

Construção de uma CNC Router, de 3 eixos, para aplicações didáticas Construction of a 3-axis CNC Router for didactic applications

Clayton E. A. Cavalcante*. Maysa E. S. Paiva*. Mônica V. V. Silva*.
João A. Silva, Neto*. João B. A. Silva **. Verílton N. Silva*.

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Itabaiana, Brasil (email: clayton.cavalcante@academico.ifpb.edu.br)

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Itabaiana, Brasil (email: maysa.paiva@academico.ifpb.edu.br)

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Itabaiana, Brasil (email: monica.vitoria@academico.ifpb.edu.br)

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Itabaiana, Brasil (email: silva.antonio@ifpb.edu.br)

** Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba,
João Pessoa, Brasil (e-mail: jbosco@ct.ufpb.br)

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Itabaiana, Brasil (email: verilton.silva@ifpb.edu.br)

Abstract: A CNC machine represents major advances for a technology institution, such as the practicality of manufacturing parts with complex geometries, faster production and the ability to assist in the application of research projects in other areas of knowledge, such as biomedicine. The machine will be provided with low-cost equipment, using free applications, instrumentation and control systems already used by teaching resources so that it will work in a multi-disciplinary way. A very common example of these machines is the CNC Router, similar to a CNC milling machine, but small in size, but which is capable of roughing parts such as wood, acrylic and low hardness metal parts, according to the power of the spindle. To move, it is normally carried out by three axes (X, Y and Z), through mechanical and controlled by a computer, using specific software, which generates a G-code based on a drawing of the part. Therefore, this project aims to develop a CNC Router machine, for didactic applications and which will also serve for future research on the topic covered, as an example allowing to study in detail the entire construction part, machine elements, such as also develop programs in the G-code language to manufacture parts, understand the functioning of the instrumentation, in addition to general training content, such as the study of rotational movement and advance speeds. To validate the tests, parts were measured using a Coordinate Measuring Machine CMM, which presented validated results in relation to the cost of the equipment and the software used.

Resumo: Uma máquina CNC representa para uma instituição de tecnologia grandes avanços, como a praticidade de confeccionar peças com geometrias complexas, mais rapidez na produção e a capacidade de auxiliar na aplicação de projetos de pesquisa em outras áreas de conhecimento, como a biomedicina. Um exemplo bastante comum destas máquinas são as CNC Router, semelhante a uma fresadora CNC, porém de pequeno porte, mas que é capaz de realizar desbastes em peças como madeira, acrílico e peças metálicas de baixa dureza, de acordo com a potência do eixo-árvores da mesma. Para se movimentar, normalmente é realizada por três eixos (X, Y e Z), através de sistemas mecânicos comandados através de computador, com uso de *software* específico, onde executa um código de programação *G-code* a partir de um desenho da peça. Portanto, este projeto visa desenvolver uma máquina CNC do tipo Router, para fins didáticos de ensino e que também servirá para futuras pesquisas na temática abordada. Como exemplo, permitir estudar com detalhes toda a parte construtiva, elementos de máquinas, como também desenvolver programas na linguagem *G-code* a serem executados para confecção de peças, entendimento do funcionamento da instrumentação, além de conteúdos de formação geral, como estudo do movimento de rotação e velocidades de avanço. A máquina será provida de elementos que visam o baixo custo, com uso de aplicativos livres, instrumentação e sistema de controle já utilizados por recursos didáticos de modo que venha a funcionar de forma multi-disciplinar. Para validação dos testes, foram usinadas peças e medidas em uma Máquina de Medição por Coordenadas (MMC), onde apresentou resultados validados em relação ao custo do equipamento e ao *software* utilizado.

Keywords: Didactic applications, Machine Tools, CNC Router, Coordinate Measuring Machines.

Palavras-chaves: Fins didáticos, Máquinas-ferramenta, CNC Router, Máquina de Medição por Coordenadas.

1. INTRODUÇÃO

As máquinas CNC (Comandadas Numericamente por Computador) pertencem ao grupo das chamadas máquinas-ferramenta, que funcionam pelo princípio de retirada ou de adição de material. Exemplos destas máquinas são tornos CNC, centros de usinagem, máquinas de eletroerosão, máquinas de corte a *laser*, impressoras 3D, entre outras. São sistemas responsáveis por produzir peças mecânicas, corte de placas, modelos tridimensionais, entre outros trabalhos a partir de um processo automatizado. São equipamentos que permitem um aprofundamento dos pilares das ciências mecânicas CAD (Desenho Assistido por Computador, do inglês *Computer Aided Design*) e CAM (Manufatura Assistida por Computador, do inglês *Manufacturing Aided Computer*). Estão muito presentes no cotidiano industrial, das grandes às pequenas empresas de fabricação.

Um exemplo bastante comum destas máquinas são as CNC *Router*, semelhante a uma fresadora CNC, porém de pequeno porte, mas que são capazes de realizar desbastes em peças como madeira, acrílico e peças metálicas de baixa dureza, de acordo com a potência do eixo-árvore da mesma. Normalmente se movimenta por três eixos (X, Y e Z), onde os dois primeiros eixos são responsáveis pelas coordenadas da posição da ferramenta na peça, que fica presa a uma mesa de fixação da máquina, e o terceiro que é responsável pela coordenada da profundidade da ferramenta de corte. Sua interface é realizada através de computador, com uso de *software* específico, onde executa um código de programação *G-code* a partir de um desenho da peça. Os servos motores para movimentação da máquina são controlados através de um sistema de controle comunicando com *software* específico.

Uma máquina CNC representa para uma instituição de tecnologia grandes avanços, como a praticidade de confeccionar peças com geometrias complexas, mais rapidez na produção e a capacidade de auxiliar na aplicação de projetos de pesquisa em outras áreas de conhecimento, como a biomedicina. Atualmente, alunos do Curso Técnico em Automação Industrial do IFPB - *Campus* Itabaiana utilizam este recurso para desenvolverem atividades de ensino, pesquisa e extensão, não necessitando se deslocar para outras unidades para terem atividades práticas relacionadas a esta tecnologia.

Portanto, este projeto de visa desenvolver uma máquina CNC do tipo *Router*, para fins didáticos de ensino e que também servirá para futuras pesquisas na temática abordada, como exemplo, permitir estudar com detalhes toda a parte construtiva, elementos de máquinas e funcionamento dos mecanismos, desenvolver programas em linguagem *G-code* a serem executados para confecção de peças, entender o funcionamento da instrumentação e dos microcontroladores aplicados ao sistema, além de conteúdos de formação geral, como estudo do movimento de rotação e velocidades de avanço.

A máquina proporciona um baixo custo em relação a existentes no mercado, por utilizar boa parte dos materiais

para sua confecção disponível no comércio local, por não haver custos de comercialização e principalmente por utilizar *softwares* livres, na sua interface CAD/CAM. A máquina também será provida de monitoramento através do dispositivo que contém a programação, e uso de aplicativos livres, instrumentação e sistema de controle já utilizados por recursos didáticos de componentes curriculares do Curso Técnico Integrado de Automação Industrial do IFPB - *Campus* Itabaiana, entre outras disciplinas da área de tecnologia, de modo que venha a funcionar de forma multi-disciplinar.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Comando Numérico Computadorizado (CNC)

As máquinas CNC são aquelas que utilizam o controle numérico como base para o deslocamento num plano de coordenadas e comandar o que cada peça e ferramenta irá fazer com o material a ser trabalhado. Com o grande avanço das tecnologias de *software* e *hardware*, as máquinas e programas CNC também tiveram grandes aperfeiçoamentos que trouxeram vantagens para a indústria e operários que usam essas máquinas diariamente. Dentre os desenvolvimentos obtidos pode-se citar os seguintes pontos: aumento na velocidade de produção, alta eficácia, grande precisão a partir dos desenhos feitos com o auxílio de *softwares* como o CAD (SANS MACHINING, 2021).

Para a programação de tais máquinas, é utilizado o processo de referenciamento a partir de coordenadas cartesianas, elas podem ser escritas no código de duas formas, em coordenadas absolutas e coordenadas incrementais. As coordenadas absolutas são escritas sempre considerando o ponto de referência chamado de ponto zero peça. Já as coordenadas incrementais são definidas levando como referência o ponto anterior (Souza & Ulbrich, 2009).

Geralmente as máquinas CNC são diferenciadas a partir da sua utilidade e modo de funcionamento. Elas usam diferentes formas de movimento de eixo para as ferramentas, existem as que trabalham em apenas dois eixos e existem as que dispõem dos eixos X, Y e Z para trabalho. Ainda existem máquinas com alto nível de precisão que trabalham com cinco eixos, elas normalmente são elaboradas com três eixos para trabalhar movimentos de forma linear e dois eixos para fazer movimentos rotativos. Estas máquinas possibilitam uma maior eficiência, flexibilidade e diminuição no tempo de configuração (Xiang et al., 2014).

2.2 Exemplos de máquinas CNC

De acordo com Polastrini (2016), o torno CNC é uma máquina-ferramenta similar ao torno mecânico, sua diferença é que o torno CNC é composto por um grupo de motores que são controlados por placas controladoras responsáveis pelo movimento das ferramentas de corte. Esse mecanismo tem como base o deslocamento das ferramentas nos eixos X (avanço transversal) e Z (avanço longitudinal). Nesse tipo de máquina, o tarugo a ser torneado é fixado ao eixo árvore com

auxílio das castanhas, que ao ser preso, inicia o movimento rotacional que possibilita o trabalho das ferramentas de corte, que irão iniciar o desbaste para a fabricação da peça desejada.

Segundo Scheer (1993, p. 46), “Um centro de usinagem é uma máquina equipada com controle NC e dispositivo de troca automatizada de ferramentas, podendo gerenciar a execução de várias operações em um só período”. Essa máquina é capaz de trabalhar com diversos tipos de matéria prima e realizar múltiplas funções de trabalho como: furação, fresamento, roscamento, entre outras operações.

O recurso da impressão 3D apareceu por volta da década de 1980, graças ao americano Chuck Hull. Mas a ideia de impressão 3D claramente não era como vemos hoje em dia, ela foi baseada no conceito de estereolitografia que consiste em usar um *laser* ultravioleta para curar com precisão seções transversais de fotopolímeros, transformando-os de líquido em sólido. A fabricação em impressoras 3D possui vários tipos de aplicações como na prototipagem e modelagem, com essas aplicações sendo usadas em diversos campos de estudo e trabalho uma vez que já vem sendo inserido no ramo da medicina com a fabricação de aparelhos ortopédicos que se moldam aos pacientes, na educação já que professores têm a oportunidade de trazer um ensino mais ativo em sala de aula, automobilística, ortodontia, construção civil, arquitetura entre outros ramos (3D FILA, 2021).

A *Router* CNC é uma máquina controlada por computador que é própria para fazer desbastes em diversos materiais, como: madeira, chapas de acrílico, MDF, ACM, PVC expandido e chapas metálicas. Dentre os trabalhos que podem ser executados podem ser feitos furos, ranhuras, cortes e usinagens 3D com alta precisão. Dependendo da potência do equipamento. Para realizar esse trabalho a *CNC Router* usa motores de passo para auxiliar a movimentação da máquina nos eixos X, Y, Z. O movimento desses eixos é realizado pelo sistema de controle e a partir do painel de interface o operador pode verificar se o equipamento está trabalhando de forma correta, em que posição ela está, a velocidade de avanço, entre outros parâmetros (Eich, 2014).

2.3 Linguagem de Programação CNC

Um programa CNC é composto de instruções codificadas chamadas de dados. Ele é elaborado de acordo com a linguagem de programação padrão ISO, do inglês *International Organization for Standardization*, em português, Organização Internacional para Padronização. O programa CNC possui todas as informações necessárias para realizar as operações e tarefas essenciais para a execução dos processos para fabricação das peças, fazendo com que tenham um alto grau de precisão (Weiss, 2012).

Para criar os dados da programação responsável por comandar as máquinas CNC, é utilizada a linguagem de programação *G-code*. Por ela ser mais conhecida e utilizada na programação de máquinas CNC, a linguagem de programação *G-code*, é usada por outros sistemas que usam o ISO como base de programação, como: FANUC, Mitsubishi,

Mach, Siemens, FAGOR, entre outros sistemas (Olivo, 2014).

Os códigos G (*G-code*) são responsáveis por interpretar e converter todas as informações contidas nos desenhos CAD, que posteriormente, é enviado para o módulo GRBL, por exemplo, para que ele seja capaz de interpretá-lo.

O GRBL é um *firmware* de código aberto projetado para controlar o deslocamento nos eixos de máquinas operatrizes. Por ter um ótimo desempenho de interpretação e possuir um *hardware* simplificado, o GRBL é muito usado na construção de impressoras 3D de código aberto, máquinas CNC de corte a *laser*, *CNC Router*, entre outras máquinas industriais.

Ao ser instalado no *Arduino*, esse *firmware* recebe a função de receber e interpretar os comandos em *G-code* que serão enviados pelo computador e, após receber as informações, enviar os comandos para os motores de passo a fim de que os sinais sejam transformados em movimento (Polastrini, 2016).

2.4 Revisão Bibliográfica

Estudos com máquinas CNC para fins didáticos podem ser encontrados em trabalho como o de Sanches (2009). Em sua pesquisa frisou a importância ao investimento, pois maquinários industriais possuem custo elevado e torna-se de difícil aquisição pelas instituições de ensino. Ainda do ponto de vista financeiro, foram analisados custos desnecessários através de técnicas relacionadas.

Lyra (2010) elaborou uma fresadora que será aplicada a célula de manufatura que já dispõe de um torno CNC, também para a mesma finalidade. Pode se destacar na metodologia, o uso da plataforma EMC2 para o controle de velocidade e direção dos motores de passo. Códigos “G” foram desenvolvidos em laboratório para validação dos testes.

Miranda (2016) relatou em sua pesquisa o projeto de uma fresadora CNC, utilizando material já existente, para usinagem de materiais não metálicos ou de baixa resistência. Foi abordada o uso de recursos como moderno controle CNC, o que permitiu uma interação maior entre a teoria e a prática no ensino de tecnologias de usinagem, como o CNC.

Polastrini (2016) apresentou o conceito “faça você mesmo” como forma de estudantes da área realizarem projeto na área, destacando o uso de *softwares* e *hardwares* abertos. Desta forma, desenvolveu uma máquina CNC visando o baixo custo e fácil reprodução, apresentando resultados satisfatórios como *kit* didático.

Gobi (2018) apresentou em seu trabalho uma CNC de pequeno porte voltada para trabalhos de corte e gravação em joias, madeira, plástico e artesanato de forma geral. A estrutura consiste no modelo de pórtico, normalmente utilizada para estas aplicações, e para o acionamento foram utilizados *drivers* em formato de placa de circuito impresso, produzido para as demandas do projeto, e para gerenciamento do controle a placa microcontroladora *Arduino*. Os resultados

foram validados realizando operações de corte em MDF, atendendo a critérios específicos.

O trabalho de Carreira et al (2020) apresentou uma máquina CNC com a inovação de poder ser controlada remotamente, aplicada para fins didáticos. O controle remoto foi realizado através de uma aplicação *Web* interativa, fácil de usar, porém apresentou algumas instabilidades de desempenho, atribuída na lentidão e limitação da rede, mas que atendeu satisfatoriamente a requisitos didáticos e de baixo custo.

Gomes (2020) em sua pesquisa dá destaque ao crescimento das máquinas da utilização de máquinas CNC no meio industrial, o que acarreta no aumento nos custos envolvidos na construção das mesmas. Diante disso, apresenta uma máquina com foco na sustentabilidade e na economia, através da reutilização de material e uso de *softwares* de códigos abertos, para utilização em fins acadêmicos. Nos testes realizados com a máquina, apresentou boa repetibilidade de trajeto, apresentando bons resultados metrológicos.

Mayer (2020) realizou um projeto de uma CNC *Router* de 4 eixos, e em seu desenvolvimento utilizou-se a metodologia PRODIP adaptada, em que o projeto de etapas desde o levantamento de requisitos até o produto final validado. Cálculos estruturais foram realizados em pontos críticos e no projeto de *software* foi criado um controlador utilizando a plataforma aberta LinuxCNC.

O uso de plataforma livre também pôde ser citado por Balestrin (2022), onde desenvolveu uma CNC *Router* utilizando tecnologias abertas para *hardware* e *software*, para utilização na manufatura de placas de circuito impresso e pequenas superfícies 3D em materiais não-ferrosos. A forma construtiva do equipamento levou a resultados inconclusivos, apresentando vibrações na usinagem de materiais plásticos e posteriormente a fratura de um dos componentes da máquina. Mas trouxe a discussão sobre o uso de tecnologia disponível para uso nestes equipamentos.

Nunes (2022) teve em seu trabalho como foco o desenvolvimento e fabricação de uma fresadora CNC de três eixos que apresentou uma boa relação desempenho/custo. O desempenho pode ser traduzido como uma combinação de um alto volume de trabalho com uma boa precisão e exatidão de corte. A precisão e exatidão do corte foram verificadas através de um conjunto de experiências concebidas para o efeito.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto está dividido basicamente em três etapas: projeto mecânico, projeto eletroeletrônico e projeto de controle por software. Serão abordados separadamente para apresentar seus detalhes, mas na metodologia será abordado como um todo para sua devida validação.

3.1 Projeto Mecânico

Nesta primeira etapa, foram realizados a modelagem da máquina com o uso do *software Autodesk Inventor*, versão disponível para estudantes e professores, específico para modelagem 3D. A Fig. 1 apresenta o projeto conceitual da

máquina e o protótipo desenvolvido, desenvolvido no Laboratório de Máquinas Operatrizes do IFPB – *Campus Itabaiana*.

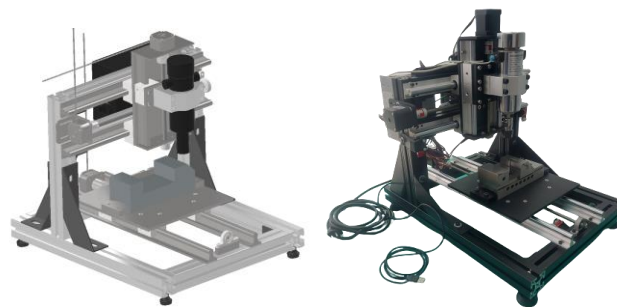


Fig. 1: Projeto conceitual e protótipo desenvolvido.

A escolha de material proporcionou rigidez suficiente a estrutura, motores e elementos de máquinas que ofereçam movimentos confiáveis e ajustes com o mínimo de folgas em busca de minimizar futuros erros.

As principais características mecânicas podem ser relacionadas:

a) Estrutura da máquina: o projeto consistiu em utilizar como estrutura perfis de alumínio estrutural, comercialmente vendido para fins de máquinas *maker*, nas dimensões de seção transversal de 40x40 mm. Tanto para fixação dos perfis e principalmente da montagem da estrutura do eixo Z, cantoneiras em aço carbono foram utilizadas. Na região onde haverá movimento da peça e da ferramenta, perfis em “T” em aço inoxidável foram utilizados para guiar os carros e dar rigidez a estrutura;

b) Volume de trabalho: a máquina possui uma área de usinagem de 230 x 230 mm, através das dimensões da placa do carro do eixo “Y”, e 150 mm de altura, distância máxima que a ferramenta terá dentro da área de usinagem. Requisitos definidos na fase de projeto, determinando o tamanho máximo da peça que poderá ser trabalhada;

c) Ferramentas de corte: para a realização do corte, foi selecionado um motor *spindle* de potência 800 W e rotação máxima de 20.000 RPM, o que permite usinar materiais comumente utilizados na mecânica como aço de baixa dureza, alumínio, materiais não-ferrosos, com uso de parâmetros de corte específicos;

d) Sistemas de movimento: utilizou-se motores de passo de 5,7 kgf.cm (0,6 N.m) acoplados a fusos trapezoidais TR8 x 8 mm e castanhas para o tipo de rosca para mover a peça nos eixos “X” e “Y” e a ferramenta de corte ao longo do eixo “Z”. Patins de esferas foram utilizados como guias nos carros em todos os eixos.

3.2 Projeto eletro-eletrônico

Na segunda etapa consiste na escolha de fontes de energia, placas controladoras e sensores. E por fim serão instalados em computador e outros dispositivos o *software* para programação e execução da usinagem. Foram utilizados os seguintes materiais, dado destaque aos listados a seguir:

- Placa microcontroladora *Arduino* UNO R3;
- Placa auxiliar CNC Shield V3;
- Fonte de alimentação 5 V para os circuitos e 12 V para os motores de passo;

O *Arduino* é uma placa eletrônica com *hardware* e *software* livres, é constituída por um controlador Atmel AVR de 8 bits, interface serial ou USB e também pinos digitais e analógicos. Vale ressaltar que a placa pode ser usada para desenvolver projetos interativos e também conectar-se a outro computador. Esse tipo de placa possui 14 portas digitais de entrada e saída, sendo seis providas de PWM (*Pulse Width Modulation*), seis entradas analógicas e 32 kB de memória *flash* (CIRIACO, 2015).

A placa auxiliar *CNC Shield* é capaz de dar suporte para controlar até 4 drivers, três deles são designados os eixos do protótipo, como: X, Y e Z, cada um deles é conectado a um motor de passo. O quarto *driver* é identificado como A, ele serve para espelhar um dos outros motores, caso necessário. O uso dessa placa proporciona uma melhor operabilidade, aumentando a capacidade de conexão e simplificando as conexões com os motores de passo. Neste projeto foi utilizado o *CNC Shield V3*, como mostra a Fig. 2. Poderia ter optado pelo uso apenas do *Arduino*, mas necessitaria vários outros componentes, o que geraria uma montagem bem mais complexa e com maiores probabilidades de falha.

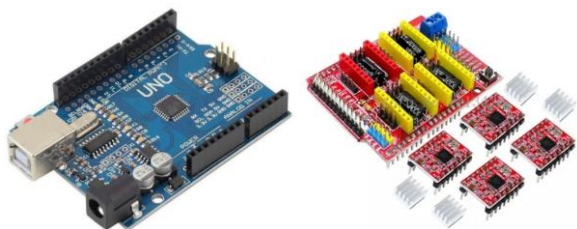


Fig. 2: *Arduino* UNO e *CNC Shield*.

3.3 Projeto de controle por software

E para complementar o projeto, tem-se a parte de controle por *software*, responsável por fazer a ligação da programação desejada, através de desenhos técnicos, com a movimentação sincronizada dos motores. Destaca-se o uso de *softwares* livres, para promoção de divulgação de conhecimento na área educacional. Para isso, tem-se basicamente estes dois itens que compõem o subsistema:

- *Firmware* GRBL 0.9j;
- Software livre Universal G-code Sender 2.1.6;

Nas configurações de *software*, de início foi usado a IDE do *Arduino* para fazer upload do módulo GRBL na placa *Arduino*, para melhor compreensão, a interface do *Arduino* IDE, bem como a instalação e upload do GRBL encontra-se na Fig. 3 a seguir.

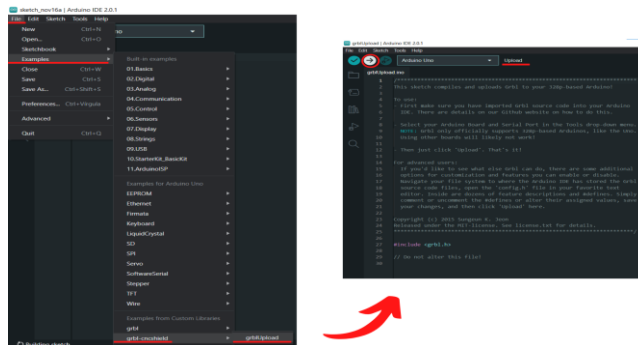


Fig. 3: GRBL carregado na *Arduino* IDE.

Por fim, o sistema operacional UGS (*Universal G-code Sender*) foi usado para executar os arquivos *G-code* gerados. Este *software* permite escrever a programação a ser executada de forma manual, ou importada de outro *software*. A interface desse sistema operacional encontra-se na Fig. 4.

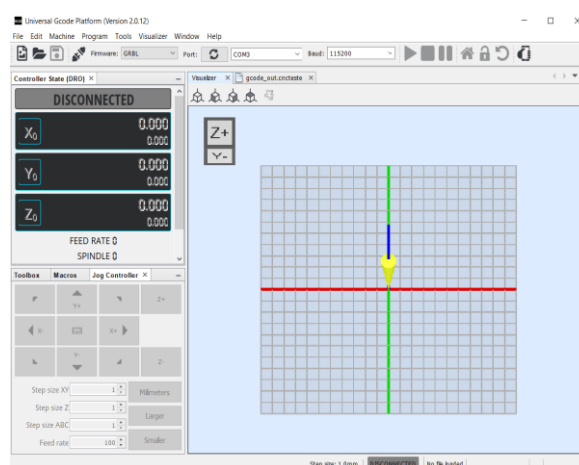


Fig. 4: Interface do UGS

3.4 Metodologia

Para validação dos testes experimentais, foram preparados *blanks* a partir de barras quadradas de *nylon*, como mostra o *set-up* com a peça presa na morsa da máquina na Fig. 5. O *blank* possui medidas aproximadamente de 41,3 mm (1.5/8") de lado, com 50 mm de altura, onde neles serão usinadas peças com programação desenvolvida com o uso do complemento CAM instalada no *software* Autodesk Inventor, com base no desenho da peça.

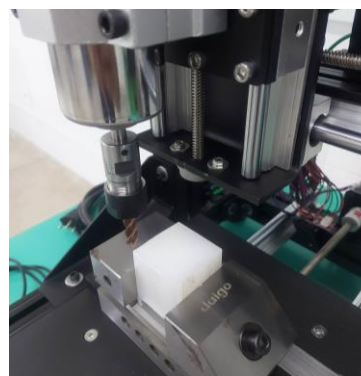


Fig. 5: *Set-up* de usinagem do *blank*.

A demonstração do funcionamento da máquina ocorre utilizando os códigos G01 (Interpolação Linear), G02 (Interpolação circular no sentido horário) e G03 (Interpolação circular no sentido anti-horário). Foram abordadas duas possíveis situações de usinagem, ambas com profundidade de corte de 7,5 mm. A primeira, como mostra a Fig. 6, foi realizado a usinagem de fresamento de contorno, com o uso de uma fresa de metal duro com diâmetro de 6 mm. A situação apresenta uma situação típica de demonstração de usinagem, envolvendo as funções supracitadas em fresamento de contorno.

Neste teste utilizou-se uma rotação fixa, de aproximadamente 5000 RPM e parâmetros de avanço de 100 mm/min e máxima profundidade de corte de 0,5 mm, em busca de resultados de qualidade superficial suficiente para realizar medições e não buscar forçar a máquina neste momento.

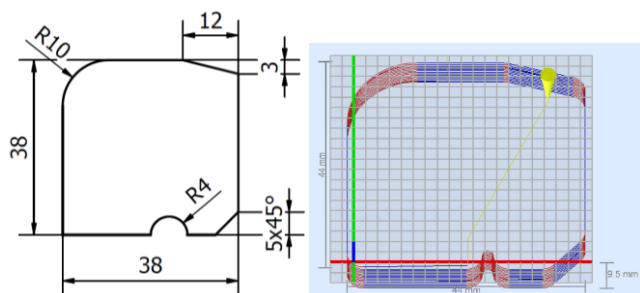


Fig. 6: Teste 1 – usinagem de contorno.

A segunda situação utilizou-se das mesmas configurações de *blank* e dos mesmos parâmetros de corte, porém utilizou-se uma fresa de 8 mm de diâmetro e para a geometria houve uma diferença, pois, a intenção é de usinar dois círculos concêntricos, como mostra a Fig. 7, e avaliar elementos a concentricidade no momento em que a máquina realiza um contorno externo e outro interno.

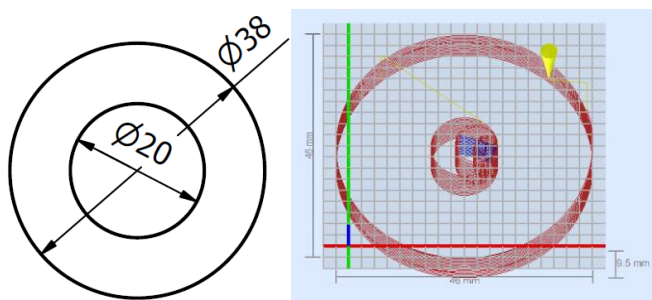


Fig. 7: Teste 2 – usinagem de contorno concêntricos.

Com as peças realizadas, serão medidas com o uso de uma Máquina de Medição por Coordenadas (MMC) existente no Laboratório de Engenharia de Precisão da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), onde foram feitas as medições dos contornos e comparação com as curvas teóricas, em formato *.dxf*.

Para a realização dos testes, foi utilizada a MMC da marca Mitutoyo, modelo Crysta-Apex S 7106 CNC, que usa um sensor de contato SP25. Uma visão completa da máquina pode ser vista na Fig. 8 a seguir.

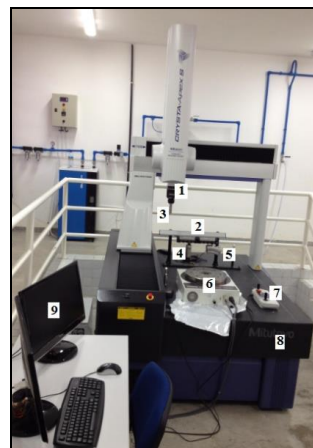


Fig. 8: MMC utilizada para medições dos contornos.

As peças foram medidas com o uso do apalpador (sensor SP25) de medição por contato. Ao definir o zero-peça, foi utilizada a função de medição por escaneamento, realizando o contorno medido. Da peça 1, foi feito apenas a medição do contorno externo. Na peça 2, foram realizadas medições do diâmetro externo e do diâmetro interno, como podem ser vistos na Fig. 9.

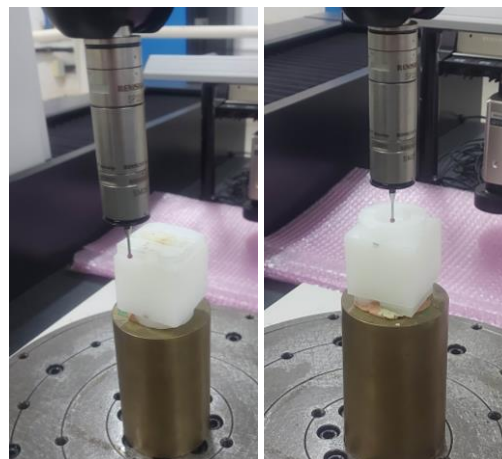


Fig. 9: Medições com a peça 1 (esquerda) e peça 2 (direita).

4. RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos das medições feitas com o uso da MMC.

Serão mostrados a seguir a medição contorno externo da peça 1, e comparado com o contorno teórico da mesma. Em seguida, como a mesma metodologia, os contornos externo e interno da peça 2, comparados com suas respectivas curvas teóricas. E por fim será apresentado o valor de concentricidade dos círculos, por meio das medições feitas do diâmetro externo e interno da peça 2.

4.1 Teste 1: Usinagem de contorno externo

De acordo com a Fig. 10, tem-se na região hachurada da figura a diferença entre os contornos externo teórico e

medido da peça 1, ao longo de todo perímetro da mesma. O gráfico apresenta a maior diferença, no valor de 604,3 μm .

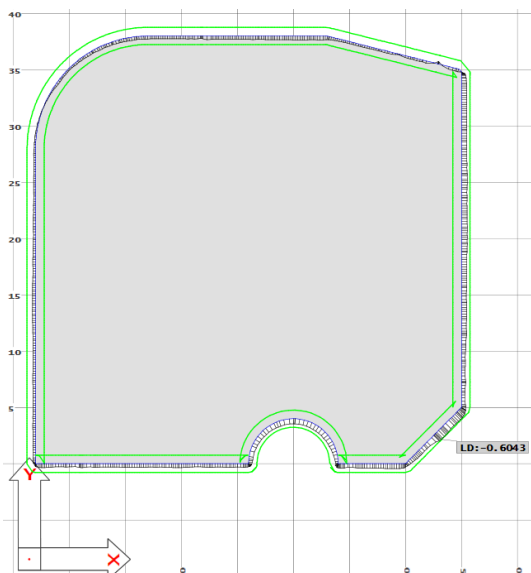


Fig. 10: Medição do contorno externo da peça 1.

4.2 Teste 2: Medição do diâmetro externo

De forma análoga ao anterior, tem-se na Fig. 11 o comparativo do contorno teórico e medido do diâmetro externo da peça 2. A maior diferença observada foi de 199,9 μm .

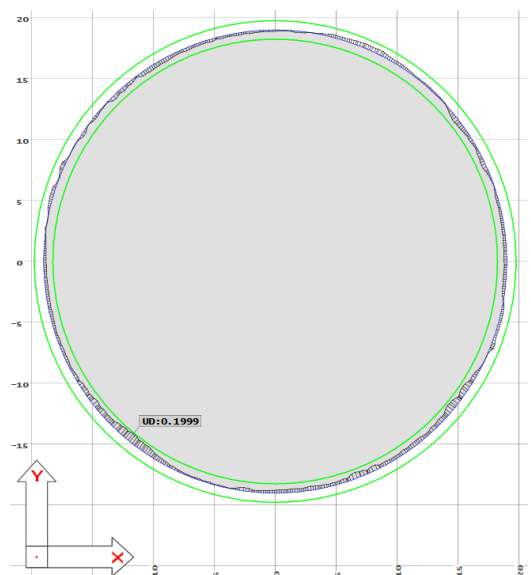


Fig. 11: Medição do diâmetro (contorno) externo da peça 2.

4.3 Teste 3: Medição do diâmetro interno

Na medição e comparativo com o contorno interno, obteve-se a maior diferença entre as curvas de 209,1 μm , como pode ser visto na Fig. 12 a seguir.

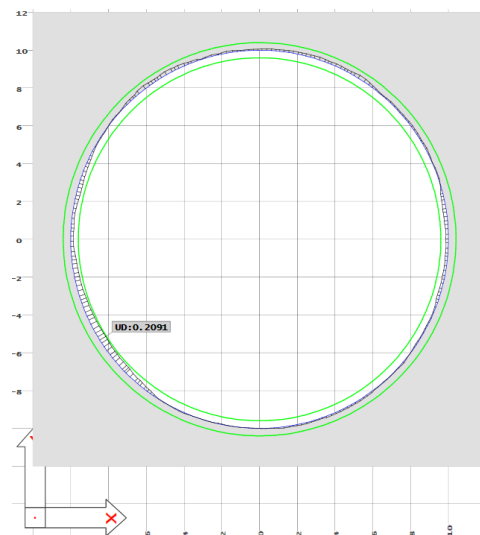


Fig. 12: Medição do diâmetro (contorno) interno da peça 2.

4.4 Teste 4: Medição de concentricidade

Para verificar a concentricidade entre os contornos externo e interno usinados, foi utilizado as medições dos centros de cada círculo, e calculou-se a diferença entre eles, a partir do mesmo zero-peça, nas direções “X” e “Y”, ver Fig. 13.

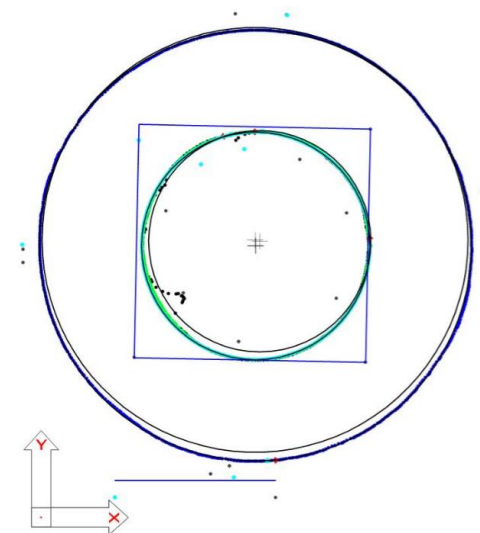


Fig. 13: Medição de concentricidade dos diâmetros (contornos) externo e interno da peça 2.

Os valores encontrados dos desvios foram de 399,9 μm na direção “X” e 117,4 μm na direção “Y”.

5. CONCLUSÕES

O principal objetivo deste trabalho foi apresentar um protótipo projetado de baixo custo e construído em laboratório, através da montagem de peças comerciais e fabricação de componentes, com o uso de recursos destinados a pesquisa, em torno de R\$4.000,00 de acordo com o edital para desenvolvimento do projeto. Resultou em um instrumento didático voltado para atividades práticas

correlacionadas ao ensino técnico para aplicação de conteúdos vistos até então apenas de forma teórica e com uso de simuladores.

Este projeto não apenas se alinha com os objetivos da educação profissional, técnica e tecnológica, que enfatizam a importância da aprendizagem prática e da experimentação, mas também busca acompanhar à crescente procura por competências técnicas avançadas no campo da usinagem e automação.

Ao facilitar a produção de peças com geometrias complexas, o laboratório *Maker* do IFPB - *Campus* Itabaiana passa a dispor de um equipamento importante para auxílio do ensino, desenvolvimento de novas pesquisas e da inovação, contribuindo significativamente para a formação de uma nova geração de profissionais qualificados e criativos, capazes de transformar ideias em realidade, impulsionando assim o desenvolvimento tecnológico e social.

A partir dos resultados obtidos, é notória a realização de novos estudos que visem a diminuição dos erros apresentados e otimização das etapas do projeto, como exemplo a implementação de fusos com castanhas de esferas recirculantes, guias aerostáticas, entre outros quesitos que busquem melhores resultados de precisão, como também inovações no segmento de controle, como o uso da controladora *Mach 3*, apresentado por Pedraça (2018).

Futuras pesquisas englobam as otimizações acima citadas e realizações de testes com diferentes materiais de peças a serem usinadas, como o trabalho realizado por Silva (2019), onde realiza comparação dos resultados de uma CNC com normas estabelecidas relacionadas a Centros de Usinagem CNC, como a ISO 10791-7, que estabelece condições de ensaio para Centros de Usinagem - Parte 7: Exatidão da peça-teste acabada, para que se possa avaliar outros parâmetros da máquina.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) – *Campus* Itabaiana e ao Laboratório de Engenharia de Precisão da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) pelo suporte financeiro e científico para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

Balestrin, F., (2022). CNC ROUTER 3 EIXOS UTILIZANDO PLATAFORMA LIVRE. *Trabalho de Conclusão de Curso*. UNA, Betim.

CIRIACO, D., (2015). O que é arduino? Disponível em: <https://canaltech.com.br/hardware/o-que-e-arduino/>. Acesso em: 05 de set. de 2022.

Carreira, J. H.; Dornelas, R. B. C.; Moreira, L. G; Assunção, A. N., (2020). Desenvolvimento de máquina CNC controlada remotamente para uso didático. *Anais da Mostra Nacional de Robótica*.

Eich, F., (2014). Dimensionamento dos Componentes de Transmissão para uma Router CNC. *Trabalho de*

Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica). Faculdade de Horizontina, Horizontina, Brasil.

Gobi, N., (2018). DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE MÁQUINA CNC DE BAIXO CUSTO PARA PROCESSOS DE CORTE E GRAVAÇÃO EM MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. *Trabalho de Conclusão de Curso*. UNIVATES, Lajeado.

Gomes, J. C., (2020). Construção de fresadora de baixo custo controlada computacionalmente, para aplicações didáticas. *Revista Eixo*, Vol. 9, No. 2, 13-26.

Lyra, P. V. A., (2010). Desenvolvimento de uma Máquina Fresadora CNC Didática. *Trabalho de Graduação*. Universidade de Brasília, Brasília.

Mayer, M. F., (2020). Projeto de Router CNC4 eixos para corte de materiais para prototipagem. *Trabalho de Conclusão de Curso*. Instituto Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

Miranda, M. P., (2016). Fresadora CNC Didática. *Relatório de Trabalho para Conclusão de Mestrado*. Instituto Politécnico de Tomar, Abrantes.

Nunes, A. F. R., (2022). Development, production and performance testing of a three axes CNC router. *Master in Mechanical Engineering*. NOVA University, Lisbon.

Olivo, J., (2014). Programação CNC linguagem ISO - Programação manual com Cinco Edit. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=TfP-zY4X84&t=343s>. Acesso em: 07 de nov. 2022.

Pedraça, A. S., (2018). Modelagem e fabricação de CNC para usinagem 3D. *IETCEECAU*. Vol. 1.

Polastrini, F. H., (2016). Desenvolvimento de uma máquina CNC de baixo custo com software e hardware abertos. *Trabalho de Conclusão de Curso*. Instituto Federal de Minas Gerais, Formiga.

Sanches, J. M., (2009). Desenvolvimento de uma fresadora CNC de baixo custo para fins didáticos. *Dissertação de Mestrado*. Universidade de São Paulo, São Carlos.

SANS MACHINING, (2021). A História da Tecnologia de Usinagem CNC. Disponível em: <https://www.sansmachining.com/the-history-of-cnc-machining-technology/>. Acesso em 01 de set. de 2022.

Scheer, A. W., (1993). Cim. Evoluindo para a fábrica do futuro. Qualitymark, Rio de Janeiro, Brasil.

Silva, P. P. R., (2019). Testes funcionais do desempenho de uma Router com acionamento por CNC. *Trabalho de Conclusão de Curso*. Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

Souza, A. F.; ULBRICH, C. B. L., (2009). Engenharia Integrada por Computador e sistemas CAD/CAM/CNC. Artliber. São Paulo, Brasil.

Xiang, S.; Yang, J.; Zhang, Y., (2014). Using a double ball bar to identify position-independent geometric errors on the rotary axes of five-axis machine tools. *International Journal of Advanced Manufacturing technology*. Vol. 70, No. 20, pp. 2071-2082.

Weiss, A., (2012). Processos de Fabricação Mecânica. LT (Livro Técnico). São Paulo, Brasil.

3D FILA, (2021). Impressão 3D: O Guia Completo atualizado. Disponível em: <https://3dfila.com.br/blog/impressao-3d/>. Acesso em: 01 de set. de 2022.