

Aplicação do Comando Numérico Computadorizado na Otimização em Prototipagem de Placa de Circuito Impresso

José Gleury Galvino Pereira e Adriana Maria Rebouças do Nascimento

Abstract—

With the constant evolution of electronics, the need to produce prototype printed circuit board is increasingly charged and important to develop technology quickly, but without leaving production quality low. With this in mind, this article proposes the development of a CNC milling machine based on computerized numerical control for the optimization of tracing of printed circuit boards. In this way, the theoretical pillars that make up the knowledge base are shown step by step so that the tool that can be machined can be understood and developed, and in turn, the prototype can be produced effectively. The results obtained in relation to the assembly of the tool and the machined material were classified as satisfactory, since the CNC machine managed to reach its objectives, drilling, counting the plate and isolating the tracks forming the circuit.

Keywords—CNC, Milling, Command, Numerical, Arduino, PCI, Prototyping.

Resumo—

Com a evolução constante da eletrônica, a necessidade de produzir protótipos em placa de circuito impresso é cada vez mais cobrada e importante para se elaborar tecnologia de forma rápida, mas sem deixar a qualidade de produção baixa. Pensando nisso, este artigo propõe o desenvolvimento de uma fresadora CNC com base no comando numérico computadorizado para a confecção de trilhas na placa de circuito impresso de forma otimizada. Deste modo, são mostrados passo a passo os pilares teóricos que compõem a base de conhecimento para que se possa entender e desenvolver a ferramenta que irá usinar e por sua vez produzir o protótipo de forma eficaz. Os resultados obtidos em relação à montagem da ferramenta e o material usinado foi classificado com satisfatório, já que a máquina CNC conseguiu atingir seus objetivos, perfurando, cortando a placa e isolando as trilhas formando assim o circuito.

Palavras-chave—CNC, Fresadora, Comando, Numérico, Arduino, PCI, Prototipagem.



1 Introdução

Com o avanço constante da eletrônica vem junto a necessidade de produzir protótipos com mais rapidez e eficiência e ao mesmo tempo, com baixo custo de produção e estas características são imprescindíveis na hora de produzir

qualquer projeto eletrônico. Segundo dados de [10], a produção industrial do setor de eletroeletrônico cresceu 5,9% no período de janeiro a julho de 2018 em relação ao mesmo período do ano passado, ou seja, observou-se que existe um consumo exorbitante e crescente de dispositivos eletrônicos como, computadores, celulares, tablets entre outros e em todos os itens citados anteriormente existe um componente em comum, a PCI (Placa de Circuito Impresso) que está presente no interior dos dispositivos eletrônicos e são de grande importância, já que sua função principal é de interligar os componentes eletrônicos formando assim, os circuitos eletrônicos. Na fabricação de PCI é necessário a execução de algumas etapas, inicialmente um planejamento partindo

- *José Gleury Galvino Pereira é graduando em ciência da computação no Centro Universitário da Grande Fortaleza – UNIGRANDE. Av. Porto Velho, 401 - João XXIII, Fortaleza - CE.
E-mail: gleury@live.com*
- *Adriana Maria Rebouças do Nascimento é Professora do curso de ciência da computação do Centro Universitário da Grande Fortaleza – UNIGRANDE. Av. Porto Velho, 401 - João XXIII, Fortaleza - CE.
E-mail: adri@fgf.edu.br*

Artigo submetido a banca examinadora em 10/12/2018

do projetista deve ser realizado elaborando assim o esquemático do circuito eletrônico, a partir desse esquemático será gerado o desenho que dará origem as trilhas do circuito da PCI, neste momento também é definido a melhor posição dos componentes na placa. É possível também que alguns *softwares* específicos ofereçam recursos de roteamento automático de trilha agilizando a organização estética na elaboração do circuito[11]. Existem vários métodos utilizados para a confecção da trilha na placa de circuito impresso, o mais adotado, principalmente na área acadêmica é o método de transferência térmica, por ser um recurso acessível e relativamente barato, onde o circuito é impresso em papel fotográfico e transferido para a camada de cobre da PCI, por meio de uma ferramenta térmica aquecida a 130°C[13]. Após a retirada do papel, a PCI é exposta a um ácido chamado Percloro de Ferro onde entra em processo de corrosão. Um dos problemas encontrados na execução desses processos é que falhas podem acontecer facilmente, seja na impressão do desenho do circuito no papel, podendo ser necessário a realização de novas reimpressões ou na correção manual através de uma caneta retroprojetora, ou ainda, na etapa de corrosão que é um procedimento lento, perigoso e podendo ocasionar a perda total da PCI[12]. Partindo dessa problemática, a proposta do projeto é desenvolver uma ferramenta Mecânica/Eletrônica, usando o método DIY (*Do It Yourself*), mais conhecido como (faça você mesmo), baseando-se em um projeto já existente chamado *Revolution 2*, projetado e desenvolvido por Rodrigo Conrado e pelo portal Atividade Maker[20], com base no comando numérico computadorizado, uma fresadora CNC do tipo *router* que movimentará nos três eixos do plano cartesiano, com o principal objetivo de otimizar as etapas do processo de confecção de trilhas e perfuração da placa de circuito impresso para prototipação e/ou versão final do projeto eletrônico visando os públicos acadêmicos e técnicos de médio e baixo porte. O artigo está dividido da seguinte forma: na seção 2 estão os trabalhos relacionados, mas impactantes e que contribuíram no desenvolvimento desse presente trabalho. Na seção 3 é apresentado a fundamentação teórica onde foi abordado e definido os grandes pilares de conhecimento, explicando forma introdutória,

conceitual e técnica cada ferramenta utilizada na construção da máquina CNC. Na seção 4 é descrita o procedimento metodológico utilizada para desenvolver o trabalho. Na seção 5 é apresentada a análise dos dados e resultados da implementação do projeto. Na seção 6 tem-se a conclusão com a consideração final e sugestões de trabalhos futuros.

2 Trabalhos relacionados

Existem vários trabalhos relacionados ao tema em questão. Em [14] foi desenvolvido uma ferramenta usando comando numérico, no intuito de otimizar uma das tarefas no processo de confecção de placa de circuito impresso, onde um fusor de impressora a laser foi adaptado para realizar a transferência do circuito, fornecendo temperatura e pressão uniformes. Também foi desenvolvido uma ferramenta para agitar a PCI com desenho no processo de corrosão, assim minimizando contato manual do indivíduo com o ácido tóxico Percloro de ferro.

Já, em [7], foi realizado um estudo onde foi analisado diversas formas de se produzir uma PCI ou circuito elétrico objetivando melhor qualidade e menor tempo de produção dentro de setores acadêmicos. Para isso, foram apresentados alguns métodos de fabricação como: Processo Térmico e corrosão por ataque químico, *proto-board*, Placa de fenolite furada, processo com luz ultravioleta e corrosão por ataque químico e confecção utilizando uma fresadora CNC. Na conclusão desse trabalho foi obtido grandes resultados utilizando o método de fresadora CNC, devido ao baixo custo, se comparado com outras encontradas no mercado, fácil fabricação e redução do tempo de produção.

No estudo conduzido por [15], onde demonstra a utilização do sistema embarcado para o controle de motores de passo. Seu trabalho promove uma máquina capaz de realizar a perfuração em PCI de forma automática e de baixo custo oferecendo ao homem, mais precisão e produtividade. As ferramentas utilizadas no trabalho foram a tecnologia embarcada chamada Arduino, motor de passo, *driver* do motor A4988 e a linguagem que controla e movimenta o sistema, nomeada de *G-CODE*.

3 Fundamentação teórica

Nesta seção serão apresentados os principais componentes mecânicos e eletrônicos que fazem parte da máquina fresadora do tipo *router* que tem seu funcionamento através do Comando Numérico Computadorizado (CNC).

3.1 Comando Numérico Computadorizado - CNC

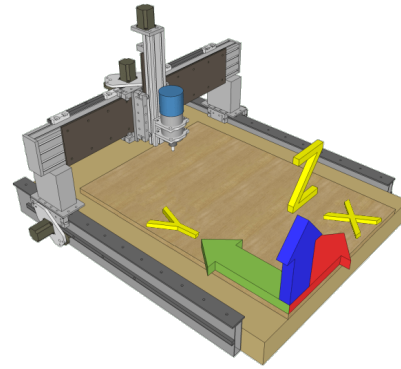
Na década de 40, a *Parsons Corporation* que era uma empresa fabricante de hélices e rotores de helicópteros, experimentou ligar uma máquina de usinagem convencional a um computador que era alimentado com dados extraídos de cartão perfurado, neste momento estava surgindo o CN (Comando numérico) que posteriormente viria se tornar a CNC (Comando numérico computadorizado)[8].

Segundo [1], CNC é uma tecnologia baseada em interpretações de comando específicos, enviada por *software* de computador, geralmente escrito em código G (*G-CODE*) que controla o deslocamento, direção, velocidade e outras funções em um ou mais eixos simultaneamente em uma máquina, com o objetivo de fabricar ou confeccionar variados tipo de peças/produtos de variados tipos de matéria prima, fazendo uso de uma ferramenta de corte para riscar, fresar, desenhar, perfurar e realizar outro tipo de adaptação dessas peças/produtos.

3.1.1 Sistema de coordenadas

Uma CNC do tipo *router* normalmente contém três eixos do plano cartesiano nomeados de X, Y e Z adotados como eixos lineares primários de deslocamento. Essas coordenadas são necessárias para realizar o deslocamento de forma plana ou espacial de um ferramenta[6]. Assim como é mostrada na Figura 1.

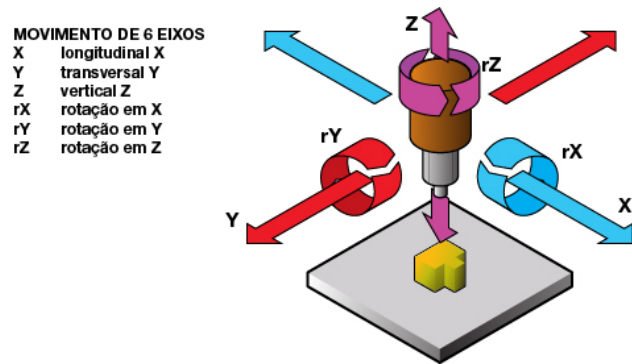
Figura 1: Coordenadas X, Y e Z



Fonte: [2]

Existe ainda, a rotação em torno dos eixos primários, dessa forma é gerado mais três eixos. Como é mostrado na Figura 2.

Figura 2: Coordenadas rX, rY e rZ



Fonte: [1]

Esse Eixos são classificados como angulares, onde a rotação em torno do eixo X é nomeado como rX, do Y como rY e do Z como rZ[3].

3.1.2 Router CNC

Uma *router* CNC é uma máquina controlada pelo comando numérico computadorizado, onde pode ser possível a movimentação nos três eixos X, Y e Z, projetada para usinar materiais de fácil flexibilidade como MDF, chapas de alumínio, polimento e acrílico.

Figura 3: Router CNC



Fonte: [4]

Como mostrada na Figura 3, sua estrutura é composta por uma mesa, onde o material é fixado. Dois trilhos são instalados paralelamente as laterais da mesa na qual é montada a estrutura do eixo Y, esse eixo é responsável pela movimentação para frente e para trás. Mas dois trilhos instalado perpendicular ao eixo Y, onde é montada a estrutura do eixo X, ambos de forma horizontal, esse eixo é responsável por realizar a movimentação esquerda e direita, e por fim, mais dois trilhos verticais e perpendicular ao eixo X, nesse são instalado o eixo Z, esse eixo irá fazer movimentações para cima e para baixo[5].

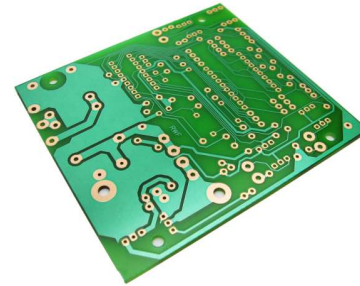
3.2 Placa de Circuito Impresso (PCI)

Os primeiros indícios de uso das placas de circuito impresso são desde a década de 30, quando Paul Eisler inventou a PCI a partir de parte de um rádio, utilizando trilhas de cobre em uma placa isolante. Mas já existiam estudos falando sobre o assunto como: Albert Hanson que desenvolveu folha laminada e Thomas Edison com o método químico para galvanização de condutores em papel de linho, ambos datadas por volta de 1900. A popularização da placa de circuito impresso só veio a acontecer após o fim da segunda guerra mundial onde houvera grande avanços e descobertas que possibilitaram o seu uso em diversas aplicações[9].

As placas de circuito impresso têm o objetivo de interconectar os componentes eletrônicos, onde fixação e soldagem pode ser feita com componente do tipo SMD (*Surface Mount Device*), na qual a soldagem é feita na superfície da placa de circuito impresso, ou com componente não SMD onde a

placa é perfurada para que o componente seja soldado. São fabricada geralmente de fenolite, fibra de vidro, fibra de poliéster, filme de poliéster e em outros materiais isolantes, mas é facilmente encontrado nas versões feitas em fenolite e/ou fibra de vidro[7]. Abaixo na Figura 4 pode-se visualizar um exemplo de uma placa de circuito impresso.

Figura 4: Placa de Circuito Impresso



Fonte: [23]

Para confeccionar as trilhas, que são rotas que ligam um componente a outro, a PCI terá que passar por processos preparatórios. Um desses processos é o método de transferência térmica que é o mais utilizado, principalmente na área acadêmica, técnicos e engenheiros em eletrônica para desenvolver protótipos[7]. Porém, esse método consiste em uma série de passos¹ como:

- 1) Desenho do circuito elétrico feito em *software*. (Ex. Proteus[28]).
- 2) Impressão (em impressora Laser) do desenho em papel fotográfico.
- 3) Limpeza da placa para retirar resíduos.
- 4) Transferência térmica do desenho para a placa de circuito impresso (ferramenta geralmente utilizada para realizar a transferência é o ferro de passar roupa.), esse passo é o mais crítico devido à grande probabilidade de a transferência não ser bem-sucedida. Principalmente pelo desenho não ser transferido por completo ao retirar o papel.
- 5) Aplicação da placa com o desenho no ácido chamado de percloro de ferro, que

1. <http://p3r3.com/confeccao-de-placa-de-circuito-impresso-pci-usando-ferro-de-passar/>

por sua vez, irá corroer todo o cobre que ficou exposto, ficando assim apenas o cobre que ficou coberto pelo desenho.

- 6) Limpeza da placa para retirar resíduos.
- 7) Perfuração da placa para soldagem dos componentes.

Onde a margem de erro em um dos passos citados cima, é bastante grande, resultando em desgaste, principalmente de tempo e a qualidade de resolução inferior.

3.2.1 PCI Layer Simples

PCI de face simples ou *Layer* simples é aquela na qual uma de suas faces é coberta por uma película de cobre, que posteriormente será desenhada as trilhas do circuito[7].

3.2.2 PCI Layer Duplo

PCI de dupla face ou *Layer* dupla é aquela que as duas faces são cobertas por uma película de cobre, que posteriormente podem ser desenhadas as trilhas do circuito. Nesse caso, o circuito de um lado da PCI, pode fazer ou não, conexão com o outro lado da PCI. Isso depende da necessidade do circuito e da decisão do indivíduo[7].

3.2.3 PCI Multi-Layer

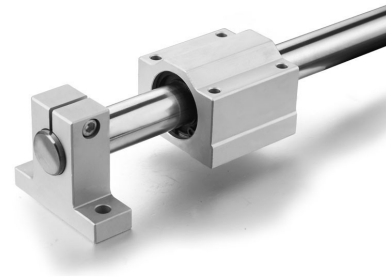
PCI *Multi-Layer* são PCIs que possuem mais de duas camadas de cobre separadas por um isolante elétrico. Na maioria das placas desse tipo são encontradas em versões de 4 ou 8 *Layers*. Diferentemente da PCI de dupla face onde o furo é transpassado completamente de um lado a outro. na PCI *Multi-Layer* é possível perfurar e interligar apenas os *Layers* do interesse e necessidade do projetista, economizando, espaço de vias e utilização dos *Layers* que não foram afetados pelo furo[7].

3.3 Guia Linear e Elementos conversores de movimento

3.3.1 Guia Linear

Surgindo no início dos anos 80, na substituição dos barramentos convencional por guias lineares, como pode-se observar na Figura 5, são de alta precisão, rigidez e bom deslocamento[16].

Figura 5: Guiar Linear



Fonte: [24]

O rolamento linear ou *Pillow Block* que em conjunto com a guia linear oferece o deslocamento da estrutura.

3.3.2 Fuso Trapezoidal

O fuso Trapezoidal, assim como é mostrado na Figura 6, é a forma de converter o movimento de rotação em movimento linear com redução de atrito e capaz de aplicar ou suportar grande cargas e precisão[16].

Figura 6: Fuso Trapezoidal







Fonte: [25]

É uma haste metálica com rosca trapezoidal e uma castanha/porca que deslizam pela haste proporcionando a movimentação.

Existem diversas formas para converter movimento rotativo em linear, utilizadas em máquinas CNC[17], que podem ser resumida e analisadas em diversos aspectos na Figura 7 e Figura 8.

Figura 7: Tabela de Comparação - Fuso

Tipo	Fusos			
	Trapezoidais	Esféricas Recirculantes	Epicicloidalas	Hidroestáticas
Requisitos				
Custo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Vibrações	Médio	Baixo	Baixo	Baixo
Exatidão no Posicionamento	Baixo	Alto	Alto	Alto
Capacidade de transmissão de Forças/Torque	Alto	Alto	Alto	Alto
Facilidade de Manutenção	Médio	Médio	Baixo	Baixo
Atrito	Alto	Baixo	Baixo	Muito Baixo
Vida útil	Médio	Alto	Alto	Muito Alto

Fonte: [17]

Figura 8: Tabela de Comparação - Polia e Cremalheira

Tipo	Pinhão / Cremalheiras	Polias	Rodas de Atrito
Requisitos			
Custo	Baixo	Baixo	Alto
Vibrações	Alto	Baixo	Baixo
Exatidão no Posicionamento	Baixo	Médio	Muito Alto
Capacidade de transmissão de Forças/Torque	Alto	Baixo	Muito Baixo
Facilidade de Manutenção	Alto	Alto	Baixo
Atrito	Baixo	Baixo	Alto
Vida útil	Médio	Alto	Baixo

Fonte: [17]

Sabendo dessas formas de conversão do movimento linear, pode-se fazer uso da melhor escolha da tecnologia a ser usada em projeto diversos,

levando em consideração o custo, vibrações, atrito, vida útil entre outras características[17].

3.4 Motor de Passo

Os Motores de Passo foram comercializado na década de 60. A partir disso, nos anos 70 obteve rápido desenvolvimento devido ao seu uso em periféricos computacionais. Atualmente pode ser encontrado em áreas como: ramo industriais, automotivos, em equipamentos hospitalares e outros[16]. O Motor de Passo é um dispositivo eletromecânico incremental que converte pulsos elétrico em movimentação do eixo em pequenos passos angulares precisos, controlando assim, a direção, velocidade e posição. Diferente dos motores CC, que giram continuamente quando aplicada tensão nos seus terminais, esses não contem comutadores e nem enrolamento no rotor, os enrolamentos são fixos no estator do motor, dessa forma quando energizado o estator atrai o rotor de material magnético deixando ambos alinhados assim gerando uma variação angular chamada de “Step” ou “Passo”[16]. Na maioria dos motores de passo contem 200 passos por revolução, isso quer dizer que para que o motor dar um giro de 360 o mesmo precisa recebe 200 passos, cada um com 1.8 de inclinação. Pode-se visualizar na Figura 9 a representação de uma motor de passo.

Figura 9: Motor de Passo



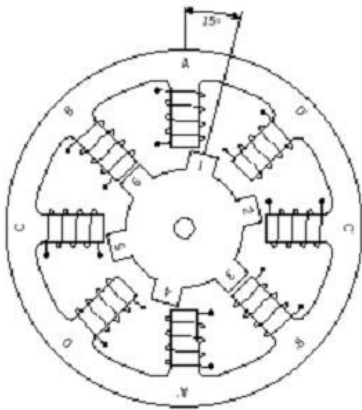
Fonte: [26]

3.4.1 Tipo de Motores de Passo

Existem três tipos de motor de passo: Relutância variável, magneto permanente e híbridos[16].

Motores de Relutância Variável não possuem magneto fixado em seu rotor dentado. Dessa forma o rotor gira livremente sem torque residual quando o motor está desligado. Não possuindo magneto permanente, também não são sensíveis a polaridade da corrente, necessitando de drive diferente dos outros tipos de motores de passo[16]. Abaixo na Figura 10, pode-se obter mais detalhes sobre esse tipo de motor.

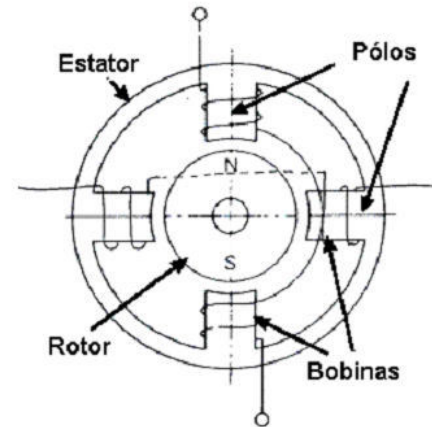
Figura 10: Tipo Relutância Variável



Fonte: [18]

Os motores de Magneto Permanente são amplamente utilizados em periféricos de informática. Esse motor é construído em ângulos de passo relativamente grande. O rotor é feito de material magnético e tem um maior torque em comparação aos de relutância variável e tanto o rotor quanto os enrolamentos não possuem dentes[16]. Abaixo na Figura 11 pode-se obter mais detalhes sobre esse tipo de motor.

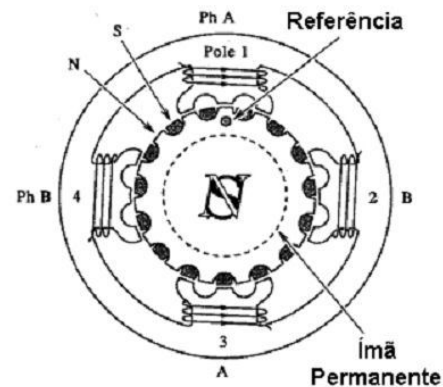
Figura 11: Tipo Magneto Permanente



Fonte: [18]

Os motores Híbridos são uma combinação dos motores de relutância variável e os de magneto permanente. Tanto o rotor quanto os enrolamentos possuem dentes[16]. Abaixo na Figura 12 pode-se obter mais detalhes sobre esse tipo de motor.

Figura 12: Tipo Híbridos



Fonte: [18]

3.4.2 Modos de acionamento de Motores de Passo

Os motores de passo podem ser acionados de duas formas: Unipolar ou Bipolar.

- 1) Um motor de passo unipolar é aquele que internamente tem enrolamento com uma derivação central em cada bobina permitindo inverter o sentido da corrente

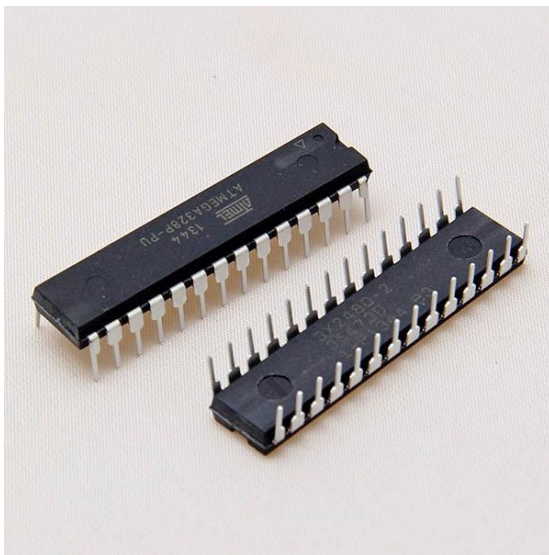
e assim a polarização. Enquanto a derivação central recebe a corrente os demais terminais definem o sentido do campo magnético. Um motor unipolar pode ser ligado como bipolar, basta ignorar os terminais de derivação central[18].

- 2) Um motor bipolar não possui derivação central, neste caso, para inverter o sentido do campo magnético tem-se que inverter a corrente aplicada nos terminais, para fazer essa inversão são utilizados circuitos de ponte H[18].

3.5 Microcontroladores

Diferente dos microprocessadores que são unidades de processamento dedicado, os microcontroladores são circuitos integrados que já possuem alguns periféricos como: Memória RAM, Memória ROM, Portas I/O, *Firmware* e *Timers* implementado no mesmo invólucro. Dessa forma dispensando o uso de grandes maquinários e oferecendo maior aproveitamento de espaço, já que seu estado físico é pequeno e por ser um componente amplamente usado em projeto que não necessitam de alto poder de processamento[19]. É um dispositivo programável, muito utilizado em seguimento robóticos, *internet* das coisas (IoT), no seguimento industriais, no controle de motores de passo, automação em geral, etc[19].

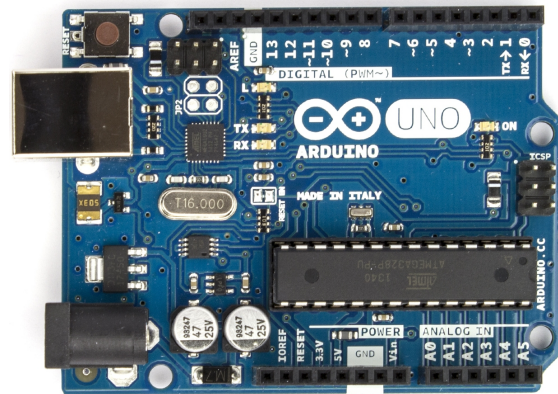
Figura 13: Microcontrolador - ATmega328P



Fonte: Autoria Própria

Na Figura 13 pode-se visualizar um exemplo de um microcontrolador. O ATMEGA328P é um microcontrolador tipo circuito integrado criado pela Atmel na família megaAVR. É o mesmo chip utilizado na plataforma italiana de prototipagem eletrônica de *hardware* livre chamada de Arduino que pode-se ver na Figura 14.

Figura 14: Arduino Uno



Fonte: [27]

O Arduino é uma plataforma micro-controlada de baixo custo, perfeita para projeto de prototipagem, implementação no seguimento de automação em geral, será falado mais sobre essa tecnologia ao decorrer desse trabalho.

4 Procedimentos metodológicos

Afim de obter resultados satisfatórios e de apresentar a construção do projeto foi utilizado a metodologia relato de experiência na aplicação do trabalho científico, uma vez que a objetividade se originou de uma observação problemática no processo de fabricação de placa de circuito impresso, foi identificado a necessidade do uso de uma ferramenta para automatizar o processo oferecendo produtividade, economia e qualidade. Partindo desse princípio, foi improvisado um laboratório onde foi realizado a montagem da máquina utilizando as estruturas em PEAD, guiar linear, rolamento linear, perfis de alumínio, polias, correias, motor de passo, porcas e parafusos e algumas ferramentas e chaves de aperto ou que facilitaram na montagem do sistema mecânico, sistema eletrônico e sistema computacional que compõem a fresadora CNC.

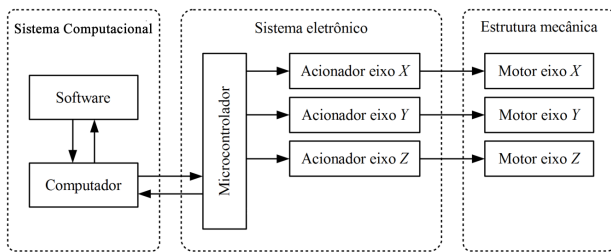
5 Análise dos dados e resultados

Com o objetivo de construir um sistema de CNC para otimizar e automatizar o processo de prototipagem de PCI sendo capaz de fresar e perfurar a película de cobre retirando o excesso e consequentemente isolando as trilhas condutoras. Esta seção é dividida em tópicos onde é mostrado cada uma de suas áreas envolvidas muito bem detalhadas.

5.1 Visão geral

Como observa-se na Figura 15, o diagrama do projeto exemplificando a composição das partes tecnológicas do sistema. Essas partes são a estrutura mecânica e o sistema eletrônico.

Figura 15: Diagrama do projeto.



Fonte: Autoria Própria

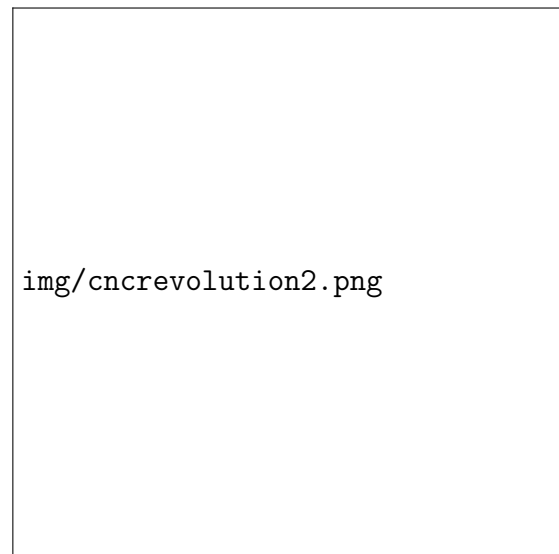
Seguindo o diagrama mostrado na Figura 15, o funcionamento do sistema será realizado da seguinte forma: O desenho do circuito a ser confeccionado precisará ser feito com auxílio de um *software* de computador, como por exemplo o Proteus[28]. Após a concretização do desenho o *software* irá converter esse desenho em coordenadas e será enviada via interface USB (*Universal Serial Bus*) para o microcontrolador que por sua vez irá interpretar e acionará a movimentação dos eixos (X, Y e Z) sobre uma superfície fixa onde a matéria prima, no caso a placa de circuito impresso será fixada. Esse acionamento de movimentação que enviada pelo microcontrolador, chegam até os motores de passo que são os responsáveis por realizar esse deslocamento junto com toda a estrutura mecânica.

5.2 Sistema mecânico

Antes de entrar em mais detalhes das partes que compõe o sistema mecânico será falado um

pouco sobre a origem do projeto. Na Figura 16, tem-se a representação do projeto onde foi baseado para prosseguir com a construção da máquina fresadora CNC. O autor do desenvolvimento desse projeto original foi o Rodrigo Conrado pelo portal Atividade Maker e a distribuição desse projeto é *Open Source*, gratuito e com permissão a fabricação e comercialização da estrutura em PEAD da máquina CNC, a única restrição é a citação do autor.

Figura 16: Projeto Mecânico.



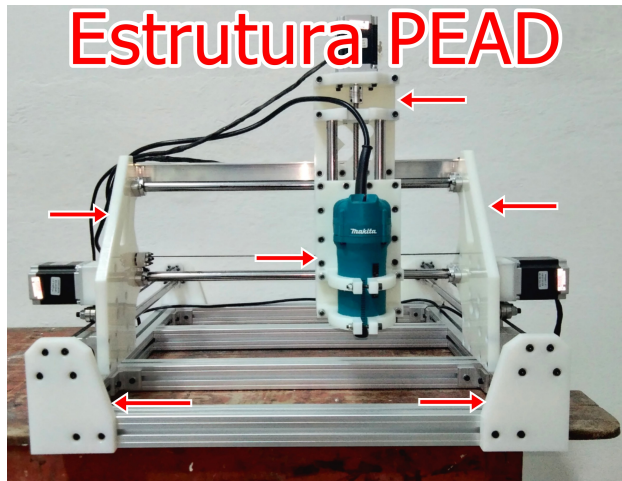
Fonte: Autoria Própria

A estrutura e montagem mecânica da fresadora CNC é relativamente simples. Consiste em uma base ou mesa que servirá de sustentação para a estrutura dos eixos móveis e também para a fixação da matéria prima, na qual será fresada, foi construída com dois perfis de alumínio de 40mm x 40mm e 700mm de comprimento, quatro perfis de alumínio de 40mm x 40mm com 560mm de comprimento e quatro peças de PEAD (Polietileno de Alta Densidade)¹ que serviram para instalação das guias lineares do eixo Y, todos esses componentes presos por cantoneiras, parafusos, porcas e arruela de pressão. Sua área total é de 700mm x 560mm. A base também possui ranhuras nos perfis e com auxílio de parafusos pode-se oferecer uma melhor fixação da matéria prima. a partir da base, os eixos serão montados, Y que ficará

1. <http://www.ecopipecom.br/pead/polietileno-pead/>

responsável pela movimentação "Frente/Traz", X que ficará responsável pela movimentação "Esquerda/Direita" e Z que ficará responsável pela movimentação "Cima/Baixo", Na Figura 17 pode-se obter uma visão completa da estrutura montada bem como as partes em polietileno de alta densidade.

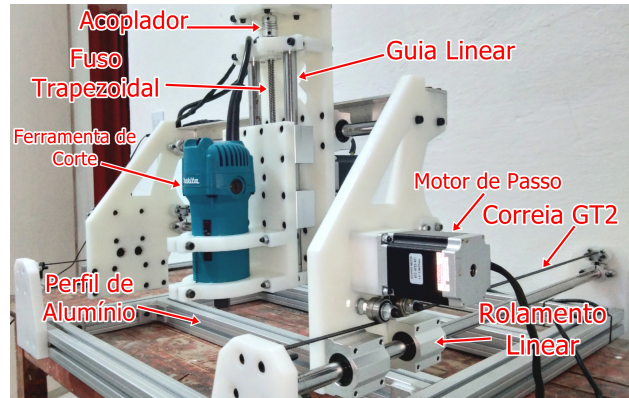
Figura 17: Partes em PEAD.



Fonte: Autoria Própria

Para que a movimentação dos eixos seja possível neste projeto é necessário um conjunto de motor de passo, duas guias linear de 16mm de diâmetro, quatro rolamentos linear de 16mm, polias e correias dentadas para cada eixo. Com ressalva no eixo Y que foi necessário adicionar mais um motor de passo, totalizando dois, devido que esse eixo é responsável pela sustentação dos outros dois (X e Z), assim necessitando de mais torque de movimentação. E o eixo Z, que ao invés de possuir correias dentadas e polia no seu sistema de tração, usa-se fuso trapezoidal devido seu movimento para "cima e para baixo" e com isso a gravidade iria acabar flexionando a correia, já que ela contém borracha como sua principal composição, dessa forma foi sugerido o uso de fuso trapezoidal no eixo Z. As guias lineares têm como sua finalidade a sustentação das estruturas em PEAD, que juntos com rolamentos lineares presos a essas estruturas tem a capacidade de oferecer uma movimentação linear das partes moveis, assim necessitando de menos esforço dos motores de passo. Na Figura 18 pode-se visualizar as partes mecânicas da estrutura.

Figura 18: Partes Mecânicas.



Fonte: Autoria Própria

Os fusos e correias transferem as rotações dos motores para que o deslocamento ou deslizamento linear obtidos pelos rolamentos linear seja realizado. No Eixo Z foi necessário o uso de um acoplador para que essa transferência fosse concebida entre motor de passo e fuso trapezoidal. Já nos eixos X e Y, polias dentadas e correias dentadas tiveram que ser instaladas para que a movimentação fosse realizada. Dessa forma, a resolução de movimento de cada eixo com uso de fuso trapezoidal pode ser calculado a partir da Equação 1, ou por correias GT2 que pode ser calculado a partir da Equação 3.

$$\text{Step/mm} = \frac{M * R}{P} \quad (1)$$

Que no caso desse projeto, obtive-se:

$$\frac{2 * 200}{8} = 50\text{Step/mm} \quad (2)$$

Onde:

- Step/mm é passos por milímetro.
- M é micro passos configurado no *driver* do motor.
- R é a quantidade de passos por revolução do motor (um volta completa do motor).
- P é o deslocamento em milímetro por revolução do fuso (uma volta completa).

$$Step/mm = \frac{M * R}{P * D} \quad (3)$$

Que no caso desse projeto, obtive-se:

$$\frac{2 * 200}{2 * 20} = 10Step/mm \quad (4)$$

Onde:

- M é micro passos configurado no *driver* do motor.
- R é a quantidade de passos por revolução do motor (um volta completa do motor).
- P é o *pitch* da correia (distancia de um dentes a outro da correia em milímetro).
- D é quantidade de dentes da polia.

Nesse projeto foram utilizados quadro motores de passo NEMA 23 de modelo KTC-HT23-401 com passo em angulo de 1.8°, torque estático bipolar de 19Kgf/cm, corrente bipolar série de 2,1A/fase ou corrente bipolar paralelo de 4,2A/fase e com revolução de 200 passos[16]. O fuso trapezoidal possui passo de 8mm e seu diâmetro é de 8mm. Assim sua resolução pode ser obtido pelo cálculo através da Equação 2 mostrada anteriormente. As correias dentadas do tipo GT2 possuem um *pitch* de 2mm e polia dentada de 20 dentes. Assim, sua resolução pode ser obtido pelo cálculo através da Equação 4 mostrada anteriormente.

Tem-se também a ferramenta que irá usinar a matéria prima, instalada no eixo Z, é uma tupia modelo 3709 e potencia de 530W(Watts) da makita¹, ela ficará responsável por fresar, cortar, riscar ou qualquer outra forma de adaptação e modelagem da matéria prima.

5.3 Sistema eletrônico

O projeto possui um sistema eletrônico e sua finalidade é realizar a integração entre: a placa de processamento, e a placa de acionamento dos motores de passo junto com os *drivers* dos motores de passo.

5.3.1 Sistema de alimentação

O sistema de alimentação de todo o sistema eletrônico do projeto é feita por uma fonte chaveada de 240W(watts) de potência, modelo *LED Power J-240-24*, Consumindo 110v/220v em corrente alternada e oferecendo uma tensão de 24V(volts) de saída em corrente continua e uma corrente elétrica de 10A(amperes). A fonte possui ainda três canais de saída de corrente, dessa forma, pode-se dividir esses canais de alimentação para cada setor eletrônico, afim de não sobrecarrega-la e possibilitando melhor organização de fios de ligação.

5.3.2 Placa de processamento

Assim como foi citada relativamente de forma sucinta anteriormente, a placa de desenvolvimento Arduino Uno R3 foi optada para uso neste projeto. Baseada no microcontrolador ATmega328P da ATMEL e atualmente da Microchip. O Arduino possui saída/entrada digital, saída PWM, entradas analógica e opera em 16Mhz de *clock Speed*[21].

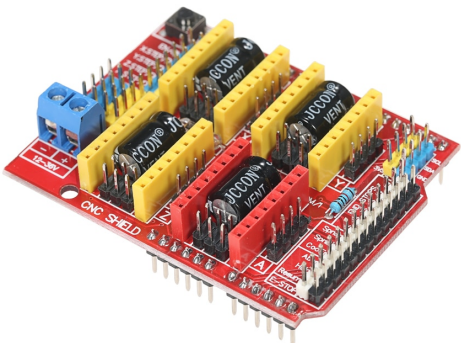
Na placa Arduino será inserida toda a parte logica do sistema, para isso pode-se instalar em seu chip o GRBL, esse *firmware* ficará responsável de interpretar todos os comandos *G-code* referente a direção, aceleração, pausa em outros que são gerado por software e posteriormente convertidos em pulsos elétricos e enviados para os motores de passo. Um passo-a-passo autoexplicativo mostrando com detalhes como instalar e configurar o GRBL¹ disponível no portal Atividade Maker desenvolvido por Rodrigo Conrado. Um dos pontos que levaram a escolha da plataforma Arduino foram além da facilidade de manipulação, isso por ter diversos materiais de documentação referente a tecnologia, foi também analisado a forma de comunicação computador/Arduino e foi encontrado a presença da porta USB(*Universal Serial Bus*) que possibilitou a facilidade de instalação, já que a porta serial USB proporciona uma conexão *Plug-in-Play* ao sistema operacional do computador e não teve-se a preocupação de instalação de *drivers* do dispositivo.

1. <http://www.makita.com.br/produtos/produto.asp?cod=3709> 1. <https://bit.ly/2RSWdEf>

5.3.3 Placa de acionamento

Para o sistema de acionamento dos motores foram utilizadas as placas *CNC Shield v3* e os *drivers* de potência, o DRV8825. São componentes excelentes para uso em conjunto com a placa Arduino, isso porque foram produzidas para uma melhor conexão entre elas, assim promovendo uma facilidade de instalação e evita possíveis falhas de conexão. A *CNC Shield 3* é uma placa com finalidade de facilitar conexão entre os *drivers* dos motores e a placa Arduino, desenvolvida especialmente para projeto como CNC e impressora 3D, traz possibilidade de controle de quatro eixos, diversas conexões como: fim de curso, ligação e direção de *spindle*, controle de micropassos e ainda tem a funcionalidade de espelhar um eixo, fazendo como que dois motores trabalhem no mesmo eixo, como no eixo Y desse projeto. Além disso, a união das placas ficam mais organizadas e economiza espaço, já que a conexão é feita uma sobre a outra. Na Figura 19 é mostrada a representação de placa.

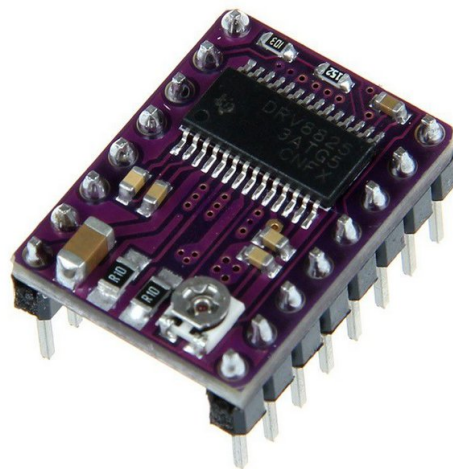
Figura 19: CNC Shield v3.0



Fonte: [31]

O *driver* DRV8825 é uma placa desenvolvida pela *Pololu Corporation*, assim como demonstra a Figura 20, sua finalidade é de potencializar os sinais emitidos pela placa Arduino e enviando ao motores, já que os motores precisam de uma maior quantidade de corrente elétrica para o seu funcionamento.

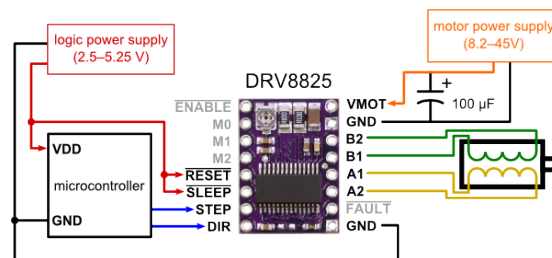
Figura 20: Drive DRV8825.



Fonte: [22]

O DRV8825 consome com uma tensão de até 45V(volts) e controla uma corrente máxima de mais ou menos 2,5A(ampères), na Figura 21 pode-se visualizar seus sistema de ligação. Possui resolução em seis níveis diferentes, são elas: *full-step*, *half-step*, *1/4-step*, *1/8-step*, *1/16-step*, e *1/32-step*[22]. Essa resolução impacta diretamente na nitidez e precisão dos motores. salientando que, quanto maior o número de *step* ou passos for configurado no DRV8825 maior precisão e nitidez o motor terá e menor torque o motor possuirá, de mesma maneira quanto menor o número de *step* ou passos for configurado no DRV8825 menor precisão e nitidez o motor terá e maior torque o motor possuirá.

Figura 21: Conexão DRV8825.



Fonte: [22]

Como exemplo usa-se um motor de passo de 200 passos por uma revolução e coloca-se para funcionar dessa forma, assim ele estará em modo *full-step* ou passo completo, isso quer dizer, que

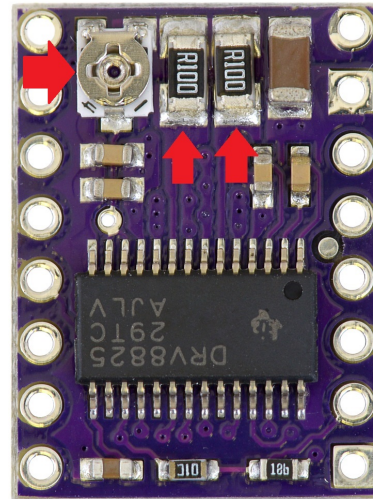
o motor precisará de 200 pulsos para completar uma volta. Se for aplicado, por exemplo, em modo *half-step*, cada passo agora irá precisar de dois pulsos, dessa forma o motor irá precisar no total de 400 pulsos para completar uma volta e assim por diante. Na Tabela 1 têm-se detalhadamente os dados dessa configuração para motores de passo com 200 passos/revolução.

Tabela 1: Configuração de micro passos do DRV8825 para motores de passo com 200 passos.

Step (Passo)	M1	M2	M3	Pulsos/Passo Passos/Revolução	Ângulo de inclinação
Full	0	0	0	1	1.8°
				200	
Half	1	0	0	2	0.9°
				400	
1/4	0	1	0	4	0.45°
				800	
1/8	1	1	0	8	0.225°
				1600	
1/16	0	0	1	16	0.1125°
				3200	
1/32	1	0	1	32	0.05625°
				32	0.05625°
				32	0.05625°
				6400	

Apesar do DRV8825 conseguir controlar mais ou menos 2,5A de corrente, o motor de passo, por sua vez, não necessariamente precisará desse mesmo valor. Por isso é de grande importância obter a corrente máxima de funcionamento do motor em ligação bipolar série, em nosso caso, os motores trabalham com 2,1A/fase em ligação em bipolar série, por isso esse ajuste deve ser feito no DRV8825 aplicado no máximo 70% da corrente de trabalho dos motores, assim como é recomendado pelos fabricantes de motores de passo e pela [22], em cada um dos *drivers* que irão controlá-los. Se for feito um breve cálculo para ser retirado 70% de 2,1A tem-se o valor de 1,47A, portando esse será o valor da corrente a ser controlada pelos *drivers*. Para isso, deve-se calcular o V_{ref} (voltagem de referência) referente ao DRV8825 e ajustar no potenciômetro ou Trimpot localizado no próprio DRV8825 e com auxílio de um multímetro observar até atingir o V_{ref} obtido. Para obter o V_{ref} do DRV8825 deve-se observar os valores em *ohms* dos resistores de *SENSE*, que são dois resistores de proteção de sentido de corrente onde na Figura 22 podem ser visualizados.

Figura 22: Resistor de SENSE e Trimpot no drive DRV8825.



Fonte: [22]

E aplicar a Equação 5.

$$V_{ref} = 5 * R * I \quad (5)$$

Aplicando, obtive-se:

$$V_{ref} = 5 * 0,1\Omega * 1.4A = 0.70V \quad (6)$$

Onde:

- V_{ref} é voltagem de referência.
- R é o valor da resistência de SENSE em ohms.
- I é equivalente a 70% da corrente máxima de trabalho do motor de passo.

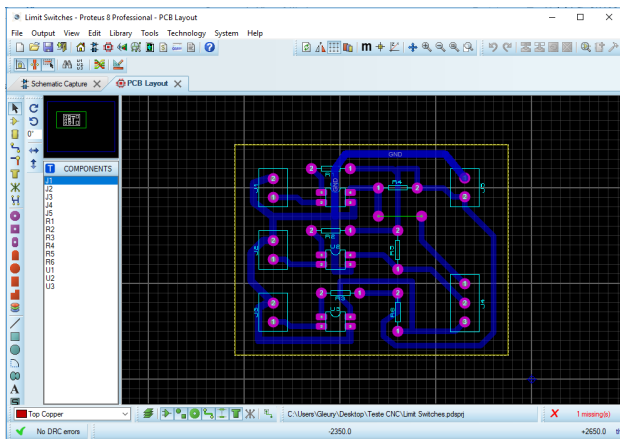
Dessa forma deve-se ajustar 0.70V ao regulador no DRV8825.

5.4 Resultado Experimental

A fim de conseguir alcançar os objetivos, o teste pratico foi confeccionar o circuito na PCI, separando em três fases: perfuração, raspagem da camada de cobre, afim de isolar as trilhas e corte da placa. Inicialmente o esquema elétrico e o desenho do circuito foram realizados pelo *software Proteus 8 Professional* [28], desse desenho foram gerados dois arquivos referente as

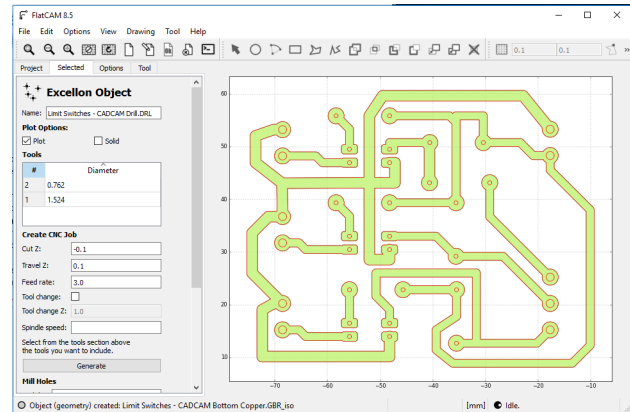
trilhas e furos das ilhas do circuito, esses arquivos serão tratados pelo *software FlatCAM 8.5* [29] onde serão configuradas características referente as trilhas, corte da placa e os furos das ilhas como: diâmetro da fresa utilizada para cada fase do processo, medida em que o eixo Z irá aprofundar na placa, e a velocidade de movimento do eixo Z são os detalhes mais importantes a serem destacados. Neste processo serão gerados os arquivos *G-CODE* separadamente contendo as coordenadas para realização do corte da placa, a perfuração e o desenho da placa. Para leitura desses arquivos e do controles da máquina CNC foi utilizada o *software Universal Gcode Sender 1.0.9* [30], na qual ficará responsável em ler os arquivos *G-CODE* e executar o funcionamento da máquina. Nas Figuras 23, 24 e 25 pode-se observar respectivamente a evolução das fases do processo.

Figura 23: Layout do circuito da placa de circuito impresso.



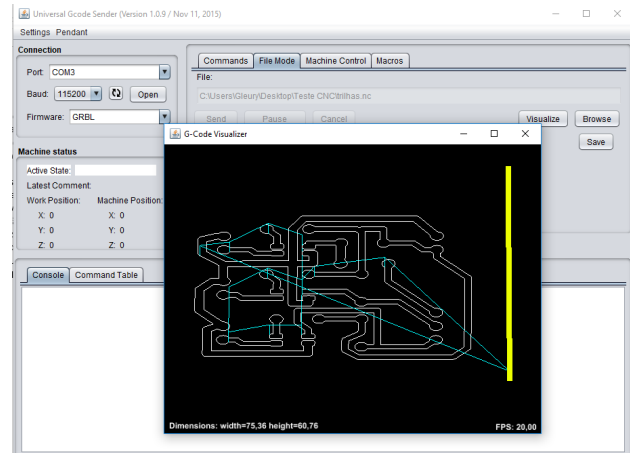
Fonte: Autoria Própria

Figura 24: Configuração do FlatCAM.



Fonte: Autoria Própria

Figura 25: Execução no Universal Gcode Sender.



Fonte: Autoria Própria

Na Figura 26, pode-se visualizar as pinças utilizadas para realizar cada fase do processo, são elas respectivamente: Uma broca de 0.7mm de diâmetro para perfuração das ilhas na placa, uma fresa de gravação tipo V 20°x0.1mm de diâmetro pra realizar o isolamento das trilhas e um fresa de um corte de 6mm para realizar o corte da placa.

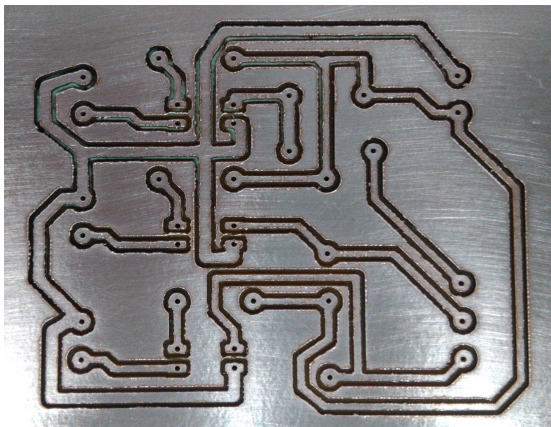
Figura 26: Pinças utilizadas no processo.



Fonte: Autoria Própria

O desenho do circuito tem aproximadamente as medidas de 60mm x 70mm e o processo confecção teve a duração aproximadamente 20 minutos para finalizar, utilizado o método de transferência térmica levou cerca de 2 horas para fazer o mesmo procedimento, uma economia de tempo de 83% aproximadamente foi obtido utilizando a máquina CNC. Na Figura 27 é mostrado o resultado.

Figura 27: Resultado final da confecção da placa.



Fonte: Autoria Própria

Afim de comprovar seu funcionamento e de facilitar a visualização foi realizado a gravação de um vídeo onde é mostrado cada fase do processo disponível no link <https://youtu.be/2KcifHTLg4>.

6 Conclusão

Nesse trabalho foi apresentado o desenvolvimento de um sistema automatizado para otimizar as etapas do processo de confecção e prototipagem de placa de circuito impresso, envolvendo conhecimento nas áreas de mecânica, eletrônica e informática, visando a área acadêmica e técnico em eletrônica, afim de facilitar a criação de seus projetos. Foram utilizadas três eixos (X, Y e Z) estruturais e mecânicos fixados em uma mesa com movimentações em 3D afim de alcançar qualquer ponto cartesiano dentro de sua área útil. O custo total investido no projeto foi em torno de R\$ 2.600,00 ficando em uma classificação de baixo custo se comparada a sua área útil de trabalho e seu material de estrutura.

Sua resolução de um quarto de passo proporciona um maior controle de posicionamento e precisão nas usinagens em placa de circuito impresso por se trata de um trabalho onde suas medidas são especificadas em pequenos milímetros. Sua eletrônica micro controlada é acionada com auxílio da porta USB e via interface informatizada.

No geral, o projeto se mostrou funcional, prático e fácil de ser operado. Um diferencial é que pode ser usado para trabalho com outras matérias primas como MDF, acrílico, chapa de alumínio, PEAD entre outros abrangendo outras áreas do mercado. Contribuído ao mundo científico em propor e obter nova ideias ou futuras adaptações de inovação em automatização.

Os resultados experimentais apresentados no tópico anterior demonstraram que o equipamento foi capaz de isolar as trilhas, perfurar as ilhas do circuito e cortar a placa, ficando pronta para receber as soldagens dos componentes eletrônicos. Dessa forma conclui-se que o objetivo proposto no começo desse trabalho foi atingido de forma satisfatória. Algumas deficiências ou necessidades foram observadas e como sugestões para trabalhos futuro, algumas melhorias que podem ser implementadas são:

- Substituir as correias e polias dos eixos X e Y por fusos de esfera proporcionando maior durabilidade das partes mecânicas e menos atrito na movimentação dos eixos.
- Substituir o fuso trapezoidal do eixo Z por fusos de esfera proporcionando maior durabilidade das partes mecânicas e menos atrito na movimentação dos eixos.
- Implementar um computador na própria máquina utilizando um sistema embarcado, por exemplo o *Raspberry PI 3*, excluindo a necessidade de um computador *desktop* ou *notebook*.
- Instalação de aspirador de pó junto a ferramenta de corte, afim de recolher resíduo gerado durante a usinagem.
- Implementação de um quarto eixo para realizar trabalhos de torneamentos.

Referências

- [1] CNC TECNOLOGIA, *Comando Numérico Computadorizado*. Disponível em: <<http://cnctecnologia.no.comunidades.net/index.php>>. Acessado em: 08 de Setembro de 2018.
- [2] Adam Horton, *CNC Plasma Build*. Disponível em: <http://adam-horton.blogspot.com/p/cnc-plasma-build_16.html>. Acessado em: 08 de Setembro de 2018.
- [3] SOS Engenhocas, *Máquinas CNC algumas definições e considerações*. Disponível em: <<http://www.sosengenhocas.com/2016/10/maquinas-cnc-algumas-definicoes-e.html>>. Acessado em: 08 de Setembro de 2018.
- [4] GoloCall, *CNC ROUTER*. Disponível em: <<https://bit.ly/2wXF6b9>>. Acessado em: 08 de Setembro de 2018.
- [5] F. H. Polastrini, *DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA CNC DE BAIXO CUSTO COM SOFTWARE E HARDWARE ABERTOS*. Monografia, Instituto Federal Minas Gerais - IFMG, Formiga - MG, Brasil, 2016.
- [6] James Madison, *CNC Machining Handbook: Basic Theory, Production Data, and Machining Procedures*, 3rd ed. Norwalk:CT, Industrial Press Inc 1996.
- [7] R. Lucas, *Aplicação de metodologia multiprojeto à confecção de placas de circuito impresso em trabalhos acadêmicos*. Monografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre - RS, Brasil, 2015.
- [8] A. L. de Azevedo. *Mundo CNC - Os Primórdios do controle numérico*, Disponível em: <<http://www.mundocnc.com.br/historico.php>>. Acessado em: 15 de Setembro de 2018.
- [9] STRÖMBERG, B. BUILDING, *A PCB Milling Machine*, Master's thesis. Luleå University of Technology, 2012.
- [10] ABINEE. *Produção da indústria eletroeletrônica*. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/noticias/com409.htm>>. Acessado em: 15 de Setembro de 2018.
- [11] E.L. de Mehl *Conceitos Fundamentais Sobre Placas de Circuito Impresso*. Disponível em: <<https://bit.ly/1KxgBPj>>. Acessado em: 15 de Setembro de 2018.
- [12] Carlos F. de Perché, *Desenvolvimento de um sistema de prototipagem para placa de circuito Impresso*. Itabira, 2013.
- [13] Eduardo Augusto Lieberknecht, *CONTROLE DE TEMPERATURA PARA PRENSAS TÉRMICAS UTILIZANDO ATMEGA328*. Anais do VII Congresso de Ciência e Tecnologia do Vale do Taquari, Lajeado, p.234-240, 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2QCinRy>>. Acessado em: 15 de Setembro de 2018.
- [14] André Luiz Pereira de França, *SACCI 2: SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CONFECÇÃO DE CIRCUITO IMPRESSO 2*. Curitiba, 2013.
- [15] Swapnali K. Patil and Ramesh T. Patil, *Controlling Stepper Motor using Arduino Uno*. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 2018. Disponível em: <<https://www.irjet.net/archives/V5/i4/IRJET-V5I4792.pdf>>. Acessado em: 27 de Setembro de 2018.
- [16] Kalatec. *Kalatec Automação*, Disponível em: <<http://www.kalatec.com.br>>. Acessado em: 27 de Setembro de 2018.
- [17] STOETERAU, R. L. *Introdução ao Projeto de Máquina-Ferramentas Modernas*, Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico Departamento de Engenharia Mecânica, 2004.
- [18] PJ-MecNet. *Tutorial Motor de Passo - Parte 1: Introdução, Tipos, Modos de Acionamento.*, Disponível em: <<http://labdegaragem.com/profiles/blogs/tutorial-sobre-motor-de-passo>>. Acessado em: 30 de Setembro de 2018.
- [19] Pietro D. K. B. de Assis. *Microcontrolador*, Universidade Presidente Antônio Carlos, 2004.
- [20] Atividade Maker. *CNC Router Revolution 2*, Disponível em: <<http://www.atividademaker.com.br/cnc-revolution-2>>. Acessado em: 24 de Outubro de 2018.
- [21] Arduino, *Arduino Uno*. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/Arduino-uno-rev3>>. Acessado em: 10 de Novembro de 2018.
- [22] POLOLU, *DRV8825 Stepper Motor Driver*. Disponível em: <<https://www.pololu.com/product/2132>>. Acessado em: 10 de Novembro de 2018.
- [23] AlphaImpress, *Placas de circuito impresso*. Disponível em: <<https://alphaimpress.com.br/placas-de-circuito-impresso>>. Acessado em: 10 de Novembro de 2018.
- [24] Motiontek, *Linear Round Shaft Guide Rail Bearing/Pillow Block*. Disponível em: <<http://www.motiontek.ca/RoundShaftguide.html>>. Acessado em: 10 de Novembro de 2018.
- [25] Orballoprinting, *Husillo de rosca trapezoidal*. Disponível em: <<https://orballoprinting.com/es/home/94-husillo-de-rosca-trapezoidal.html>>. Acessado em: 10 de Novembro de 2018.
- [26] POLOLU, *Stepper Motors*. Disponível em: <<https://www.pololu.com/category/87/stepper-motors>>. Acessado em: 10 de Novembro de 2018.
- [27] ARDUINO, *Arduino Uno Rev3*. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>>. Acessado em: 10 de Novembro de 2018.
- [28] Proteus, *Proteus Design Suite Overview*. Disponível em: <<https://www.labcenter.com/>>. Acessado em: 10 de Novembro de 2018.

- [29] FlatCam, *PCB Prototyping?*. Disponível em:<<http://flatcam.org/>>. Acessado em: 10 de Novembro de 2018.
- [30] Universal Gcode Sender, *Universal Gcode Sender*. Disponível em:<http://winder.github.io/ugs_website/> .*Acessado em : 10 de Novembro de 2018.*
- [31] Baú da Eletrônica, *CNC Shield V3*. Disponível em:<<http://www.baudaeletronica.com.br/cnc-shield-v3.html>>. Acessado em: 10 de Novembro de 2018.