

IMPLEMENTAÇÃO DO CONTROLE NUMÉRICO COMPUTADORIZADO EM MICROCONTROLADOR ATMEGA320P PARA DESENVOLVIMENTO DE UMA FRESADORA

IMPLEMENTATION OF COMPUTERIZED NUMERIC CONTROL IN MICROCONTROLLER ATMEGA328P FOR DEVELOPMENT OF A MILLING MACHINE

José Ricardo Nogueira Junior¹

Vanderlei Miranda²

RESUMO

Neste artigo, é desenvolvido um projeto de uma Fresadora, implementando um controle numérico em um microcontrolador (CNC), capaz de fazer trilhas e furos, usinando uma placa de fenolite, utilizando um protocolo de comunicação USB (Universal Serial Bus) para transferir dados do computador para a máquina. Devido à grande dificuldade por outros meios de fabricação de PCB (Printed Circuit Board) caseira (como a transferência térmica), estudantes, hobistas e amantes da eletrônica podem desenvolver placas PCB para seus projetos. Será desenvolvido um protótipo que a mostrará funcionando e fresando as placas de fenolite, como proposto. Este projeto abrange três grandes áreas de estudos, são elas: Mecânica, Eletrônica e Computação. O estudo do projeto mecânico trata das especificações dos componentes e escolhas dos materiais da estrutura da máquina e todos seus eixos de deslocamento. O estudo do projeto Eletrônico trata das escolhas e especificação dos motores, drivers de potência, controladores, fonte de alimentação e de toda parte de alimentação e potência da máquina. O estudo do projeto de Computação trata da utilização dos programas responsáveis pelo controle dos motores, através do microcontrolador Arduino, e *softwares* que converte *layouts* da PCB para GRBL e para códigos de usinagem, que é convertido em código G, que são interpretados através do CNC.

¹ Graduação em Engenharia Elétrica no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: jricardonogueirajr@gmail.com

² Docente no Curso de Engenharia Elétrica no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: vandmir@gmail.com

Palavras-chave: Controle, Usinagem, Fresagem

ABSTRACT

In this paper, a Milling Machine project will be developed, implementing a numerical control in a microcontroller (CNC), capable of making tracks and holes, by machining a phenolite plate using a Universal Serial Bus (USB) communication protocol to transfer data from the computer for the machine. Due to the great difficulty of other means of manufacturing home-made Printed Circuit Board (such as thermal transfer), students, hobbyists and lovers of electronics, can develop pcb boards for their projects. A prototype will be developed that will show it functioning and milling the phenolite plates as proposed. This project covers three major areas of study: Mechanical, Electronics and Computing. The mechanical design study deals with the specifications of the components and choices of the machine structure matters and all of its shifting shafts. The Electronic Design study deals with the choices and specification of the motors, power drivers, controllers, power supply and all power and power parts of the machine. The study of the Computation project deals with the use of the programs responsible for controlling the motors, through the Arduino microcontroller, and software that converts layouts from PCB to GRBL and for machining codes, which is converted into G code, which are interpreted through of the CNC.

Keywords: Control, Machining, Milling

1 INTRODUÇÃO

A Segunda Guerra Mundial teve um papel importante para o desenvolvimento tecnológico, por esse feito, em meados da década de 40, para que se conseguissem suprir a demanda de equipamentos de guerra, iniciou o primeiro desenvolvimento do Comando Numérico, uma união entre o MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts), e a Força Aérea Americana.

Com o avanço da eletrônica, foram desenvolvidos microprocessadores, memórias que por sua vez, puderam ser integrados ao Comando Numérico, tornando-se assim o Comando Numérico Computadorizado (CNC). A fresadora CNC é capaz de usinar em 3 eixos (X, Y, Z), sendo capaz de fazer trilhas estreitas e furos

extremamente pequenos, com velocidade e precisão. O tipo de material a ser fresado depende da potência dos motores agregados à Fresa. No caso do projeto em questão, serão fresadas as placas de fenolite, que não demandarão alta potência dos motores. A CNC será controlada através de softwares computacionais, que a farão trabalhar de forma automática, sem necessidade de um operador, sendo necessário somente inserir o desenho ou o layout do circuito a ser desenvolvido.

A grande motivação do projeto é a dificuldade de estudantes de engenharia, hobistas, e amantes da eletrônica, para desenvolver um simples protótipo para um projeto, a fabricação de PCB'S por métodos caseiro, como por exemplo, transferência térmica, exige muito trabalho, e é pouco eficiente, pois ele não tem precisão de trilhas, não faz furos e precisa ser usado percloreto de ferro para corroer a placa

Será desenvolvido um protótipo da fresadora, que contará com materiais de baixo custo, como por exemplo, a estrutura, que será construído com MDF. O microcontrolador será o ATmega328p, que possui um baixo custo, em relação a sua performance, ou seja, tem um excelente custo e benefício.

Portanto, o objetivo desse trabalho é a fresagem de placas de fenolite para desenvolvimento PCB'S, tanto para protótipos ou simplesmente para hobbie.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico apresentado a seguir aborda os principais conceitos teóricos compreendidos na graduação, aplicados a máquina, e para melhor compreensão, será dividido em partes.

2.1 MÁQUINAS COM CNC

Sistemas de controle e automação vem sendo cada vez mais estudado e implementado em máquinas manuais, tornando-as totalmente autônomas, garantindo assim, precisão, agilidade, repetibilidade, velocidade, eficiência e confiabilidade.

Segundo Santos e Dias (2010), máquinas que possuem controle numérico computadorizado, são capazes de fabricar peças em diversos tipos de materiais,

através de uso de ferramentais de corte. As mesmas são controladas numericamente, e surgiram para aprimorar, otimizar e garantir a qualidade no processo.

Durante a década de 50, na indústria de construção de aviões, devido a necessidade de uma máquina com maior velocidade e precisão, foi crucial para o desenvolvimento de uma fresa com controle numérico computadorizado (ESPANHOL, 1989. p. 13).

Segundo Slack (1996), a máquina CNC é composta basicamente da unidade de comando, onde é armazenado o software e onde são processados todos os cálculos do sistema, da máquina ferramenta e dos acionamentos para os movimentos dos eixos. Para o funcionamento da máquina é necessária uma comunicação com o equipamento feita por uma linguagem de programação, através de códigos ou símbolos padrão.

O Comando Numérico Computadorizado é, portanto, um computador ou microcontrolador (como o ATmega328p), que através dos códigos e de sua memória, permite o armazenamento e utilização de dados no comando de uma máquina (ESPANHOL, 1989).

Para Lyra (2010), a fresadora, na qual será implementado o Controle numérico computadorizado, é formada por um motor de alta rotação, um mandril, e uma ferramenta de corte encaixada ao mandril. A rotação do motor, gera um movimento rotacional na ferramenta de corte, que retira material da peça. O material bruto é fixado na base da máquina, que se desloca linearmente no eixo X. A fresadora com esse tipo de controle numérico computadorizado, recebe o nome de Fresadora CNC.

2.2 MECÂNICA

2.2.1 ESTRUTURA

A Rigidez é a propriedade do material que oferece resistência a sua deformação, pois quando ocorre a deformação em um corpo perpendicular relacionado ao seu eixo e paralelo à força aplicada, sofre uma flexão que leva a deslocar para mais ou para menos a posição da ferramenta durante as operações de usinagem. Quanto mais acentuada for, menos precisão o equipamento oferecerá.

Segundo Stoeterau (2004), no desenvolvimento estrutural da fresadora, a rigidez tem uma importância maior que a capacidade de carga dos elementos sustentação (fusos, guias), uma vez que quando o material é usinado, os esforços gerados são inferiores aos limites deles.

Possuindo um excelente custo benefício, os tubos de aço carbono com costura têm uma ótima rigidez, ou seja, oferece uma deformação mínima e alta precisão.

Segundo Kotani (2011), os tubos de aço carbono com costura podem ser produzidos em uma variada gama de matérias-primas (tipo de aço utilizado), que são normalmente fornecidas segundo especificações ASTM (American Society for Testing and Materials), DIN (Deustaches Institute for Normuns), API (American Petroleum Institute), AISI (American Institute of Steel and Iron), SAE (Society of Automotive Engineers), ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

2.2.2 SISTEMA CONVERSORES DE MOVIMENTO

A maioria dos acionamentos nas fresadoras CNC é de ação rotativa, esse movimento vem do motor de passo. Os deslocamentos destas máquinas são normalmente de padrão linear, contudo são necessários componentes que convertam movimentos rotativos do eixo do motor para movimento linear. (MOREIRA, 2015).

Para a alteração de movimento rotativo para linear, o fuso deve estar fixado de modo que permita apenas movimento de rotação, além de estar associado a castanha, que permite somente o movimento no sentido linear. Quando o fuso é girado, a castanha se desloca para frente ou para traz, dependendo do sentido de rotação. (WERNER, 2015).

A utilização de fusos trapezoidais se torna melhor acessível, quando se trata de repetibilidade e precisão em razão dos fusos de esferas terem as melhores características, entre a porca cilíndrica flangeada e os filetes da rosca já que são mínimas, já que a geometria trapezoidal permite um maior espaço porca/filete, diminuindo assim a precisão do elemento. (SANTOS, 2001).

Prosseguindo com o raciocínio de Santos (2001), os fusos esféricos possuem rendimento mecânico de até 98% que é um alcance de precisão de valores como 0,001 mm. Já os trapezoidais detêm um rendimento mecânico de no máximo 50% e

precisão de 0,01 mm. Além disso, os fusos esféricos têm uma durabilidade maior; não necessitam de uma potência de acionamento elevada, e possuem baixo atrito possibilitando uma maior velocidade de rotação.

2.2.3 GUIAS LINEARES

As guias são partes fundamentais nas máquinas CNC, que possuem grande influência sobre fatores, como por exemplo o excesso de folgas e vibrações de modo que diminuem a precisão do equipamento. (NASCIMENTO, 2011).

As guias são definidas como elementos estruturais que permitem que um componente deslize ao longo de outro. Em guias lineares, o movimento é retilíneo e restrito a um espaço. (STOETERAU, 2004).

Segundo Nascimento (2011), estas guias são constituídas de barras rígidas que implementam a estrutura da máquina e também ajuda no deslocamento da mesma, de modo a minimizar as folgas com o mínimo de vibração.

2.2.4 ROLAMENTOS LINEARES

Para deslocamento linear ao longo dos eixos, são empregados rolamentos lineares, tais componentes permitem avanços de alta performance e precisão com mínimo atrito, são normalmente empregados em máquinas que requerem alta precisão, como por exemplo: equipamentos de medição em 3D, equipamentos de gravação automáticos, sistemas de movimentação linear em máquinas, máquinas para afiação de ferramentas, máquinas de impressão, máquinas para embalar alimentos etc. (SKF, 2016).

2.2.5 ACOPLAMENTO

Para Stoeterau (2004), uma das maiores dificuldades no desenvolvimento da CNC é o alinhamento do eixo do motor com o fuso, mesmo com técnicas avançadas para tal finalidade, tem a necessidade do uso de acoplamentos, que terão o propósito de unir os eixos, compensar o desalinhamento e transmitir movimento.

2.3 ELÉTRICA E ELETRÔNICA

2.3.1 MOTORES DE PRECISÃO

Os motores farão o deslocamento da ferramenta nos eixos (X, Y e Z). Comumente, as máquinas CNC empregam diferentes tipos de motores, entre eles, motores de passo, Servo motores DC (corrente contínua) e Servo motores AC (corrente alternada). (ALBERT, 2004).

Brites e Santos (2008) afirmam que os motores de passo são dispositivos que convertem pulsos elétricos em rotação angular. Os pulsos elétricos quando aplicados em uma determinada sequência nos terminais, o rotor do motor de passo é rotacionado em pequenos incrementos angulares, chamado de *passos*. A rotação dos motores é diretamente relacionada aos impulsos elétricos que são recebidos, e também é definido a direção do rotor pela sequência dos passos. A velocidade que o rotor gira é dada pela frequência de pulsos recebidos e o tamanho do ângulo rotacionado é diretamente relacionado com o número de pulsos aplicados.

Devido a fácil implementação em sistemas eletrônicos (como o Arduino), a integração deste motor com o computador é bem prática. (STOETERAU, 2004).

Uma outra característica é o número elevado de passos por revolução, o padrão de 1,8 graus por pulso é adotado pela maioria dos modelos comerciais, que representa 200 pulsos por volta. (CONSTANDINOU, 2013).

Para Brites e Santos (2008), sempre que movimentos precisos são necessários, os motores de passo são as melhores opções. Eles podem ser usados em aplicações em que o ângulo de rotação, velocidade, posição e sincronismo precisam ser controlados. O ponto forte de um motor de passo não é a sua força (torque), nem sua capacidade de desenvolver altas velocidades, mas a possibilidade de controlar seus movimentos de forma precisa. Por conta disso, este motor é vastamente usado em dispositivos eletrônicos que requerem de precisão.

Os motores de passo devem ser dimensionados para fornecer torque o suficiente para movimentação da estrutura metálica sem sobrecargas e também devem exercer força para as operações de usinagem.

O torque necessário para que ocorra movimentação do motor é definido pela equação abaixo: (HANNIFIN, 2003)

$$T = 2\pi \times J \times AC$$

“T” (N.m) = Torque

“J” (kg.m²) = Momento de inércia do sistema

“Ac” (rot/seg²) = Aceleração dos motores.

2.3.2 MOTOR DE CORTE

Motores de cortes, ou *Spindle* são motores de alta e rotação que podem ir de 18.000 a 24.000 RPM. São construídos com rolamentos cerâmicos para melhor desempenho, tendo modelos com potências de 300W a 4,5KW. As aplicações são as mais diversas, sendo as mais típicas para fresamentos de madeira, plásticos, alumínio e mármore. (KALATEC, 2013).

2.3.3 DRIVERS DE ACIONAMENTOS

Cada motor deve receber corrente adequada às suas bobinas para funcionarem corretamente, desde mil amperes até dezenas de amperes. O componente que controla e regula essa corrente chama se driver.

O driver é um circuito digital que é capaz de amplificar sinais de baixa potência, permitindo ativar ou desativar atuadores, podendo trabalhar com níveis maiores de energia do que a interface de saída do microcontrolador (como Arduino) pode fornecer. (PAZOS, 2002)

Para acionar um motor de passo, os drivers contam com um sistema de chaveamento que utiliza transistores, conhecidos como *Mosfets* (Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor). (PAZOS, 2002).

2.3.4 FONTE DE ALIMENTAÇÃO

A fonte de alimentação chaveada é um dos componentes principais da máquina, que por sua vez, fornecerá energia para a CNC funcionar, já que a mesma opera com uma tensão inferior da rede elétrica.

As fontes chaveadas, comutadas ou do inglês SMPS (Switched Mode Power Supply) são fontes que controlam a tensão abrindo e fechando um circuito comutador de modo a manter o *duty cycle* deste circuito a tensão desejada. (BRAGA, 1994)

Esse componente que faz o chaveamento controlando a tensão aplicada no circuito de carga pode ser um *Mosfet* ou *Igbt* (Insulated Gate Bipolar Transistor). Este circuito de comutação é ligado a um oscilador que gera um sinal retangular, mas cuja largura do pulso pode ser controlada por um circuito sensor. Podemos, portanto, controlar a tensão variando a largura do pulso que comanda o componente comutador. O processo de controle é denominado PWM (Pulse Width Modulation) ou Modulação Por Largura de pulso.

Quando o componente comutador está desligado, a corrente sendo nula não há dissipação de calor, e quando ele está ligado sua resistência é mínima, quase zero, e da mesma forma, não há dissipação de calor, isso se, o transistor fosse um comutador ideal, com resistência nula quando ligado, infinita quando aberto, e comutasse instantaneamente, a dissipação de calor nele seria nula, ou seja, não haveria nenhuma perda de energia ou geração de calor na fonte.

2.3.5 CHAVES FIM DE CURSO

As chaves de fim de curso estabelecem limites físicos da máquina, como uma medida de segurança, que impede o motor de avançar além dos limites estabelecidos. Dentre as chaves “fim de curso”, as utilizadas em máquinas de pequeno porte são as do tipo *Micro-switch*.

As chaves *Micro-switch* são responsáveis pela comunicação com o controlador, enviando um sinal que indica o término do curso da máquina, elas são capazes de interromper a transmissão entre as partes de um circuito eletrônico através da manipulação de uma alavanca mecânica, (RAMÍREZ, 2015)

Conforme Ramírez (2015), estas chaves possuem duas configurações, normalmente aberta e normalmente fechada. Quando a chave está aberta, não há fluxo de corrente entre seus terminais, mas quando a chave fechada, existe fluxo de corrente.

2.3.6 CONTROLADOR

Com a finalidade de comandar a máquina CNC, o controlador é responsável pela integração dos sistemas, sendo capazes de receber e interpretar comandos a serem enviados para os motores, como por exemplo o Arduino.

O Arduino funciona como um computador programável que permite o processamento de entrada e saídas entre os componentes e dispositivos que estiverem conectados, fazendo a interação entre o hardware e software. (MCROBERTS, 2011).

2.4 SOFTWARE

2.4.1 LINGUAGEM G-Code

Segundo Kramer, M. Proctor e Messina (2000) a base da entrada de dados se dá por uma linguagem de programação chamada RS-274 (G-Code), que é de amplo uso em equipamentos CNC. Este código fará o controle da máquina, executando diversos tipos de tarefas, essas funções são chamadas funções preparatórias como deslocamento dos eixos, avanço, coordenadas e etc.

2.4.2 GRBL

GRBL é um firmware de controle, que consiste em dois módulos de execução simultaneamente, recebendo primeiro o programa principal através da porta serial, em código G. Estas linhas são interpretadas e decompostas em blocos de dados, cada bloco contém informações de um trajeto em linha reta, aceleração e velocidade. (FACHIM, 2013)

O GRBL é projetado para ser simples, portanto, não é solução definitiva para todos os tipos de fresamento CNC, porém é ponto de partida para construção de qualquer equipamento CNC que se utiliza de plano cartesiano (fresadoras, cortadoras a laser, impressoras, etc.). Devido a sua simplicidade o GRBL foi adaptado para centenas de projetos. (SPILLING, 2014)

2.4.3 GRBL CONTROLLER

GRBL Controller é o interpretador código aberto de código G criado para plataforma Arduino, é escrito na linguagem de programação "C". O Grbl funciona através de um computador conectado com Arduino pela porta USB e converte o código G em sinais de controle de motor de passo e emite estes através de pinos de saída dedicados. (SPILLING, 2014).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O protótipo da Fresadora envolverá uma extensa pesquisa bibliográfica abrangendo três grandes áreas: mecânica, eletrônica e computação.

No projeto mecânico será feita a especificação dos componentes e escolha dos materiais da estrutura da máquina e todos os seus eixos de deslocamento. O projeto eletrônico, tratará da especificação e da escolha dos motores, dos drivers de potência, dos controladores dos motores, e da fonte de alimentação da máquina. Finalmente, o projeto de computação consiste na seleção dos programas responsáveis pelo controle dos motores, através do microcontrolador Arduino, e demais softwares que convertem layouts da PCB para código G, interpretado pelo CNC.

Além das partes citadas anteriormente, será necessário definir o controle microprocessado do CNC, responsável pela construção de trilhas e furos em uma placa de fenolite dentro de certa precisão. Para isso será feita uma pesquisa técnica sobre códigos abertos já disponíveis na área.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 ESTRUTURA MECÂNICA

A estrutura mecânica da máquina CNC conta com os seguintes Materiais:

- 1 – Placa MDF 50x50 cm
- 2 – Placa MDF 15x5 cm
- 1 – Placa MDF 50x 15 cm
- 1 – Placa MDF 15x15 cm
- 1 – Placa MDF 10x5 cm
- 3 – Suporte para Motor de Passo tipo “L”
- 1 – Suporte para motor DC tipo “L”
- 4 – Corrediça de gaveta
- 3 – Acoplamento articulado 5X8mm
- 3 – Fusos com Rosca Trapezoidal 8mm
- 3 – Acoplamento para fuso (castanha) 8mm
- 6 – Mancais com rolamentos 8mm
- 4 – Suporte para guia linear 8mm
- 2 – Guias Lineares 8x15mm
- 2 – Pillow Block com rolamento linear 8mm
- 4 – Suporte de borracha
- Parafusos Diversos

3.1.2 ELÉTRICA E ELETRÔNICA

A parte elétrica e eletrônica da Máquina CNC conta com os seguintes Materiais:

- 1 – Fonte CC 12V, 5
- 1 – Arduino Uno

- 1 – CNC Shield
- 3 – Drivers Potência DRV8825
- 3 – Motores de Passo
- 1 – Motor DC

3.1.3 SOFTWARE

- Arduino IDE
- GRBL
- UniversalGCode
- FlatCam
- Proteus

3.2 MÉTODOS

3.2.1 ESTRUTURA MECÂNICA

A maioria das fresadoras profissionais da indústria são fabricadas em aço, ferro fundido ou até mesmo em granito, devido à baixa coeficiente de dilatação térmica.

Esse projeto não visa uma alta precisão, pois se trata de um protótipo, sendo assim, o material escolhido para a montagem da estrutura foi a madeira (MDF), pois tem uma resistência satisfatória, baixo custo, baixo peso, e facilmente encontrada.

Com a placa 50x50cm foi feita a base da máquina, e com as corredeiras de gaveta nas extremidades da placa, foi feita os guias deslizantes do eixo X. Entre as duas corredeiras foi empregada 2 mancais com rolamentos, um fuso trapezoidal, um acoplamento para fuso, e um acoplamento articulado para acoplar o motor do eixo X. Em cima do acoplamento para fuso, foi colocado a placa 15x15cm para ser a placa de sacrificio da máquina, na qual, o material a ser fresado ficará sobre ele.

Com as placas 15x5cm foram feitos os pilares do eixo Y, e a placa de 50x15cm foi feita o suporte para acoplar o eixo Z, já que a função do eixo Y é fazer a movimentação do eixo Z na direção +Y e -Y. No suporte do eixo Z, foi empregada duas corredeiras de gavetas para que a movimentação do eixo seja suave e com o

minimo de atrito possível. Em cima do suporte do eixo Z, foi empregado dois guias lineares com 2 rolamentos lineares, e sobre eles uma peça de mdf de 10x5cm fazendo a movimentação do eixo +Z e -Z. Sobre a placa do eixo Z foi implementado um suporta para fixação do motor de corte, para a fresagem das peças.

3.2.2 ELÉTRICA E ELETRÔNICA

Após a fixação do arduino na parte de trás da máquina, foi acoplado a CNC Shield que permite o controle de quatro motores de passo em uma única placa. Também através do shield, pode-se controlar os passos do motor, como 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{32}$ pulsos por passo, chaves fim de curso por eixos, e acionamento de motores spindle. Após o acoplamento do cnc shield, foi implementado a ele 3 drivers de potência para acionamentos dos motores, e também um cooler para refrigerá-los, pois aquecem um pouco.

Nos eixos foram colocados três motores de passo, uma para cada eixo, configurado com $\frac{1}{2}$ passo por pulso, mantendo o torque, com uma velocidade aceitável. Também nos eixos foram implementados chaves fim de curso, para evitar que algum eixo percorra além de seu limite, ocasionando sua quebra. Foi implementada uma chave on/off e luzes piloto verde e vermelha, nas quais, significam que a máquina está ligada e a máquina está em funcionamento. Para o corte, foi implementado uma microretífica, sendo acionada pela CNC Shield e um relé que chaveia a rede elétrica para seu funcionamento. E para alimentar a máquina, uma fonte de 12V 5A suprindo os motores, arduino e cnc shield.

3.2.3 SOFTWARE

Para desenvolver a pcb, primeiramente foi feito o desenho do layout, e para isso, foi utilizado o software Proteus. Nele foi desenvolvido o esquemático da PCB, depois a montagem dos componentes e a visualização do layout em 3D. Após o desenvolvimento, foi gerado um arquivo com extensão Gerber. A extensão é lida com o FlatCam, nele é configurada a movimentação da máquina, ponto zero dos eixos, configuração de trilhas e furos que serão gerados.

O software GRBL foi implementado no arduino através do Arduino IDE, para reconhecimento do software UniversalGCode. Esse software faz a comunicação do

computador com a máquina, abrindo o arquivo gerado pelo FlatCam e usinando a PCB, já que as configurações estão nesse arquivo.

4 RESULTADO

A montagem do protótipo da fresadora CNC mostrou-se capaz de cumprir o objetivo inicial do artigo, ou seja, usinar placas de fenolite para desenvolvimento de projetos eletrônicos para estudantes e hobbistas da área da eletrônica. A foto abaixo mostra a usinagem de uma placa de fenolite usinada com a máquina, tendo uma precisão de 1mm de largura nas trilhas e furos de 0.6mm.



Figura 1 - Placa de Fenolite usinada com a máquina CNC

A montagem da estrutura se mostra rústica, uma vez que é feita de madeira de baixo custo; porém, não atrapalha em nada a usinagem das placas, é apenas estética. Abaixo algumas fotos de como ficou a máquina finalizada.

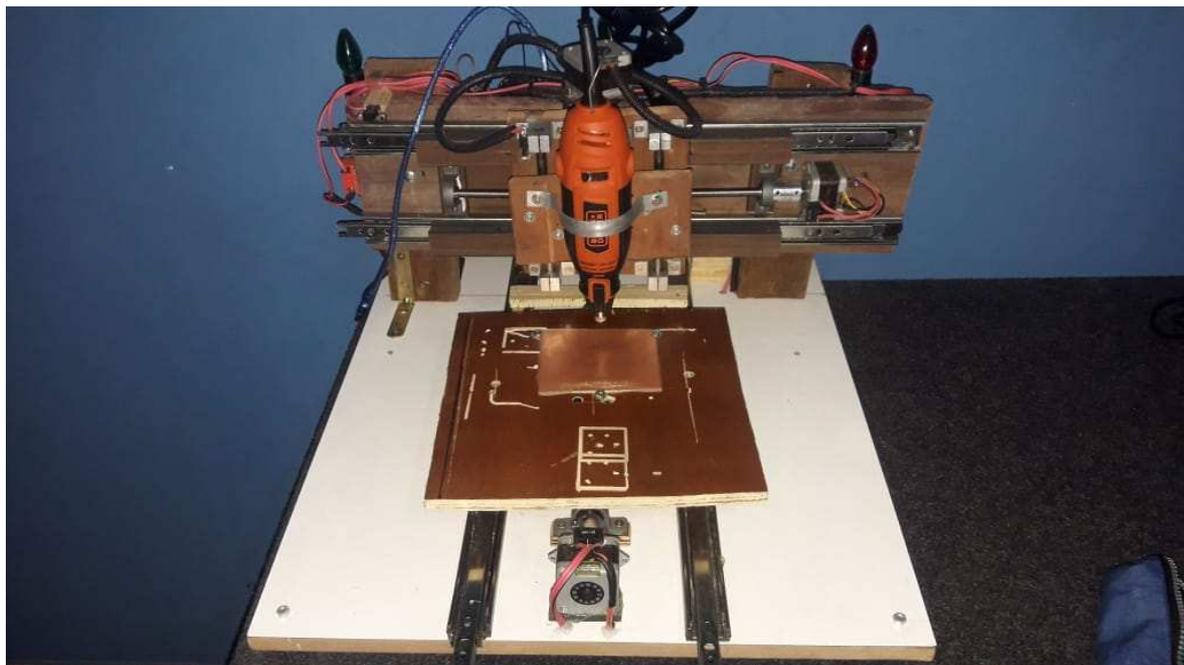


Figura 2 - Montagem da Máquina concluída

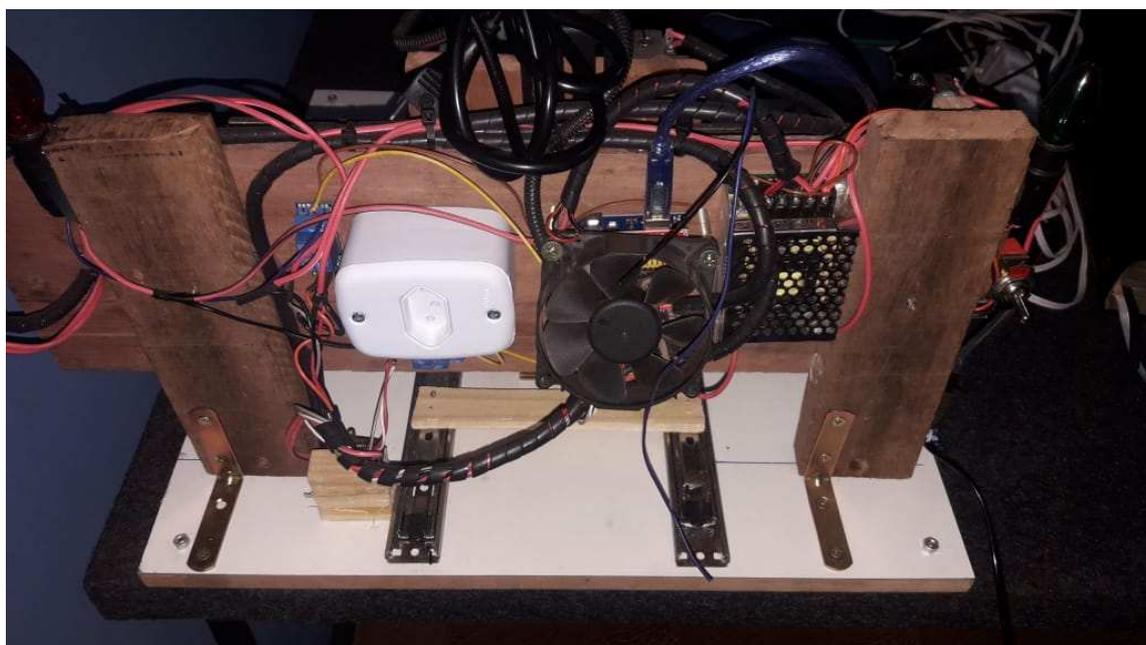


Figura 3 - Montagem da Parte elétrica atrás da máquina

5 CONCLUSÃO

A usinagem das placas demonstrou uma excelente precisão e uma velocidade de corte boa, superando as expectativas, sendo capaz de usinar uma PCB com uma fresa de 0.1mm, trilhas de 1mm de largura e furos com 0.6mm de diâmetro, demonstrando a qualidade das ferramentas gratuitas como Arduino, GRBL, FlatCam, GCode, e, portanto, mostra que se consegue uma usinagem satisfatória com um baixo custo se comparado com uma fresadora profissional. Além do desenvolvimento da fresadora, outro ponto importante, foi a oportunidade de exercitar a aplicação prática do controle numérico computadorizado, abrindo uma vasta área de atuação dentro de controle e automação industrial.

REFERÊNCIAS

ALBERT, A. **Understanding CNC Routers**. FPInnovations. [S.I.]. 2004.

BRAGA, Newton. **Como funcionam as Fontes Chaveadas**. [1994]. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/8397-como-funcionam-as-fontes-chaveadas-art1448>>. Acesso em: 04 nov. 2018.

BRITES, F. G.; SANTOS, V. P. D. A. **Motor de Passo**. Universidade Federal Fluminense. Niterói. 2008.

CONSTANDINO, T. G. Stepper Motors Uncovered. **Elektor Electronics**, 13 Dezembro 2013. Disponível em: <<https://spiral.imperial.ac.uk:8443/bitstream/10044/1/4320/1/e03c054.pdf>>. Acesso em: 4 Novembro 2018.

ESPANHOL, V. **Manual Didático CNC**. Porto Alegre: Sagra, 1989.

FACHIM, A. **Projeto de Fresadora CNC com Plataforma Livre Arduino**. UFRGS. Porto Alegre. 2013.

KALATEC, A. **ROLAMENTO LINEAR PILLOW BLOCK FECHADO – SMAxx UU**. Kalatec Automação, 2013. Disponível em: <www.kalatec.com.br/rolamentos/SMA-Rolamento_linear_Pillow_Block.pdf>. Acesso em: 4 Novembro 2018.

KOTANI, N. H. **Manual técnico de tubos de aço Carbono com Costura**. São Paulo, 2011.

- KRAMER, T. R.; M. PROCTOR, F.; MESSINA, E. **The NIST RS274NGC Interpreter - Version 3**. National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, p. 121. 2000.
- LYRA, P. V. A. **Desenvolvimento de uma Máquina Fresadora CNC Didática**. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação FT.TG-nº. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, DF, 123p, 2010.
- MCRBERTS, M. **Arduino Básico**. São Paulo: Editora Novatec, 2011.
- MOREIRA, A. F. L. **Máquina-Ferramenta CNC para Gravação**. Universidade do Minho - Escola de Engenharia. [S.l.], p. 171. 2015.
- NASCIMENTO, T. E. D. **Estudo de Máquinas CNC**. UFSJ. São João del-Rei - MG. 2011.
- PARKER HANNIFIN. **Tecnologia Eletromecânica**. Jacareí: [s.n.], 2003.
- PAZOS, F. **Automação de sistemas e robótica**. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2002.
- RAMÍREZ, E. F. F. **Curso de Arduino Básico**. Universidade Federal de Londrina. Londrina. 2015.
- SANTOS, D. R. D. **Fuso de esferas recirculantes e guias lineares**. Mecatrônica Atual. São Paulo: Abril, 2001.
- SANTOS, L. K. e DIAS, S. L. **Estudo da viabilidade de modernização de um setor de usinagem de uma metalúrgica**. Novo Hamburgo, 2010.
- SKF. **Linear ball bearing**. Disponível em: <<http://www.skf.com/pt/products/linear-motion/linearguides-and-tables/linear-ball-bearings/linear-ball-bearing-lbc-d/index.html>>. Acesso em: 4 de Novembro 2018
- SLACK, N. et. al. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 1996.
- SOUZA, A.; ULBRICH, C. **Engenharia Integrada por Computador e sistemas CAD/CAM/CNC**. São Paulo: Artliber, 2009.
- SPILLING, T. **Self-Improving CNC Milling Machine**. University of Oslo. [S.l.]. 2014.
- STOETERAU, R. L. **Introdução ao Projeto de Máquina-Ferramentas Modernas**. Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, p. 114. 2004.
- VEGA, A. S. D. L. **Tutorial sobre introdução a projetos utilizando o kit de desenvolvimento Arduino**. FURB. Blumenau. 2011.

WERNER, G. **Desenvolvimento de uma Fresadora CNC para Usinagem em 5 Eixos**. CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES. Lajeado. 2015.

Recebido em 2/12/2019

Aprovado em 13/12/2019