



De 19/10/2016 a 21/10/2016

PROJETO, CONSTRUÇÃO E FUNCIONAMENTO DE UMA MÁQUINA CNC COM PLATAFORMA LIVRE – ARDUINO

SINCAK, Carlos Henrique

Engenheiro Mecânico graduado pela FAHOR - Faculdade Horizontina.
E-mail: cs000992@fahor.com.br

RESUMO

Frente à evolução tecnológica mundial é impossível imaginar um processo de fabricação rápido e com qualidade excepcional sem considerar a existência de uma máquina CNC nesse processo. Diante disso, este trabalho tem por objetivo projetar, construir e testar uma CNC com plataforma livre - Arduino. Para atendimento dos objetivos propostos foi elaborada uma metodologia baseada na divisão das tarefas pertinentes à elaboração do projeto, integrando componentes mecânicos, elétricos e eletrônicos em um só equipamento e demonstrando a possibilidade de automação dos processos de fabricação, com a utilização de componentes acessíveis. A partir da construção da máquina CNC com plataforma livre – Arduino foi possível a realização de testes, onde se obteve resultados satisfatórios. Na construção foram utilizados componentes disponíveis na Instituição de Ensino Faculdade Horizontina. O controle eletrônico do equipamento foi efetuado com a utilização de três pontes H, um microcontrolador e um computador pessoal para a realização da interface homem-máquina. Realizou-se testes nos componentes do equipamento e, após a montagem e programação, foi efetuada a simulação de um processo de fabricação, utilizando-se uma caneta no local da ferramenta. Os resultados obtidos demonstram a eficiência da máquina CNC durante a realização das tarefas programadas. Pode-se concluir que o projeto, a construção e os testes realizados no equipamento obtiveram êxito, pois a programação efetuada resultou em um produto final. A mudança na programação pode ser efetuada facilmente, sendo possível a utilização da máquina CNC pelos estudantes, integrando os conhecimentos teóricos e práticos e enriquecendo os laboratórios disponibilizados pela Instituição.

Palavras chave: CNC; Arduino; Projeto.

DESIGN, CONSTRUCTION AND OPERATION OF A CNC MACHINE WITH FREE PLATFORM – ARDUINO

ABSTRACT

Facing the global technological evolution, it is impossible to imagine a rapid manufacturing process and with exceptional quality without considering the existence of a CNC machine in the process. This study aims to design, build and test a CNC machine with free platform - Arduino. In order to meet the proposed objectives a methodology based on the division of

tasks relevant to project design was developed by integrating mechanical, electrical and electronic components in a single equipment and demonstrating the possibility of automation of manufacturing processes with the use of available components. From the construction of the CNC machine with free platform – Arduino, it was possible to carry out tests in which satisfactory results were obtained. In the construction, components available in the Faculdade Horizontina Educational Institution were used. The equipment electronic control was made with the use of three H bridges, a microcontroller and a personal computer to perform the human-machine interface. Tests were conducted on the equipment components and, after assembly and programming a simulation of a manufacturing process was performed using a pen in place of the tool. The results demonstrate the CNC machine efficiency in carrying out programmed tasks. It could be concluded that the design, construction and tests performed in the equipment were successful because the programming resulted in a final product. The change in programming can be performed easily being possible the use of the CNC machine by students, integrating theoretical and practical knowledge and enriching the laboratories provided by the Institution.

Keywords: CNC machine; Arduino ; Project.

INTRODUÇÃO

Frente a evolução tecnológica é imprescindível que as indústrias busquem tecnologias que proporcionem o aumento de produtividade levando em consideração o bem-estar de seus colaboradores. Atividades que proporcionam riscos físicos são um exemplo típico da importância da intervenção de tecnologias capazes de efetuarem as operações automaticamente.

Diante da busca por diferenciais competitivos surgiram as máquinas automatizadas, denominadas máquinas com controle numérico computadorizado, ou máquinas CNC. Elas são capazes de desempenhar operações, anteriormente desenvolvidas com a intervenção direta do operador, obtendo-se maior precisão e menor suscetibilidade à ocorrência de problemas de não conformidade dos componentes fabricados (BIGATON, 2000).

As máquinas CNC são largamente utilizadas, principalmente, na indústria metalmeccânica, em processos que demandam grande velocidade de produção e complexidade de fabricação, combinados com tolerâncias dimensionais rígidas.

Este trabalho descreve os passos seguidos para a concretização do projeto, construção e testes de uma máquina CNC com plataforma livre - Arduino. Esse dispositivo possui aplicações práticas voltadas à realização de diversas operações por parte dos estudantes de Engenharia.

2 DESENVOLVIMENTO

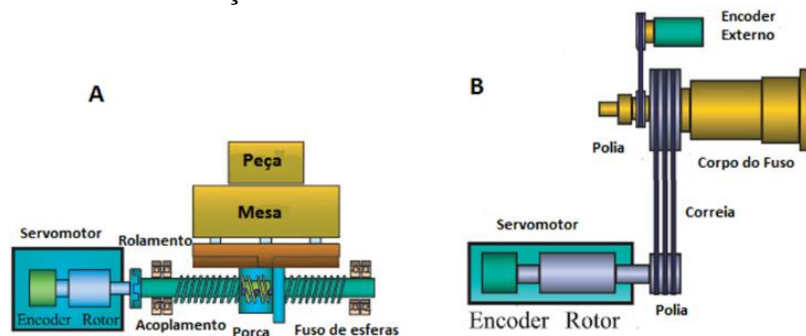
2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

O avanço tecnológico tem proporcionado a produção de equipamentos com precisão cada vez mais elevada, possibilitando às máquinas CNC a fabricação de perfis geométricos com tolerância na ordem de milésimos de milímetros.

2.1.1 Componentes da máquina CNC

Os sistemas que transformam os comandos numéricos enviados pelo controlador detêm grande parte da responsabilidade pela correta execução do trabalho. Dentre esses componentes se encontram os mecanismos de movimentação que consistem de motores, responsáveis pela transformação dos sinais elétricos em movimentos de rotação, e os fusos de rosca, responsáveis pela transformação dos movimentos circulares em movimentos lineares (Figura 1 A) (SUH et al, 2008).

Figura 1: Sistema de movimentação CNC.



Fonte: Suh et al (2008).

De acordo com Suh et al. (2008), algumas máquinas CNC utilizam engrenagens ou correias para amplificar a rotação do fuso (Figura 1 B), porém tem se utilizado o acoplamento direto ao eixo do servomotor, possibilitando velocidades de rotação de até 10000 rpm.

2.1.1.1 Motores de acionamento

Para Suh et al (2008), o termo motor de acionamento é utilizado para indicar tanto os servomotores, que movimentam as partes da máquina nos eixos de trabalho (x,y,z), quanto os motores responsáveis por executar a rotação da ferramenta ou peça em seu próprio eixo.

Segundo Suh et al (2008), os motores de acionamento precisam atender algumas características: capacidade de se adequar à carga de trabalho; capacidade de responder

rapidamente a uma instrução; ter boa capacidade de aceleração e desaceleração; ter ampla gama de velocidades; capacidade de controlar a velocidade quando assim solicitado; capacidade de operação por longos períodos de tempo; capacidade de acelerar, desacelerar e parar frequentemente e rapidamente; ter elevado torque em todas as faixas de rotação; ter atrito reduzido em suas partes internas e ter precisão de rotação; capacidade de gerar binário (torque) suficiente para parar repentinamente; ser confiável e possuir uma longa vida útil e ter baixo custo de manutenção.

De acordo com Albert (2004), atualmente os fabricantes de máquinas CNC utilizam três diferentes tipos de motores de acionamento para movimentação dos eixos: motores de passos; servomotores DC (corrente contínua); servomotores AC (corrente alternada).

2.1.1.2 Fusos

Segundo Santos (2001), o fuso de esferas foi desenvolvido para aumentar a precisão do sistema porca parafuso, minimizando folgas e obtendo elevado desempenho. O fuso de esferas substitui o fuso trapezoidal, muito utilizado na movimentação dos componentes em máquinas-ferramenta.

De acordo com Santos (2001), os fusos trapezoidais trabalham acoplados a uma porca trapezoidal e possibilitam o alcance de uma precisão de 0,01 mm, sendo esta uma precisão significativamente apurada, porém os fusos de esferas recirculantes são capazes de realizar a mesma tarefa que os fusos trapezoidais, tendo inúmeras vantagens, por exemplo a precisão de 0,001 mm.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O projeto, a construção e os testes da máquina CNC com plataforma livre – Arduino seguiram uma metodologia dividida em três fases distintas. Primeiramente, a metodologia baseou-se na fase de projeto mecânico, onde são descritos os requisitos e caminhos utilizados para a obtenção do projeto final da máquina CNC, posteriormente, são descritos os componentes elétricos e os sistemas eletrônicos utilizados e, por fim, são descritos os testes realizados com a máquina CNC.

2.2.1 Projeto mecânico

Inicialmente, através do software solidworks, a modelagem 3D de dois fusos de esferas recirculares e um fuso trapezoidal foram realizadas com comprimento de 300 mm, 400 mm e

1000 mm respectivamente, pois havia a disponibilidade dos mesmos na instituição. Também, foram modelados os mancais.

As posições dos fusos foram definidas de acordo com curso de abrangência de cada coordenada, isto é, o eixo z com curso de 300 mm, o eixo y com curso de 400 mm e o eixo x com curso de 1000 mm.

Outro fator primordial para o início do projeto da estrutura da máquina CNC foi a definição dos tipos de guias lineares ou barramentos que seriam utilizados. Devido à disponibilidade de materiais e facilidade de fabricação, optou-se pela utilização de barras de aço AISI 1020 com diâmetro de 5/8" (15,875 mm) na construção dos barramentos que compreendem a movimentação dos eixos Y e Z. O fuso trapezoidal que movimenta o eixo X possui barramentos integrados aos mancais, porém seu comprimento não possibilitou uma rigidez apropriada, sendo necessária a incorporação de duas guias lineares constituídas por cantoneiras posicionadas nas extremidades da estrutura principal.

A modelagem 3D da estrutura da máquina CNC foi desenvolvida buscando as seguintes características: rigidez, robustez, resistência aos esforços, leveza e funcionalidade.

Chapas de aço AISI 1020 com 4,25 mm de espessura foram utilizadas na construção dos componentes estruturais da máquina, material que garantiu a rigidez e resistência necessárias sem ultrapassar o valor predeterminado de 15 kg para a massa total das partes móveis do equipamento, minimizando assim os valores de perda de potência e esforços excessivos nos mancais de fixação, facilitando a movimentação dos fusos pelos motores de acionamento.

Tendo como base o fuso de esferas recirculantes com curso de 300 mm foi elaborado o projeto da estrutura que sustenta os barramentos que compreendem a movimentação da máquina através do eixo Z.

Foi levada em consideração a possibilidade futura de fixação de um motor de acionamento para ferramenta de corte, no caso da execução de um processo de usinagem, ou uma tocha de corte a plasma, no caso da execução de um processo de corte. Para tanto, foram posicionados na estrutura do eixo Z quatro furos oblongos que compreendem os pontos de fixação da ferramenta.

Tendo como base o fuso de esferas recirculantes com curso de 400 mm, foi desenvolvida a estrutura de fixação dos barramentos que compreendem a movimentação da máquina através do eixo Y.

Durante o projeto da estrutura do eixo Y foi levada em consideração a necessidade de alinhamento e precisão dimensional, pois esse componente foi projetado em duas partes distintas que seriam unidas pelo processo de soldagem MAG.

Para junção do eixo Z ao eixo Y, foi desenvolvido uma flange que além de unir os eixos proporciona a fixação das guias dos barramentos que foram projetados para serem confeccionadas com chapa de nylon com 25 mm de espessura, material que possui baixo coeficiente de atrito, mantendo um ajuste sem folgas que seriam prejudiciais para o correto funcionamento do equipamento. Por fim, todos os componentes do eixo Y e Z foram projetados para serem fixados através do padrão de furações existente sobre a mesa do fuso trapezoidal, responsável pelo deslocamento na direção X, finalizando assim a movimentação da máquina nos três eixos das coordenadas cartesianas.

Todos os componentes foram incluídos na montagem final (Figura 2) e foram adicionados os acessórios de fixação como porcas, parafusos allen e pontos unidos pelo processo de soldagem, a fim de verificar possíveis interferências entre os mesmos através de uma breve análise dos movimentos que a máquina é capaz de desempenhar.

Figura 2: Montagem final.



Fonte: autor

Todos os componentes estruturais e de fixação dos eixos X, Y e Z foram confeccionados através do processo de corte a laser. As dobras foram efetuadas em uma dobradeira CNC, garantindo a precisão dimensional dos componentes dobrados. Alguns componentes precisaram passar pelo processo de soldagem MAG, pois foram constituídos de partes que necessitavam de união durante a montagem. Para tanto, foram efetuados rasgos durante o processo de corte a laser que serviram como referência para o posicionamento dos demais componentes soldados.

Os barramentos que compreendem a movimentação dos eixos nas direções Y e Z e as guias do eixo X sofreram um processo de lixamento, onde foi efetuada a constante mudança de granulação das lixas, partindo-se de uma granulação mais grossa e chegando a uma granulação mais fina sucessivamente, conferindo aos barramentos um acabamento extremamente polido, diminuindo o atrito entre os componentes e garantindo melhores resultados.

2.2.2 Projeto elétrico

Para a movimentação dos fusos nos três eixos foram utilizados três servomotores DC com tacômetro integrado da marca EG&G Torque Systems modelo MT2130-012BE que trabalham com tensão máxima de 24 V em corrente contínua e possuem velocidade de rotação máxima de 300 rpm.

Para a alimentação dos servomotores foi utilizada uma fonte da marca Elco modelo LMC135-1 com tensão de entrada de 115/220 V AC e tensão de saída 12 V DC com intensidade de corrente máxima de 12 A, responsável pela alimentação dos motores nos eixos X e Y, e uma fonte da marca Sunpower modelo SF-100A com tensão de entrada de 110/220 V AC e tensão de saída de 12 V DC com intensidade de corrente máxima de 10 A, responsável pela alimentação do motor no eixo Z.

O planejamento elétrico foi dividido em duas partes, sendo a primeira relacionada à alimentação dos três servomotores e a segunda relacionada à ligação dos sensores de fim de curso. Os condutores utilizados na ligação elétrica foram cabos de rede que possuem em seu interior oito fios de cores distintas, possibilitando assim a diminuição do volume de cabos.

Como sensores de fim de curso foram utilizados seis botões de pressão fixados nas extremidades de cada fuso, de forma que os mesmos sejam pressionados pela porca do fuso no momento em que o mesmo chega ao seu curso máximo e evitando que ocorram acidentes como, por exemplo, o travamento dos servomotores.

2.2.3 Hardware

Os componentes eletrônicos utilizados no controle da máquina CNC foram três pontes H, um Arduino e um computador responsável pela realização da interface homem-máquina.

A construção das pontes H, que controlam os servomotores da máquina CNC, foi baseada em um circuito eletrônico para motores que trabalham com tensão de 12 V DC e consomem grandes valores de corrente. Para tanto, os componentes utilizados conferem às pontes H confeccionadas a capacidade de controlar um motor por placa e suportar uma corrente contínua com intensidade de até 10 A.

Para controle e execução dos programas foi utilizada uma placa microcontroladora da marca Robocore BlackBoard v1.0, idêntica à placa Arduino UNO R3, ligada a um computador pessoal com os softwares necessários devidamente instalados.

O software utilizado durante a execução de todos os testes foi o software do Arduino que utiliza uma linguagem de programação semelhante a C/C++, possibilitando a criação tanto de programas simples quanto programas de maior complexidade, como no caso da aplicação ao sistema da máquina CNC.

2.2.4 Testes experimentais

Primeiramente os motores foram ligados às pontes H, as quais foram conectadas a um Arduino, onde foi realizada a inversão de rotação e o aumento e diminuição de velocidade, buscando verificar o funcionamento dos motores. Com o auxílio de um multímetro foi verificado o funcionamento dos tacômetros dos motores através da medição da tensão gerada pelos mesmos.

Posteriormente, para o teste de movimentação, foi elaborada uma programação simples em que a máquina CNC movimentou seus três eixos ao máximo até tocar nos botões de fim de curso. Neste momento, a rotação era invertida automaticamente, ocorrendo a inversão dos movimentos. A máquina permaneceu em movimento contínuo por um período de dez minutos e foram observados o aquecimento dos componentes elétricos, eletrônicos e mecânicos. Após os testes de movimentação, foi adicionada à estrutura do eixo Z uma massa de 1 kg e foram observados os movimentos nos três eixos novamente, a fim de verificar o comportamento dos componentes quando submetidos a um esforço contínuo.

Por fim, a configuração da máquina foi efetuada tendo como base um ponto, chamado de ponto zero, onde os eixos da máquina encontravam-se totalmente retraídos. Uma caneta foi fixada no local da ferramenta e uma folha de papel foi posicionada no centro da mesa de trabalho, executando-se o programa através da utilização de comandos previamente configurados.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados ao longo da execução do presente trabalho foram divididos de acordo com a metodologia seguida. Uma análise dos problemas encontrados durante a execução do trabalho também foi realizada. Em seguida, foi executada uma análise visual, onde foram demonstrados em termos práticos os componentes mecânicos anteriormente descritos, e os métodos de fabricação utilizados, seguidos pela apresentação dos resultados obtidos através da análise de elementos finitos. Posteriormente é demonstrado o esquema elétrico de ligação dos componentes. Por fim, são descritos os resultados obtidos através da execução dos testes experimentais de movimentação e simulação de corte.

2.3.1 Apresentação e Análise de Problemas

Desde a fase de projeto até a fase de construção e testes foram encontrados diversos problemas relativos ao mau funcionamento de componentes mecânicos, elétricos e eletrônicos. Esses problemas passaram por uma análise e posterior aplicação de ações corretivas.

Inicialmente, foi observada grande dificuldade na realização da soldagem dos componentes da estrutura dos eixos Y e Z. Foram necessários diversos ajustes na regulagem dos barramentos, demonstrando que o fator de alinhamento dos mesmos é vital para que não ocorram travamentos durante a execução dos movimentos. Para correção do alinhamento dos barramentos, desde a fase inicial de projeto, foram executadas furações alongadas nos pontos de fixação dos mesmos, possibilitando a correção do alinhamento caso ocorresse o não paralelismo.

Nos primeiros testes, as pontes H possuíam uma tensão máxima de trabalho de 12 V e capacidade de resistir a uma intensidade de corrente máxima de até 2 A, podendo controlar até dois motores simultaneamente, pois os motores estavam desconectados dos eixos do equipamento, porém, quando os eixos foram conectados aos servomotores, o atrito proveniente da movimentação das guias sobre os barramentos e da movimentação dos fusos elevou significativamente a intensidade de corrente demandada pelos servomotores, resultando na súbita queima das pontes H. A fim de sanar esse problema foi verificada, com o auxílio de um multímetro, a intensidade de corrente demandada por cada servomotor. De posse do valor de intensidade de corrente máxima, cerca de 2,5 A, foram confeccionadas três pontes H com a capacidade de suportar um valor máximo de corrente de até 10 A.

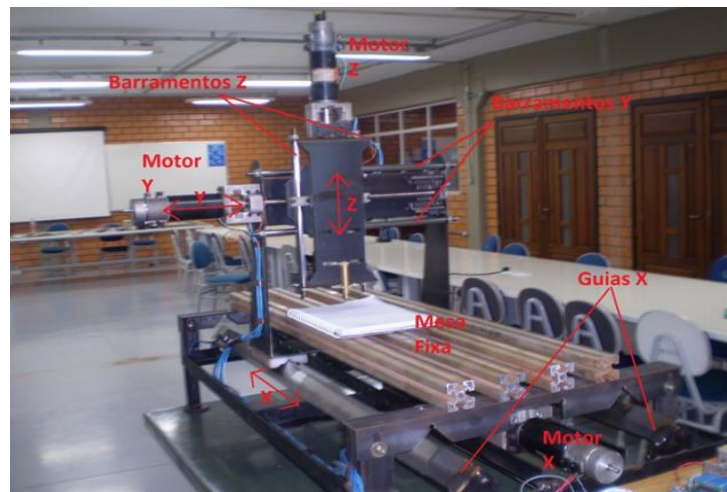
O mau funcionamento dos botões de fim de curso acarretou no travamento dos

motores, sendo necessária a rápida intervenção do operador para o desligamento da alimentação, pois quando o motor trava pelo fato do fuso ter chegado ao seu curso máximo, o valor de corrente demandada pelo mesmo aumenta significativamente, podendo acarretar na queima das pontes H ou até mesmo dos servomotores. Para sanar o problema em questão foi efetuada a substituição dos botões de fim de curso danificados por botões novos.

2.3.2 Identificação dos Componentes

Através da Figura 3 é possível um melhor entendimento dos componentes responsáveis pela movimentação do equipamento nos eixos das coordenadas cartesianas. São identificados os motores X, Y e Z. Também é mostrada a mesa de trabalho, onde a peça a ser processada deve ser fixada.

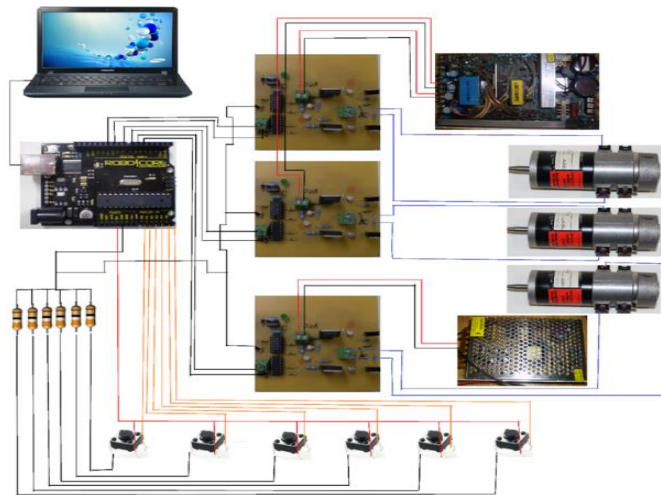
Figura 3: Identificação dos componentes.



2.3.3 Esquema elétrico de ligação

A fim de identificar a ligação dos componentes elétricos e eletrônicos foi desenvolvido um esquema elétrico (Figura 4) com todas as ligações utilizadas no Microcontrolador, pontes H, motores de acionamento e botões de fim de curso.

Figura 4: Esquema elétrico de ligação.



Fonte: Autor

2.3.4 Análise dos testes experimentais

Os testes realizados seguiram a sequência determinada na metodologia, iniciando pelo teste de funcionamento que ocorreu antes da realização da montagem dos componentes na máquina CNC, seguido pelo teste de movimentação, onde foram testados os componentes atuando na movimentação dos eixos da máquina e simulação de um processo de corte, onde foi realizada a programação da máquina para a realização de um desenho, simulando a geometria de uma peça cortada.

Todos os componentes utilizados mostraram-se em perfeito estado de funcionamento, pois com os motores conectados ao microcontrolador, foi possível a realização da variação de velocidades e inversão de rotação. Os tacômetros para medição de velocidade apresentaram um perfeito funcionamento, aumentando a diferença de potencial entre os terminais ao passo em que se aumentava a velocidade de rotação dos mesmos.

Por fim, os botões de fim de curso foram adicionados ao programa executado pelo microcontrolador, para que fossem reconhecidos pelo sistema. Cada botão foi pressionado e seu funcionamento foi evidenciado. Posteriormente, foi executada a programação e os eixos X, Y e Z foram movimentados constantemente pelo período predeterminado.

Inicialmente, buscava-se a quantificação do aquecimento proveniente do atrito entre as partes mecânicas e da circulação de corrente elétrica pelas fontes e placas componentes do circuito, porém os valores de alteração nas temperaturas do momento inicial ao momento final do processo foram insignificantes, pois as temperaturas preocupantes para os circuitos elétricos encontram-se acima dos 70° C.

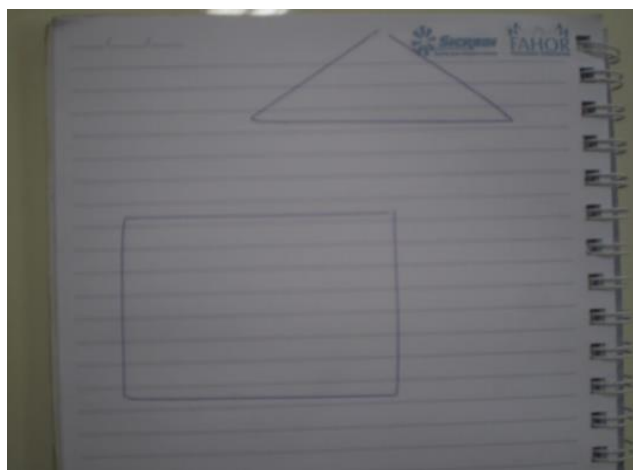
Foi possível observar a suavidade dos movimentos executados pela máquina CNC,

sendo que o baixo ruído proveniente dos motores e a utilização de acoplamentos flexíveis contribuíram significativamente para isso.

No momento em que a massa de 1 kg foi acrescentada na estrutura do eixo Z, observou-se uma pequena redução na velocidade de retorno do eixo Z. Os eixos X e Y não sofreram alterações visíveis em suas velocidades de avanço.

Com a execução da simulação de um processo de corte foi possível a observação do comportamento e da movimentação da máquina CNC em um processo de fabricação. Foi elaborada a programação tendo como base a produção de um desenho composto por linhas dispostas na forma de um triângulo e um desenho com linhas dispostas na forma de um retângulo. O resultado é apresentado pela Figura 5, que mostra a disposição das linhas executadas pela máquina CNC.

Figura 5: Desenho efetuado na máquina CNC.



Fonte: Autor

O equipamento demonstrou rápida inversão no sentido de rotação, traçando linhas extremamente retas que se encontram ao final da operação. A distância entre os pontos de início e fim dos desenhos ocorreu devido à falta de rigidez na fixação da caneta, sendo que sua ponta sofria deslocamentos durante a execução do processo.

CONCLUSÃO

Através da construção da máquina CNC foi possível a interação entre os sistemas mecânico, elétrico e eletrônico, abrangendo uma vasta gama de especialidades relacionadas aos cursos de Engenharia.

Os sistemas mecânico, elétrico e eletrônico apresentaram um correto funcionamento, apesar dos problemas que necessitaram de soluções rápidas. O estudo evidenciou a

possibilidade de automação em processos de fabricação utilizando-se componentes acessíveis.

Partindo-se do projeto em software foi possível a concretização de uma análise detalhada de montagem do conjunto da máquina, servindo de auxílio para a construção física do equipamento.

Os processos de fabricação empregados, bem como a correta realização das etapas de projeto e construção garantiram a obtenção de uma máquina CNC alinhada e sem folgas entre seus componentes móveis, facilitando assim o alcance de resultados satisfatórios, pois seu funcionamento durante a realização dos testes ocorreu de forma que os resultados encontrados atingiram os objetivos propostos.

Ainda se faz necessária a incorporação de sensores de posicionamento ao equipamento, além do acoplamento de um motor de acionamento para a ferramenta de corte, o que possibilitaria a execução de processos de usinagem reais, ou o desenvolvimento de uma tocha para corte a plasma, possibilitando a execução de processos de corte automatizados.

REFERÊNCIAS

ALBERT, Alain. **Understanding CNC Routers**. FPInnovations - Forintek Division, First Edition, 2004.

ARDUINO. **Arduino Diecimila**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDiecimila>>. Acesso em: 25 de outubro de 2015.

McROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. São Paulo: Editora Novatec, 2011.

ROBOCORE. **BlackBoard v1.0**. Disponível em: <https://www.robocore.net/modules.php?name=GR_LojaVirtual&prod=530>. Acesso em: 25 de outubro de 2015.

SANTOS, D. R. **Fuso de esferas recirculantes e guias lineares**. São Paulo: Abril, 2001. (Mecatrônica atual)

SUH, S. et al. **Theory and Design of CNC Systems**. Espanha: Editora Springer, 2008. (Springer Series in Advanced Manufacturing).