

# DESENVOLVIMENTO DE UMA MESA FRESADORA CNC PARA PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO PARA TELECOMUNICAÇÕES

Yuri Marinho Alcântara<sup>1</sup>

Jander Pereira<sup>2</sup>

Lucas Santana<sup>3</sup>

## Resumo

Com o intuito de melhorar o processo de fabricação para construção de Placas de Circuito Impressos PCI, como alternativa a usinagem química, que apresenta desvantagens por causar danos materiais e por depender muito da ação humana, surgiu a fresa CNC para PCI. O maquinário está dividido em três partes: mecânica, elétrica e software. A construção da máquina exige um conhecimento vasto dos conceitos e aplicações da engenharia mecatrônica. A usinagem é o foco da máquina pois é exigido uma usinagem de precisão para a fabricação de PCI para telecomunicações. A precisão será garantida pelo código CNC, que minimiza os erros pois, o processo não necessita de muita interferência humana e pela dimensão da ferramenta de usinagem.

## Abstract

In order to improve the manufacturing process for the construction Printed Circuit Boards PCB as an alternative to chemical machining, which has disadvantages for causing property damage and greatly depend on human action, came up the CNC mil for PCB. The machinery is divide into three parts: mechanical, electrical and software. The construction of the machine requires a vast knowledge of the concepts and applications of mechatronic engineering. Machining is the focus of the machine it is required a precision machining for PCB manufacturing telecommunications. The accuracy has guaranteed by the CNC code, which minimizes errors because the process does not require much human interference and the size of the machining tool.

**Palavras-chave:** Fresa; CNC; PCB.

## 1 INTRODUÇÃO

O projeto tecnológico desenvolvido discutido nesse artigo apresenta uma ferramenta para ser implementada para estudantes desenvolverem placas de circuito impresso em alta resolução, ideal para aplicações em telecomunicações.

A ferramenta discutida nesse projeto, pode ser usado após a finalização do desenho da placa em ambiente virtual feita pelo usuário através de softwares existentes para esse fim, como *EAGLE* ou *PROTHEUS*, e tem seu uso terminado após a finalização do desenho, transposto em uma placa de fenolite.

A meta desse projeto, como citado anteriormente tem a priori o aumento da resolução, e consequentemente substituir o uso de produtos químicos na criação de placas de circuito (PCI), e transferência de desenho impresso para a placa, assim como redução do tempo da conclusão do desenho em software para aplicação física da PCI. Tendo esses aspectos

<sup>1</sup>Graduando de engenharia mecatrônica pela Universidade Salvador, UNIFACS, e bolsista pelo Conselho nacional de pesquisa, CNPq. yuri.maralca@outlook.com.br

<sup>2</sup>Graduando de engenharia mecatrônica pela Universidade Salvador, UNIFACS. slather.1@unifacs.br

<sup>3</sup>Graduando de engenharia mecatrônica pela Universidade Salvador, UNIFACS. eng.lucassantana@gmail.com

expostos, foi escolhido nesse projeto a mesa fresadora de controle numérico computadorizado (CNC).

Para a utilização dessa CNC são necessários alguns fatores, interface com o usuário para seleção do arquivo de desenho da placa, conversão desse arquivo para instruções, e interpretação dessas instruções para serem convertidas em posicionamento e movimento, os itens responsáveis por essas tarefas são respectivamente interface, controle e driver.

Aplicação desse projeto é ser usado como ferramenta de finalização durante a criação de *PCIs* para estudantes que desejam uma aplicação com poucos ruídos e imperfeições, assim como, facilitador para estudantes recém ingressados na faculdade que podem ter placas de qualidade, sem contratempos referentes a métodos que necessitam diversas etapas para alcançar um resultado não satisfatório, como o método de corrosão do cobre por ácido, perclorato de ferro.

## **2 PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO**

O uso de placas de circuito impresso é datado desde a década de 30 quando foi utilizado para aplicação em um rádio pelo engenheiro austríaco Paul Eilser. Ele utilizou uma placa de isolante com trilhas de cobre, muito semelhante à usada hoje que é conhecida como placa de fenolite. Contudo o uso de *PCIs* em larga escala começou durante a segunda guerra mundial que eram necessários comunicadores que fossem confiáveis nas piores condições possíveis. Após o fim da segunda guerra houveram diversos avanços e descobertas quanto a componentes eletrônicos que popularizaram o uso de placas de circuito impresso nas mais diversas aplicações.

A placa de circuito impresso, como já dito, tem seu uso nas mais diversas aplicações, variando em tamanho e complexidade das trilhas. Circuitos com múltiplos componentes tendem a possuírem maior complexidade e maior quantidade de *inputs* e *outputs* e a *PCI* é utilizada para não se perder a organização na disposição desses componentes. Uma organização bem distribuída pode inclusive causar aumento de eficiência e velocidade da operação do circuito. Em contrapartida uma placa de circuito mal distribuída ou com trilhas irregulares ou descontínuas podem prejudicar gravemente uma aplicação, como operações com sinais em alta frequência.

Dito isso, é notável a necessidade de placas de circuito impresso, mas fundamentalmente as mesmas devem possuir qualidade de composição compatíveis a sua

aplicação. Atualmente existem diversos métodos para criação de placas de circuito, cada uma com sua respectiva qualidade.

Dos métodos existentes o mais comum, principalmente a estudantes é o uso de ácido para o desenho das trilhas da placa, esse possui maior velocidade de reprodução em larga escala, mas existem etapas a serem seguidas que podem ser bastante desgastantes, e não alcançam uma resolução e qualidade boa. Aplicações com sinais alta frequência, como dito anteriormente, causam resultados indesejados, como perda, alteração, retardos e diversos outros fatores prejudiciais à aplicação.

Tendo essa análise feita, é necessário o desenvolvimento de uma alternativa para satisfazer todo tipo de aplicação, principalmente com sinais em alta frequência. Uma proposta que foi analisada é o uso uma fresadora, com a finalidade fazer os cortes e furações na placa de forma contínua e precisa, com auxílio de um mecanismo responsável por fazer o seu controle, o controle numérico computadorizado que será discutido em "3. Controle numérico computadorizado - CNC".

### **3 CONTROLE NUMERICO COMPUTADORIZADO – CNC**

O controle numérico computadorizado são comandos realizados pela interpretação de instruções contendo especificações sobre como deverá ser feita a movimentação. Maquinas CNC primitivas começaram a ser usadas na década de 60, onde as especificações das instruções eram transmitidas por cartões perfurados. Somente a partir da década de 80, esses dados começaram a ser armazenados em forma digital, através de fitas magnéticas.

As maquinas CNC são usadas para aplicações que seja necessária uma maior precisão, aumento do rendimento de trabalho e agilidade no processo. Essas maquinas passaram ser usadas nas mais diversas aplicações visando obter essas características, o uso delas é feito nas mais diversas áreas, inclusive como ferramenta de usinagem, por exemplo para usinagem de placas de circuito impresso.

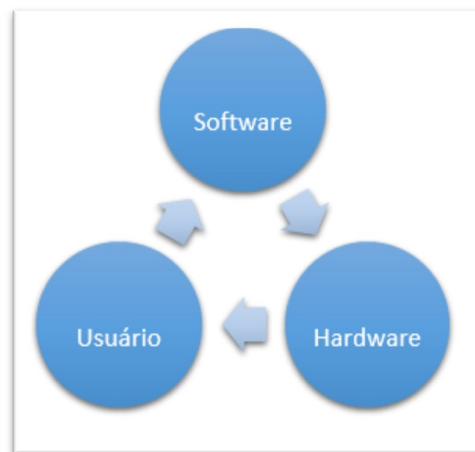
Sendo assim, o controle numérico computadorizado é a melhor alternativa para obter placas de circuitos impressos fieis ao desenho projetado, já que controle da ferramenta de usinagem é feita de forma computacional que recebe as informações sobre os detalhes do projeto e os converte em instruções para a movimentação da ferramenta. Essa ferramenta deve ser escolhida de forma que com ela seja possível alcançar o resultado da aplicação desejada, como o tamanho da ferramenta, tipo de corte ou material utilizada.

Analisando as informações contidas nesse tópico e em “2. Placas de circuito impresso”, é utilizar uma ferramenta fresadora com o controle numérico computadorizado é a melhor opção já que com essas, a usinagem de placas de circuito impresso obtém uma maior fidelidade ao desenho projetado, maior precisão e exatidão nas trilhas, sem necessariamente perder agilidade no processo, deixando somente o operador a escolha da ferramenta adequada para à operação que nessa aplicação é referente ao tamanho das trilhas e a distância entre essas.

#### 4 INTERFACE

A interface é ligação e comunicação entre sistemas, e nesse projeto a comunicação começa desde o usuário, na seleção do desenho, passa pela conversão do desenho em código-g, e finalmente até ao hardware, no funcionamento do motor de passo. A interface completa é composta por três elementos, usuário-software, software-software e software-hardware. A parte vital para o funcionamento e aplicação do projeto se dá nessa interface, pois uma transmissão de dados incorreta resulta num resultado não esperado, causando complicações no desenho final.

Figura 1 - Elementos da interface



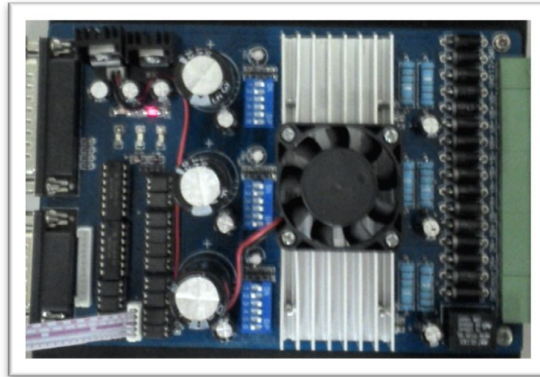
O usuário começa esse processo de interface fazendo carregamento do arquivo contendo o desenho do circuito a ser impresso, em formato *tap*, e esse desenho pode ser feito por *softwares* existentes no mercado específico para esse uso (usuário-software). Nessa aplicação foi utilizado o software Eagle, desenvolvido pela CadSoft Computer, por sua compatibilidade com o MACH3, software a ser discutido nesse item.



Toshiba TB6560AHQ, esse driver possibilita controle de velocidade e até 4 canais de input, para serem usados como por exemplo sensores de fim de curso.

O driver interpreta as instruções e as transmite para os motores realizando a movimentação e consequentemente a realização do desenho na placa de fenolite. A partir desse ponto não mais comunicação entre qualquer elemento da interface até a conclusão do desenho.

Figura 4 - Driver utilizado



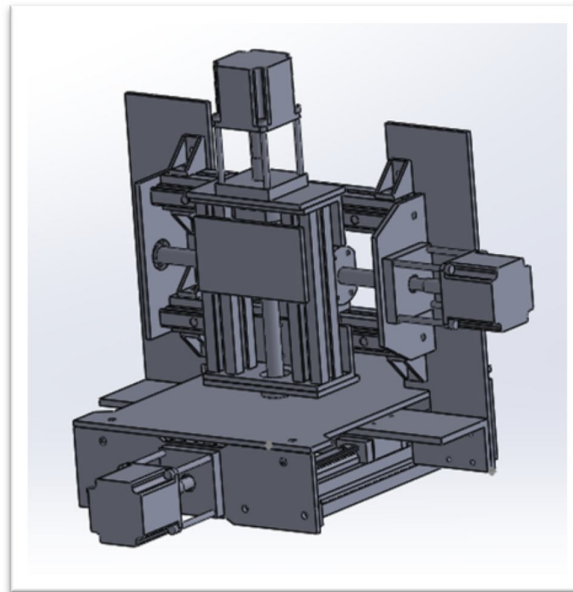
## 5 DESENVOLVIMENTO DA MESA FRESADORA

A “Mesa Fresadora CNC para placas de circuito impresso para telecomunicações” teve parte desenvolvido entre o Laboratório CAX, durante sua idealização em ambiente virtual pelo *software SolidWorks* com licença educacional 2011, e no Laboratório de Mecânica, onde foi feita parte da usinagem das peças elaboradas, e o Laboratório de Sistemas Mecatrônicos e Robóticos, no período de instalação elétrica e testes finais, esses recursos foram disponibilizados pela Universidade Salvador - UNIFACS.

O projeto foi realizado em quatro etapas para melhor eficiência e controle na conclusão do projeto. Sendo essas: idealização (I), construção mecânica (II), cabeamento e instalação elétrica (III) e programação e interface (IV).

A etapa (I) foi feito em ambiente virtual pelo *software SolidWorks*, feito pela empresa *Dassault Systèmes*, a versão usada foi a 2011 educacional fornecida pela UNIFACS, nele foi elaborando o design estrutural, onde foram feitas diversas mudanças até chegar-se a seu design final sendo feitas suas respectivas análises de movimento essas mudanças serão discutidas mais aprofundada no item “8. *Análises de resultados*”.

Figura 5 - Desenho em SolidWorks



A etapa seguinte (II) foi a transformação das peças idealizadas em peças a serem construídas ou usinadas, e suas respectivas montagens, durante esse processo houveram alguns contratempos devido a limitações impostas devido à falta de ferramentas necessárias para trabalhar nos materiais adotados que também serão discutidas no tópico seguinte. Com a parte estrutural totalmente montada, é feito o teste superficial de movimento para identificar alguma imperfeição no movimento, e ser feita a devida correção.

A etapa (III) é feita o cabeamento e instalação elétrica, que consiste em fazer a ligação ao PC para ser feita a interface, a ligação com driver e seus atuadores, e sua alimentação à fonte. A parte elétrica também é fundamental para fazer os testes finais quanto aos movimentos axiais, e nessa etapa tem-se a conclusão dos testes mecânicos, e se os movimentos têm seu comportamento como os idealizados.

Por fim, a etapa (IV) são feitos o controle e interface, sendo criado a interface e os testes de impressão e resposta a resolução da imagem do circuito. O controle é feito totalmente pela comunicação com o driver, controlando os motores de passo e sensores, e software para PC, MACH3 que converte código g em sinal para o driver. A interface como discutido anteriormente no item “4. Interface”, é feito por software, hardware e usuário.

## 6 DESIGN ESTRUTURAL

A estrutura escolhida consiste numa adaptação de designs já existentes, essas adaptações são feitas para atender limitações impostas quanto a disponibilidade de ferramentas para usinagem sem prejudicar fatores importantes como área de trabalho e resolução que serão discutidos de forma mais aprofundados nos itens adiante.

Entre os designs existentes o escolhido foi de mesa fixa com estrutura móvel, essa escolha é devido ao espaço ocupado durante a operação ser fixo, garantir estabilidade sobre as guias consequentemente durante o corte, furações e desenhos das trilhas do circuito sendo impresso.

O design estrutural possui três graus de liberdade e movimentação é feita para satisfazer o deslocamento mínimo de 100mm por 100mm, e fazer furação e cortes com a movimentação de pelo 10mm de altura e consegue trabalhar em placas de até 160 por 150 por 60 mm<sup>3</sup>.

Alguns aspectos dos componentes incorporados na estrutura destacam-se quanto ao resultado alcançado em sua aplicação, relacionando a resolução e eficiência, são eles o motor de passo, o parafuso e sua respectiva castanha. E outros componentes devido a estabilidade, resistência e atrito durante o movimento, são esses os guias lineares e seus respectivos trilhos.

Os aspectos de resolução e eficiência, fazem com que a aplicação possua resolução de trabalho alta, já que o motor de passo possui 1,8 graus por passo e o parafuso junto à castanha tenham 5,5mm por passo, é possível notar à relação desses fatores com resolução pela simples equação a seguir:

$$\text{Total de passos} = 1.8 * 360 = 200$$

$$\text{mm por passo} = \frac{\text{distancia do passo}}{\text{total de passos}} = \frac{5,5\text{mm}}{200 \text{ passos}} = 0,0275 \text{ mm/pass}$$

O ganho de eficiência do uso desses componentes se dá devido à forma com que o parafuso e a castanha são feitos, por rolamento de esferas, chamados de parafuso esférico ou *screwball*, que são melhores para transmitir o movimento rotacional em linear devido à menor área de contato castanha/parafuso quando comparado ao castanha/parafuso trapezoidal, segundo à *Benny Strönberg* no projeto “*CNC Machine Design Proposal*” o ganho de eficiência é de quase 90%.



Figura 6 - Castanha/Parafuso esférico

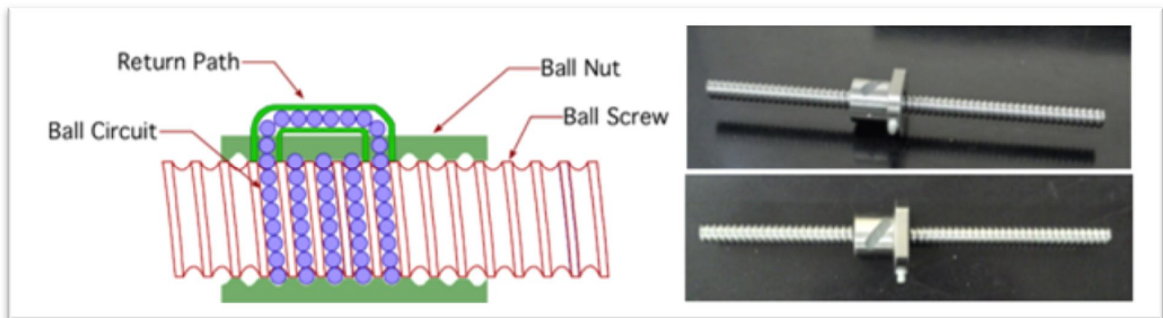
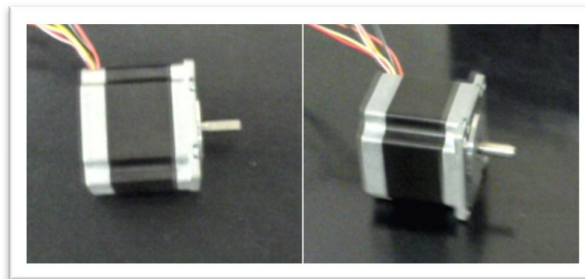
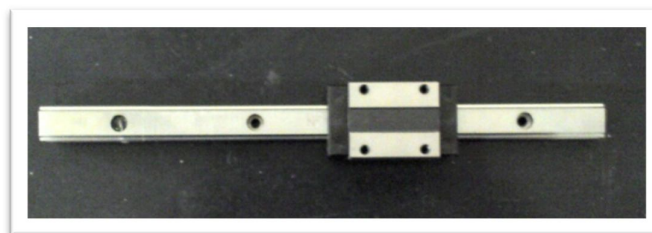


Figura 7 - Motor de passo



Já os outros fatores mencionados, resistência, estabilidade e atrito, são obtidos pelas guias lineares e seus trilhos, dando mais estabilidade pela maior área de contato entre suporte e guia e diminuindo o atrito pelos mesmos motivos do parafuso/castanha possuem rolamentos de esfera, contudo a sensibilidade dos rolamentos de esferas é inferior aos outros tipos de suportes lineares, e apesar disso, ainda possuem as especificações necessárias para funcionamento adequado.

Figura 8 - Guia Linear utilizado

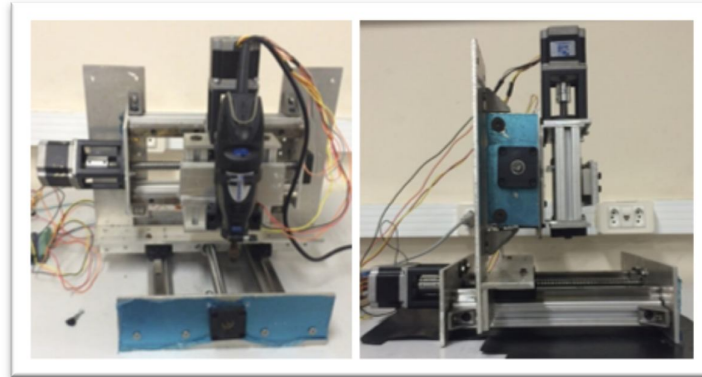


Outros detalhes não se destacam, mas ainda sim essenciais para estrutura e funcionamento são os rolamentos, acoplamentos, mancais e suportes, e esses respectivamente, impedem desperdício de energia e contato indesejado, corrigem movimentos provenientes do

não concentricidade entre rotor e parafuso, suportam a estrutura e componentes no local desejado e conectam cada eixo entre si.

Todos esses componentes em conjunto formam a fresa, e tem seu movimento e funcionamento mecânico feito como será discutido no item a seguir, “7. Funcionamento mecânico/elétrico”.

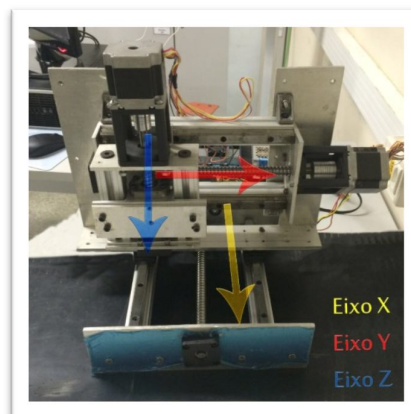
Figura 9- Design estrutural completo



## 7 FUNCIONAMENTO ELETRICOMECÂNICO

A movimentação e funcionamento mecânico é feita de maneira para não ocorrer perdas, nem falhas durante o corte, furação e desenho da trilha na placa de circuito, que é o motivo primordial do projeto, como já foi abordado.

Figura 10 - Movimentação dos eixos



Os eixos deslocam-se pela transmissão do movimento rotacional do motor de passo para o parafuso, com as devidas correções pelo acoplamento, e esse que junto à castanha

transforma em movimento linear, e os rolamentos impedem possíveis perdas no contato com suportes e garantem estabilidade do movimento.

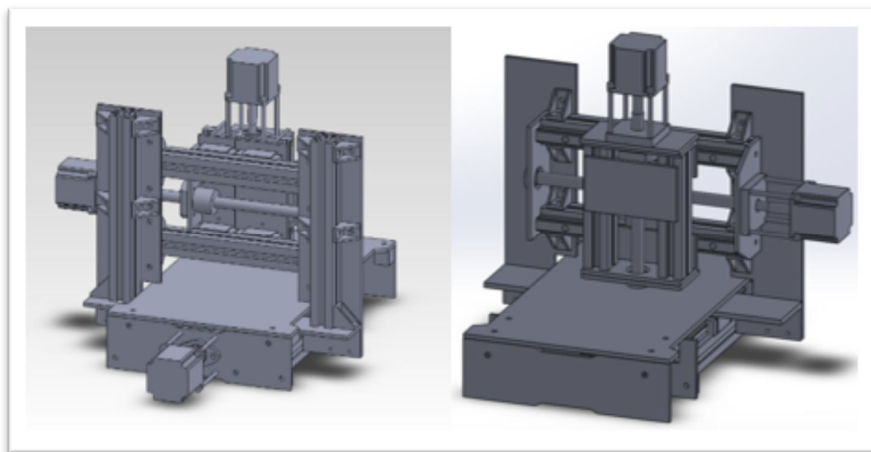
O movimento é feito de forma lenta e constante para garantir um desenho preciso, exato e contínuo, para ser o mais próximo quanto possível ao desenho, para que a placa seja usada em qualquer aplicação.

Os valores para velocidade de trabalho foram definidos de acordo com a precisão e resolução obtida para aplicação da placa, e então, foi definida uma velocidade padrão de 70mm por minuto para qualquer tipo de aplicação mantendo uma precisão considerável. A velocidade é defendida pelo chaveamento dos cabos do motor e a alimentação do mesmo, como a alimentação é constante, 12 volts, resta somente o controle através do chaveamento, que será discutido a seguir nesse mesmo tópico.

## 8 ANÁLISES DE RESULTADOS

Será discutida nessa sessão detalhes sobre o projeto que foram obtidos de forma efetiva, problemática e suas respectivas soluções. O projeto inicial possuiu diversas modificações para satisfazer impossibilidades de confecção devido a material disponível e ferramentas para usinagem indisponíveis.

Figura 11- Modelo Inicial x Modelo Final



A princípio, o problema inicial foi encontrado na usinagem da base inicial, devido ao desnível na fresa, foi necessária uma segunda confecção, mas dessa vez usando o centro de usinagem, ambos disponíveis no laboratório de mecânica e mecatrônica da UNIFACS respectivamente.

O problema a seguir possuiu uma resolução mais complicada, e esse foi relacionado ao material do parafuso esférico, e não há a disponibilidade de ferramenta para ser feita a usinagem do material, portanto foi necessário a pesquisa de um local que possuísse ferramenta adequada para ser feita a usinagem necessária. Foi encontrado o local e então foi necessário um processo de retificação no parafuso, esse processo consiste em uma superfície abrasiva entrar em contato com o objeto a ser trabalho, e esses girando em velocidades opostas.

Figura 12 - Processo de retificação



## 9 CONCLUSÃO

Através de resultados e testes parciais é possível avaliar o projeto da “Mesa fresadora CNC para placas de circuito impresso” como viável, obtendo placas de qualidade com precisão e exatidão às desenhos em software, para até  $160 \times 154 \text{mm}^2$  de área e  $0,0275 \text{mm}$  de resolução.

Placas de circuito obtidas tem resolução e precisão adequadas para aplicações destinadas à altas frequências como em telecomunicações, contudo mais testes devem ser realizados para definir a viabilidade nas mais diversas aplicações.

O projeto foi possível ser realizado perante a ajuda de todos os membros envolvidos durante todo o desenvolvimento, são eles Jander Pereira e Lucas Santana, ambos graduandos de engenharia mecatrônica e Yuri Marinho graduando de engenharia de computação, como também, as instituições que apoiaram ao projeto, Universidade Salvador – UNIFACS, fornecendo apoio através dos laboratórios e ferramentas necessárias, e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, fornecendo apoio financeiro através da bolsa tecnológica.

## REFERÊNCIAS

STRÖMBERG, B. BUILDING. **A PCB Milling Machine**. Master's thesis. Luleå University of Technology, 2012.

BASNIAK, R., CATAPAN, M. F. **Design of a PCB Milling Machine**. Proceedings of COBEM 2011, Natal-RN, Brazil, October 2011.

DUAN, T., et. al. **Real-Time CNC Machine Tool Control with Linux**. School of Engineering, Mercer University, Macon, GA 31207, 2007.

TRENTO, A., PILATO, F. P. R. **Fresadora Micro controlada para Placas de Circuito Impresso**. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) - UFPR, Curitiba, 2010.

GESSER, F. J., CHEREM, L. P., BONACORSO, N. G., LUCAS, R. P. Desenvolvimento de uma Interface de Condicionamento de Sinais Empregada na Automação de Máquinas por Controle CNC Baseados em PC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 8., 2010, Bonito-MS, **Anais...** set. 2010.

MEHL, E. L. de M.. **Projeto de Placas de Circuito Impresso com o software EAGLE**. Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná, 2007.

MAGRI, V. P. R.; **Integridade de Sinais em Placas de Circuito Impresso de Altas Taxas**. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica. Rio de Janeiro. 2007.

KAHRS, M. et al. **Signal integrity evaluation of a 10 Gbits/sec optoelectronic interconnect** - Microwave Symposium Digest, 2003 IEEE MTT-S International Volume 2, 8-13 June 2003 Page(s):1211 - 1214 vol.2.

GÂMBIO, S .L. **Proposta de otimização de processo de fabricação de peças cilíndricas por meio da têmpera por retificação**. Disponível em:  
<<http://www.moldesinjecaoplasticos.com.br/retificacao.asp>>. Acesso em: 24 ago. 2015.