



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO  
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**PHELLIPE PETERSON LIMA BEZERRA**

**IMPLEMENTAÇÃO DE COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO EM UMA  
FURADEIRA DE BANCADA**

**FORTALEZA**

**2018**

PHELLIPE PETERSON LIMA BEZERRA

**IMPLEMENTAÇÃO DE COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO EM UMA  
FURADEIRA DE BANCADA**

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

Orientador: Prof. Dr. Francisco Elicivaldo Lima.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- B469i Bezerra, Phellipe Peterson Lima.  
Implementação de comando numérico computadorizado em uma furadeira de bancada / Phellipe Peterson Lima Bezerra. – 2018.  
57 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2018.  
Orientação: Prof. Dr. Francisco Elicivaldo Lima.
1. Desenvolvimento de uma máquina CNC. 2. Automação. 3. Furadeira de bancada. 4. Comando Numérico Computadorizado. 5. Usinagem. I. Título.
- CDD 620.1
-

PHELLIPE PETERSON LIMA BEZERRA

**IMPLEMENTAÇÃO DE COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO EM UMA  
FURADEIRA DE BANCADA**

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

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

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

---

Prof. Dr. Pierre Maurice Christophe Lamary  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Luiz Soares Junior  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Primeiramente a Deus.

Aos meus pais, Antônio Carlos e Antônia  
Ineuda, ao meu irmão Antônio Carlos Junior.

Em especial a minha esposa Anna Beatriz.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Antônio Carlos e Ineuda Lima, ao meu irmão, Antônio Carlos Junior, minha esposa Anna Beatriz, e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu atingisse este objetivo pessoal, sendo fundamentais para minha formação como pessoa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Francisco Elicivaldo Lima por toda a contribuição e suporte para que fosse possível a realização deste trabalho.

Aos professores Pierre Maurice Christophe Lamary e Luiz Soares Junior pelo tempo dedicado e contribuições importantes dedicadas a este trabalho.

A Equipe Siará Baja, onde pude evoluir profissionalmente e conhecer pessoas que foram me acompanharam e foram fundamentais para minha formação acadêmica.

Ao projeto Centro de Empreendedorismo da UFC, onde evoluir pessoalmente e profissionalmente, conhecendo o vasto mundo do empreendedorismo mudando minha mentalidade e forma de encarar os obstáculos da vida.

Agradeço finalmente a Universidade Federal do Ceara e a todos os demais professores do curso de engenharia mecânica por compartilharem seus conhecimentos fornecendo habilidades necessárias para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

"Não podemos resolver nossos problemas com o mesmo pensamento que tínhamos quando os criamos".

**Albert Einstein**

## RESUMO

Em um mundo cada vez mais tecnológico a otimização de processos e redução de custos é uma realidade, neste contexto a busca pela automatização de máquinas é de grande interesse. Processos de fabricação tradicionais foram automatizados, porém não se encontra projetos de baixo custo de desenvolvimento de uma máquina CNC, integrando uma mesa de coordenadas XY a uma furadeira de bancada para a movimentação no eixo Z. Para isto, é demonstrado com detalhes todas as etapas do desenvolvimento do projeto, a desmontagem do sistema de acionamento original da furadeira de bancada. É abordado os cálculos para validação da potência utilizada pelo motor de passo. São abordados detalhes do projeto e construção do suporte metálico de fixação do motor de passo na estrutura pré-existente na furadeira de bancada, utilizando para o projeto o método de simulação por elementos finitos. Também é abordado as etapas de configuração com o software Mach3, habilitando os sinais de saída da placa controladora e definição de limites operacionais da máquina ferramenta. Após é abordado o procedimento de calibração do eixo Z, demonstrando o método utilizado para mensurar o deslocamento real. Concluída a automação da furadeira de bancada, foi integrada a uma mesa de coordenadas XY e feito um teste de funcionamento. O resultado obtido foi uma máquina CNC funcional de baixo custo de fabricação, com componentes de fácil aquisição, podendo ser utilizada pequenos trabalhos de acabamento em peças de madeira, bem como fins educacionais.

**Palavras-chave:** Usinagem. CNC. Mach3. Furadeira de Bancada. Automação. Desenvolvimento. Projeto. Máquina.



## ABSTRACT

In an increasingly technological world, the optimization of processes and cost reduction is a reality, in this context the demand for automation of machines is of high interest. Traditional manufacturing processes have been automated but there aren't low-cost development projects of a CNC machine, integrating an XY coordinate table to a drill for movement on the Z axis. For this, it is demonstrated in detail all the steps of the development of the project, the disassembly of the original drive system of the drill. Are discussed the calculations for power validation used by the stepper motor. It is approached details of the design and construction of the metallic support of fastening of the step motor in the pre-existing structure in the bench drill, using for the project the method of simulation by finite elements. It also approaches the configuration steps with the Mach3 software, enabling the output signals from the controller board and defining operational limits of the machine tool. After the Z-axis calibration procedure is approached, it shows the method used to measure the actual displacement. After completing the automation of the drill, it was integrated to an XY coordinate table and made a functional test. The result was a functional low-cost CNC machine with easy-to-use components and small finishing work on wood pieces as well as educational purposes.

**Keywords:** Machining. Computer Numerical Control. Stepping motor. Mach3. Drill. Automation. Development. Project. Machine

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes de um sistema CNC.....	20
Figura 2 - Imagem do motor de passo. ....	23
Figura 3 - Funcionamento do modo de passo completo wave. ....	24
Figura 4 - Funcionamento do modo de passo completo normal. ....	24
Figura 5 - Funcionamento do modo de meio passo.....	25
Figura 6 - Furadeira de bancada FB 16 .....	27
Figura 7 – Informações técnicas do motor de passo NEMA 23 (escala em mm) .....	29
Figura 8 - Desenho técnico acoplamento flexível .....	29
Figura 9 – Acoplamento eixo motor de passo e furadeira .....	30
Figura 10 - Visão geral da placa STB4100.....	30
Figura 11 – Possibilidades de conexão da placa controladora STB4100.....	31
Figura 12 – Imagem do driver TB6600 .....	32
Figura 13 – Visão geral do sistema de movimentação vertical original.....	33
Figura 14 – Ponta do eixo de acionamento do mandril.....	34
Figura 15 - Eixo de controle da movimentação vertical.....	34
Figura 16 - Mandril da furadeira de bancada. ....	35
Figura 17 - Arranjo montagem acionamento.....	35
Figura 18 - Modelo 3D de parte da furadeira. ....	36
Figura 19 – Modelo 3D suporte inicial.....	37
Figura 20 - Detecção de interferência do suporte com um parafuso. ....	37
Figura 21 - Novo modelo de suporte em formato “U” .....	38
Figura 22 - Dimensões do projeto final do suporte metálico (escala em mm).....	39
Figura 23 - Indicações das forças no modelo 3D na simulação inicial. ....	40
Figura 24 - Indicações dos coeficientes de segurança no modelo 3D na simulação inicial. ....	40

Figura 25 - Esquema em cores da simulação da deformação total do modelo 3D.....	41
Figura 26– Indicações das forças no modelo 3D na simulação final. ....	41
Figura 27– Indicações dos coeficientes de segurança no modelo 3D na simulação final. ....	42
Figura 28– Indicações dos coeficientes de segurança no modelo 3D na simulação final. ....	42
Figura 29– Braço de fixação do suporte do motor de passo.....	43
Figura 30 - Montagem do “Braço” de suporte na furadeira .....	43
Figura 31 - Esquema eletrônico do circuito de comando dos motores de passo .....	45
Figura 32 - Detecção do Hardware de Controle de Movimento.....	46
Figura 33 - Configuração da unidade padrão .....	46
Figura 34 - Configuração dos sinais de saída .....	47
Figura 35 - Configuração do limite de curso da furadeira.....	47
Figura 36 - Seleção do eixo Z para calibração. ....	48
Figura 37 - Início do procedimento de calibração. ....	49
Figura 38 - Registro de deslocamento no eixo Z.....	49
Figura 39 - Informação do deslocamento real do eixo Z para calibração. ....	50
Figura 40 - Especificação de Torque x RPM do Motor Nema 23 .....	50
Figura 41 - Parâmetros de configuração do Motor de passo .....	51
Figura 42 - Furadeira de bancada automatizada com o motor de passo.....	51
Figura 43 - Visão geral da furadeira automatizada integrada a mesa de coordenadas. ....	52
Figura 44 - Ligação eletrônica.....	52
Figura 45 - Teste prático da máquina CNC. ....	54
Figura 46 - Resultado teste prático. ....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações gerais do motor de passo NEMA 23.....	28
Tabela 2 – - Seleção do motor de passo NEMA 23.....	28
Tabela 3 – Micro passos do motor de passo controlado pelo drive .....	32
Tabela 4 – Componentes utilizados e seus custos .....	53

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

NC	Numerical Control
CNC	Comando Numérico Computadorizado
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacture
ISO	Organização Internacional de Normalização
APT	Automatically Programmed Tools

## LISTA DE SÍMBOLOS

°	Grau
∅	Diâmetro
”	polegada
in	polegada
mm	milímetro
cm	centímetro
m	metro
g	grama
kg	Quilograma
kgf	Quilograma força
N	newton
s	segundo
min	minuto
V	volt
A	ampere

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	18
<b>2.1 TECNOLOGIA CNC</b> .....	18
<b>2.2 COMPONENTES DE UM SISTEMA CNC</b> .....	19
<b>2.3 PROGRAMAÇÃO CNC</b> .....	20
<b>2.4 MÉTODOS DE PROGRAMAÇÃO</b> .....	20
2.4.1 Programação Manual.....	21
2.4.2 Programação APT.....	21
2.4.3 Sistemas Cad/Cam.....	22
<b>2.5 MOTORES DE PASSO</b> .....	22
<b>2.6 MODOS DE PASSO</b> .....	23
2.6.1 Modo Passo Completo.....	23
2.6.1.1 Modo Wave .....	23
2.6.1.2 Modo Normal .....	24
2.6.2 Meio-Passo .....	25
2.6.3 Micro-Passo.....	26
<b>2.7 SOFTWARE DE CONTROLE CNC</b> .....	26
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	27
<b>4 DESMONTAGEM DO SISTEMA DE ACIONAMENTO</b> .....	33
<b>5 PROJETO E FABRICAÇÃO DO SUPORTE DO MOTOR DE PASSO</b> .....	36
<b>6 MONTAGEM MECANICA DO SUPORTE</b> .....	44
<b>7 LIGAÇÃO ELETRICA DOS COMPONENTES</b> .....	45
<b>8 CONFIGURAÇÃO NO SOFTWARE MACH 3</b> .....	45
<b>9 COMPONENTES UTILIZADOS E SEUS RESPECTIVOS CUSTOS</b> .....	53

<b>10 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>54</b>
<b>11 CONCLUSÃO.....</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXO I – PROGRAMA TESTE .....</b>	<b>58</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Em um mercado global altamente competitivo para bens de consumo e industriais, os avanços nos processos de fabricação são fundamentais para as empresas se manterem competitivas. (DOYLE et al., 1978; KALPAKJIAN; SCHMID, 2009). Norteadas pelas tendências do mercado, a evolução dos processos de fabricação garante às empresas níveis altos de produtividade e qualidade buscando a redução dos custos de produção.

Nos primeiros processos de fabricação não havia remoção de excesso de material(cavaco), eram utilizadas as técnicas de fundição e de conformação mecânica (martelamento). Com o passar dos anos os consumidores se tornam mais exigentes e os produtos por consequência devem satisfazer critérios rigorosos de design, especificações e padrões, com isto os métodos de produção evoluíram para operações cada vez mais complexas. (DOYLE et al., 1978; KALPAKJIAN; SCHMID, 2009).

Diante do avanço da tecnologia e uso de softwares, a proposta deste trabalho visa apresentar, com detalhes, etapas do desenvolvimento de uma máquina CNC, bem como equipamentos necessários para sua implementação com seus respectivos custos.

A pesquisa também tem como objetivo demonstrar o controle do eixo z de uma furadeira de bancada utilizando o software Mach 3 através de um motor de passo. Propõe expor o grau de dificuldade do desenvolvimento do projeto, integrando-o com uma mesa de coordenadas XY também controlada numericamente.

A primeira etapa deste trabalho trata da apresentação dos materiais utilizados para o desenvolvimento do mesmo. Posteriormente foi realizado o projeto da estrutura de fixação do motor de passo ao eixo de controle do mandril da furadeira, foram analisados os esforços sofridos pela estrutura, para garantir a sustentação das cargas e evitar falhas mecânicas.

A segunda etapa apresenta a configuração e operação com o software, o controle da velocidade e da direção dos motores de passo. Abordando a calibração do deslocamento vertical do mandril da furadeira, obtendo o número de passos por milímetro. Exibindo a interface gráfica para interação com o usuário e computador.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 TECNOLOGIA CNC

O termo CNC vem do inglês “*Computer Numeric Control* que significa “Controle numérico computadorizado”. O CNC é um método de controle dos movimentos de máquinas através da interpretação direta de instruções codificadas (letras e números). O sistema interpreta os dados e gera o sinal de saída utilizado para controle dos componentes da máquina.

O primeiro protótipo de máquina foi construído no 'MIT' instituto de tecnologia de Massachusetts na década de 50, ela recebia informações através de uma fita perfurada e era capaz de fabricar peças com variação dimensional aceitável sem intervenção do operador. Esta nova forma de controlar máquinas reduziria consideravelmente os custos de produção, logo atraiu a atenção da indústria de máquinas ferramentas.

Pouco tempo após, nos Estados Unidos, ao se reconhecer um possível grande avanço na fabricação de aviões e material bélico inicia-se a produção com fresadoras controladas numericamente para fabricar peças para empresas ligadas à construção de aeronaves voltadas a Força Aérea Americana. Na década de 60, criaram o “G-code” (Código G) para padronizar a linguagem para definir o processo de usinagem, tendo em vista que antes cada fabricante tinha sua própria linguagem.

Década de 70, o aumento de custo da mão de obra durante a e o surgimento dos primeiros programas CAD ‘Computer Aided Manufacturing’ (Manufatura assistida por computador) substituindo rapidamente os desenhos em papel, contribuiu significativamente para a popularização das máquinas controladas numericamente (NC) dentro das indústrias substituindo muitas máquinas ferramentas manuais.

O controle numérico computadorizado (CNC) é uma evolução do controle numérico (NC), ele substituiu o controle por hardware do controle por software. O CNC é um sistema em que um “computador” é utilizado para controlar a máquina, onde o programa pode ser preparado separadamente através de softwares de projeto, como também diretamente na própria máquina através do teclado e tela nativa.

Dentre as principais vantagens da usinagem em máquinas CNC tem-se:

- Boa precisão dimensional mesmo em formas complexas;
- Alta produtividade, reduzindo assim custos com a fabricação;
- Redução do tempo de usinagem, devido ao rápido “setup” sem interferência do operador;

- Calibração facilitada devido ao suporte de dispositivos eletrônicos com elevada precisão.

Dentre as principais desvantagens:

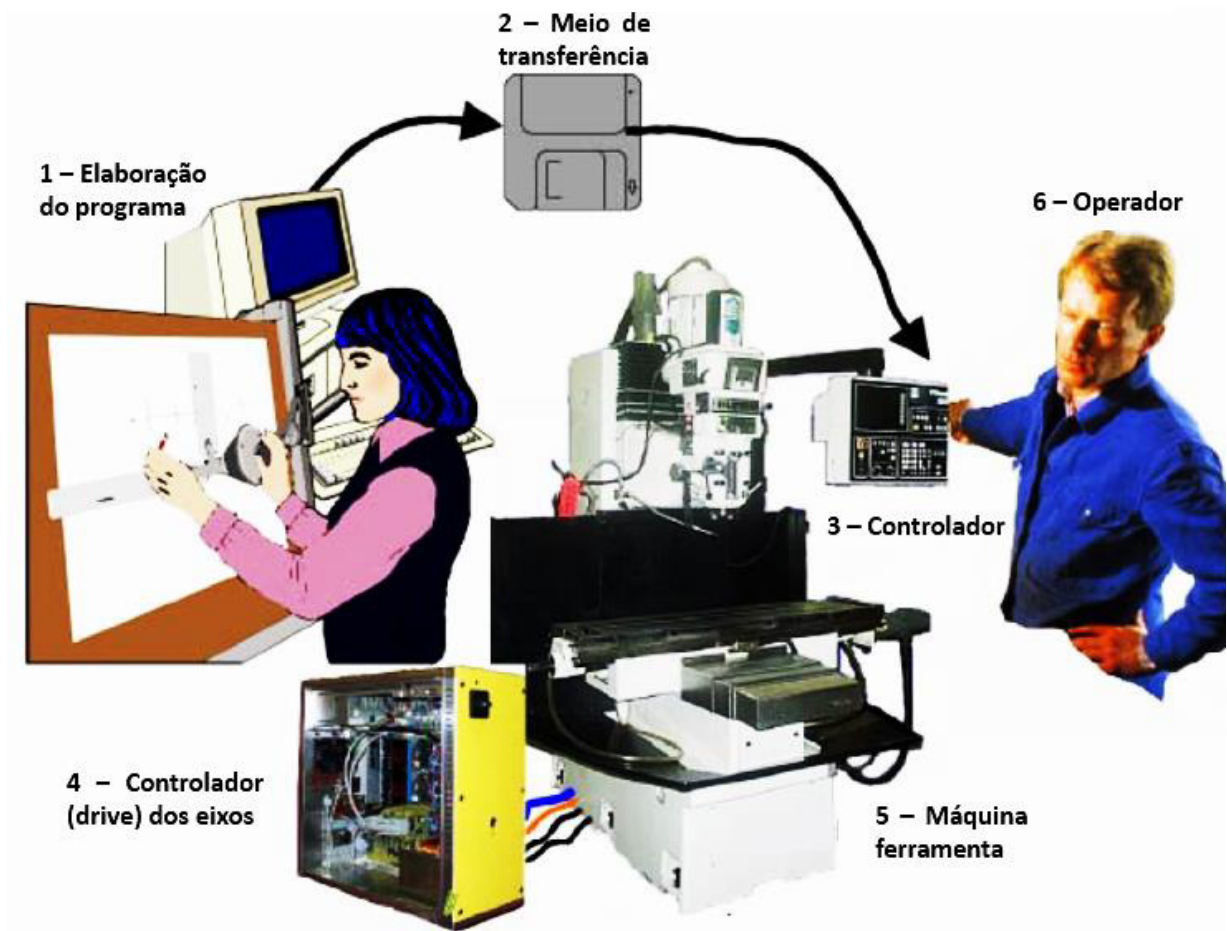
- Maior custo inicial, devido ao elevado custo de aquisição da máquina;
- Requer manutenção mais especializada, gerando um maior custo de manutenção;
- Elevado tempo de programação, portanto não é economicamente viável para produção em pequena escala.

## **2.2 COMPONENTES DE UM SISTEMA CNC**

Os principais componentes de uma máquina CNC podem ser divididos em 6 partes (ARTSOFT EUA, 2008).

1. Um programa em linguagem de programação que a máquina CNC é capaz de ler. O programa pode ser feito com o auxílio dos sistemas CAD/CAM ou através da programação manual.
2. Um meio de transferir o arquivo de programação da peça que se deseja fabricar para o controlador da máquina.
3. Um controlador da máquina que é responsável pela leitura e interpretação do programa da peça que se deseja fabricar.
4. Os controladores que são responsáveis por receber os sinais e transforma-los em movimentos através dos motores.
5. A própria máquina ferramenta que é controlada pelos servos motores gerando o movimento.
6. O Operador controlando a operação podendo ligar e desligar o motor do Spindle, controlar sua velocidade, ligar e desligar o liquido refrigerante e principalmente garantir o bom funcionamento do sistema, verificando se o programa não está tentando mover algum eixo além do limite da máquina (ARTSOFT EUA, 2008).

*Figura 1 – Componentes de um sistema CNC*



Fonte: ArtSoft EUA (2008)

## 2.3 PROGRAMAÇÃO CNC

Para garantir que a peça/produto final fique com as características desejadas, tem-se que assegurar que houve um bom processo de planejamento. Dentre as atividades mais importantes temos a elaboração do código, que será o dado de entrada para o controle dos movimentos da máquina. A elaboração de um programa CNC envolve diversas informações sobre a peça a ser usinada, por isso normalmente é realizada por profissional experiente, visto que qualquer erro durante esse processo poderá fazer com que a peça/produto perca sua finalidade.

## 2.4 MÉTODOS DE PROGRAMAÇÃO

Queiroz e Stemmer, em 1986, classificam os métodos de programação CNC em: programação manual, programação do tipo APT, sistemas gráfico-interativos e sistemas CAD/CAM.

### **2.4.1 PROGRAMAÇÃO MANUAL**

A programação manual é realizada sem o auxílio de um computador. Neste método o programa é escrito através de uma linguagem universal de programação padronizada pela norma internacional ISO 6983, nomeada de G-CODE, em português Código G.

O código G é, atualmente, a linguagem universal para controle das máquinas ferramentas, tem como intuito reduzir as diferenças entre os códigos de máquinas de diferentes fabricantes, pois antes de sua padronização ficava a cargo dos fabricantes a definição da linguagem utilizada, o que dificultava o aprendizado e evolução da tecnologia (INTERNATIONAL STANDARD, 2009).

O código G não tem como intenção que todo e qualquer humano compreenda o código, portanto é necessário que haja um treinamento prévio antes da programação de fato. No entanto é uma linguagem compacta e simples onde cada comando é executado por uma função representada por uma letra seguida de um número.

A sintaxe do código G pode ser dividida em três blocos de programação: funções preparatórias, funções miscelâneas e funções auxiliares.

As funções preparatórias definem o modo que a operação será executada definindo parâmetros, que servirão de suporte para o resto programa. As funções são responsáveis por definir sistema de coordenadas incrementais ou absolutas, definir método de rotação (velocidade de corte constante ou RPM constante bem como limitar a rotação máxima do eixo árvore. Dentre estas estão incluídas as funções responsáveis por movimentar a ferramenta, seja por interpolação linear como por interpolação circular. (SILVA; SIDNEI, 2002)

### **2.4.2 PROGRAMAÇÃO APT**

A programação em APT do inglês “Automatically Programmed Tools” que significa "Ferramentas Automaticamente Programadas" veio para facilitar a programação de peças de geometria complexa e sua dificuldade de verificação, devido à antes dos sistemas computadorizados a programação era feita em sua grande maioria através da programação manual.

Na programação APT é declarada a geometria, como pontos, linhas e planos, dando-se nome para cada um (P1, L1 e PL1, respectivamente). Essas declarações devem possuir todos os dados necessários para identificar a peça. Após isso são declarados comandos para definir a movimentação da ferramenta referenciando as geometrias anteriormente definidas, por

exemplo, no comando GOTO/P1 a ferramenta se deslocará para o ponto 1 declarado anteriormente. Em seguida temos declarações do pós-processador, onde são descritos os movimentos da ferramenta, como por exemplo o comando FEDRAT/6.0 determina a velocidade de avanço.

Após escrita a programação em ATP tem que ser compilado por um programa para CLDATA (Cutter Location Data) que é uma lista das posições da ferramenta. Para então passar por um programa para traduzir a linguagem em CLDATA para a linguagem de programação manual utilizada pela máquina ferramenta.

### **2.4.3 SISTEMAS CAD/CAM**

É o método mais utilizado atualmente para a elaboração de programas em CNC. Esse método consiste em transformar as peças desenhadas por programas CAD “Computer Aided Design” em português Criação Assistida por Computador em programação que pode ser lida pela máquina ferramenta através do sistema CAM “Computer Aided Manufacturing” em português Manufatura Assistida por Computador.

No sistema CAM, são definidos parâmetros e variáveis do processo como tolerância, sobremetal, parâmetros de corte entre outros, para a geração automática das trajetórias ferramentas. Esse sistema veio com o intuito de facilitar a programação de formas de alta complexidade, facilitando a conferência que se dá pelo próprio sistema de apoio a manufatura (CAM).

### **2.5 MOTORES DE PASSO**

Os Motores de Passo são dispositivos eletromecânicos que convertem pulsos elétricos em movimentos mecânicos. O motor de passo é capaz de dividir uma rotação em pequenos incrementos angulares denominados “passos”. São utilizados principalmente quando se necessita de grande controle sobre a precisão, por este motivo são largamente utilizados nas máquinas CNC's.

*Figura 2 - Imagem do motor de passo.*



Fonte: Neo Motion (2018).

## **2.6 MODOS DE PASSO**

Os passos são os pequenos incrementos que o motor consegue dividir uma rotação. Para funcionamento o motor faz uso de bobinas alinhadas, que quando energizadas atraem o rotor fazendo-se alinhar com o eixo determinado por elas gerando uma variação angular chamada de Passo. O número de passos é dado pelo número possível de alinhamentos entre o rotor e suas bobinas. Logo, quando deseja-se aumentar o número de passos de um motor logo mais energia será empregada devido ao maior uso de suas bobinas e polos no rotor.

Dependendo do modo de energização das bobinas podemos ter os seguintes modos de passo: Passo completo, Meio passo, Micro passo.

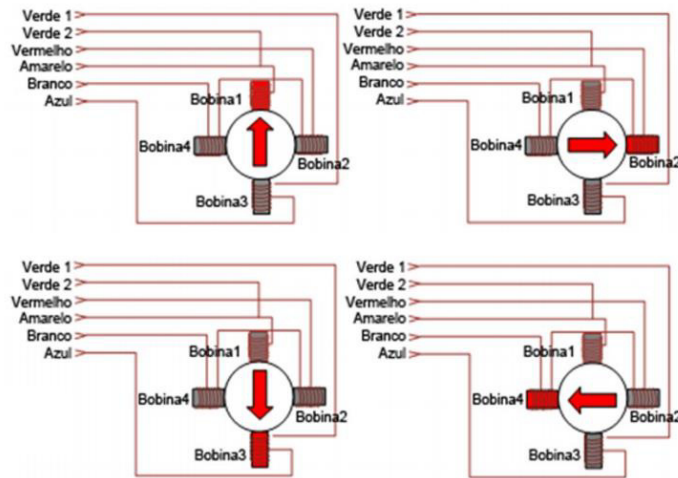
### **2.6.1 MODO PASSO COMPLETO**

Neste modo o rotor do motor se desloca em passos completos a cada pulso. Que podem ser divididos em dois modos (Wave e Normal).

#### **2.6.1.1 Modo Wave**

Neste modo de passo completo, temos somente uma fase energizada a cada passo. Para entendermos melhor, exemplificaremos seu funcionamento com um motor de passo de 4 bobinas.

Figura 3 - Funcionamento do modo de passo completo wave.

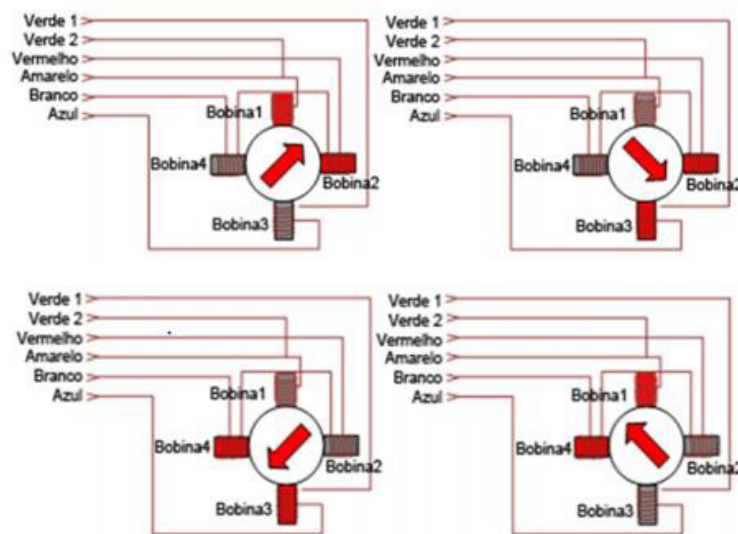


Fonte: Agnihotri (2011, Adaptado)

### 2.6.1.2 Modo Normal

Neste modo de passo completo, temos ao invés de uma fase energizada por vez como no modo wave temos duas fases energizadas ao mesmo tempo a cada passo. Com isso rotor atinge o equilíbrio em uma posição intermediária, temos um consumo maior de energia e por consequência um maior torque. Segue o exemplo de funcionamento em um motor de passo de 4 bobinas.

Figura 4 - Funcionamento do modo de passo completo normal.



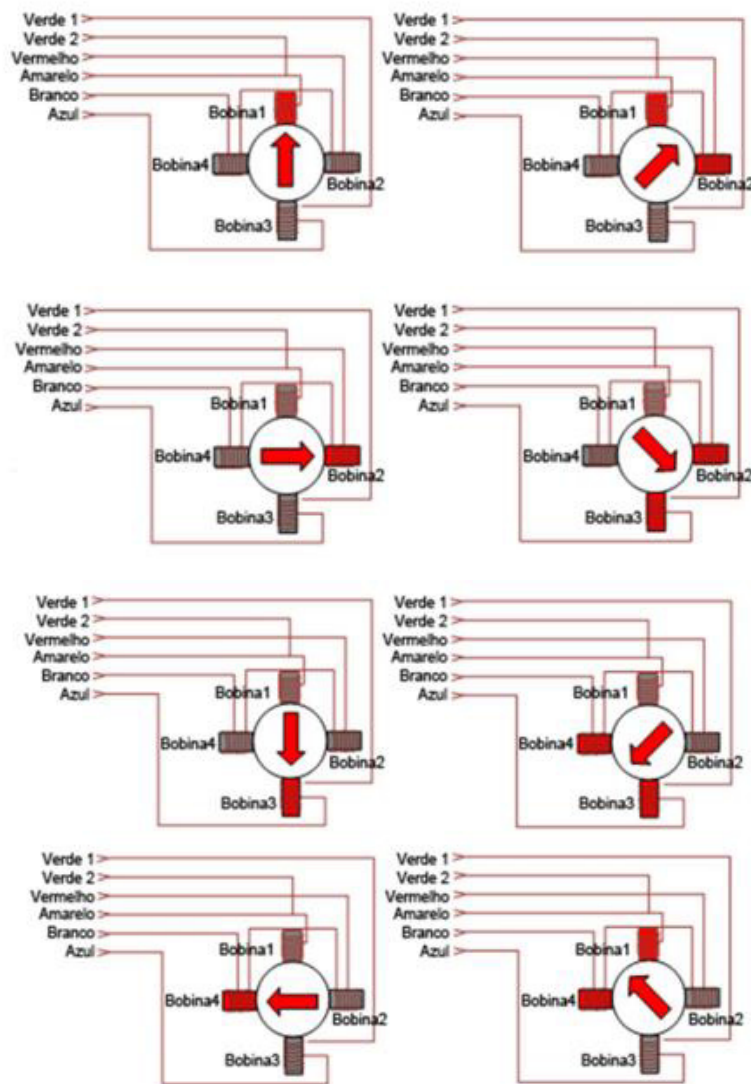
Fonte: Agnihotri (2011, Adaptado)



## 2.6.2 MEIO-PASSO

Neste modo de funcionamento, temos o acionamento alternado ora com uma bobina energizada, ora com as duas, com isso conseguimos duplicar a quantidade de passos necessários para dar uma volta completa do rotor, como podemos ver a seguir. O torque durante este modo sofre variações devido ao acionamento de alternado de 2 bobinas e 1 bobina.

*Figura 5 - Funcionamento do modo de meio passo.*



Fonte: Agnihotri (2011, Adaptado)

### **2.6.3 MICRO-PASSO**

Com a evolução da tecnologia viu-se que ao energizar duas bobinas com correntes diferentes conseguia-se posições diferentes da intermediária como vimos no modo normal de maneira proporcional a diferença de corrente aplicada, com isso consegue-se dividir um passo em diversos micro passos, aumentando a precisão do movimento.

## **2.7 SOFTWARE DE CONTROLE CNC**

O software utilizado para controle dos motores de passo será o MACH3 produzido por uma empresa localizada nos Estados Unidos da América chamada Artsoft. O software foi escolhido devido seu amplo uso dentre usuários e fabricantes, bem como seu fácil manuseio facilitando o processo de aprendizado.

Ele possibilita o controle de variados tipos de equipamentos com várias configurações e aplicações diferenciadas dentre elas podemos citar: fresadoras, máquinas de corte a plasma, máquinas de corte por jato d'água, máquinas de corte a laser. Entre essas vantagens ele também possui uma interface completamente customizável, que vai desde recursos visuais até configurações mais complexas. Seu controle se dá principalmente através de sua porta paralela, porém o software permite outras formas de comunicação, como USB.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A furadeira utilizada neste trabalho foi a FB 16 fabricada pela empresa SOMAR, ideal para aplicações como marcenarias, serralherias, oficinas em geral, carpintarias e hobby.

*Figura 6 - Furadeira de bancada FB 16*



Fonte: SOMAR (2018).

Segundo informações do fabricante a furadeira, possui uma potência de  $\frac{1}{2}$  cavalo, sendo alimentada por uma tensão de 220 V, com capacidade de corte até 16 mm e com profundidade de corte máxima de 60 mm com acionamento manual, feito através de uma manivela como podemos ver na figura 12. Portanto para que pudéssemos acoplar o motor de passo foi desmontado o sistema de acionamento mecânico.

Para controlar o movimento no eixo Z. O motor de passo escolhido, foi o NEMA 23. Esse motor fabricado pela empresa Neo Motion foi escolhido devido a sua compatibilidade com o programa Mach 3, por possuir um bom torque (15 kgf.cm, como podemos ver na tabela 2) e como ele foi capaz movimentar a mesa de coordenadas sem problemas, decidimos seguir com sua utilização para movimentação do eixo z, levamos em conta para realização do trabalho também sua disponibilidade.

Tabela 1- Especificações gerais do motor de passo NEMA 23

Especificação	Valor
Ângulo do passo	1,8°
Número de passos	200
Enrolamento	Bifilar
Temperatura de operação máx.	80°C
Temperatura ambiente	-10°C ~ 50°C
Resistência de isolamento	100VAC / 500VDC
Rigidez dielétrica	500VAC / 1min
Classe de isolamento	B
Esforço radial máximo	0,03mm - 500g de carga
Esforço axial máximo	0,03mm - 700g de carga
Detent torque	400gf.cm
Inércia rotórica	370g.cm <sup>2</sup>
Quantidade de fios	6
Peso	0,98kg

Fonte: Neo Motion (2018).

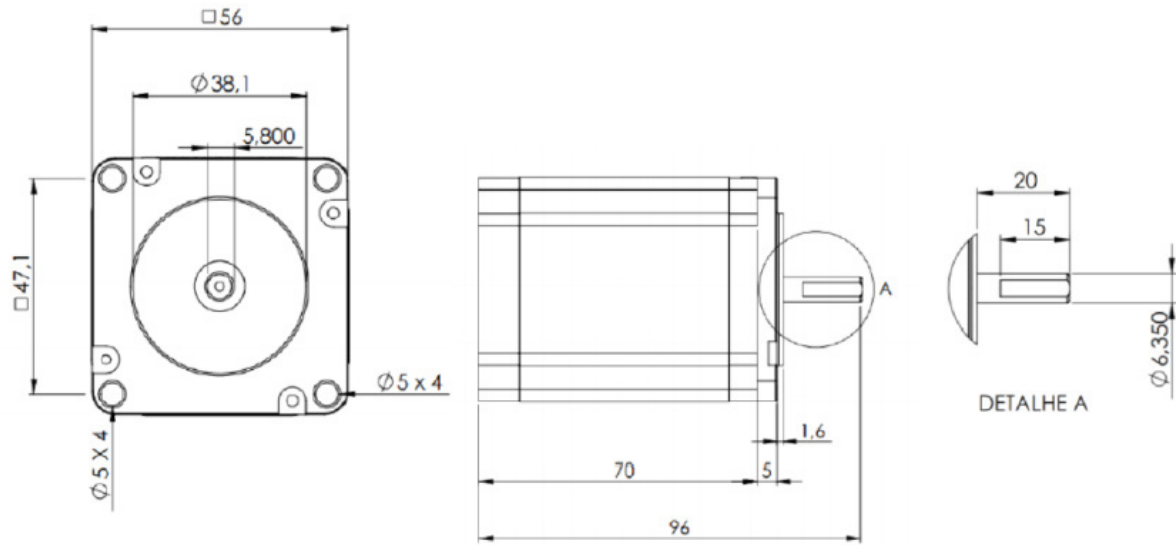
Tabela 2 - Seleção do motor de passo NEMA 23

NEMA	MODELO	CONEXÃO		HOLDING TORQUE (kgf.cm)	CORRENTE (A/fase)	TENSÃO (V/fase)	RESISTÊNCIA (Ω/fase)	INDUTÂNCIA (mH/fase)	PESO (kg)
23	AK23/15F6FN1.8	Bipolar	Série	15	2,1	4,2	2	8	0,98
		Unipolar		10,5	3	3	1	2	

Fonte: Neo Motion (2018).

O eixo rotor do motor de passo, segundo as especificações do fabricante, conforme a figura 13, possui um diâmetro de 6,35 mm e o eixo da mesa possui 11,8 mm, medida essa que foi medida por um paquímetro analógico, contudo, é necessário haver alguma ligação entre os dois para que sejam coaxiais e tenham a mesma velocidade angular de rotação.

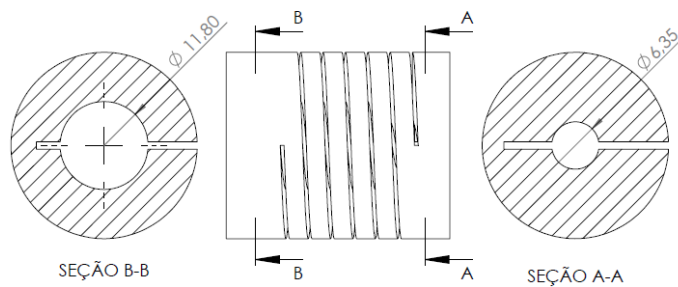
Figura 7–Informações técnicas do motor de passo NEMA 23 (escala em mm)



Fonte: Neo Motion (2018).

Para transmissão do torque do motor de passo para o eixo da furadeira, foram utilizados acoplamentos flexíveis com as dimensões dos diâmetros do eixo do motor de passo e da furadeira. Os acoplamentos flexíveis suavizam os movimentos em árvores que tenham movimentos bruscos, sendo capaz de absorver certos desalinhamentos devido a sua estrutura flexível.

Figura 8- Desenho técnico acoplamento flexível



Fonte: Autor

Após a ligação do eixo do motor de passo ao da mesa de coordenadas, foi obtido um arranjo parecido com o da figura 15 gerando altas tensões de flexão devido ao peso do motor de passo aproximadamente 1 quilograma, indicando a necessidade de fabricação de um suporte.

*Figura 9 – Acoplamento eixo motor de passo e furadeira*

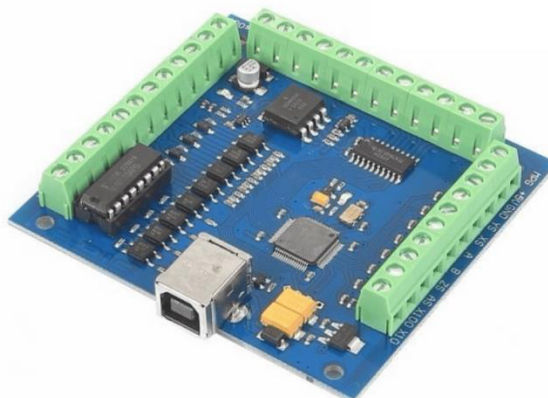


Fonte: Marcelo Rodrigues (2018)

O projeto e a fabricação de um suporte metálico garantiram a fixação do motor de passo alinhado ao eixo de acionamento do mandril, eliminando as tensões de flexão, sendo o motor de passo fixado ao suporte através de 4 parafusos, facilitando a montagem.

Para implementar o Comando Numérico Computadorizado (CNC) utilizou-se o programa Mach 3 para controle dos movimentos integrando-o com a placa STB4100 e o driver TB 6600 para controle do eixo Z da furadeira de bancada. A placa STB4100 tem suporte para controle de 4 eixos, podendo ser conectados motores de passo ou servos motores, 3 eixos de translação X, Y e Z e outro eixo independente que podemos controlar é a velocidade de rotação identificado como eixo A.

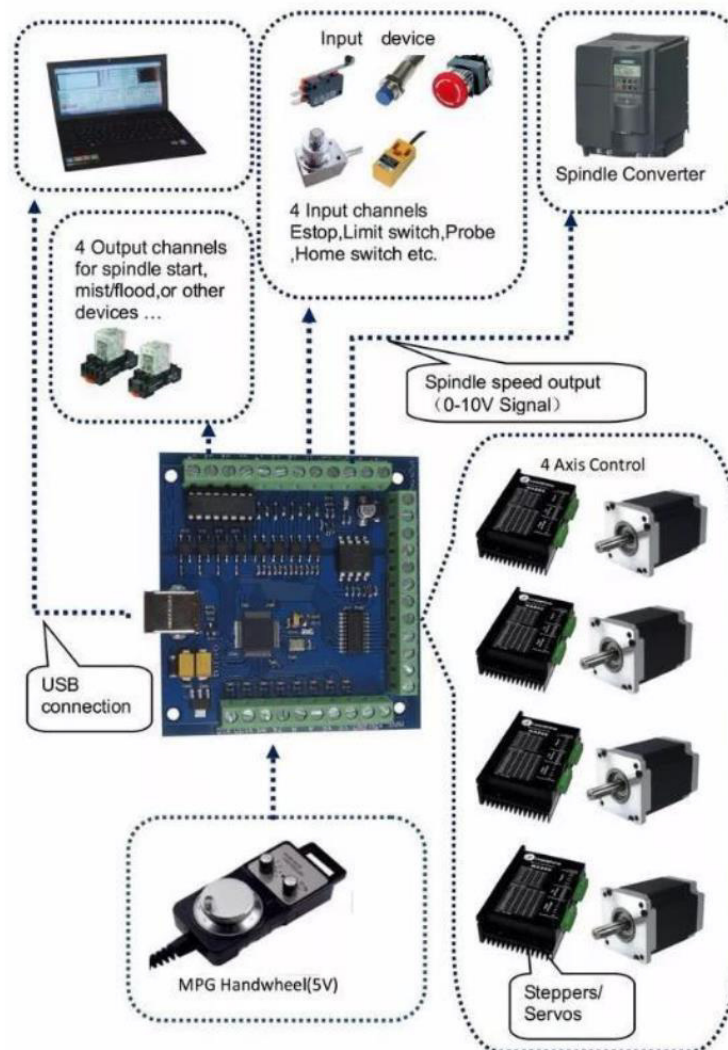
*Figura 10 - Visão geral da placa STB4100*



Fonte: Tools CNC (2018)

Possui também 4 entradas para acessórios diversos para máquinas-ferramentas como por exemplo botão de parada de emergência, sensor para limite dos eixos, etc. Têm ainda 4 saídas para controle de dispositivos em geral como os de acionamento do spindle ou do fluido refrigerante. Além de possuir uma conexão para manivela eletrônica (MPG) e uma saída DAC 0-10V PWM para regular a velocidade do spindle.

*Figura 11 – Possibilidades de conexão da placa controladora STB4100*

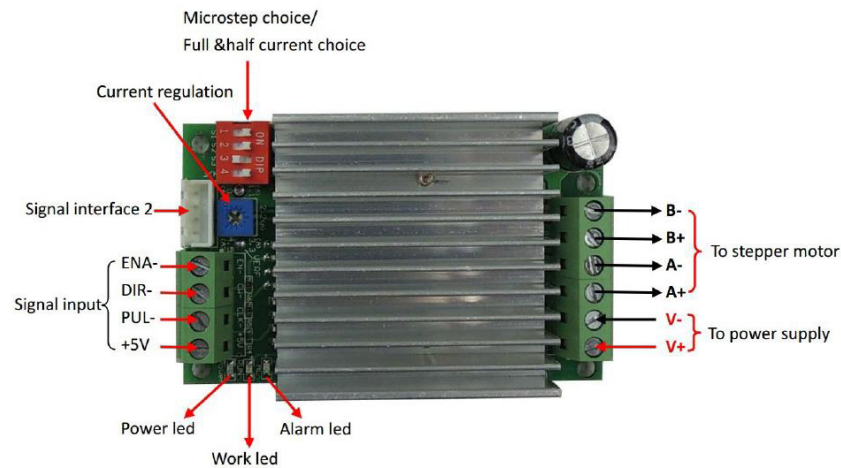


Fonte: MACH3 [201-?].

Os drivers TB6600 por sua vez são responsáveis por receber os sinais eletrônicos da placa STB4100 e passa-los para o motor de passo através de suas bobinas. O driver oferece suporte para energizar duas bobinas que são representadas como bobinas A (A+ e A-) e bobina B (B+ e B-). Tendo uma corrente de saída ajustável de até 4.5 A. Atendendo o motor de passo

que possui uma corrente de 2,1 A por fase. O driver também pode ser utilizado com uma fonte de 12 V até 40 V.

*Figura 12–Imagem do driver TB6600*



Fonte: Marlin P. Jones & Assoc. Inc. [201-?].

O driver possibilita também o controle da quantidade de micro passos por revolução do por meio de 3chaves (S1, S2 e S3), que dependendo da combinação mudam o número de micro passos como se pode ver na tabela 3. Já a chave S4 é utilizada para escolher entre corrente completa se estiver na posição desligada ou meia corrente se estiver ligada.

*Tabela 3 - Micro passos do motor de passo controlado pelo driver*

Microstep	S1	S2	S3
1	OFF	OFF	ON
2	OFF	ON	OFF
4	ON	OFF	OFF
8	ON	OFF	ON
16	ON	ON	OFF

Fonte: Marlin P. Jones & Assoc. Inc. [201-?].

Após a ligação elétrica dos componentes é realizada as etapas de configuração, habilitando os sinais de saída da placa controladora, configurando limites de movimentação e velocidade do motor de passo. A calibração do eixo de acionamento é realizada para que se tenha precisão dimensional.



#### 4 DESMONTAGEM DO SISTEMA DE ACIONAMENTO

O primeiro passo foi retirar as porcas que prendiam a mola de retorno presentes na ponta do eixo oposta a manivela. O procedimento foi realizado com bastante cuidado pois a mola mesmo com o mandril na posição superior, possuía uma certa energia potencial elástica, que ao ser aliviada poderia causar ferimentos.

*Figura 13 – Visão geral do sistema de movimentação vertical original.*



Fonte: Autor (2018).

Após retirar a mola o mandril ficou na sua posição mais baixa, permitindo a retirada do eixo de controle do mandril, apenas com um leve alívio de peso do mandril, puxando lateralmente o eixo.

Com o eixo de acionamento exposto, pode-se retirar as dimensões necessárias para o projeto do suporte do motor de passo, bem como simular a conexão com o mesmo.

*Figura 14 – Ponta do eixo de acionamento do mandril*



Fonte: Autor (2018).

Para controle da movimentação vertical do mandril, o sistema de transferência de movimento é do tipo pinhão-cremalheira, onde o pinhão presente no eixo de acionamento, o qual estará acoplado o motor de passo transfere o movimento de rotação para a cremalheira presente no mandril da furadeira, sendo esta a que produz o trabalho de fato, realizando o processo de furação.

*Figura 15 - Eixo de controle da movimentação vertical*



Fonte: Autor (2018).

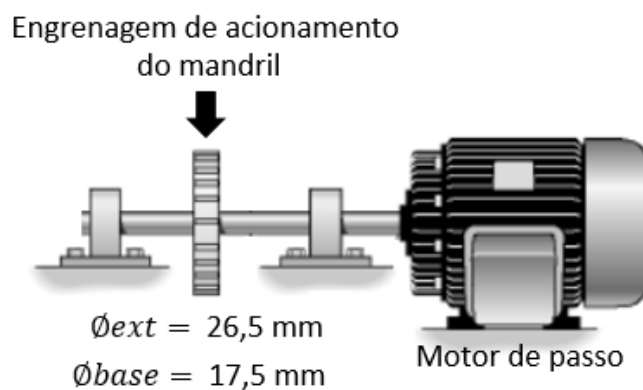
*Figura 16 - Mandril da furadeira de bancada.*



Fonte: Autor (2018).

O mandril da furadeira pesa 1,895 kg um peso considerável para a montagem do sistema, portanto calculou-se o toque gerado pelo seu peso. Com um arranjo parecido ao da figura 17. Tendo os diâmetros externo e de base da engrenagem de acionamento. É possível calcular este torque.

*Figura 17 - Arranjo montagem acionamento*



Fonte: Autor (2018).

Considerando o maior diâmetro onde se obtém o maior toque, tendo assim o pior cenário, embora sabe-se que o ponto de contato das engrenagens é o diâmetro primitivo. Sabendo que o torque gerado é a força vezes a distância de aplicação da força, tem-se:

$$T = 18,584 \text{ N} * 0,01325 \text{ m}$$

$$T = 0,24625 \text{ N.m}$$

$$T \approx \underline{2,51 \text{ kgf.cm}}$$

Como o motor de passo utilizado tem torque máximo de 15 kgf.cm pode-se calcular a vantagem mecânica, do sistema de acionamento.

$$\text{Vantagem Mecânica} = \frac{15 \text{ kgf.cm}}{2,51 \text{ kgf.cm}} \approx 5,97$$

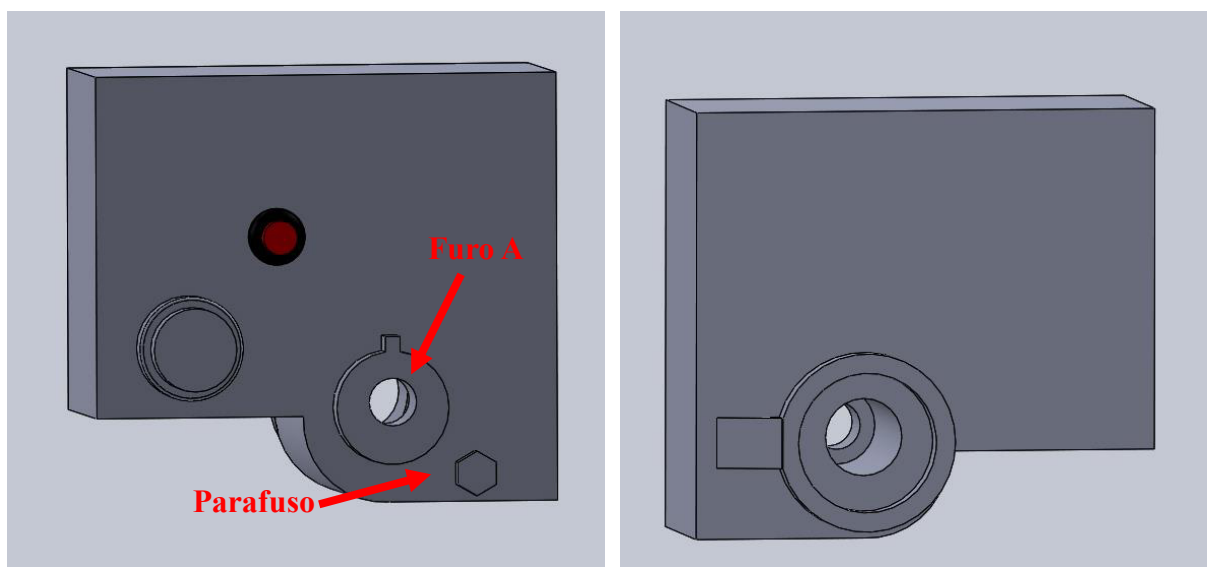
Viabilizando a utilização deste motor de passo no presente conjunto mecânico. Devido a vantagem mecânica de aproximadamente seis.

## 5 PROJETO E FABRICAÇÃO DO SUPORTE DO MOTOR DE PASSO

De posse das dimensões foi desenhado este modelo 3D com o auxílio do software SolidWorks, foi percebido os seguintes pontos: primeiro é que o Furo A não é centralizado com o diâmetro que está inserido, o outro ponto é que temos um parafuso bem próximo de onde o suporte será fixado. Estes pontos devem ser considerados para o projeto do suporte.

O projeto do suporte metálico, deve atender algumas premissas, dentre elas, suportar a carga gerada pelo processo de furação, ser de baixo custo e não precisar fazer alterações na furadeira de bancada para seu encaixe.

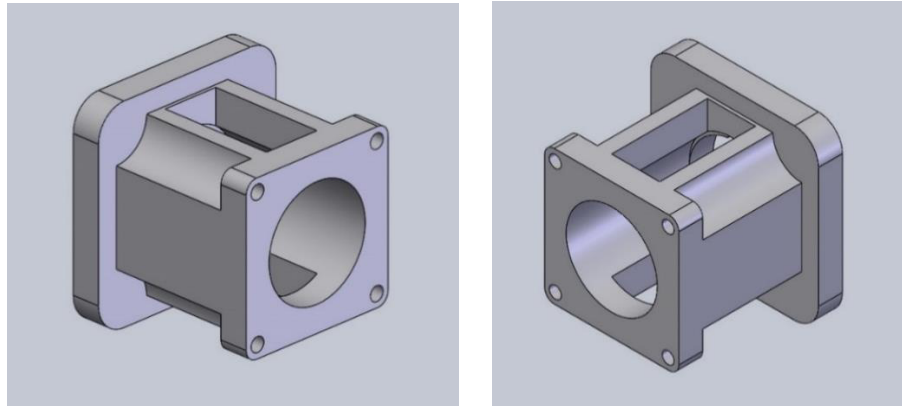
*Figura 18 - Modelo 3D de parte da furadeira.*



Fonte: Autor (2018)

Inicialmente surgiu a ideia de fazê-lo como um suporte totalmente fechado, pensando principalmente nas tensões de torção geradas pelo processo fabricação (furação) e o próprio processo de movimentação em si.

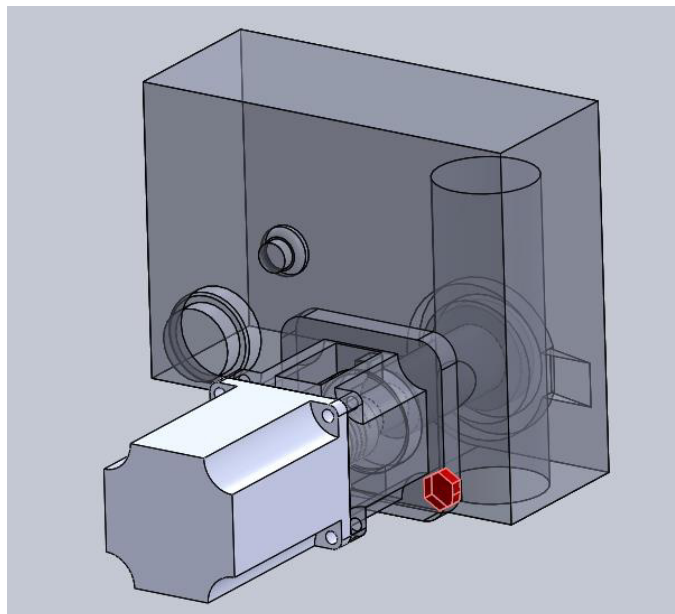
Figura 19 – *Modelo 3D suporte inicial.*



Autor (2018)

Porem este modelo de suporte teria um alto custo de fabricação devido a sua forma, fugindo das nossas premissas para o mesmo, ele poderia ser feita através de uma impressora 3D, porem ele não se sustentaria por si só, precisaria de um outro ponto de apoio para poder ser impresso ele teria que ser feito em uma peça única de grande porte, retornando a trava do custo de fabricação. Além disso ao montá-lo no nosso modelo 3D percebemos que o parafuso mencionado anteriormente estava causando interferência, detectada através de uma função do software Solid Works.

Figura 20 - *Deteção de interferência do suporte com um parafuso.*

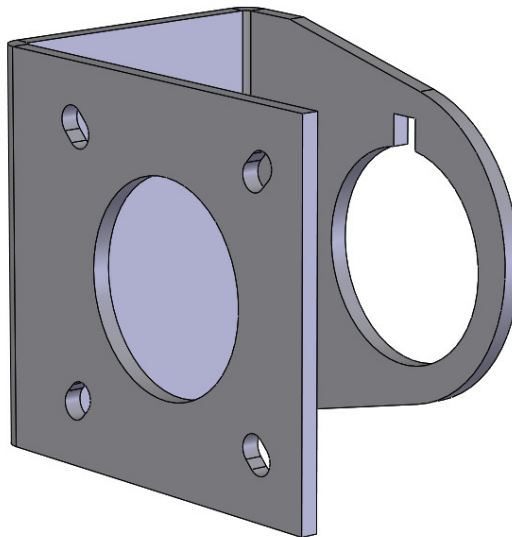


Autor (2018)

Portanto precisávamos, facilitar o método de fabricação, para isso foi idealizada a utilização de chapa de aço dobrada. Com posse do modelo 3D um novo suporte foi desenhado, desta vez levando em conta seu método de fabricação. O aço utilizado foi o AISI 1015 devido a sua disponibilidade no mercado. A espessura deveria levar em conta também o fato de que o processo de dobramento tem parâmetros como raio de dobramento que dependem da espessura, também como o limite físico da máquina utilizada. Logo para facilitar a fabricação foi pensado em uma espessura suficiente, para resistir os esforços sem que houvesse um superdimensionamento.

Para uma aproximação inicial foi considerada a espessura de 1/8 in (3,175 mm) do modelo do seguinte formato:

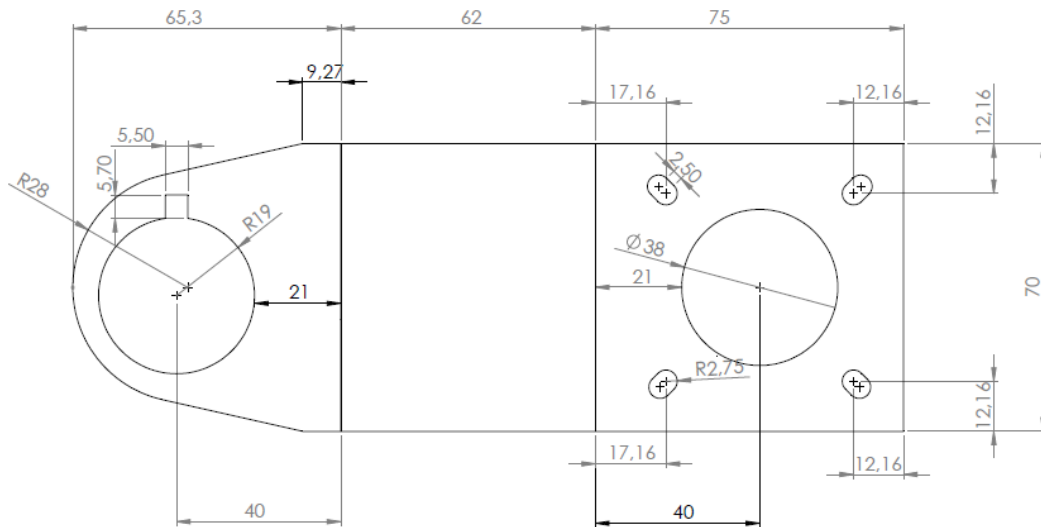
*Figura 21 - Novo modelo de suporte em formato “U”*



Fonte: Autor

O suporte foi idealizado em formato de “U” para facilitar o aperto das conexões com o acoplamento flexível. Como sua fabricação exigia alta precisão, como podemos ver a complexidades de medidas na figura 20, os cortes foram realizados em uma máquina de corte a plasma CNC. Porém este modelo é mais frágil quanto a esforços de torção em comparação com o modelo anterior.

Figura 22 - Dimensões do projeto final do suporte metálico (escala em mm)



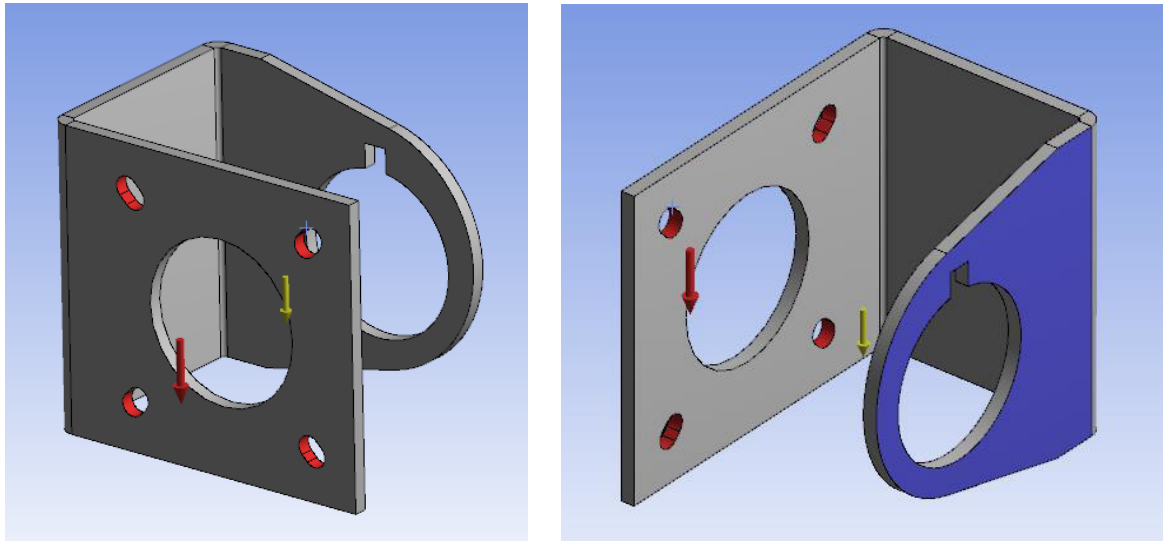
Fonte: Autor

As dobras foram feitas em uma dobradeira manual, com bastante cuidado para garantir o alinhamento entre os furos, o que é essencial para o bom funcionamento do conjunto motor de passo – furadeira.

Após o projeto da peça fez-se uma análise para saber se esses materiais suportariam a carga que o peso do motor de passo causaria para isto foi realizada uma análise de elementos finitos no software ANSYS utilizando o modelo 3D desenvolvido no software SolidWorks 2016. Esta análise teve como objetivo obter os coeficientes de segurança para o limite de escoamento e para o limite de resistência à tração, bem como as tensões de Von Mises atuantes na peça. Neste método de simulação a geometria é subdividida em pequenas partes, denominadas de elementos. Os elementos finitos são conectados entre si por pontos, os quais são denominados de nós compondo o que se denomina de malha. Esta divisão da geometria em pequenos elementos permite resolver um problema complexo, subdividindo-o em problemas mais simples.

A simulação inicial consistiu na fixação da face em azul, enquanto se aplica uma carga representada na cor vermelha perpendicular ao são de 10 N nos rasgos dos parafusos, a qual representa a força peso do motor que segundo o fabricante 980 gramas, arredondando para cima para termos uma margem de confiança maior. A força representada em amarelo é o peso do suporte. Fazendo a simulação desta forma temos o pior cenário mesmo sabendo que a face 1 não ficará fixa na furadeira, pois uma de nossas premissas é não realizar alterações permanentes na máquina.

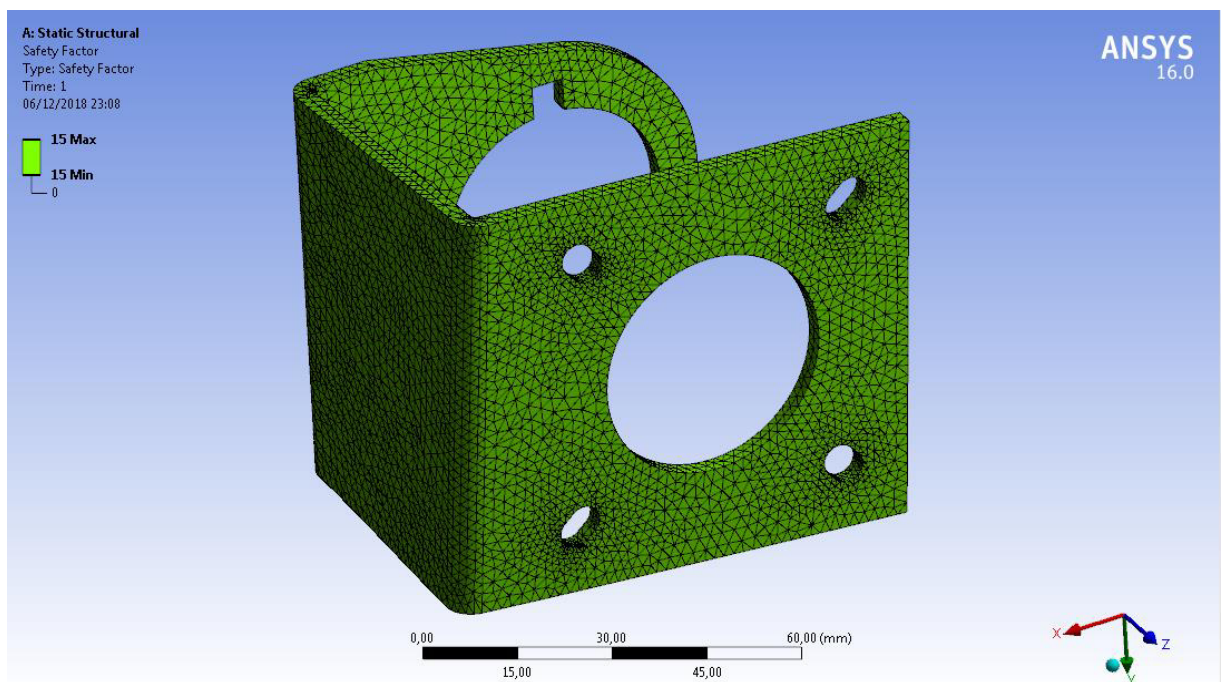
Figura 23 - Indicações das forças no modelo 3D na simulação inicial.



Fonte: Autor

Nesta configuração temos, com as propriedades mecânicas do aço A36, laminado a quente, temos um fator de segurança de 15 em toda a peça, este fator é o máximo que o software é capaz de calcular. Portanto podemos afirmar que a peça irá suportar o peso do motor com um elevado grau de confiança. Causando uma deformação insignificante.

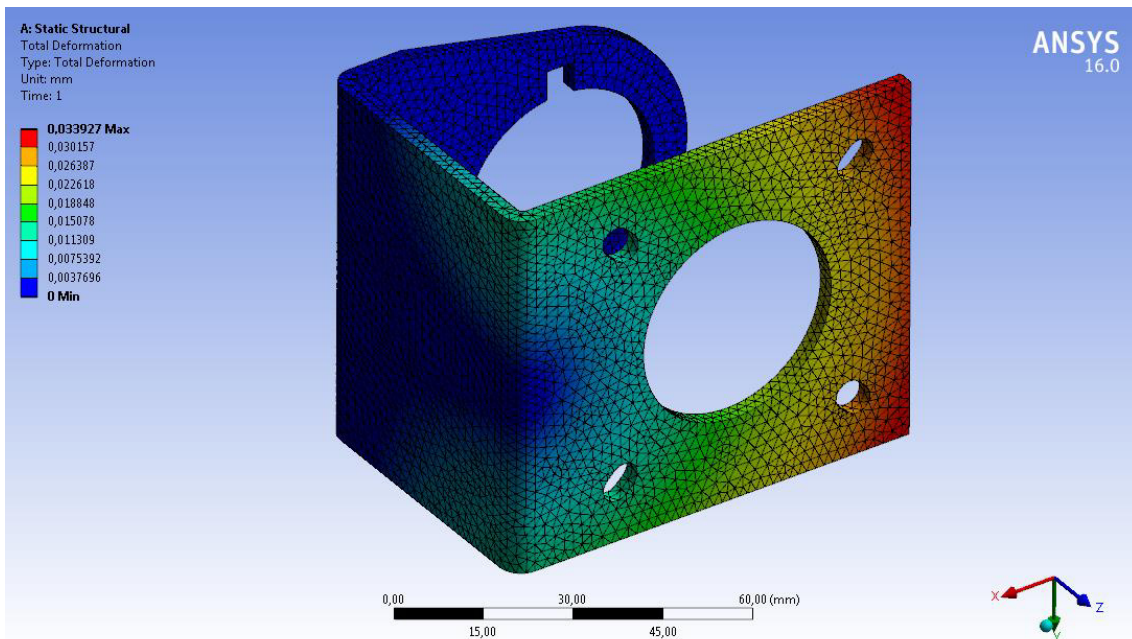
Figura 24 - Indicações dos coeficientes de segurança no modelo 3D na simulação inicial.



Fonte: Autor



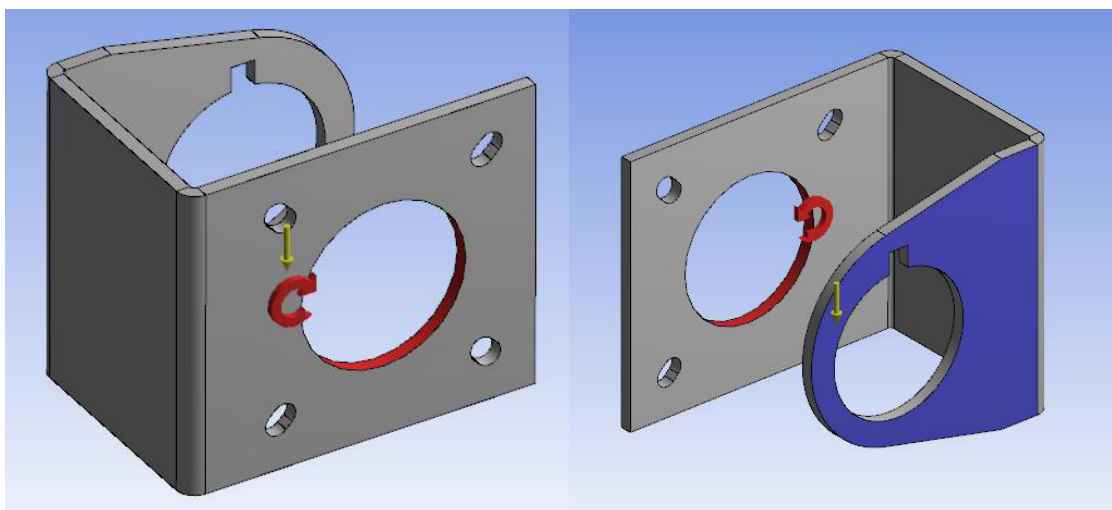
*Figura 25 - Esquema em cores da simulação da deformação total do modelo 3D*



Fonte: Autor

Agora precisávamos saber se o modelo iria suportar os esforços causados pelo processo de furação, para isto consideramos o torque máximo que o motor é capaz de fornecer, que é de 15 kgf.cm, segundo especificações do fabricante. De posse dessas informações foi aplicado um momento ao suporte, conforme a figura 24.

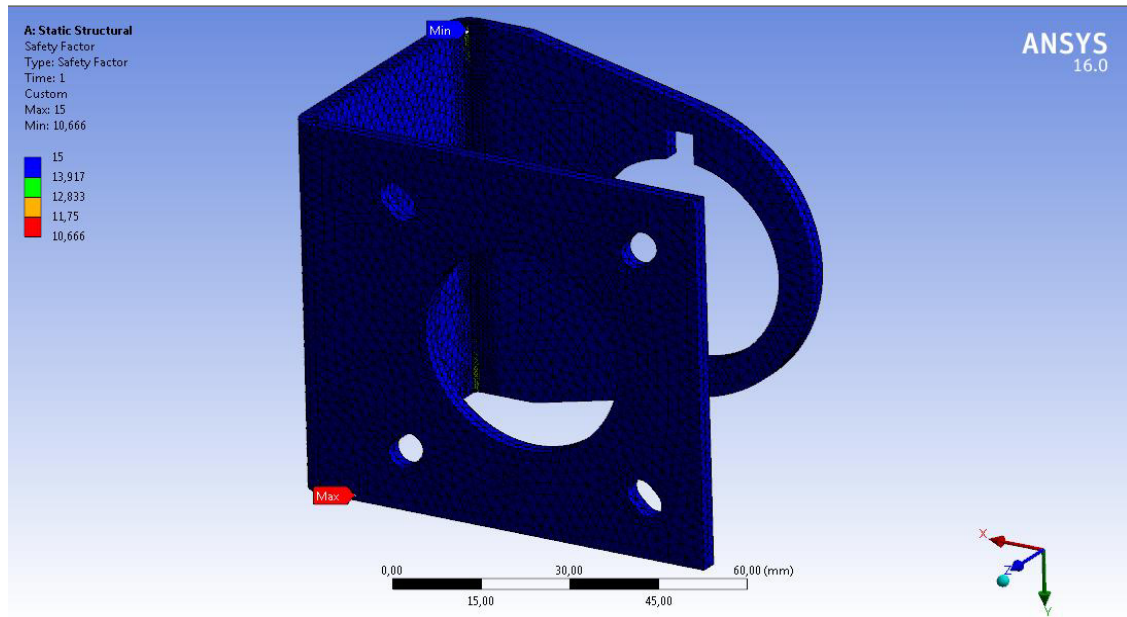
*Figura 26– Indicações das forças no modelo 3D na simulação final.*



Fonte: Autor

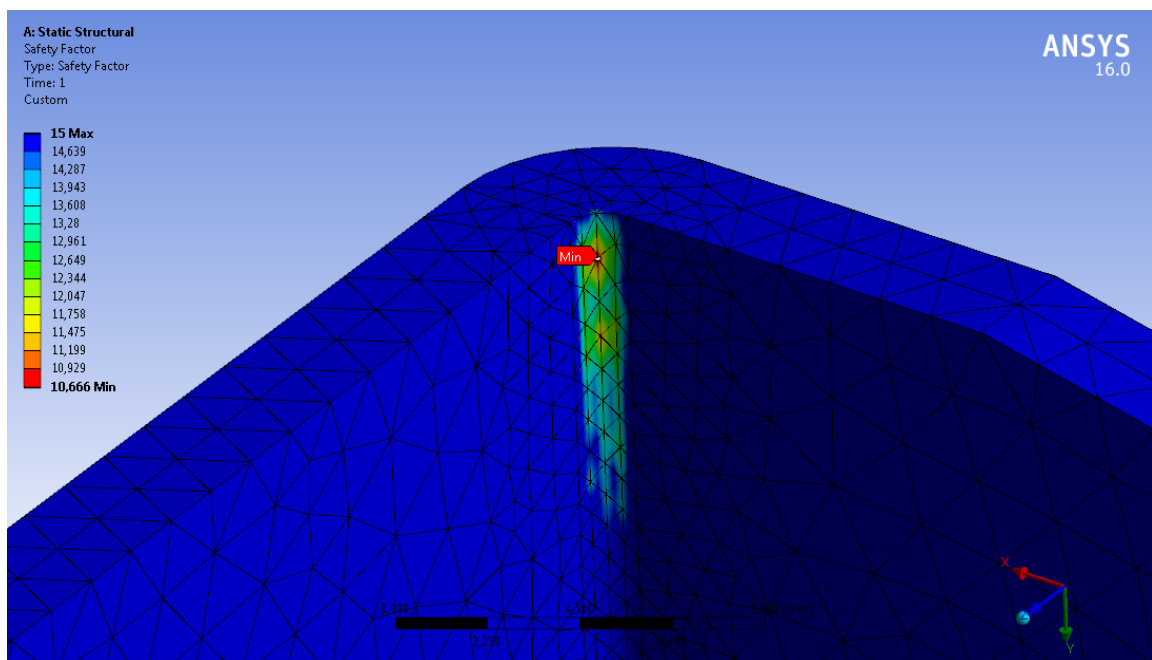
Desta maneira temos um fator de segurança menor no canto oposto a aplicação da força como previsto na suposição inicial, porém o menor fator de segurança encontrado foi de 10,66 o que é suficiente para afirmar que o suporte irá suportar não somente o peso do motor de passo, como também os esforços gerados pelo processo de furação.

*Figura 27– Indicações dos coeficientes de segurança no modelo 3D na simulação final.*



Fonte: Autor

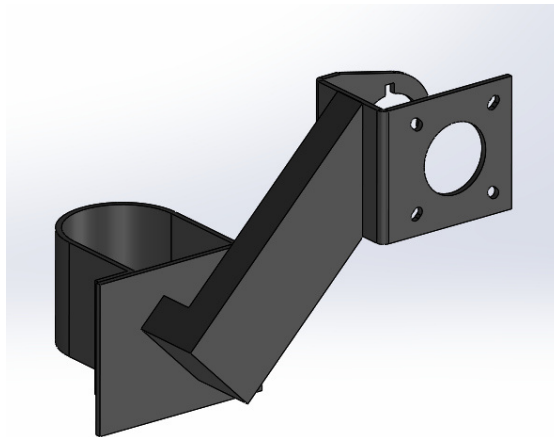
*Figura 28– Indicações dos coeficientes de segurança no modelo 3D na simulação final.*



Fonte: Autor

O próximo passo era fixar o suporte na furadeira de bancada, sem que houvesse mudanças permanentes na mesma. Portanto foi idealizada a fabricação de um “braço” conforme a figura 29 que o sustentasse na coluna da furadeira. Sendo fixado na coluna de sustentação da furadeira através de parafusos Allen M8. Com este braço evitaríamos o ponto de menor coeficiente de segurança, visto na simulação final com os esforços de torção gerados pelo processo de furação.

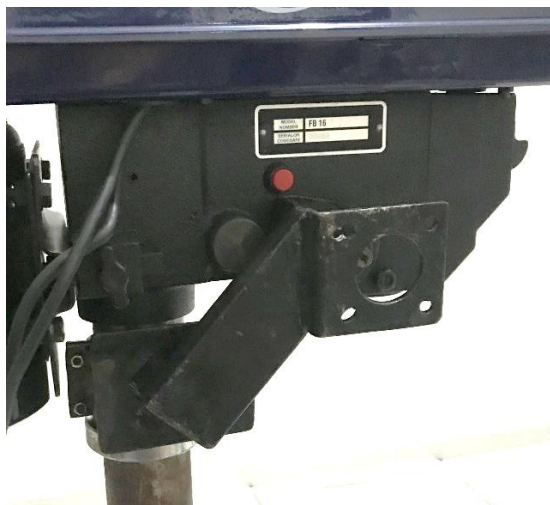
*Figura 29– Braço de fixação do suporte do motor de passo*



Fonte: Autor

Após a definição de como o suporte seria fixado, não se julgou necessário a realização de novas simulações, pois as tensões aplicadas não seriam suficientes para fazer com que este falhasse, tendo como base as simulações feitas no suporte anteriormente o mesmo já suportaria os esforços gerados com certa folga.

*Figura 30 - Montagem do “Braço” de suporte na furadeira*



Fonte: Autor

## 6 MONTAGEM MECANICA DO SUPORTE

Após a confecção do suporte, precisamos realizar a montagem do conjunto, utilizamos os dois parafusos Allen para prender o acoplamento flexível ao eixo da furadeira de bancada, o primeiro parafuso serviria para abraçar o eixo e o segundo é um parafuso Allen sem cabeça M4 que foi fixado no rasgo de chaveta da mesa, evitando que o motor de passo gire sem transferir a rotação para o acoplamento flexível.

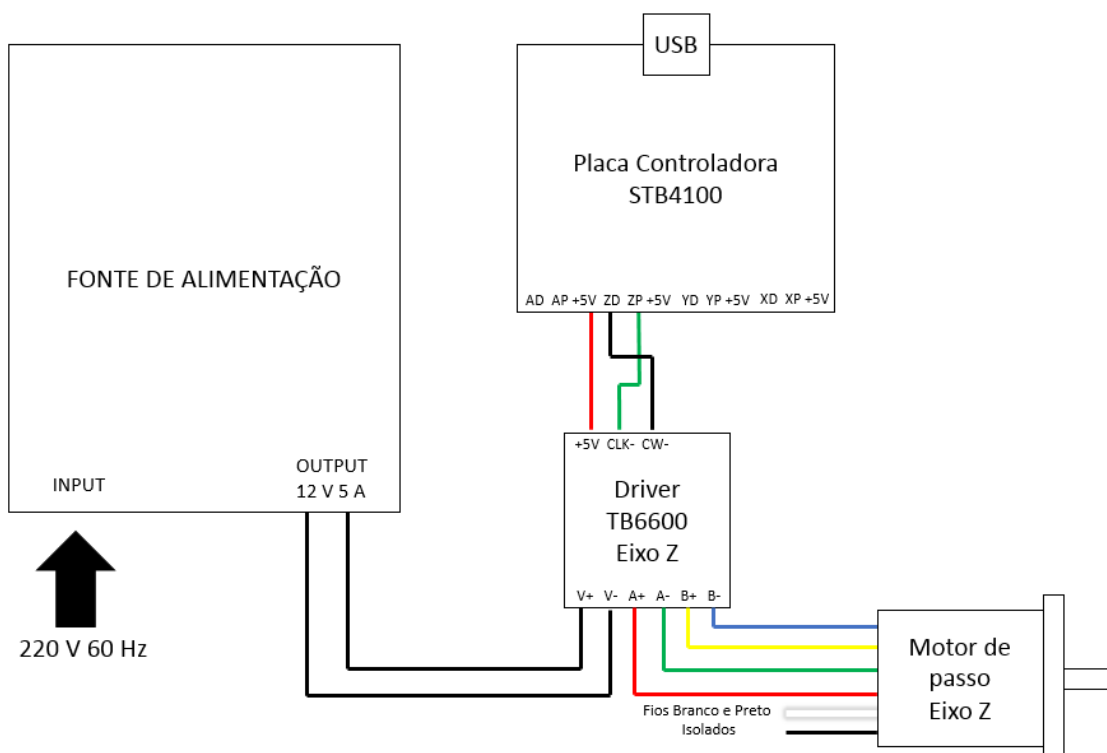
O próximo passo foi prender o suporte em “U” do braço na coluna de sustentação da furadeira, para isto foram utilizados 4 parafusos Allen M8, os mesmos que serão utilizados para fixar o motor de passo ao suporte evitando assim a utilização de ferramentas diferentes para montagem. Após foi fixado o motor de passo ao suporte, garantindo o encaixe com o acoplamento flexível garantindo o máximo de alinhamento e coaxialidade para o conjunto.

Com todo o conjunto montado, restava apenas a fixação do acoplamento flexível a ponta do eixo manivela que realizada a movimentação vertical do mandril da furadeira. Neste ponto o formato em “U” do suporte facilitou bastante, pois tivemos fácil acesso para apertar os dois parafusos Allen (M5 e M4) garantindo uma boa fixação dos componentes e por consequência uma boa transferência de rotação.

## 7 LIGAÇÃO ELETRICA DOS COMPONENTES

Foi utilizada uma fonte de alimentação de 12 V e 20 A para a alimentação dos drivers, sendo este com uma potência muito maior do que a requerida pelos 3 motores de passo conectados (5 amperes cada). Ao final o circuito de elétrico dos motores de passo ficou conforme a figura abaixo.

*Figura 31 - Esquema eletrônico do circuito de comando dos motores de passo*

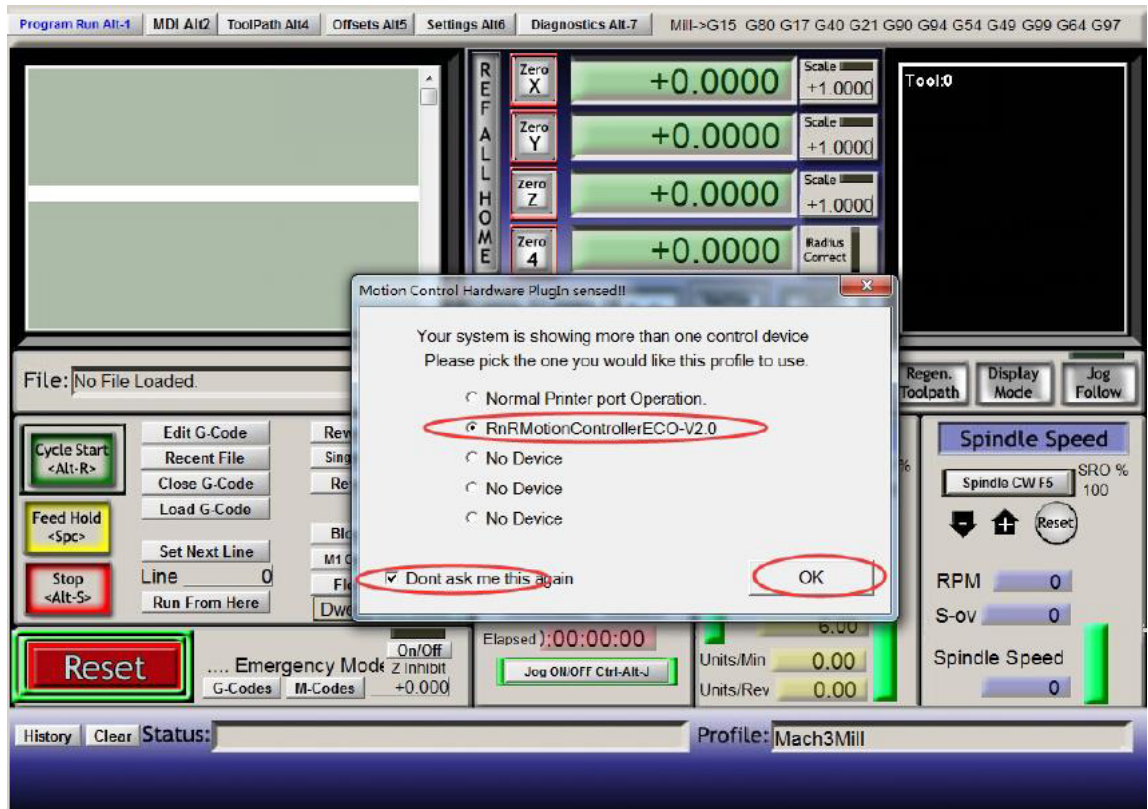


Fonte: Elaborado pelo autor.

## 8 CONFIGURAÇÃO NO SOFTWARE MACH 3

Após finalizar a montagem da parte mecânica e eletrônica, precisamos configurar o software Mach3 que fará o controle dos motores de passo. Para isto conectou-se a placa controladora e se esperou que o computador a reconhecesse, foi necessário instalar um plugin para Hardware de Controle de Movimento fosse detectado, após isso foi selecionado o controlador “RnRMotionControllerECO-V2.0”.

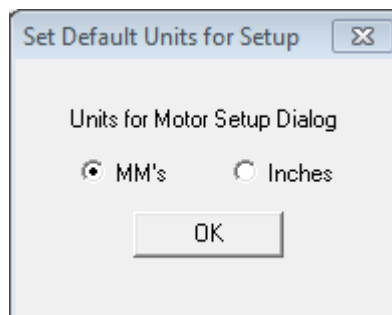
Figura 32 - Detecção do Hardware de Controle de Movimento



Fonte: Mach3 USB Motion Card (STB4100) Installation Manual.

Após isso, configuramos a unidade padrão para milímetros, através do menu (Configurations → Select Native Units → MM's)

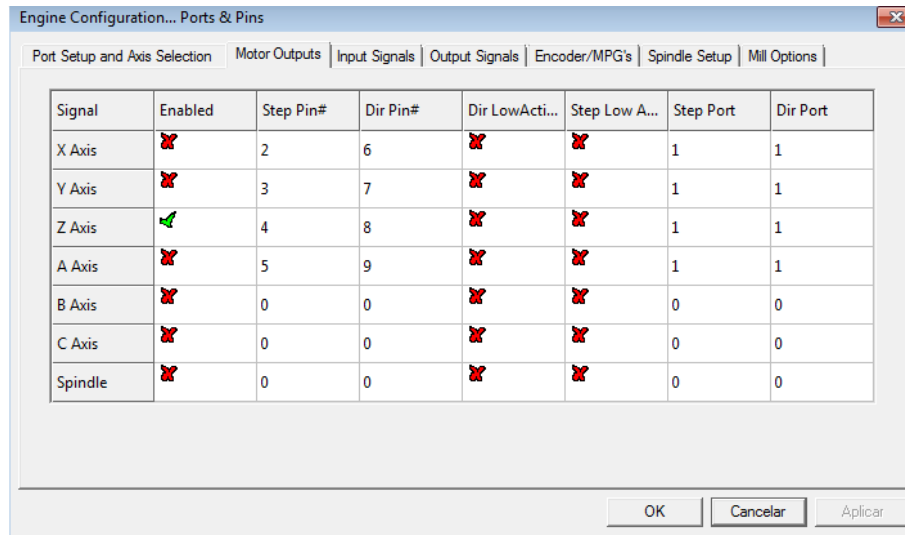
Figura 33 - Configuração da unidade padrão



Fonte: Autor

O próximo passo foi habilitar o sinal de saída da placa controladora para o motor, para isso abriu-se a janela (Configurations → Ports and Pins → Motor Outputs) para habilitar o eixo Z conforme indicado na figura abaixo.

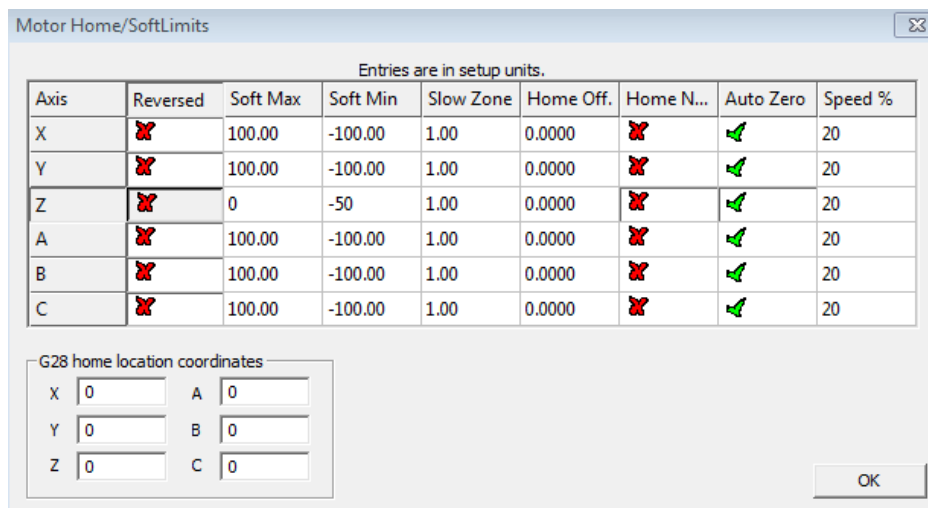
*Figura 34 - Configuração dos sinais de saída*



Fonte: Autor

Devido a furadeira de bancada utilizada ter um curso máximo de 60 mm segundo especificação do fabricante, precisamos sinalizar este limite dentro do software para que evite esforços excessivos devido ao fim de curso. Para isto foi aberta a janela (Configurations → Homing/Limits). O início do curso foi adotado como na posição mais alta, a partir deste foi considerado um curso de 10 mm a menos do que o especificado pelo fabricante. Conforme figura abaixo.

*Figura 35 - Configuração do limite de curso da furadeira*



Fonte: Autor

Para calibrar o eixo Z de movimentação, foi selecionado o eixo no menu (Settings→ Axis Calibration→ Set Steps per Unit→ Axis Selection). Nesta janela o software irá calcular quantos passos do motor se referem a um milímetro.

*Figura 36 - Seleção do eixo Z para calibração.*



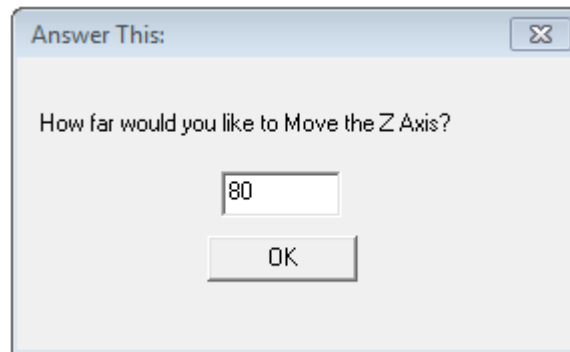
Fonte: Autor

Antes de realizar a calibração, foi dado um comando ao Eixo Z, para que ele se deslocasse uma pequena distancia sem ultrapassar os limites da máquina e que fosse capaz de se ler com precisão seu deslocamento. Durante esta movimentação do mandril percebeu-se que os passos eram visíveis pelo movimento do mandril, ou seja, o mandril não estava se deslocando de maneira continua. Portanto o número de micro passos foi elevado até que se obtivesse visivelmente uma movimentação suave. Por fim o Driver foi configurado para 4 micro passos, com a chave S1 ligada e as S2 e S3 na posição desligada. Elevando os 200 passos por revolução originais do motor de passo para 800 passos por revolução. Para garantir uma maior potência do motor de passo a chave S4 foi ligada optando por se trabalhar com o método de corrente completa.

O procedimento de calibração é bem simples, você tem que informar primeiramente quanto você quer se deslocar no eixo. Com testes anteriores percebeu-se que o eixo estava se movendo bem menos do que o solicitado. Por isso foi escolhido como uma solicitação inicial o deslocamento de 80 mm.



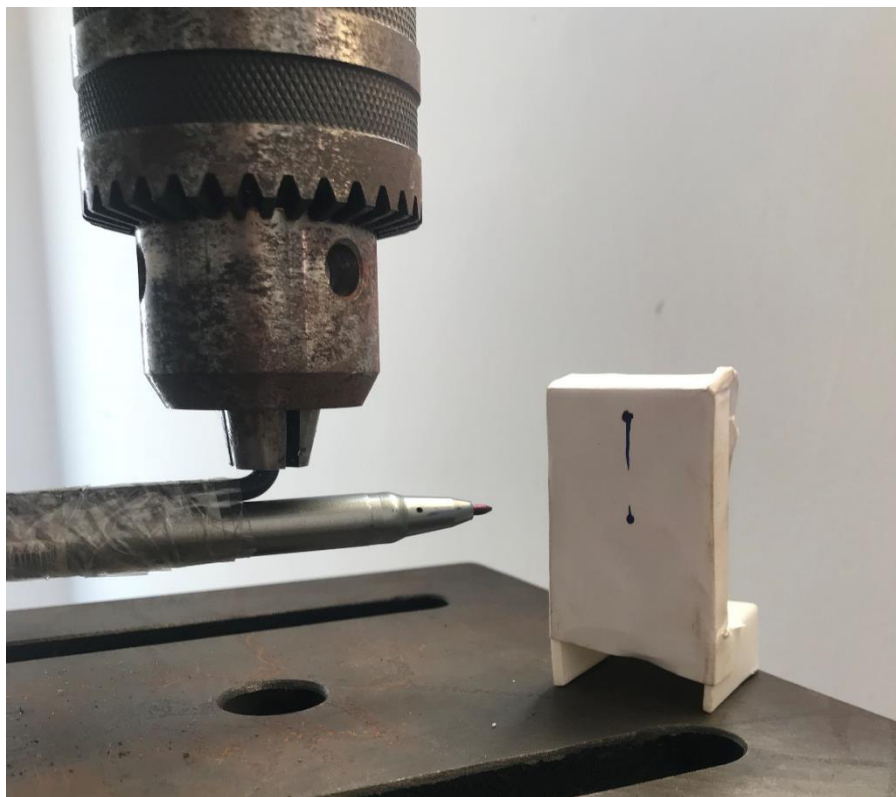
*Figura 37 - Início do procedimento de calibração.*



Fonte: Autor

Para que o processo de calibração tenha confiabilidade precisamos de uma maneira de medir o deslocamento do eixo Z. Foi pensado no seguinte procedimento, foi fixada uma caneta na ponta da furadeira conforme o eixo fosse se deslocando, iria deixar a marca da caneta no papel fixado a 90 ° na base de apoio.

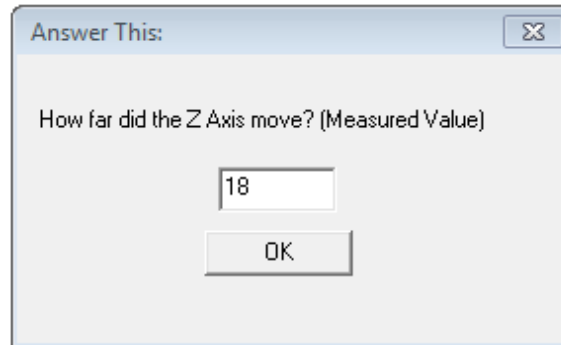
*Figura 38 - Registro de deslocamento no eixo Z.*



Fonte: Autor

Após a movimentação do eixo Z, conseguimos medir o deslocamento real o eixo através da marca deixada no papel, com o auxílio de um paquímetro mecânico de resolução de 0,05 mm obtivemos que o eixo se deslocou 18 mm.

*Figura 39 - Informação do deslocamento real do eixo Z para calibração.*

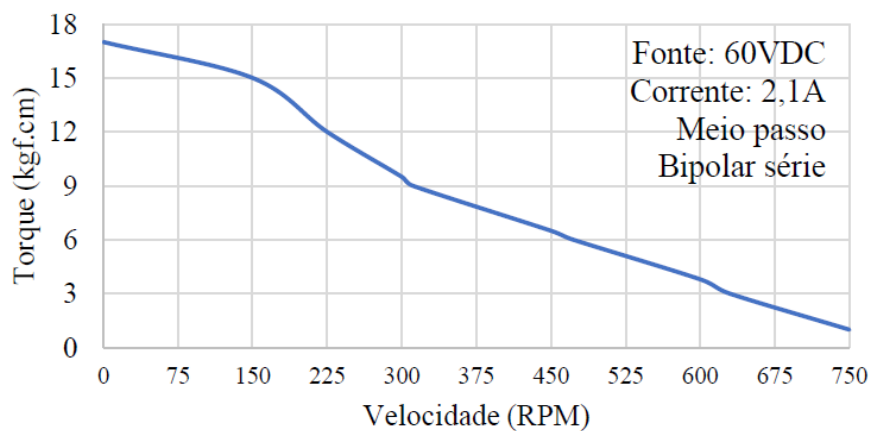


Fonte: Autor

Com essas informações o software Mach3, conseguiu calcular quantos passos eram necessários para que o eixo se deslocasse 1 mm, concluindo assim o processo de calibração do eixo Z da furadeira de bancada.

Após a calibração tínhamos que configurar a velocidade do motor de passo, no menu (Configurations → Motor Tuning and Setup). A velocidade em milímetros por minuto foi ajustada para que se obtivesse uma velocidade suficientemente pequena evitando possível problemas durante o processo de furação devido a redução do torque em altas rotações, como especificações do fabricante.

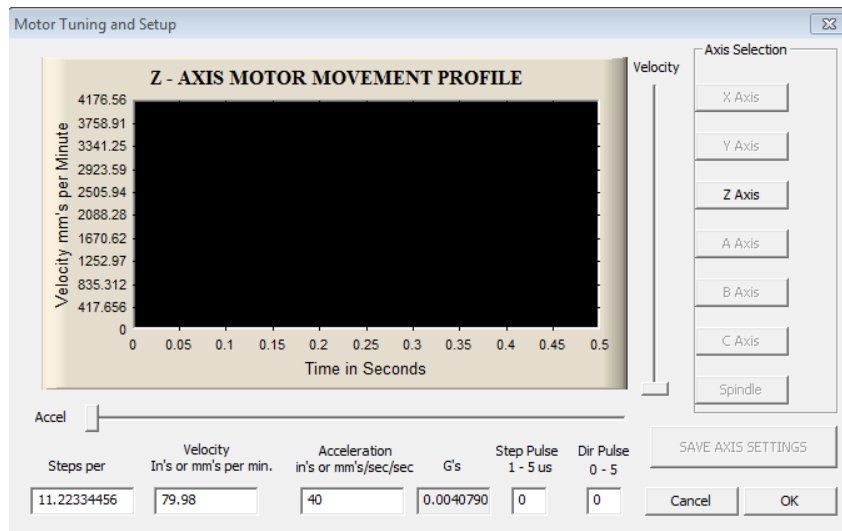
*Figura 40 - Especificação de Torque x RPM do Motor Nema 23*



Fonte: Neo Motion (2018).

Ao final se obteve uma velocidade ajustada pelo software de 79,98 mm/min e uma aceleração de 40 mm/s<sup>2</sup>.

*Figura 41 - Parâmetros de configuração do Motor de passo*



Fonte: Autor

Concluindo assim a configuração da furadeira de bancada utilizando o software Mach3 para seu controle.

*Figura 42 - Furadeira de bancada automatizada com o motor de passo.*



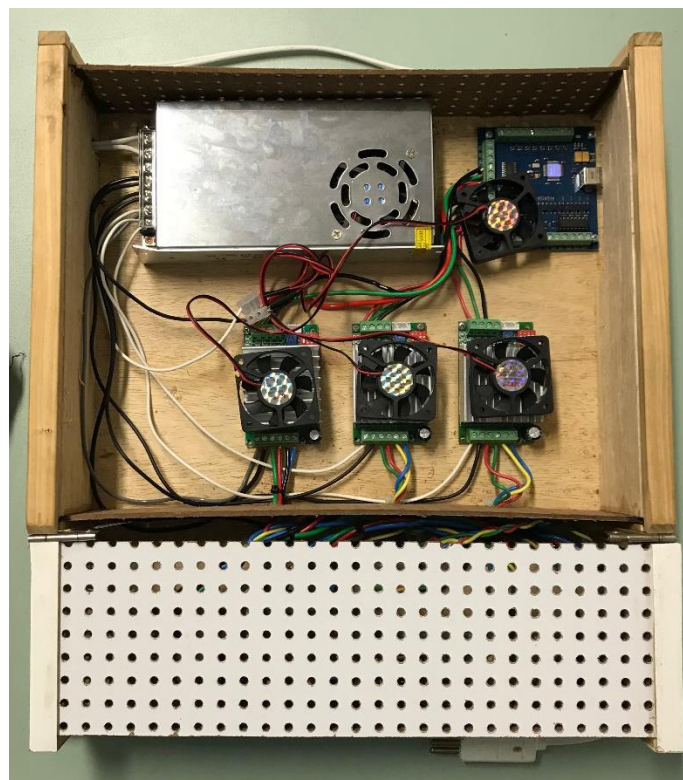
Fonte: Autor

*Figura 43 - Visão geral da furadeira automatizada integrada a mesa de coordenadas.*



Fonte: Autor

*Figura 44 - Ligação eletrônica.*



Fonte: Autor

## 9 COMPONENTES UTILIZADOS E SEUS RESPECTIVOS CUSTOS

Depois de concluída a montagem mecânica e eletrônica empregados na automação do eixo de controle da furadeira de bancada, foi realizado um levantamento dos custos necessários para a realização desta automação.

*Tabela 4 - Componentes utilizados e seus custos*

Item	Quantidade	Valor Unitário	Custo
Motor de passo NEMA 23	1	R\$ 170,00	R\$ 170,00
Acoplamento flexível	1	R\$ 30,00	R\$ 30,00
Fabricação do suporte metálico	1	R\$ 60,00	R\$ 60,00
Placa controladora	1	R\$ 310,00	R\$ 310,00
Fonte de alimentação	1	R\$ 50,00	R\$ 50,00
Parafuso M8	8	R\$ 0,80	R\$ 6,40
Porca M8	8	R\$ 0,10	R\$ 0,80
Fios e conexões	-	R\$ 12,00	R\$ 12,00
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 639,20</b>

Fonte: Autor

Por fim observa-se que com aproximadamente seiscentos e quarenta reais é possível substituir o sistema de acionamento mecânico de uma furadeira de bancada por um sistema de acionamento automatizado através dos componentes utilizados. Aumentando consideravelmente a precisão do processo de furação.

## 10 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a conclusão da montagem mecânica e ligação elétrica dos componentes foi realizado um teste da máquina CNC, para saber seu real potencial de aplicação. O código utilizado para teste encontra-se no Anexo I. Para este teste foi utilizado uma placa de madeira, testando principalmente a precisão dimensional do conjunto.

*Figura 45 - Teste prático da máquina CNC.*

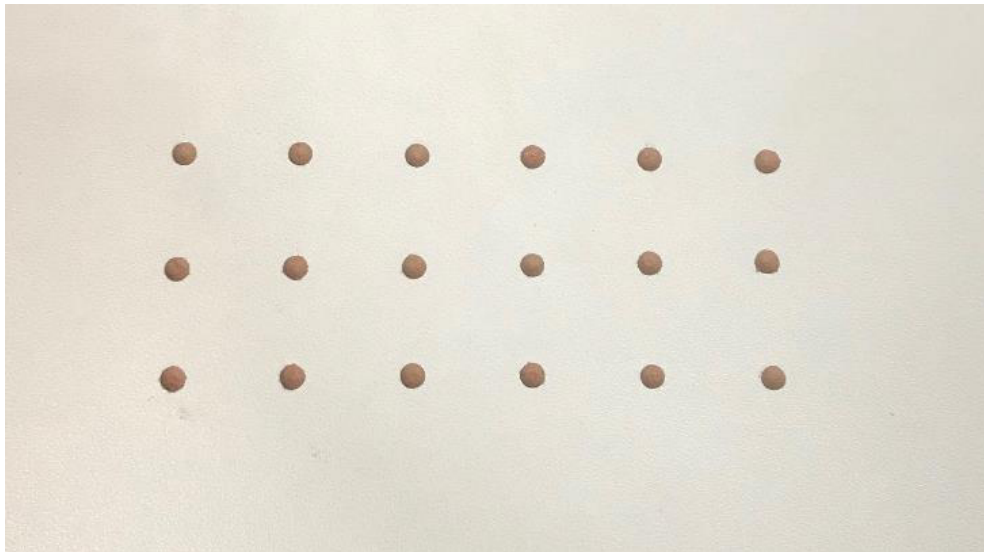


Fonte: Autor

O teste foi realizado com um material menos resistente, neste caso a madeira, espera que ele consiga trabalhar com materiais um pouco mais resistentes, como alguns aços menos duros. Porém se faz necessário um controle sobre a velocidade da rotação do mandril. Para poder ajustar a velocidade de corte, dependendo material a ser utilizado.

Ao final do teste, percebeu-se que a furadeira conseguiu furar a madeira, sem dificuldades, atingindo nosso objetivo inicial, ela é capaz de realizar pequenos trabalhos em peças de madeira. Se pode perceber também que a máquina possui uma boa precisão dimensional, como pode-se observar na figura abaixo, os furos estão igualmente espaçados entre si conforme escrito no programa de controle.

*Figura 46 - Resultado teste prático.*



Fonte: Autor

## 11 CONCLUSÃO

A crescente automatização das máquinas ferramentas vem tornando obsoleto o uso das controladas manualmente. O presente trabalho realizou uma adaptação no sistema de controle de uma furadeira de bancada, antes controlado por meio de manivelas. Demonstrou ser de fácil implementação que utiliza componentes de fácil obtenção.

Como resultado final a movimentação do eixo Z da furadeira de bancada foi completamente automatizado, controlado por Comandos Numéricos através do software Mach 3, portanto para controlar o movimento de translação do eixo Z, é necessária uma linguagem em código G que pode ser lida pelo programa. O software irá controlar o motor de passo fazendo com que o mesmo se movimente de acordo com as distâncias determinadas no código do programa.

A integração com a mesa de coordenadas XY, fez com que fosse possível realizar pequenos trabalhos de usinagem em madeira e até alguns metais mais moles sem fins comerciais, podendo também ser aplicadas também em escolas técnicas e universidades, a fim de aprendizado, por se tratar de uma máquina de baixo custo.



## REFERÊNCIAS

SILVA, Lindomar Andrades da; ZANIN, Maicon Jair. **MONTAGEM DE FRESA CNC**. 2011. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Manutenção Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2011.

JONES, Dr. Douglas W..**Stepping Motors Fundamentals**. University of Iowa: Microchip Technology Inc, 2004. 22 p. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00907a.pdf>>. Acesso em: 06 set. 2018.

KENJO, Takashi. **Stepping motors and their microprocessor controls**. New York: Oxford University Press, 1984.

KALPAKJIAN, Serope; SCHMID, S. R. **Manufacturing engineering and technology**. 6th ed. New Jersey: Pearson, 2009. p. 1-6; 553-674; 1049-1092.

BRITES, Felipe Gonçalves; SANTOS, Vinicius Puga de Almeida. **Motor de Passo**. 2008. Disponível em: <<https://www.telecom.uff.br/pet/petws/downloads/tutoriais/stepmotor/stepmotor2k81119.pdf>>. Acesso em: 06 set. 2018.

ARTSOFT EUA. **Mach3 controle de CNC**: a instalação do software e configuração. Tradução de Maurício Dias. Versão 3. 2008.

MACH3 usb motion card (STB4100): instalation manual. Version 2.1. [201-?]. il. color.

NEO MOTION. **Datasheet de produto**: motores de passo. 2018. Disponível em: <<https://neomotion.com.br/motor-de-passo/>>. Acesso em: 06 set. 2018.

AGNIHOTRI, Nikhil. **Stepper Motor : Basics, Types and Working**. 2011. Disponível em: <<https://www.engineersgarage.com/articles/stepper-motors?page=1>>. Acesso em: 06 set. 2018.

**ANEXO I – PROGRAMA TESTE**

N10 G0 X0. Y0. Z10.

N20 Z-5.

N30 Z10.

N40 X20.

N50 Z-5.

N60 Z10.

N70 X40.

N80 Z-5.

N90 Z10.

N100 X60.

N110 Z-5.

N120 Z10.

N130 X80.

N140 Z-5.

N150 Z10.

N160 X100.

N170 Z-5.

N180 Z10.

N190 Y20.

N200 Z-5.

N210 Z10.

N220 X80.

N230 Z-5.

N240 Z10.

N250 X60.

N260 Z-5.

N270 Z10.

N280 X40.

N290 Z-5.

N300 Z10.

N310 X20.

N320 Z-5.

N330 Z10.

N340 X0.

N350 Z-5.

N360 Z10.

N370 Y40.

N380 Z-5.

N390 Z10.

N400 X20.

N410 Z-5.

N420 Z10.

N430 X40.

N440 Z-5.

N450 Z10.

N460 X60.

N470 Z-5.

N480 Z10.

N490 X80.

N500 Z-5.

N510 Z10.

N520 X100.

N530 Z-5.

N540 Z10.

N550 X0. YO