                            |
| Metalon (25x25) mm         | 3                 | 13,00                       | 39,00                            |
| Barra Roscada 10mm (metro) | 3                 | 6,35                        | 19,05                            |
| Barra Roscada 6mm (metro)  | 1                 | 4,40                        | 4,40                             |
| Barra Roscada 8mm (metro)  | 1                 | 5,65                        | 5,65                             |
| Parafuso Sextavado M5X20   | 4                 | 0,55                        | 2,20                             |
| Arroela M5                 | 4                 | 0,05                        | 0,20                             |
| Porca M5                   | 4                 | 0,06                        | 0,24                             |
| Arroela M6                 | 96                | 0,07                        | 6,72                             |
| Porca M6                   | 90                | 0,08                        | 7,20                             |
| Parafuso Sextavado M6X30   | 42                | 0,36                        | 15,12                            |

|                                          |     |      |       |
|------------------------------------------|-----|------|-------|
| Parafuso Cabeça<br>Oval - Fenda<br>M6X30 | 24  | 0,50 | 12,00 |
| Porca M8                                 | 28  | 0,10 | 2,80  |
| Parafuso Sextavado<br>M8X20              | 24  | 0,77 | 18,48 |
| Porca Sextavada<br>M10                   | 14  | 0,06 | 0,84  |
| Total                                    | 368 | X    | 178,9 |

Fonte: O Autor.

A estimativa dos valores cobrados pelas peças fabricadas na impressora 3D foi realizada pela Engrenagem Jr. Empresa vinculada ao Movimento Empresa Júnior (MEJ) geridas por alunos do Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Engenharia Mecânica e Engenharia Elétrica do campus Caraúbas. A empresa presta serviços na área de refrigeração, inspeção em caldeiras e vasos de pressão, modelagem tridimensional, simulação estática e dinâmica, impressão 3D e usinagem.

Tabela 3 – Descrição, quantidade e preço dos componentes impressos

| <b>Descrição</b>          | <b>Quantidade</b> | <b>Valor Unitário<br/>(R\$)</b> | <b>Valor Total Parcial<br/>(R\$)</b> |
|---------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| Suporte do Guia<br>Linear | 8                 | 10,19                           | 81,52                                |
| Eixo Y Superior           | 1                 | 51,95                           | 51,95                                |
| Eixo Y Inferior           | 1                 | 51,95                           | 51,95                                |
| Carro Superior            | 2                 | 27,51                           | 27,51                                |
| Carro Inferior            | 2                 | 27,51                           | 27,51                                |
| Castanha Eixo X           | 1                 | 10,19                           | 10,19                                |
| Castanha Eixo Z           | 1                 | 10,19                           | 10,19                                |
| Suportes dos<br>Motores   | 3                 | 10,19                           | 30,57                                |
| Total                     | 19                | X                               | 291,39                               |

Fonte: O Autor.

Todos os itens mencionados na Tabela 4 foram cotados via internet, dada a viabilidade econômica e a inexistência de muitos dos itens citados no comércio local. Para realizar a pesquisa de preços foi utilizado o site Buscapé, site que tem a finalidade de comparar preços entre diferentes lojas.

Tabela 4 - Descrição, quantidade e preço dos componentes eletrônicos

| <b>Descrição</b>                                | <b>Quantidade</b> | <b>Valor Unitário (R\$)</b> | <b>Valor Total Parcial (R\$)</b> |
|-------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Arduíno UNO                                     | 1                 | 126,57                      | 126,57                           |
| Kit CNC Shield V3 + 3 driver's com dissipadores | 1                 | 57,54                       | 57,54                            |
| Motores de Passo Nema 17                        | 3                 | 131,14                      | 393,42                           |
| Fonte ATX                                       | 1                 | 54,27                       | 54,27                            |
| Total                                           | 9                 | X                           | 631,8                            |

Fonte: O Autor.

O valor total gasto em materias para executar o projeto foi de R\$ 1302,09. Através de uma pesquisa de preço realizada por meio da internet conforme evidencia a Figura 57, podemos verificar que máquinas-ferramentas com dimensões aproximadas a apresentada neste trabalho custa cerca de 320% a mais.



Figura 57 - Cotação de preços

The image displays two screenshots of e-commerce websites. The top screenshot is from 'LojadoMecanico' and features a 'Fresadora Mini Router Cnc Pop Colors 150W Bivolt - STARK CNC-STK0011'. The product is shown with a 3D model and a list of smaller images. The price is listed as R\$ 4.299,00, with a 10% discount applied, resulting in a final price of R\$ 4.777,67. The website also shows a 'Comprar' button and a 'Ver mais formas de pagamento' link.

The bottom screenshot is from 'amazon.com.br' and features a 'Queenser Máquina de gravação a SCULPFUN S9'. The product is shown with a 3D model and a list of smaller images. The price is listed as R\$ 3.326,00. The website also shows a 'Comprar' button and a 'Ver mais formas de pagamento' link.

The bottom screenshot is from 'mercado livre' and features a 'Router Cnc Compacta 100x90'. The product is shown with a 3D model and a list of smaller images. The price is listed as R\$ 4.950,00. The website also shows a 'Comprar' button and a 'Ver mais formas de pagamento' link.

Fonte: O Autor.

## 5.2 Teste de tração

O teste de tração estabelecido para esse projeto foi realizado em função da velocidade de deslocamento da máquina. Foram colhidas três amostras para o eixo X e Y e três para o eixo Z. As velocidades utilizadas foram de 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750 e 2000 mm / min. A configuração da velocidade da máquina é escolhida a partir do terminal serial.

Foi utilizada uma balança de tração para obter a força realizada nos eixos. A balança foi engastada conforme Figura 58. O equipamento consegue fornecer o valor em Newton, Libra e Quilograma. Para esse experimento os resultados obtidos no eixo Y foram extrapolados para o eixo X, já que usam o mesmo mecanismo de deslocamento e de transmissão de movimento.

Figura 58 - Teste de tração



Fonte: O Autor.

A partir desse experimento foram construídas as Tabelas 5 e 6, uma para o eixo X e Y, e outra para o eixo Z.

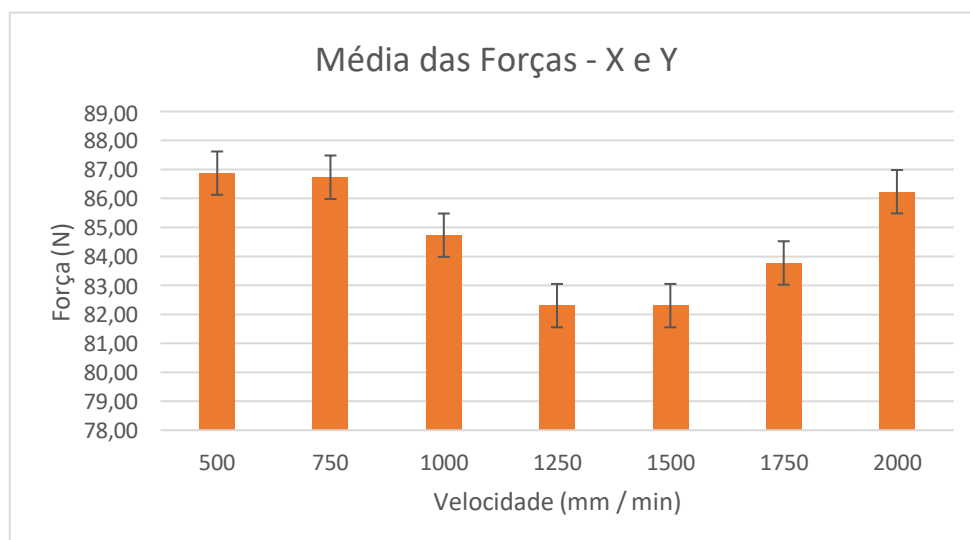
Tabela 5 - Relação velocidade/força eixo X e Y

| TRAÇÃO - EIXO X e Y      |                               |                               |                               |       |                  |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|------------------|
| Velocidade<br>(mm / min) | Força (N)<br>Experimento<br>1 | Força (N)<br>Experimento<br>2 | Força (N)<br>Experimento<br>3 | Média | Desvio<br>Padrão |
| 500                      | 87,7                          | 90,6                          | 82,3                          | 86,87 | 4,21             |
| 750                      | 88,7                          | 88,7                          | 82,8                          | 86,73 | 3,41             |
| 1000                     | 91,6                          | 80,8                          | 81,8                          | 84,73 | 5,97             |
| 1250                     | 84,3                          | 80,8                          | 81,8                          | 82,30 | 1,80             |
| 1500                     | 84,3                          | 81,3                          | 81,3                          | 82,30 | 1,73             |
| 1750                     | 89,2                          | 80,8                          | 81,3                          | 83,77 | 4,71             |
| 2000                     | 90,2                          | 87,7                          | 80,8                          | 86,23 | 4,87             |

Fonte: O Autor

O Gráfico 1 evidencia a relação entre a velocidade de deslocamento da máquina com sua força de atuação. Percebe-se que a força começa alta, tem uma queda entre 1000 e 1500 mm / min e em seguida volta a se reestabelecer, porém, com sinais de queda. Padrão que se mostra de acordo com o datasheet do motor apresentado no Anexo 2.

Gráfico 1 - Relação velocidade/força eixo X e Y



Fonte: O Autor.

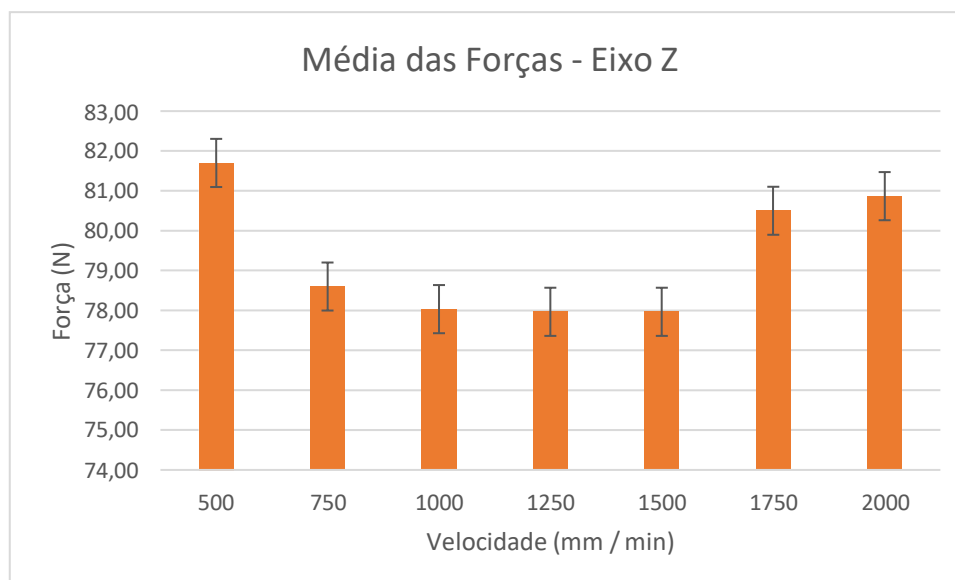
Tabela 6 - Relação velocidade/força eixo Z

| TRAÇÃO - EIXO Z          |                               |                               |                               |       |               |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|---------------|
| Velocidade<br>(mm / min) | Força (N)<br>Experimento<br>1 | Força (N)<br>Experimento<br>2 | Força (N)<br>Experimento<br>3 | Média | Desvio Padrão |
| 500                      | 87,9                          | 80,8                          | 76,4                          | 81,70 | 5,80          |
| 750                      | 78,4                          | 80                            | 77,4                          | 78,60 | 1,31          |
| 1000                     | 78,4                          | 78,3                          | 77,4                          | 78,03 | 0,55          |
| 1250                     | 79                            | 76,5                          | 78,4                          | 77,97 | 1,31          |
| 1500                     | 79                            | 76,5                          | 78,4                          | 77,97 | 1,31          |
| 1750                     | 80,4                          | 80,8                          | 80,3                          | 80,50 | 0,26          |
| 2000                     | 80,9                          | 80,8                          | 80,9                          | 80,87 | 0,06          |

Fonte: O Autor.

O Gráfico 2 gerado a partir da Tabela 6 apresenta resultados semelhantes ao Gráfico 1. Porém este apresenta resultados menores em relação a força gerada no eixo, fator que pode ser decorrente da utilização de corredeiras de gaveta para este eixo, ao invés do metalon quadrado.

Gráfico 2 - Relação velocidade/força do eixo Z



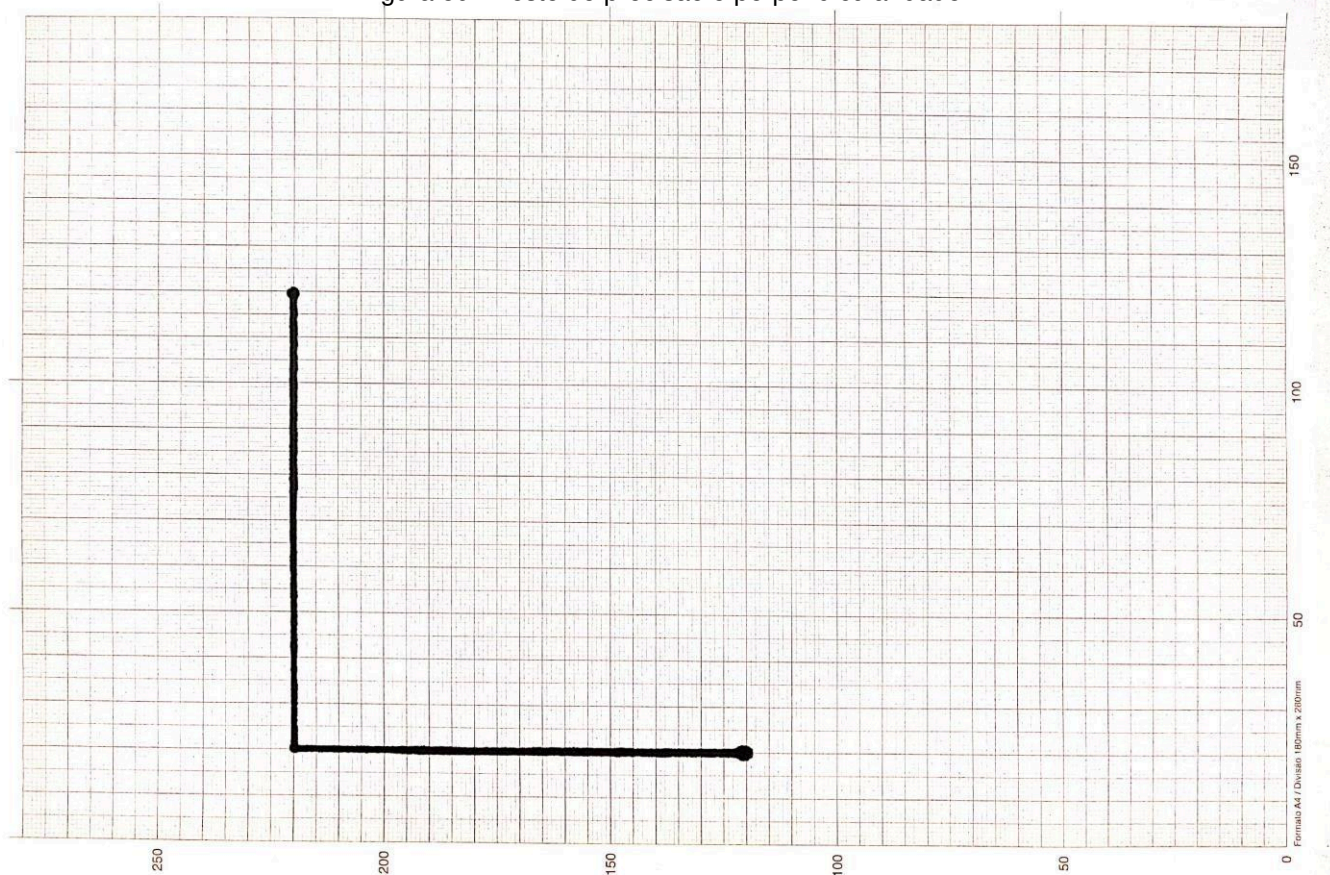
Fonte: O Autor.

### 5.3 Teste de deslocamento individual de cada eixo e de perpendicularidade entre eixos

Foi utilizada uma folha de papel milimetrado para verificar a precisão e a perpendicularidade entre os eixos da máquina. O procedimento foi iniciado posicionando-se a folha na mesa de usinagem, em seguida a ferramenta da máquina foi posicionada em um ponto zero escolhido na folha.

Através do software Universal Gcode Sender foi feita a configuração para a máquina se deslocar 200 mm no eixo Y negativo e 200 mm no eixo X positivo, formando um eixo coordenado, conforme mostra Figura 59.

Figura 59 - Teste de precisão e perpendicularidade



Através da observação da Figura 59 podemos notar que de fato a máquina se deslocou 200 mm, pois da origem do eixo até as extremidades, tanto lateral como vertical, é possível contar 20 quadrados no papel milimetrado. Também é possível verificar que a ponta da ferramenta não sai da linha do eixo coordenado

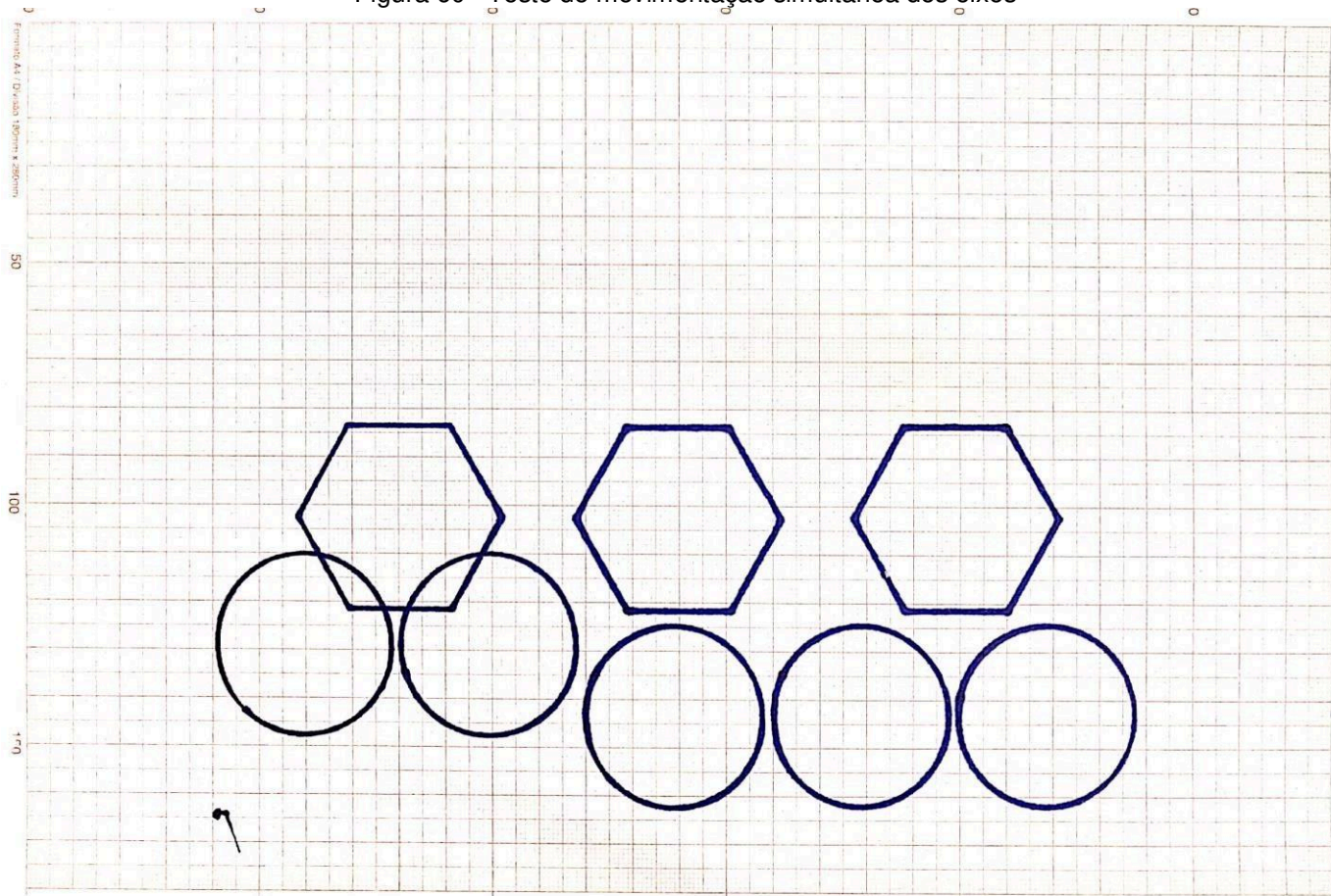


horizontal nem vertical, nos levando a conclusão que os eixos da máquina estão se deslocando linearmente conforme foram projetados, e que estes estão à 90 graus uns dos outros.

#### 5.4 Teste de deslocamento simultâneo dos eixos

Com o intuito de testar a movimentação dos eixos da máquina de forma simultânea, foi elaborado um desenho no Universal Gcode Sender, consistindo em cinco círculos e três hexágonos, posicionados em três configurações: paralelos, sobrepostos e em linhas diferentes conforme mostra Figura 60.

Figura 60 - Teste de movimentação simultânea dos eixos



Fonte: O Autor.

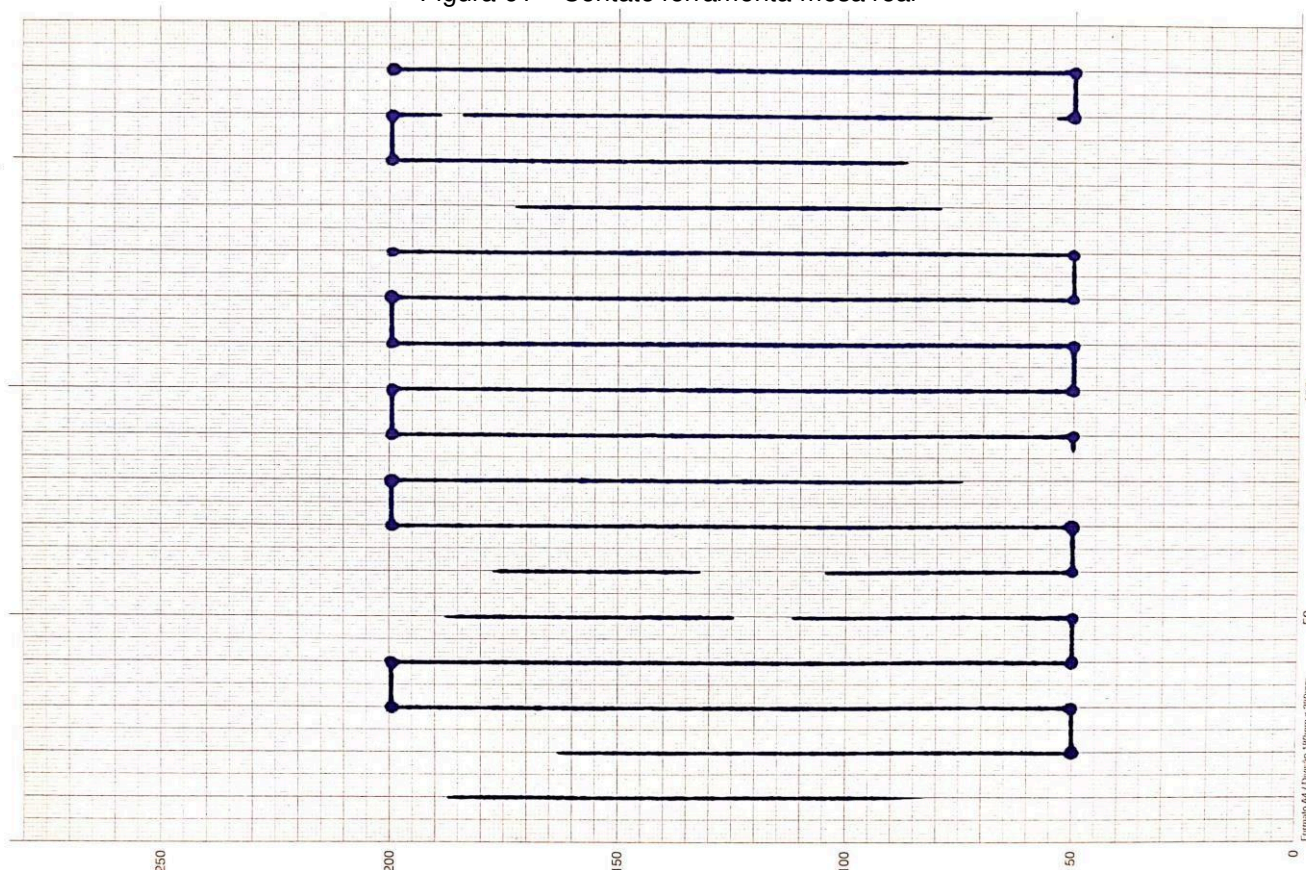
Analisando a Figura 60 podemos constatar que os eixos operaram de forma simultânea satisfatoriamente, pois para a execução do hexágono e em especial do círculo, esse tipo de movimentação se faz necessária. Também é

possível observar a semelhança entre os círculos e hexágonos tomando como base o papel milimetrado, os que nos faz concluir que os movimentos se deram com precisão.

### 5.5 Teste de contato entre ferramenta-mesa

Para verificar o contato real da ferramenta com a mesa de usinagem foi realizada uma varredura na mesa com a própria ferramenta. Inicialmente foi posicionado um papel milimetrado na mesa da máquina e escolhido um ponto zero no papel. Em seguida a ferramenta foi sendo baixada de 0,1 em 0,1 mm até a ponta da ferramenta tocar no papel. Feito isto, foi realizado o procedimento como podemos observar na Figura 61.

Figura 61 – Contato ferramenta-mesa real

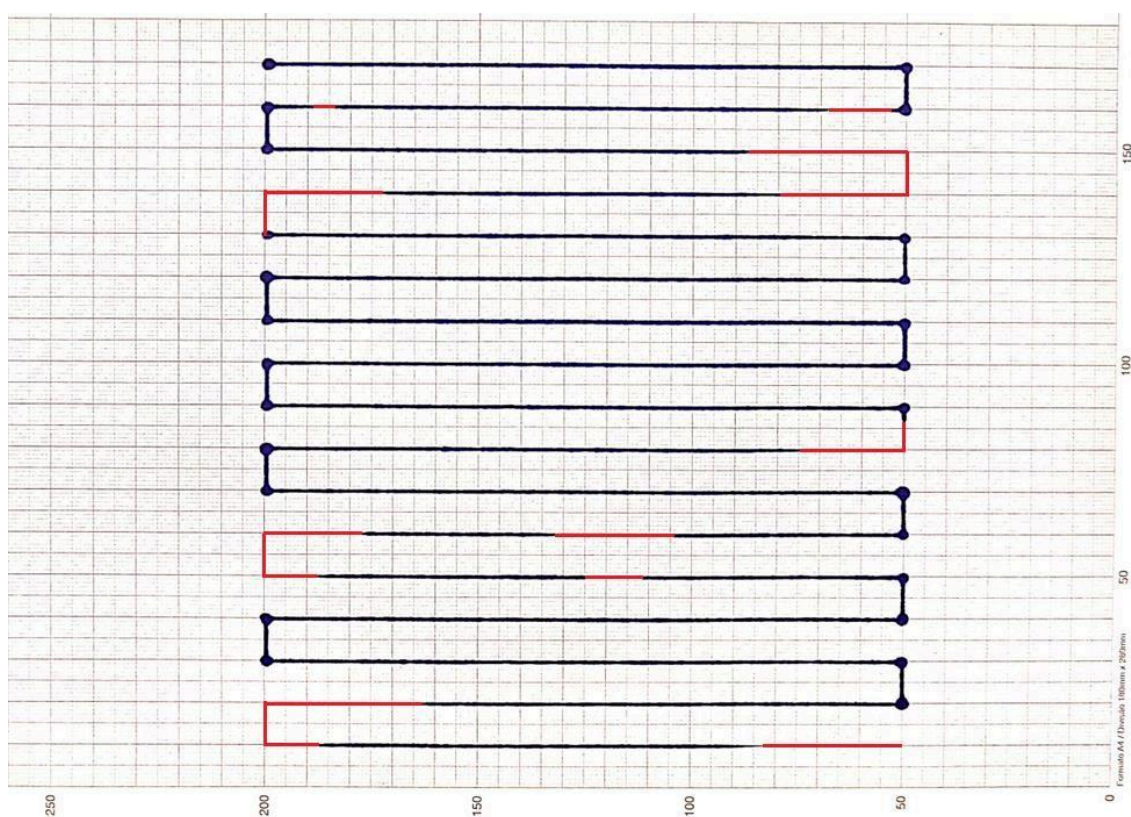


Fonte: O Autor.

A Figura 62 mostra a superfície de contato ideal entre a ferramenta e a mesa de usinagem.



Figura 62 - Contato ferramenta-mesa ideal



Fonte: O Autor.

O comprimento ideal total de contato entre a ferramenta-mesa para este teste foi de 2710 mm, porém, de acordo com a leitura dos resultados evidenciados no papel milimetrado, podemos constatar que a ferramenta saiu da folha no total de 315 mm, totalizando 11,6% de erro. Valor que se considera aceitável para o presente projeto.

Caso se deseje obter erros ainda menores, o autor sugere duas soluções: Planificar a mesa de usinagem utilizando massa plástica ou realizar uma varredura eletrônica da mesa utilizando o terminal serial, pré-configurando o software para fazer o auto nivelamento do eixo Z.



## 6. CONCLUSÃO

Tomando como base os objetivos estabelecidos, podemos concluir que a máquina foi construída de acordo com o projeto. A partir do projeto desenvolvido no software Autodesk Inventor 2022, os componentes da máquina podem ser evidenciados de forma detalhada conforme Anexo 1, facilitando a compreensão de como se deu o processo de projeto, fabricação e montagem da máquina.

A utilização de materiais como o metalon quadrado (25 mm x 25 mm), barra roscada (10 mm de diâmetro) e MDF (15 mm de espessura) se mostraram soluções eficazes para atender as necessidades para os quais foram projetados.

Tanto o eixo X como o eixo Y apresentaram excelente estabilidade de movimentação, conforme podemos observar na Figura 59, já o eixo Z se mostrou um pouco instável devido as corredeiras de gavetas utilizadas como guias lineares, entretanto, esse efeito pode ser minimizado diminuindo a velocidade de atuação do eixo. O deslocamento total do eixo X é de 50 cm e do eixo Y 30 cm, respectivamente, resultando numa área útil de trabalho de 1500 cm<sup>2</sup>; já o eixo Z tem deslocamento máximo de 10 cm.

A utilização de metalon quadrado (25mm x 25mm) como guia linear apresentou resultado extremamente satisfatório quando levado em consideração o custo-benefício. Como principais vantagens da utilização desse elemento pode-se citar: boa resistência a esforços mecânicos de flexão, tração e compressão, facilidade de se trabalhar, rugosidade aceitável na superfície do material, formato retilíneo do material em relação a sua forma construtiva, além de ser encontrado facilmente no comércio local custando em média cinco reais o metro.

A barra roscada (10 mm de diâmetro) utilizada neste projeto também apresentou resultado satisfatório e atendeu muito bem a finalidade para a qual foi projetada. Apresentando como principais vantagens o ganho de torque na movimentação, ganho de precisão de deslocamento, facilidade de se trabalhar e baixo custo. Entretanto a barra roscada encontrada em materiais de construção e derivados apresenta um passo de rosca pequeno, sendo 1,5875 mm a cada revolução do eixo, o que torna a movimentação da máquina demasiadamente lenta, além de apresentar vibração e folga radial difíceis de contornar.

A parte eletroeletrônica e de controle da máquina apresenta nível de dificuldade moderada em relação a montagem e configuração do sistema, mesmo para quem não tem muita prática com procedimentos deste tipo; isto se dá devido a vasta rede de colaboradores que produzem e divulgam conteúdo deste gênero por meio da internet, em textos e vídeos explicativos.

Os motores de passo utilizados no projeto conseguiram deslocar os eixos da máquina com facilidade, se mostrando fortes o suficiente para realizar as movimentações necessárias. O arduino UNO utilizado no projeto, quando em conjunto com a CNC Shield e os driver's se mostrou um mecanismo de automação extremamente poderoso, sendo possível de ser programado para atender a inúmeras finalidades.

A idealização da máquina possui um custo extremamente baixo quando comparado com modelos vendidos no mercado. Tendo em vista que uma máquina do mesmo porte custa em torno de R\$ 4.500,00 no Brasil, a economia total é de cerca de 70%.

Para o barateamento do projeto foi crucial a aplicação conceitual de soluções mecânicas vistas durante o curso.

## **7. PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS**

Estando a máquina CNC concluída, devemos agora observá-la com olhar crítico afim de corrigir eventuais problemas e inovar nas tecnologias empregadas no dispositivo. Com os resultados satisfatórios do projeto, visa-se como projeto futuro:

- Realizar o detalhamento das forças aplicadas na estrutura e nos componentes da máquina;
- Realizar simulação estática e dinâmica da máquina utilizando softwares de análise por elementos finitos;
- Realizar correto dimensionamento dos componentes e das partes estruturais da máquina baseando-se nas normas e literaturas de máquinas-ferramentas;
- Realizar varredura eletrônica da mesa de usinagem para implementar auto nivelamento do eixo Z;
- Mudar o sistema de movimentação e transmissão por um mais eficiente, e realizar um teste comparativo entre o atual sistema e o novo;
- Desenvolver um sistema de fixação do elemento a ser usinado;
- Propõe-se também a implementação de troca automática de ferramentas e a criação de uma interface microcontrolada que permita a leitura e envio do G-code através de pen-drives e cartões de memórias diretamente para a máquina sem o uso de um computador conectado a mesma durante o processo de usinagem.

## REFERÊNCIAS

ABIMAQ. Associação brasileira de máquinas e equipamentos. **A história das máquinas abimaq 70 anos**. São Paulo: Magma Cultural e Editora, 2006. 168 p. il. color. Disponível em: <<http://www.abimaq.org.br/Arquivos/Html/Publica%C3%A7%C3%B5es/Livro-A-historia-das-maquinas-70-anos-Abimaq.pdf>>. Acesso em 04 jan 2022.

ARDUÍNO E CIA. **Como usar o driver A4988 com o motor de passo Nema 17**. Disponível em: <<https://www.arduinoecia.com.br/driver-a4988-com-motor-de-passo-nema-17/>>. Acesso em: 25 de maio 2022.

AYRES FILHO, C.; SCHEER, S. **Diferentes abordagens do uso do CAD no processo de projeto arquitetônico**. In: Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projetos na Construção de Edifícios. Curitiba, 2007.

BARDELLI, Rubens. **Bard HP**. 2012. Disponível em <<http://www.vabsco.com/bardhp>>. Acesso em 20 fev 2022.

BAÚ DA ELETRÔNICA. **Componentes Elétricos – CNC Shield V3**. Disponível em: <<https://www.baudaeletronica.com.br/cnc-shield-v3.html>>. Acesso em: 24 Marc 2022.

BRAGAGNOLO, Rodrigo Pires. **DESENVOLVIMENTO DE UMA FRESADORA DIDÁTICA DE COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO DE PEQUENO PORTE**. 2018. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Unijuí, Panambi, 2018.

Brites, Felipe G.; SANTOS, Vinicius P. de A. **Motor de Passo**. Niterói, 2008. Disponível em: <<http://www.telecom.uff.br/pet/petws/downloads/tutoriais/stepmotor2k81119.pdf>>. Acesso em: 13 de Marc 2022.

BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Elementos de Máquinas de Shigley: Projeto de Engenharia Mecânica**. 8ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

CARREFOUR. **Fonte Atx - 200w - Multilaser - Ga114bu**. Disponível em: <<https://www.carrefour.com.br/fonte-atx-200w-multilaser-ga114bu-mp921875212/p>>. Acesso em: 25 abr 2022.

CARSTENS, Samuel Filipe; CARSTENS, Tiago Alexandre. **PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA FRESADORA CNC PARA PROTOTIPAGEM DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO**. 2015. 188 f. TCC (Graduação) - Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Campus Joinville, Joinville, 2015.

CONRADO, R. **Grbl v0.9j O que é? Para que serve? Como configurar?** Atividade Maker, [S.l], v. online, 2016. Disponível em: < <http://atividademaker.com.br/grbl-v09j> > Acesso em: 26 abr. 2022.

CURTOCIRCUITO. **Motor de Passo.** Disponível em: < <https://www.curtocircuito.com.br/blog/motor-de-passo/introducao-ao-motor-de-passo> >. Acesso em: 30 mai 2022.

DAVIDSON, A. **Handbook of Precision Engineering - vol. 5.** McGraw Hill, 1972.

GETTY IMAGES. **Banco de imagens e fotos de caixa de música.** Disponível em: <<https://www.istockphoto.com/br/fotos/caixa-de-m%C3%BAAsica>>. Acesso em: 16 Mar. 2022.

GITHUB. **About Grbl. GitHub wiki**, [S.l], v. online, 2015. Disponível em: <<https://github.com/grbl/grbl/wiki> > Acesso em: 23 Abr 2022.

GITHUB. **Welcome to the bCNC wiki.** Disponível em: < <https://github.com/vlachoudis/bCNC/wiki> >. Acesso em: 20 abr 2022.

GOBBI, Marco Antonio. **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO PARA PROTOTIPAGEM DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO.** 2014. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 2014.

GORDO, Nívia; FERREIRA, Joel. **Módulo de Elementos de Máquinas: guias.** v16. p.7. Cursos Essel online. 2005.

HERMINIA, Carla. Smartkits. **Arduíno Uno.** Disponível em: < <https://blog.smartkits.com.br/arduino-uno/> >. Acesso em: 15 Fev 2022.unp

ISTOCK BY GETTY IMAGES. **Caixinha de Música.** Disponível em: < <https://www.istockphoto.com/br/fotos/caixa-de-m%C3%BAAsica> >. Acesso em: 15 mai 2022.

JUVINALL, R. C.; MARSHEK, K. M. **Fundamentos do Projeto de Componentes de Máquinas.** 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

KLEIN, Roberto. **Conceitos básicos de CAD.** In: Seminário Internacional de Computação: Arquitetura e Urbanismo - USP, São Paulo, 1992.

KUO, B. C. **Theory and applications of step motors.** 5 ed. Urbana, Illinois, West Publishing Company, 1974.

LETMEKNOW. **Tuto: Piloter une CNC avec Arduino et GRBL.** Disponível em: < <https://letmeknow.fr/fr/blog/110-piloter-une-cnc-avec-arduino-et-grbl> >. Acesso em: 22 abr 2022.

LOCATELLI, Caroline. **Curto Circuito: Introdução ao Motor de Passo**, 2021. Disponível em: < <https://www.curtocircuito.com.br/blog/motor-de-passo/introducao-ao-motor-de-passo>>. Acesso em: 05 abr 2022.

LYRA, Pablo V. A., (2010). **Desenvolvimento de uma Máquina Fresadora CNC Didática**. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação FT.TG-nº, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 123p.

Machado, A. (1986). **Comando numérico aplicado às máquinas-ferramenta**. São Paulo: Cone Editora.

MADISON, James. CNC Machining Handbook: **Basic Theory, Production Data, and Machining Procedures**. Norwalk: Industrial Press Inc., 1996.

MAIA NETO, Paulo Olímpio. **PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA MÁQUINA CNC ROUTER PARA PROTOTIPAGEM DE CIRCUITOS IMPRESSOS**. 2019. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2019.

MASCARENHAS, Rafael. **Introdução ao sistema de coordenadas na programação CNC**. 2013. Disponível em: <<https://cad.cursosguru.com.br/introducao-ao-sistema-de-coordenadas-na-programacao-cnc/>>. Acesso em: 07 de maio fev 2022.

MICROWATT. **Foto: Drive motor de passo + dissipador de calor**. Disponível em: < <https://www.microwat.com.br/658>>. Acesso em: 30 marc 2022.

NEO MOTION CORPORATION. **Data Sheet de Produto: Motor de Passo**. Rua Senador Petrônio Portela, 47 – Galpão 05 - Zona Industrial Norte - Joinville/SC. Disponível em: <<https://www.curtocircuito.com.br/blog/motor-de-passo/introducao-ao-motor-de-passo>> Acesso em: 13 Marc 2022.

NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas: Uma abordagem integrada**. 4ª ed. Proto Alegre: Bookman, 2013.

OBR equipamentos industriais Ltda. [S.l.]. **EIXOS e rolamentos lineares**., [2019]. Disponível em: <<https://www.obr.com.br/series/eixos-e-rolamentos-lineares/>>. Acesso em: 10 Fev 2022.

PAZOS, Fernando. **Automação de Sistemas e Robótica**. Rio de Janeiro, Editora Axcel Books do Brasil, 1ª edição, 2002.

PEREIRA, Dhyogenes da Cunha Reis; HADAS, Maurílio Vagetti. **FRESADORA CNC DIDÁTICA: OTIMIZAÇÃO PARA PROJETO DE BAIXO CUSTO**. 2015. 95 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

PEKELMAN, Hélio. Et al. **A importância dos laboratórios no ensino de Engenharia Mecânica. COBENGE**, Brasília, set. 2004. Disponível em: <[http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2004/artigos/01\\_219.pdf](http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2004/artigos/01_219.pdf)>. Acesso em 21 jan. 2022.

PERASSO, Valéria. **BBC: O que é a quarta revolução industrial e como ela deve afetar nossas vidas**. Outubro de 2016. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-37658309>>. Acesso em: 10 Jan 2022.

PERCHÉ, Carlos Felipe de Paiva. **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE PROTOTIPAGEM PARA PLACAS DE CIRCUITOS IMPRESSOS**. 2013. 108 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia da Computação, Universidade Federal de Itajubá - Campus Itabira, Itabira, 2013.

POLARIS MOTION, **Main Site**: 512 Frances Avenue, Unit 3 Victoria, British Columbia, V8Z 1A1. Canada, 1994.

POLASTRINI, Fernando Henrique. **DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA CNC DE BAIXO CUSTO COM SOFTWARE E HARDWARE ABERTOS**. 2016. 101 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Instituto Federal Minas Gerais – Campus Formiga, Formiga, 2016.

POLOLU CORPORATION. **Stepper Motor**: Bipolar, 200 Steps/rEV, 35X26MM, 7,4v, 0.28 A/Phase. 2014. Disponível em: <<http://www.pololu.com/product/1207>>. Acesso em: 13 de Marc 2022.

PRUDENTE, Fábio Luiz de Sá; LISBOA, Edson Barbosa. **PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA DE COMANDO NUMÉRICO PARA USINAGEM DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO – (CNC - PCI)**. 2015. 6 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso Técnico Integrado em Eletrônica, Instituto Federal de Sergipe - Campus Aracaju, Aracaju, 2015.

QUEIROZ, Ricardo A de A. **Motores de Passo**. 2003. Disponível em: <<http://www.ppgel.ufsj.edu.br/uaisoccer/downloads/1272062510.pdf>>. Acesso em 13 de Marc de 2022.

ROBOCORE, **Controlando motores: Motor de Passo**. Disponível em: <<https://www.robocore.net/tutoriais/controlando-motor-de-passo>>. Acesso em: 10 abr 2022.

SANCHES, José M. **DESENVOLVIMENTO DE UMA FRESADORA CNC DE BAIXO CUSTO PARA FINS DIDÁTICOS**. 2008. 199f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

SCHODEK, D.; BECHTHOLD. M.; GRIGGS, J. K.; KAO, K.; STEINBERG, M. **Digital Design and Manufacturing: CAD/CAM Applications in INC**. New Jersey Willey & Sons, 2007.

SILVA, L, A; ZANIN, M, J. **Montagem de fresa CNC**. Relatório (Graduação em Tecnologia em Manutenção Industrial) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Medianeira, Medianeira, 2011.7

SILVEIRA, Ricardo César Alves. **DESENVOLVIMENTO DE UMEQUIPAMENTO MECÂNICO COM CONTROLE NUMÉRICO COMPUTADORIZADO PARA PRODUÇÃO DE PROTÓTIPOS EM ESCALA**.

2007. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

SLOCUM, A. H., **Precision Machine Design**, Prentice Hall, 1992.

SOUZA, Marco A. A. **Implementação de Sistema Controlado de Motor de Passo em Malha Fechada Utilizando Tecnologia Baseada em Controle Digital de Sinais**. São Carlos, 2007. Disponível em:

<<http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/18042100/tce-14052010-111439/>>. Acesso em: 13 Marc 2022.

SMARTKITS. **Portas do Arduíno UNO**. Disponível em: <<https://blog.smartkits.com.br/arduino-uno/>>. Acesso em: 20 mai 2022.

SPUR, G.; STÖFERLE, Th. **Handbuch de Fertigungstechnik - vol. 3**. Viena: Carl Hanser Verlag, 1979.

STOETERAU, R. L. **Introdução ao Projeto de Máquinas-Ferramentas Modernas**, Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico Departamento de Engenharia Mecânica, 2004.

UINGUISTON, **Máquinas-Ferramentas I-a**, online, 2016. Disponível em: <<https://uinguiston.wordpress.com/2016/03/02/maquinas-ferramentas-i-a/>> Acesso em: 23, abr. 2022.

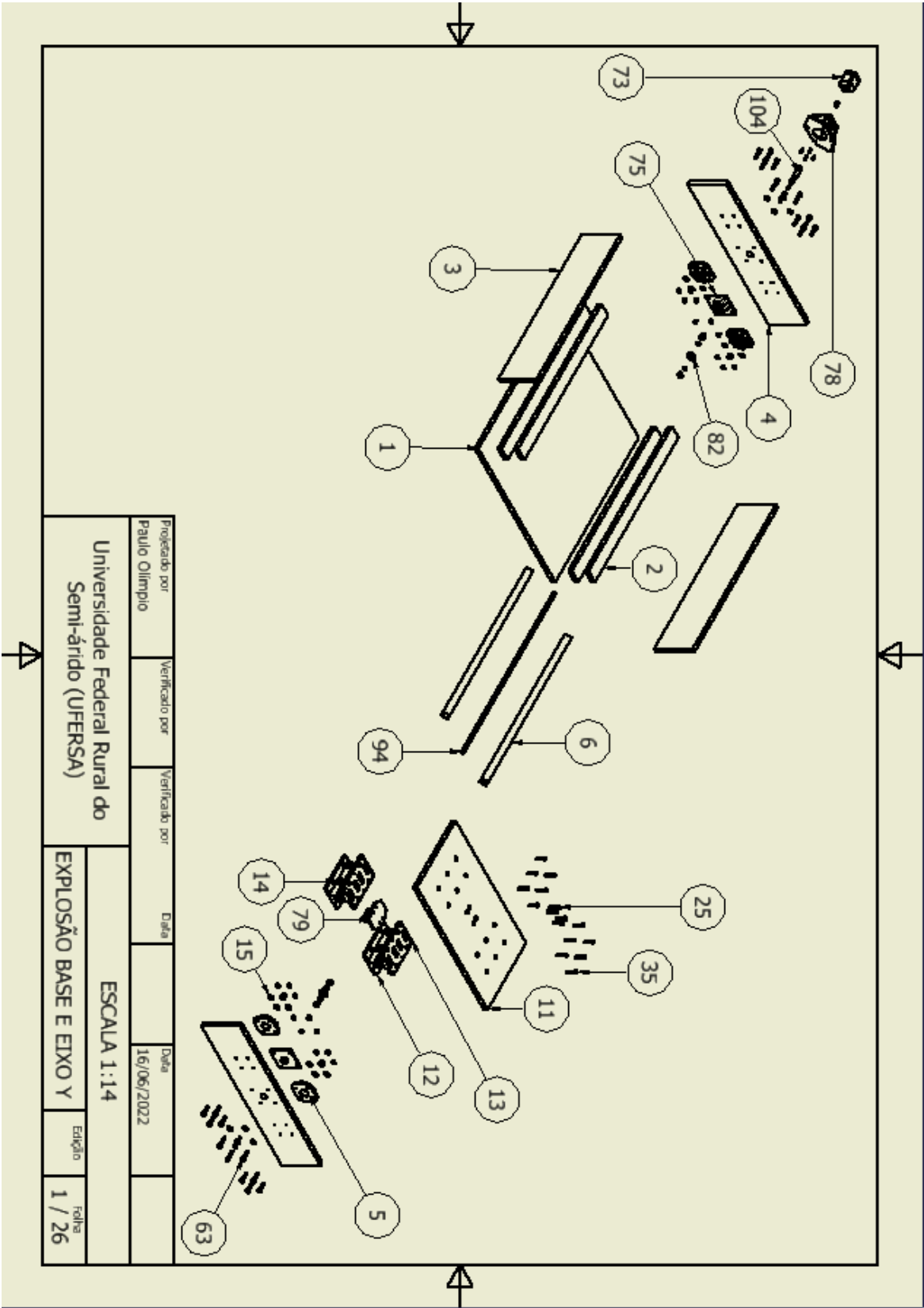
UNSPLASH. **Arduíno Uno**. Disponível em: <<https://unsplash.com/s/photos/arduino-uno>>. Acesso em: 20, Marc 2022.

WERB AMBIENTAL. **O que é a 4ª Revolução Industrial ou Indústria 4.0 e como ela deve afetar nossas vidas**. 15 jan 2019. Disponível em: <[https://wertambiental.com.br/2019/01/15/industria\\_4-0/](https://wertambiental.com.br/2019/01/15/industria_4-0/)>. Acesso em: 23, abr. 202

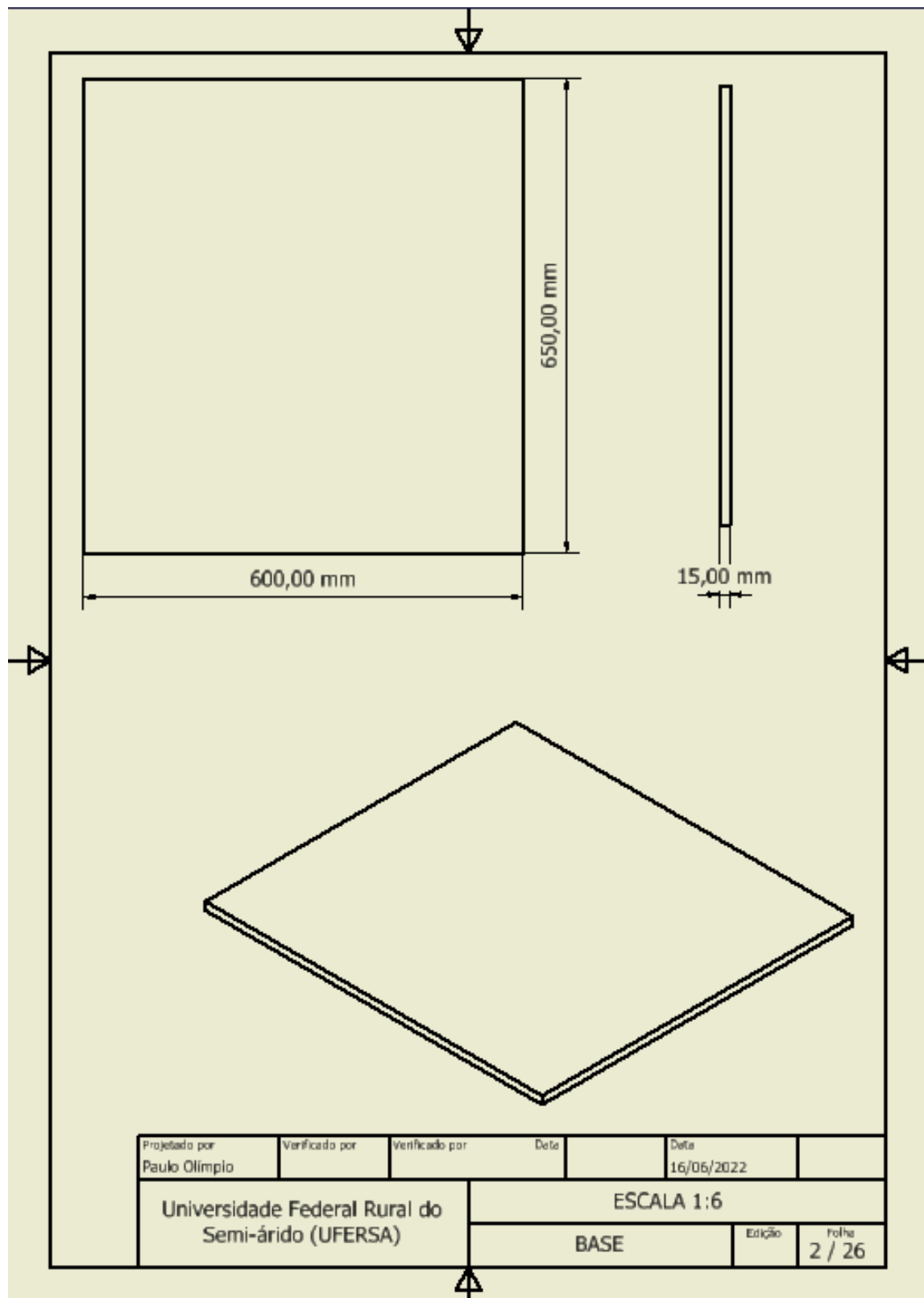


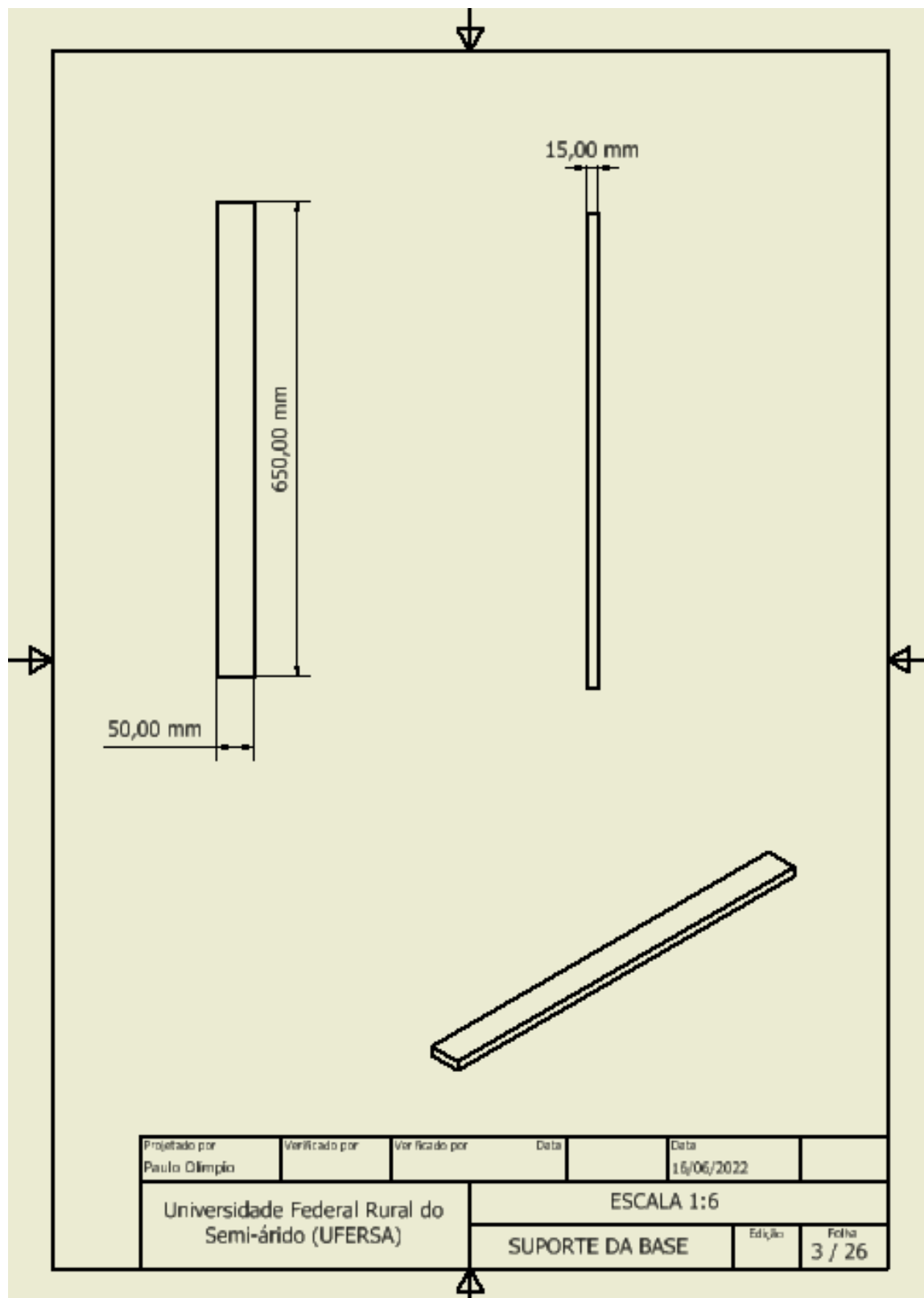
ANEXOS

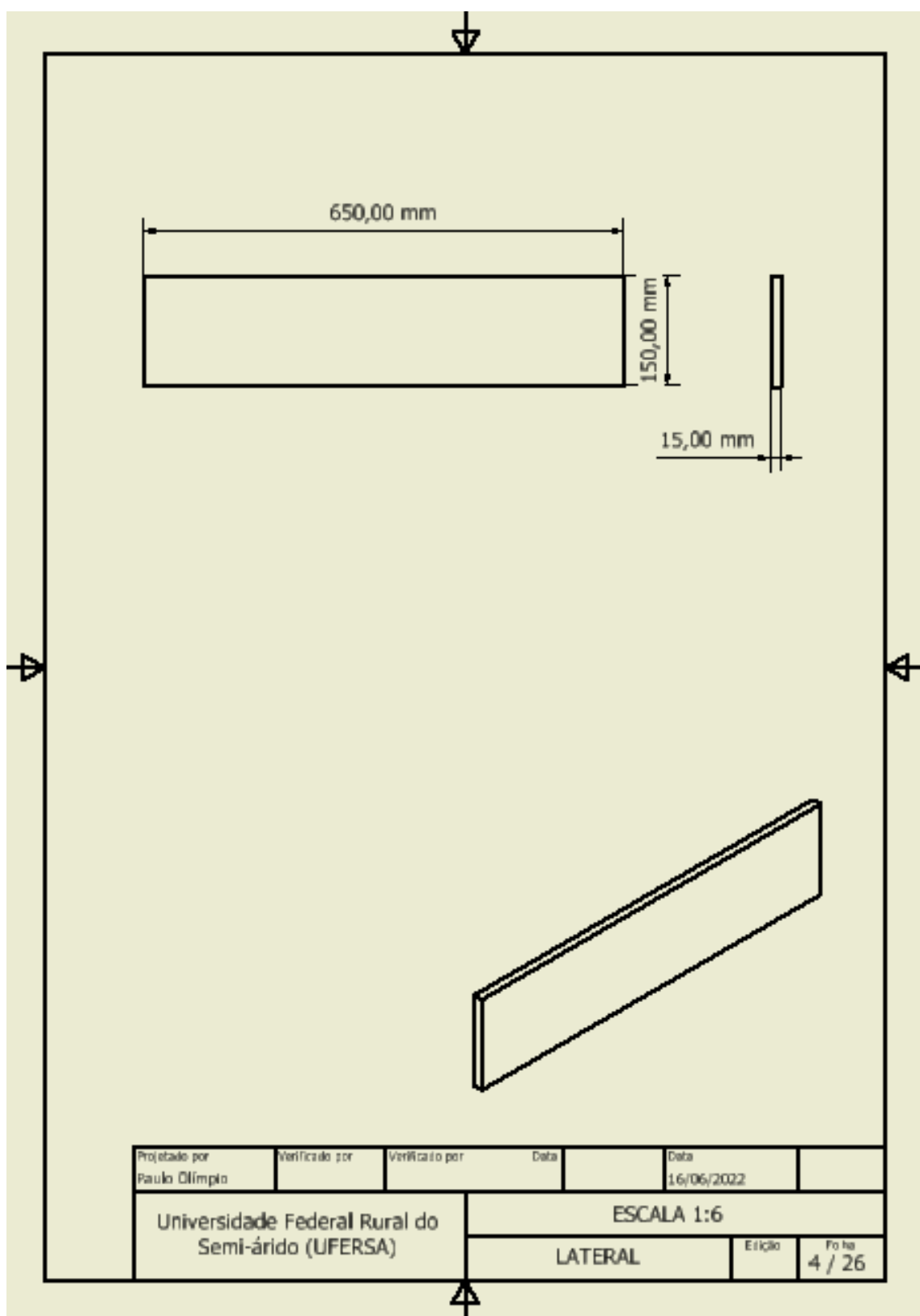
ANEXO 1 – DETALHAMENTO MECÂNICO DA MÁQUINA

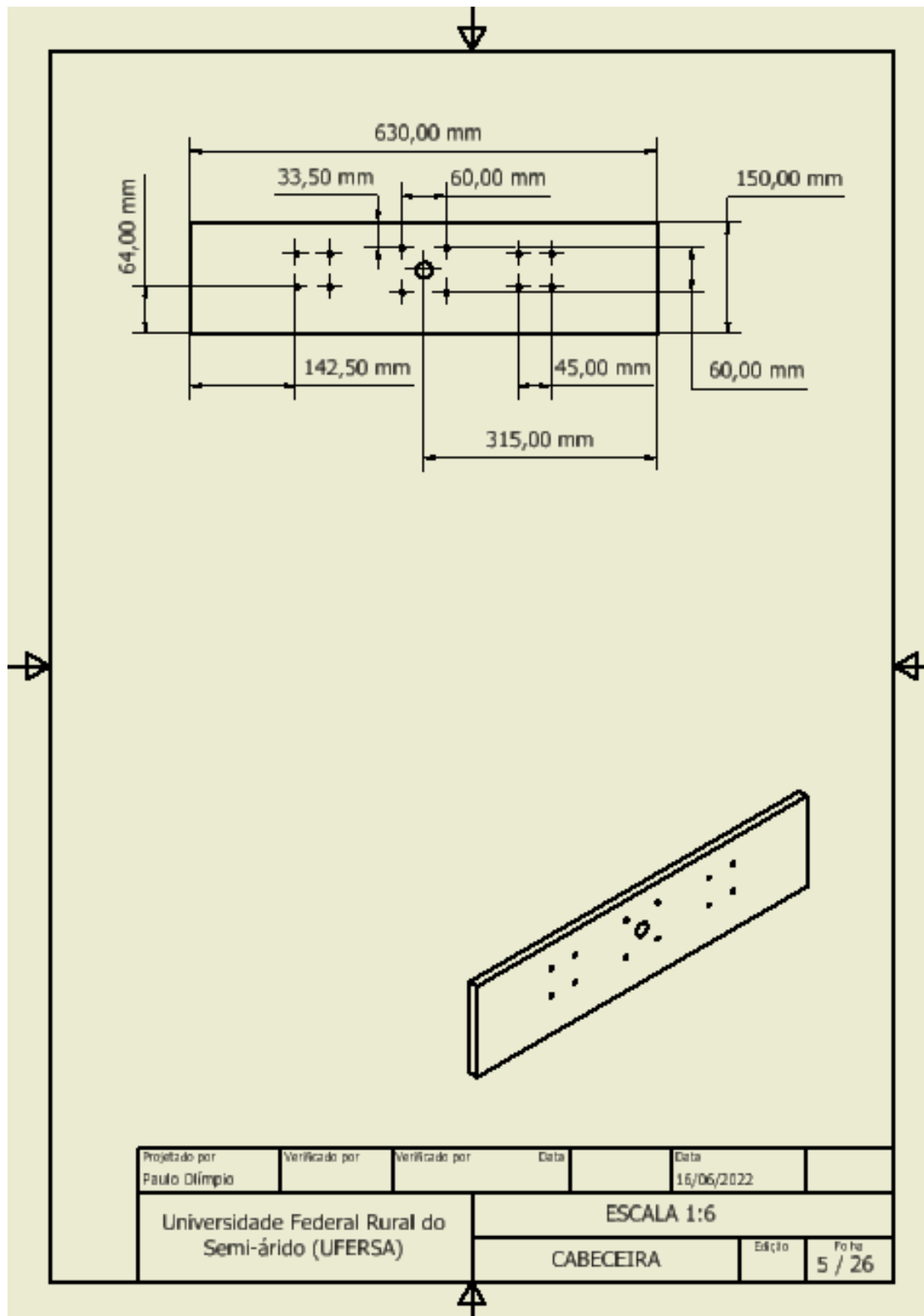


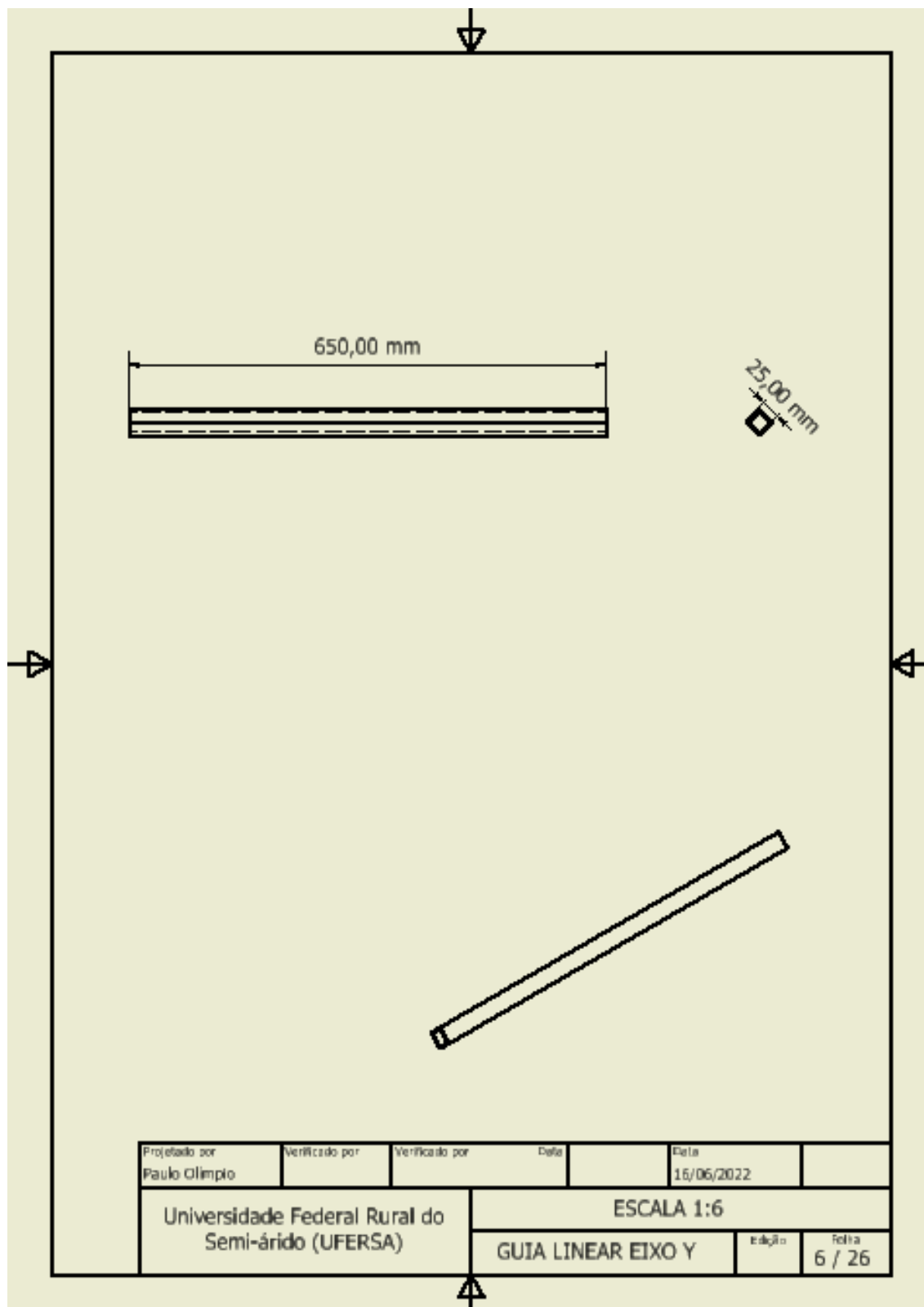
| Quadro de Peças - Base e Eixo Y |            |                                  |
|---------------------------------|------------|----------------------------------|
| Número                          | Quantidade | Descrição                        |
| 1                               | 1          | BASE                             |
| 2                               | 4          | SUORTE DA BASE                   |
| 3                               | 2          | LATERAL                          |
| 4                               | 2          | CABECEIRA                        |
| 5                               | 4          | SUORTE DA GUIA LINEAR            |
| 6                               | 2          | GUIA LINEAR 65cm                 |
| 11                              | 1          | MESA DE USINAGEM                 |
| 12                              | 2          | PILLOW BLOCK                     |
| 13                              | 2          | PILLOW SUPERIOR                  |
| 14                              | 8          | BARRA ROSCADA DO PILLOW          |
| 15                              | 50         | ARROELA M6                       |
| 16                              | 48         | PORCA M6                         |
| 19                              | 6          | PORCA M10                        |
| 25                              | 20         | PARAFUSO DO SUORTE DA GUIA M6X30 |
| 35                              | 12         | PARAFUSO DA MESA DE USINAGEM M6  |
| 63                              | 8          | PARAFUSO DO SUORTE EIXO Z 6x30   |
| 73                              | 1          | PM Wantai 811 Nema 17            |
| 75                              | 2          | SUORTE DO ROLAMENTO              |
| 77                              | 4          | ARRUELA M10 MODIFICADA           |
| 78                              | 1          | SUORTE DO MOTOR OFC              |
| 79                              | 1          | CASTANHA EIXO X                  |
| 81                              | 1          | MOLA                             |
| 82                              | 2          | ROLAMENTO 10mm 2                 |
| 94                              | 1          | BARRA ROSCADA EIXO X             |
| 97                              | 4          | PARAFUSO 8mm                     |
| 102                             | 1          | CHAVETA DO ACOPLAMENTO           |
| 103                             | 1          | ACOPLAMENTO MANG                 |
| 104                             | 1          | MANGUEIRA ACOP.                  |

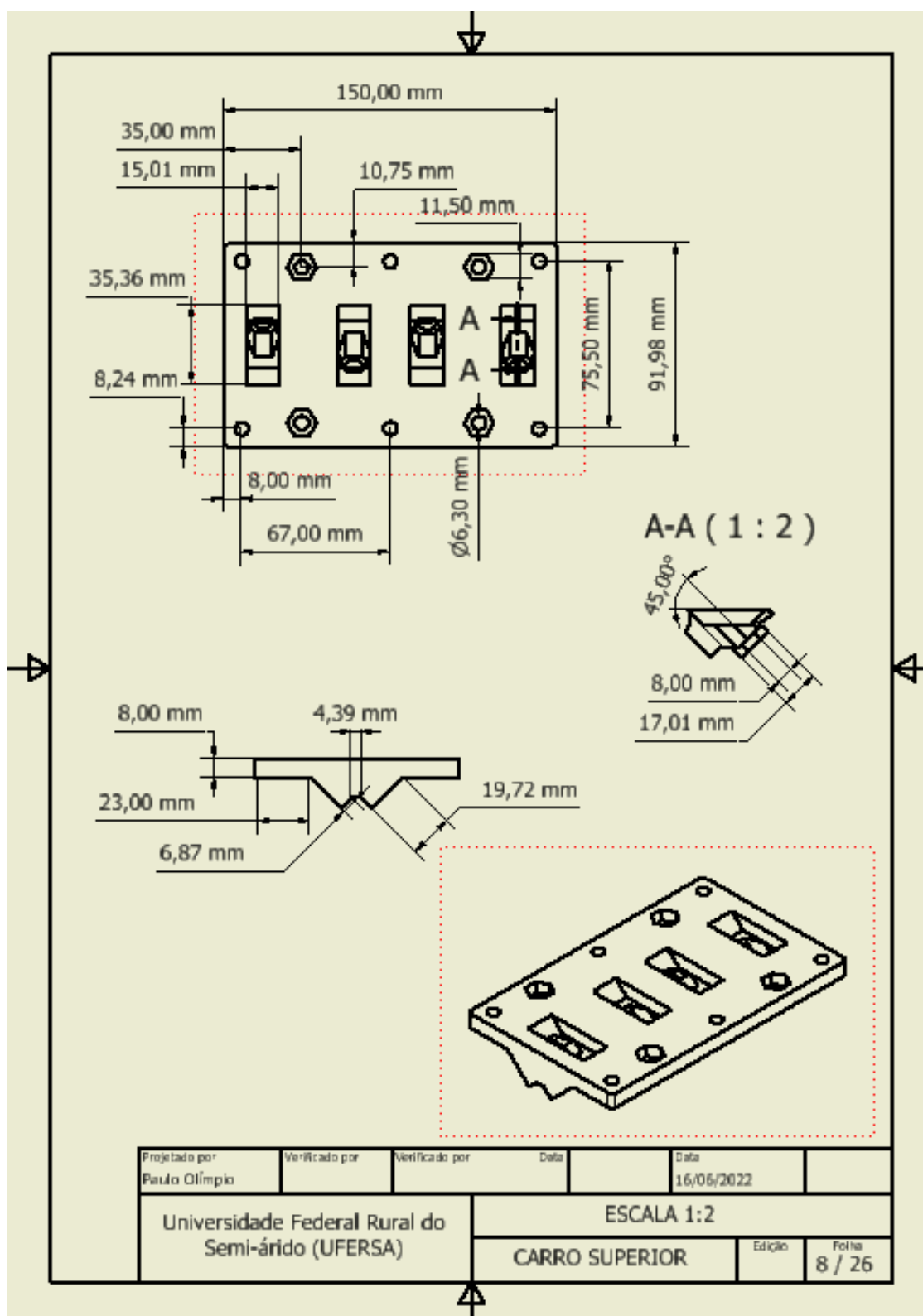




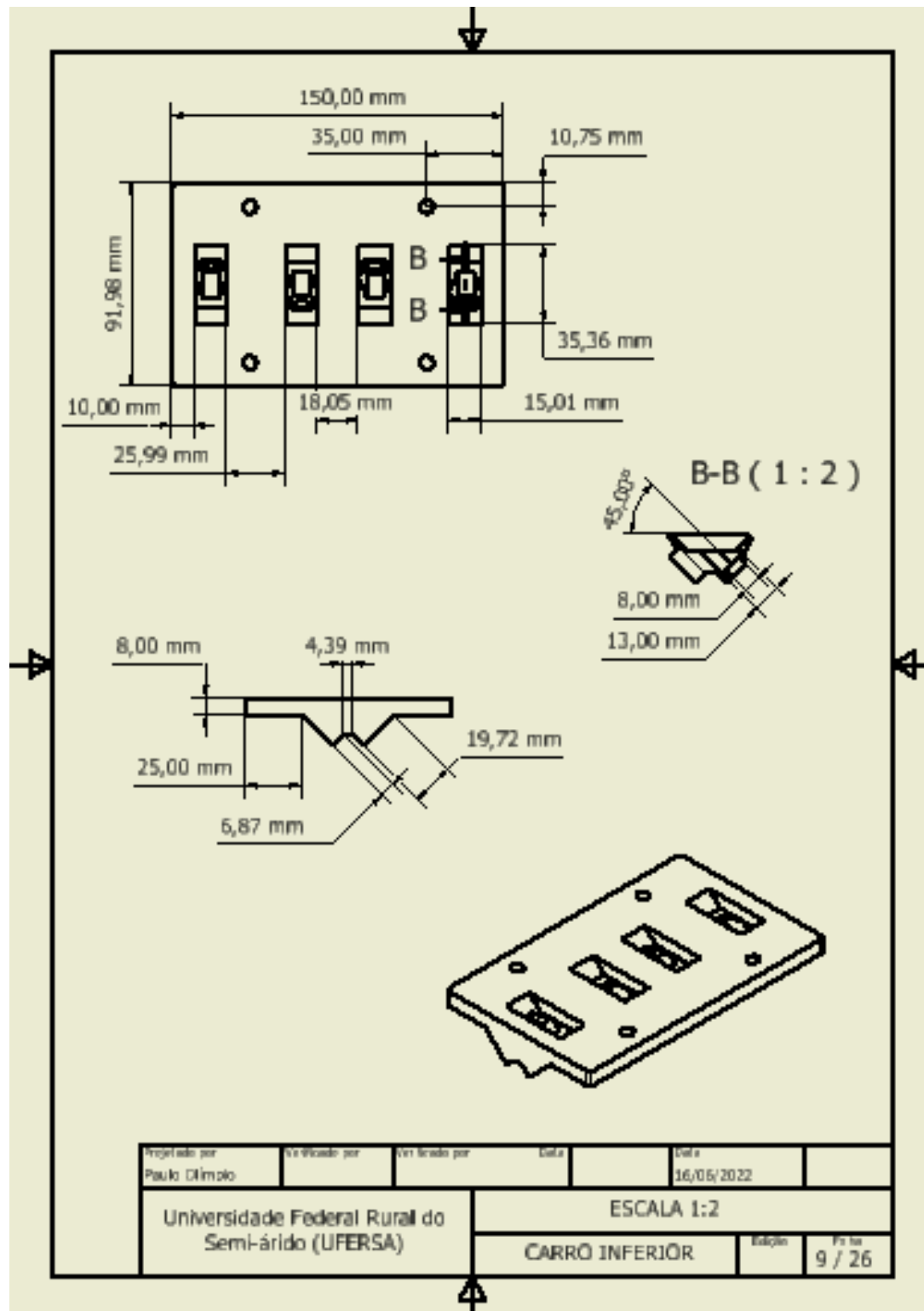


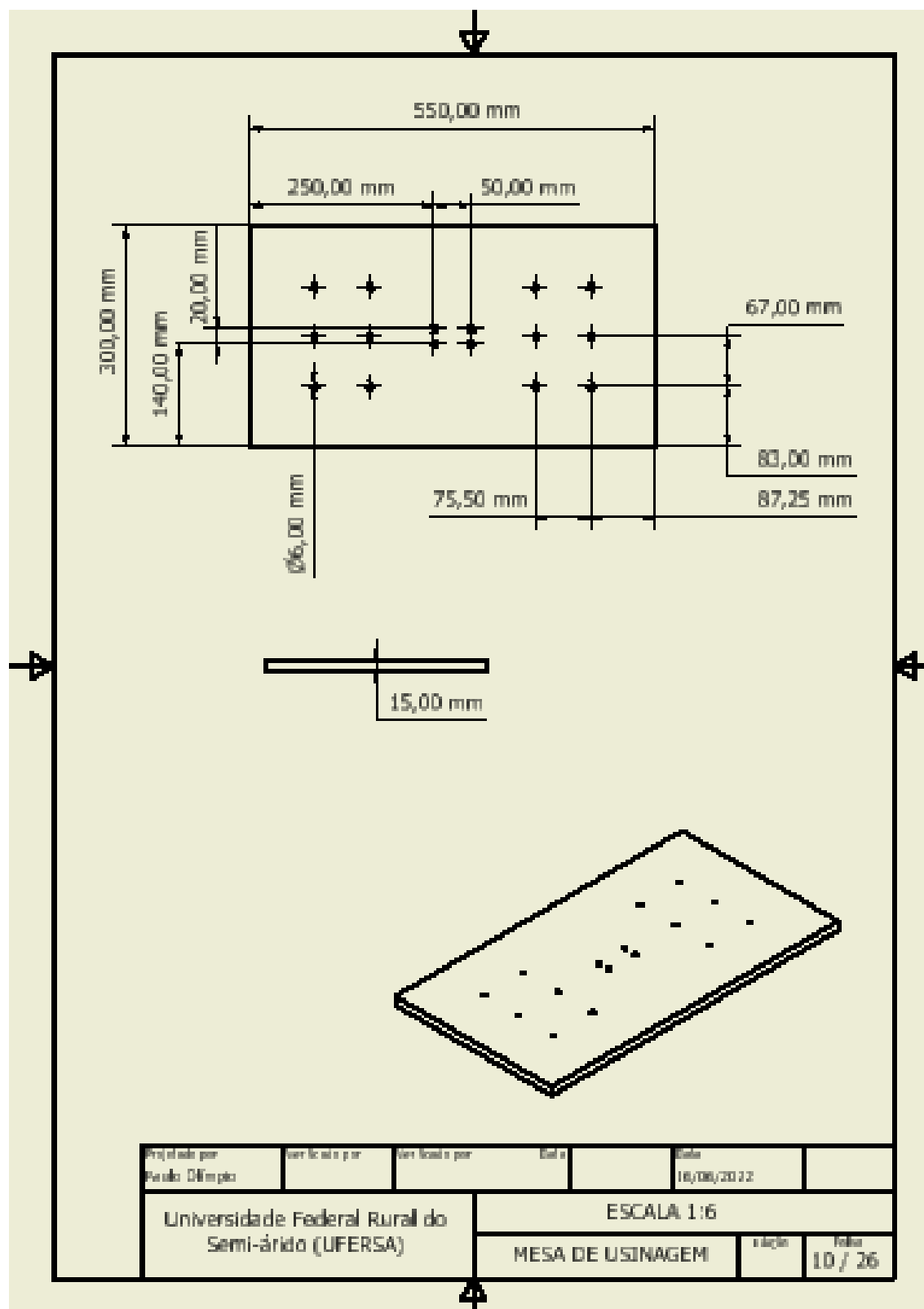


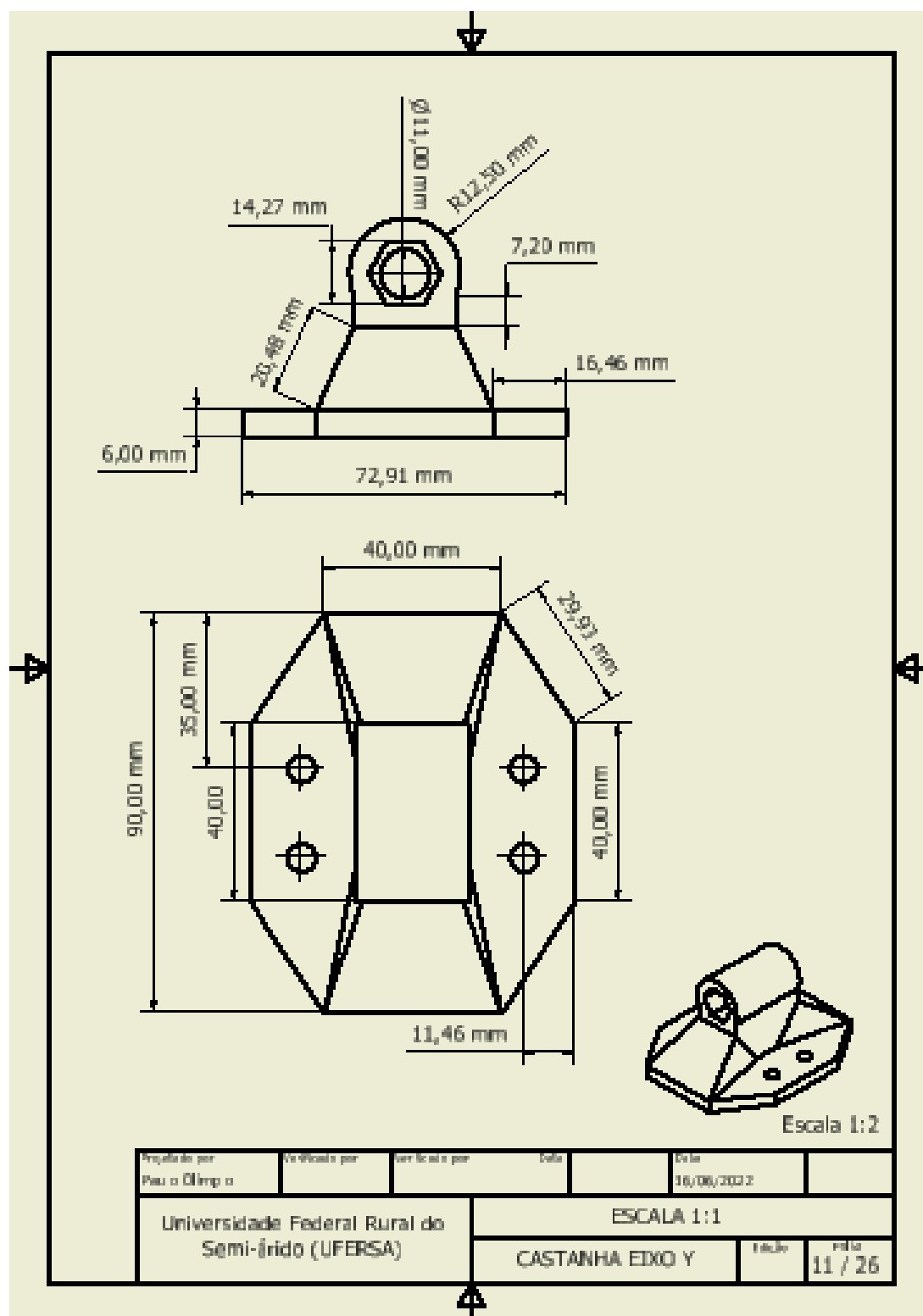


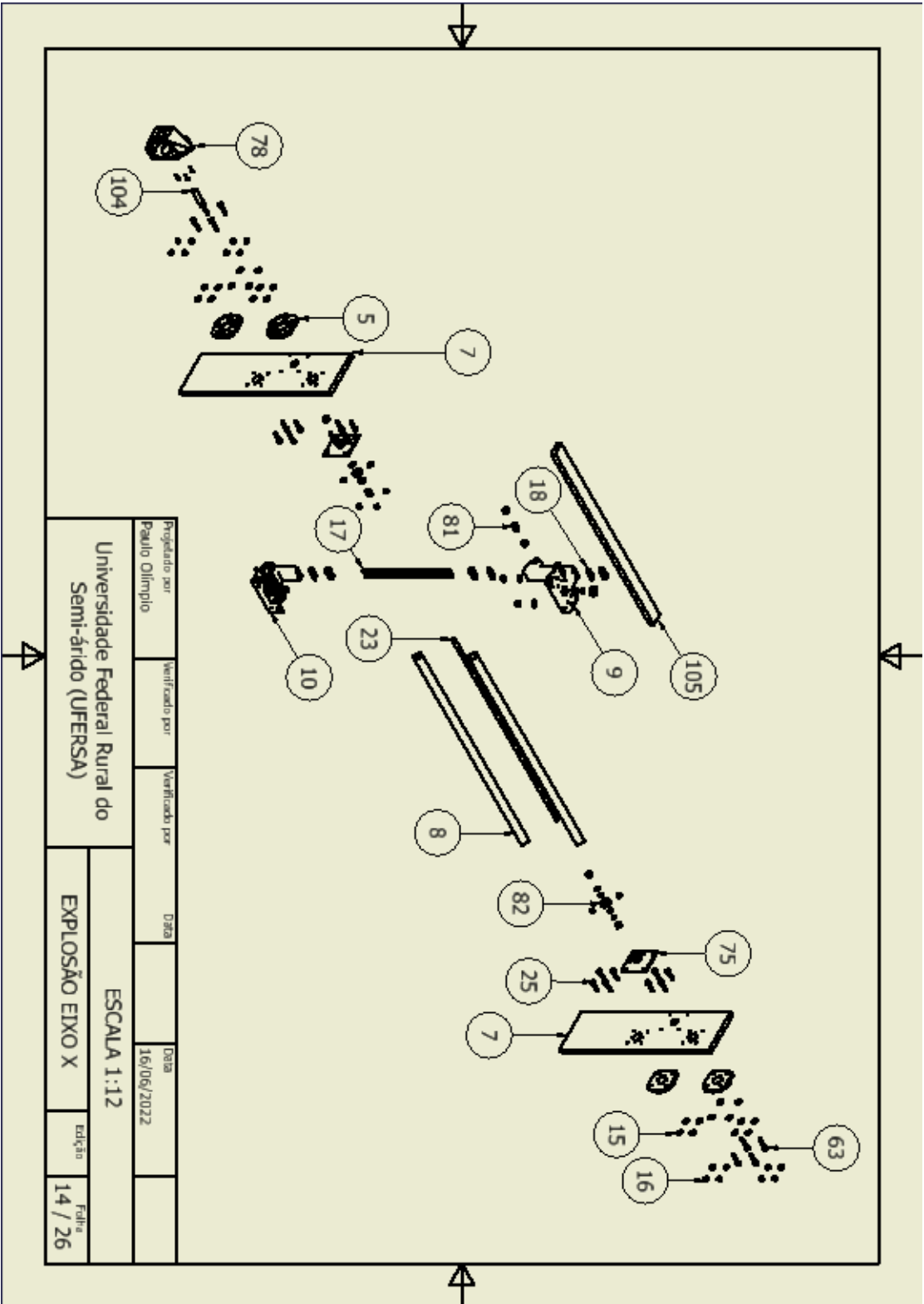




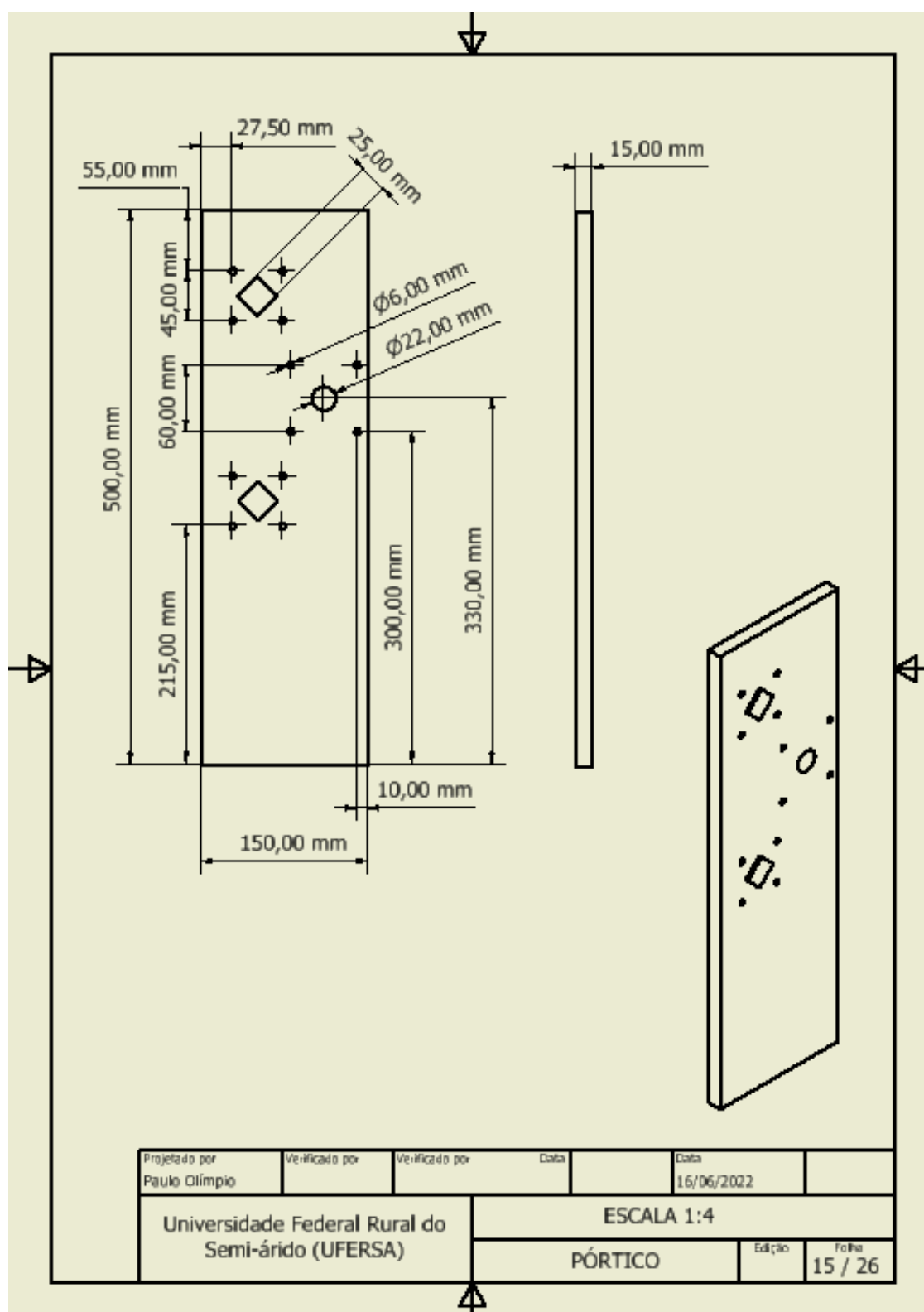


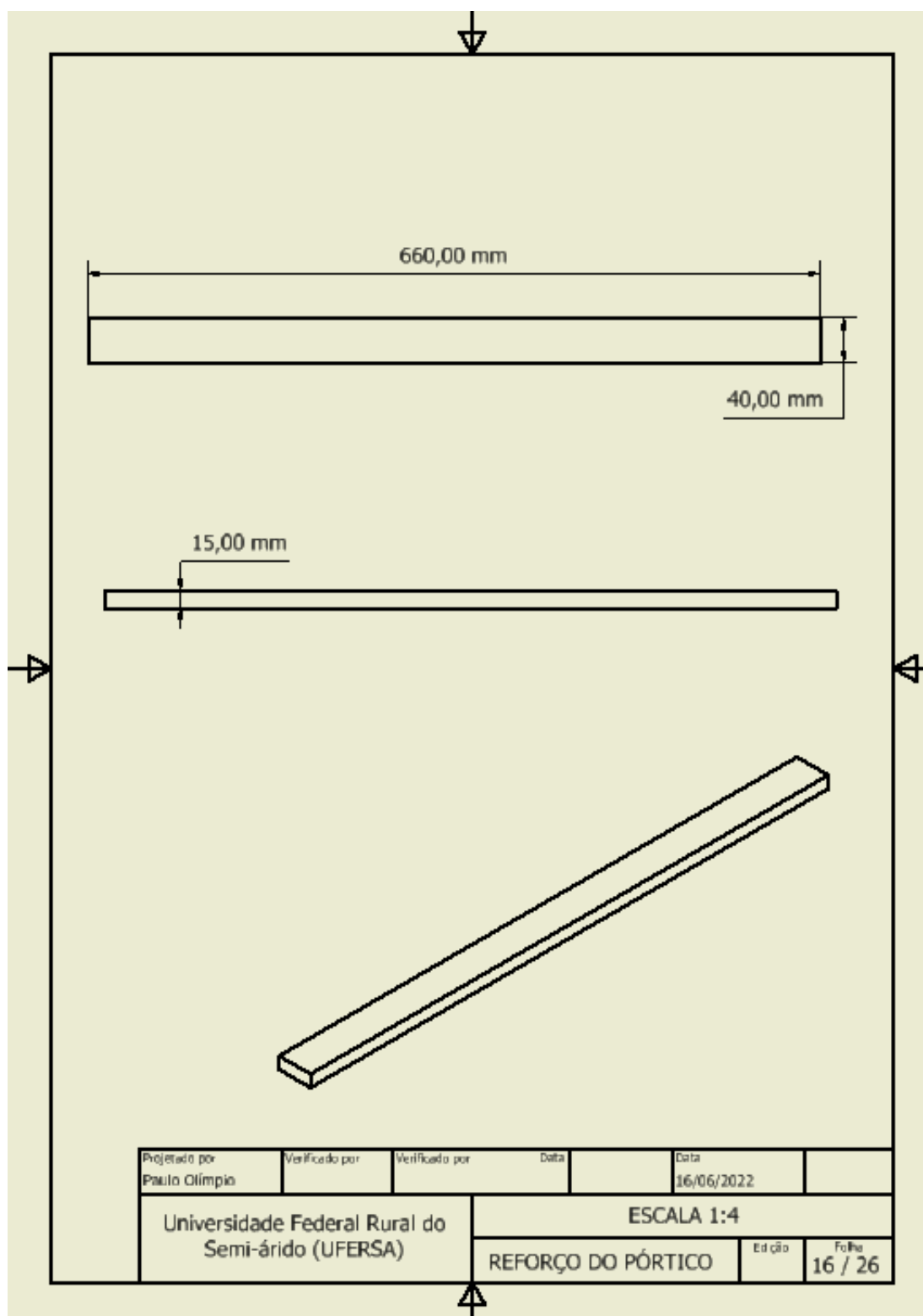


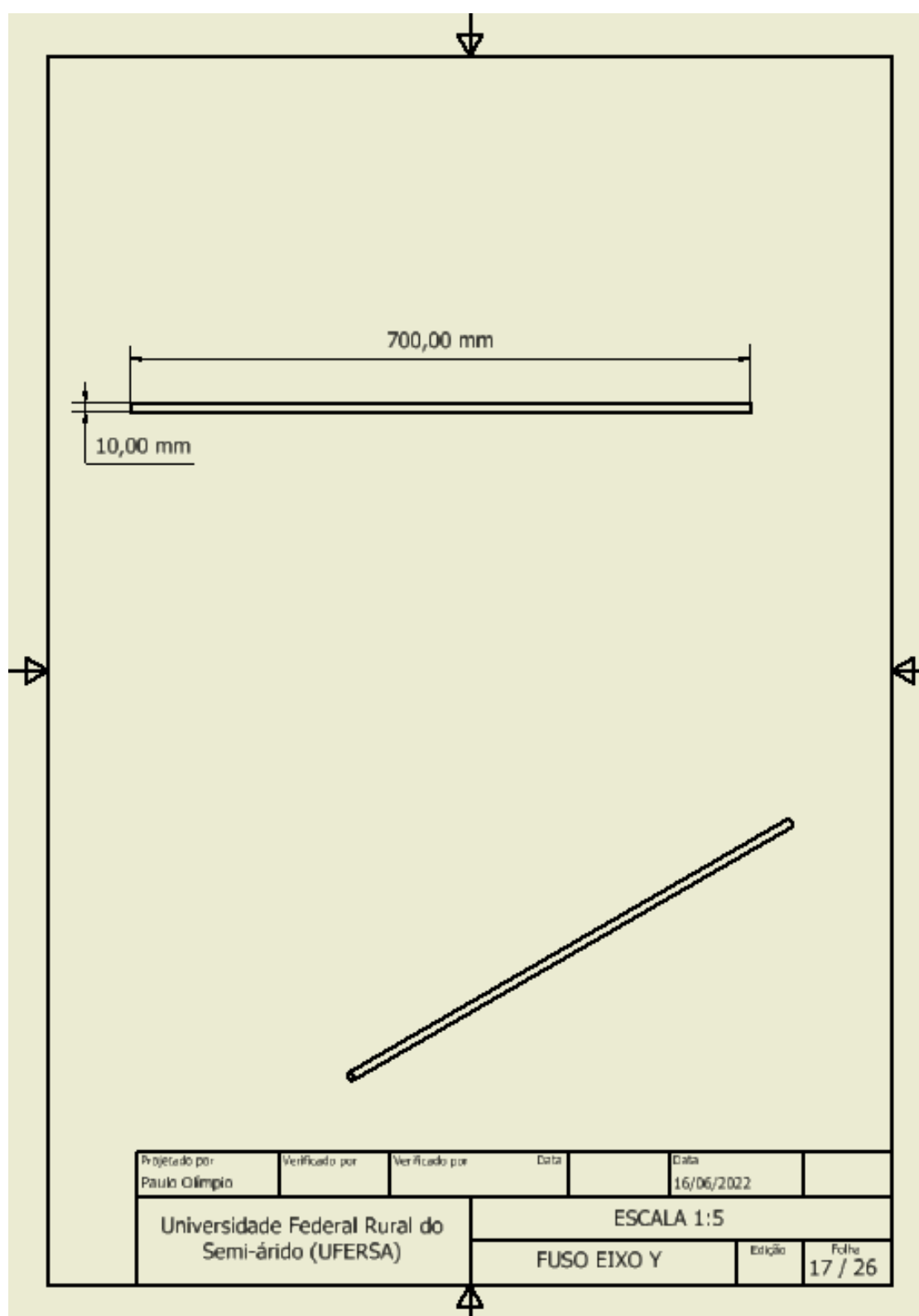




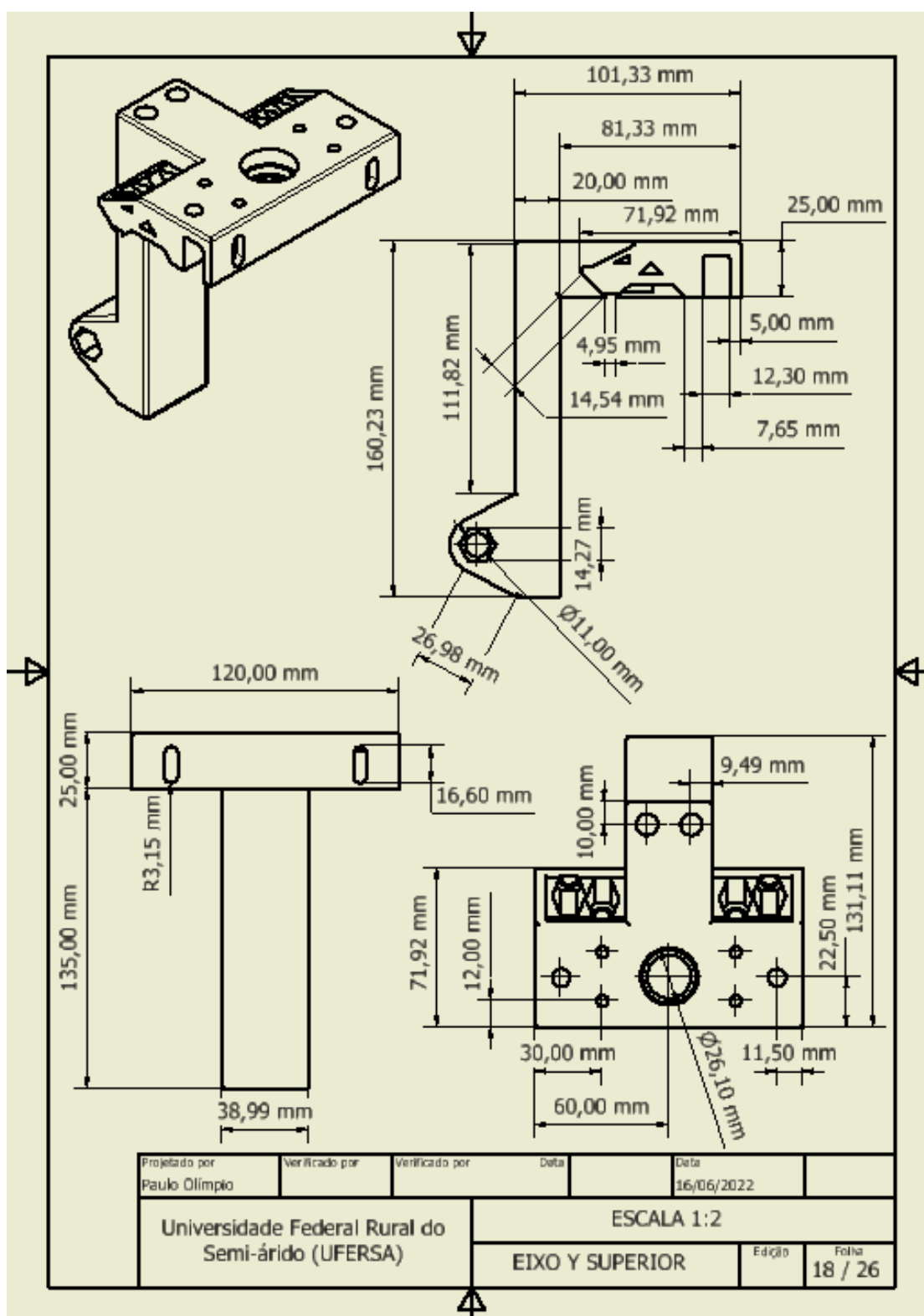
| Quadro de Peças - Eixo X |            |                                  |
|--------------------------|------------|----------------------------------|
| Número                   | Quantidade | Descrição                        |
| 5                        | 4          | SUORTE DA GUIA LINEAR            |
| 7                        | 2          | PORTIÇO                          |
| 8                        | 2          | GUIA LINEAR 700mm                |
| 9                        | 1          | EIXO Y                           |
| 10                       | 1          | EIXO Y INFERIOR                  |
| 15                       | 30         | ARROELA M6                       |
| 16                       | 28         | PORCA M6                         |
| 17                       | 2          | BARRA ROSCADA DO EIXO Y 10mm     |
| 18                       | 4          | FIXADOR DO EIXO Y                |
| 19                       | 15         | PORCA M10                        |
| 23                       | 1          | BARRA ROSCADA EIXO Y             |
| 25                       | 16         | PARAFUSO DO SUORTE DA GUIA M6X30 |
| 63                       | 8          | PARAFUSO DO SUORTE EIXO Z 6x30   |
| 73                       | 1          | PM Wantai 811 Nema 17            |
| 75                       | 2          | SUORTE DO ROLAMENTO              |
| 77                       | 7          | ARRUELA M10                      |
| 78                       | 1          | SUORTE DO MOTOR                  |
| 81                       | 1          | MOLA                             |
| 82                       | 2          | ROLAMENTO 10mm                   |
| 97                       | 4          | PARAFUSO 8mm                     |
| 100                      | 2          | PORCA 8mm                        |
| 101                      | 2          | ARROELA 8mm                      |
| 102                      | 1          | CHAVETA DO ACOPLAMENTO           |
| 103                      | 1          | ACOPLAMENTO MANG                 |
| 104                      | 1          | MANGUEIRA ACOP.                  |
| 105                      | 1          | REFORÇO DO PÓRTICO               |

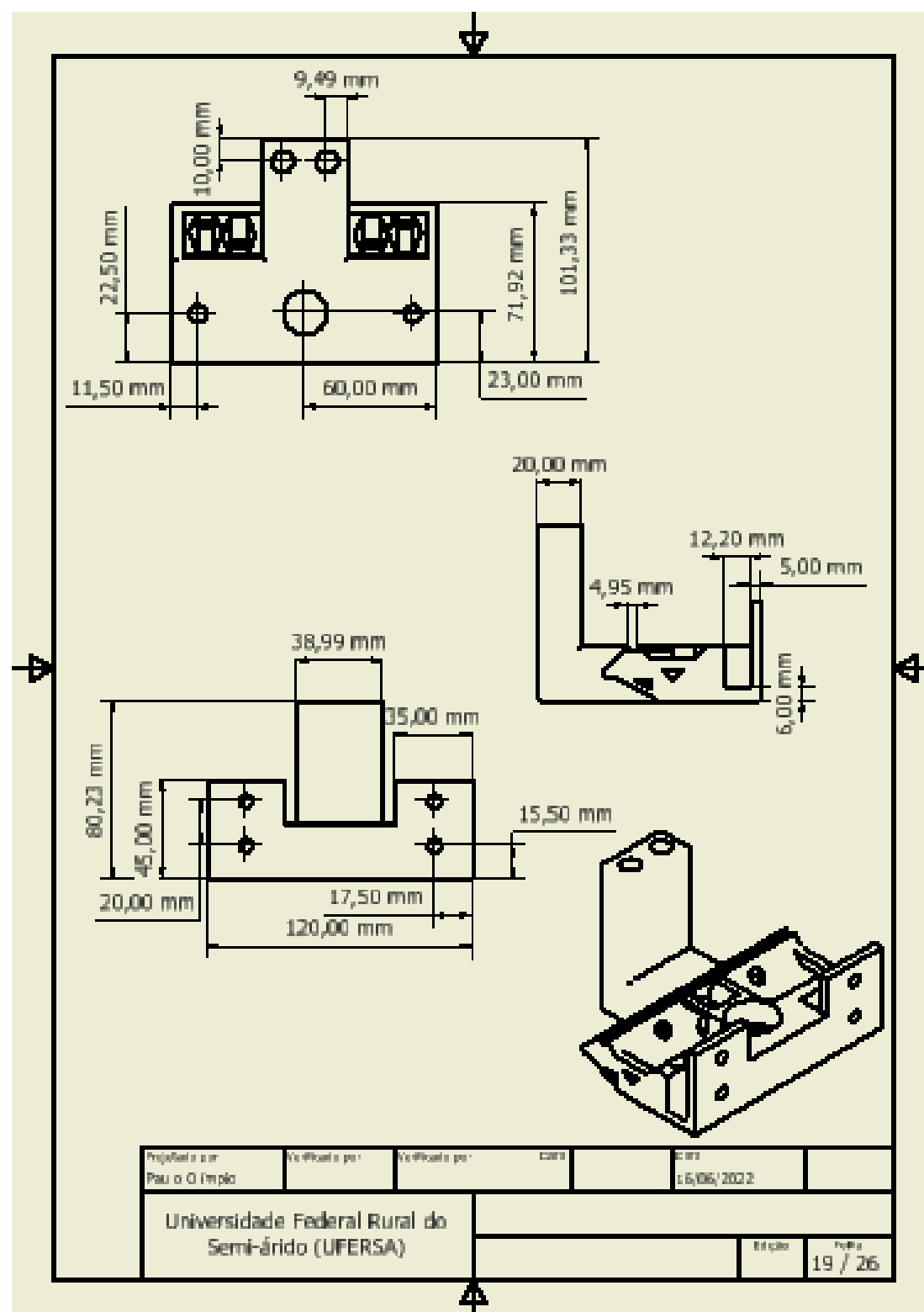


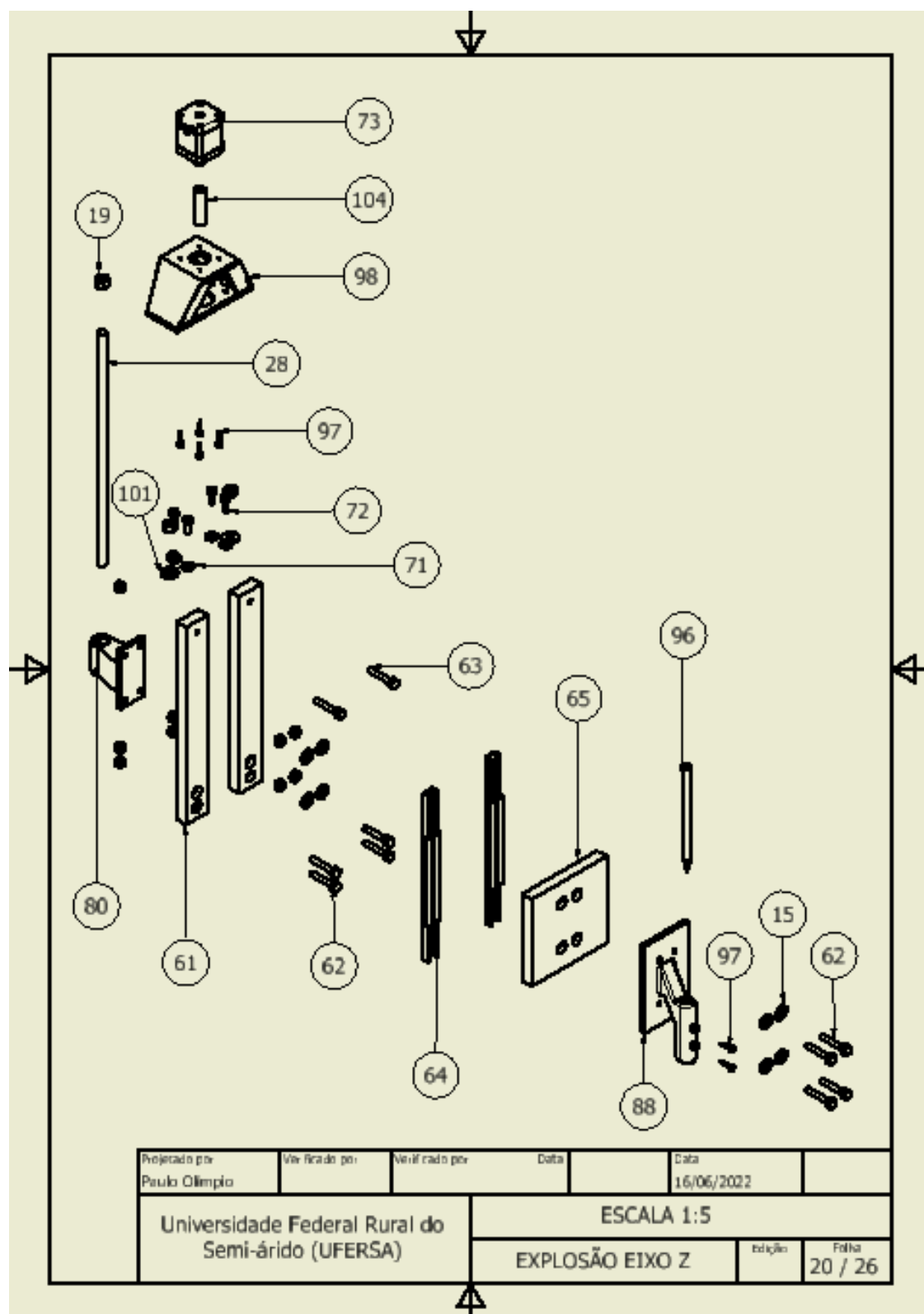




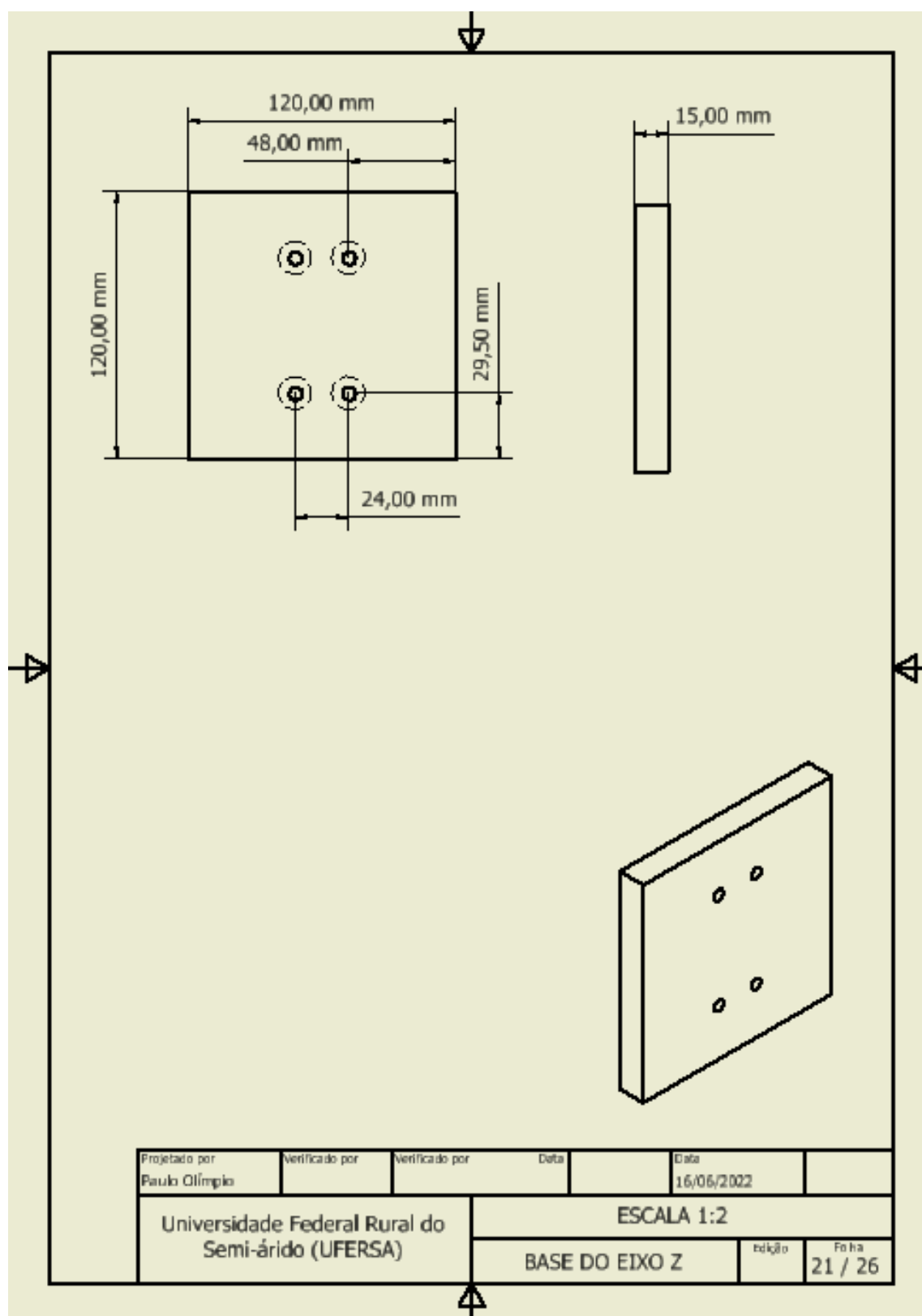


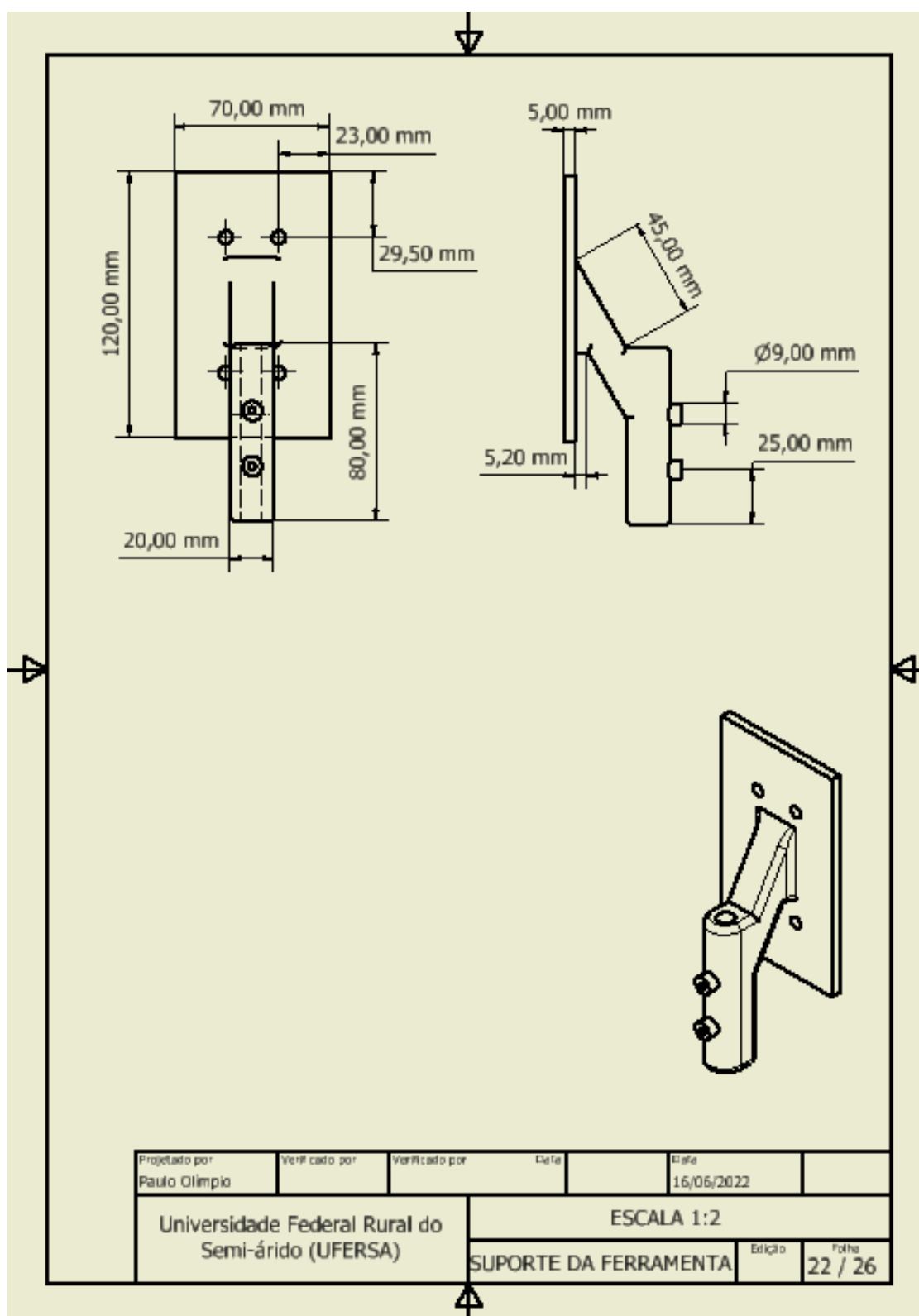


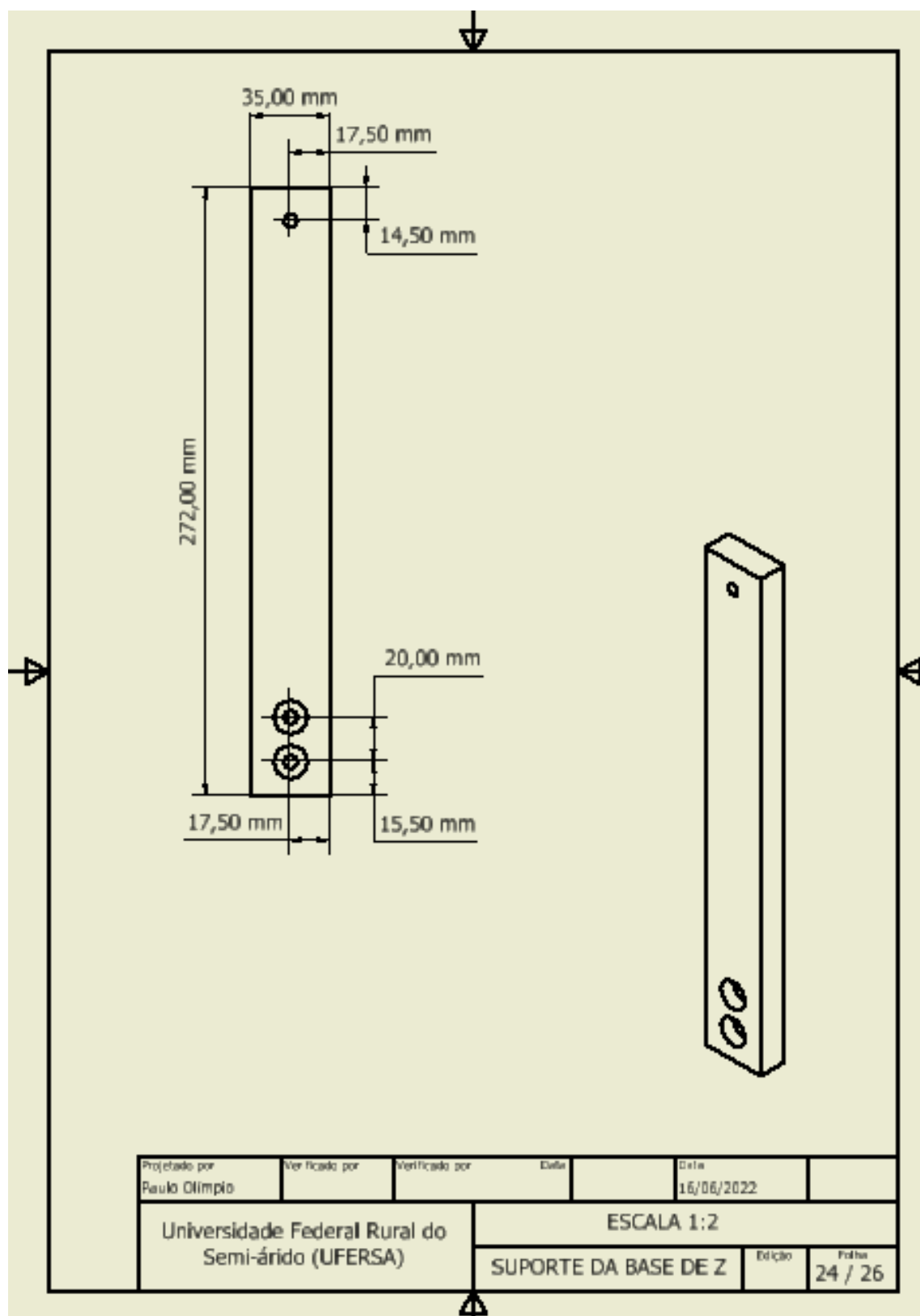


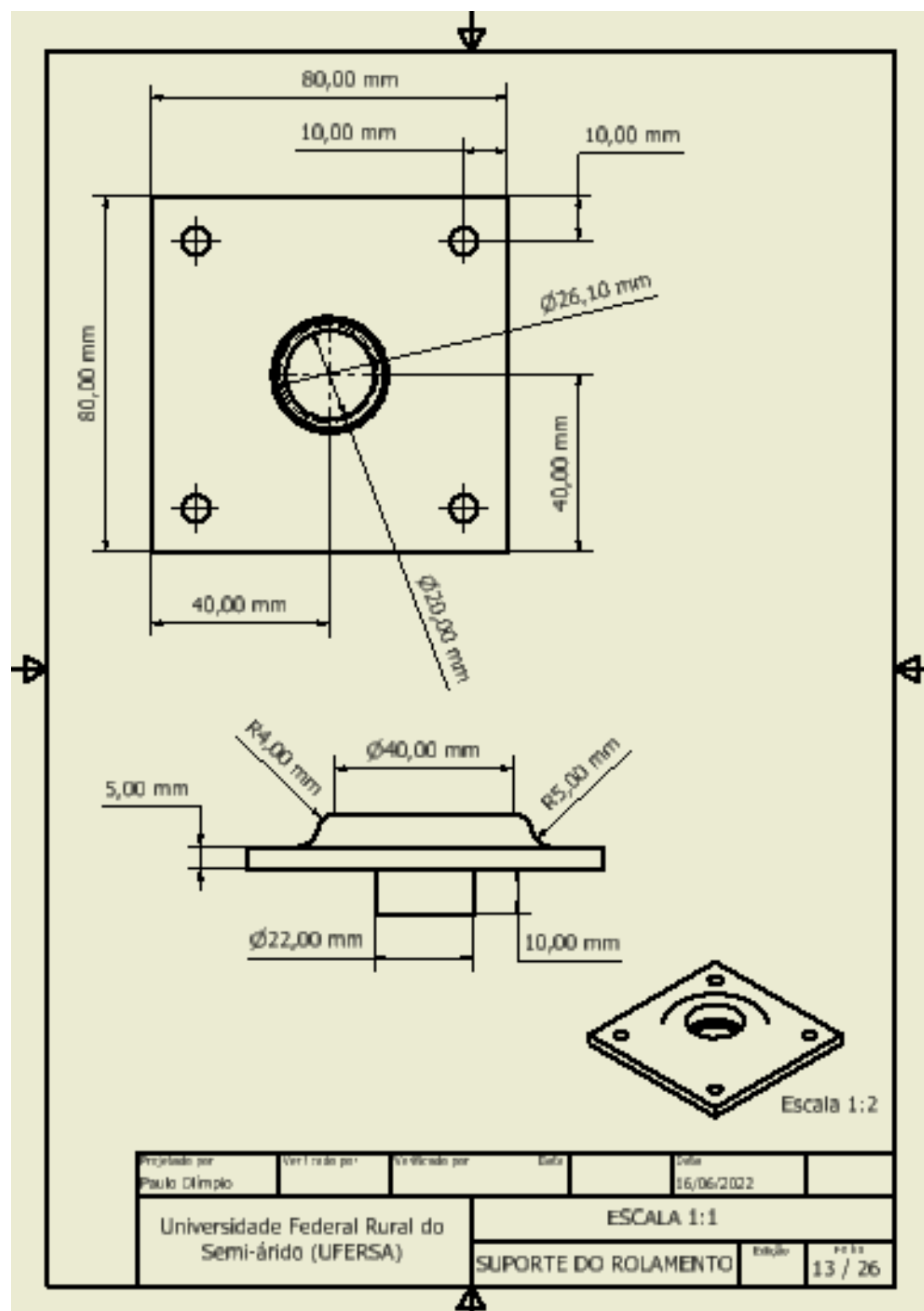


| Quadro de Peças - Eixo z |            |                                |
|--------------------------|------------|--------------------------------|
| Número                   | Quantidade | Descrição                      |
| 15                       | 8          | ARROELA M6                     |
| 16                       | 10         | PORCA M6                       |
| 19                       | 5          | PORCA M10                      |
| 28                       | 1          | BARRA ROSCADA EIXO Z OFC       |
| 61                       | 2          | SUORTE DO EIXO Z               |
| 62                       | 8          | PARAFUSO DO SUORTE EIXO Z 6x22 |
| 63                       | 2          | PARAFUSO DO SUORTE EIXO Z 6x30 |
| 64                       | 2          | GUIA LINAR EIXO Z              |
| 65                       | 1          | BASE EIXO Z                    |
| 71                       | 4          | ARRUELA M5                     |
| 72                       | 4          | PARAFUSO M5                    |
| 73                       | 1          | PM Wantai 811 Nema 17          |
| 77                       | 2          | ARRUELA M10 MODIFICADA         |
| 80                       | 1          | CASTANHA EIXO Z                |
| 81                       | 1          | MOLA                           |
| 88                       | 1          | SUORTE DA FERRAMENTA           |
| 96                       | 1          | CANETA                         |
| 97                       | 6          | PARAFUSO 1-8                   |
| 98                       | 1          | SUORTE DO MOTOR Z OFC          |
| 100                      | 2          | PORCA 8mm                      |
| 101                      | 2          | Arroela M8                     |
| 102                      | 1          | CHAVETA DO ACOPLAMENTO         |
| 103                      | 1          | ACOPLAMENTO MANG               |
| 104                      | 1          | MANGUEIRA ACOP.                |

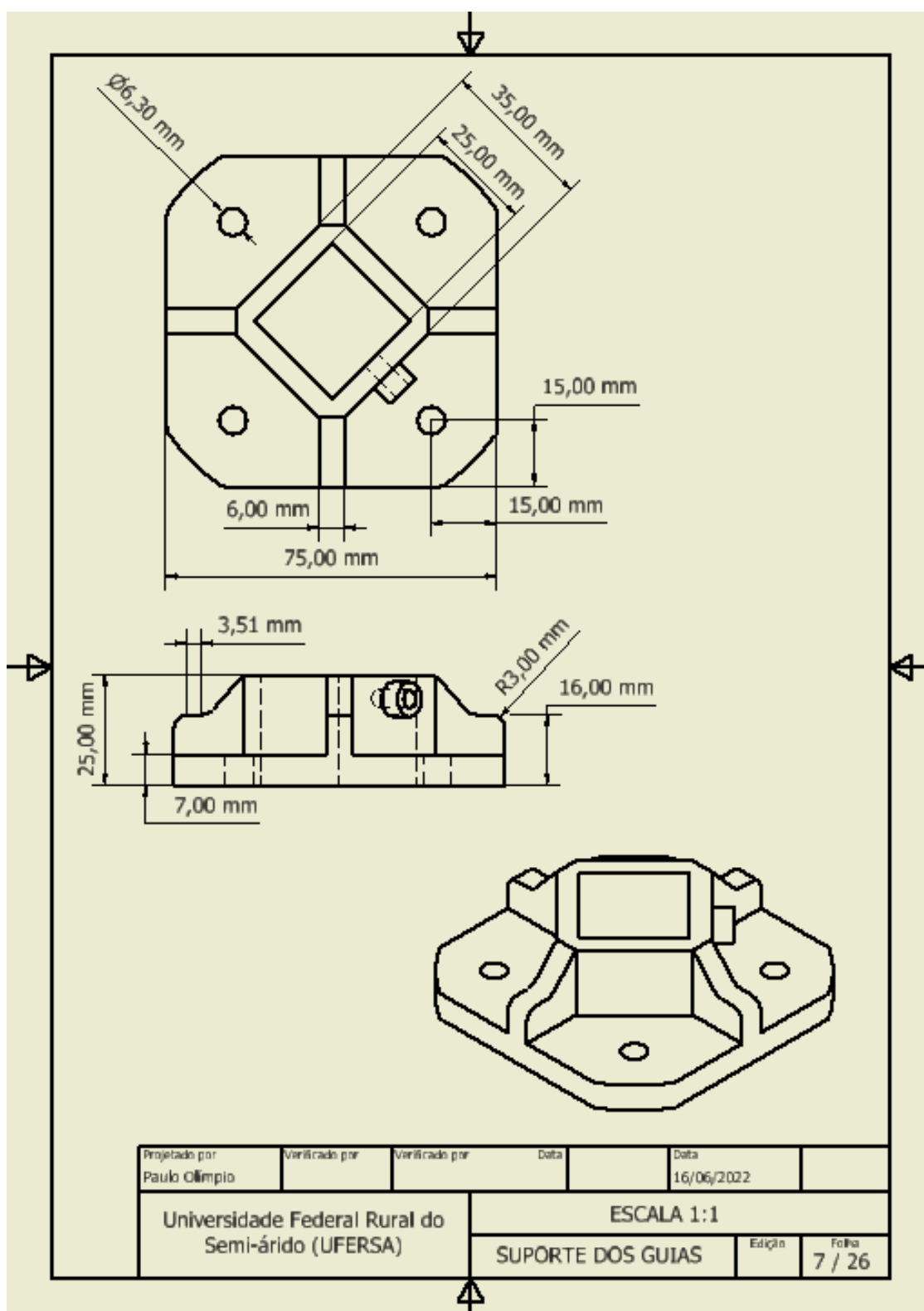


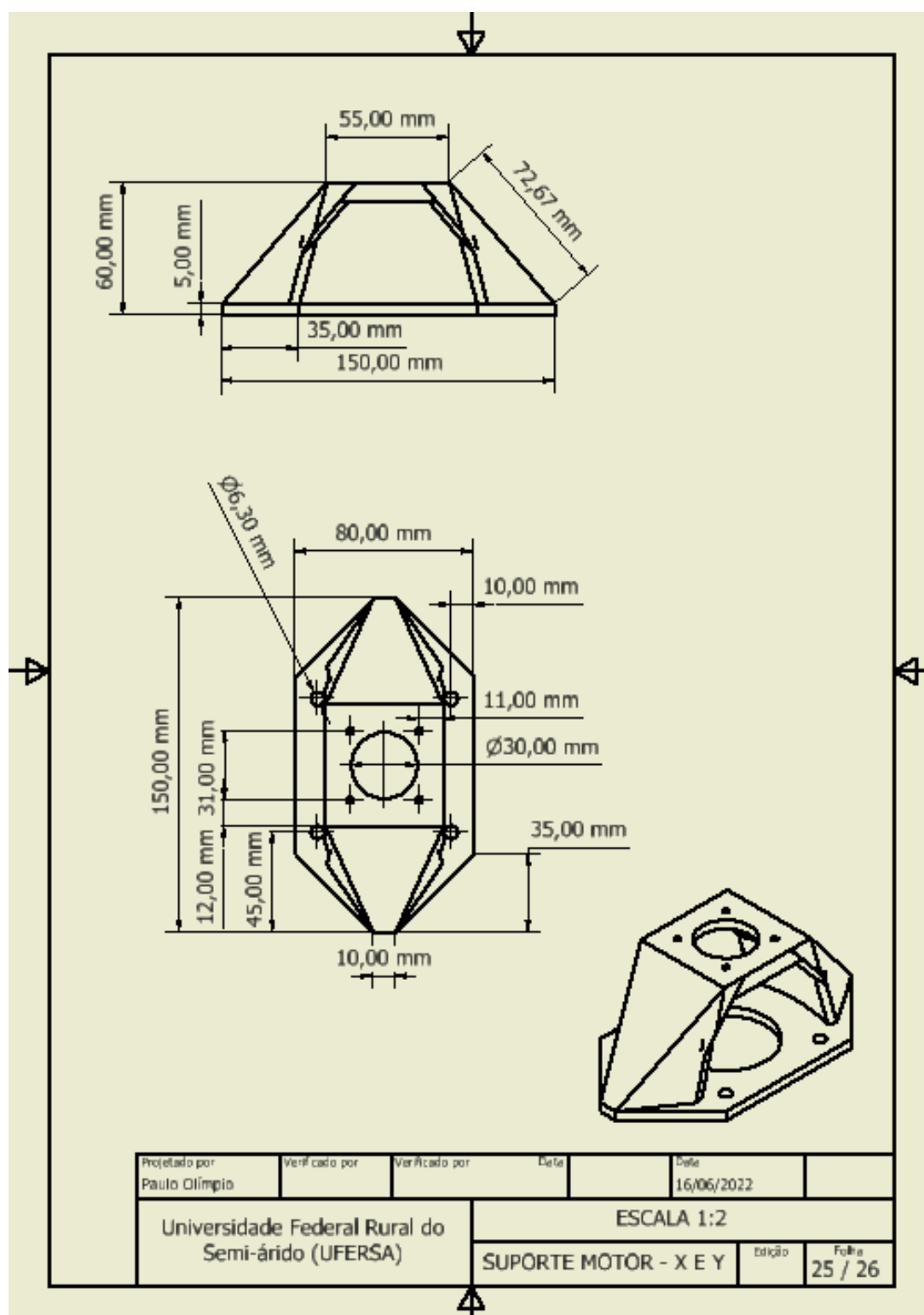


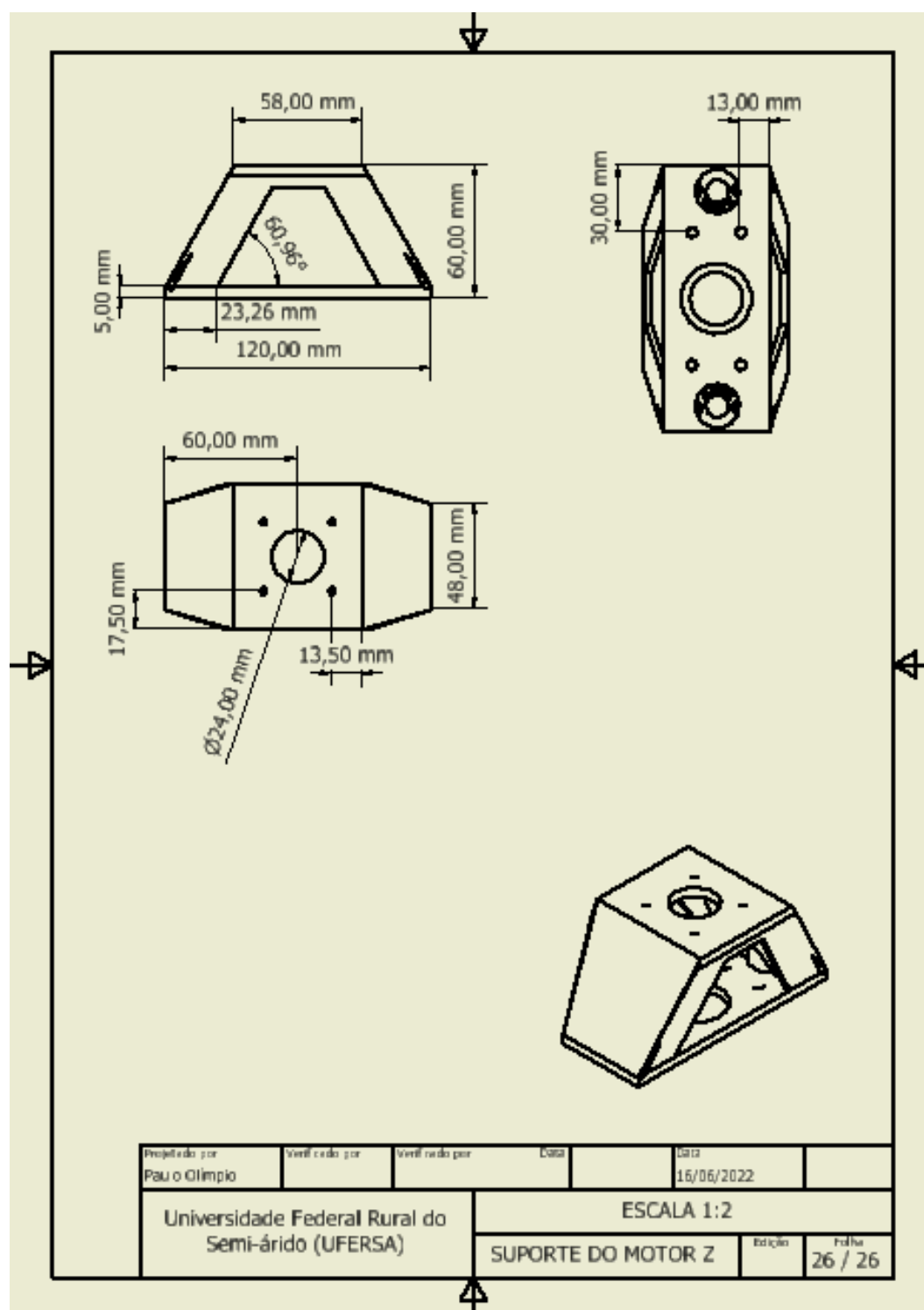












## ANEXO 2 – DATASHEET MOTOR DE PASSO



### 1.8° 42mm High Torque Hybrid Stepper Motor

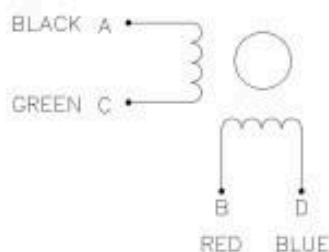
| Item                  | Specifications             |
|-----------------------|----------------------------|
| Step Angle            | 1.8°                       |
| Step Angle Accuracy   | ±5%(full step,no load)     |
| Resistance Accuracy   | ±10%                       |
| Inductance Accuracy   | ±20%                       |
| Temperature Rise      | 80℃ max                    |
| Ambient Temperature   | -20℃~+50℃                  |
| Insulation Resistance | 100 MΩ Min.,500VDC         |
| Dielectric Strength   | 500VAC for 1minute         |
| Shaft Radial Play     | 0.02Max. (450g-load)       |
| Shaft Axial Play      | 0.08Max. (450g-load)       |
| Max. radial force     | 28N (20mm from the flange) |
| Max. axial force      | 10N                        |



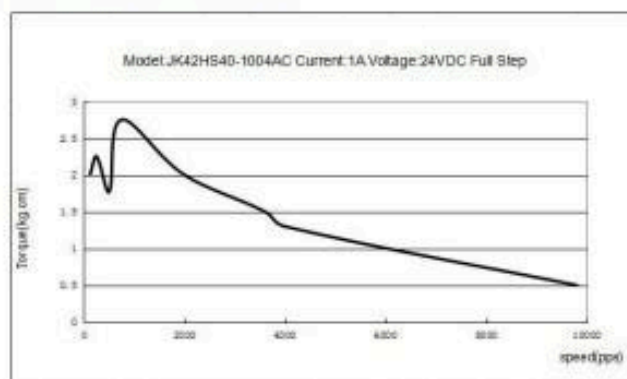
### 42mm Hybrid Stepper Motor Specifications:

| Model No.       | Rated Voltage | Current /Phase | Resistance /Phase | Inductance /Phase | Holding Torque | # of Leads | Detent Torque | Rotor Inertia     | Motor Length | Weight |
|-----------------|---------------|----------------|-------------------|-------------------|----------------|------------|---------------|-------------------|--------------|--------|
|                 | V             | A              | Ω                 | mH                | kg.cm          | No.        | g.cm          | g.cm <sup>2</sup> | (L)mm        | kg     |
| JK42HS40-1004AC | 3.9           | 1              | 3.9               | 8.9               | 4.0            | 4          | 150           | 54                | 40           | 0.28   |

### Wiring Diagram:



### Pull out Torque Curve:



## ANEXO 3 – MANUAL DE CONFIGURAÇÃO DO GRBL



O que é? Para que serve? Como configurar?

```
$0=10 (step pulse, usec)
$1=25 (step idle delay, msec)
$2=0 (step port invert mask:00000000)
$3=6 (dir port invert mask:00000110)
$4=0 (step enable invert, bool)
$5=0 (limit pins invert, bool)
$6=0 (probe pin invert, bool)
$10=3 (status report mask:00000011)
$11=0.020 (junction deviation, mm)
$12=0.002 (arc tolerance, mm)
$13=0 (report inches, bool)
$20=0 (soft limits, bool)
$21=0 (hard limits, bool)
$22=0 (homing cycle, bool)
$23=1 (homing dir invert mask:00000001)
$24=50.000 (homing feed, mm/min)
$25=635.000 (homing seek, mm/min)
$26=250 (homing debounce, msec)
$27=1.000 (homing pull-off, mm)
$100=314.961 (x, step/mm)
$101=314.961 (y, step/mm)
```



RODRIGO CONRADO

## Quem somos

Atividade Maker é um projeto com o propósito de divulgar o estilo de vida "faça você mesmo" (DIY – Do It Yourself), aqui vamos divulgar projetos de Marcenaria, Eletrônica, Robótica, Arduino, Impressão 3D, CNC entre outros, Somos apaixonados pelo estilo Faça Você Mesmo.

**Atividade Maker - Construa o Seu Mundo, Você Pode!**

## Como entrar em contato?

Você pode entrar em contato pelos seguintes meios:



[www.atividademaker.com.br](http://www.atividademaker.com.br)



[www.facebook.com/atividademaker](https://www.facebook.com/atividademaker)



[www.youtube.com/c/AtividadeMakerOficial](https://www.youtube.com/c/AtividadeMakerOficial)



[contato@atividademaker.com.br](mailto:contato@atividademaker.com.br)



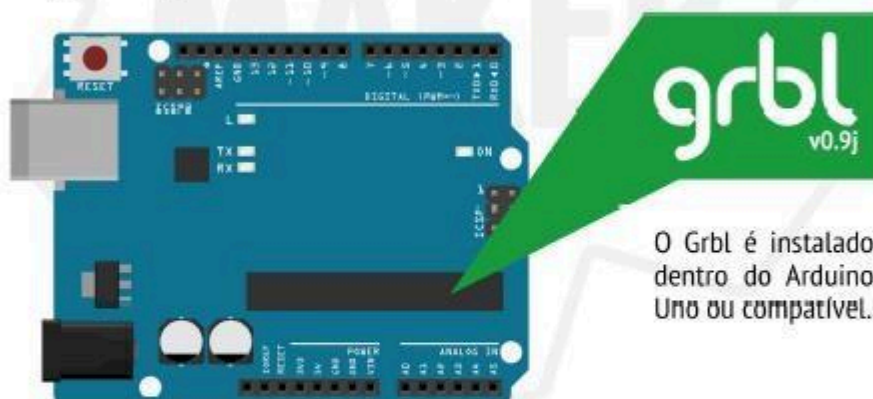


## Sobre o Grbl

O Grbl é grátis, open source (código aberto), software de alto desempenho para controlar o movimento de máquinas que se movem, que fazem as coisas, ou que fazem as coisas se moverem, e será executado diretamente em um Arduino.

Muitas impressoras 3D de código aberto usam Grbl em seus núcleos, sendo adaptado para uso em centenas de projetos, incluindo máquinas de corte a laser, CNC entre outros. Devido ao seu desempenho, simplicidade e requisitos de hardware, o Grbl tornou-se um fenômeno de código aberto.

Em 2009, Simen Svalle Skogsrud (<http://bengler.no/grbl>) agradeceu a comunidade de código aberto, escrevendo e liberando as primeiras versões do Grbl a todos (inspiradas no Arduino Gcode Interpreter por Mike Ellery). Desde 2011, Grbl está a avançar como um projeto de código aberto voltada para a comunidade sob a liderança pragmática da Sungeun K. Jeon Ph.D. (@chamnit).



O Grbl é instalado dentro do Arduino Uno ou compatível.

Placa Arduino Uno ou Compatível







## Primeiros Passos - Arduino

Vamos instalar o Grbl no Arduino através da IDE do Arduino, para isso você precisa acessar o site [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc) e efetuar o download da IDE para o seu sistema operacional.



- 1 - Acessar [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc);
- 2 - Clicar em Download;
- 3 - Clicar no seu sistema operacional para efetuar o download;
- 4 - Faça a instalação conforme seu sistema;



- 5 - Abra a IDE Arduino;
- 6 - Clique em **Ferramentas > Porta** e selecione a porta serial.



- 7 - Clique em **Ferramentas > Placa** e selecione Arduino Uno;







## Primeiros Passos - Grbl

Após a instalação da IDE Arduino e suas configurações você vai precisar efetuar o download do Grbl para que possa ser enviado para a memória do Arduino.



1 - Acesse: <https://github.com/grbl/grbl> e faça o download do Grbl clicando no botão **Download ZIP**;

2 - Descompactar o arquivo em um local de sua preferência;

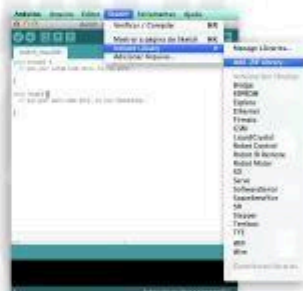
3 - Abra o IDE Arduino;

4 - Clique em **Sketch > Include Library > add .Zip Library** e selecione a pasta que você descompactou o Grbl;

5 - Conecte o cabo USB no seu computador e na sua placa Arduino;

6 - Clique em **Arquivos > Exemplos > e escolha o grbl > grblUpload**;

7 - Depois clique para transferir o código para o Arduino.





## Primeiros Passos - Terminal Serial

Pronto agora você já tem o Grbl instalado dentro do Arduino, você já pode fechar a IDE do Arduino pois não iremos mais utilizá-la.

Agora é preciso escolher um **Terminal Serial** para que possamos utilizar o Grbl.

Você encontra uma lista com várias opções no seguinte endereço:

<https://github.com/grbl/grbl/wiki/Using-Grbl>

Iremos utilizar em nosso tutorial o terminal serial, **Universal Gcode Sender** na versão **1.0.9**.

Você pode efetuar o download no seguinte endereço;

<https://github.com/winder/Universal-G-Code-Sender>



- 1 - Conecte o cabo USB no seu computador e em seu Arduino Uno;
- 2 - Clique em **Port** e selecione a porta serial;
- 3 - Clique em **Baud** e selecione 115200;
- 4 - Clique em Open;
- 5 - Se tudo ocorreu bem você deve ver a seguinte mensagem:

**Grbl 0.9j ['\$' for help]**





## Iniciando o Grbl v0.9j

Primeiro, conecte-se ao Grbl usando o terminal serial de sua escolha, em seguida selecione a porta serial onde seu arduino está instalado e defina a taxa de transmissão (Baud) para 115200, clique em Open para se conectar.

Uma vez conectado você deverá visualizar o aviso, que se parece com isso:

```
Grbl 0.9j ['$' for help]
```

## Configurando o Grbl v0.9j

Para visualizar as configurações, digite na linha de comando **\$\$** e pressione Enter.

O Grbl deve responder com uma lista das configurações atuais do sistema.

Todas essas configurações são persistentes e mantidas na memória EEPROM, então se você desligar seu Arduino os dados serão mantidos na memória e na próxima vez que você ligar eles estarão do mesmo jeito que você deixou.





## Configurações do Sistema

Você pode alterar qualquer valor de configuração digitando na linha de comando o \$ mais o número do parâmetro que você quer alterar e informar o valor a ser inserido.

### \$X = valor (Salva o valor no Grbl)

O \$x=valor salva ou altera um valor de configuração no Grbl, o que pode ser feito manualmente, enviando este comando quando conectado ao Grbl através de um programa terminal serial.

Para alterar manualmente, por exemplo, a opção \$0 para 10us você deve digitar:

### \$0 = 10 (depois dar um enter)

Se tudo correu bem, o Grbl vai responder com um 'ok' e essa configuração é armazenada na memória EEPROM e ficará lá para sempre ou até que seja alterada novamente. Você pode verificar se o Grbl recebeu e armazenou sua nova configuração corretamente, digitando \$\$ para ver as configurações do sistema novamente.

```
$0=10 (step pulse, usec)
$1=25 (step idle delay, msec)
$2=0 (step port invert mask:00000000)
$3=6 (dir port invert mask:00000110)
$4=0 (step enable invert, bool)
$5=0 (limit pins invert, bool)
$6=0 (probe pin invert, bool)
$10=3 (status report mask:00000011)
$11=0.020 (junction deviation, mm)
$12=0.002 (arc tolerance, mm)
$13=0 (report inches, bool)
$20=0 (soft limits, bool)
$21=0 (hard limits, bool)
$22=0 (homing cycle, bool)
$23=1 (homing dir invert mask:00000001)
$24=50.000 (homing feed, mm/min)
$25=635.000 (homing seek, mm/min)
$26=250 (homing debounce, msec)
$27=1.000 (homing pull-off, mm)
$100=314.961 (x, step/mm)
$101=314.961 (y, step/mm)
$102=314.961 (z, step/mm)
$110=635.000 (x max rate, mm/min)
$111=635.000 (y max rate, mm/min)
$112=635.000 (z max rate, mm/min)
$120=50.000 (x accel, mm/sec^2)
$121=50.000 (y accel, mm/sec^2)
$122=50.000 (z accel, mm/sec^2)
$130=225.000 (x max travel, mm)
$131=125.000 (y max travel, mm)
$132=170.000 (z max travel, mm)
```





## Parâmetros do Grbl v0.9j e seus significados

**NOTA:** A numeração de Configurações mudou desde a v0.8c.

### **\$0 = Tamanho do Pulso em microsegundos**

Os drivers controladores de motor são projetados para entender o passo com um determinado tamanho de pulso. Verifique o data sheet ou apenas faça testes com alguns valores. Você precisa de pulsos curtos mas que sejam reconhecidos pelo seu driver. Se os pulsos forem muito longos você pode ter problemas ao executar o sistema em altas taxas de alimentação de pulsos, pois os pulsos de passos podem começar a se sobreporem uns aos outros. Recomendamos algo em torno de 10 microsegundos, que é o valor padrão.

### **\$1 = Atraso da Inatividade do Motor em milisegundos**

Toda vez que seus motores completam um movimento e chegam a uma parada, o Grbl vai atrasar o desativamento dos motores por este valor. Ou você pode sempre manter seus eixos habilitados (alimentados de forma a manter a posição), definindo esse valor para o máximo de 255 milisegundos. Mais uma vez apenas para fixar você pode manter todos os eixos sempre habilitados pela configuração \$1=255.

O atraso da inatividade do motor é o tempo de duração que o Grbl irá manter os motores travados antes de desativar. Dependendo do sistema, você pode definir isso para zero e desativá-lo. Em outros, você pode precisar de 25 - 50 milisegundos para garantir que seu eixo chegue a uma parada completa antes de desativá-lo.







## \$2 = Máscara para Inversão do Sinal dos Passos

Este item faz a inversão do sinal de pulso. Por padrão, um sinal começa de nível baixo e vai a alto, depois de um tempo definido em **\$0**, o valor volta para baixo, até o próximo evento do pulso. Quando invertido, o comportamento do pulso muda de alto para baixo depois de um tempo definido em **\$0** volta para alto.

A maioria dos usuários não precisará usar essa configuração, mas isso pode ser útil para determinados controladores CNC que têm exigências peculiares.

Esta máscara para inversão dos passos é um valor que armazena os eixos para serem invertidos com bit. Você realmente não precisa entender completamente como funciona. Você só precisa digitar o valor de configurações para os eixos que deseja inverter. Por exemplo, se você quiser inverter os eixos X e Z, você irá enviar **\$2=5**.

| Valor | Máscara  | Inverter X | Inverter Y | Inverter Z |
|-------|----------|------------|------------|------------|
| 0     | 00000000 | Não        | Não        | Não        |
| 1     | 00000001 | Sim        | Não        | Não        |
| 2     | 00000010 | Não        | Sim        | Não        |
| 3     | 00000011 | Sim        | Sim        | Não        |
| 4     | 00000100 | Não        | Não        | Sim        |
| 5     | 00000101 | Sim        | Não        | Sim        |
| 6     | 00000110 | Não        | Sim        | Sim        |
| 7     | 00000111 | Sim        | Sim        | Sim        |





### **\$3 = Máscara para Inversão da Direção**

Esta configuração inverte o sinal de sentido para cada eixo. Por padrão, o Grbl assume que os eixos vão se mover em uma direção positiva quando o sinal de sentido é baixo, e uma direção negativa quando o sinal é alto. Muitas vezes, os eixos não se movem desta forma em algumas máquinas.

Esta definição irá inverter o sinal de sentido dos eixos.

Esta máscara para inversão da direção funciona exatamente como a máscara para inversão dos passos. Para configurar essa opção, você só precisa enviar o valor para os eixos que deseja inverter. Use a tabela anterior. Por exemplo, se quiser inverter apenas a direção do eixo Y, você envia \$3=2

### **\$4 = Inverter o Enable do Controlador**

Por padrão, o enable desativa os motores com nível alto e ativa com nível baixo.

Se você precisar inverter essa condição apenas digite \$4=1 se quiser deixar como padrão deixe \$4=0 (Pode ser necessário desligar a alimentação do arduino e ligar novamente para carregar as mudanças).





## \$5 = Inverter os Limites

Por padrão, os limites estão normalmente em alta com resistência de pull-up interno do Arduino. Quando um limite é baixo, o Grbl interpreta isso como disparado. Para o comportamento oposto, basta inverter os limites digitando \$5=1. Desativar com \$5=0. (Pode ser necessário desligar a alimentação do arduino e ligar novamente para carregar as mudanças).

NOTA: Se inverter seu limite, você precisará de um resistor pull-down externo para todos os limites para evitar a sobrecarga e fritá-los.

## \$6 = Inverter o Probe

Por padrão, o probe é realizado normalmente em alta com resistência de pull-up interno do Arduino. Quando o probe é baixo, o Grbl interpreta isso como disparado. Para o comportamento oposto, basta inverter o probe pela digitação de \$6=1. Desativar com \$6=0. (Pode ser necessário desligar a alimentação do arduino e ligar novamente para carregar as mudanças).

NOTA: Se você inverter o probe, você precisará de um resistor pull-down externo com o probe para evitar a sobrecarga e fritá-lo.







## \$10 = Relatório de Status

Esta configuração determina que o Grbl retorne em tempo real um relatório de status. Por padrão o Grbl irá enviar de volta o seu estado de execução (não pode ser desligado), a posição da máquina, e do trabalho (posição da máquina com coordenadas as compensações e outras compensações aplicadas). Três recursos de relatórios adicionais estão disponíveis, que são úteis para interfaces ou usuários que criam suas máquinas, que incluem o buffer serial RX, o uso do bloco do buffer, e os estados limites (como alto ou baixo, mostrado na ordem ZYX).

Para configurá-los, use a tabela abaixo para determinar quais os dados que você gostaria que o Grbl enviasse de volta. Some os valores dos tipos que você gostaria de ver nos relatórios de status. Este é o valor que você usa para enviar para o Grbl. Por exemplo, se você precisa de posição de máquina e de trabalho, some os valores 1 e 2 e envie ao Grbl \$10=3. Ou, se você precisa da posição da máquina somente e estado dos limites, some os valores 1 e 16 e envie ao Grbl \$10=17.

Em geral, é melhor utilizar essa configuração somente se necessário pois eleva a utilização de recursos desnecessariamente.

| Tipo de Relatório   | Valor |
|---------------------|-------|
| Posição da Máquina  | 1     |
| Posição de Trabalho | 2     |
| Buffer              | 4     |
| RX Buffer           | 8     |
| Limites             | 16    |





## \$11 = Desvio de Junções

O desvio de junção é usado pelo sistema que controla a aceleração para determinar quão rápido ele pode mover-se através de junções de segmentos gerados pelo programa g-code. Por exemplo, se o seu programa g-code tem uma curva acentuada de 10 graus chegando e a máquina está se movendo na velocidade máxima, esta definição ajuda a determinar o quanto a máquina precisa desacelerar para ir com segurança sem perder passos.

Calcular isso é um pouco complicado, mas em geral, valores mais elevados dão movimentos mais rápidos, enquanto aumenta o risco de perder passos e posicionamento. Os valores mais baixos fazem com que o sistema que controla a aceleração seja mais cuidadoso levando a máquina a se mover mais lentamente. Então se você quer que sua máquina faça as curvas mais rapidamente você deve aumentar esse valor para acelerar o movimento.

## \$12 = Tolerância de Arco em milímetros

O Grbl faz círculos G2 e G3, subdividindo-os em linhas menores, tal que a precisão do traçado nunca seja inferior a este valor. Você provavelmente nunca terá de ajustar esta definição, uma vez que 0,002 milímetros está bem abaixo da precisão da maioria das máquinas CNC.

Mas se você achar que seus círculos são realizados lentamente, ajuste essa configuração. Os valores mais baixos vão dar maior precisão, mas pode levar a problemas de desempenho, os valores mais elevados levam a uma precisão inferior, mas pode acelerar o desempenho.





## **\$13 = Relatório em Polegadas**

O Grbl tem um recurso de relatório de posicionamento em tempo real para fornecer um feedback ao usuário de onde a máquina está exatamente nesse momento, bem como, os parâmetros para coordenar as compensações e probe. Por padrão, ele é definido para relatar em mm, mas enviando um comando \$13=1, o relatório será exibido em polegadas. \$13=0 para voltar para mm.

## **\$20 = Limites Através do Software**

Os limites através do software são um recurso de segurança para ajudar a prevenir que sua máquina tente se deslocar além dos limites disponíveis de curso, fazendo com que bata ou quebre alguma coisa. Ele funciona por saber os limites máximos de cada eixo e sabendo a posição atual de trabalho da máquina, quando um novo código g-code é enviado para o Grbl, ele vai verificar se é possível efetuar o movimento sem causar acidentes excedendo os limites da máquina. Configurando os limites de software o Grbl emitirá um bloqueio imediato de avanço desligando todos os movimentos e exibindo um alarme indicando o problema.

NOTA: Limites através do software requer que homing seja habilitado e as configurações máximas de cada eixo também, porque o Grbl precisa saber onde ele está. \$20=1 para habilitar, e \$20=0 para desabilitar.





## \$21 = Limites de Hardware

Limites de hardware tem basicamente a mesma função que limites de software, mas usam chaves fim de curso para controlar de forma física os movimentos. Basicamente você conecta algumas chaves (mecânicas, magnéticas ou ópticas) perto do final do curso de cada um dos eixos, ou onde quer que você ache necessário que o movimento seja interrompido. Quando o interruptor dispara, ele irá parar imediatamente todo o movimento e entrar em modo de alarme, o que o obriga a você verificar a sua máquina.

Para utilizar os limites de hardware com o Grbl, os limites são mantidos em nível alto com um resistor pull-up interno, então tudo que você tem a fazer é colocar um interruptor normalmente aberto com o terra e definir limite de hardware com  $\$21=1$ . (Desativar com  $\$21=0$ ) Aconselhamos a tomar medidas de prevenção de interferência elétrica. Se você quiser um limite para ambas as extremidades do curso do eixo, ligue os fios em paralelo assim qualquer um deles irá acionar o limite.

Tenha em mente que um evento de limite de hardware é considerado um evento crítico, onde os motores param imediatamente. O Grbl não terá nenhum feedback sobre onde e qual o posicionamento da sua máquina e vai entrar em um modo de loop infinito ALARME, dando-lhe a oportunidade de verificar sua máquina e forçá-lo a redefinir o Grbl. Lembre-se que é puramente um recurso de segurança.







## \$22 = Ciclo de Homing

Para aqueles que estão iniciados no mundo do CNC, o ciclo de homing é usado para localizar uma posição conhecida e consistente em uma máquina cada vez que você iniciar o seu Grbl entre as sessões. Em outras palavras, você sabe exatamente onde você está em um determinado momento, de cada vez. Digamos que você começa a usinagem de algo ou está prestes a iniciar a próxima etapa em um trabalho e você precisa parar, quando reiniciar o Grbl ele não terá idéia de onde ele estava. Se você tem homing, você tem sempre o ponto de referência zero da máquina, a partir daí o que você tem a fazer é executar o ciclo de homing e retomar de onde parou.

Para configurar o ciclo de homing para o Grbl, você precisa ter interruptores de limite em uma posição fixa, ou então o seu ponto de referência fica confuso. Normalmente, eles são configurados no ponto mais distante em X+, Y+, e Z+ de cada um dos eixos. Por padrão, no ciclo de homing o Grbl move o eixo Z positivo primeiro para limpar a área de trabalho e, em seguida, move os eixos X e Y ao mesmo tempo no sentido positivo.

Quando o homing está habilitado o Grbl vai bloquear todos os comandos g-code até que você execute um ciclo de homing. Nenhum eixos se movimentará, a menos que o bloqueio seja desativado com (\$X).

\$22=1 habilita o homing e \$22=0 volta a desativar.

\$x = desabilita mensagem de alerta e \$h = Procura o homing

**NOTA:** Confira o config.h para mais opções de homing para usuários avançados. Você pode desativar o bloqueio de homing na inicialização, configurar quais os eixos que se movem pela primeira vez durante um ciclo de homing e em que ordem, e muito mais.





## **\$23 = Máscara para Inverter a Direção do Homing**

Por padrão, o Grbl assume que os seus interruptores de limite estão no sentido positivo, o primeiro movimento será no eixo Z positivo, então os próximos movimentos serão simultaneamente nos eixos X e Y positivos até localizar seus limites de curso. Se a sua máquina tem um interruptor de limite na direção negativa, a máscara para inverter a direção do homing pode inverter a direção dos eixos. Ele funciona exatamente como a inversão do passo e da direção, onde tudo que você tem a fazer é enviar o valor correspondente da tabela para indicar quais os eixos que deseja inverter e procurar na direção oposta.

\$23 = Usar a tabela de mascaras

## **\$24 = Homing Feed em mm/min**

Ao iniciar o ciclo de homing sua máquina irá procurar o interruptor de fim de curso em uma velocidade mais alta, depois de encontrá-los, move-se a uma velocidade mais baixa até chegar ao ponto zero da máquina. Defina essa opção para um valor que seja possível voltar ao ponto zero sempre com precisão e repetibilidade.

## **\$25 = Homing Seek em mm/min**

É a velocidade em que sua máquina irá procurar as chaves de fim de curso. Ajuste para a maior velocidade possível mas que garanta que a máquina não colida muito fortemente com os interruptores.





## **\$26 = Homing Debounce em milisegundos**

Sempre que um interruptor de fim de curso for acionado é necessário verificar se o acionamento foi de fato pela máquina ter encontrado o fim de curso ou se o acionamento foi dado através de ruído elétrico ou mecânico, ou seja, bounce é o sinal alto e baixo em milisegundos antes que ele se estabilize.

Para resolver isso você precisa estabilizar o sinal que poder ser por hardware com algum tipo de condicionador de sinal ou por software com um pequeno atraso da chegada do sinal.

Defina este valor de atraso para que o seu sistema possa obter homing repetível. Na maioria dos casos, de 5-25 milisegundos é bom.

## **\$27 = Homing Pull-Off em milímetros**

Quando sua máquina completar o homing ela poderá voltar um determinado valor em milímetros para impedir que o acionamento dos fim de cursos sejam acionados acidentalmente caso eles estejam configurados em ambos os lados do seu eixo.





## \$100, \$101 e \$102 = X,Y e Z Passos por Milímetros

O Grbl precisa saber quantos passos são necessários para mover sua ferramenta. Para calcular os passos/mm para um eixo da sua máquina você precisa saber:

- Quantos **mm** a sua máquina se moveu após uma revolução.
- Quantos passos para seu motor fazer uma revolução (normalmente 200)
- Quantos micropassos você configurou em seu controlador (tipicamente 1, 2, 4, 8 ou 16).

Dica: Utilizar valores altos de micropassos (por exemplo, 16) pode reduzir o torque do motor de passo, então use o menor que lhe dá a resolução do eixo desejado e as propriedades de funcionamento confortáveis.

**Os passos/mm pode ser calculados da seguinte forma:**

$$\text{passos\_por\_mm} = \frac{(\text{passos\_por\_revolução} * \text{micropassos})}{\text{mm\_percorridos\_revolução}}$$

Calcule este valor para cada eixo e escreva essas configurações para o Grbl.







### **\$110, \$111 e \$112 = X,Y e Z Taxa Máxima de mm/min**

Isso define a taxa máxima que cada eixo pode se mover. Sempre que o Grbl executa um movimento, ele verifica antes se o movimento a ser executado irá ultrapassar a taxa máxima. Isto significa que cada um dos eixos tem a sua própria velocidade independente, que é extremamente útil para a limitação do eixo Z tipicamente mais lentos.

A maneira mais simples para determinar esses valores é testar cada eixo um de cada vez, aumentando lentamente as configurações de taxa e movê-lo. Por exemplo, para testar o eixo X, enviar ao Grbl algo como G0 X50 com suficiente distância de deslocamento de modo a que o eixo acelera a sua velocidade máxima.

Você saberá que você bateu o limiar de taxa máxima quando seus motores pararem de funcionar. Ele vai fazer um pouco de barulho, mas não irá estragar seu motor. Introduza um ajuste de 10-20% abaixo deste valor, então você pode testar novamente até chegar a uma taxa adequada. Em seguida, repita para os outros eixos.

NOTA: Esta definição de taxa de máxima também define a velocidade do G0.





### **\$120, \$121 e \$122 = X,Y e Z Aceleração em mm/s<sup>2</sup>**

Isso define os parâmetros de aceleração dos eixos em mm/segundo ao quadrado.

Com um valor mais baixo o Grbl fará movimentos mais lentos, enquanto um valor maior produz movimentos mais rápidos. Muito parecido com o ajuste da taxa máxima, cada eixo tem o seu próprio valor de aceleração e são independentes uns dos outros. Isto significa que um movimento multi-eixo só irá acelerar levando em consideração o valor do menor eixo.

A maneira mais simples para determinar os valores para esta configuração é testar individualmente cada eixo aumentando lentamente valores até atingir o limite do motor. Em seguida, finalizar a sua configuração de aceleração com um valor de 10-20% abaixo deste valor máximo absoluto.

É altamente recomendável que você teste com alguns programas g-code pois as vezes a carga em sua máquina é diferente quando se deslocam em todos os eixos juntos.

### **\$130, \$131 e \$132 = X,Y e Z Tamanho da Área Útil em mm**

Isso define o curso máximo de ponta a ponta para cada eixo em milímetros. Isto só é útil se você tem Limites de software (e homing) ativado, pois isso só é usado pelo recurso de limites de software do Grbl para verificar se você excedeu seus limites da máquina com um comando de movimento.



## Obrigado

Espero que esse material tenha sido útil para que você aprimore seu conhecimento e faça a sua CNC funcionar da melhor forma possível.

Caso queira mais informações assista o canal Atividade Maker no youtube, lá você vai encontrar mais informações sobre o Grbl v0.9j.

## Como entrar em contato?

Você pode entrar em contato pelos seguintes meios:



[www.atividademaker.com.br](http://www.atividademaker.com.br)



[www.facebook.com/atividademaker](https://www.facebook.com/atividademaker)



[www.youtube.com/c/AtividadeMakerOficial](https://www.youtube.com/c/AtividadeMakerOficial)



[contato@atividademaker.com.br](mailto:contato@atividademaker.com.br)



**ANEXO 2**  
**DATASHEET MOTOR DE PASSO NEMA 17**