



Departamento de Engenharia Elétrica  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

**NATALY CRISTINA FELICIANO DE JESUS**

**MÁQUINA CNC PARA DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPOS PARA PLACA DE CIRCUITO  
IMPRESSO**

Taubaté - SP  
2017

**NATALY CRISTINA FELICIANO DE JESUS**

**MÁQUINA CNC PARA DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPOS PARA PLACA DE CIRCUITO  
IMPRESSO**

Trabalho de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Taubaté, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica e Eletrônica.

Orientador: Prof. Rubens Castilho Junior

Taubaté  
2017

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado  
de Bibliotecas / UNITAU - Biblioteca das Engenharias**

J585m Jesus, Nataly Cristina Feliciano de  
Maquina CNC para desenvolvimento de protótipos para  
placa de circuito impresso. / Nataly Cristina Feliciano de  
Jesus. - 2017.

39f. : il; 30 cm.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica e  
Eletrônica) – Universidade de Taubaté. Departamento de  
Engenharia Mecânica e Elétrica, 2017.

Orientador: Prof. Rubens Castilho Junior, Departamento  
de Engenharia Elétrica e Eletrônica.

1. Circuito impresso. 2. Router CNC. 3. Sistema Arduino.  
I. Título.



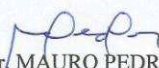
Departamento de Engenharia Elétrica  
Rua Daniel Danelli s/nº, Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

**MÁQUINA CNC PARA DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPOS PARA  
PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO**

**NATALY CRISTINA FELICIANO DE JESUS**

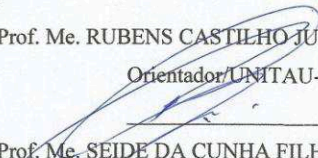
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE  
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE “GRADUADO EM  
ENGENHARIA ELÉTRICA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

  
Prof. Dr. MAURO PEDRO PERES  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof. Me. RUBENS CASTILHO JUNIOR  
Orientador/UNITAU-DEE

  
Prof. Me. SEIDE DA CUNHA FILHO  
UNITAU-DEE

Eng. Me. Ramon Moreira Peres  
Membro Externo

  
Ramon Peres

Dezembro de 2017

*“Aos meus pais, meu noivo Guilherme e à toda minha família que, com muito carinho e paciência, não mediram esforços para que eu concluísse esta etapa da minha vida.”*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse e que está sempre me guiando pelos caminhos da minha vida.

Aos meus pais pelo amor e incentivo, especialmente ao meu pai Francisco, que contribuiu diretamente para grande parte deste trabalho, me dando todo o suporte para que eu pudesse executar a parte prática do projeto.

Ao meu noivo Guilherme, por todo apoio e paciência comigo durante os momentos de desânimo e cansaço, e por todo o tempo que dispôs para me ajudar.

Ao meu orientador, *Prof. Rubens Castilho Junior*, que aceitou ser o orientador desse projeto, que me instruiu, corrigiu e incentivou.

Aos professores desta instituição e de todas as outras instituições que me proporcionaram todos os conhecimentos necessários para eu ser a pessoa que sou hoje.

Enfim, agradeço a todos os meus amigos, familiares e companheiros de trabalho que fizeram parte da minha formação e continuarão presentes na minha vida.

## SUMÁRIO

**RESUMO**

**ABSTRACT**

**LISTA DE FIGURAS**

**LISTA DE TABELAS**

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1	OBJETIVOS GERAIS .....	13
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	13
1.2	ESCOPO .....	13
1.3	MOTIVAÇÃO .....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	15
2.1	CNC .....	15
<b>2.1.1</b>	<b>Router CNC</b> .....	15
<b>2.1.2</b>	<b>Fuso</b> .....	16
<b>2.1.3</b>	<b>Mesa de Corte</b> .....	17
<b>2.1.4</b>	<b>Relação entre o controlador Router CNC e o computador</b> .....	17
2.2	PLATAFORMA ARDUINO .....	18
<b>2.2.1</b>	<b>Características Técnicas</b> .....	19
2.3	MOTOR DE PASSO .....	19
2.4	DRIVER .....	20
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	22
3.1	PROTÓTIPO .....	23
<b>3.1.1</b>	<b>Estrutura</b> .....	23
<b>3.1.2</b>	<b>Fuso</b> .....	24
<b>3.1.3</b>	<b>Motor de Passo</b> .....	24
<b>3.1.4</b>	<b>Driver</b> .....	25
<b>3.1.5</b>	<b>Fonte de Alimentação</b> .....	26
<b>3.1.6</b>	<b>Softwares</b> .....	27
3.1.6.1	Proteus .....	27
3.1.6.2	Cooper CAM .....	28
3.1.6.3	Universal Gcode Sender .....	28
3.2	METODOLOGIA .....	28
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	35
4.1	COMPARAÇÃO ENTRE PCB FEITA COM CNC E PCB FEITA À MÃO .....	35

4.2	CUIDADOS PARA MONTAGEM DE UM PROTÓTIPO .....	36
4.3	MELHORIAS PROPOSTAS .....	37
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	38
6	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	39



## **RESUMO**

Neste trabalho será abordado sobre a utilização de máquinas CNC para construção de placas eletrônicas de circuito impresso. Para isso, será desenvolvido um protótipo para que se possam fazer simulações práticas, que consiste em um Router CNC com comando por meio de Arduino. Serão explicadas as principais vantagens de se utilizar esse sistema, tendo em vista fatores como facilidade, agilidade e custo. Será demonstrado o procedimento para operação do sistema e confecção de uma placa, utilizando softwares livres específicos. O objetivo deste trabalho é implementar uma máquina piloto de confecção de placas de circuito impresso e comprovar a funcionalidade do sistema, tanto em situações reais, na indústria da eletrônica, quanto como meio didático de aprendizado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Circuito Impresso. Router CNC. Arduino.

## **ABSTRACT**

This term paper will be approached the use of CNC machines in order to build electronic boards of printed circuits. It will be developed a prototype to allow making practical simulations, which consists in a Router CNC with Arduino command. It will be explained the main advantages to use this systems, specially factors like facility, agility and costs. It will be shown the procedure to operate the system and making a board, using specific free softwares. The objective of this paper is implementing a pilot machine to make printed circuit boards and comproving the functionality of this system, both in real situations, into the electronic industry, and as didactic learning way.

**KEYWORDS:** Term paper. Printed Circuit. Router CNC. Arduino.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Máquina Router CNC .....	16
Figura 2 – Controlador ARDUINO .....	18
Figura 3 – Motor de passo .....	20
Figura 4 – Diagrama de funcionamento de um driver para motor de passo.....	21
Figura 5 – Diagrama de blocos do funcionamento do sistema.....	22
Figura 6 – Estrutura Router CNC .....	23
Figura 7 – Spindle .....	24
Figura 8 – Motor de Passo.....	25
Figura 9 – Driver PH4003 .....	25
Figura 10 – Esquema de ligação Arduino .....	26
Figura 11 – Fonte de Alimentação .....	27
Figura 12 – Instruções para criar um novo circuito .....	29
Figura 13 – Desenho carregado no CooperCAM .....	29
Figura 14 – Ícone “Calcular Contornos” .....	30
Figura 15 – Configuração da espessura do contorno das trilhas .....	30
Figura 16 – Ícone “Mill” .....	30
Figura 17 – Instrução para salvar o arquivo txt .....	31
Figura 18 – Ícone “Parâmetros” .....	31
Figura 19 – Parâmetros da Ferramenta .....	32
Figura 20 – Tela Inicial Universal Gcode Sender .....	32
Figura 21 – Controle de Máquina .....	33
Figura 22 – Modo de Arquivo .....	33
Figura 23 – Envio do programa para máquina .....	34
Figura 24 – Circuito impresso x Circuito à mão .....	35

## **LISTA DE ABREVIACOES**

CNC – Computer Numeric Control (Controle Numérico Computadorizado)

PCB – Printed Circuit Board (Placa de Circuito Impresso)

CAD – Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador)

USB – Universal Serial Bus (Porta Serial Universal)

PWM – Pulse Width Modulation (Modulação por Largura de Pulso)

MTBF – Mean Time Between Failure (Tempo Médio Entre Falhas)

## 1 INTRODUÇÃO

Em produções de grande ou até mesmo média escala, é comum o preço de placas de circuito impresso diminuir à medida que a quantidade de placas encomendadas aumenta. Entretanto, quando se trata de encomendas em pequenas quantidades, tais como encomenda de placas para desenvolvimentos de protótipos, testes e validação, o custo é elevado, além de que o tempo necessário para a fabricação da mesma, quando encomendada de empresas especializadas, muitas vezes gera um atraso no desenvolvimento e testes dos projetos. Nesse contexto, soluções de manufatura de PCB's (*Placas de circuito impresso*) para pequenas quantidades são utilizadas.

Quando o comando numérico surgiu, ofereceu à indústria um dinâmico processo de fabricação, um processo eficiente às exigências do mercado, desenvolvendo produtos geometricamente complexos com um baixo custo de produção mesmo quando solicitados pequenos lotes e redução do tempo entre o projeto do produto e a fabricação.

Anos depois, com o acesso aos computadores, o comando numérico foi integrado a um núcleo de processamento e interface gráfica, CNC (Comando Numérico Computadorizado), o que proporciona ao usuário o acesso aos arquivos de programas, permitindo que os mesmos sejam alterados de acordo com a necessidade.

A introdução do CNC na indústria mudou radicalmente os processos industriais. Curvas são facilmente cortadas, complexas estruturas com três dimensões tornam-se relativamente fáceis de produzir e o número de passos no processo com intervenção de operadores humanos, é drasticamente reduzido. O CNC reduziu também o número de erros humanos (o que aumenta a qualidade dos produtos e diminui o retrabalho e o desperdício), agilizou as linhas de montagens e tornou-as mais flexíveis. Levando em consideração todos esses aspectos, enxerga-se a importância do estudo e desenvolvimentos de máquinas CNC, pois nos dias atuais, não é possível pensar em processos de fabricação sem considerar esta tecnologia.

O CNC continua em sua mais franca evolução, afinal, nunca essa tecnologia foi tão usada no mundo como nos dias atuais. O Brasil é um mercado muito atraente para as indústrias e para o comércio, onde novos conceitos estão surgindo em todos os ramos tecnológicos que se fundam na tecnologia CNC. O desenvolvimento rápido desta

tecnologia abre um leque muito grande de oportunidades para novas empresas e novos profissionais do ramo de engenharia.

## 1.1 OBJETIVOS GERAIS

- Implementar o uso do CNC em uma máquina de usinagem de pequeno porte;
- Permitir a construção de placas eletrônicas para o desenvolvimento de protótipos;
- Possibilitar a demonstração e utilização de uma máquina CNC para fins didáticos, a fim de incentivar e facilitar o aprendizado dos alunos na área de eletrônica digital e analógica em aulas laboratoriais.

### 1.1.1 Objetivos Específicos

- Desenvolver uma máquina CNC de três eixos para usinar placas de circuito impresso.
- Comprovar a eficácia e praticidade de um sistema CNC.
- Validação da máquina através de usinagem de placas para a utilização em protótipos.
- Estudar possíveis melhorias para a otimização do equipamento.

## 1.2 ESCOPO

O desenvolvimento do trabalho foi subdividido em quatro partes, da seguinte maneira:

Revisão bibliográfica: Apresentação dos conhecimentos específicos necessários para o entendimento do trabalho, e apresentação dos componentes elétricos e dos softwares utilizados para o desenvolvimento do projeto.

Metodologia: Apresentação dos aspectos construtivos do projeto, e dos ajustes necessários para o funcionamento correto da máquina.

Resultados e Discussões: Validação do funcionamento da máquina, demonstração dos resultados obtidos e análise crítica a fim de promover melhorias ao projeto.

Conclusão: análise da efetividade do trabalho e sua contribuição para profissionais da área de eletrônica digital e analógica e para o meio acadêmico.

### 1.3 MOTIVAÇÃO

Este trabalho foi motivado pela dificuldade que muitos profissionais encontram ao precisarem utilizar uma placa de circuito impresso para o desenvolvimento e/ou teste de algum projeto, pois como já citado, o preço destas placas em pequena quantidade não é baixo e o tempo solicitado pelo fabricante para a fabricação das mesmas não costuma ser pequeno, o que atrasa execução dos projetos destes profissionais. Também se leva em consideração a dificuldade que docentes das áreas de Eletrônica Digital e Analógica encontram para demonstrar em sala de aula o funcionamento de uma máquina CNC para seus alunos. Pensando nestas dificuldades, decide-se então, criar uma máquina CNC de pequeno porte e baixo custo, capaz de realizar o fresamento em placas para circuito impresso.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 CNC**

Segundo Marcicano, o controle numérico (CN) é um método de controle dos movimentos de máquinas pela interpretação direta de instruções codificadas na forma de letras e números. Isso significa que o sistema converterá um código formado por uma série de instruções em sinais que serão enviados à máquina, que realizará os movimentos.

As primeiras máquinas CN foram construídas na década de 50, mais especificamente no ano de 1952, no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), e funcionavam através de fitas perfuradas. O objetivo do comando numérico era tornar o sistema produtivo mais eficiente, proporcionando às máquinas meios de realizarem suas tarefas com agilidade, precisão e repetibilidade incomparáveis às máquinas convencionais.

Em 1958, passou a se utilizar e padronizar o código G, linguagem utilizada nos laboratórios para controle dos servomecanismos. Entre os anos de 1960 e 1970, surgiram os primeiros programas CAD (Desenho Assistido por Computador) que rapidamente passaram a substituir os desenhos em papel, e mais tarde, com o avanço dos mini-computadores, a tecnologia do CN foi aplicada aos computadores, surgindo assim os primeiros CNC's como são hoje conhecidos.

Recentemente, os microprocessadores tornaram a tecnologia do CNC ainda mais barata, tornando possível inclusive a disseminação do comando numérico para microempresas e ainda para estudantes e usuários em geral. Existem diversos tipos de máquinas que se utilizam desse sistema, entre elas impressoras 3D, tornos, fresadoras e o Router CNC, objeto do presente trabalho.

#### **2.1.1 Router CNC**

Os Routers são semelhantes às fresadoras CNC, porém possuem um sistema chamado pórtico móvel. Máquinas com essa configuração conseguem obter uma área



maior de trabalho em relação às fresadoras comuns, pois a parte móvel é a ferramenta de corte, e não a mesa.

Routers CNC, pela origem do termo, está associada às máquinas para usinagem de madeira, mas diversos tipos de materiais podem ser trabalhados, respeitando seus limites de usinagem. Como são máquinas com uma relação área de trabalho/massa muito superior às fresadoras, sua rigidez é menor, e portanto, não possuem a mesma produtividade para usinar metais. No entanto, são imbatíveis na relação custo benefício quando se trata de usinagem de materiais macios, como madeiras e plásticos, bem como na usinagem de chapas finas.

Uma máquina Router CNC utiliza um software especial e um controlador CNC eletrônico para conduzir um sistema mecânico. Tendo esta configuração, é possível conseguir muito mais exatidão e precisão do que um operador humano, além de conseguir realizar o trabalho desejado muito mais rápido. Uma Router CNC de três eixos pode mover e cortar em três direções, que são geralmente referidas nos ângulos de router X, Y e Z. O eixo X é geralmente o mais longo dos três durante a execução da frente para trás. O eixo Y é executado a partir da esquerda, enquanto o eixo Z corre para cima e para baixo. A figura 1 apresenta um exemplo de máquina Router CNC.

Figura 1 - Máquina Router CNC



Fonte: DS4 Laser & Router, disponível em <http://ds4.com.br/router/>, acesso em 17/04/2017

### 2.1.2 Fuso

O fuso, também chamado de spindle, é a parte da máquina que fará o corte, ou seja, é o “motor” do router CNC. A classificação do eixo do spindle se dá pela sua

potência. O eixo de rotação do fuso funciona de acordo com a potência da sua ferramenta de corte. Os Spindles que são concebidos para cortar metais operam entre 2.000 e 10.000 RPMs. A maioria dos Routers CNC de madeira são também capazes de cortar metais; estes normalmente possuem uma rotação de 8000 a 30000 rotações por minuto. No entanto, geralmente o equipamento é limitado a metais não ferrosos, como o alumínio. Quando usado para corte de metais ou de materiais compósitos à base de carbono a altas velocidades de fuso, é necessário um sistema de refrigeração que arrefece o material a ser cortado e a própria ferramenta.

### **2.1.3 Mesa de Corte**

A mesa de corte é o lugar onde toda a ação acontece. É projetada para apoiar e proteger a peça de corte. Existem vários modelos diferentes que fazem isso de forma eficaz. Um dos projetos de mesa de corte mais comuns é o T-slot, um modelo de mesa mais versátil em que é possível realizar praticamente qualquer peça, mas carece de eficiência e rapidez de instalação. Utiliza parafusos e grampos para prender a peça à mesa. Existem outros tipos disponíveis, dentre eles o design de vácuo, também bastante utilizado, especialmente quando se demanda usinar o mesmo modelo de peça várias vezes ao dia, e as do tipo híbrido, que conjugam o emprego do modelo T-slot e o design de vácuo.

### **2.1.4 Relação entre o controlador Router CNC e o computador**

A relação entre Router CNC e o computador pode ser comparada com a interação da nossa mente com o nosso corpo. O computador (mente) dá o design e a máquina (corpo) executa o corte em ponto, o bit-cort.

A maioria dos projetos se inicia em um formato digital, como um desenho DXF, ou algum formato similar. Neste projeto, desenha-se o desejado no Proteus, e o mesmo gera um arquivo de desenho de circuito impresso pelo seu próprio gerador de Gerber.

O usuário então deve utilizar um pacote de software CAM (*Computer Aided Manufacturing - Fabricação Assistida por Computador*), junto com o software

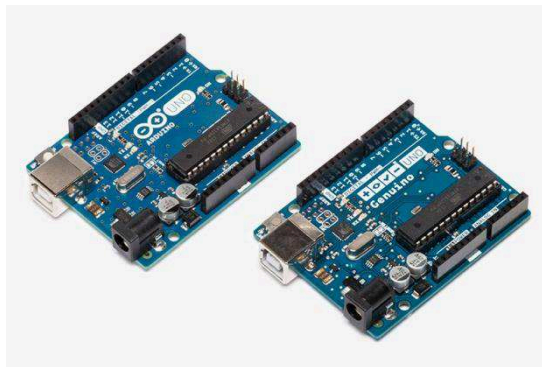
controlador CNC fornecido. Estes tipos de software convertem uma imagem digital 2D ou 3D em um código ferramenta como o G-code. Assim, o computador converte os comandos para um sinal digital que é transmitido para o controlador CNC, que em seguida converte este sinal em diferentes correntes e tensões que controlam os sistemas de transmissão mecânica.

A interface utilizada varia dependendo do fabricante, mas o processo é sempre o mesmo, iniciando-se com um design digital, e na sequência, através de um software adicional, desenvolve-se os trajetos para a máquina executar.

## 2.2 PLATAFORMA ARDUINO

Arduino é uma plataforma aberta de prototipação eletrônica, composta por hardware (placa controladora) e software (ambiente de desenvolvimento). É composto por um controlador, algumas portas de entrada e saída (analógicas e digitais) e uma interface serial ou USB. Utiliza uma linguagem de programação padrão, baseada em Wiring, que é praticamente C/C++. A figura 2 apresenta um placa Arduino Uno, modelo disponível comercialmente.

Figura 2: Controlador ARDUINO



Fonte: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>, acesso em 22/04/2017

Dentre as principais vantagens de sua utilização, que justificam a sua adoção como uma das principais plataformas de desenvolvimento do mundo, pode-se citar:

**Facilidade:** Permite o desenvolvimento de projetos sem grande conhecimento de programação, além de ter um ambiente de desenvolvimento (IDE) próprio e de simples entendimento e utilização;

**Flexibilidade:** Possui ambiente multiplataforma, podendo ser utilizado em qualquer sistema operacional, além de possuir uma plataforma aberta, o que permite o compartilhamento de códigos e a modificação na própria estrutura da placa;

**Acessibilidade:** possui baixo custo em relação a outros microcontroladores, além da possibilidade de se comprar versões não-oficiais;

### 2.2.1 Características Técnicas

Dentre as características técnicas do microcontrolador Arduino, destaca-se:

- Microcontrolador: ATmega328P
- Tensão de Operação: 5V
- Tensão de entrada (recomendada): 7-12V
- Tensão de entrada (limite): 6-20V
- Pinos de Entrada e Saída Digitais: 14
- Entradas e Saídas Digitais PWM: 6
- Entradas Analógicas: 6
- Corrente DC por entrada e saída: 20 mA

### 2.3 MOTOR DE PASSO

Segundo Brites e Santos, “motores de passo são dispositivos eletromecânicos que convertem pulsos elétricos em movimentos mecânicos que geram variações angulares discretas”. O eixo do motor é rotacionado em incrementos pequenos (chamados de passos, por isso o nome do dispositivo) de acordo com o número de pulsos, normalmente provindos de um driver, aplicados em seu terminal. A resolução do motor é determinada pelo número de pulsos necessários para que o mesmo complete uma volta, enquanto que a sequência de pulsos determina o sentido de rotação do motor. Pode-se ainda determinar a velocidade de rotação, que varia de acordo com a frequência de pulsos. O tamanho da volta é definida pelo número de pulsos enviados. A figura 3 apresenta um exemplo de motor de passo.

Figura 3: Motor de passo



Fonte: <http://www.kalatec.com.br/definicao-de-motor-de-passo>, acesso em 22/04/2017

Dentre as principais características de um motor de passo, pode-se citar:

- Facilidade de utilização, em razão de seguirem a lógica digital;
- Alta precisão de posicionamento, pois os “passos”, como são denominados os seus movimentos, possuem um erro pequeno e não-cumulativo, da ordem de 5%.
- Boa resposta à aceleração e desaceleração, devido ao rápido alinhamento do rotor com suas bobinas, que já se encontram energizadas;
- Precisão no torque, devido ao seu mecanismo de funcionamento.

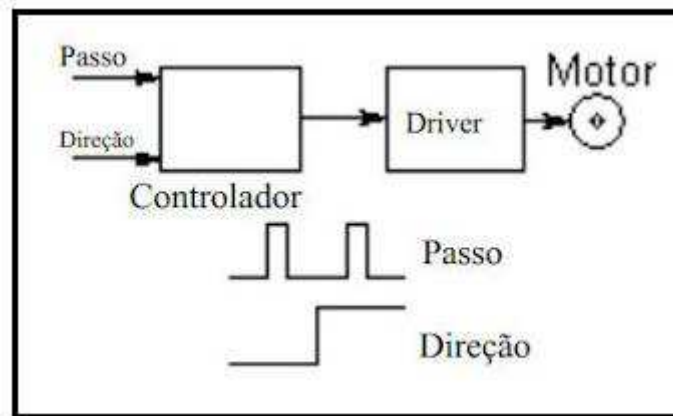
Os motores de passo são normalmente empregados em processos que exigem grande precisão, em casos em que se exige controlar vários fatores, como ângulo de posição, velocidade, rotação e sincronismo, sendo amplamente utilizados em impressoras, scanners, robôs, câmeras de vídeo, brinquedos e projetos de automação industrial.

#### 2.4. DRIVER

O driver é um circuito de acionamento utilizado para controlar o motor de passo. Funciona como uma interface, que converte o sinal de comando em um sinal de potência. Existem diversos tipos de drivers, desde mais simples, montados com alguns poucos componentes eletrônicos, até alguns mais complexos, que podem ser até mesmo programáveis. Além disso, também existem diversos sistemas de acionamentos

diferentes. A Figura 4 apresenta o diagrama de blocos de um driver para controle de motor de passo.

Figura 4 – Diagrama de um driver para motor de passo



Fonte: [http://mecatronicanenet.blogspot.com.br/2012/08/tutorial-motor-de-passo-parte-3\\_28.html](http://mecatronicanenet.blogspot.com.br/2012/08/tutorial-motor-de-passo-parte-3_28.html), acesso em 01/05/2017.

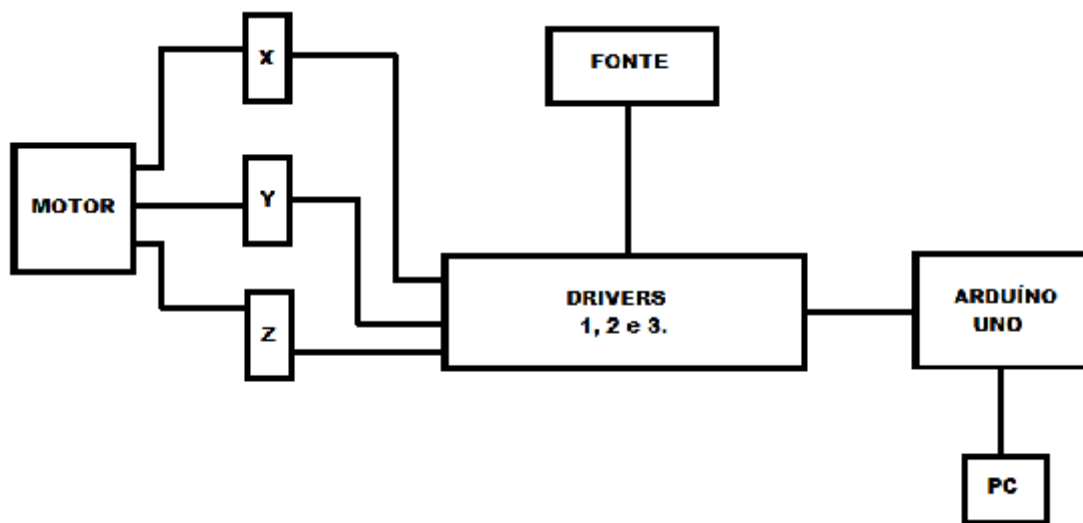
Conforme apresentado no diagrama, o controlador é responsável por gerar a sequência de pulsos que acionará o motor. O Driver, ao receber esse sinal, faz o chaveamento de seus elementos de potência para alimentar o motor, que executará o movimento desejado.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do trabalho, foi desenvolvido o protótipo de uma máquina Router CNC de três eixos.

Sobre a estrutura de madeira, foram instalados os eixos, acoplados a motores de passo. Os drivers são conectados a esses motores, para realizar o controle dos pulsos enviados aos mesmos. O sinal de comando dos drivers é enviado pelas portas do Arduino, que recebe os dados provenientes de um computador através de um cabo serial USB. Foram instaladas chaves fim de curso com o intuito de parar o movimento do eixo ao serem acionadas. Para alimentar o sistema, foi utilizada uma fonte de tensão 24V. A figura 5 apresenta o diagrama de blocos do sistema elaborado.

Figura 5 – Diagrama de blocos do funcionamento do sistema.



Fonte: Próprio Autor

Após a montagem do protótipo, foram realizados os testes de simulação. Para isso, foi necessário desenhar o circuito desejado no software *Proteus*. Em seguida, utilizou-se o *CooperCAM* para gerar o código G, utilizado para fazer a usinagem da placa. Esse programa gerado é, então, carregado no software *Universal Gcode Sender*, que é responsável pela interface com a máquina e com a execução do programa de usinagem.

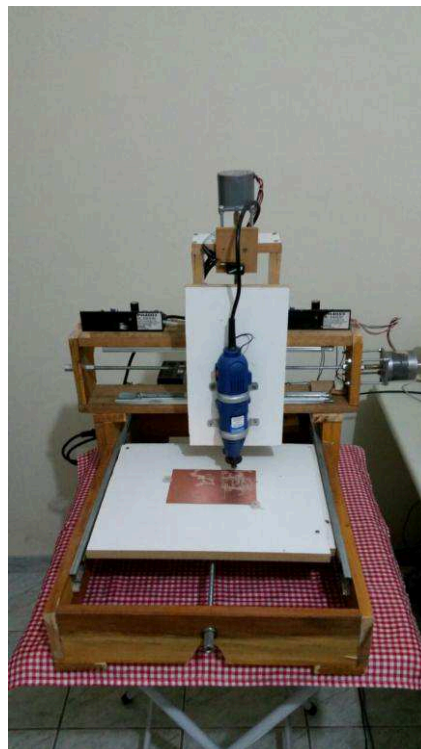
### 3.1 PROTÓTIPO

Nesta seção, serão detalhados os componentes e softwares utilizados para o desenvolvimento do projeto.

#### 3.1.1 Estrutura

Para a elaboração do protótipo, foi construída uma estrutura de madeira, onde foram instalados: a mesa, os eixos, o spindle, os motores de passo, os drivers, a fonte de alimentação e o microcontrolador Arduino. A escolha do material se deu pela relação custo-benefício, uma vez que possui boa resistência, necessária para garantir a estabilidade do conjunto, facilidade para manuseio e baixo custo. A Figura 6 apresenta a estrutura montada.

Figura 6 – Estrutura Router CNC



Fonte: Próprio Autor



### 3.1.2 Fuso

O equipamento utilizado como fuso do Router CNC foi uma Micro Retífica R-150/110, da fabricante Western. Dentre suas características, pode-se citar: velocidade de 8000 a 30000 RPM com controle de velocidade e um motor de 130W, sendo ideal para trabalhos leves e de alta precisão.

A escolha do equipamento se deu em função da disponibilidade anterior ao projeto.

A figura 7 apresenta o modelo de Spindle utilizado no projeto.

Figura 7 - Spindle



Fonte: Próprio Autor

### 3.1.3 Motor de Passo

Para movimentar os eixos, foram utilizados vários modelos de motor de passo de diferentes fabricantes, em razão da disponibilidade anterior à realização desse projeto, o que possibilitou a redução no custo do protótipo montado.

Como citado, os motores foram acoplados aos eixos e aparafusados na estrutura de madeira.

A figura 8 apresenta o modelo 23LM-C003-03, um dos utilizados na confecção do protótipo.

Figura 8 - Motor de Passo



Fonte: Próprio Autor

### 3.1.4 Driver

O modelo utilizado para fazer o acionamento dos motores de passo foi o Photon PH4003, equivalente a um atual. Ele apresenta corrente de carga de 3,5A e tensão de alimentação máxima de 40V.

A figura 9 mostra o modelo do driver aplicado no protótipo

Figura 9 – Driver PH4003



Fonte: Próprio Autor

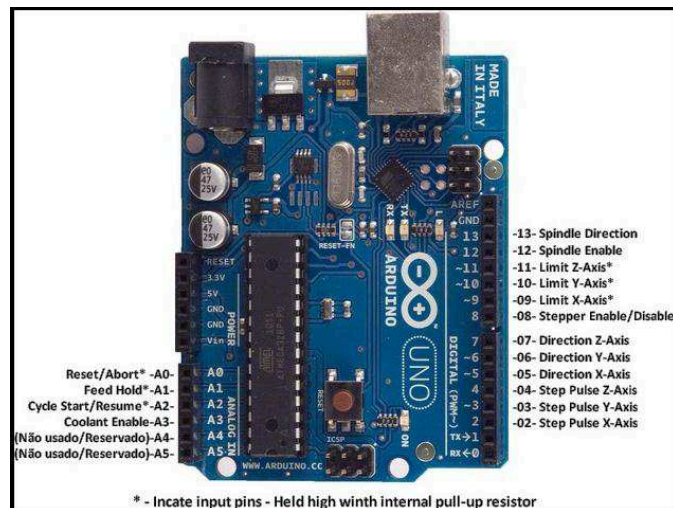
O driver PH40003 possui algumas portas de controle, sendo elas:

- HAB – Função “Habilita” – Habilita o funcionamento do driver, ligada ao pino 8 do Arduino.
- H/A – Função “Horário/Anti-horário” – Utilizado para definir o sentido do movimento dos eixos X,Y e Z. Está conectado nos pinos 5,6 e 7.
- CLK – Função “Clock” - Determina o número de passos com o qual o motor vai trabalhar. Ligado nos pinos 2,3 e 4.
- GND – “Terra” – É o terminal comum de todas as portas.

As portas de saída do driver irão enviar o sinal de controle para o motor de passo através das portas B-, B+, A-, A+.

As conexões do driver no Microcontrolador Arduino são mostradas na figura 10.

Figura 10 – Esquema de ligação Arduino



Fonte: <http://www.lordgeekcafe.com.br/diy-cnc-router-com-arduino/5/>, acesso em 18/06/2017

### 3.1.5 Fonte de Alimentação

A fonte utilizada para alimentar o Router CNC foi o modelo CHM 24-5, da fabricante MCE. Esse equipamento possui entre suas vantagens: excelente desempenho, leve e compacto, alta eficiência, baixo custo, baixo *ripple*, alto MTBF e proteção total. Possui aplicações nas áreas de automação industrial, teste e medição, telecomunicações, áudio e vídeo, dentre outros.

Entre as principais características técnicas desse modelo de fonte, pode-se citar:

- Tensão de entrada: 110/220VAC
- Potência máxima de saída: 125W
- Ripple + ruído < 0,2%
- Rendimento típico > 80%

A escolha do modelo também se deveu à anterior disponibilidade da fonte. A figura 11 apresenta o modelo de fonte utilizado.

Figura 11 – Fonte de Alimentação



Fonte: Próprio Autor

### 3.1.6 Softwares

A seguir, serão apresentados os softwares utilizados para realização dos testes de simulação.

#### 3.1.6.1 Proteus

O Proteus Design Suite é desenvolvido na cidade de Yorkshire (Inglaterra) pela empresa Labcenter Electronics Ltd. O software é executado no sistema operacional Windows, e está disponível em inglês, francês, espanhol e chinês.

O software Proteus é uma ferramenta completa para o desenho e simulação de projetos eletrônicos, tais como placas de circuito impresso. Este software é uma ferramenta muito útil para estudantes e profissionais que desejam acelerar e melhorar suas habilidades no desenvolvimento de aplicações analógicas e digitais.

Proteus possui um programa integrado chamado ARES que permite a criação de desenhos de circuitos empregando um entorno gráfico no qual é possível colocar os símbolos representativos dos componentes e através deste mesmo programa pode-se

levar a cabo o desenvolvimento das placas de circuitos impressos. Além do programa ARES, possui ainda outro programa integrado chamado ISIS, que permite a realização de simulações de seu funcionamento sem o risco de ocasionar danos aos circuitos. A simulação pode incluir instrumentos de medição e a inclusão de gráficos que representam os sinais obtidos na simulação.

Para realização deste trabalho, foi utilizada a versão do Proteus 8.1, em função da possibilidade de, além de confeccionar os desenhos, realizar as simulações para verificar o funcionamento do circuito elaborado. O usuário da máquina, porém, pode optar por outro software de sua preferência que gere um arquivo compatível com o programa gerador de código G.

### 3.1.6.2 CooperCAM

É uma aplicação para o gerenciamento de gravuras isoladas, perfuração e corte em protótipos de placas de circuito impresso. Este programa não é integrado diretamente a uma máquina CNC, mas seus arquivos podem simplesmente ser carregados e utilizados por softwares de unidades externas que, então, enviam os dados para a máquina CNC.

O tipo de arquivo utilizado para gerar os contornos no software é o Gerber (.grb). Essa extensão é gerada pelo Protheus, e carregada no CooperCAM, que posteriormente gera o código G que vai ser utilizado na usinagem da placa.

### 3.1.6.3 Universal Gcode Sender

Após os arquivos serem gerados em formato Gerber, é necessária uma ferramenta para enviar os sinais para o Arduino. O software ideal para isso deve ser implementado em Java, para que assim possa ser executado em todos os sistemas operacionais, portanto optamos pelo uso do Universal G-Code Sender.

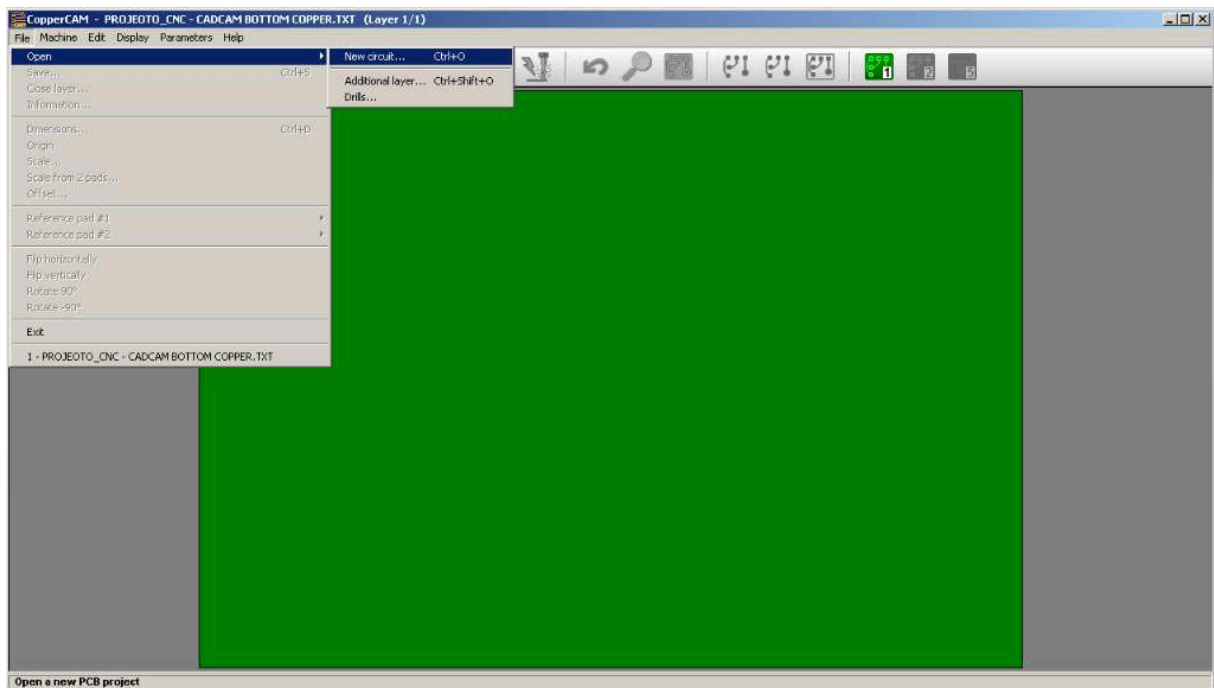
Ao carregar os arquivos GRBL no G-Code Sender, as mensagens serão enviadas para o Arduíno e assim as configurações do CNC serão habilitadas.

## 3.2 METODOLOGIA

1º - Abrir o programa CooperCAM

## 2º - Criar um novo circuito

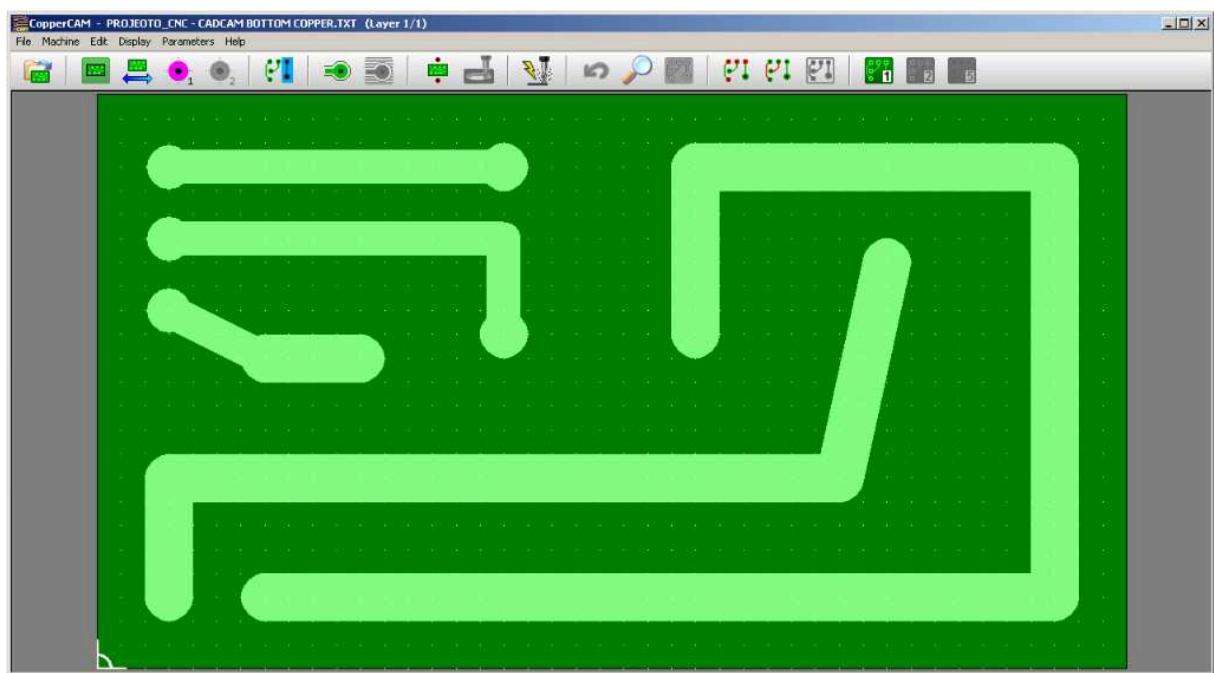
Figura 12 – Instruções para criar um novo circuito



Fonte: Próprio Autor

## 3º - Abrir o arquivo TXT do desenho gerado no Proteus

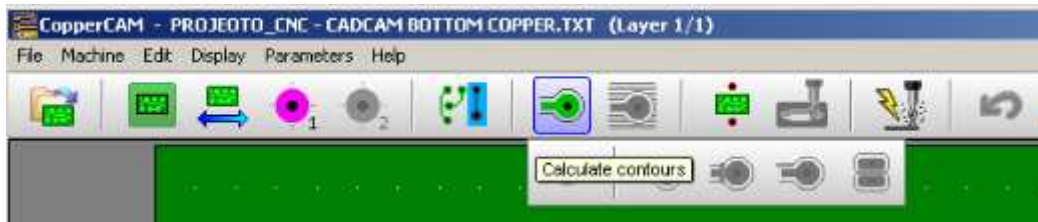
Figura 13 – Desenho carregado no CooperCAM



Fonte: Próprio Autor

4º - Clicar sobre o ícone “Calcular Contornos” na aba de ferramentas

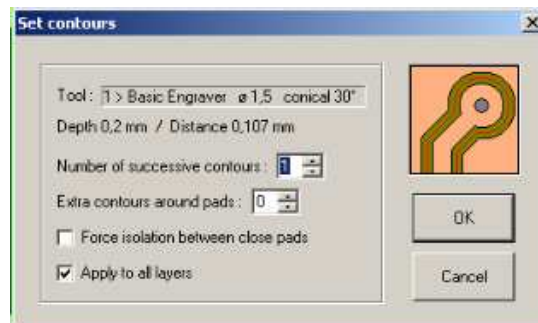
Figura 14 – Ícone “Calcular Contornos”



Fonte: Próprio Autor

5º - Configurar a espessura do contorno das trilhas

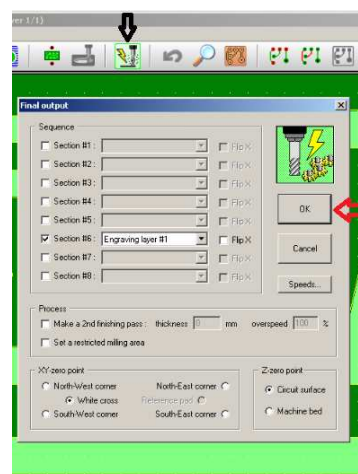
Figura 15 - Configuração da espessura do contorno das trilhas



Fonte: Próprio Autor

6º - Clicar sobre o ícone “Mill” (indicado pela seta preta) na aba de ferramentas e depois sobre o botão “OK” (seta vermelha)

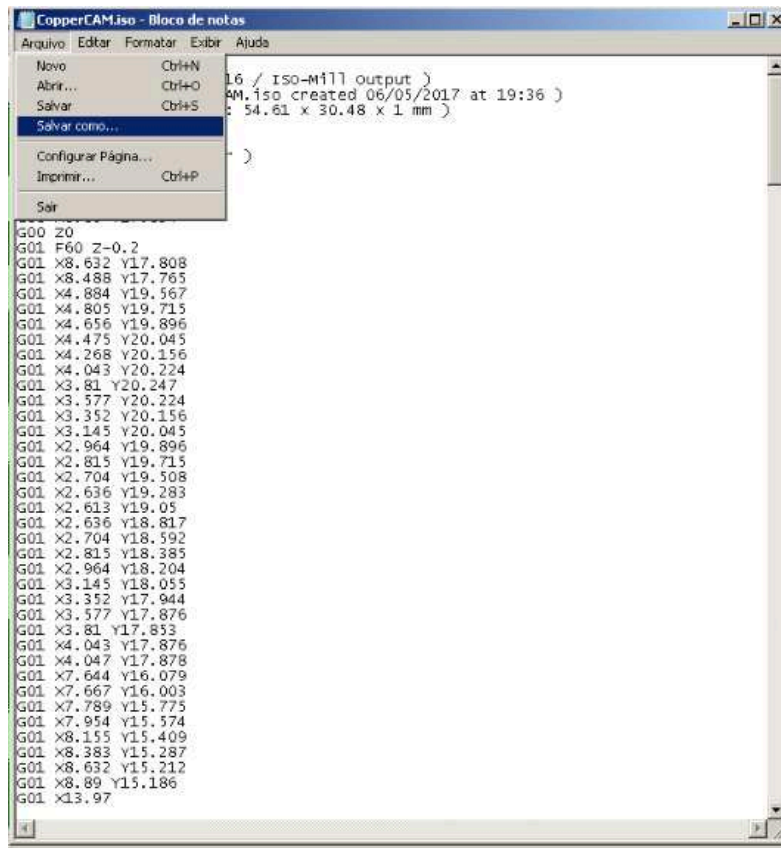
Figura 16 – Ícone “Mill”



Fonte: Próprio Autor

7º - Salvar o arquivo “txt” gerado com o código G

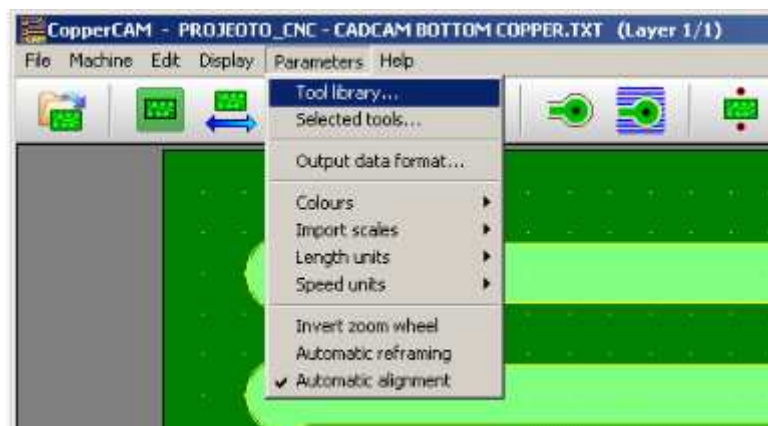
Figura 17 – Instrução para salvar o arquivo txt



Fonte: Próprio Autor

8º - Clicar sobre o ícone “Parâmetros” na aba de ferramentas e selecionar a opção “Tool Library”

Figura 18 - Ícone “Parâmetros”

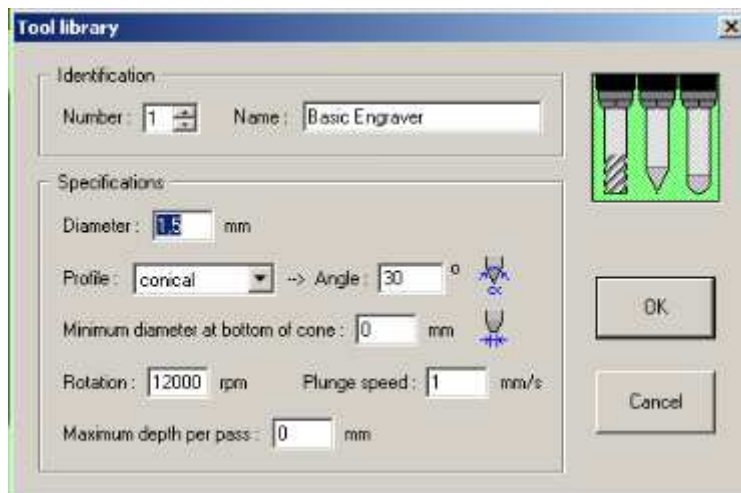


Fonte: Próprio Autor



9º - Conferir os parâmetros da ferramenta e clicar sobre o botão OK

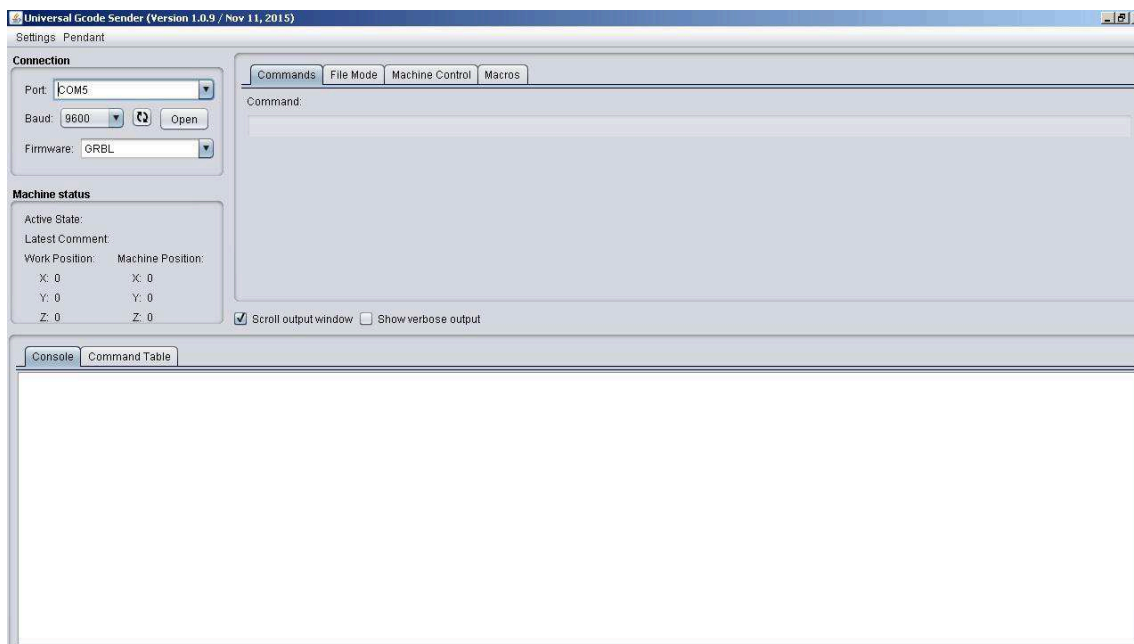
Figura 19 – Parâmetros da Ferramenta



Fonte: Próprio Autor

10º - Abrir o programa Universal Gcode Sender

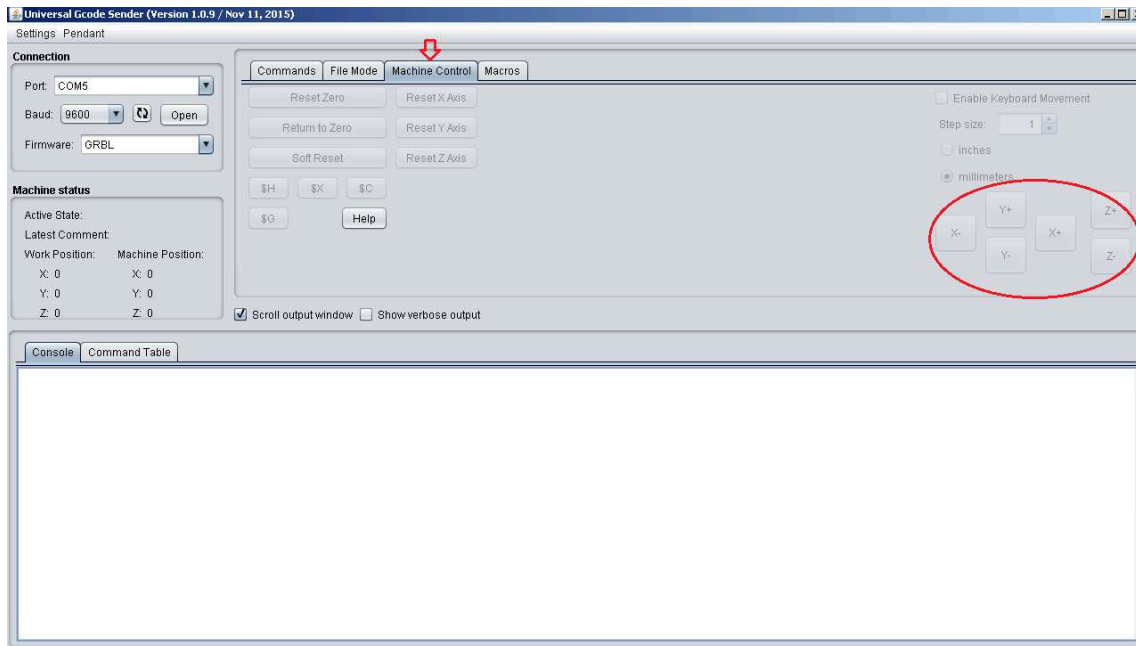
Figura 20 – Tela Inicial Universal Gcode Sender



Fonte: Próprio Autor

11º - Clicar sobre o ícone “Controle de Máquina” na aba de ferramenta (indicado pela seta vermelha). Neste ícone, é possível movimentar e fazer a referência dos eixos (dentro das opções circuladas à direita pode-se mover os eixos).

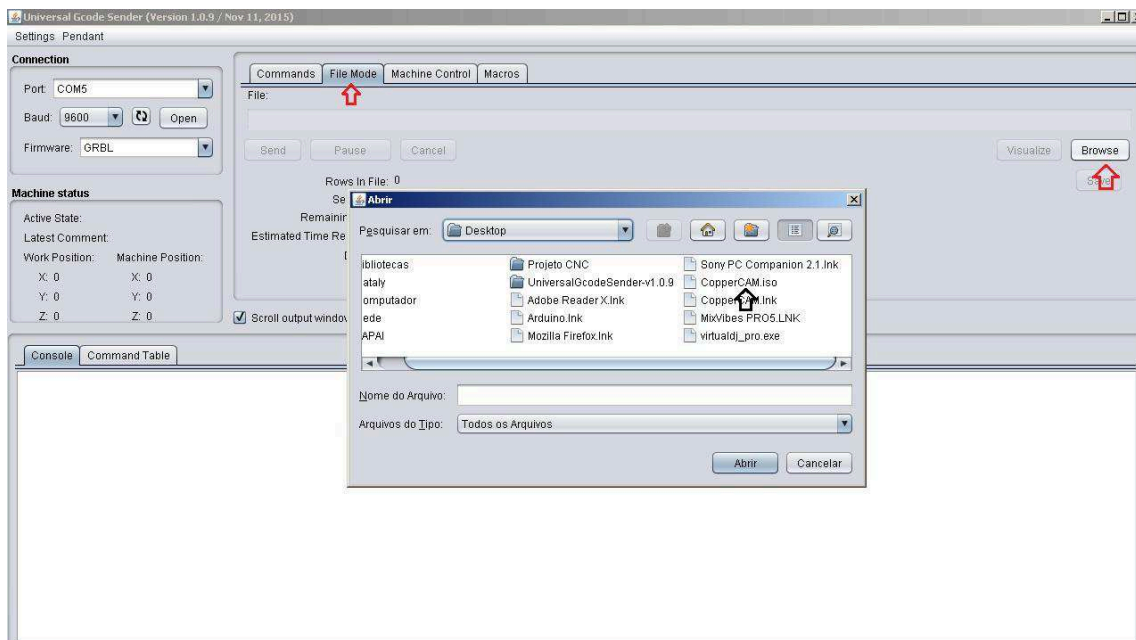
Figura 21 – Controle de Máquina



Fonte: Próprio Autor

12º - Dentro do ícone “Modo de Arquivo” na aba de ferramenta, clicar sobre a opção “Pesquisar” e selecionar o programa criado no software CooperCAM.

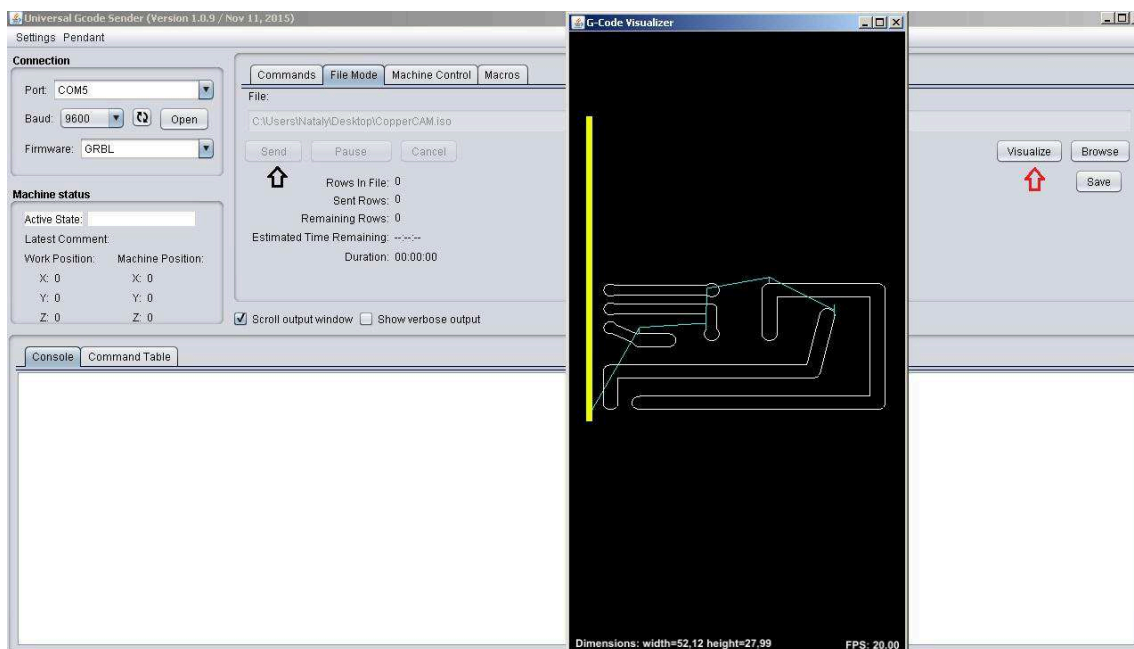
Figura 22 – Modo de Arquivo



Fonte: Próprio Autor

13º - Clicar sobre o ícone “Visualizar” (seta vermelha), onde será exibido o desenho que será realizado. A seguir, clicar sobre a opção “Enviar” (seta preta) para iniciar a o funcionamento da máquina.

Figura 23 – Envio do programa para máquina



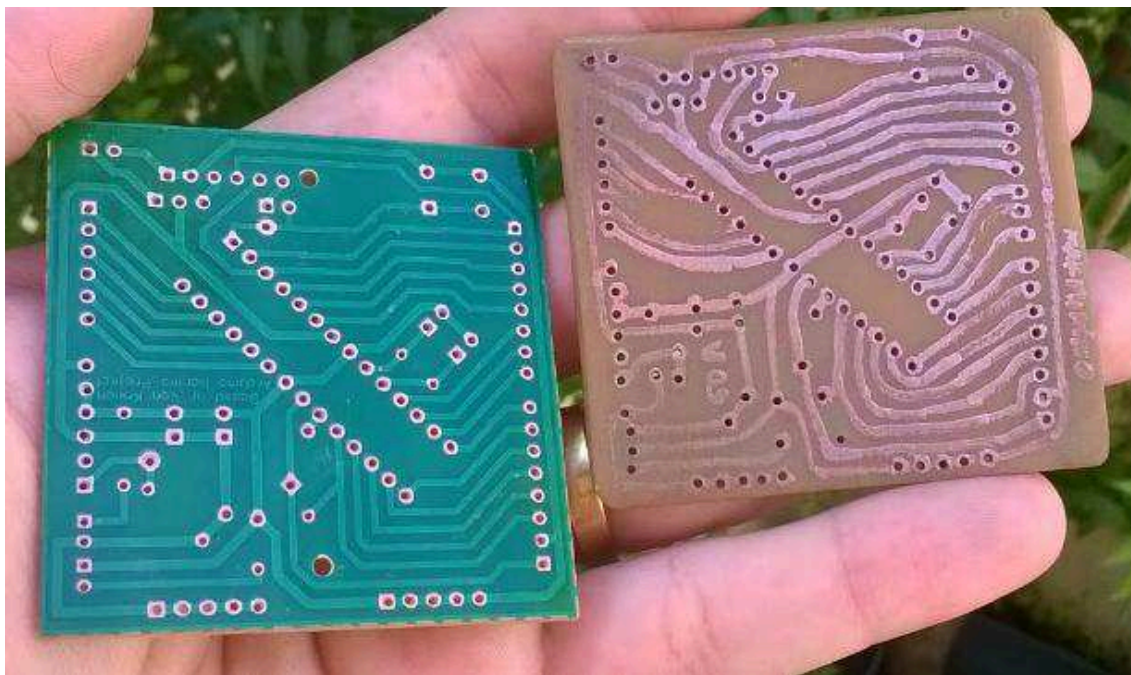
Fonte: Próprio Autor

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 COMPARAÇÃO ENTRE PCB FEITA COM CNC E PCB FEITA À MÃO

A Figura 24 mostra um exemplo de placa eletrônica em circuito impresso em comparação com uma placa cujo circuito foi desenhado manualmente e feita a corrosão com uso de ácido.

Figura 24 – Circuito impresso x Circuito à mão



Fonte: <http://blog.fazedores.com/marminino-o-arduino-cearense/>, acesso em 29/10/2017

O primeiro aspecto que se observa é em relação à questão estética. A placa desenhada por meio de computador possui aparência muito mais agradável, profissionalizando o projeto. As falhas nas trilhas do circuito manual podem prejudicar o seu funcionamento correto e eficiente, uma vez que aumenta a resistência elétrica entre os componentes, podendo até mesmo ser interrompido completamente. Existe ainda a possibilidade de as trilhas fecharem curto entre si, o que também acarretaria problemas no funcionamento. Nos circuitos feitos com computador, é possível ajustar até mesmo a largura das trilhas, de acordo com o tamanho da placa disponível e do circuito a se desenhar, garantindo maior eficácia do projeto.

Também é importante salientar a possibilidade de se modificar o *design* do circuito várias vezes utilizando um *software*, como o Proteus, além de testar em

simuladores virtuais antes de aplicar o desenho em uma placa, o que reduz os custos com materiais.

Cita-se ainda a possibilidade de salvar os projetos realizados e aplicá-los novamente em outras placas, não sendo necessário redesenhá-los a cada nova confecção. Finalmente, vale destacar a diferença na velocidade para elaboração de uma placa profissional e uma placa desenhada manualmente, fatores que agregam grandes benefícios em uma necessidade de economia de escala.

#### 4.2 CUIDADOS PARA MONTAGEM DE UM PROTÓTIPO

Para a realização deste trabalho de pesquisa, optou-se pela montagem de um protótipo para elaborar circuitos impressos. Porém, esse processo exige uma série de cuidados que foram percebidos durante a confecção desse modelo e que, se conhecidos previamente, evitariam problemas que prejudicaram a rapidez do desenvolvimento e a eficiência do sistema montado. Alguns deles serão aqui citados.

- **Materiais não padronizados:** durante a montagem da estrutura física, verificou-se que as vigas de madeira não possuíam o mesmo tamanho, além de estarem empenadas, o que exigiu a troca para evitar falhas mecânicas, especialmente de esforço nos eixos;
- **Falta de materiais:** em muitos casos, durante a realização do trabalho, deparou-se com a necessidade de materiais, ferramentas ou peças indisponíveis no momento e que atrasaram a execução do trabalho. Um planejamento detalhado poderia evitar esse ocorrido;
- **Ferramentas inadequadas:** a falta de ferramentas ideais fez com que a mesma tivesse que a estrutura tivesse que ser remontada várias vezes.
- **Custos elevados:** o protótipo montado utilizou-se de vários componentes disponíveis anteriormente a esse projeto. Porém, uma montagem completa desse

tipo de sistema pode ter uma série de custos que não são considerados inicialmente, e que podem vir a afetar a realização do trabalho.

#### 4.3 MELHORIAS PROPOSTAS

Em função da falta de tempo hábil para a realização do trabalho e da perspectiva em que se pretendia estudar o Router CNC, vários pontos foram observados no curso deste projeto que podem ser corrigidos e/ou modificados. Alguns desses podem ser alvos de trabalhos futuros por esta ou por outro(a) autor(a) e que serão aqui citados:

- Utilização de estrutura de metal ou alumínio, para reduzir o peso;
- Utilização de ferramenta específica para máquinas CNC, garantindo melhor precisão na elaboração das placas;
- Melhoria no sistema de zeramento dos eixos, com inclusão de sensores para referência precisa;
- Melhoria no sistema de fixação das placas eletrônicas;
- Instalação de um display para eliminar a necessidade de computador para operação da máquina;
- Redimensionamento dos eixos, devido a problema de batimento.

## 5. CONCLUSÃO

O estudo do Router CNC foi extremamente útil ao possibilitar que se adquirisse conhecimento mais aprofundado de diversos aspectos, como programação de CNC, Arduino, drivers de acionamento e encoders.

Verificou-se a importância e a utilidade de recursos computacionais nos estudos em engenharia, uma vez que se pode projetar e simular de maneira adequada. Agregou-se, por exemplo, o conhecimento de programação na plataforma Arduino e a utilização dos softwares Proteus, CooperCAM e Universal Gcode Sender como mecanismos fundamentais para se atingir o resultado desejado no curso desse trabalho.

Observou-se também que a elaboração de protótipos é um excelente caminho para estudos práticos em engenharia, pois permite o aprendizado com situações práticas em um espaço controlado e reduzido. Porém, a sua criação não é sempre fácil ou simples, exigindo-se conhecimento técnico e ferramental matemático para determinar alguns fatores, dentre eles materiais e componentes, e ferramentas para sua construção.

Concluiu-se sobre a importância do conjunto de disciplinas estudadas ao longo do curso de graduação como extremamente úteis para a elaboração deste trabalho e de outros futuros na área de engenharia, uma vez que propiciaram conhecimentos técnicos e aguçaram a curiosidade por novas informações. Além disso, pode-se citar a necessidade de se trabalhar em grupo na solução de problemas, uma vez que muitas vezes ao longo do desenvolvimento dessa monografia teve de se recorrer a professores do departamento e profissionais de outras áreas para auxiliar.

Portanto, chegou-se à conclusão que o trabalho obteve êxito em seus objetivos gerais e específicos, atendendo às expectativas iniciais.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCOFORADO NETO, Manoel Guedes. **Metodologia de design mediada por protótipos**. 2014. 485 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/110873>>. Acesso em 23/08/2017.

BRITES, Felipe Gonçalves. SANTOS, Vinicius Puga de Almeida. **Motor de Passo**. 2008. 15f. Programa de Educação Tutoria – Curso de Engenharia de Telecomunicações, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, 2008.

DS4 & LASER. **Router CNC**. Disponível em [www.ds4.com.br/router/](http://www.ds4.com.br/router/). Acesso em 22/05/2017.

MAXDESIGN. **Funcionamento Router CNC**. Disponível em: [www.maxdesign.com.br/corte-em-router-cnc/index.php/2015/04/27/como-trabalha-um-router-cnc/](http://www.maxdesign.com.br/corte-em-router-cnc/index.php/2015/04/27/como-trabalha-um-router-cnc/). Acesso em 22/05/2017.

PROTOPTIMUS. **Máquinas CNC: A história do comando numérico computadorizado**. Disponível em: <http://www.proptimus.com.br/maquinas-cnc-historia-comando-numeric-computadorizado/>. Acesso em 01/11/2017

ROBOTIZANDO. **Curso de Arduino**. Disponível em: [www.robotizando.com.br/curso\\_arduino\\_o\\_que\\_e\\_arduino\\_pg1.php/](http://www.robotizando.com.br/curso_arduino_o_que_e_arduino_pg1.php/). Acesso em 22/05/2017.