

Investigação e Aperfeiçoamento de um Sistema de Impressão 3D e Fresagem Intercambiável.

João Pedro Aguiar dos Santos

Escola de Engenharia
Pontifícia Universidade Católica de Goiás, PUC Goiás
Goiânia-GO, Brasil
joao.gyn@live.com

Rômulo da Costa Delmondes

PPMEC - UnB
Universidade de Brasília, UnB
Brasília-DF, Brasil
romulodelmondes@gmail.com

Marcelo Antônio Adad de Araújo

Escola de Ciências Exatas e da Computação
Pontifícia Universidade Católica de Goiás, PUC Goiás
Goiânia-GO, Brasil
maaa88@gmail.com

Vinicius Ribeiro Ferreira

Escola de Engenharia
Pontifícia Universidade Católica de Goiás, PUC Goiás
Goiânia-GO, Brasil
vinicius.vrf@outlook.com

Resumo — Este artigo apresenta o estudo, aperfeiçoamento e implementação de uma máquina de estrutura robusta e intercambiável entre impressão 3D e fresagem, utilizando softwares e plataformas que permitam adaptar a integração de processos de manufatura aditiva e subtrativa sem a necessidade da troca do hardware e firmware. O controle do processo é realizado por um software de impressão 3D a partir do projeto de peças tridimensionais em programas CAD (*Computer Aided Design*). Nos testes realizados a máquina foi capaz de criar protótipos com precisão e exatidão, estando apta a receber inúmeras ferramentas para imprimir e fresar objetos de diversas formas e materiais. Pretende-se aumentar a produtividade e reduzir custos ao ser comparada com duas máquinas independentes.

Palavras Chave — Prototipagem Rápida (PR); Impressora 3D; Comando Numérico Computadorizado (CNC); Intercambiável; Manufatura Aditiva; Manufatura subtrativa.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, a grande parte dos usuários pessoais ou mesmo de aplicações industriais possuem equipamentos para prototipagem e usinagem. Com a crescente demanda pelos usuários, existe um nicho de mercado para a criação de uma máquina que possa atender ambos os processos. Especialmente na indústria, consumidores possuem máquinas completamente separadas e que não tentam adaptá-las para executarem outro processo [1].

A PR é uma tecnologia imprescindível para agilizar o desenvolvimento de novos produtos, pois permite a verificação da funcionalidade dos componentes, sua forma, cor, função, avaliação de escalabilidade, tempo de manufatura, entre outros. Adotada também pela indústria, por permitir que novos projetos sejam lançados no mercado em menor tempo, reduzindo custos no desenvolvimento e ganhando em competitividade [2].

Até pouco tempo, os protótipos ainda eram, em sua maioria, feitos à mão por artesãos, demandando semanas ou até meses de desenvolvimento, permitindo apenas algumas interações de projeto, antes de entrar na linha de produção, resultando em produtos que raramente eram otimizados e que poderiam até não funcionar adequadamente [3].

São encontrados registros de máquinas de prototipagem rápida desde a década de 70, apesar de terem se popularizado apenas há poucos anos decorrente do barateamento das tecnologias envolvidas no processo de produção, porque as primeiras patentes passaram a ser de domínio público, favorecendo a criação de máquinas com tecnologias similares, com preços mais acessíveis, possibilitando a criação de novas empresas de pequeno, médio e grande porte [4].

Os projetistas sempre construíram protótipos, porém os processos de PR permitem que estes sejam feitos de forma mais rápida e barata. Estima-se que o auxílio de técnicas de PR possa trazer uma economia de 70% a 90% de tempo e custo. Podendo resultar em uma economia ainda maior ao se utilizar máquinas desta natureza que executam inúmeras tarefas [5].

II. TÉCNICAS DE MANUFATURA

Existem várias tecnologias de fabricação, que estão sendo aprimoradas e desenvolvidas a todo momento. Porém esses processos são limitados por sua capacidade, geometrias complexas e até custos de produção excessivos. Nos últimos anos, a fabricação híbrida que utiliza o processo de manufatura aditiva e subtrativa, tem ganhado bastante atenção por diminuir as limitações e aumentar a gama de possibilidades [6].

A. Manufatura subtrativa

Dentro do processo de manufatura subtrativa existe a CNC cuja principal tarefa é controlar o movimento da ferramenta de

trabalho. Todas estas ferramentas cortam o material indesejado, até que um sólido qualquer se transforme na peça projetada. Processos como perfuração, torneamento e fresamento são as principais funções de uma CNC [7].

Logo a CNC também é utilizada para automatizar o processo de manufatura subtrativa na confecção de placas de circuito impresso, pois apresenta alta confiabilidade, precisão e exatidão comparada com os métodos manuais considerados de baixa confiabilidade. O projeto do layout da placa é realizado em softwares específicos e convertido para código G, que contém os parâmetros de movimentação da máquina, associado ao funcionamento da ferramenta responsável pelo processo de usinagem da placa de fenolite [8].

B. Manufatura Aditiva

A impressão 3D é um método de manufatura aditivo, em que materiais como plástico ou metal, são depositados um após o outro em camadas para produzir um objeto tridimensional. É um processo inovador porque constrói modelos de alta complexidade e precisão utilizando inúmeros materiais com aplicações em diversas áreas como a médica, aeroespacial, construção civil, arquitetura e confeitaria [9].

Estruturas de impressão 3D enfrentam inúmeros desafios, dentre eles há impressão de futuros eletrônicos, capazes de proporcionar alto desempenho, interconexão robusta e planos de terra. Com isso, as máquinas da próxima geração estão sendo chamadas de multi3D por utilizar inúmeras tecnologias para produzir dispositivos 3D, multimateriais e multifuncionais, capazes cada vez mais de executar inúmeras tarefas [10].

O primeiro estágio do desenvolvimento de uma peça envolve a criação de um modelo digital do objeto a ser trabalhado, isso geralmente é feito utilizando um software de desenho assistido por computador (CAD), scanners 3D também podem ser usados para gerar um modelo de um objeto já existente, como o Autodesk 123D Catch, que permite gerar modelos 3D utilizando a câmera de um smartphone [11].

III. OBJETIVOS

Estudo, aperfeiçoamento e implementação de uma máquina de prototipagem rápida, intercambiável entre impressão 3D e fresagem, utilizando softwares e plataformas de distribuição livre, que permitam implementar a integração de processos de manufatura aditiva e subtrativa, sem a necessidade da troca do sistema embarcado e firmware, utilizando um software de impressão 3D para controlar e supervisionar o processo.

IV. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa é exploratória e experimental, aplicada à máquina de prototipagem rápida desenvolvida por R. Delmondes [8]. Foi dada continuidade ao projeto devido à potencialidade de sua estrutura mecânica intercambiável e robusta.

Projeto orientado por trabalhos acadêmicos como o desenvolvimento de um controlador de malha aberta implementado na plataforma Arduino para reutilizar uma máquina CNC [12], discussões e técnicas que envolvem a precisão da uma máquina CNC [13] e estudo sobre estruturas celulares e treliçadas que consomem menos material [14].

A busca pela implementação de novas funcionalidades à máquina sem perder noutras e facilidade de manuseio é a variável mais crítica do trabalho. Para isso, os dados coletados de movimentação, custos, tempo de produção de peças e materiais utilizados serão otimizados ao máximo ao decorrer das atividades para tornar a máquina versátil, intercambiável e de fácil manuseio. Buscando sempre utilizar softwares de distribuição livre que reduzem o custo final do projeto por não demandar a compra de licenças.

V. RESULTADOS

A vinculação da movimentação do plano cartesiano ao plano tridimensional viabilizando a integração entre CNC e impressora 3D só foi possível de ser feita trocando toda a eletrônica que estava na máquina quando se iniciou o projeto, conforme a Fig. 1, porque a estrutura da CNC ShieldV3 não suporta a possibilidade de utilizar uma extrusora e/ou controle de temperatura da mesa aquecida, necessário para o funcionamento como impressora 3D.

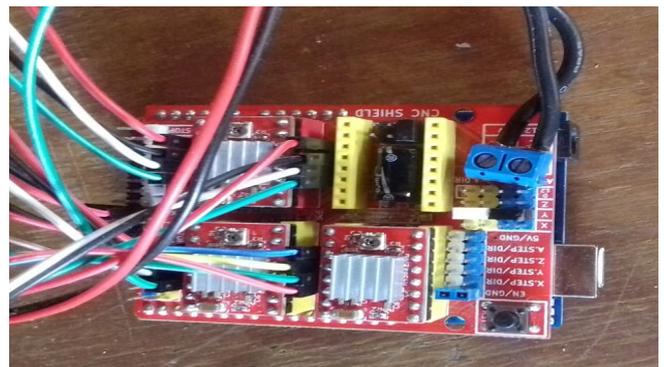


Fig. 1. CNC ShieldV3 acoplado ao Arduino Uno, que estavam instalados na máquina.

Logo, foi utilizado o Arduino Mega R3 conectado ao módulo complementar RAMPS 1.4 com seus respectivos drivers Fig. 2, por apresentar todos os periféricos necessários para o funcionamento tanto como impressora 3D quanto CNC. Utilizada de forma expressiva pela comunidade por apresentar baixo custo, facilidade de aquisição, integração com diversos softwares e bastante documentação quanto à sua utilização.

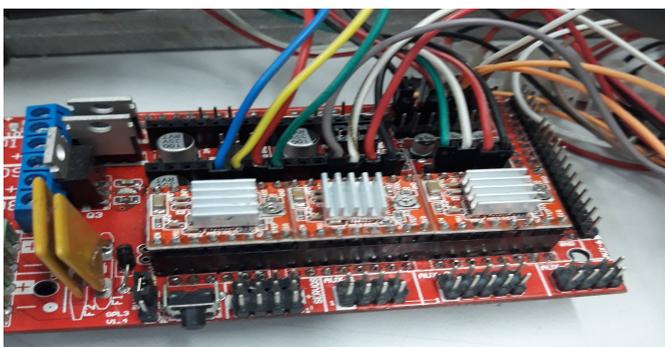


Fig. 2. Ramps 1.4 com seus drivers conectados ao Arduino Mega R3.

Neste contexto, foi utilizado o Marlin, popular firmware de código aberto para impressoras 3D baseado na plataforma Arduino. O *firmware* é executado na placa a fim de gerenciar as atividades em tempo real, como a movimentação dos motores de passo, aquecedores, sensores e botões. Sendo configurados inúmeros parâmetros quanto à sua utilização:

- Velocidade e aceleração máxima dos motores.
- Quantidade e posicionamento dos botões fim de curso.
- Área útil de trabalho.
- Configuração do auto nivelamento.
- Filamento utilizado.
- Temperatura da mesa.
- Memória não volátil.
- Orientação dos motores.

Uma função importante implementada é o auto nivelamento, o intuito é identificar o desnível da superfície e compensar essa diferença em *software*, evitando assim problemas causados por pequenas variações da superfície e estrutura de sustentação [15].

A Fig. 3 apresenta o auto nivelamento executado utilizando uma superfície condutora junto com uma chave de fenda de material condutor. O eixo Z inicia com seu valor máximo e desce lentamente até que a chave encoste na superfície condutora, fluindo uma corrente elétrica que é identificada pela entrada digital do microcontrolador, que encerra a movimentação do eixo Z e calcula a distância percorrida por ele.

Com a máquina apta a operar após o auto nivelamento, o resultado de sua movimentação é testada configurando-a para executar um desenho em uma folha de tamanho A4, pois o desenho serve de base para simular a funcionalidade e movimentação, tanto como impressora 3D como CNC.

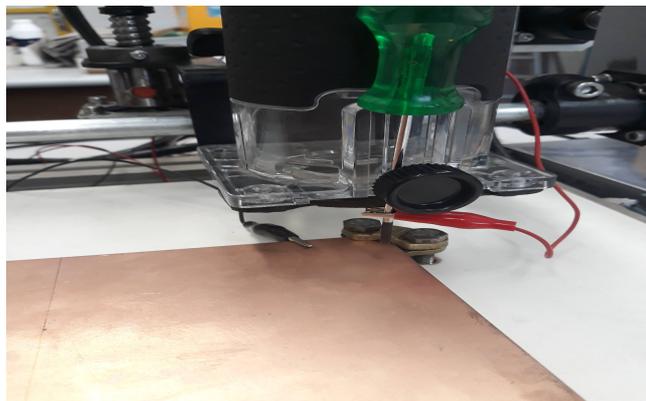


Fig. 3. Estrutura física segundos antes de iniciar o auto nivelamento.

Entretanto, são realizados 3 passos fundamentais. Primeiramente, conforme a Fig. 4, utilizar o software Inkscape para transformar a Imagem JPG (*Joint Photographics Experts Group*) ou PNG (*Portable Network Graphics*) para vetores SVG (*Scalable Vector Graphics*) e, caso a imagem esteja colorida, a conversão para apenas duas cores.

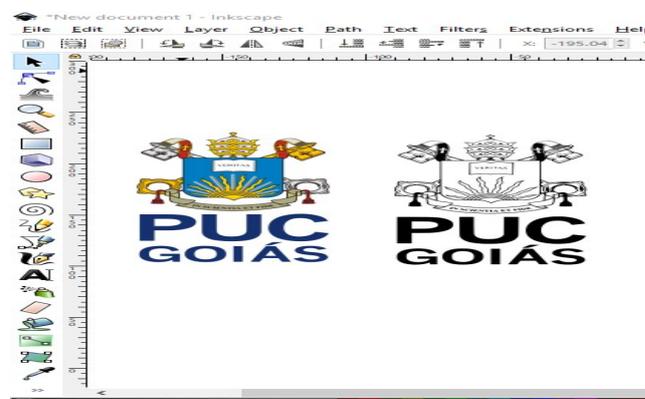


Fig. 4. Imagem PNG no lado esquerdo e SVG no lado direito da tela.

O próximo passo, conforme a Fig. 5, é transformar os vetores SVG para um sólido em formato STL (*Stereolithography File*), aplicando o processo de extrusão no software de modelagem 3D, Blender.



Fig. 5. Vetores convertidos em um sólido com espessura de 1mm.

O último processo é carregar o arquivo STL utilizando o software de impressão 3D, *Simplify3D*, de acordo com a Fig. 6, configurar a impressão para apenas uma camada, definir que a camada tenha espessura de 1mm e que o eixo Z penetre 1mm. Assim, o que define se o objeto irá ser fresado ou impresso será a ferramenta utilizada e a configuração de orientação do eixo Z. O brasão da PUC Goiás por exemplo, poderia ser fresado em uma chapa de MDF (*Medium-Density Fiberboard*) com profundidade de 10mm utilizando uma ferramenta para fresar o material, ou imprimir o brasão da PUC Goiás com espessura de 10mm utilizando uma extrusora como ferramenta.

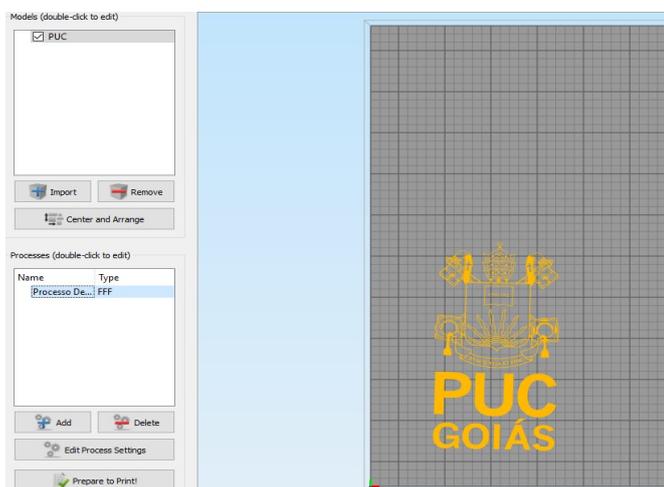


Fig. 6. Brasão carregado, posicionado e configurado para iniciar o processo.

Após estes três passos, é iniciado o processo de movimentação da máquina com uma caneta de cor vermelha conectada em sua estrutura e um papel de tamanho A4. O resultado é apresentado na Fig. 7.



Fig. 7. Desenho utilizando uma caneta de cor vermelha e um papel A4.

Por último, foi necessário melhorar a interligação dos cabos, placa e fonte de alimentação. Foi construída uma caixa em MDF para acomodar de forma organizada os cabos dentro da estrutura, os pinos foram substituídos por conectores

modelo kk-4, e dois coolers foram instalados para melhorar a refrigeração da placa conforme a Fig 8.

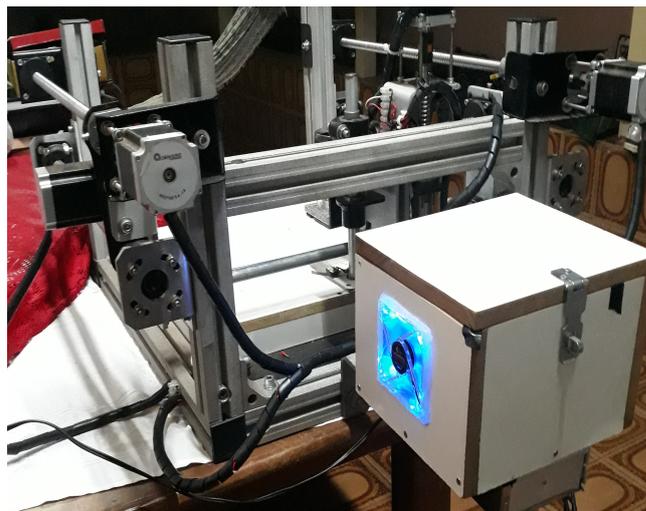


Fig. 8. Brasão carregado, posicionado e configurado para iniciar o processo

VI. DISCUSSÃO

Ao migrar para a shield Ramps 1.4 acoplada ao Arduino Mega, problemas de montagem incorreta surgiram de forma significativa, dentre eles, a instalação elétrica errada dos motores, drivers e botões fim de curso. Sendo a maioria por inversão de polaridade, ou na ordem de fixação dos fios. A utilização de *softwares* para o desenvolvimento de placas de circuito impresso dá uma boa noção quanto ao posicionamento e montagem dos componentes [16]. Podendo ser melhor empregado pelos fabricantes para evitar os problemas de manuseio encontrados.

De acordo com a Fig. 3, configurar os parâmetros de funcionamento e auto nivelamento foi o processo mais trabalhoso. Inúmeros testes foram realizados para encontrar os valores ideais de movimentação e funcionamento. Demandando bastante tempo, pois cada vez que um valor era modificado, o *firmware* deveria ser gravado no Arduino Mega, com duração de até 4 minutos por gravação.

O auto nivelamento é a parte mais complexa quanto à configuração do firmware, pois existe inúmeras formas de se realizar mas que necessitam de modificações na estrutura mecânica ou adição de novos componentes como um sensor indutivo. Porém após mais estudo, foi possível realizar uma adaptação utilizando uma superfície condutora.

Logo, com o firmware configurado e a movimentação perfeita da máquina se iniciou a pesquisa para escolher quais seriam os passos e os programas necessários para fazer a máquina criar um desenho. Inicialmente, foi utilizado o Inkscape para gerar um arquivo de código G, carregado pelo *software* de impressão 3D chamado Repetier, funcionando de forma satisfatória no início, porém apresentando alguns erros de forma aleatória ao se movimentar. Após inúmeras tentativas

sem sucesso de corrigir o erro, o Repetier foi trocado pelo Simplify3D. Outro ponto foi criar um arquivo com extensão STL e não mais código G, pois o Simplify3D não aceitou esse tipo de extensão.

Quanto ao resultado dos desenhos, foi observado que a máquina consegue criar desenhos complexos e com bastante precisão como o brasão da PUC Goiás, observado na Fig. 7. Estando apta a receber inúmeras ferramentas para que possa imprimir e fresar objetos de diversas formas e materiais.

VII. CONCLUSÃO

O constante desenvolvimento de protótipos utilizando CNC e impressora 3D tem aumentado cada vez mais, por sua versatilidade, rapidez, baixo custo e facilidade de manipulação. Adquiridos por diversos públicos, como hobistas, pesquisadores, indústrias, clínicas de próteses dentária e arquitetos. São inúmeras as possibilidades de utilização de ambas as máquinas, cada modelo atendendo à um tipo de usuário, mas sempre de forma independente.

A troca da eletrônica atende todas as necessidades requisitadas pela máquina intercambiável, porém o projeto da placa precisa de algumas modificações para funcionar de forma satisfatória, como a inclusão de conectores no lugar de pinos, de conectores com proteção contra inversão de polaridade e de componentes eletrônicos como fusíveis, diodos de absorção de surtos de tensão, filtros capacitivos e indutivos para filtrar as harmônicas proveniente do acionamento dos motores e da fonte de alimentação.

O programa de gerenciamento de impressão 3D utilizado é o único que não é de código fonte aberto, acarretando em mais um custo para o projeto. Existem opções de código fonte aberto além do Repetier que devem ser estudados mais a fundo, com o intuito de encontrar algum que tenha as mesmas funcionalidades exigidas pela máquina intercambiável. Portanto, oferecer uma máquina que seja intercambiável entre CNC e impressora 3D apresenta inúmeros benefícios como diminuição do espaço com maquinário, facilidade de manipulação, custo reduzido, utilização do mesmo ambiente de desenvolvimento e de peças nacionais. Com isso aumenta-se a produtividade e reduz custos ao ser comparada com duas máquinas independentes.

REFERÊNCIAS

- [1] P. Jorge Rodriguez, I. Pavel and A. Choudhury, "Development of a 3-D Printer and CNC Milling Desktop Machine for Manufacturing Labs", in ASEE Annual Conference & Exposition, New Orleans, 2016.
- [2] J. Fogiatto, "O uso da prototipagem rápida na área médico-odontológica.", *Revista Tecnologia & Humanismo*, no. 30, pp. 60-68, 2006.
- [3] D. Pham and R. Gault, "A comparison of rapid prototyping technologies", *International Journal of machine tools and manufacture*, vol. 38, no. 10-11, pp. 1257-1287, 1998.
- [4] C. Ahrens and N. Volpato, *Prototipagem rápida*, 1st ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2007.
- [5] A. Gorni, "Introdução à prototipagem rápida e seus processos.", *Plástico Industrial*, pp. 230-239, 2001.
- [6] Z. Zhu, V. Dhokia and S. T. Newman, "A novel process planning approach for hybrid manufacturing consisting of additive, subtractive and inspection processes," *2012 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Hong Kong, 2012, pp. 1617-1621.
- [7] M. Müller and E. Wings, "An Architecture for Hybrid Manufacturing Combining 3D Printing and CNC Machining", *International Journal of Manufacturing Engineering*, 2016.
- [8] R. Delmondes and L. Rodrigues, "Cnc intercambiável aplicada a confecção de placas de circuito impresso.", *Graduate*, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2016.
- [9] B. Bermam, "3-D printing: The new industrial revolution", *Business horizons*, pp. 155-162, 2012.
- [10] D. Espalin, D. Muse, E. MacDonald and R. Wicker, "3D Printing multifunctionality: structures with electronics", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 963-978, 2014.
- [11] T. Rayna and L. Striukova, "From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation", *Technological Forecasting and Social Change*, pp. 214-224, 2016.
- [12] A. Quatrano, D. Rivera and Z. Guida, "Development and implementation of a control system for a retrofitted CNC machine by using Arduino.", *FME Transactions*, no. 4, pp. 565-571, 2017.
- [13] F. Huo and A. Poo, "Precision contouring control of machine tools", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 319-333, 2013.
- [14] C. Beyer and D. Figueroa, "Design and analysis of lattice structures for additive manufacturing", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, pp. 121014, 2016.
- [15] D. Knop, "Aspectos técnicos e contribuições na graduação: o surgimento de uma impressora 3D.", in *Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia*, Campina Grande, 2018, p. 22.
- [16] G. Boothroyd and W. Knight, "Design for assembly," in *IEEE Spectrum*, vol. 30, no. 9, pp. 53-55, Sept. 1993.