

PROJETO, CONSTRUÇÃO E FUNCIONAMENTO DE UMA MÁQUINA CNC COM PLATAFORMA LIVRE - ARDUÍNO

Carlos Henrique Sincak

E-mail: <cs000992@fahor.com.br>.

Faculdade Horizontina (FAHOR)

Vanessa Dilda

E-mail: <dilda@upf.br>.

Universidade de Passo Fundo (UPF)

Richard Thomas Lermen

E-mail: <richard.lermen@gmail.com>.

Faculdade Meridional (IMED)

RESUMO

O desenvolvimento de inovação e tecnologia está sofrendo uma revolução, na qual o controle e a automatização de máquinas livres são realizados. Estas máquinas caracterizam-se por ser de baixo custo, de fácil utilização e simplificam a tarefa de automatizar processos. Para o desenvolvimento destas máquinas livres, geralmente, são utilizadas plataformas de *hardware* livre, tais como o Arduíno. Diante disso, este trabalho tem por objetivo projetar, construir e testar uma CNC com plataforma livre - Arduíno. O projeto e a construção podem ser divididos em três partes: parte mecânica, parte elétrica e a parte de programação. A parte mecânica envolve toda a estrutura da CNC, na qual estão inseridos os componentes de conexões, motores, eixos, entre outros. Uma análise da parte estrutural por elementos finitos foi realizada para corroborar os dimensionamentos da máquina CNC. Na parte elétrica foram desenvolvidas as placas controladoras dos motores (pontes H) assim como os circuitos de ligações dos componentes elétricos. Uma simples programação foi realizada para testar os movimentos da máquina CNC. Os testes realizados com a CNC mostraram-se eficientes, isto é, a CNC realizou movimentos indicados pela programação nas três direções X, Y e Z. Também, foi simulado o movimento formando figuras geométricas como retângulos e triângulos. Por fim, foi desenvolvida uma máquina CNC que pode ser utilizada, com pequenas alterações de projeto, como impressora 3D, usinagem, corte e soldagem automatizada, entre outros processos de fabricação.

Palavras-chave: Máquina CNC, Arduíno, Análise estrutural.

1 INTRODUÇÃO

A busca por diferenciais competitivos fez surgir as máquinas automatizadas, denominadas máquinas com controle numérico computadorizado ou, simplesmente máquinas CNC (*Com-*

puter Numerical Control). De acordo com Albert (2004), as máquinas CNC 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. As máquinas CNC são

largamente utilizadas, principalmente, na indústria metalomecânica, em processo que demandam grande velocidade de produção e complexidade de fabricação, combinados com tolerâncias dimensionais rígidas.

Segundo Machado (1986), uma máquina equipada com um sistema CNC é capaz de realizar a sequência de operações através de comandos numéricos previamente programados. Esses comandos representam o sistema de coordenadas (x, y, z) e são capazes de executar a fabricação de qualquer perfil geométrico. Com isso é possível o desenvolvimento de máquinas com grande precisão e repetitividade, eliminando quase totalmente a intervenção humana durante o processo de fabricação.

Para Suh et al (2008), os sistemas que transformam os comandos numéricos enviados pelo controlador detêm grande parte da responsabilidade pela correta execução do trabalho, possibilitando assim maior precisão e controle do processo executado pela máquina CNC. 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 transmitidos à porca e conseqüentemente à mesa ou ferramenta móvel da máquina.

Segundo Goodrich (2012) e Fachim (2013), a utilização de plataformas de *hardware* livre, como o Arduíno, o Raspberry e outras, são de fácil uso e simplificam a tarefa de automatização de processos. Com isso, é possível obter uma máquina CNC de baixo custo que traga resultados rápidos e de maneira mais simples que o mercado oferece hoje.

De acordo com McRoberts (2011), o Arduíno é uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* livre que permite a interação com o ambiente externo por intermédio da utilização de sensores e atuadores. Basicamente, o Arduíno funciona como um computador que possibilita a programação e processamento de entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele. Este sistema é denominado computação física, ou seja, possibilita a interação com o ambiente que o cerca através de *hardware* e *software*. O autor relata, ainda, que o Arduíno pode ser usado no desenvolvimento de objetos interativos independentes ou conectado a um

computador, enviando e recebendo dados constantemente de acordo com a programação. Ele possibilita uma infinidade de aplicações, sendo possível sua utilização no controle de LED's, *displays*, botões, interruptores, acionamento de motores, sensores, ou qualquer outro dispositivo que emita dados e possibilite seu controle.

Embora existam muitos projetos de CNCs desenvolvidos com plataformas de *hardware* livre, eles ainda apresentam limitações de funcionamento (Sanches, 2009; Souza, 2014; Jayachandriah, et al. 2014). Considerando a necessidade de automação em processos de fabricação e as dificuldades de desenvolver uma CNC com *hardware* livre, o presente trabalho tem por objetivo projetar, construir e testar uma CNC com plataforma livre – Arduíno. Para atingir o objetivo principal os seguintes objetivos específicos foram seguidos: apresentação do funcionamento de uma máquina CNC; apresentação dos componentes de uma máquina CNC; elaboração do projeto mecânico de uma máquina CNC; elaboração do sistema eletrônico para controle da máquina CNC; construção de uma máquina CNC; e realização de testes com a máquina CNC.

Sequencialmente, são descritos a metodologia, a qual, apresenta os materiais e métodos experimentais utilizados no presente trabalho, os resultados e a conclusão. A metodologia é dividida em cinco subtítulos que descrevem as etapas as principais etapas do trabalho, tais como: o projeto mecânico da CNC; o projeto elétrico; projeto da ponte H (*hardware*); o *software* utilizado; e os testes experimentais. Os resultados são discutidos para cada item citado na metodologia.

2 METODOLOGIA

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

2.2 PROJETO MECÂNICO

Utilizando o *software Solidworks* (SKA, 2016), foi realizada a modelagem 3D de dois fusos de esferas recirculares e um fuso trapezoidal, com comprimento de 300 mm, 400 mm e 1000 mm respectivamente. Foram modelados também os mancais.

Os pontos de fixação dos fusos foram analisados visando a máxima rigidez. As posições dos fusos foram definidas de acordo com o 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 a 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), as quais foram utilizadas 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, este material garantiu a rigidez e resistência necessárias, sem ultrapassar o valor predeterminado de 15 kg para a massa total das partes móveis do equipamento. Sendo assim, os valores de perda de potência e esforços excessivos nos mancais de fixação foram minimizados, 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.

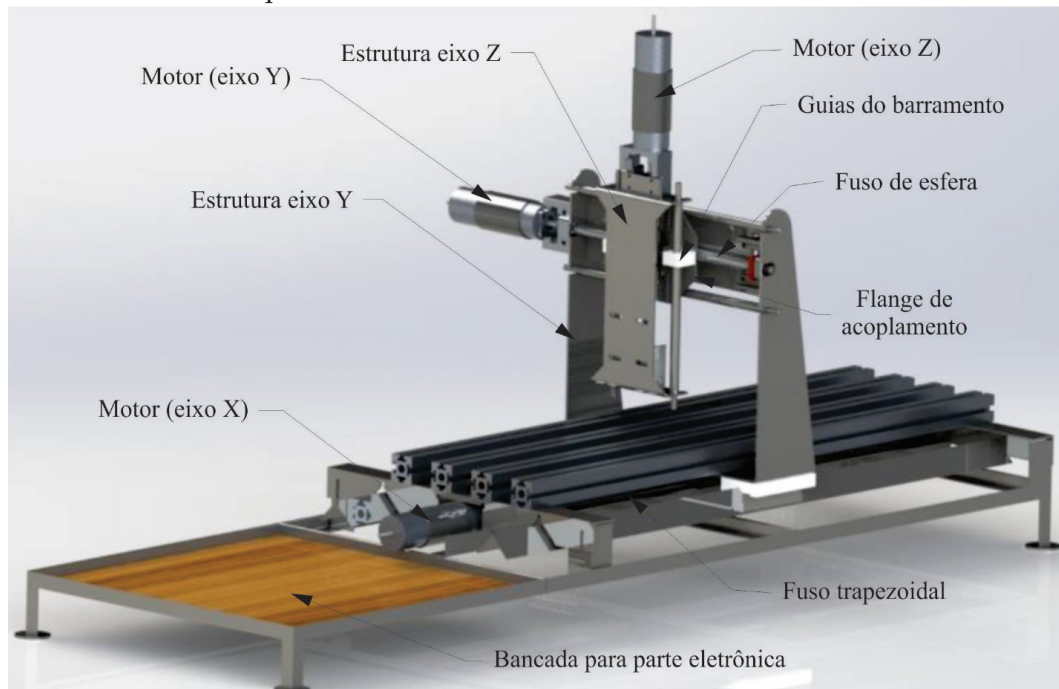
Para junção do eixo Z ao eixo Y foi desenvolvida uma flange que, além de unir os eixos, proporciona a fixação das guias dos barramentos que foram projetados para serem confeccionadas com chapa de nylon com 25 mm de espessura, material que possui baixo coeficiente de atrito, mantendo um ajuste sem folgas 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, a qual pode ser vista através da Figura 1.

Com o auxílio do *software* de desenho *Solidworks* foi executada uma análise estática, através do método de análise de elementos finitos dos esforços atuantes nos principais componentes, a fim de encontrar pontos de concentração de tensões excessivas, que podem comprometer o desempenho do equipamento em determinadas aplicações que exigem maior rigidez. Para tanto, foi estipulada uma força de 200 N aplicada nas direções X, Y e Z sendo que, durante sua vida útil, dificilmente o equipamento passará por um esforço tão elevado.

Para a realização da análise de esforços estáticos foram adicionados os elementos de contato e deslizamento, e também os pontos unidos pelo processo de soldagem MAG especificando um cordão de solda com altura de 5 mm contínuo em todos os pontos cabíveis. Foram adicionados os componentes de fixação nos pontos unidos por parafusos e porcas, e configurados os pontos fixos na base da estrutura. Por fim, para a realização da análise de esforços estáticos foi gerada uma malha com tamanho global de 13,0476 mm permanecendo em uma qualidade intermediária, ou seja, entre malha grossa e malha fina, com um total de 22568 nós e 10959 elementos.

Figura 1 – Desenho da máquina CNC.



2.3 PROJETO ELÉTRICO

A etapa descrita como projeto elétrico contempla a seleção dos motores de acionamento, a fonte de potência elétrica utilizada, além dos componentes de conexões e segurança.

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 elétrica 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 elétrica 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. Como sensores de fim de curso foram utilizados seis botões de pressão fixados nas extremidades de cada fuso de forma que os mesmos sejam pres-

sionados 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.

2.4 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 até 10 A de corrente elétrica. A Figura 2 mostra o desenho do circuito impresso da ponte H com respectivos componentes.

Para controle e execução dos programas foi utilizada uma plataforma de prototipagem da marca Robocore BlackBoard v1.0, idêntica à placa Arduino UNO R3.

2.5 SOFTWARE

O *software* utilizado durante a execução de todos os testes foi o *software* do Arduino (Arduino Home, 2016) que utiliza uma linguagem de programação semelhante a C/C++ possibilitan-

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados encontrados ao longo da execução do presente trabalho foram divididos de acordo com a metodologia seguida, isto é, primeiramente é realizada uma apresentação da máquina CNC desenvolvida, onde foram demonstrados em termos práticos os componentes mecânicos anteriormente descritos, e os métodos de fabricação utilizados, sequencialmente, a 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.

3.1 APRESENTAÇÃO DA MÁQUINA CNC

A Figura 3 mostra uma fotografia da máquina CNC desenvolvida. Através desta imagem 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 e a direção dos movimentos que os mesmos desempenham seguindo os barramentos e as guias. Também é mostrada a mesa de trabalho onde a peça a ser processada deve ser fixada por meio de grampos que se encaixam nos perfis da mesa.

Figura 3 – Máquina CNC desenvolvida com identificação de cada eixo.

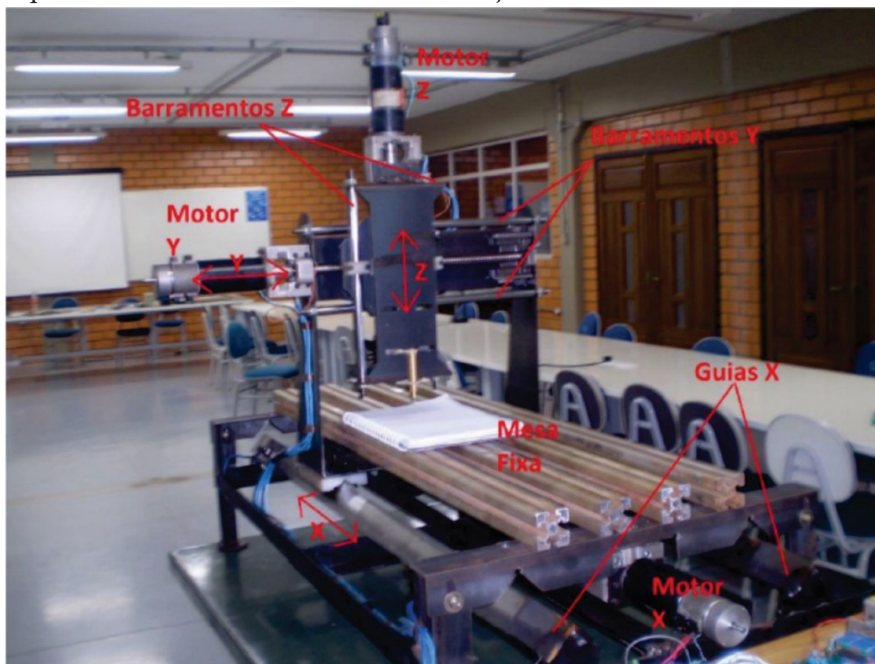
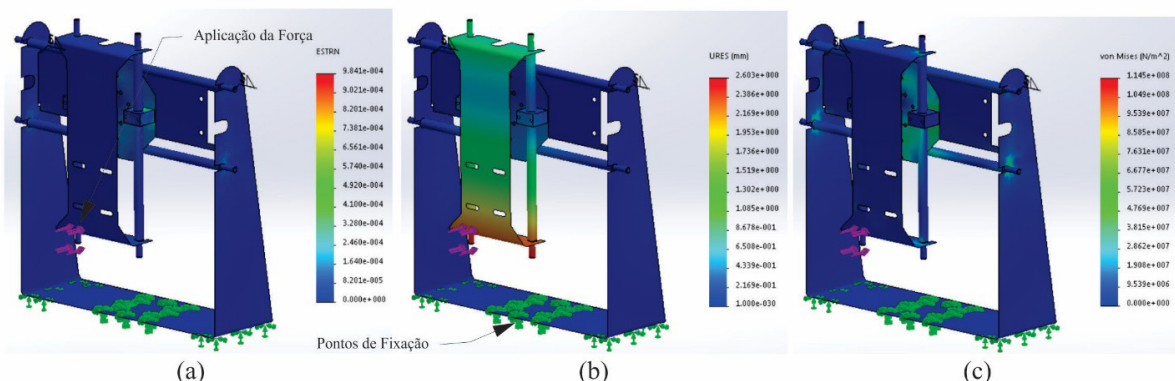


Figura 4 - (a) Deformação em X; (b) Deslocamento em X; (c) Tensão de von Mises em X.



3.2 ANÁLISE ESTRUTURAL

Primeiramente, foi analisada a consequência da aplicação da força na direção X da máquina CNC. Através da Figura 4 são demonstrados os pontos de concentração de tensões, deslocamento e a deformação quando a força é aplicada na direção do eixo X. Foi possível a constatação de um deslocamento de 2,6 mm e uma deformação equivalente com razão de alteração dimensional de 0,00098, além da observação da existência de poucos pontos de concentração de tensão, sendo que o valor de tensão máxima atingida foi de 114,5 MPa.

A análise dos esforços na direção Y, mostrada na Figura 5, demonstra a probabilidade de um deslocamento menor que na direção X, pois o valor encontrado foi de 1,3 mm. A deformação equivalente também foi reduzida no eixo Y, onde foi obtido um valor de 0,00051. Os pontos de concentração de tensões são semelhantes aos apresentados na análise dos esforços na direção X, porém, a intensidade sofreu uma redução, apresentando um valor máximo de 55 MPa.

A Figura 6 mostra a análise dos esforços na direção Z. O valor encontrado para deslocamento na direção Z foi de 0,44 mm, enquanto que a

deformação equivalente não ultrapassou o valor de 0,00017. Foram encontrados poucos pontos de concentração de tensões obtendo-se um valor de tensão máxima de 35,2 MPa.

Através da análise de elementos finitos foi possível a obtenção de informações acerca do desempenho da estrutura perante a aplicação de esforços nas três direções das coordenadas cartesianas.

3.3 ESQUEMA ELÉTRICO DE LIGAÇÃO

Foram utilizadas na ligação da plataforma de prototipagem quatorze portas, sendo, seis portas digitais para controle da inversão de rotação pelas pontes H, seis portas analógicas para recebimento dos sinais enviados pelos botões de fim de curso, uma porta de alimentação com tensão de 5 V e uma porta de aterramento utilizadas na alimentação dos botões de fim de curso e pontes H. Os servomotores foram conectados aos respectivos terminais das pontes H e as mesmas foram ligadas nas duas fontes de alimentação. A fim de identificar a ligação dos componentes elétricos e eletrônicos foi desenvolvido um esquema elétrico, o qual pode ser visualizado na Figura 7,

Figura 5 - (a) Deformação em Y; (b) Deslocamento em Y; (c) Tensão de von Mises em Y.

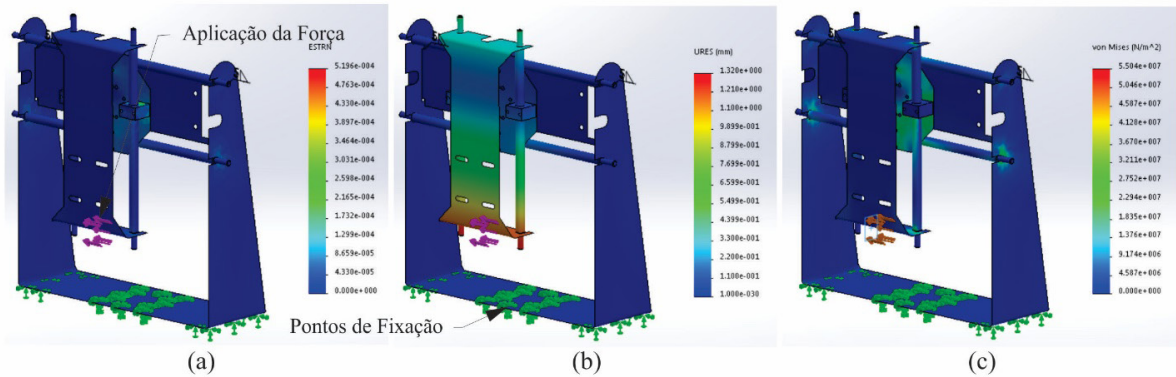


Figura 6 - (a) Deformação em Z; (b) Deslocamento em Z; (c) Tensão de von Mises em Z.

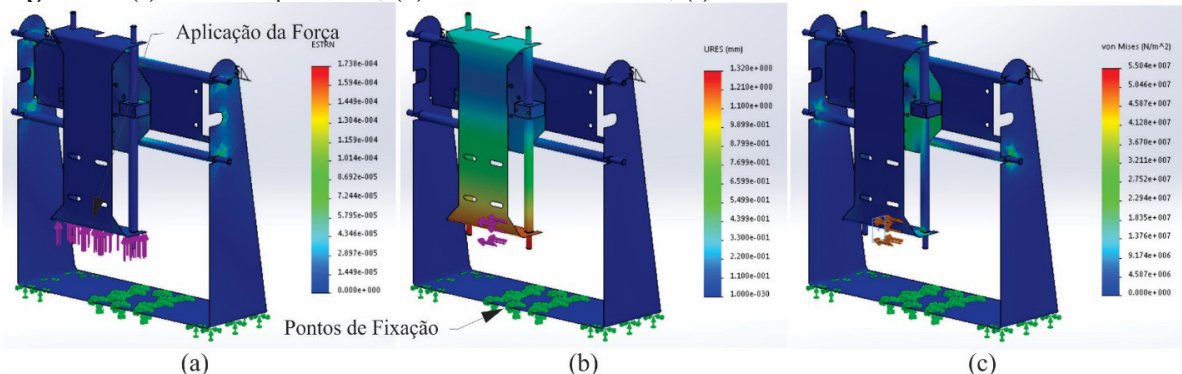
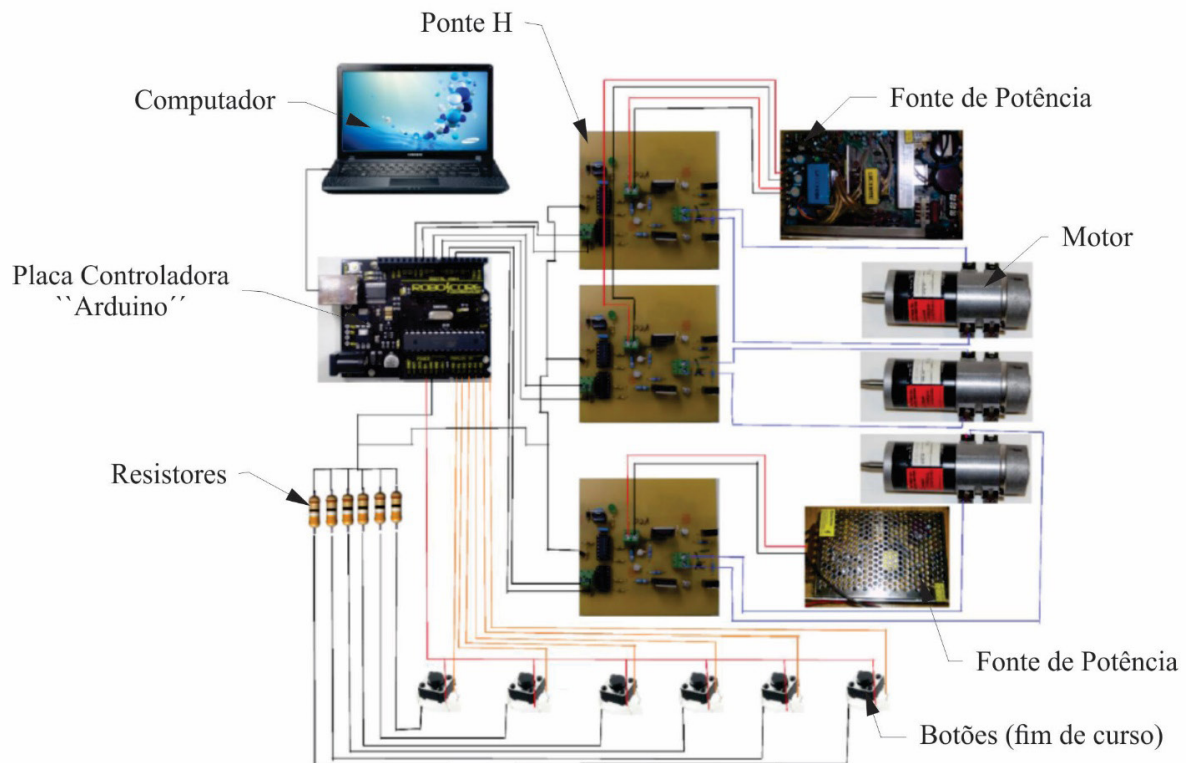


Figura 7 – Ligações elétrica entre os componentes eletrônicos.



com todas as ligações utilizadas na plataforma de prototipagem, pontes H, motores de acionamento e botões de fim de curso.

3.4 ANÁLISE DOS TESTES EXPERIMENTAIS

Todos os componentes utilizados mostraram-se em perfeito estado de funcionamento pois, com os motores conectados à plataforma de prototipagem, foi possível a realização da variação de velocidades e inversão de rotação. Foi possível evidenciar fatores como o alto torque em todas as faixas de rotação e a baixa emissão de ruídos, características dos servomotores DC.

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 plataforma de prototipagem, para que fossem reconhecidos pelo sistema. Cada botão foi pressionado e seu funcionamento foi evidenciado através de uma mensagem exibida pelo *software* de programação do Arduino.

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, isto é, abaixo dos valores máximos estabelecidos pelos fabricantes dos componentes eletrônicos (menor que 70° C).

Foi possível a observação da suavidade dos movimentos executados pela máquina CNC, sendo que o baixo ruído proveniente dos motores e a utilização de acoplamentos flexíveis contribuíram significativamente para a redução de ruídos e vibrações excessivas.

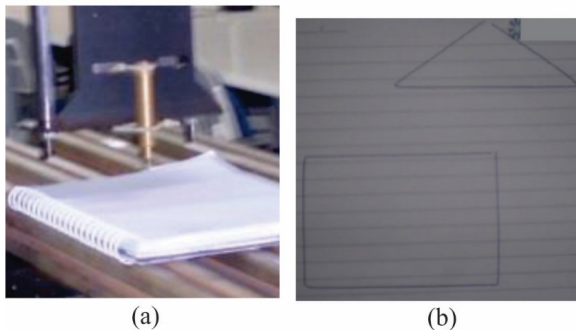
No momento em que a massa de 1 kg foi acrescentada na estrutura do eixo Z, foi possível a observação de uma pequena redução na velocidade de retorno do eixo Z, pois esse movimento é executado verticalmente para cima, o que acarreta no acréscimo da força proveniente da massa combinada com a aceleração da gravidade. 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.

A programação consistiu na elaboração de desenhos com formas geométricas simples e sem dimensões especificadas, pois a precisão na elaboração de formas geométricas mais complexas só seria possível com a incorporação de sensores de posição, os quais não estavam disponíveis.

Primeiramente, 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 8 (b), que mostra a disposição das linhas executadas pela máquina CNC.

Figura 8 - (a) CNC posicionada para efetuar o desenho e (b) os desenhos realizados pela CNC.



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.

Foram efetuados diversos desenhos iguais durante um longo período de tempo e foram verificados resultados semelhantes em todas as operações, demonstrando a capacidade de repetitividade da máquina na produção em série.

4 CONCLUSÕES

Foi projetada e construída uma máquina CNC controlada com *hardware* e *software* livre. Os sistemas mecânico, elétrico e eletrônico apresentaram um correto funcionamento. O estudo evidenciou a possibilidade de automação em processos de fabricação utilizando-se componentes de fácil aquisição.

Partindo-se do projeto e simulação de esforços em *software* (*Solidworks*) 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.

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.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Prof. Me Felipe Dal Piva Ely pela contribuição no desenvolvimento das pontes H e ao estudante Alessandro La Rocca Silveira do curso de Engenharia de Controle e Automação - FAHOR pela contribuição no desenvolvimento da programação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albert, A. (2004). *Understanding CNC Routers*. FPIInnovations - Forintek Division, First Edition. http://www.solutionsforwood.ca/_docs/reports/UnderstandingCNCRouters.pdf
- Arduíno Home. Arduíno, 2016. Acessado em 29 de novembro de 2016. <https://www.Arduíno.cc/>
- Fachim, A. (2013). Projeto de fresadora CNC com plataforma livre Arduíno. Trabalho de conclusão em Engenharia de Controle e Automação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/87332/000910181.pdf?sequence=1>
- Jayachandriah, B. *et al.* (2014). Fabrication of Low Cost 3-Axis CNC Router. *International Journal of Engineering Science Invention*. v. 3, issue 6, June 2014. [http://www.ijesi.org/papers/Vol\(3\)6/Version-1/A036101010.pdf](http://www.ijesi.org/papers/Vol(3)6/Version-1/A036101010.pdf)
- Machado, A. (1986). *Comando numérico aplicado às máquinas-ferramenta*. São Paulo: Cone Editora.
- McRoberts, Michael. (2011). *Arduíno Básico*. São Paulo: Editora Novatec. <http://novatec.com.br/livros/Arduíno/capitulo9788575222744.pdf>

Sanches, J. M. (2008). Desenvolvimento de uma Frezadora CNC de Baixo Custo para Fins Didáticos. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica – Projeto Mecânico, São Carlos, Universidade de São Paulo.

SKA, *Solidworks*. 2016, Acessado em 29 de novembro de 2016. <http://www.ska.com.br/ska/produtos/Solidworks>

Suh, S. et al., (2008) Theory and Design of CNC Systems. Espanha: Editora Springer. (Springer Series in Advanced Manufacturing). <http://www.springer.com/la/book/9781848003354>

ABSTRACT

The innovation and technology development is undergoing a revolution, in which the free machines control and automation are performed. These machines are low cost, easy to use and simplify a task of automating processes. For the development of free machines, free *hardware* platforms are used, such as Arduino. Thus, this study aims to design, build and test a CNC with free platform - Arduino. The design and building can be divided into three parts: mechanical parts, electrical parts and programming part. The mechanical part treat all CNC structure, in which the components (connections, motors, shafts, and others) are inserted. A finite elements analysis of the structure was done to check the dimensioning of the CNC machine. In electrical part were developed the controller cards of DC motors (H bridges) as well as the connections of the electrical components circuits. A simple programming was carried out to test the CNC machine movements. Tests conducted with the CNC were efficient, i.e., CNC movements indicated performed by programming in the three directions X, Y and Z. Also, the movement was simulated by forming geometrical figures such as rectangles and triangles. Finally, a CNC machine that can be used with minor design changes was developed as a 3D printer, machining, automatized cutting and welding, and other manufacture processes.

Keywords: CNC Machine, Arduino, Structural analysis.