

## **REM-CNC Router - CNC multifuncional Fresa e Laser de baixo custo construída reutilizando equipamentos de informática e lixo eletrônico**

**Edinaldo Serra Cardoso Júnior<sup>1</sup>, Fernando Yoiti Obana<sup>2</sup>, Max Robert Marinho<sup>2</sup>, Lucas Kriesel Sperotto<sup>2</sup>, Sara Moreira da Silva<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Bolsista de Iniciação Científica 2019 - Cooperação FAPEMAT/UNEMAT – Campus de Alto Araguaia, MT, Brasil.

<sup>2</sup>Departamento de Computação, Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT, Alto Araguaia, MT, Brasil.

<sup>3</sup>Bolsista de Iniciação Científica 2019 - UNEMAT – Campus de Alto Araguaia, MT, Brasil.

edinaldo.junior@unemat.br, obana@unemat.br, max.marinho@unemat.br, sperotto@unemat.br, sara.moreira@unemat.br

**Abstract.** *This paper describes the process of building a low cost multifunctional CNC machine by reusing recycled materials. Called REM-CNC Router, this CNC machine has the ability to operate two non-simultaneous machine tools, allowing the engraving of images on the surface of materials by means of a laser, and the machining of printed circuit boards, 2D and even 3D parts, depending on the complexity, using a cutter. Built with recycled material, it has a reduced cost becoming a CNC machine with a great cost benefit and production quality and besides cultivating the maker culture, it encourages the reuse of electronic waste and other recycled materials.*

**Resumo.** *Este trabalho descreve o processo de construção de uma máquina CNC multifuncional de baixo custo reutilizando materiais reciclados. Denominada de REM-CNC Router, essa máquina CNC possui a capacidade de operar duas máquinas-ferramentas não simultâneas, permitindo a gravação de imagens na superfície de materiais por meio de um laser, e a usinagem de placas de circuito impresso, peças em 2D e até mesmo 3D, dependendo da complexidade, utilizando uma fresa. Construída com material reciclado, possui custo reduzido tornando-se uma máquina CNC com um ótimo custo benefício e qualidade de produção e além de cultivar a cultura maker, incentiva a reutilização de lixo eletrônico e outros materiais reciclados.*

### **1. Introdução**

Nas últimas décadas, tem ocorrido um avanço tecnológico crescente que teve como consequência a substituição de máquinas-ferramentas operadas manualmente por máquinas-ferramentas automatizadas. Esse processo acabou originando a tecnologia NC (*Numeric Comands*, ou Comandos Numéricos) por volta de 1949, que posteriormente, progrediu para CNC (*Computer Numerical Comands*, ou Comando Numérico Computadorizado).

A primeira máquina CNC foi desenvolvida no Instituto de Tecnologia Massachusetts (MIT), e somente por volta de 1982, uma década depois de expandir-se nos setores da indústria, popularizou-se entre as empresas de médio porte por conta da introdução de computadores de custo reduzido (LEITE *et al.*, 2017).

Posteriormente denominada de *Computer Numerical Control* ou Controle Numérico Computadorizado, esta tecnologia pode ser definida como um método avançado de automação, que por meio de instruções, permite o controle da movimentação e operação de máquinas-ferramentas, tendo como principais vantagens a eficiência, flexibilidade, redução de custo e tempo, e precisão (VERMA; GIANCHANDANI; SAROHA, 2018).

Com o constante avanço da tecnologia e da economia, surgiram novos requisitos industriais, como aumento da precisão, qualidade, altas taxas de produção e baixos custos que conseguem ser atendidos somente com o uso da tecnologia CNC, por não possuir as limitações humanas e ser capaz de fabricar produtos altamente precisos em escalas nanométricas de maneira muito mais ágil e rápida (JAYACHANDRAIAH *et al.*, 2014).

Atualmente a tecnologia CNC é amplamente utilizada nas indústrias, principalmente na aeronáutica e no automobilismo, aumentando a precisão e qualidade dos produtos e permitindo a fabricação de peças extremamente complexas. Entretanto, essa tecnologia possui um custo muito elevado tornando-se inacessível a maior parte das pessoas. Porém, com o avanço da internet na última década e a popularização da cultura *maker*, diversos projetos em escala menor puderam ser reproduzidos baseados na tecnologia CNC usada nas grandes indústrias, tornando-a acessível e permitindo que estudantes e simpatizantes da tecnologia desenvolvessem seus próprios projetos (DANTAS; JUNIOR, 2016).

Segundo Cardoso Júnior (2019), o problema mais comum no desenvolvimento de sistemas robóticos e de automação, é o alto custo na obtenção de materiais essenciais para a montagem desses sistemas. Uma solução para este problema é a reutilização de materiais eletroeletrônicos, esta prática reduz o custo de aquisição de alguns materiais para zero (CARDOSO JÚNIOR *et al.*, 2019). Além da redução dos custos, a reutilização e reciclagem de eletroeletrônicos, diminui a produção de resíduo eletrônico e reduz impactos no meio ambiente (OBANA *et al.*, 2018).

Com base nesses pontos e com a necessidade da produção de placas de circuito impresso de alta qualidade, usinagem e corte a laser de peças para uso em diversos projetos do LESE (Laboratório de Eletrônica e Sistemas Embarcados), surgiu a motivação para a construção de uma máquina CNC multifuncional de médio porte utilizando materiais reciclados, que recebeu o nome de REM-CNC Router (*Recycled Material-CNC Router*). Essa máquina CNC poderá ser usada tanto como uma *router* CNC quanto como uma *Laser* CNC, permitindo a fabricação de uma gama de produtos com qualidade profissional em menos tempo e com custo reduzido, além de diminuir os impactos ao meio ambiente pelo fato de ser construída reutilizando lixo eletrônico e outros materiais.

## 2. Metodologia

A principal referência para a montagem da REM-CNC Router, foi o projeto *CNC 2.1 Caseira com Arduino com Trilhos de Gavetas Telescópicas de Baixo Custo de Marlon Nardi Walendorff* sob a Licença *Creative Commons - Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional*, podendo ser acessado no endereço eletrônico <https://www.marlonnardi.com/p/construa-sua-propria-cnc-20-2.html>.

Analisando o projeto de Walendorff (2020) e levando em consideração que a proposta do projeto já era de baixo custo, percebeu-se que haveria uma redução de custos se fossem utilizados materiais reciclados para a construção da máquina CNC. Verma (2018) afirma em seu estudo, que o maior benefício na utilização de material residual de dispositivos eletroeletrônicos na construção de uma máquina CNC, é a relação custo-benefício e a diminuição de custo (VERMA; GIANCHANDANI; SAROHA, 2018).

### **3. Fundamentação Teórica**

#### **3.1. Tipos de máquinas CNC**

De acordo com Polastrini (2016), uma máquina CNC é qualquer equipamento eletrônico que guia ferramentas ao longo de trilhos dispostos em um plano de coordenadas cartesianas. Essas máquinas utilizam informações geométricas inseridas em um sistema de coordenadas cartesianas para se movimentar nos eixos, podendo ter como referencial para percorrer as dimensões da peça de forma precisa, a coordenada inicial da peça ou a coordenada inicial de trabalho da máquina (GOBI, 2019).

Esses movimentos consistem na interpretação do arquivo *G-code* pela máquina que pode variar de acordo com a necessidade de uso, como por exemplo, máquina de corte a *laser*, fresadora, *router*, gravadora de circuitos eletrônicos, dentre outras inúmeras aplicações (POLASTRINI, 2016). Tendo em vista os problemas apresentados no Tópico 2, o diferencial da REM-CNC *Router* é a utilização de dois tipos de máquinas CNC integradas em uma única máquina, sendo elas a *router* CNC e a *laser* CNC, permitindo a troca das funções de uma forma simples e compacta.

##### **3.1.1. Router CNC**

Uma *router* CNC é projetada para usinar materiais de baixa densidade como madeiras, ligas de alumínio e polímeros, tendo como prioridade tanto a força de tração quanto a velocidade do deslocamento da ferramenta nos eixos do plano cartesiano, podendo variar de acordo com o material a ser trabalhado. Sua forma de trabalho consiste na fixação do material, a ser usinado, em uma mesa, que possui em suas laterais, trilhos fixos que garantem a mobilidade e estabilidade do conjunto de deslocamento do eixo X. Um segundo seguimento de trilhos fica posicionado perpendicular ao eixo X permitindo o deslocamento do eixo Y, onde ficam posicionados trilhos na vertical, garantindo a movimentação do conjunto de ferramentas acopladas ao eixo Z (POLASTRINI, 2016).

##### **3.1.2. Laser CNC**

Uma *Laser* CNC possui praticamente as mesmas características de uma *router* CNC, podendo ser diferenciado apenas por não possuir o eixo Z. No lugar de um motor ou micro retifica, é utilizado um módulo de raio *laser* com capacidade para fazer cortes de materiais ou gravações na superfície de contato, a espessura de corte ou profundidade da gravação é determinado pela potência do *laser* refletido sobre o material trabalhado. Normalmente as máquinas *laser* CNC possuem apenas dois eixos de deslocamento, e tem como prioridade a velocidade de deslocamento da ferramenta nos eixos x e y (POLASTRINI, 2016).

### 3.2. Hardware

O *hardware* é o responsável por fazer o controle do deslocamento dos eixos no plano cartesiano baseado em instruções recebidas por um *software*. Existem diversos tipos de *hardware* capazes de executar essas funções dependendo da necessidade de sua aplicação. Como exemplo, podemos citar os CLP's (Controladores Lógicos Programáveis) que são um sistema de microprocessadores que executam uma função de controle lógico, aritmético, de temporização e sequenciamento, baseado em informações de entrada que permite a manipulação de relés de saída. Amplamente utilizados nas indústrias, os CLP's possuem uma grande variedade de *hardware* que podem ser utilizados em diversas situações, porém por possuir um custo muito elevado, seu uso torna-se inviável em projetos de pequeno e médio porte.

Além dos CLP's existem os Microcontroladores, que são um circuito integrado programável que possuem CPU (*Central Process Unit* ou Unidade Central de Processamento), memória, portas de entrada e saída, dentre outros componentes, possibilitando sua aplicação desde um simples controle remoto a máquinas extremamente complexas.

Um dos microcontroladores mais utilizados na comunidade DIY (*do it yourself*) é o AVR® da Atmel®, que faz parte da composição da placa de prototipagem eletrônica Arduino, sendo muito popular pelo seu baixo custo e a facilidade de aplicação em projetos pequenos e até mesmo mais complexos (PALMIERE, 2016).

As vantagens citadas por Palmiere (2016) tornaram o Arduino a opção mais viável para ser utilizado na construção da REM-CNC Router, por possuir um custo relativamente baixo, *Hardware* e *Software* livre e uma variedade de placas com modelos diferentes que podem ser utilizadas de acordo com a necessidade de cada projeto (CARDOSO JÚNIOR; OBANA, 2018).

#### 3.2.1. Arduino UNO REV3

A placa escolhida para o desenvolvimento do projeto foi a Arduino UNO REV3 com microcontrolador ATmega328P, que possui 14 pinos de entrada e saída digital dos quais 6 são PWN (*Pulse Width Modulation*), 6 entradas analógicas, conexão USB (*Universal Serial Bus*), um conector de alimentação que pode variar de 5V a 12V, um ressoador de cerâmica de 16 MHz (CSTCE16M0V53-R0), um botão de reinicialização e um conector ICSP (ARDUINO UNO REV3 | LOJA OFICIAL DO ARDUINO, 2020).

O Arduino recebe por meio da porta USB o *G-code*, que possui as instruções para realizar o processo de comando da máquina CNC, interpreta o *G-code* e aciona os atuadores que comandam a movimentação da ferramenta nos eixos de movimentação (POLASTRINI, 2016). Além disso, o Arduino possui uma vasta extensão de códigos e bibliotecas prontas que são disponibilizadas por comunidades ligadas a plataforma, podendo ser alteradas por usuários com conhecimento de programação em linguagem de alto nível (GOBI, 2019).

#### 3.2.2. CNC Shield V3

De acordo com Polastrini (2016) uma forma de melhorar o funcionamento, manutenção e evitar erros e falhas em máquinas CNC é a utilização de uma CNC *Shield* em conjunto com o Arduino UNO. Estes *Shields* podem ser facilmente interligadas ao Arduino e expandem a capacidade de conexões, facilitando o uso de *displays* e outros módulos

compatíveis com a placa (POLASTRINI, 2016). O CNC *Shield V3* é um módulo compatível com o Arduino UNO REV3 e possui conexões de entrada e saída para o controle de componentes como, Motor de passo, módulos *Endstops*, *Spindle* e outros. Amplamente utilizado para máquinas CNC e impressoras 3D, o CNC *Shield* é controlado por um *firmware* que fica armazenado na memória do Arduino que é responsável por converter o *G-code* em movimentos mecânicos dos motores de passo conectados ao CNC *Shield* (ANIS; SANTOSA, 2019).

Um dos benefícios de se utilizar o CNC *Shield V3*, é a simplicidade da instalação eletrônica, ele possui encaixes para a conexão direta de até quatro *drivers* de potência e uma entrada de alimentação independente para esses *drivers*, que pode variar de 12V a 35V (POLASTRINI, 2016).

### 3.2.3. Drivers de potência A4988

Para fazer o controle dos motores de passo de forma que sejam garantidos a precisão, o torque e a velocidade de operação adequada, é de grande importância um bom circuito de acionamento que possua essencialmente uma dupla ponte H para controlar os motores em acionamento bipolar. Cada ponte H é responsável por uma bobina do motor. Esses circuitos são desenvolvidos utilizando transistores do tipo MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*), que são altamente indicados por possuírem frequência de acionamento acima de 500kHz e realizarem o controle, por tensão, da passagem de corrente pelo transistor. Este projeto utilizou o driver A4988, por ser de fácil operação, permitir o controle de motores de passo que possuem acionamento bipolar, e ser construído com MOSFET. É um dos drivers mais utilizados no desenvolvimento de máquinas CNC e impressoras 3D (MOREIRA, 2018).

O driver A4988 possui um sistema ajustável de corrente, permitindo o usuário controlar a saída máxima de corrente por meio de um potenciômetro presente no próprio driver. Com isso é possível ajustar a tensão adequada para o motor alcançar velocidades maiores sem o risco de dano, podendo operar em até cinco níveis de resolução sendo de passo completo, 1/2 passo, 1/4 de passo, 1/8 de passo e 1/16 de passo, além de operar em tensões que variam de 8V a 35V e chavear 1A por fase (MOREIRA, 2018).

### 3.3. Motor de Passo

Atuadores são dispositivos eletromecânicos que transformam cadeias de pulsos elétricos em energia mecânica, permitindo o movimento rotacional discreto de um eixo podendo ser pequenos incrementos angulares, denominados de passo (MOREIRA, 2018). O motor de passo é formado por um conjunto do qual fazem parte o rotor e o estator, que é composto por pares de bobinas de cobre conectadas e posicionadas em sentido contrário umas das outras, possuindo suas extremidades ligadas aos terminais do motor. Denominadas de fase, cada conjunto de bobinas quando energizadas provocam interações eletromagnéticas no interior do motor, fazendo com que o rotor gire. Para que o giro do rotor possa ser controlado, o motor é alimentado com sequências de pulsos elétricos ordenados em cada uma de suas fases, gerando o movimento angular do rotor que é denominado de passo e determinando o sentido de giro do rotor (POLASTRINI, 2016). Motores de passo possuem alto torque, sincronismo, ângulo de rotação e posicionamento preciso (MOREIRA, 2018).

### 3.4. Softwares

O *software* é responsável pela interface entre o usuário e a máquina, permitindo o controle e manipulação das ações da mesma por meio de uma interface gráfica intuitiva e de fácil operação (FACHIM, 2013). Além disso, é necessário que esse *software* envie os comandos que serão interpretados pelo *firmware* tornando possível o controle dos atuadores. Esses *softwares* são denominados de CAM (*Computer-Aided Manufacturing*) e são amplamente utilizados pelas máquinas CNC's, fornecendo as instruções que deverão ser seguidas pela máquina para iniciar e concluir o processo de fabricação de um determinado produto. Existem variados tipos de *softwares* CAM *open source* que possuem compatibilidade com Grbl (interpretador de G-code), que podem ser utilizados para fazer o controle e configuração do *G-code* (MOREIRA, 2018).

#### 3.4.1. Firmware Grbl

O *firmware Grbl* é um interpretador de *G-code* criado por Simen Svale Skogsrud em 2009, e por ser de código aberto é muito utilizado pela comunidade DIY (FACHIM, 2013). Desenvolvido e otimizado para ser utilizado em conjunto com microcontroladores ATmega328p, é o responsável por controlar os movimentos da máquina. É um *software* livre desenvolvido em linguagem C, possui licença GPLv3, requer *hardware* simples e tem padrões industriais, tornando-se base para máquinas CNC, impressoras 3D e outras máquinas de três eixos (POLASTRINI, 2016).

O papel desempenhado pelo *Grbl* instalado em uma placa Arduino com microcontrolador ATmega328p, é receber, por meio da porta USB (*Universal Serial Bus*), um conjunto de instruções enviadas em *G-code* pelo computador, interpretá-las, e transmitir comandos para os *drivers* de potência e atuadores que transformarão os sinais elétricos em movimentos. O Grbl possui comandos de operação das máquinas-ferramentas como velocidade, liga/desliga e algumas interações durante o processo como pausa e interrupção (MOREIRA, 2018).

#### 3.4.2. G-code

As máquinas CNC seguem uma padronização composta por linhas de instruções denominadas de blocos, que são formadas de palavras que possuem letras e números. Esse padrão denominado de Código G, é definido pela normativa da ISO 6983.1 e é composto por duas categorias básicas de funções, as funções preparatórias (G), cujo papel é indicar para a máquina-ferramenta como ela deve operar deixando-a pronta para executar movimentos, e as funções miscelâneas que são complementares às funções preparatórias e geralmente atuam como chaves programáveis de componentes da máquina, como fusos, motores e outros sistemas auxiliares (REZENDE *et al.*, 2019).

#### 3.4.3. IDE do Arduino

O Arduino pode ser controlado através de um conjunto de instruções enviados para o microcontrolador da placa, por meio da linguagem de programação Arduino baseada em *Wiring* e utilizando o Software Arduino (IDE – *Integrated Development Environment* ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado) baseado em *Processing*. Além de possuir plataforma cruzada, o que permite a execução em diversos sistemas operacionais, a IDE do Arduino é fácil de ser operado permitindo o uso tanto de usuários iniciantes quanto de

usuários avançados, podendo ser expandida por meio de bibliotecas C++ (ARDUINO, 2020).

#### **3.4.4. Universal GcodeSender**

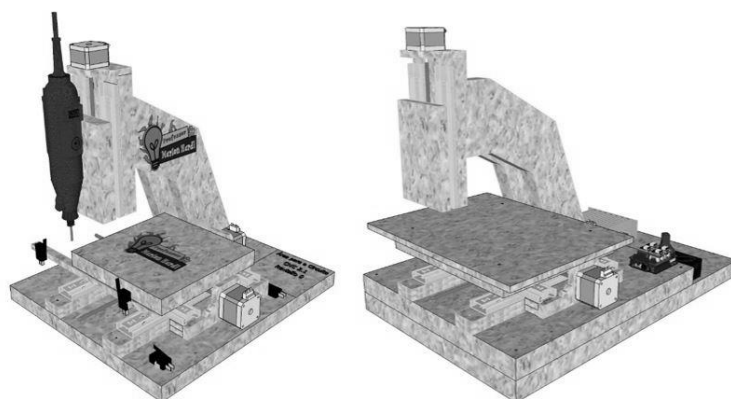
Para que o computador e a máquina se comuniquem, é fundamental o uso de um *software* que envie o conjunto de instruções que o *firmware* irá ler e executar. Compatíveis com o Grbl, existem diversos *softwares* que o usuário pode escolher para desempenhar esta função, tais como o *bCNC*, *Easel* e o *Universal GcodeSender*. Desenvolvido em Java sob a licença GPLv3, o *Universal GcodeSender* possui compatibilidade com vários sistemas operacionais como Windows®, Linux e Raspberry, é de fácil configuração e o mais utilizado. O *Universal GcodeSender* apenas faz a leitura do *G-code* e o envia para a máquina CNC, não possuindo suporte para criação ou edição de *G-code* (POLASTRINI, 2016).

#### **3.4.5. LaserGRBL**

O *LaserGRBL* é capaz de gerar e transmitir os comandos e trajetória do *G-code* para o Arduino diretamente, o que permite gravar imagens, fotos e logotipos por meio de uma ferramenta de conversão interna que o *software* possui. Sendo diferente de outras GUI (*Graphical User Interface* ou Interface Gráfica do Utilizador ou Usuário), o *LaserGRBL* foi desenvolvido para uso com cortador e gravador *hobbist* a laser, e para que sejam utilizados todos seus recursos, o seu gravador deve fornecer suporte à modulação de potência por meio do comando S. Possui compatibilidade com o *firmware* Grbl v0.9 e Grbl v1.1 e é uma ferramenta de fácil uso e gratuita (LASERGRBL, 2020).

### **4. Desenvolvimento**

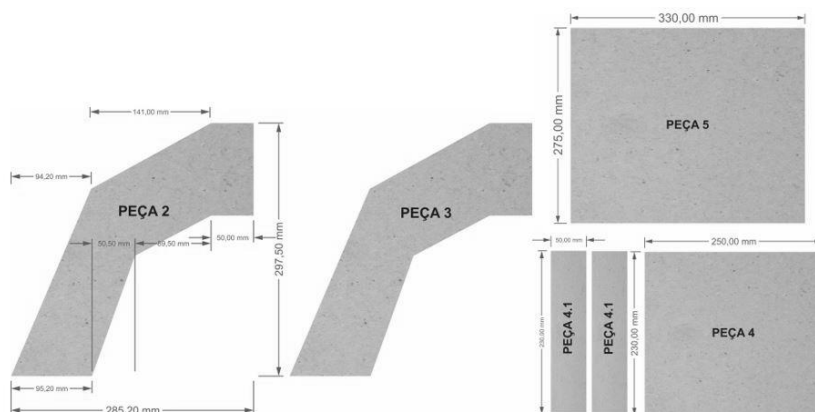
Para a construção da máquina CNC, foram utilizadas como base, instruções disponibilizadas por Walendorff (2020) com o título de “Construa sua própria CNC 2.1”, que disponibiliza todas as etapas de montagem desde a estrutura física até a mecânica e eletrônica. Inicialmente foi necessário um levantamento de peças e componentes viáveis que poderiam ser utilizados para execução deste projeto, tendo em vista que o objetivo deste trabalho é reduzir os custos na construção de máquinas CNC reutilizando material reciclado. A aquisição dos componentes mecânicos e eletrônicos necessários se deu por meio do Projeto de Reutilização e Reciclagem de Equipamentos de Informática (OBANA *et al.*, 2018), o que permitiu redução nos custos de construção da máquina CNC. Durante as análises do projeto de Walendorff (2020) e o projeto da REM-CNC *Router* foram realizadas a substituição de alguns materiais e a alteração de algumas estruturas físicas, para aumentar a estabilidade e a área de trabalho da máquina CNC (Figura 1).



**Figura 1. Modelo 3D do projeto original (esquerda), e Modelo 3D da REM-CNC Router (direita).**

**Fonte: Autor (2020)**

Comparando as imagens da Figura 1, percebe-se que houve um aumento no porte da máquina, bem como um aumento da área de trabalho. Tomando como referência as medidas das peças disponíveis por Walendorff (2020), foi adicionada uma base com medidas de 35x55 cm, fabricadas em MDF com espessura de 30 mm para acoplar a Peça 1, também fabricada em MDF com espessura de 30 mm, o que permitiu maior estabilidade durante a operação da máquina. Para que houvesse o aumento da área de trabalho da máquina CNC, foram alteradas as medidas das peças 2, 3 e 4 gerando a necessidade de serem adicionadas novas peças que podem ser analisadas nas (Figura 2).

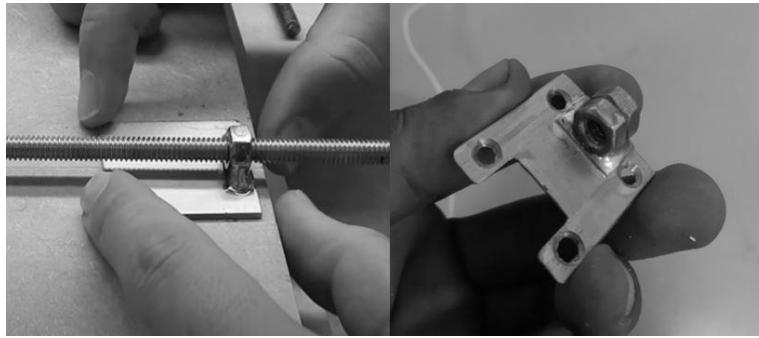


**Figura 2. Peças 2, 3 e 4 com novas medidas e novas peças**

**Fonte: Autor (2020)**

Essas alterações foram realizadas por conta da necessidade de uma máquina CNC com uma área de trabalho maior, sendo que o projeto original permitia uma área de trabalho de 200x200 mm e a REM-CNC Router possui uma área de trabalho de 250x250 mm. Além das alterações na parte da estrutura física, foram feitas alterações na parte mecânica visando maior durabilidade. Durante a preparação dos trilhos telescópicos baseado em Walendorff (2020), percebeu-se que haveria um descarte de material metálico proveniente do corte dos trilhos. Devido a este corte, pôde ser feita a substituição da placa de fenolite, utilizada para construir a base que serviria para a movimentação dos eixos X e Y, por essa sobra de material metálico proveniente do corte dos trilhos (Figura 3).

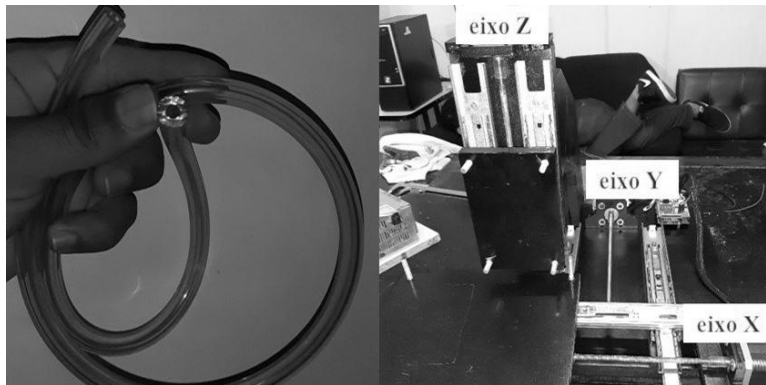




**Figura 3. Peça do projeto original feita com placa de fenolite (esquerda), Peça adaptada feita com sobra de trilho telescópico (direita).**

**Fonte: Autor (2020)**

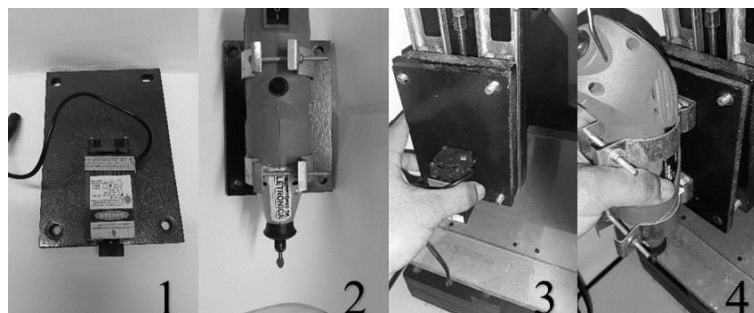
Uma outra alteração feita no projeto original, foi a substituição do Espaguete Termo retrátil utilizado para a junção da barra roscada ao eixo do motor, por uma mangueira para gasolina em silicone, permitindo maior flexibilidade e durabilidade (Figura 4).



**Figura 4. Mangueira para gasolina em silicone (esquerda), Eixos X, Y e Z conectados com a mangueira aos motores (direita).**

**Fonte: Autor (2020)**

Além dessas alterações, foram adicionados em cada canto da peça 6, quatro parafusos sextavados de  $\frac{1}{4}$  de polegada para a fixação da máquina-ferramenta a ser utilizada. Essa fixação se deu por meio de porcas borboletas permitindo a troca de tal ferramenta de forma simples e fácil, tendo em vista que a máquina CNC foi construída para ser utilizada com uma fresadora e um laser de forma não paralela. A Figura 5 mostra a forma de acoplamento dos “módulos” de máquinas-ferramentas utilizadas na máquina CNC.



**Figura 5. “Módulos” de máquinas-ferramentas (1 e 2), Suporte de encaixe dos módulos (3 e 4).**

**Fonte: Autor (2020)**

#### 4.1. Custos

Mesmo sendo construída reutilizando materiais reciclados, a construção da máquina CNC necessitou de itens que foram obtidos por meio de compras em lojas online e físicas, tendo em vista que antes de serem adquiridas, foi necessária uma pesquisa de mercado visando a escolha do menor custo possível de materiais. Com isso, para demonstrar e validar a viabilidade de redução de custos no uso de materiais reciclados, foi necessário uma análise dos custos empregados por este projeto comparado aos projetos de Walendorff (2020), Moreira (2018) e Dantas; Junior (2016) ilustrados nas Tabela 1, 2, 3 e 4.

**Tabela 1. Tabela de custo da CNC de Walendorff (2020).**

Itens	Quantidade	Subtotal
Motores de passo NEMA 17 com torque igual ou superior a 2.5kgf.cm.	3	R\$ 226,95
Fonte 12VDC x 5ª	1	R\$ 21,00
Retífica igual ou similar eccofer AR172	1	R\$ 130,00
Fio 0,25 mm de diâmetro. Vai depender de como você montar. (metro)	20	R\$ 4,00
Arduino uno + cabo.	1	R\$ 39,00
CNC Shield V3.0	1	R\$ 25,00
Drive motor de passo A4988	3	R\$ 45,66
Barra roscada 1/4 (metro)	1	R\$ 3,00
Espaguete termo retrátil 9.5 mm de diâmetro (metro)	0,5	R\$ 3,00
Porcas para barra roscada de 1/4	3	R\$ 1,00
Módulo relé para controlar a retífica	1	R\$ 7,65
Chave Fim de Curso (Limit Switch) KW11-7-1 16A 250VAC com Haste 60mm	6	R\$ 20,00
PCI 5 cm x 5 cm	1	R\$ 1,19
<b>VALOR TOTAL DE CUSTO</b>		<b>R\$ 527,45</b>

**Tabela 2. Tabela de custo da CNC de Moreira (2018).**

Itens	Quantidade	Subtotal
Estrutura Física	1	R\$ 249,00
Micro Retífica AWT Red	1	R\$ 249,00
Raspberry Pi3	1	R\$ 220,00
Fonte de Alimentação (24V 15A)	1	R\$ 80,00
Motores de passo (Usados)	3	R\$ 50,00
Driver A4988	3	R\$ 33,00
Arduino UNO	1	R\$ 25,00
Trilhos Telescópicos	6	R\$ 34,00
Polia Gt2 5mm	1	R\$ 14,90
Polia GT2 6.35mm	1	R\$ 14,90
Correia Gt2 400mm	1	R\$ 14,90
Abraçadeiras metálicas de 50mm de diâmetro	1	R\$ 8,00
Barra de rosca de 1/4	1	R\$ 4,00
Porcas de 1/4	6	R\$ 2,00
Parafusos 60mm x 4mm	2	R\$ 0,40
Parafusos 80mm x 4mm	2	R\$ 0,40
Parafusos 40mm x 4mm	4	R\$ 0,60
Parafusos 14mm x 4mm	25	R\$ 2,50
Acoplador flexível de motor	2	R\$ 29,80
Fresa 60º 0,1mm	1	R\$ 14,90
Placa de fenolite 20cm x 20cm	1	R\$ 12,00
<b>VALOR TOTAL DE CUSTO</b>		<b>R\$ 1.059,30</b>

**Tabela 3. Tabela de custo da CNC de Dantas; Junior (2016).**

Itens	Quantidade	Subtotal
CNC Shield	1	R\$ 5,23
Driver A4988	3	R\$ 13,26
Motor de Passo NEMA 17	3	R\$ 115,14
Arduino UNO	1	R\$ 12,81
Fonte Chaveada Industrial 60W 12V 5A	1	R\$ 48,30
Barra roscada de 1/4 (metro)	2	R\$ 12,60
Porcas de 1/4	3	R\$ 0,30
Trilho Telescópico Light (par)	3	R\$ 20,10
Micro Retífica	1	R\$ 229,00
Acoplador Sanfonado	3	R\$ 10,92

<b>VALOR TOTAL DE CUSTO</b>	<b>R\$ 467,66</b>
-----------------------------	-------------------

**Tabela 4. Tabela de custo do projeto REM-CNC Router, descrito neste trabalho.**

<b>Itens</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Subtotal</b>
Estrutura Física	1	R\$ 165,00
Arduino UNO REV3	1	R\$ 35,70
CNC Shield	1	R\$ 17,90
Graxa Branca	1	R\$ 5,00
Trilho telescópico 25cm (par)	2	R\$ 60,00
Adesivo Instantâneo 793 TEKBOND	1	R\$ 10,00
Driver A4988	3	R\$ 26,10
Motor de Passo NEMA 17	3	Reciclado
Fonte Bematech Mp20 Fr20 Ft2997 - 24V	1	Reciclado
Módulo Relé	1	Reciclado
Barra Roscada 1/4 (metro)	1	R\$ 2,30
Parafuso madeira 3,5x30mm	8	R\$ 0,80
Parafuso madeira 3x30mm	4	R\$ 0,40
Parafuso madeira 3,5x25mm	2	R\$ 0,20
Parafuso madeira 6x65mm	12	R\$ 6,00
Parafuso madeira 4x20mm	4	R\$ 0,20
Parafuso madeira 3,5x20mm	14	R\$ 0,70
Parafuso madeira 3x16mm	10	R\$ 0,50
Parafuso madeira 4,5x25mm	4	R\$ 0,40
Parafuso Sextavado Zincado UNC 1/4"x1.1/4"	4	R\$ 1,20
Parafuso Sextavado 6x50mm	2	R\$ 0,80
Porca 6mm	2	R\$ 0,10
Porca 1/4	6	R\$ 0,60
Porca Borboleta 1/4	4	R\$ 2,80
Mangueira para gasolina (metro)	1	R\$ 5,00
Abraçadeira Inca Tipo D2	2	R\$ 10,00
<b>VALOR TOTAL DE CUSTO</b>		<b>R\$ 351,70</b>

Com base nos valores mostrados nas Tabelas de custo, podemos notar as diferenças entre os recursos gastos para a construção de um projeto baseado no projeto de Walendorff (2020), tendo em vista que esse valor pode variar conforme o tamanho da área de trabalho, a variação dos tipos de máquinas-ferramentas que serão utilizadas e a forma de uso da máquina CNC.

## 5. Resultados e Discussões

Após todo o processo de montagem e as alterações para melhoria da máquina CNC, pôde ser obtido uma máquina CNC de baixo custo com parte dos materiais usados provenientes de resíduo eletrônico. Isso permitiu a redução dos custos, em relação ao projeto original que já era de baixo custo, mostrando que há um grande potencial na reutilização de resíduos eletrônicos na construção de máquinas CNC com custo reduzido.

Assim que foi construída, a máquina CNC foi utilizada para fazer placas de circuito impresso e gravações a laser em superfícies de alguns materiais, ilustrados na Figura 6. A REM-CNC Router fez parte de uma exposição no MT Ciências no Sesc em Cuiabá-MT, demonstrando para a comunidade local a importância de reutilização de materiais reciclados para a construção de tais projetos e está sendo utilizada na produção de máscaras protetoras do tipo *Face Shield* para auxiliar no combate ao Covid-19.

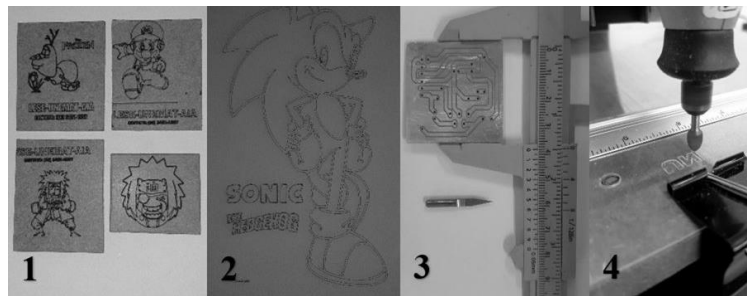


Figura 6. Resultado do uso da CNC (1 e 2 feita a laser) e (3 e 4 feita com fresa).

Fonte: Autor (2020).

Para analisar a precisão da máquina CNC, foram efetuados alguns testes utilizando a ferramenta *laser* e uma placa de MDF em espessura de 3mm. Sabendo que o raio laser acoplado na máquina possui 0,05mm de diâmetro, foram traçadas de 5 à 13 linhas paralelas por milímetro (mm) com 14 mm de comprimento (Figura 7).

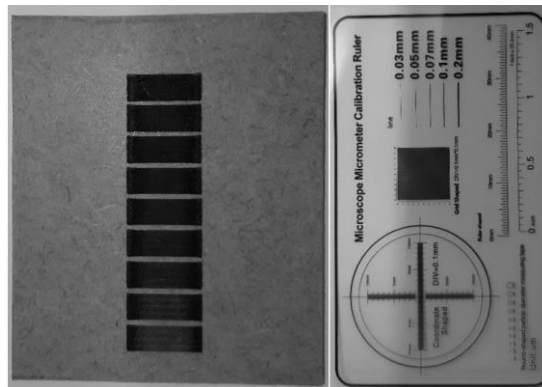


Figura 7. Placa de MDF com retângulos de 5mm x 14mm gravados a laser (esquerda) e régua de escala da câmera microscópica (direita).

Fonte: Autor (2020).

Utilizando uma câmera microscópica, foi possível analisar a resolução e a precisão alcançada pela máquina CNC, sendo que a maior precisão que pôde ser alcançada foi de 50  $\mu\text{m}$  com uma resolução de 100  $\mu\text{m}$ , que pode ser analisada na Figura 8 com a escala baseada na régua (500  $\mu\text{m}$ ) da Figura 7.

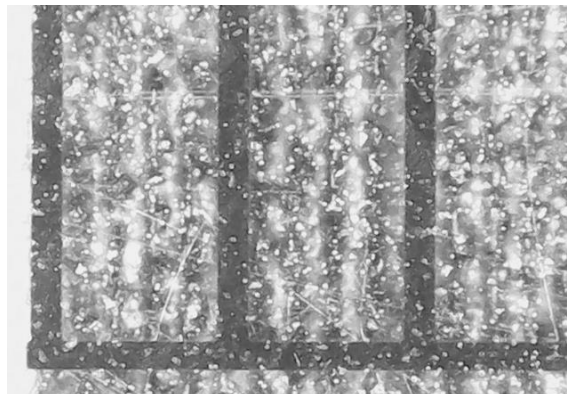


Figura 8. Imagem aumentada da Placa de MDF com retângulos de 5mm x 14mm gravados a laser.

Fonte: Autor (2020).

## 6. Conclusões

Com base nos custos aplicados neste projeto e os resultados obtidos, podemos afirmar que a REM-CNC *Router* é uma máquina CNC de baixo custo, quando comparada com outras máquinas CNC que desempenham as mesmas funcionalidades. A REM-CNC *Router* possui como principal vantagem a capacidade de operar dois tipos de ferramentas (não simultaneamente) um *Laser*, capaz de fazer gravações na superfície de materiais; e uma Micro retifica, permitindo além da gravação na superfície de materiais, a usinagem de peças 2D e até mesmo 3D. Outra vantagem é a área de trabalho maior quando comparada com as similares encontradas na literatura. A REM-CNC *Router* é uma máquina CNC multifuncional, construída com materiais reciclados, de um custo reduzido e precisão micrométrica, comprovando que o uso desses materiais reduz os custos de produção de máquinas CNC.

## 7. Referências

ANIS, Adie; SANTOSA, Irfan. Instrumen Kendali Mesin CNC Portable Berbasis Microcontroller Arduino dan Modul CNC Shield. 2019. **1st Mechanical Engineering Conference** [...]. [S. l.: s. n.], 2019.

ARDUINO. What is Arduino? 2020. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Acesso em: 17 ago. 2020.

ARDUINO UNO REV3 | LOJA OFICIAL DO ARDUINO. 2020. Disponível em: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>. Acesso em: 10 ago. 2020.

CARDOSO JÚNIOR, Edinaldo Serra; OBANA, Fernando Yoiti; SOUZA, Felipe Carvalho Rodrigues de; NASCIMENTO, Leonardo Xavier do; SPEROTTO, Lucas Kriesel; MARINHO, Max Robert. Floppy Music V2 – um sistema robótico de DEC capaz de reproduzir músicas integrado a um módulo Mixer de Áudio com Pré-amplificação. 2019. **Anais do Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão**. Disponível em: <https://eventos.ifmt.edu.br/publicacao/569/>. Acesso em: 8 ago. 2020.

DANTAS, Marcus Paulo Soares; JUNIOR, Orivaldo Vieira De Santana. Fresadora CNC de baixo custo-SUSY. **Trabalho apresentado na Mostra Nacional de Robótica (MNR)**, 2016.

FACHIM, Alan. Projeto de fresadora CNC com plataforma livre Arduino. 2013.

GOBI, Nathan. **Desenvolvimento de protótipo de máquina CNC de baixo custo para processos de corte e gravação em micro e pequenas empresas**. 2019. B.S. thesis – 2019.

JAYACHANDRAIAH, B.; KRISHNA, O. Vamsi; KHAN, P. Abdullah; REDDY, R. Ananda. Fabrication of low cost 3-Axis CNC router. **International Journal of Engineering Science Invention**, v. 3, n. 6, p. 1–10, 2014. .

LASERGRBL. **LaserGRBL - Gravação a laser gratuita**. 2020. Disponível em: <http://lasergrbl.com/>. Acesso em: 19 ago. 2020.

LEITE, Josicleudo R.; LEITE, Josileudo R.; SANTOS<sup>1</sup>, Josiel L.; MACÊDO, Christiane B.; BAIER, Pablo AS; DO NORTE, Limoeiro. **DESENVOLVIMENTO DE UM CNC DE PEQUENO PORTE. Reunião Regional da SBPC no Cariri - URCA - Cariri/CE, 2017.** .

MOREIRA, Divino Luiz Barbosa. **Construção de uma fresa de controle numérico computadorizado para placas de circuito impresso**. 2018. .

OBANA, Fernando Yoiti; SPEROTTO, Lucas Kriesel; MARINHO, Max Robert; DOS SANTOS, Raiane Talissa. **REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM DE EQUIPAMENTOS DE INFORMÁTICA EM UMA CIDADE DE PEQUENO PORTE. Revista Compartilhar-Reitoria**, v. 3, n. 1, p. 63–69, 2018. .

PALMIERE, Sérgio Eduardo. **CLP versus Microcontrolador - Embarcados**. 11 fev. 2016. **Embarcados - Sua fonte de informações sobre Sistemas Embarcados**. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/clp-versus-microcontrolador/>. Acesso em: 10 ago. 2020.

POLASTRINI, HF. **Desenvolvimento de uma Máquina Cnc de Baixo Custo com Software e Hardware Abertos. Relatório (Graduando em Engenharia Elétrica), Instituto Federal de Minas Gerais, 2016.** .

REZENDE, Henrique B; BASTOS, Maria Eduarda S; LANES, Matusalém M; PIRES, Anderson G. **FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA CONTROLE DE MÁQUINAS CNC.** , p. 8, 2019. .

VERMA, Kushal; GIANCHANDANI, Ishita; SAROHA, Sumit. **Efficient Use of Electronic Waste for CNC Machine. International Journal of Computer Applications**, v. 975, p. 8887, 2018. .

WALENDORFF, Marlon Nadi. **Construa sua própria CNC 2.1**. 2020. Disponível em: <https://www.marlonnardi.com/p/construa-sua-propria-cnc-20-2.html>. Acesso em: 7 ago. 2020.