

Projeto e Construção de uma Router CNC Três Eixos com Foco em Acessibilidade Tecnológica

Design and Construction of a Three-Axis CNC Router with a Focus on Technological Accessibility

Richard Panazzolo Fuchs¹, Camila Pereira Lisboa², Douglas Haupt², Rodrigo de Almeida Silva³, Richard Thomas Lermen³

¹Mestrando, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Escola Politécnica, ATITUS Educação

²Mestre em Engenharia, Escola Politécnica, ATITUS Educação

³Doutor em Engenharia, Escola Politécnica, ATITUS Educação

Resumo Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma Router CNC de baixo custo, com foco na aplicação em pequenas e médias empresas. A proposta visa unir acessibilidade, precisão e eficiência, possibilitando o uso da tecnologia CNC mesmo por usuários com pouca experiência técnica. A construção da máquina foi baseada em uma estrutura metálica, integrando componentes como motores de passo, guias lineares, cremalheiras e spindle de 2,2 kW. O sistema é controlado por uma placa USB e operado com o software Mach3. Após a montagem, foram realizados testes práticos de usinagem em MDF, os quais demonstraram desempenho dimensional e acabamento superficial equivalentes aos de equipamentos similares disponíveis no mercado. Problemas como desalinhamento e vibrações foram solucionados durante o processo de testes. Ensaios de funcionamento e aplicação da CNC foram conduzidos por meio da usinagem de diferentes produtos, como tábuas de churrasco, objetos decorativos, entre outros. A Router CNC desenvolvida foi validada estrutural e funcionalmente, apresentando movimentação precisa, estabilidade do spindle e capacidade de usinagem em madeira e MDF. Após calibração e ajuste de parâmetros, obteve-se precisão dimensional compatível com aplicações em prototipagem e fabricação digital em pequena escala.

Palavras chave: Router CNC. Usinagem CNC. Pequenas empresas.

Abstract: This work presents the development of a low-cost CNC router, focusing on applications in small and medium-sized enterprises. The proposal aims to combine accessibility, precision, and efficiency, enabling the use of CNC technology even by users with little technical experience. The machine's construction was based on a metallic structure, integrating components such as stepper motors, linear guides, racks, and a 2.2 kW spindle. The system is controlled by a USB interface board and operated using Mach3 software. After assembly, practical machining tests were performed on MDF, which demonstrated dimensional performance and surface finish comparable to similar equipment available on the market. Issues such as misalignment and vibrations were solved during the testing process. Operational and application tests of the CNC were conducted by machining various products, such as cutting boards, decorative objects, among others. The developed CNC router was structurally and functionally validated, presenting precise movement, spindle stability, and machining capability for wood and MDF. After calibration and parameter adjustments, dimensional accuracy compatible with prototyping and small-scale digital manufacturing applications was achieved.

Keywords: CNC Router. CNC Machining. Small Businesses.

1. INTRODUÇÃO

O Comando Numérico Computadorizado (CNC) é uma tecnologia amplamente utilizada nas indústrias, cujo objetivo é estabelecer um novo padrão de produção, proporcionando mais segurança, melhor qualidade do produto, maior eficiência e agilidade no processo (Orlando; Reis Filho, 2021). As primeiras máquinas de comando numérico (CN) surgiram na década de 1940, adaptando ferramentas já existentes com motores controlados por sistemas que utilizavam fitas perfuradas para alimentar os movimentos. Esses primeiros servomecanismos evoluíram rapidamente com a introdução de computadores analógicos e, posteriormente, digitais, o que deu origem às modernas máquinas-ferramentas de Comando Numérico Computadorizado CNC, revolucionando os processos de usinagem (Felipe et al., 2020).

A alta demanda no mercado moveleiro exige máquinas confiáveis, controladas por computador e com alta precisão. Essas máquinas são conhecidas como *Router CNC* e são amplamente utilizadas em trabalhos com madeira, plásticos, borracha e metais não ferrosos. (Fiebig, 2018). Por tanto o alto custo e a limitada disponibilidade de fabricantes nacionais tornam a adoção da *router* (CNC) desafiadora para empresas de menor porte. Isso dificulta o acesso a uma tecnologia que poderia melhorar a precisão e eficiência, ampliando a disparidade competitiva no mercado (Marchioro, 2023).

Além disso, o acesso a essas tecnologias em ambientes educacionais ou de pequeno investimento pode ser dificultado pela complexidade de operação e pelos custos envolvidos. Segundo (Lermen et al., 2023) a ausência de recursos adequados para o ensino de tecnologia CNC pode limitar o desenvolvimento de competências práticas e técnicas, restringindo o potencial de inovação e aplicação industrial por parte de estudantes e pequenos empreendedores.

Uma *Router CNC* de três eixos é uma estrutura eletromecânica equipada com três pórticos móveis, responsáveis por realizar movimentos nos três planos geométricos principais. Esses movimentos permitem orientar um motor de alta rotação, chamado *spindle*, que recebe a ferramenta de corte (Romerós, 2022). Em uma máquina do tipo fresadora, o sistema de coordenadas dos eixos é definido em relação à mesa da máquina. Nesse caso, a mesa é considerada fixa, enquanto a referência para os movimentos é estabelecida pela ferramenta, que se desloca nos eixos para realizar o processo de usinagem (Pizarro, 2003).

Para que a máquina opere de forma autônoma, o CNC é o equipamento eletrônico responsável por receber, por meio de uma linguagem específica denominada programa CNC, as instruções sobre a execução da operação. Essas informações são processadas e transformadas em impulsos elétricos, que acionam os motores responsáveis pelos movimentos da máquina. Assim, os movimentos são realizados com todas as características de usinagem definidas, seguindo a sequência programada, sem a necessidade de intervenção do operador (Pereira, 2003). Esses motores quais são comandados por impulsos elétricos são chamados motores de passo, eles são dispositivos eletromecânicos que convertem energia elétrica em movimento mecânico, operando por meio de incrementos angulares controlados. Assim, o rotor ou eixo do motor gira em passos discretos, definidos pela sequência de pulsos elétricos recebidos. Esses pulsos influenciam diretamente a velocidade de rotação do rotor, permitindo um controle preciso do movimento, ideal para aplicações que requerem precisão e repetibilidade (Borba, 2022). Para acionar um motor de passo, é necessário o uso de um driver, responsável por controlar o movimento do motor de forma precisa. Esses drivers estão disponíveis

em diversos tamanhos e com diferentes recursos, sendo que a maioria permite configurar o acionamento em micro passos, o que aumenta a precisão do movimento. Eles operam a partir de sinais de passo (step), que definem o avanço do motor, e de direção (dir), que determina o sentido de rotação (Mayer, 2020).

Desde a concepção do modelo até sua fabricação em uma máquina CNC, há uma série de etapas envolvidas. As principais incluem o desenho técnico assistido por computador (CAD) e a manufatura assistida por computador (CAM). (Machado Romero, 2022). Um desenho criado em um sistema CAD pode ser salvo em diversos formatos de arquivo, sendo os padrões gráficos mais comuns o IGES, STEP e DXF, entre outros. Esses formatos são armazenados como texto, permitindo que sejam interpretados a partir do conhecimento de sua estrutura. Na interpretação do texto do arquivo, é possível identificar entidades geométricas como linhas, arcos, círculos, pontos, entre outros, utilizando expressões características compostas de palavras e códigos numéricos (Fernández Alonso, 2012). Embora existam outras formas de programar uma CNC para executar uma rotina de corte, o método mais moderno é o *Computer Assisted Machining* (CAM), ou manufatura assistida por computador. O software CAM facilita a programação da CNC, convertendo o desenho técnico criado em um software CAD em um código de máquina conhecido como G-code (Romero, 2022). Após a criação do G-code pelo software CAM, o arquivo é inserido na máquina. O código é então processado pela interface do equipamento de forma sequencial. Assim, à medida que as linhas são lidas e interpretadas, a máquina executa as ações correspondentes (Machado Romero, 2022).

Dada a importância das máquinas CNC na modernização do setor produtivo, torna-se evidente o valor de projetos que busquem democratizar essa tecnologia, especialmente para pequenas e médias empresas que enfrentam barreiras de custo e acesso. A implementação de uma *router* CNC com foco em baixo custo visa suprir uma demanda crescente por ferramentas mais acessíveis e versáteis, capazes de executar operações de usinagem com precisão e eficiência, mesmo em contextos de menores recursos. A proposta deste projeto está fundamentada na viabilidade econômica e na facilidade de uso, buscando contribuir para a expansão da tecnologia CNC e reduzir a lacuna tecnológica no setor industrial.

Assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver uma *router* CNC de três eixos que ofereça um desempenho satisfatório em operações de corte e usinagem, com um custo reduzido em relação aos modelos convencionais do mercado. A pesquisa aborda tanto os aspectos mecânicos quanto os eletrônicos envolvidos na construção da máquina, além dos softwares CAD/CAM que possibilitam sua programação. Dessa forma, este projeto se propõe a ser uma solução viável para empresas de menor porte e instituições de ensino técnico, promovendo o uso de tecnologias avançadas de usinagem em cenários onde a relação custo-benefício é crucial.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Projeto da máquina CNC

A metodologia foi organizada em três etapas principais: projeto da *router* CNC, construção da máquina e operação. Na primeira etapa, foram definidos os requisitos de projeto, selecionados os componentes necessários e elaborado o layout da estrutura. A segunda etapa é focada na construção da estrutura, na instalação dos componentes eletrônicos e na realização dos testes iniciais. Por fim, a

terceira etapa trata-se da operação da CNC, englobando os procedimentos de programação e a execução dos cortes.

2.1.1 Recursos e Componentes Utilizados

Para o desenvolvimento desta Router CNC, os componentes e materiais empregados foram, em sua maioria, recursos previamente adquiridos e disponíveis nos laboratórios da ATITUS Educação, o que possibilitou otimizar o custo e o tempo de construção do protótipo. A seguir, destacam-se os principais elementos utilizados e a justificativa para sua escolha:

- **Área de trabalho:** A área útil da máquina foi definida em $2,0 \times 1,6$ m para os eixos X e Y, alinhando-se com a estrutura metálica já instalada no laboratório, o que facilitou a montagem e a fixação da Router.
- **Motores de passo, guias lineares e cremalheiras:** Estes componentes foram selecionados por estarem disponíveis no laboratório e apresentarem características técnicas compatíveis com os requisitos de precisão e suavidade nos movimentos exigidos para a usinagem.
- **Spindle de 2,2 kW:** Escolhido por ser o equipamento já existente que atende à potência necessária para a usinagem de MDF e madeira, proporcionando boa qualidade de acabamento e desempenho adequado para as aplicações previstas.
- **Sistema de controle:** Utilizou-se uma placa USB compatível com o software Mach3, ambos amplamente empregados nas máquinas do laboratório, garantindo facilidade de integração e operação pelo usuário.

Essa estratégia de aproveitamento dos recursos disponíveis permitiu que o projeto fosse desenvolvido de forma econômica e eficiente, ao mesmo tempo em que atende aos requisitos funcionais essenciais para a aplicação em pequenas e médias empresas.

2.1.2 Seleção dos Componentes

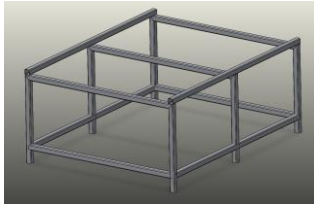
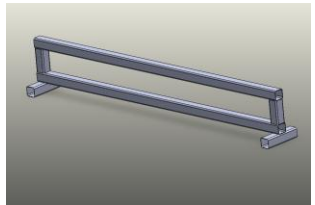
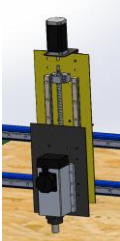
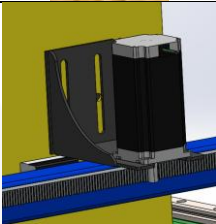
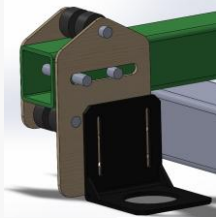
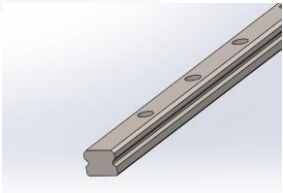
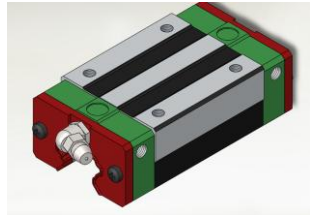
A seleção dos componentes foi realizada considerando principalmente a disponibilidade dos itens no laboratório, bem como sua compatibilidade técnica com os requisitos do projeto. Outros critérios avaliados incluíram custo-benefício, facilidade de integração e adequação para a usinagem dos materiais previstos (como MDF e madeira).

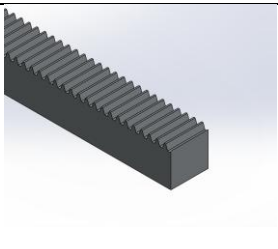
Os componentes mecânicos foram escolhidos por apresentarem características que garantem precisão, rigidez e durabilidade, fundamentais para o funcionamento adequado da Router CNC. Já os componentes elétricos foram selecionados com foco na confiabilidade do controle, na facilidade de operação e na compatibilidade com o software utilizado.

No Quadro 1, apresentam-se os principais componentes mecânicos selecionados, detalhando suas especificações técnicas e justificativas para a escolha.

Quadro 1: Componentes Mecânicos

Componente	Especificações	Quantidade	Imagem
------------	----------------	------------	--------

Conjunto soldado (mesa)	Largura: 1600mm Comprimento: 2000mm Altura: 850mm Tubo: 50x50mm	1	
Conjunto soldado (cabeçote)	Largura: 1600mm Altura: 200mm Tubos: 50x50mm E 40x40mm	1	
Suporte do <i>Spindle</i> (eixo Z)	Chapa de Aço 3 mm	1	
Suportes Motor de Passo (eixo Y)	Chapa de Aço 3 mm	1	
Suportes Motor de Passo (eixo X)	Chapa de Aço 3 mm	1	
Guia Linear de 20mm	Comprimento Total: 7200mm	4	
Patins	Modelo: HGH20CA	8	

Cremalheira de 20mm	Comprimento Total:5600mm Módulo: 2	3	
Pinhão	Módulo: 2	4	
Fuso	Comprimento: 400mm	1	

A compreensão dos componentes eletrônicos da máquina Router CNC é essencial para entender seu funcionamento e a integração desses elementos fundamentais. Os componentes foram selecionados com cuidado para assegurar que a máquina opere com confiabilidade e precisão. O Quadro 2 fornece uma visão geral desses componentes eletrônicos, destacando suas principais especificações e funcionalidades. Além dos itens listados no Quadro 2, foram utilizados cabos e fios para realizar as conexões elétricas entre os componentes.

A escolha da placa controladora considerou critérios importantes, tais como: compatibilidade com softwares de controle amplamente utilizados (ex.: Mach3, LinuxCNC, GRBL), suporte a no mínimo três eixos para operação da router CNC 3 eixos, tipo de interface de comunicação (USB, LPT, Ethernet) e compatibilidade com drivers de motores comuns (como TB6600, DM542). Esses fatores garantem uma integração eficiente e operação estável da máquina.

Quadro 2: Componentes Elétricos

Componente	Especificações	Quantidade	Imagem
Fonte de Potência	Fonte chaveada 24V, 20 A.	1	

Placa Controladora	USB RNR ECOMOTION	1	
Driver para Motor	TB 6600	4	
Motor de Passo	Nema 23 – 30 kg	4	
Inversor VFD Para Motor	2,2 KW, 220V	1	
Spindle	2,2 KW	1	
Chave Fim de Curso	5 A 50V	4	
Botão de Emergência	Interruptor Botão de emergência 10A	1	
Disjuntor	20A	1	

2.1.3 Elaboração do layout do projeto

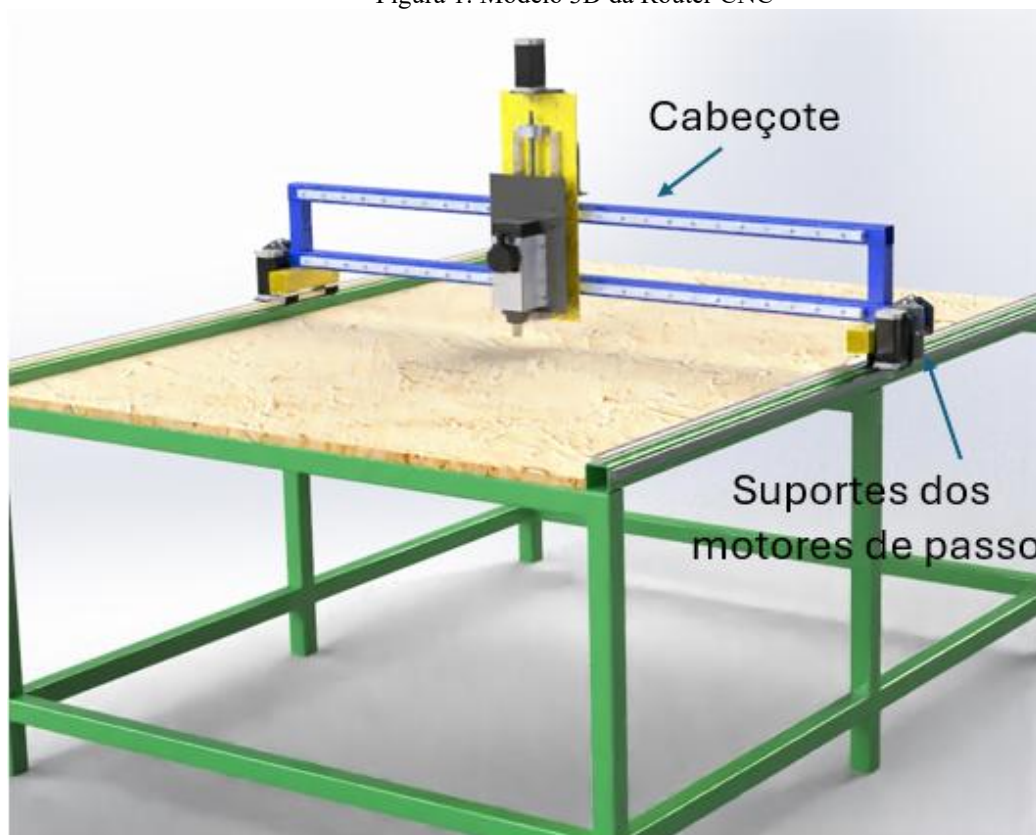
Os desenhos técnicos da máquina *router* CNC foram elaborados no software Solidworks, com inclusão das dimensões e da disposição dos componentes. Ademais, alguns componentes foram importados de bibliotecas disponíveis no site GRABCAD (GRABCAD, 2024).

2.2. CONSTRUÇÃO DA MÁQUINA CNC

2.2.1 Construção da Máquina

Na Figura 1 é possível observar o desenho esquemática da Router CNC. Para a construção desse equipamento foi escolhida uma estrutura composta por tubos metálicos quadrados de 50x50 mm, unidos por solda, o que garante a rigidez necessária. A estrutura possui dimensões de 2000x1600x850 mm (comprimento, largura e altura), permitindo a usinagem de peças de grandes dimensões. O pórtico, também chamado de cabeçote, é responsável por sustentar os suportes, guias lineares e cremalheiras dos eixos Y e Z.

Figura 1: Modelo 3D da Router CNC



Fonte: o autor

Os motores de passo são responsáveis pela movimentação dos respectivos eixos e para garantir a precisão dos deslocamentos, é fundamental que estejam firmemente fixados à estrutura. Para isso, foram projetados suportes em chapa metálica de 3 mm, fabricados por meio dos processos de corte, dobra e soldagem. A transmissão do movimento ao longo dos eixos foi realizada por meio de um sistema de cremalheira e pinhão.

Para garantir os deslizamentos dos eixos pela estrutura foram usados guias lineares de 20 mm com patins, eles são parafusados na estrutura e precisam estar alinhados para que não ocorra o desalinhamento dos eixos causando falta de precisão. Esse sistema proporciona movimentos estáveis, repetitivos e com baixo atrito evitando travamentos.

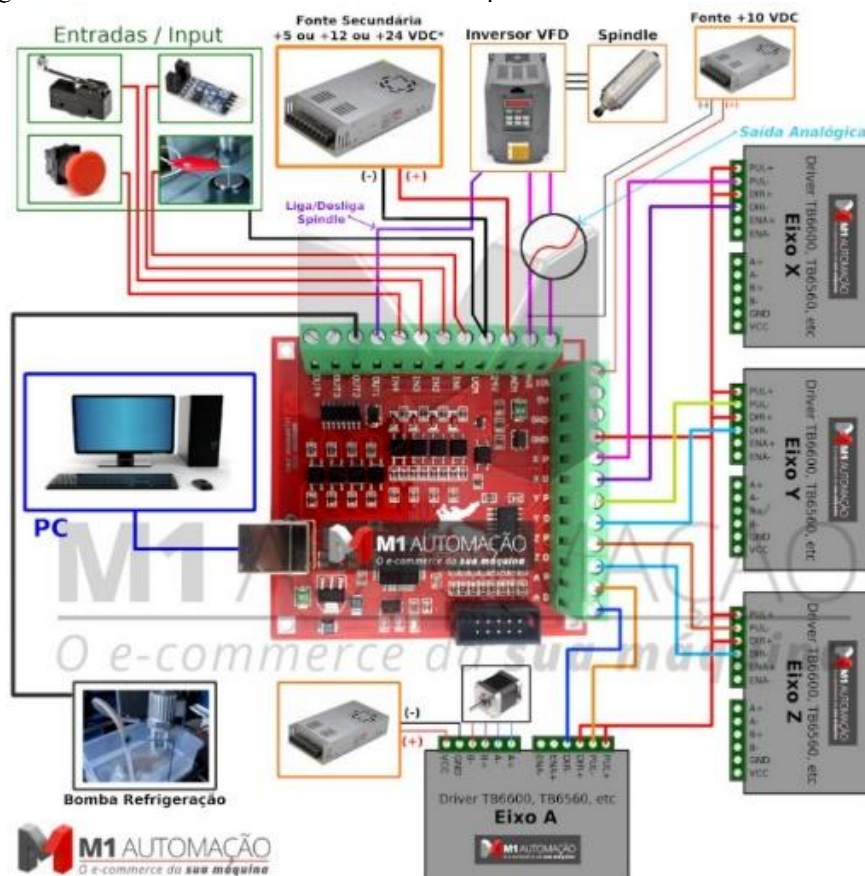
O eixo Z da CNC envolveu a construção da estrutura mecânica responsável pelo movimento vertical do spindle. A estrutura do eixo Z foi composta de uma coluna vertical e uma plataforma horizontal. Um motor de passo foi instalado na parte superior da coluna do eixo Z, sendo responsável pelo

movimento vertical do spindle. A fixação do motor foi realizada por meio de um acoplador conectado a um fuso de esferas.

2.2.2 Instalação de Componentes Eletrônicos

A instalação dos componentes eletrônicos da Router CNC é uma etapa fundamental para garantir o funcionamento adequado da máquina. Na Figura 2 pode ser observado um diagrama elétrico a partir da placa controladora.

Figura 2: Interface Placa Controladora CNC via porta USB RnR R08 ECO MOTION 2.0



(M1 Automação, 2024)

O controlador de movimento foi instalado em uma caixa apropriada, que serve para protegê-lo e facilitar a dissipação de calor. Esse componente é a unidade de controle da CNC e é responsável por interpretar os comandos do software e enviá-los aos motores. Ele foi conectado aos drivers de motor, assegurando que as instruções cheguem de forma precisa e eficiente para controlar os movimentos da máquina.

Os drivers dos motores, que recebem sinais do controlador de movimento e os convertem em impulsos elétricos para movimentar os motores, foram instalados seguindo as especificações do fabricante. Eles precisaram ser corretamente conectados ao controlador e aos motores, pois essa configuração garante a precisão dos movimentos da CNC e permite o controle da velocidade e torque dos motores.

A fonte de alimentação foi instalada para fornecer a energia necessária aos componentes eletrônicos da CNC, como o controlador de movimento e os drivers de motor. Essa instalação atendeu aos requisitos de tensão e corrente, para assegurar que todos os componentes operem de forma estável e segura.

Para garantir a segurança da operação da CNC, dispositivos de proteção, como disjuntores e um botão de emergência, foram instalados. Esses dispositivos protegem a máquina e os operadores, interrompendo a operação em caso de falhas, sobrecargas ou curtos-circuitos. O botão de emergência permite a interrupção imediata da máquina em caso de perigo, enquanto os disjuntores evitarão danos aos componentes elétricos.

Durante a etapa de instalação dos componentes, foi fundamental realizar a conexão dos cabos de energia, controle e sinal, utilizando conectores específicos ou soldagem, conforme a necessidade de cada componente. Para garantir uma organização eficiente e segura, empregou-se uma esteira portafios, que permite o deslocamento da máquina em todos os eixos sem comprometer os cabos. Esse sistema assegura a proteção contra interferências, desgaste e possíveis danos causados pelos movimentos da estrutura, preservando, assim, a integridade do sistema e a segurança operacional.

Após a instalação dos componentes, testes foram realizados para confirmar que todos os dispositivos estejam funcionando corretamente. Esses testes incluem a verificação dos motores, a comunicação entre o controlador de movimento e os drivers, e a configuração dos parâmetros no software de controle, garantindo que a CNC opere conforme o esperado.

2.3. Operação da máquina CNC

Para a operação da router CNC desenvolvida neste projeto, foram selecionados três softwares com funções distintas e complementares: SolidWorks, Aspire e Mach3. O processo inicia-se com o SolidWorks, utilizado para a modelagem tridimensional das peças. Esse software de CAD permite o desenvolvimento de projetos detalhados com precisão dimensional, facilitando a criação de geometrias complexas e atendendo às demandas de pequenas empresas e aplicações didáticas.

Em seguida, o Aspire é empregado para a programação das operações de usinagem. Como software de CAM, ele possibilita a criação dos percursos de ferramenta e a geração do código G — o conjunto de instruções necessário para o controle dos movimentos da máquina — permitindo configurar parâmetros como profundidade de corte, velocidade de avanço e rotação do spindle, de acordo com o material e a geometria da peça.

Por fim, o Mach3 é utilizado como software de controle, recebendo o código G e executando os comandos na máquina CNC. Ele atua como interface entre o operador e a router, permitindo o monitoramento em tempo real e o ajuste de parâmetros durante a operação. Sua interface acessível e intuitiva está alinhada ao objetivo do projeto de oferecer uma experiência prática e simplificada, adequada a usuários com diferentes níveis de habilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Validação Estrutural e Funcional da Máquina

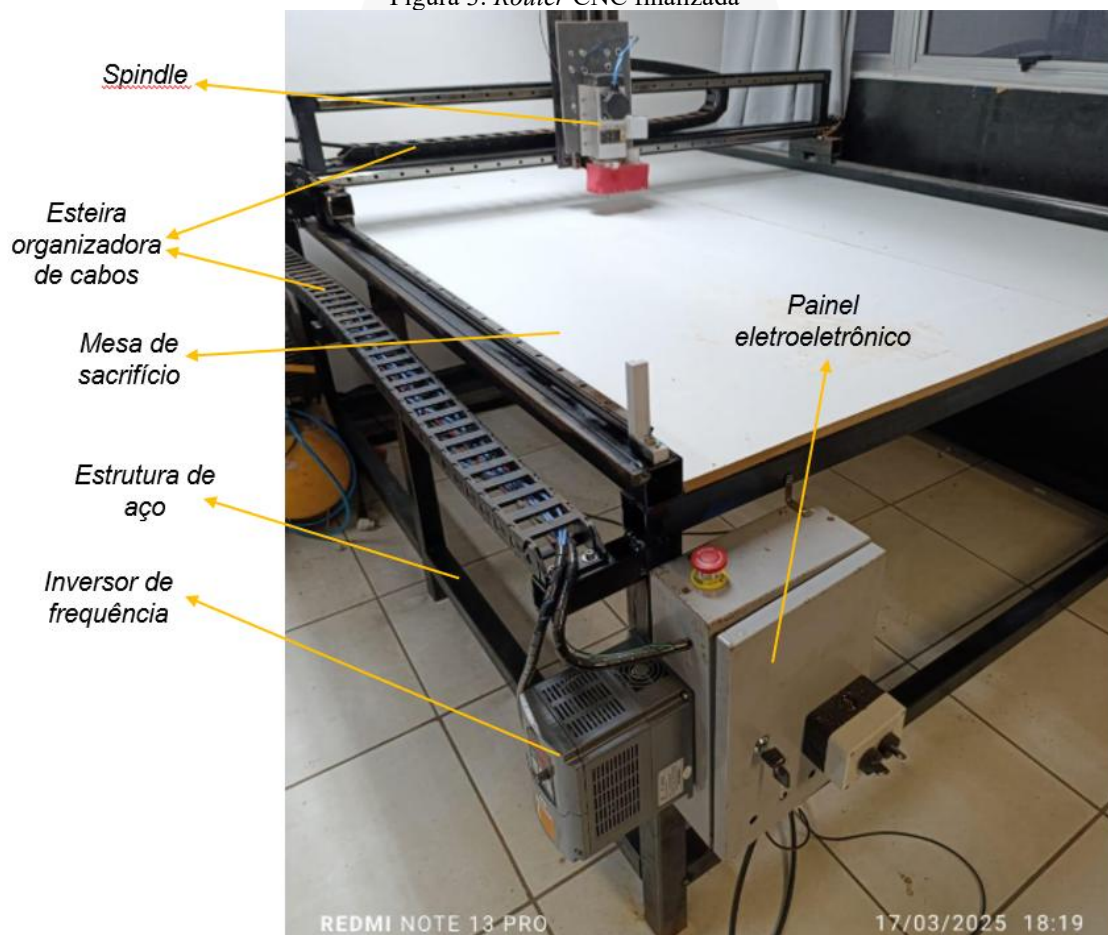
A Figura 3 apresenta a Router CNC desenvolvida. Após a montagem, foram realizados testes preliminares para verificação do funcionamento dos sistemas mecânicos, elétricos e de controle. A movimentação dos eixos

X, Y e Z foi avaliada por meio de deslocamentos repetidos em trajetórias predefinidas, com um total de cinco repetições para cada eixo. A precisão dos movimentos foi medida utilizando um paquímetro com resolução de 0,05 mm e régua para avaliar eventuais desvios. Durante os testes, não foram detectados ruídos ou vibrações significativas que interferissem na operação, e a máquina apresentou movimentos suaves e estáveis. Esses critérios garantiram que a máquina atendesse aos requisitos mínimos de precisão e funcionamento para as etapas seguintes do projeto.

O alinhamento das guias lineares foi fundamental para assegurar o deslocamento dos eixos sem travamentos. Durante a montagem, foram necessárias pequenas correções, principalmente no eixo Y, devido a desalinhamentos resultantes do processo de soldagem da estrutura. Após os ajustes, os testes indicaram movimentações precisas, ou seja, com desvios inferiores a $\pm 0,05$ mm em relação às posições programadas, além de repetibilidade consistente nas trajetórias realizadas.

O spindle de 2,2 kW foi testado em funcionamento livre, atingindo a rotação máxima de 18.000 rpm sem apresentar superaquecimento ou vibração anormal, demonstrando estabilidade para operações contínuas.

Figura 3: Router CNC finalizada



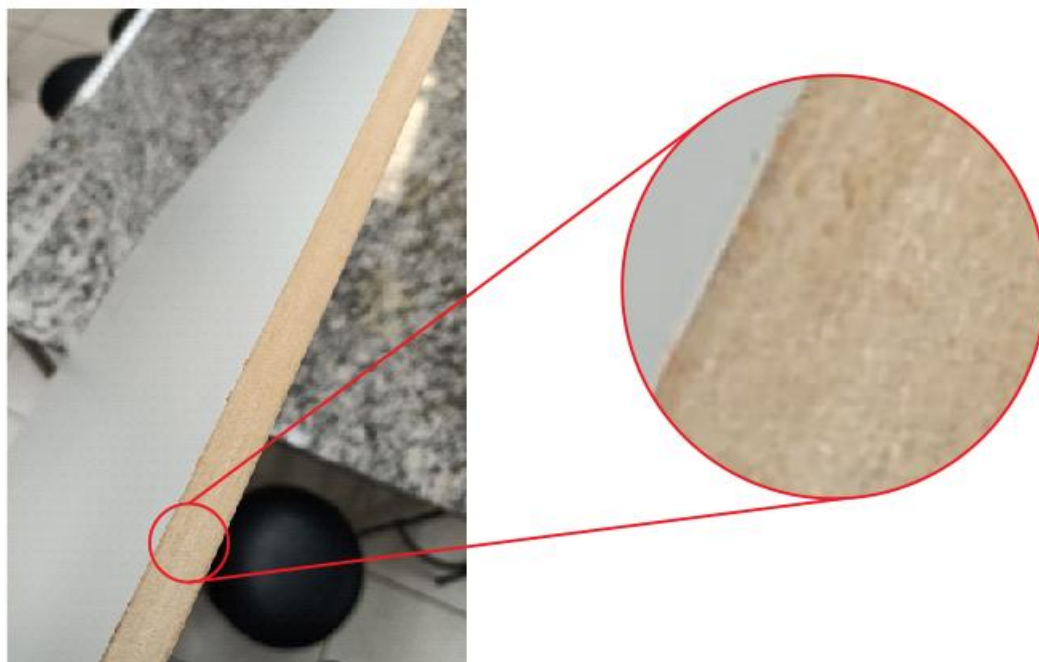
Fonte: o autor

3.2. Testes de Corte

Os testes de usinagem foram realizados em MDF com espessura de 20 mm, utilizando velocidade de avanço de 1200 mm/min, profundidade de corte de 5 mm por passada e rotação do spindle ajustada para 18.000 rpm. A ferramenta empregada foi uma fresa de dois cortes com diâmetro de 6 mm,

adequada para operações de desbaste e acabamento em materiais compostos à base de madeira. As peças usinadas apresentaram acabamento superficial regular, sem sinais de queima e com bordas definidas (Figura 4). A precisão dimensional foi verificada em uma peça de MDF com dimensões projetadas de 694×699 mm, resultando em um desvio de aproximadamente $\pm 0,05$ mm no eixo X, enquanto no eixo Y a medida correspondeu ao valor esperado.

Figura 4: Acabamento Peça de MDF

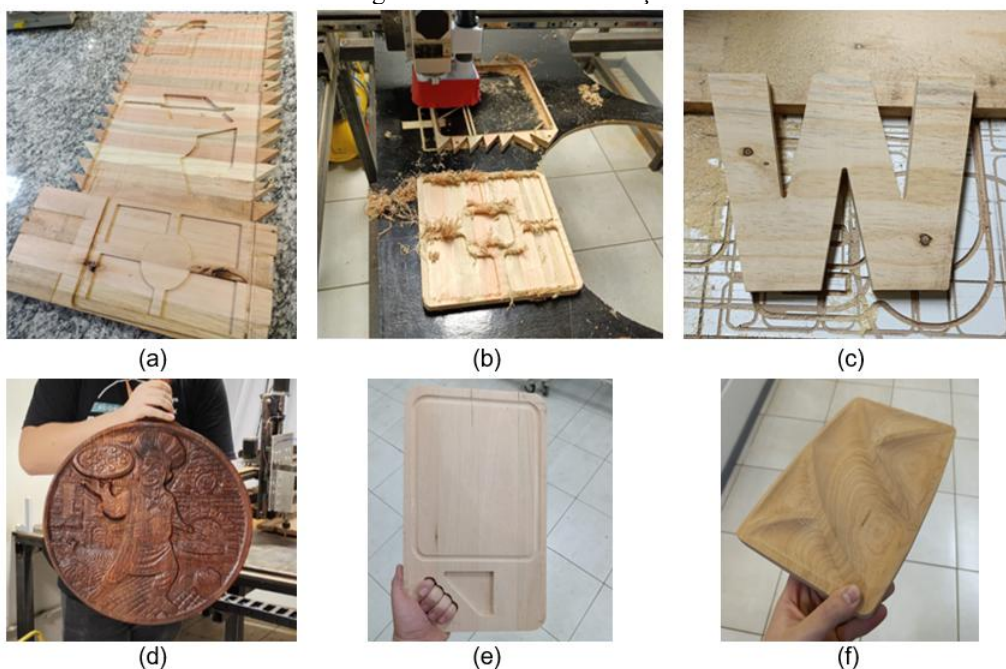


Fonte: o autor

3.4. Testes e fabricação de produtos

A Figura 5 apresenta uma sequência de produtos usinados durante os testes práticos realizados com a router CNC desenvolvida. As imagens ilustram diferentes níveis de complexidade geométrica, técnicas de usinagem e acabamentos superficiais obtidos com o equipamento. Cada item representa uma etapa do processo de validação funcional da máquina, desde cortes simples em 2D até modelagens tridimensionais e entalhes de maior detalhamento. A seguir, cada figura 6 (A a F) será descrita individualmente, evidenciando os parâmetros aplicados, os desafios enfrentados e os resultados obtidos durante a fabricação.

Figura 5: Testes de Fabricação



Fonte: o autor

Na Figura 6(a), é apresentada a primeira tentativa de fabricação de uma petisqueira. Contudo, a máquina CNC estava com os passos dos motores desregulados, o que impediu a obtenção das dimensões definidas no software Aspire. Para corrigir esse problema, foi realizada a calibração dos eixos no software Mach3, garantindo maior precisão dimensional e controle adequado da velocidade durante o processo de usinagem.

Após a realização de todas as calibrações, foi feita uma nova tentativa de usinagem da petisqueira. No entanto, o acabamento final apresentou qualidade insatisfatória, como pode ser observado na Figura 6(B). Esse resultado ocorreu devido à utilização de uma ferramenta inadequada para o tipo de material e operação realizada.

Para a usinagem de uma letra, conforme ilustrado na Figura 6(C), a qualidade do corte mostrou-se satisfatória quando avaliada em relação à fidelidade dimensional comparada ao modelo CAD e ao acabamento superficial obtido na peça. Observa-se que, além da utilização de uma ferramenta de corte adequada, parâmetros como a velocidade de avanço e a rotação do spindle exercem influência direta no acabamento da peça.

Em trabalhos mais complexos, como o ilustrado na Figura 6(D), a máquina apresentou ótimo desempenho, demonstrando agilidade e precisão. O resultado final evidenciou linhas suaves e um acabamento de alta qualidade.

Na fabricação de peças mais simples, como tábuas de churrasco, exemplificadas na Figura 6(E), a máquina CNC apresentou um bom nível de acabamento. O tempo necessário para a realização das operações de desbaste e corte foi de aproximadamente 7 minutos, desconsiderando o intervalo destinado à troca de ferramenta.

Na Figura 6(F), observa-se um modelo de petisqueira com geometria mais orgânica e acabamento aprimorado. O trabalho evidenciou o bom desempenho da CNC em operações de desbaste tridimensional, resultando em superfícies suaves e transições bem definidas. A escolha adequada da ferramenta, aliada aos parâmetros corretos de avanço e rotação, contribuiu significativamente para a qualidade final da peça.

3.5. Análise de custos

O protótipo desenvolvido apresentou um custo total de fabricação de aproximadamente R\$ 12.000,00, mantendo desempenho satisfatório nas operações de corte e usinagem. Para efeito de comparação, máquinas comerciais de entrada disponíveis no mercado brasileiro custam em média a partir de R\$ 30.000,00, podendo ultrapassar R\$ 500.000,00 em modelos de médio e grande porte com maior área de trabalho e potência de spindle (Selinger, 2025). Essa diferença expressiva evidencia a viabilidade econômica da proposta, demonstrando que, por meio de um design otimizado, seleção adequada de materiais de fácil obtenção e técnicas de manufatura de baixo custo, é possível construir uma máquina funcional, robusta e precisa, sem comprometer sua eficiência. Dessa forma, o projeto atende ao objetivo de oferecer uma alternativa acessível às pequenas e médias empresas, contribuindo para a democratização do uso da tecnologia CNC no setor produtivo.

4. CONCLUSÃO

O projeto e construção da router CNC apresentaram resultados compatíveis com os requisitos de usinagem de materiais como madeira e MDF, demonstrando viabilidade técnica, precisão dimensional e estabilidade operacional. A máquina desenvolvida mostrou-se funcional para aplicações em prototipagem e fabricação em pequena escala, com capacidade para atender demandas de pequenos empreendimentos, espaços makers e instituições de ensino.

Durante o processo de desenvolvimento, foram identificados e solucionados desafios relacionados ao alinhamento de componentes mecânicos e à dinâmica de aceleração dos motores, além da necessidade de melhorias nos sistemas de limpeza e proteção. A correção desses problemas contribuiu diretamente para o desempenho final da máquina.

Como propostas de aprimoramento, destacam-se a implementação de um sistema de aspiração de resíduos, o desenvolvimento de carenagem protetiva e ajustes no sistema de movimentação do eixo Y. Tais melhorias podem ampliar a eficiência, a durabilidade e a segurança da máquina em ambientes operacionais variados.

O conjunto de resultados obtidos confirma a viabilidade de soluções de baixo custo para fabricação digital, contribuindo para a difusão da tecnologia CNC e sua integração a contextos produtivos de menor escala.

5. REFERÊNCIAS

CONDE SANTOS BORBA, Breno. **projetoconstrucaorouter**. [S.l.: S.n.]. Disponível em: <<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/30680/1/projetoconstrucaorouter.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2024.

FAGUNDES MAYER, Marconi. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Campus Florianópolis departamento acadêmico de metal mecânica bacharelado em engenharia mecatrônica **Projeto de router cnc 4 eixos para corte de materiais para prototipagem**. Florianópolis: [S.n.]. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/1757/TCC_Marconi.pdf>. Acesso em: 29 out. 2024.

FELIPE, Marcos Ricardo *et al.* **Simulação e otimização no processo de usinagem CNC (comando numérico computadorizado)**. In: Botucatu: 3 nov. 2020. Disponível em: <<http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/IXJTC/IXJTC/paper/viewFile/2366/2764>>. Acesso em: 27 set. 2024

FERNÁNDEZ ALONSO, Alberto. Ministério Da Educação Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul Departamento De Engenharia Mecânica **Sistema CAD/CAM para usinagem com recursos de robótica industrial por**. Porto Alegre: [S.n.]. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/60635>>. Acesso em: 28 out. 2024.

FIEBIG, Rafael. Universidade de Passo Fundo . Passo Fundo: [S.n.]. Disponível em: <<http://repositorio.upf.br/bitstream/riupf/1425/1/PF2018Rafael%20Fiebig.pdf>>. Acesso em: 9 out. 2024.

GLEBER PEREIRA, Athos. **Termo de Aprovação**. Curitiba: [S.n.]. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/27936>>. Acesso em: 21 out. 2024.

LERMEN, Richard Thomas *et al.* Development of a CNC plasma cutting machine: design and construction for didactic purposes. **Revista de Arquitetura IMED**, v. 12, n. 2, p. 100, 30 dez. 2023.

M1 AUTOMAÇÃO. **interface Placa Controladora CNC via porta USB RnR R08 ECO MOTION 2.0**.

MACHADO ROMEROS, Felipe. MEC-SETEC Instituto Federal Minas Gerais - Campus Formiga Bacharelado Em Engenharia Elétrica Desenvolvimento De Máquina Cnc Router Para Usinagem De Modelos De Fundição Em Areia Verde. Formiga: [S.n.]. Disponível em: <https://formiga.ifmg.edu.br/documents/2022/Biblioteca/TCC_Felipe%20Machado%20Romeross.pdf>. Acesso em: 29 set. 2024.

MARCHIORO, Guilherme. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul Escola De Engenharia **Retrofit De Máquina Cnc Para O Ramo Moveleiro**. Porto Alegre: [S.n.]. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/258939>>. Acesso em: 9 out. 2024.

ORLANDO, Alex Júnior; REIS FILHO, Ramilio. EVOLUÇÃO DO COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO. **Revista Interface Tecnológica**, v. 18, n. 1, p. 606–617, 30 jul. 2021.

PIZARRO, Gustavo. **Aplicação de um Sistema Robótico Utilizando Recursos de Sistemas CAD/CAM para o Processo de Fresamento**. Porto Alegre: [S.n.]. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/6409>>. Acesso em: 29 set. 2024.

SELINGER, Eduardo. **Quanto custa uma Router CNC?** Disponível em: <<https://www.raizenmachine.com.br/blog/quanto-custa-uma-router-cnc>>. Acesso em: 3 nov. 2025.