

## **TORNO CNC CONTROLADO POR ARDUINO COMO PROJETO INTEGRADOR NO CURSO DE ENGENHARIA**

Pedro Henrique Malandrino Clemente (IC) e Sérgio Luis Rabelo de Almeida (Orientador)

**Apoio:** PIBIC Mackenzie

### **RESUMO**

Este trabalho teve como objetivo o projeto e construção de um mini torno CNC controlado por Arduino para aplicação didática dentro da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Ele foi elaborado buscando-se a redução de custos e a facilidade durante os processos de usinagem realizados. O projeto foi dividido em três partes: mecânico, eletrônico e o controle por software. No projeto mecânico foram feitas as especificações do material e também o dimensionamento dos elementos de máquina. As peças que compõe o torno em sua maioria foram usinadas nos laboratórios de usinagem da própria universidade. O projeto eletrônico consiste na escolha do microcontrolador, dos motores de passo e drivers desses motores e também na seleção do motor que aciona o eixo árvore da máquina. Para o projeto de software, o AutoCAD foi escolhido para a interface gráfica do usuário e o Linux CNC como controlador dos motores.

**Palavras-chave:** CNC. Integrador. Torno

### **ABSTRACT**

This Project was designed to build a small CNC lathe controlled by an Arduino for didactical application inside the School of Engineering Universidade Presbiteriana Mackenzie. It was designed thinking about costs reduction and machining process and it was divided in three parts: Mechanical, Eletronic and Software control. In the Mechanical project, the material specifications were made and also the scaling of the machine parts. The parts that compound the lathe were machined in the machine labs of the College. The Eletronic part consists in choosing a microcontroller, stepper motor with its drivers and selecting a motor to trigger the spindle. To develop the project, AutoCad had been chosen to the graphic part and CNC Linux as controller.

**Keywords:** CNC. Integrator. Lathe

## **1. INTRODUÇÃO**

Este trabalho objetiva trazer aos alunos da Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), dos cursos da Escola de Engenharia (E.E.), um projeto que envolve diversas áreas do conhecimento e que devem ser empregadas em conjunto para que possa ser concluído. Também deverá haver um diálogo entre o professor orientador e os alunos envolvidos de forma a estimular a reflexão sobre os problemas a serem enfrentados, possibilitando a criação de um conhecimento conjunto e integrado.

O projeto irá oferecer aos estudantes a oportunidade de colocar em prática os conhecimentos adquiridos em sala de aula, bem como obter experiência de como ocorre o processo de criação de um produto, desde a sua concepção até o modelo final, e a integração que é necessária entre as diversas áreas para que ele funcione.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Projetos integradores**

Escolas de engenharia no mundo inteiro desenvolvem projetos que integram diferentes áreas do conhecimento. Na Universidade de Stanford um dos professores propôs aos seus alunos de ensino fundamental e ensino médio a adaptação de um kit de robótica LEGO Mindstorm para experimentos de biologia. Outra grande universidade, o MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts), desenvolve robôs de biomimetismo que são capazes de recriar o movimento de animais como arrais e tubarões. No Brasil, o Instituto de Tecnologia Mauá tem um laboratório de controle, automação e robótica onde são desenvolvidos projetos nas áreas de controle de processo, engenharia biomédica, inteligência artificial, programação, materiais e mecânica. A Universidade Presbiteriana Mackenzie não fica de fora. Em 2016 iniciou-se um estudo sobre comportamento coletivo de drones, que está sendo realizado pelo Laboratório de Computação Natural e Aprendizagem de Máquina

### **2.2. Projeto mecânico**

As máquinas ferramentas tem como objetivo a transformação física de um corpo, seja no sentido geométrico ou no sentido dimensional. A transformação física, que tem por objetivo dar ao elemento uma forma diferente da inicial, pode produzir cavaco (ROSSI, 1981).

Segundo Ferraresi (1977):

“Torneamento – processo mecânico de usinagem destinado a obtenção de superfícies de revolução com o auxílio de uma ou mais ferramentas monocortantes. Para tanto, a peça

gira em torno do eixo principal da máquina e a ferramenta se desloca simultaneamente segundo uma trajetória coplanar com o referido eixo.”

Os cálculos das forças geradas durante a usinagem foram realizados tendo como referência Ferraresi (1977), que toma como base a norma DIN 6584, de 1963. Algumas medidas ligadas ao processo de torneamento precisaram ser preestabelecidas para que os cálculos pudessem ser feitos. As forças de usinagem são consideradas agindo em direção e sentido sobre a ferramenta, e estas são decomposições da força de usinagem  $F_u$  num plano ou numa direção. A partir dos dados obtidos para essas forças foi possível obter-se as potências ligadas a elas, e então a potência que deve ser fornecida pelo motor que rotaciona o eixo árvore da máquina.

Após o cálculo das forças de usinagem foi feito o dimensionamento de alguns dos elementos de máquinas utilizados. O dimensionamento desses elementos foi realizado através dos métodos utilizados em Shigley (2005) e Mott (2015). O eixo árvore foi dimensionado considerando que ele sofre flexo-torção e que está sujeito a fadiga. Os rolamentos foram escolhidos a partir dos catálogos de fabricantes.

### **2.3. Controle da máquina**

O comando numérico computadorizado (ou CNC) permitiu a automatização das máquinas ferramentas que hoje são capazes de fabricar peças com geometrias complexas com rapidez e grande precisão dimensional, excluindo do processo o erro humano e aumentando a produtividade que não eram possíveis de serem obtidas até a sua invenção na segunda metade do século XX.

Os equipamentos comandados com controle numérico se diferenciam basicamente dos convencionais, uma vez que não necessitam de acessórios que proporcionem o controle dos movimentos da máquina [...]. Estes movimentos são comandados através de dados de entrada que determinam os movimentos a serem executados [...], além do que, são maiores as garantias de uniformidade de qualidade de peça para peça e de lote para lote. (MACHADO, 1986).

Em seu livro, Banzi (2009) diz que o “Arduino nasceu para ensinar Design Interativo, uma matéria que coloca prototipagem no centro de sua metodologia”. Ele ainda diz que seu livro foi escrito para “os ‘originais’ utilizadores do Arduino: designers e artistas”. A plataforma Arduino foi criada para facilitar o ensinamento e aprendizagem de estudantes de design que tinham poucos ou nenhum conhecimento de eletrônica e programação. “O Arduino é uma plataforma de prototipagem de código aberto baseada em hardware e software fáceis de usar. ” (ARDUINO). A placa do Arduino pode ser considerada como um computador e é baseada

no microchip ATmega programada como entrada USB, o que faz o computador reconhecer o Arduino como um dispositivo tal qual um mouse.

Como microcontrolador pensou-se em duas opções: controladores PIC ou o Arduino. Era necessário que esse controlador fosse de fácil aprendizagem e de baixo custo. O Arduino foi o escolhido por uma série de fatores: é uma plataforma de hardware e software aberto, o que permite que pessoas façam variações de sua placa e programação (que é baseada em C/C++, sendo de fácil aprendizagem, é compatível, com Mac OSX, Windows e Linux, tem uma grande comunidade de pessoas, possuindo vasto conhecimento disponível na internet, a placa do Arduino tem menor custo comparada a outras opções semelhantes.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Processos de usinagem.

Operações de usinagem são aquelas que promovem a transformação de uma peça bruta através da remoção de material, que é chamado de cavaco. Segundo Ferraresi (1977), “cavaco é a porção de material da peça, retirada pela ferramenta, caracterizando-se por apresentar forma geométrica irregular”. Existem diversos processos de usinagem, cada um com uma finalidade diferente e que conferem diferentes formatos a peça bruta. Entre eles destacam-se: torneamento, aplainamento, furação, fretamento, brochamento, rosqueamento, retificação, brunimento, lixamento e denteamento.

Durante o torneamento ocorrem quatro tipos de movimento: movimento de corte, movimento de avanço, movimento de profundidade e movimento efetivo, que é o movimento resultante dos movimentos de corte e de avanço. Esses movimentos são relativos entre a peça e a aresta cortante, e a peça é considerada como parada. Na figura 1 podemos ver como esses avanços se distribuem na peça.

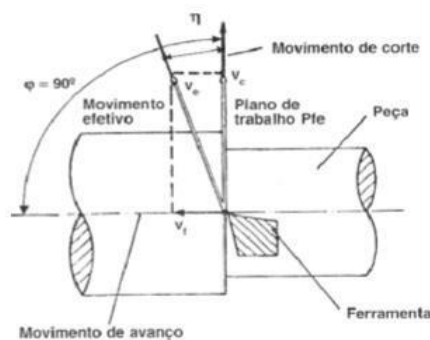


Figura 1: movimentos no torneamento.

Além dos movimentos, deve-se distinguir a velocidade de corte, a velocidade de avanço e a velocidade efetiva, que seguem a direção de corte, direção de avanço e direção efetiva, respectivamente.

O plano que contém as direções de corte e de avanço é chamado de plano de trabalho. Neste plano realizam-se todos os movimentos que tomam parte na formação do cavaco.

O ângulo de posição  $K_r$  formado entre o plano de corte e o plano de trabalho deve ser levado em conta, pois este é considerado para o cálculo das grandezas do cavaco. Ele depende do tipo de fixação da pastilha na haste e também da forma da haste. A figura 2 ilustra esse ângulo.

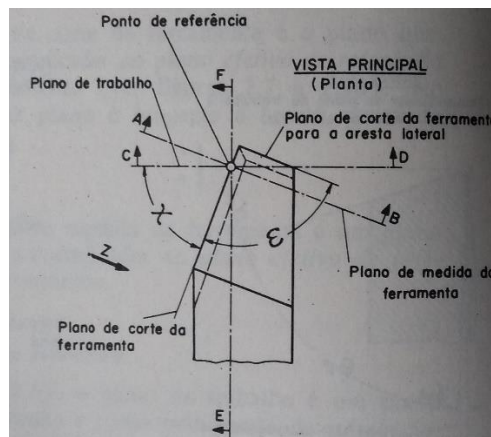


Figura 2: ângulo de posição (ou ângulo do gume de corte). Na figura ele é indicado por X.

### 3.2. Projeto conceitual.

A ideia do projeto surgiu com o professor orientador que queria desenvolver um mini torno CNC controlado por Arduino. Na figura 3 temos o primeiro conceito do torno desenhado por ele.

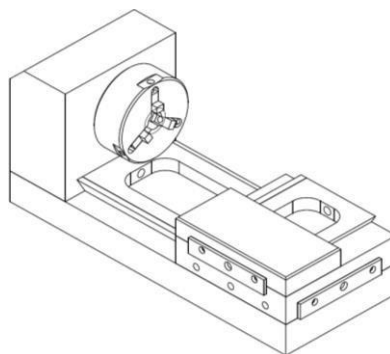


Figura 3: primeiro conceito do mini torno.

O projeto iniciou-se com uma pesquisa a respeito dos tornos mecânicos e tornos CNC, a forma como funcionam, diferenças e igualdades, bem como modelos de mini tornos

construídos por entusiastas e outros estudantes. Existem diversos projetos de fresas e impressoras 3D feitos por pessoas e que disponibilizam vídeos na internet ou até um manual do projeto. Esses projetos foram essenciais para que se pudesse moldar o conceito inicial do torno para o que ele se tornou no final. As imagens 4, 5 e 6 mostram alguns modelos que serviram como base para desenvolvimento do mini torno.

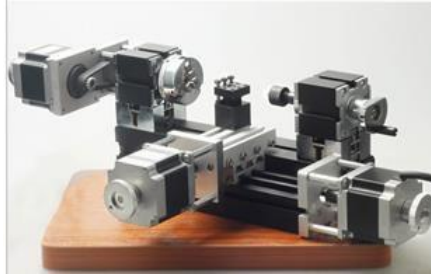


Figura 4: mini torno (fonte: <http://www.thefirsttools.com/2-4-3-three-axis-cnc-lathe.html>).

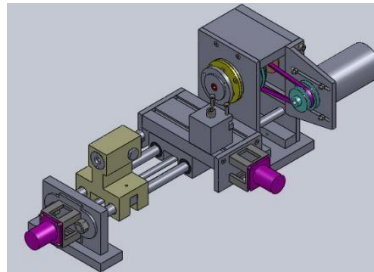


Figura 5: mini torno (fonte: <https://grabcad.com/library/cnc-mini-lathe--1>).

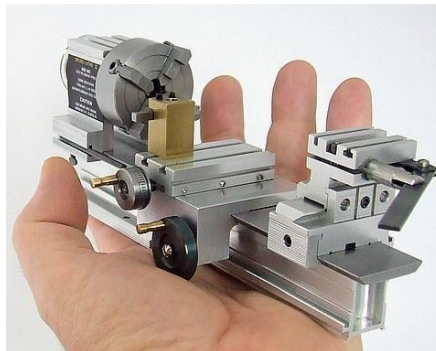


Figura 6: mini torno (fonte: <https://www.pinterest.com/dtorrestcmd/machining/>).

Para o apoio dos carros longitudinal e transversal durante a movimentação linear dos mesmos foram consideradas a utilização de guias lineares como a da figura 7, também guias lineares cilíndricas com rolamentos lineares, mostrados na figura 8 ou pillow blocks, como os da figura 9.



Figura 7: guias lineares.

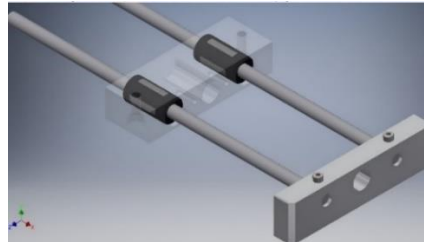


Figura 8: guias lineares cilíndricas com rolamento linear.



Figura 9: pillow block.

Após realizar uma pesquisa de preço e viabilização, optou-se por utilizar guias cilíndricas com rolamentos lineares, pois estas poderiam ser usinadas nos laboratórios de usinagem da própria universidade, e o custo de um rolamento linear para o diâmetro da guia é baixo.

Para a movimentação dos carros, a primeira opção seria a utilização de fusos de esferas recirculantes. Essa opção seria a ideal, pois permite um alto grau de precisão dimensional, porém, esse tipo de fuso tem um custo muito elevado. A opção mais próxima é a de fuso trapezoidal, que perde um pouco em precisão, mas tem um custo muito menor, sendo viável a sua utilização no projeto.

Como as dimensões do torno são muito pequenas comparadas a um torno convencional, a placa universal seria de difícil fabricação caso o sistema de fechamento das castanhas fosse feito do mesmo modo que nos tornos convencionais. A primeira opção de placa universal foi desenvolvida com base num projeto de placa de torno disponível na internet. A placa é usinada e o fechamento é feito por parafusos.

A figura 10 mostra o modelo desenvolvido em software Inventor da placa.

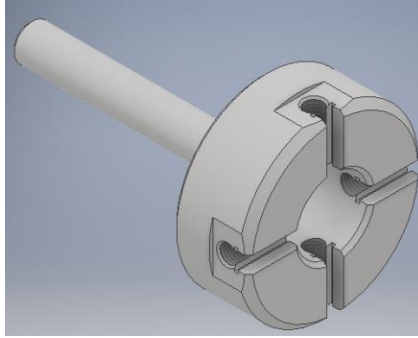


Figura 10: primeiro modelo da placa do torno.

O problema deste modelo é que ele não garante a centralidade da peça em relação ao eixo de giro da mesma, sendo necessário um outro tipo de placa, como uma placa com castanhas retrateis. Mas o sistema de acionamento das castanhas precisaria de um espaço muito grande, sendo inviável para o projeto. A solução encontrada veio após uma conversa com um dos técnicos dos laboratórios de usinagem da universidade. Foi proposto por ele que fosse feito o mesmo sistema utilizado nas máquinas fresadoras, ou seja, um sistema de pinças. Este sistema é mostrado na figura abaixo.

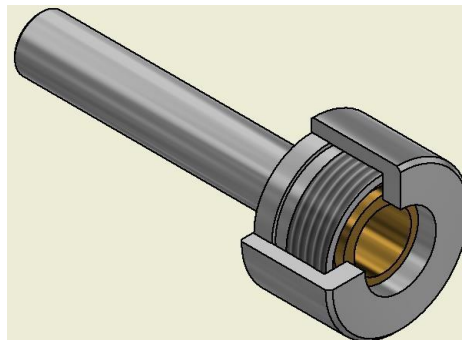


Figura 11: sistema de pinça para prender o tarugo.

O sistema é dividido em três peças: o eixo árvore, a pinça e a porca. As dimensões destas peças são mostradas nas figuras 12, 13 e 14 a seguir.

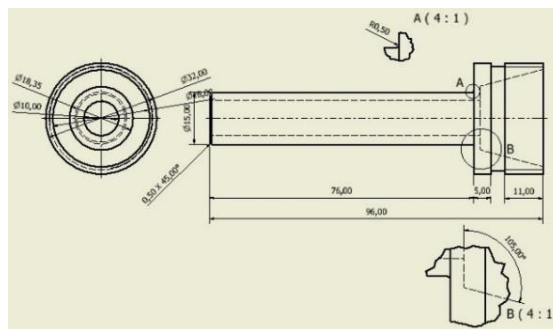


Figura 12: desenho do eixo árvore.



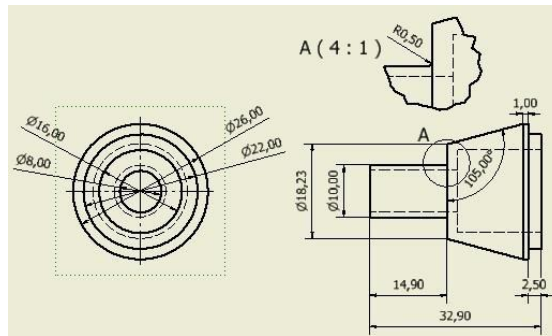


Figura 13: desenho da pinça.

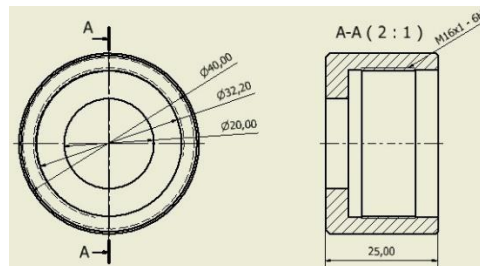


Figura 14: desenho da porca.

Toda a parte elétrica e eletrônica e o par de polias que acionam o eixo árvore ficam “escondidos” dentro do torno, como pode ser visto na figura 15.

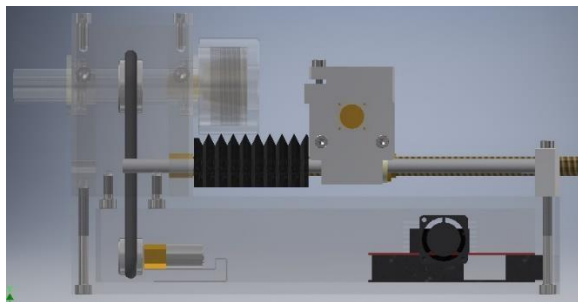


Figura 15: disposição do motor, parte eletrônica e polia dentro do torno.

O apoio da ferramenta de corte foi feito para que um inserto especial para torneamento de peças pequenas pudesse ser preso. A figura 16 mostra o apoio da ferramenta de corte preso ao carro transversal.

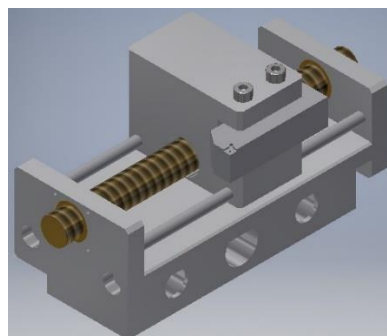


Figura 16: carro transversal.

As figuras 16 e 17 mostram o conceito final do torno, junto com algumas medidas externas.

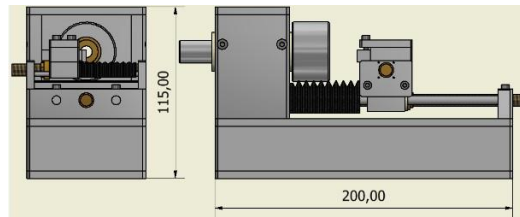


Figura 17: vista frontal e vista lateral do torno.

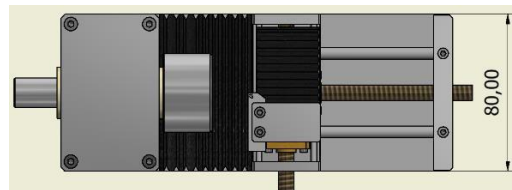


Figura 18: vista superior do torno.

Juntamente à elaboração do modelo do torno foi feito um levantamento das disciplinas ministradas nos cursos de engenharia na UPM, e que terão relação com o projeto, com base na matriz curricular destas. Verificou-se que algumas disciplinas como Computação, Algoritmos e Programação, Eletricidade aplicada e Mecânica dos Sólidos são comuns a todos os cursos e estão ligadas diretamente ao projeto. Além dessas disciplinas, cada curso tem disciplina específicas e que também podem auxiliar no desenvolvimento do projeto.

### 3.3. Cálculos das forças de usinagem, potências e velocidades.

Para iniciar os cálculos de usinagem são necessárias algumas considerações iniciais, como os materiais que serão usinados no torno, para que possamos definir alguns parâmetros de corte. Tomou-se como base o alumínio utilizado nos laboratórios de usinagem da UPM. Da literatura obtemos o valor da pressão específica de corte ( $k_{c1.1}$ ), deste alumínio, que é de  $700 \text{ N/mm}^2$ .

A força de corte ( $F_c$ ) é dada pela fórmula de Kienzle, que é “bastante simples e suficientemente precisa para os cálculos práticos da força de usinagem” (FERRARESI, 1977). A força de corte é igual a:

$$F_c = k_{c1.1} * b * h^{1-z} \quad (\text{N})$$

Onde  $b$  é a largura de usinagem,  $h$  é a espessura de usinagem e  $z$  é uma propriedade do material obtida experimentalmente, sendo igual 0,25 para o alumínio. Para calcular a largura de corte é necessário escolher um valor para a profundidade de corte ( $a_p$ ), e para calcular a espessura de corte também é necessário fixar o valor do avanço ( $f$ ). A largura de

corte (b) e a espessura de corte (h) podem ser calculadas pelas equações abaixo. Para a profundidade de corte foi fixado o valor de 1,0 mm e para o avanço 0,1 mm. No catálogo de fabricantes de ferramentas de corte são encontrados diversos valores para o ângulo Kr. Para esse projeto foi escolhida uma geometria da haste e uma fixação de forma que esse ângulo fosse de 90°.

$$b = \frac{ap}{\text{sen Kr}} \quad (\text{mm})$$

$$h = f * \text{sen Kr} \quad (\text{mm})$$

Após substituir os valores de  $ap = 1,0 \text{ mm}$ ,  $f = 0,1 \text{ mm}$  e  $Kr = 90^\circ$  foram obtidos para a largura de corte  $b = 1,0 \text{ mm}$  e para a espessura de corte  $h = 0,1 \text{ mm}$ .

Na figura 19 podemos ver como essas características estão dispostas durante o torneamento.

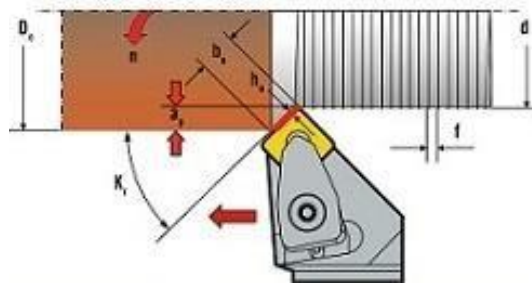


Figura 19: disposição das grandezas de corte.

Com os valores de h e b calculados a força de corte pode então ser calculada.

$$F_c = 700 * 1 * 0,1^{1-0,25} \approx 125 \text{ N}$$

Além da força de corte, outras forças também devem ser consideradas, pois contribuem para a potência de usinagem. Elas são decomposições da força de usinagem  $F_u$ , que “é a força total que atua sobre uma cunha cortante durante a usinagem” (FERRARESI, 1977). A figura 20 ilustra essas forças durante o processo de torneamento.

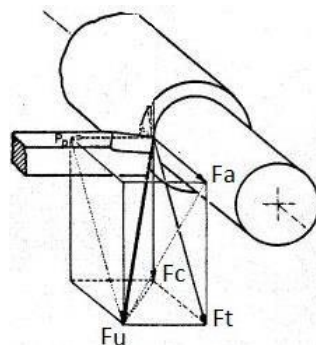


Figura 20: disposição das forças durante o torneamento externo.

Nesta figura,  $F_t$  é a força ativa, que é a projeção de  $F_u$  sobre o plano de trabalho,  $F_a$  é a força de avanço, que é a projeção de  $F_u$  sobre a direção de avanço,  $F_c$  é a projeção de  $F_u$  sobre a direção de corte, dada pela velocidade de corte  $v_c$ , e  $F_{ap}$  é a força de apoio, que é a projeção de  $F_u$  sobre a direção perpendicular à direção de avanço, situada no plano de trabalho.

Segundo Ferraresi (1977), no torneamento tem-se  $F_c \cong 4,5 \cdot F_a$  e  $F_{ap} \cong 0,4 \cdot F_c$ . Substituindo a força de corte nestas duas equações obtemos:

$$F_a \cong \frac{F_c}{4,5} \cong 28,0 \text{ N} \quad \text{e} \quad F_{ap} \cong 0,4 \cdot F_c \cong 50 \text{ N}$$

A potência de corte pode ser calculada pela equação:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60 \cdot 75} \quad (\text{CV})$$

A velocidade de corte é dada pela equação:

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad \frac{\text{m}}{\text{mín}} \quad ( \quad )$$

Onde “d” é o diâmetro do tarugo em mm e “n” é rotação em rpm. Devido às dimensões da pinça que prende o tarugo, o diâmetro máximo da matéria prima é de 16 mm. Para esse projeto estipulou-se uma rotação de 1000 rpm. A força de corte deve ser convertida para kgf na equação. Substituindo esses valores na equação da velocidade de corte obtemos aproximadamente  $v_c = 50,0 \text{ m/mín}$ . Com esse valor obtém-se para a potência de corte  $P_c = 0,14 \text{ CV} = 0,11 \text{ kW}$ .

No torneamento, a potência de corte é responsável pela maior parcela da potência efetiva de corte, e por isso  $F_c$  é chamada de força principal de corte. Para o cálculo da potência fornecida pelo motor ( $P_m$ ) utiliza-se apenas a  $F_c$  dividida por um coeficiente  $\eta$ , que é o rendimento da máquina operatriz, igual a 60% a 80%. Neste projeto foi adotado  $\eta = 0,75$ .

$$P_m = \frac{P_c}{\eta} \cong \frac{0,14}{0,75} \cong 0,19 \text{ CV ou } 0,15 \text{ kW}$$

### 3.6. Dimensionamento dos elementos de máquina e do motor de passo

No eixo árvore, além das forças de usinagem, atua também uma força  $T_0$  que é devido à transmissão por polia entre o motor e o próprio eixo. Considerando a rotação  $n = 1000 \text{ rpm}$  e a potência  $P = 0,19 \text{ CV}$ , calcula-se o momento torsor no eixo pela equação abaixo:

$$M_t = 7162 \cdot \frac{P}{n} = 1,43 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$T_0$  é a soma das forças  $T_1$  e  $T_2$  que atuam na polia, de raio  $r = 10 \text{ mm}$ . Para calcular as forças  $T_1$  e  $T_2$  são necessárias as duas equações abaixo:

$$M_t = (T_1 - T_2) \cdot r \text{ e } T_1 \cdot 2 = e^{\mu \cdot \alpha}$$

Onde  $\mu = 0,8$  e  $\alpha = \pi \text{ rad}$ . Após os cálculos temos que  $T_0 \cong 170,0 \text{ N}$ .

Pelo software Ftool foi elaborada uma análise das forças no eixo árvore. As figuras 21 e 22 mostram a distribuição do momento fletor no eixo.

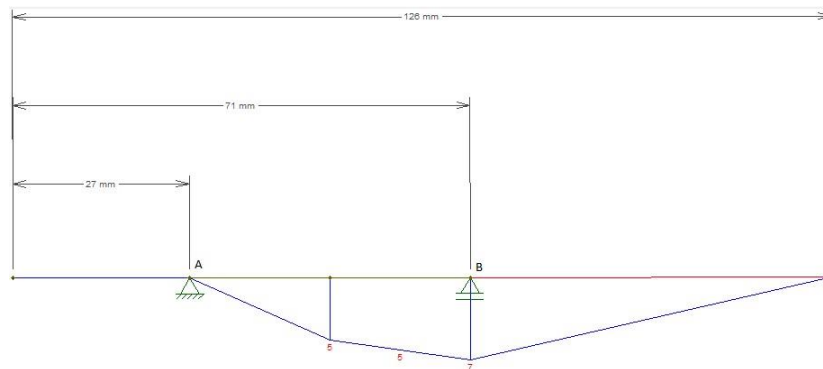


Figura 21: distribuição do momento fletor no plano xy.

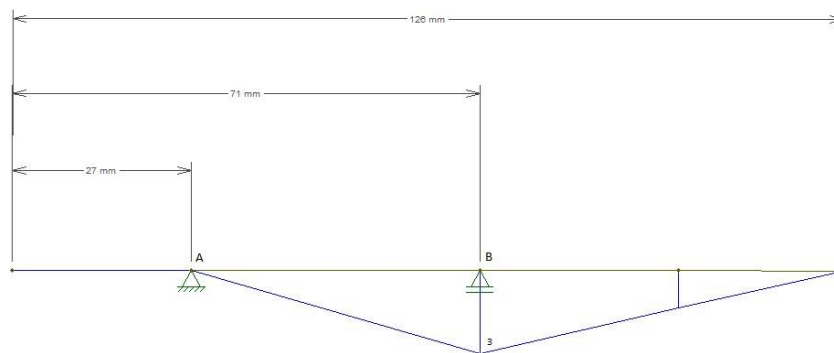


Figura 22: distribuição do momento fletor no plano xz.

Pelos gráficos a região mais solicitada é no mancal B. Portanto, o dimensionamento do eixo foi feito para esse ponto. O material escolhido para o eixo foi o aço 1020 laminado a quente, com  $\sigma_e = 210 \text{ MPa}$ . Pelo critério de Tresca, o eixo deve ter no mínimo 7,22 mm de diâmetro. No caso do projeto, ele foi usinado com 15,0 mm de diâmetro por questões de construção mecânica.

Para os rolamentos foi necessário fazer uma pesquisa nos catálogos de fabricantes com o intuito de encontrar um que atendesse aos critérios dimensionais do projeto. Foi escolhido o rolamento SKF 61802, que é um rolamento rígido de uma carreira de esferas. A figura 23 mostra alguns dados deste rolamento.

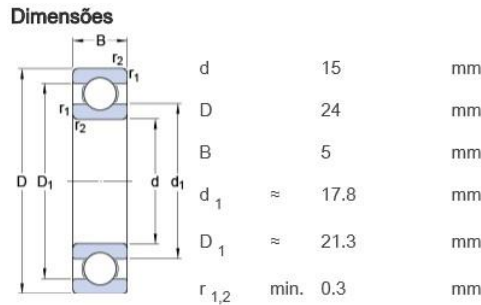


Figura 23: dimensões do rolamento SKF 61802.

A reação vertical no mancal A é de  $V_A = 198 \text{ N}$  e no mancal B é de  $V_B = -155 \text{ N}$ . A reação horizontal no mancal A é de  $H_A = 25 \text{ N}$ . A capacidade de carga dinâmica básica foi calculada pela equação:

$$C = P \left( \frac{10L}{d^6} \right)^{1/k}$$

Nessa equação  $L$  é dado em revoluções,  $k$  depende do tipo do rolamento (se de esferas ou de rolos) e é igual à 3 e  $P$  é a carga aplicada no rolamento. Para uma vida útil estimada de 10000 h,

$$Ld = (10000) * \text{rpm} * (60 \frac{\text{m}}{\text{min}}) = 600 * 10^6 \text{ revoluções h}$$

Para o mancal B, em que apenas atua uma carga vertical,  $P = 198 \text{ N}$ . Portanto  $C_B = 1670 \text{ N}$ . No mancal A, em que atuam uma força radial e outra axial, a carga  $P$  é calculada utilizando a seguinte equação:

$$P = X * V_a + Y * H_a \text{ N}$$

Na equação acima,  $X = 0,56$  (fator radial) e  $Y = 2$  (fator axial). Portanto,  $P = 136,8 \text{ N}$  para o mancal A e  $C_A = 1153,82 \text{ N}$ . A capacidade de carga dinâmica básica fornecida pelo fabricante para esse rolamento é de  $C = 1900 \text{ N}$ , que é maior do que o calculado para os dois mancais. Dessa forma eles puderam ser utilizados no projeto.

Após pesquisar diversos fabricantes de motores de passo, foi encontrado um motor com o fuso trapezoidal embutido no lugar do eixo, como o da figura 24.



Figura 24: motor de passo com o fuso trapezoidal no lugar do eixo.

Este motor possui um holding torque de 0,5 N.m. O torque máximo de operação pode ser estimado em 70% do holding torque. Pelo gráfico de “torque X velocidade” do motor, mostrado na figura abaixo, e para uma alimentação de 12 V, o motor foi limitado à uma velocidade de aproximadamente 700 pps. A figura 25 mostra o gráfico do motor de passo.

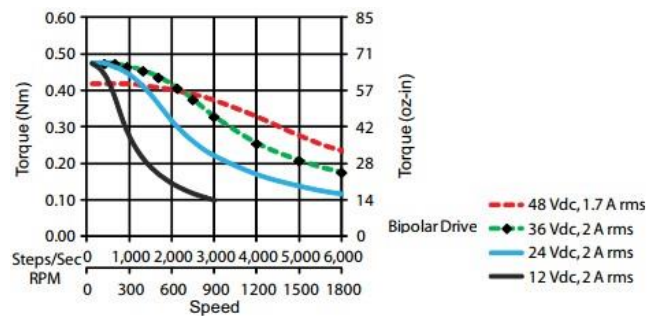


Figura 25: gráfico torqueXvelocidade do motor de passo.

### 3.5. Interface de comunicação computador máquina e eletrônica

Após os cálculos da usinagem deu-se início a parte elétrica. Essa parte envolve a interface computador-máquina e a escolha do controlador e drivers de potência. O software controlador escolhido para o projeto foi o Linux CNC (antigo EMC2), devido à sua precisão e por ter um controle em tempo real do processo. Porém esse programa utiliza a comunicação através de porta paralela, que é cada vez menos utilizada nos computadores, sendo necessário fazer uma conversão dos dados para que se possa utilizar uma porta USB. Para isso foi utilizado um código em Python, feito por um aluno da UPM, anteriormente em um projeto. A figura 26 abaixo mostra a execução de um programa de torneamento no software.

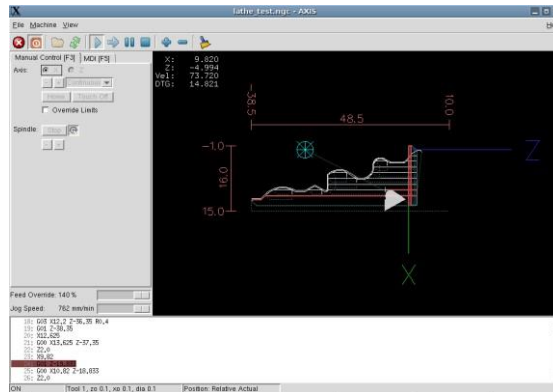


Figura 26: Exemplo de execução de torneamento no Linux CNC.

Para a interface de comunicação entre o computador e o torno foi escolhido o Arduino UNO (mostrado na figura 27), que é de fácil aprendizagem e pode ser ligado diretamente ao computador para a transferência dos dados.



Figura 27: Arduino UNO.

O Arduino possui um software próprio para a sua programação que possui diversas bibliotecas disponíveis (como bibliotecas para controle de motor de passo) e muitas outras que podem ser encontradas para download na internet. A programação do Arduino, apesar de possuir comandos próprios, é baseada C/C++. A função do Arduino é de receber os comandos enviados pelo Linux CNC e então envia-los para os drivers dos motores de passo.

O perfil da peça a ser usinada deve ser desenhado num software CAD, como o AutoCAD, ou outro programa. Depois este desenho deve ser traduzido para o código G, que é a linguagem de máquina CNC. Essa tradução do desenho para o código G é feito através de um software CAM, e então esse código pode ser utilizado pelo Linux CNC, que transforma estes dados em comandos e os envia para o Arduino, que por sua vez transforma estes comandos em sinais binários e os transmite para os drivers que comandam os motores de passo.

Existem muitos modelos de drivers de motor de passo disponíveis. Como os motores de passo são controlados por um circuito separado do motor do eixo árvore, o que guiou a escolha dos drivers foi a corrente utilizada pelo motor de passo escolhido. Segundo



informações disponibilizadas pelo fabricante do motor, a corrente por fase é de 1,0 A. O driver escolhido deveria ser capaz de suportar essa corrente sem que fosse danificado. Entre as opções, foi escolhido o driver A4988, mostrado na figura 28) da Allegro, que suporta correntes de até 2,0 A por fase (com dissipador de calor), consegue trabalhar com alimentação externa de 8 V a 35 V e pode ser alimentado com tensões entre 3,3 V a 5,0 V, que são fornecidas pelo próprio Arduino.



Figura 28: driver A4988.

Como são utilizados dois motores de passo, foram necessários 2 drivers. Existe no mercado uma placa de circuito (denominada de CNC Shield) que possibilita o controle de até quatro drivers. Essa placa facilita a montagem do circuito, pois pode ser colocada diretamente no Arduino e é possível também ligar os “fins de curso” a ela, facilitando bastante a ligação da parte elétrica e reduzindo o espaço necessário para as ligações. Na figura 29 podemos ver um exemplo dessa placa acoplada ao Arduino.



Figura 29: CNC Shield (placa vermelha), com 3 drivers A4988, acoplada ao Arduino.

Para garantir que o motor opere com a potência máxima é necessário fazer um ajuste no driver. Esse ajuste é feito pelo trimpot do próprio driver. Para isso é necessário calcular a tensão de referência (VREF) correspondente à corrente limite.

Pelo datasheet do driver, a equação que deve-se utilizar é:

$$\mathbf{VREF = 8 * Imáx * Rs \quad (V)}$$

Nesta equação,  $I_{máx}$  é a corrente que se deseja no motor e  $R_s$  é o valor dos resistores no driver. A localização desses resistores pode ser vista na figura 30.

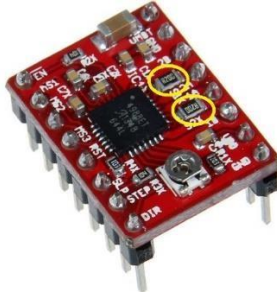


Figura 30: localização dos resistores  $R_s$  no driver A4988.

#### 4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Pelas dimensões propostas para o projeto, foi difícil encontrar ferramentas e partes mecânicas (rolamentos, parafusos) para o torno, e também a confecção das partes usinadas precisou ser feita com muito cuidado, lançando mão de cautela em relação às dimensões e tolerâncias. Foi proposto por um dos técnicos da oficina de usinagem a fabricação da ferramenta de corte, o que se tornou uma boa opção, pois assim é possível ter uma ferramenta eficiente e que se adeque ao projeto. A placa universal, ajustou-se perfeitamente ao torno e garantiu a centralidade da peça em relação ao eixo de rotação dela.

Foi necessária uma longa pesquisa teórica voltada para tópicos relacionados com construção de máquinas, que utilizou um tempo muito maior do que o previsto para isso. O elemento mais crítico e que teve que ser bem dimensionado foi o eixo árvore, pois este estará sujeito aos esforços provocados pela usinagem.

Para a comunicação entre o Linux CNC e o Arduino foi utilizado o processo já descrito acima, desenvolvido por um dos alunos da UPM. O software está configurado para enviar e receber dados através da porta paralela do computador, sendo necessária a conversão dos dados para que uma porta USB possa ser utilizada. O código para essa conversão foi escrito em Python e gravado no Arduino. Assim, o

software reconhece a máquina e faz a comunicação como se estivesse utilizando a porta paralela.

Juntamente com o desenvolvimento, foi feita uma documentação dos procedimentos realizados para que esta seja utilizada como guia aos estudantes que desejarem realiza-lo. Também foi feita uma relação das disciplinas dos cursos de engenharia que podem ser ligadas ao processo.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do projeto do mini torno CNC foi concluído com êxito, porém a construção do protótipo físico não pode ser realizada devido a ausência de tempo hábil para planejamento, fabricação e montagem das peças.

Há também a necessidade de estudo da grade de disciplinas dos cursos de engenharia para distribuição sequencial das diversas tarefas do protótipo

## 6. REFERÊNCIAS

- ARDUINO. *What is Arduino?* Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 7 mar. 2017.
- BANZI, Massimo. *Getting Started with Arduino*. 1. ed. O' Reilly, 2009
- FERRARESI, Dino. *Usinagem dos metais*. São Paulo. Edgard Blucher, 1977.
- MOTT, Robert L. *Elementos de máquinas em projetos mecânicos*. 5. Ed. São Paulo: Pearson.
- ROSSI, Mario. *Maquinas Herramientas Modernas*. Milan: Ulrico Hoepli, 1981.
- SHIGLEY, Joseph E; MISCHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G. Projeto de elementos de máquina. 7. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- Tutorial Motor de Passo - Parte 2: Análise Detalhada de Funcionamento. 2012. Disponível em: <<http://labdegaragem.com/profiles/blogs/tutorial-sobre-motor-depasso-parte-2>>. Acesso em 10 out 2016.

**Contatos:** pedro93.hmc@gmail.com, slrabelo@terra.com.br