

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CAMPUS JOINVILLE
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM
MECATRÔNICA INDUSTRIAL**

**SAMUEL FILIPE CARSTENS
TIAGO ALEXANDRE CARSTENS**

**PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA FRESADORA CNC PARA
PROTOTIPAGEM DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

JOINVILLE 2015

**SAMUEL FILIPE CARSTENS
TIAGO ALEXANDRE CARSTENS**

**PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA FRESADORA CNC PARA
PROTOTIPAGEM DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO**

JOINVILLE, 2015

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CAMPUS JOINVILLE
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM
MECATRÔNICA INDUSTRIAL**

**SAMUEL FILIPE CARSTENS
TIAGO ALEXANDRE CARSTENS**

**PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA FRESADORA CNC PARA
PROTOTIPAGEM DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO**

**Submetido ao Instituto Federal
de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina
como parte dos requisitos de
obtenção do título de Tecnólogo
em Mecatrônica Industrial.**

**Orientador: José Flávio Dums, M.
eng.**

**Co-orientador: Emerson Luis de
Oliveira, M. eng.**

JOINVILLE, 2015

Carstens, Samuel Filipe; Carstens, Tiago Alexandre.
Projeto e Fabricação de uma Fresadora CNC para prototipagem de placas de circuito impresso / Carstens, Samuel Filipe; Carstens, Tiago Alexandre – Joinville: Instituto Federal de Santa Catarina, 2015. 189 f.

Trabalho de Conclusão de Curso - Instituto Federal de Santa Catarina, 2015. Graduação: Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial. Modalidade: Presencial.
Orientador: José Flávio Dums, M. eng.
Co-orientador: Emerson Luis de Oliveira, M. eng.

1. Fresadora CNC, 2. Motor de passo, 3. Usinagem.

**I. PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA FRESADORA CNC PARA
PROTOTIPAGEM DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO**

PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA FRESADORA CNC PARA PROTOTIPAGEM DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

**SAMUEL FILIPE CARSTENS
TIAGO ALEXANDRE CARSTENS**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Mecatrônica Industrial do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Joinville, 30 de Julho de 2015.

Banca Examinadora:

**Prof. José Flávio Dums, M. eng.
Orientador**

**Prof. Emerson Luis de Oliveira, M. eng.
Co-orientador**

**Prof. Valter Vander de Oliveira, M. eng.
Avaliador 1**

**Prof. Leo Schirmer, M. eng.
Avaliador 2**

DEDICATÓRIA

A Deus, familiares, amigos, professores e colegas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus por nos conduzir e dar sabedoria para resolver todos os problemas e dificuldades encontrados.

Aos nossos familiares por todo apoio e compreensão da necessidade de nos ausentarmos em vários momentos, que foram dedicados ao desenvolvimento.

Aos patrocinadores que possibilitaram financeiramente a fabricação do projeto desenvolvido, através da doação de materiais que não teríamos condições de comprar. Em reconhecimento, fica aqui registrado a nossa gratidão à:

- Malharia Princesa, pela doação do painel para acomodação das placas e montagem elétrica;
- Romaço Rolamentos, pela doação de rolamentos e guias cilíndricas;
- Fachini Suprimentos para Indústrias, pela doação das polias sincronizadoras e correias sincronizadas.
- Kalatec Automação, com intermédio do professor Ivandro Bonetti, pela doação dos conjuntos de fusos e porcas de esferas recirculantes;
- Neotec Eletrônica Industrial, pela doação de boa parte dos componentes eletrônicos utilizados.

Ao laboratorista Ludgerio Pereira Neto, por fabricar as guias cilíndricas, peças fundamentais da máquina, visto que eram materiais de difícil usinagem.

Ao professor co-orientador Emerson Luis de Oliveira, por acreditar e orientar o projeto mecânico estrutural, pela imensa dedicação e auxílio na etapa de fabricação das peças mecânicas.

Ao professor orientador José Flávio Dums, por também acreditar no sucesso, por assegurar o recurso financeiro disponibilizado pelo governo, complementando quando necessário, por grande atenção e paciência ao gerenciar as etapas do trabalho e aconselhar pontos específicos no projeto das placas eletrônicas.

Aos demais docentes e colegas da instituição por todo o apoio e troca de ideias que de alguma forma nos auxiliaram.

RESUMO

Este trabalho apresenta o projeto e a fabricação de uma fresadora prototipadora CNC didática, com ênfase na usinagem de placas de circuito impresso, podendo ser aproveitada para fabricação de pequenos modelos 3D em materiais maleáveis.

A estrutura mecânica é constituída de perfis estrudados e chapas de alumínio, pois este é um material de fácil manipulação, que garante uma estrutura leve que facilita o transporte, porém rígida o suficiente para suportar todos os esforços mecânicos solicitados no processo de usinagem de protótipos.

A movimentação dos eixos da máquina se dá através de fusos de esferas recirculantes, que recebem o movimento dos motores de passo por meio de correias sincronizadas. O acionamento da ferramenta de corte é feito através de uma tупia (ferramenta elétrica utilizada em marcenaria).

Todas as ações da máquina são controladas e supervisionadas através do software Mach3®, executado em um computador em ambiente Windows®. A interface de comunicação entre o computador e o painel elétrico se dá por duas portas paralelas LPT (*Line Print Terminal*). O painel elétrico é responsável por isolar ópticamente todos os sinais digitais, e acionar os motores de passo e demais periféricos.

Palavras-Chave: Fresadora CNC, Motor de passo, Usinagem.

ABSTRACT

This work presents the design and manufacture of a didactic CNC milling machine, with an emphasis on prototyping of printed circuit boards (PCB). It may be used for the production of small 3D models in soft materials.

The mechanical structure consists of extruded profiles and aluminum plates, because it is an easy handling material, ensuring a lightweight structure that facilitates transport, but rigid enough to withstand all mechanical efforts requested in the prototype machining process.

The movement of the machine axes is given by ballscrew and ballnut, receiving the motion of stepper motors through synchronous belts. The drive of the cutting tool is made through a router.

All machine actions are controlled and supervised by Mach3® software, running on a computer in Windows® environment. The communication interface between the computer and the electrical panel is given by two parallel ports LPT (Line Print Terminal). The electrical panel is responsible for isolating all digital signals optically, and drive the stepper motors and other peripherals.

Keywords: CNC milling machine, stepper motor, Machining.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de blocos CNC	32
Figura 2 - Fuso de esferas recirculantes	37
Figura 3 - Vista em corte de um fuso de esferas recirculantes ..	37
Figura 4 - Comparação dos rendimentos entre fusos trapezoidais e de esferas com o ângulo de rosca	38
Figura 5 - Sistema de eliminação de folga axial por aplicação de força de pré-carga.	39
Figura 6 - Exemplo de um sistema de atuação direta.....	40
Figura 7 - Torno de Mausdlay, início do século XIX	43
Figura 8 - Cabo DB25 macho-macho com 25 condutores independentes	45
Figura 9 - Porta paralela <i>Off-Board</i>	47
Figura 10 - Endereçamento das Portas Paralelas, fornecido pelo sistema.....	48
Figura 11 - Identificação das linhas de comunicação da porta paralela	49
Figura 12 - Capacidades elétricas da porta paralela	50
Figura 13 - Anatomia de um opto-acoplador	51
Figura 14 - Motor de passo NEMA34	52
Figura 15 - Diagrama de um motor de passo de relutância variável.....	53
Figura 16 - Rotação no sentido anti-horário motor de relutância variável.....	54
Figura 17 - Vista em corte de um motor de relutância variável ..	55
Figura 18 - Disposição das bobinas em um motor de relutância variável.....	55
Figura 19 - Forma construtiva típica de um motor de imã permanente	56
Figura 20 - Diagrama de um motor de passo de imã permanente	56
Figura 21 – Elementos do rotor de um motor Híbrido	57
Figura 22 - Diagrama e estator de um motor híbrido	58
Figura 23 - Vista em corte de um motor híbrido	58
Figura 24 - Diagrama de conexão de fios	59
Figura 25 - Acionamento Unipolar em meio passo (<i>half step</i>) sentido horário.....	61
Figura 26 - Acionamento Bipolar em meio passo (<i>half step</i>) sentido horário.....	64
Figura 27 - Vista isométrica do projeto 2D, montagem final	67

Figura 28 - Imagem renderizada do modelamento da máquina	68
Figura 29 - Desenho da fresadora em corte	69
Figura 30 - Vista inferior da fresadora, sistema de deslizamento eixo Y	70
Figura 31 - Transmissão motor-fuso eixo Z	71
Figura 32 – Desenho de projeto da transmissão motor-fuso eixo Z	71
Figura 33 - Vista em corte do mancal do fuso	73
Figura 34 - Fabricação de peças em fresadora CNC (centro de usinagem)	75
Figura 35 - Fabricação de peças em fresadora convencional	75
Figura 36 - Torneamento convencional (rebaixo de uma polia)	76
Figura 37 - Rosqueamento manual, parafuso de fixação da polia	76
Figura 38 - Placa de Interface Principal	78
Figura 39 - Circuito de isolamento de uma saída da porta paralela	80
Figura 40 - Circuito de isolamento de uma entrada da porta paralela	81
Figura 41 - Detalhamento interno de um relê	81
Figura 42 - Efeito "bounce" em contatos mecânicos	83
Figura 43 - Driver desenvolvido para o acionamento de um motor de passo	84
Figura 44 - Exemplo de ligação dos componentes L297 e L298	84
Figura 45 - Motor de passo Astrosyn 23KM-C051-07V montado na máquina	85
Figura 46 - Diagrama interno L298	86
Figura 47 - Circuito controle de corrente L297 e L298	91
Figura 48 - Parte interna do painel de comando	93
Figura 49 - Vista da tampa do painel de comando	96
Figura 50 - Conexões laterais do painel	97
Figura 51 - Mach3®: Tela de interface Principal	97
Figura 52 - Mach3®: Configuração das portas LPT no Mach3	99
Figura 53 - Mach3®: Configuração dos sinais <i>Step</i> e <i>Dir</i> dos três motores	99
Figura 54 - Mach3®: Configuração das entradas " <i>Input Signals</i> "	100
Figura 55 - Mach3®: Configuração das saídas " <i>Output Signals</i> "	100
Figura 56 - Mach3®: Configuração do <i>spindle</i> , " <i>Spindle Setup</i> "	101

Figura 57 - Mach3®: Parametrização dos motores <i>Motor Tuning and Setup</i>	101
Figura 58 - Sonda Zero.....	102
Figura 59 - Mach3®: Painel de Configuração <i>Jog Mode</i>	104
Figura 60 - Mach3®: Referenciamento Manual dos Eixos.....	105
Figura 61 - Mach3®: Carregamento de programa.....	106
Figura 62 - Mach3®: Preparação para retomada de usinagem	107
Figura 63 - Enclausuramento da máquina com revestimento acústico interno	108
Figura 64 - Fresa de pantógrafo para usinagem das placas....	109
Figura 65 - Placa usinada na máquina desenvolvida	110
Figura 66 - Alta resolução obtida em protótipos de PCI	110
Figura 67 - Projeto protótipo	111
Figura 68 - Protótipo usinado em acrílico.....	111
Figura 69 - Chassi usinado em acrílico	112
Figura 70 - Protótipo usinado em MDF	113
Figura 71 - Traçando perfil de nivelamento da mesa no eixo Z	114
Figura 72 - Nivelamento da mesa, eixo Z.....	115
Figura 73 - Chapa de sacrifício em acrílico	116
Figura 74 - Interface Principal: Componentes camada superior	173
Figura 75 - Interface Principal: Cobre camada superior	173
Figura 76 - Interface Principal: Componentes camada inferior	174
Figura 77 - Interface Principal: Cobre camada inferior	174
Figura 78 - Interface Secundária: Componentes camada superior	183
Figura 79 - Interface Secundária: Cobre camada superior	183
Figura 80 - Interface Secundária: Componentes camada inferior	184
Figura 81 - Interface Secundária: Cobre camada inferior	184
Figura 82 - Driver Acionamento Motor: Componentes camada superior	188
Figura 83 - Driver Acionamento Motor: Cobre camada superior	188
Figura 84 - Driver Acionamento Motor: Cobre camada inferior	189

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação de elementos de transmissão de movimento e suas características	36
Tabela 2 - Classificação de elementos de transmissão de movimento e suas características	41
Tabela 3 - Principais guias de elementos rolantes internos	44
Tabela 4 - Acionamento Unipolar em meio passo (<i>half step</i>)	60
Tabela 5 - Acionamento Bipolar em meio passo (<i>half step</i>).....	63
Tabela 6 - Linhas de comunicação LPT Principal.....	78
Tabela 7 - Linhas de comunicação LPT Secundária	79
Tabela 8 - Características motor de passo Astrosyn 23KM-C051-07V.....	85
Tabela 9 - Comparativo dimensional peça em acrílico	112
Tabela 10 - Comparativo dimensional peça em MDF	114

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Sigla/Símbolo	Significado Original	Tradução
3D	Três dimensões	
A	Ampère	Unidade de medida de corrente elétrica
A.C.	Antes de Cristo	
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas	
BIOS	<i>Basic Input and Output System</i>	Sistema Básico de Entrada e Saída
Bit	<i>Binary digit</i>	Unidade de medida de dados
Byte	Conjunto de 8 bits	Unidade de medida de dados
CAD	<i>Computer Aided Design</i>	Projeto assistido por computador
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>	Fabricação assistida por computador
CCS	<i>Custom Computer Services, Inc.</i>	
CN	Comando Numérico	
CNC	Comando Numérico Computadorizado	
C x L x A	Comprimento, Largura e Altura	
DMA	<i>Direct Memory Access</i>	Acesso direto à memória
ECP	<i>Extended Capabilities Port</i>	Porta com Capacidades Estendidas
EPP	<i>Enhanced Parallel Port</i>	Porta Paralela Aprimorada
g/cm ³	Grama por centímetro cúbico	Unidade de medida de peso específico
GHz	Giga Hertz	Unidade de medida de frequência

Sigla/Símbolo	Significado Original	Tradução
I/O	<i>Input/Output</i>	Entrada/Saída
IBM	<i>International Business Machines</i>	
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>	Comissão Eletrotécnica Internacional
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IHM	Interface homem-máquina	
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>	Organização Internacional para Padronização
kB/s	Kilo Byte por segundo	Unidade de medida de velocidade de transmissão de dados
LED	<i>Light Emitting Diode</i>	Diodo emissor de luz
LPT	<i>Line Print Terminal</i>	Terminal de linha de impressão
mA	mili Ampère	Unidade de medida de corrente elétrica
MB	Mega Byte	Unidade de medida de dados
MB/s	Mega Byte por segundo	Unidade de medida de velocidade de transmissão de dados
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>	Placa de fibra de média densidade
mH	mili Henry	Unidade de medida de indutância

Sigla/Símbolo	Significado Original	Tradução
MIT	Massachusetts Institute of Technology	Instituto de Tecnologia de Massachusetts
mm	milímetros	Unidade de medida de comprimento
mm/s	milímetros por segundo	Unidade de medida de velocidade
mN.m	mili Newton x metro	Unidade de medida de torque
mV	mili volt	Unidade de medida de tensão elétrica contínua
NBR	Norma Brasileira aprovada pela ABNT	
NR10	Norma Regulamentadora 10	
NR12	Norma Regulamentadora 12	
PC	<i>Personal Computer</i>	Computador pessoal
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>	Placa de circuito impresso
PCI	Placa de Circuito Impresso	
pps	Passos por segundo	Unidade de medida de velocidade de um motor de passo
PTH	<i>Pin Through Hole</i>	Pinos através de furos
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>	Modulação por largura de pulso
RAM	<i>Random Access Memory</i>	Memória de acesso randômico
RLE	<i>Run Length Encoded</i>	Comprimento de percurso codificado

Sigla/Símbolo	Significado Original	Tradução
ROM	<i>Read Only Memory</i>	Memória apenas de leitura
rpm	Rotações por minuto	Unidade de medida de frequência
SMT	<i>Surface Mount Technology</i>	Tecnologia de montagem em superfície
SPP	<i>Standard Parallel Port</i>	Porta Paralela Padrão
SSOP48	<i>Shrink Small Outline Package, 48 pins</i>	Encapsulamento pequeno de perfil reduzido, 48 terminais
U.S. Air Force	<i>United States Air Force</i>	Força Aérea Americana
V	Volt	Unidade de medida de tensão elétrica contínua
Vac	Volt	Unidade de medida de tensão elétrica alternada
Ω	Ohm	Unidade de medida de resistência elétrica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	31
1.1	Justificativa	33
1.2	Objetivos.....	34
1.3	Objetivos Específicos.....	34
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	35
2.1	Fuso de Esferas.....	35
2.2	Correias Sincronizadoras.....	39
2.3	Guias Cilíndricas.....	42
2.3.1	Classificação das Guias	44
2.4	Porta Paralela	44
2.4.1	Modos de Operação.....	45
2.4.2	Endereçamento.....	46
2.4.3	Linhas de Comunicação.....	48
2.4.4	Características Elétricas.....	49
2.4.5	Isolação Óptica das Linhas de Comunicação	50
2.5	Motor de Passo.....	51
2.5.1	Tipos de Motor de Passo.....	52
2.5.2	Formas de Acionamento	59
3	DESENVOLVIMENTO	66
3.1	Estrutura Mecânica	66
3.1.1	Projeto e Modelamento Estrutural	66
3.1.2	Sistema de Deslizamento.....	69
3.1.3	Transmissão de Potência Mecânica.....	70
3.1.4	Conversão de Movimento.....	72
3.1.5	Fabricação	74
3.2	Projeto Eletrônico.....	77
3.2.1	Interface Computador-Máquina.....	77
3.2.2	Driver de Acionamento Motor de Passo	83
3.3	Projeto Elétrico – Painel de Comando	92
3.3.1	Fontes de Alimentação.....	93
3.3.2	Comandos Manuais e Indicações do Painel	95
3.3.3	Conexões Laterais	96
3.4	Software de Controle	97
3.4.1	Requisitos de <i>Hardware</i> e <i>Software</i> do Computador	98
3.4.2	Configuração de Entradas e Saídas	98
3.4.3	Parametrização dos Motores.....	101
3.4.4	Referenciamento Automatizado Eixo Z “Sonda Zero” ..	102

3.4.5	Operação da Máquina Através do <i>Software</i>	104
4	RESULTADOS OBTIDOS	108
4.1	Enclausuramento.....	108
4.2	Protótipo Placa de Circuito Impresso	108
4.3	Protótipo em Acrílico.....	111
4.4	Protótipo em MDF	113
4.5	Nivelamento da mesa no eixo Z.....	114
4.6	Velocidade de Avanço.....	116
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	117
5.1	Propostas de Novos Trabalhos.....	118
	BIBLIOGRAFIA	119
	APÊNDICE A – PROJETO MECÂNICO.....	122
	APÊNDICE B – ESQUEMÁTICO INTERFACE PRINCIPAL	165
	APÊNDICE C – <i>LAYOUT</i> INTERFACE PRIMÁRIA	173
	APÊNDICE D – ESQUEMÁTICO INTERFACE SECUNDÁRIA	175
	APÊNDICE E – <i>LAYOUT</i> INTERFACE SECUNDÁRIA	183
	APÊNDICE F – ESQUEMÁTICO DRIVER ACIONAMENTO MOTOR	185
	APÊNDICE G – <i>LAYOUT</i> DRIVER ACIONAMENTO MOTOR.	188

1 INTRODUÇÃO

O primeiro esforço organizado para a aplicação do Comando Numérico (CN) iniciou-se em 1949, no laboratório de Servo Mecanismos do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (M.I.T.) associado a Força Aérea Americana (*U.S. Air Force*) e a *Parsons Corporations*. Muito do desenvolvimento foi promovido pela *U.S. Air Force*, na produção de estruturas de avançados aviões militares a jato, em um curto intervalo de tempo entre o projeto e a fabricação, constituindo-se em excelentes oportunidades para o teste do CN. O avanço tecnológico durante e após a Segunda Guerra Mundial teve papel decisivo. [MACHADO, 1989].

Fatores preponderantes induziram à pesquisas como a redução do tempo de vida útil dos produtos e constantes alterações de projeto. Como estas demandas não conseguiam ser supridas pelas máquinas convencionais, onde houve então a introdução das máquinas operatrizes comandadas numericamente na indústria. [MACHADO, 1989].

Com o avanço da eletrônica, em 1970 começaram a ser aplicados microprocessadores, memórias ROM (*read only memory*) e até mesmo computadores dedicados ao CN, esta integração os transformou em Comandos Numéricos Computadorizados (CNC). Neste mesmo ano surgem os primeiros sistemas CAD (*Computer Aided Design*) e CAM (*Computer Aided Manufacturing*). Esta tecnologia é introduzida no Brasil em 1971, com a fabricação do primeiro torno com CN pelas indústrias ROMI. [MACHADO, 1989].

Comando Numérico Computadorizado é aquele em que as funções e os movimentos de uma máquina ferramenta são controlados sem intervenção do operador, realizando as operações contidas em um programa com dados alfanuméricos codificados. [MACHADO, 1989]. O CNC pode controlar os movimentos da ferramenta ou peça de trabalho, os parâmetros de entrada, por exemplo a velocidade de avanço, a profundidade de corte, e outras funções tais como, o giro do *spindle* (eixo árvore, onde é fixado a ferramenta de corte) e fluido refrigerante. [THYER, 1991].

O CNC é composto por três partes básicas, como ilustra o diagrama da Figura 1:

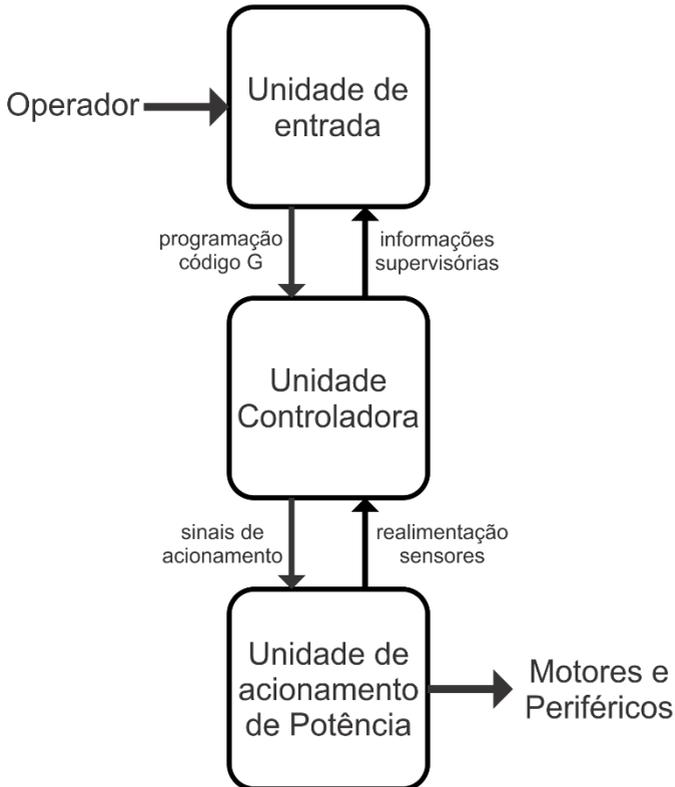


Figura 1 - Diagrama de blocos CNC
[Fonte: Autores, adaptado de MACHADO, 1989].

- **Unidade de entradas de informações:** Nesta unidade as informações podem ser inseridas diretamente na Interface Homem Máquina (IHM), por unidades removíveis como cartão de memória e pen drive, ou ainda através de uma conexão direta com um servidor.
- **Unidade controladora:** Esta converte os comandos do código em trajetórias de movimentação e outras funções da máquina.

- **Unidade de acionamento de potência:** Esta unidade é responsável por receber os sinais da unidade controladora e fazer o acionamento dos servomotores e demais periféricos presentes na máquina. [MACHADO, 1989].

Atualmente a tecnologia CNC é abundantemente aplicada em várias áreas da indústria, através de diversos tipos de máquinas e robôs, que aumentaram muito o processo de automatização. Um exemplo bem comum são as fresadoras CNC. Máquinas cuja ferramenta possui movimento de rotação e que permite movimentar a peça em um, dois, três ou mais eixos (lineares ou giratórios). Todas estas ações são comandadas por códigos de usinagem escritos em código G (linguagem de programação textual), padronizado pela norma ISO-1056:1975, que são interpretados através do CNC e que atuam nos elementos de movimentação. Sendo assim tem-se uma máquina elaborada para execução facilitada de peças prismáticas e superfícies complexas.

1.1 Justificativa

Uma das dificuldades enfrentadas por estudantes e profissionais da área eletrônica é a prototipagem de seus projetos de PCI (Placa de Circuito Impresso), pois o processo comumente utilizado é o de transferência térmica do *layout* (desenho da placa) impresso e posterior corrosão por ataque químico a base de percloro de ferro. Este método tem grande aceitação por ser relativamente simples e de baixo custo.

Porém, por vezes este processo se mostra inadequado devido à baixa qualidade das transferências, que exigem muita habilidade do operador e alta qualidade dos materiais utilizados

Soma-se a isso o fato de que toda a furação deve ser feita manualmente para a montagem de componentes PTH (*Pin Through Hole* ou pinos através de furos) onde os terminais dos componentes são inseridos e soldados através de furos na placa [MORAES, 2006]. Porém a maior barreira seria a impossibilidade de utilização de componentes com dimensões reduzidas, como é o caso da tecnologia SMT (*Surface Mount Technology* ou

tecnologia de montagem em superfície) que consiste na montagem do componente na mesma superfície das trilhas e portanto dispensam qualquer furação para ligar os terminais do componente ao circuito da placa. [MORAES, 2006].

A máquina desenvolvida permanecerá na instituição para auxiliar a prototipagem de circuitos impresso e modelos 3D (três dimensões), podendo também servir como ferramenta de divulgação do campus, ao expô-la em eventos relacionados à tecnologia e educação, já que seu tamanho é reduzido.

Há também o apelo ecológico, visto que as placas atualmente desenvolvidas no campus são feitas pelo processo de corrosão química, cujos resíduos desse processo devem ser descartados de forma correta para que não venham afetar o meio-ambiente. Já com o processo de usinagem, somente cavaco será gerado, constituindo uma quantidade muito menor de resíduo.

1.2 Objetivos

Projetar e fabricar uma máquina fresadora CNC de pequeno porte.

1.3 Objetivos Específicos

O trabalho desenvolvido foi segmentado em etapas com objetivos específicos:

- Analisar as fresadoras existentes no mercado;
- Desenvolver o projeto conceitual e detalhamento do conjunto mecânico;
- Fabricar os componentes mecânicos;
- Realizar a montagem da estrutura mecânica da fresadora;
- Desenvolver o projeto eletroeletrônico;
- Fabricar os drivers de acionamento e as placas de interface com o PC (*Personal Computer*);
- Realizar a montagem do painel elétrico;
- Avaliar os resultados obtidos.

Aplicar os conhecimentos obtidos durante o curso para obter resultados significativos quanto à precisão de usinagem,

viabilizando o uso da máquina em qualquer projeto de placa de circuito impresso com uma área máxima de 250x250 mm.

Seu tamanho reduzido tem como finalidade minimizar o custo de fabricação da máquina sem afetar sua velocidade, precisão e rigidez, para que possa facilmente ser reproduzida e também deslocada e/ou transportado para feiras tecnológicas ou onde houver necessidade.

Certificar-se de que a máquina possa ser operada com facilidade e segurança, por pessoas com conhecimento em programação CNC, é outra meta. Para isso ela será baseada no sistema ISO (Código G).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tratará da apresentação individualizada das partes que compõem a estrutura da máquina fresadora CNC desenvolvida. Os materiais e equipamentos aqui descritos são frutos da análise de fresadoras existentes no mercado e que serviram de referência para o desenvolvimento deste trabalho.

2.1 Fuso de Esferas

Segundo SLOCUM (1992), na maioria das máquinas-ferramentas atuais, o acionamento é realizado por máquinas de ação rotativa. No entanto, exceto a árvore principal, todos os movimentos de máquina-ferramenta CNC são deslocamentos lineares. Existe então a necessidade de converter o movimento de rotação em movimento linear.

Tabela 1 - Classificação de elementos de transmissão de movimento e suas características

Tipo	Pinhão / Cremalheiras	Polias	Rodas de Atrito	Fusos			
				Trapezoidais	Esferas Recirculantes	Epicicloidalis	Hidroestáticas
Requisitos							
Custo	Baixo	Baixo	Alto	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Vibrações	Alto	Baixo	Baixo	Médio	Baixo	Baixo	Baixo
Exatidão no Posicionamento	Baixo	Médio	Muito Alto	Baixo	Alto	Alto	Alto
Capacidade de transmissão de Forças/Torque	Alto	Baixo	Muito Baixo	Alto	Alto	Alto	Alto
Facilidade de Manutenção	Alto	Alto	Baixo	Médio	Médio	Baixo	Baixo
Atrito	Baixo	Baixo	Alto	Alto	Baixo	Baixo	Muito Baixo
Vida útil	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Alto	Muito Alto

[Fonte: STOETERAU 2004].

Como afirma STOETERAU (2004), existem várias formas de converter o movimento circular em linear, no entanto na Tabela 1 resumem-se as principais, utilizadas nas máquinas-ferramentas CNC e classificadas a partir de seus requisitos, custo, vibração, exatidão de posicionamento, capacidade de transmissão de força/torque, facilidade de manutenção, atrito e vida útil.

Apesar de a Tabela 1 referir a utilização de vários sistemas de conversão de movimento, nas máquinas-ferramentas atuais a utilização de fusos tornou-se predominante. [KOREN, 1983].

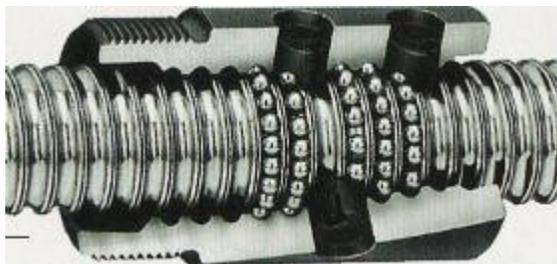


Figura 2 - Fuso de esferas recirculantes
[Fonte: YOUSSEF e EL-HOLF 2008].

Os fusos, de maneira geral, podem ser classificados quanto à forma do atrito a que estão sujeitos: [STOETERAU, 2004].

- Fusos de escorregamento trapezoidais;
- Fusos de elementos rolantes;
- Fusos epicicloidais;
- Fusos hidrostáticos.

No entanto, em aplicações em que não sejam permitidas folgas ou atrito excessivo, e muito rigor no deslocamento relativo, existe uma predominância na utilização de fusos de esferas recirculantes em relação a outros sistemas de fusos.

Este predomínio deve-se a uma maior relação custo-benefício dos fusos de esferas [KOREN, 1983]. A Figura 3 apresenta o esquema de funcionamento de um fuso de esferas recirculantes.

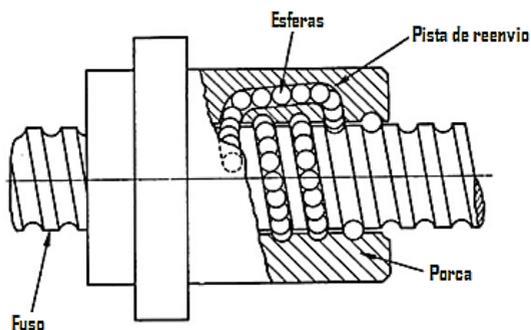


Figura 3 - Vista em corte de um fuso de esferas recirculantes
[Fonte: YOUSSEF e EL-HOLF, 2008].

De forma a permitir o movimento contínuo, este tipo de fuso recorre ao sistema de recirculação, que consiste na introdução de pistas de reenvio das esferas na porca do fuso (castanha) que produzem o movimento relativo. [ARIEIRO, 2013]

Segundo YOUSSEF e EL-HOLF (2008), este dispositivo de conversão de movimento tem por vantagens:

- Elevado rendimento mecânico (por este motivo, não são auto imobilizados);
- Vida útil longa;
- Menor potência de acionamento;
- Ausência de *stick-slip* (atrito em escala atômica);
- Maiores velocidades;

Observa-se na Figura 4 que os fusos de esferas apresentam um aumento considerável no rendimento mecânico em relação aos fusos trapezoidais convencionais.

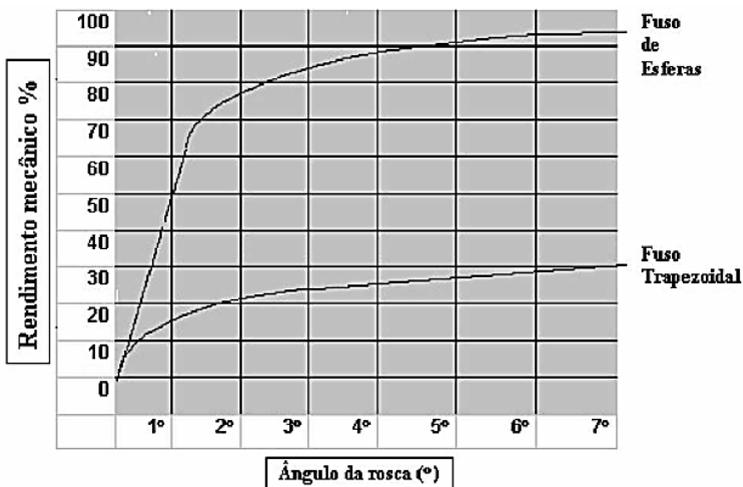


Figura 4 - Comparação dos rendimentos entre fusos trapezoidais e de esferas com o ângulo de rosca
[Fonte: PABLA E ADITHAN, 1994].

YOUSSEF e EL-HOLF (2008), na Figura 5 apresentam a vista em corte do fuso de esferas, nesta representação os autores mostram a direção da tensão aplicada nas porcas (A e B)

eliminando a folga axial. Desta forma aumenta-se a rigidez e exatidão do conjunto garantindo posicionamento e repetibilidade.

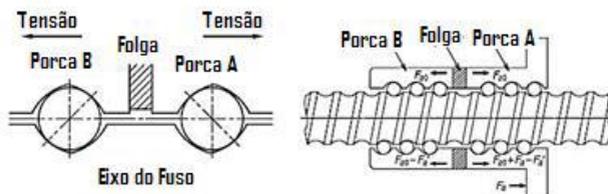


Figura 5 - Sistema de eliminação de folga axial por aplicação de força de pré-carga.

[Fonte: YOUSSEF e EL-HOLF, 2008].

Para garantir a estabilidade e fixação dos fusos de esferas recorre-se a utilização de mancais de rolamentos.

Segundo afirma FIORELLINO (1981), “os mancais que suportam o fuso devem ser rígidos. O máximo de rigidez é encontrado com um mancal axial em cada extremidade do fuso. Esta é colocada com uma pré-carga em tração para compensar as dilatações térmicas”.

2.2 Correias Sincronizadoras

A transmissão nas máquinas ferramentas é uma questão fundamental, comportando dois tipos de elementos:

- Elementos transmissores de movimento;
- Elementos conversores de movimento.

O primeiro caso corresponde a elementos que transmitem o movimento desde a sua fonte até o local necessário, sempre na mesma forma de movimento (linear ou circular).

Por outro lado, os conversores realizam a alteração do tipo de movimento.

GROOVER (2001) afirma que a transmissão de potência deverá ter o mínimo de perdas mecânicas.

A Figura 6 mostra a aplicação de uma transmissão de movimento direta ideal, entre o fuso e o motor, através de um acoplamento elástico.

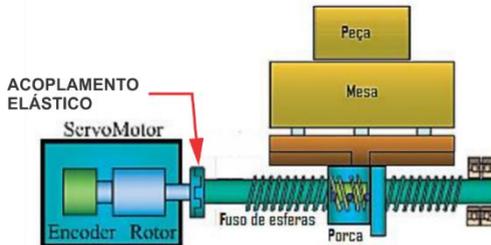


Figura 6 - Exemplo de um sistema de atuação direta
[Fonte: ARIEIRO, 2013].

No entanto esta solução nem sempre é possível, sendo necessário dimensionar uma cadeia cinemática. Esta deve assegurar a correta transmissão de potência, ser de construção rígida e sem folgas, para permitir o posicionamento exato da ferramenta de corte na área de trabalho. [DUPONT e CASTELL, 1968].

Para além disto, a transmissão deve responder de forma rápida, necessitando, portanto, possuir baixa inércia, o que permite diminuir o tempo de deslocamento e aumentar o período de movimento efetivo. [PABLA e ADITHAN, 1994].

Estas cadeias cinemáticas podem ser realizadas por um grande número de dispositivos dentre os quais:

- Engrenagens;
- Correias e Correntes;
- Rodas de atrito.

Existem outros elementos de máquinas capazes de realizar esta tarefa, no entanto estes são geralmente os mais utilizados em máquinas-ferramentas. [YOUSSEF e EL-HOLF, 2008].

Na Tabela 2 observam-se as principais características de diferentes tipos de elementos de transmissão de movimento.

Tabela 2 - Classificação de elementos de transmissão de movimento e suas características

Tipo	Trens de Engrenagens	Engrenagens Sem-fim	Engrenagens Cremalheiras	Rodas de Atrito	Polias			Correntes
					Planas	Em "V"	Sincronizadoras	
Requisitos								
Custo	Médio	Médio	Baixo	Alto	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
Vibrações	Alto	Médio	Alto	Baixo	Baixo	Médio	Médio	Alto
Sincronismo de movimento	Alto	Alto	Médio	Alto	Médio	Médio	Alto	Médio
Transferencia de Forças/Torque	Alto	Alto	Alto	Baixo	Médio	Médio	Médio	Alto
Facilidade de Manutenção	Médio	Médio	Médio	Baixo	Alto	Médio	Médio	Alto
Vida Útil	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Médio	Médio

[Fonte: STOETERAU, 2004].

As engrenagens são elementos de máquinas que transmitem movimento de um eixo para outro por meio de dentes que entram em contato sucessivamente uns com os outros. Estas permitem elevadas capacidades de transmissão e uma vida útil longa, no entanto são mais caras e de dimensionamento e aplicação mais complexa que correias ou correntes. [SLOCUM, 1992].

As correias e correntes, denominadas por SHINGLEY e MISCHKE (2005) como elementos de transmissão flexíveis, simplificam o design e a produção de uma máquina-ferramenta, diminuindo assim o seu custo. Além disso, por serem elementos flexíveis, contribuem para a absorção de vibrações, aumentando a vida útil dos elementos de acionamento.

Existem vários tipos de correias, sendo as planas e as dentadas as mais utilizadas em máquinas-ferramentas. [SLOCUM, 1992].

Com um princípio de funcionamento semelhante, as correntes são utilizadas em aplicações em que a ausência de

escorregamento é essencial e a potência a transmitir é elevada. [SLOCUM, 1992].

Como há uma preocupação com o alinhamento entre os eixos dos motores de passo e os fusos, foi adotado uma transmissão por correias dentadas ou sincronizadoras, com o intuito de atenuar qualquer desalinhamento eventual, não impactando na precisão do conjunto final, como pode ser constatado ao observar as suas características contidas na Tabela 2.

2.3 Guias Cilíndricas

Apesar do uso de sistemas baseados em elementos rolantes terem sido utilizados pelos Assírios a 1.100 A.C. (Antes de Cristo), o primeiro sistema de guias baseado em elementos rolantes lineares para uso em máquinas-ferramentas de que se tem notícias foi desenvolvido por Gretsh e patenteado na França em 1932. Tratava-se de uma guia com duas carreiras de esferas recirculantes montadas em um bloco que deslizava sobre um trilho com canais em forma circular. [STOETERAU, 2004].

As máquinas-ferramentas sempre necessitaram de elementos que permitissem a absorção de carregamentos e o movimento dentro de um padrão linear, realizando as mesmas funções dos mancais rotativos. As guias inicialmente fabricadas em madeira, foram empregadas até a revolução industrial, onde então a madeira foi substituída por ferro e aço.

As guias são definidas como elementos estruturais que permitem a um componente deslizar ao longo de outro, em um movimento retilíneo e geralmente restrito a um grau de liberdade. São elementos fundamentais de uma máquina-ferramenta e constituem uma parte delicada da mesma, sendo responsáveis por guiar a ferramenta na região de corte. Como todas as demais partes de uma máquina ferramenta, estas devem ser construídas suficientemente rígidas para que as variações de forma que se originam da ação de forças estáticas e dinâmicas não venham a exceder os limites estabelecidos, prejudicando a exatidão geométrica e dimensional [STOETERAU, 1992].

As guias cilíndricas são as formas mais simples de guias lineares, encontradas em várias aplicações na mecânica de

precisão, tais como em unidades de disco flexíveis, impressoras e outros periféricos de computadores, bem como em máquinas-ferramentas e sistemas de medição [STOETERAU, 1992; KOENIG, 1990; THYER, 1994].

Seu uso em sistemas de precisão remonta ao final do século XIX, com o desenvolvimento do comparador Rogers-Bond (Figura 7) que, segundo a Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos, permitiu resolver o problema de medições exatas e uniformes. Este equipamento foi desenvolvido para resolver o problema de definição e reprodução do padrão polegada de dimensão, o qual apresentava variações entre os diversos fabricantes de máquinas nos Estados Unidos, em fins do século passado [MOORE, 1989].

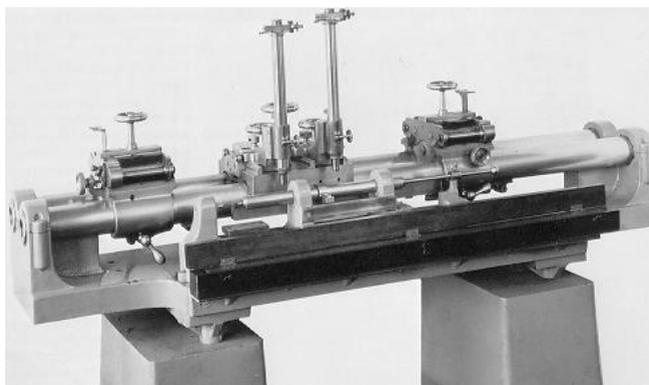


Figura 7 - Torno de Maudslay, início do século XIX
[Fonte: MOORE, 1989].

As guias de elementos rolantes em máquinas-ferramentas apresentam como principais vantagens:

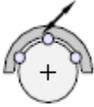
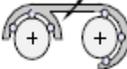
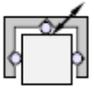
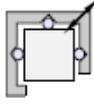
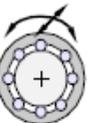
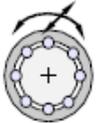
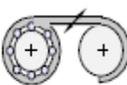
- Maior precisão de posicionamento;
- Maior velocidade de avanço, permitindo um aumento de produtividade de 20 a 30%;
- Exatidão pode ser mantida por longos períodos;
- Ausência de *stick-slip* (atrito em escala atômica);
- Fácil instalação e manutenção;
- Suavidade de movimento.

Os bons resultados apresentados pelas guias lineares com elementos rolantes devem-se às forças de suporte puramente elásticas, as quais são produzidas por deformação elástica de contato dos elementos rolantes. Contudo, estas guias apresentam um campo de utilização limitado, tanto pela rigidez possível de se obter, quanto pelo baixo ou inexistente amortecimento, o que diminui sua precisão no deslocamento [STOETERAU, 2004].

2.3.1 Classificação das Guias

Quanto à forma, as guias são classificadas em cilíndricas ou prismáticas. Independente da seção transversal ao eixo da guia, o elemento móvel pode envolvê-la completa ou parcialmente, o que complementa a classificação de forma através da denominação guia aberta ou fechada. O envolvimento completo assegura que este não seja arrancado da guia quando da translação por meio de uma rotação indesejada do elemento móvel [STOETERAU, 1992].

Tabela 3 - Principais guias de elementos rolantes internos

FORMA	CILINDRICAS			PRISMATICAS	
TIPO	ABERTAS		ABERTAS	PRISMATICAS	
RESTRIÇÃO	SEM	INTERNA	EXTERNA	SEM	COM
					
				—	

[Fonte: STOETERAU, 2004].

2.4 Porta Paralela

No início da década de 80, quando a IBM (*International Business Machines*) projetou o seu primeiro PC, desenvolveu juntamente uma interface, na época para controlar impressoras matriciais, utilizando um cabo de 25 condutores, como o apresentado na Figura 8. Este foi o surgimento da porta paralela LPT (*Line Print*

Terminal ou terminal de linha de impressão) que possuímos hoje, ainda presente na maioria dos computadores *Desktops* (computador de mesa). É uma das maneiras mais simples e primitiva de se transferir dados entre o computador e periféricos externos a curtas distâncias, e não se restringe as impressoras, podendo também comunicar-se com outros dispositivos, tais como *scanners* (equipamentos de digitalização de imagens e textos), unidades de CD (*Compact Disk*), entre outros. [ARTSOFT, 2006].

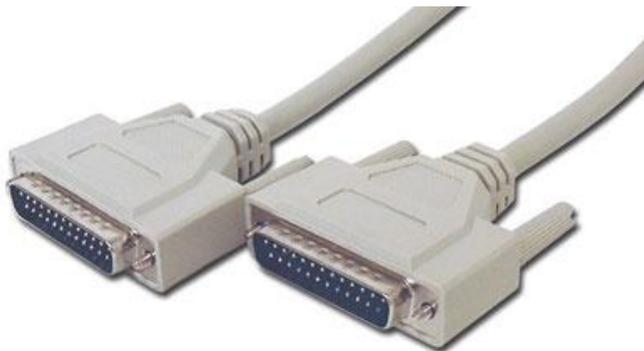


Figura 8 - Cabo DB25 macho-macho com 25 condutores independentes
[Fonte: www.cnc4pc.com, acesso em 23/04/2015].

2.4.1 Modos de Operação

TORRES (2001) afirma que existem basicamente três modos de operação da porta paralela:

- **Modo SPP (*Standard Parallel Port* ou *Porta Paralela Padrão*):** Modo de operação padrão, unidirecional com transferência máxima de 150 kB/s. Por suas limitações de velocidade e direção dos sinais, este modo não é mais utilizado, exceto em casos de compatibilidade com periféricos antigos.
- **Modo EPP (*Enhanced Parallel Port* ou *Porta Paralela Aprimorada*):** Modo de operação bidirecional com velocidade máxima teórica de 2 MB/s, porém normalmente limita-se em 800 kB/s.

A comunicação entre o processador e a porta é feita com 32 bits, porém a comunicação da porta com o dispositivo externo continua sendo feita a 8 bits por vez devido a limitação de vias de comunicação.

- **Modo ECP (*Extended Capabilities Port* ou **Porta com Capacidades Estendidas**):** Apesar da taxa de transferência máxima ser a mesma do modo EPP, o modo ECP tem grande vantagem em não sobrecarregar o processador, através de algumas técnicas, tais como:

Compactação de dados automática, onde é possível de reduzir em até 64 vezes o tamanho do dado através de algoritmo RLE (*Run Length Encoded* ou comprimento de percurso codificado).

Utilização do recurso DMA (*Direct Memory Access* ou acesso direto à memória) onde o *hardware* (parte física) da porta paralela pode acessar diretamente a memória do sistema para leitura e escrita, sem ação do processador, desta forma o processador não fica sobrecarregado com a transferência de dados.

A seleção do modo de operação, quando disponível, é feito na BIOS (*Basic Input and Output System* ou Sistema Básico de Entrada e Saída) do computador.

2.4.2 Endereçamento

Segundo TORRES (2001) e CRISTO (2009), o computador nomeia cada porta paralela através de rótulos determinados como LPT1, LPT2 e assim sucessivamente para cada porta física existente, sendo que a porta padrão é a LPT1, integrada a placa-mãe (*On-Board*). Para cada porta, há endereços I/O (*Input/Output* ou Entrada/Saída) reservados para a comunicação, e no caso da LPT1 os valores dos endereços (expressos na base hexadecimal, sufixo “h”) são os seguintes:

- 378 h: Enviar um *byte* de dados para a porta paralela;
- 379 h: Receber um *byte* de dados da porta paralela;
- 37A h: Enviar e receber sinais de controle.

É possível expandir o número de portas paralelas do computador adicionando placas de expansão externas à placa-mãe (*Off-Board*), conforme Figura 9.



Figura 9 - Porta paralela *Off-Board*
[Fonte: www.comtac.com.br, acesso em 23/04/2015].

Quando se adiciona portas extras, o rótulo e o intervalo de endereço destes variam de acordo com cada computador e fabricante destas placas *Off-Board*, estes dados são importantes e podem ser encontrados no gerenciador de *hardware* do sistema operacional. A esquerda da Figura 10 está o endereço da porta LPT1 (*On-board*) e à direita está o endereço da porta LPT2 (*Off-board*).

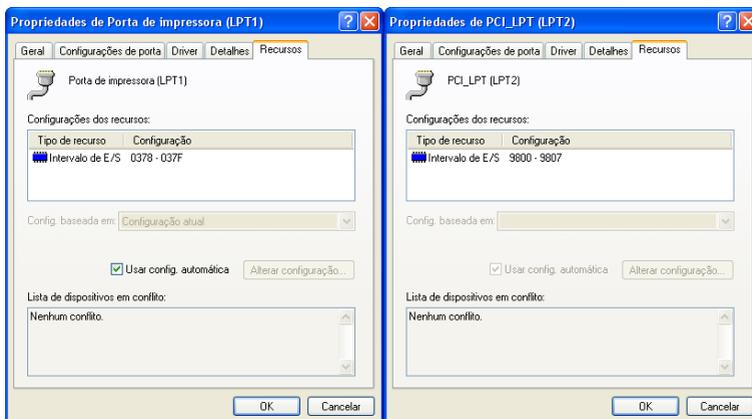


Figura 10 - Endereçamento das Portas Paralelas, fornecido pelo sistema [Fonte: Autores].

2.4.3 Linhas de Comunicação

A principal vantagem da transmissão paralela, como o próprio nome diz, é que se têm todos os *bits* ao mesmo tempo na entrada ou na saída do dispositivo, o que possibilita o controle simultâneo e independente das oito linhas de dados (entradas e/ou saídas), cinco linhas de status (entradas) e quatro linhas de controle (saídas). [CRISTO, 2009].

A Figura 11 explana cada linha de comunicação existente no conector DB25 da porta paralela, definido pela norma IEEE 1284 de 1994, no ponto de vista do computador.

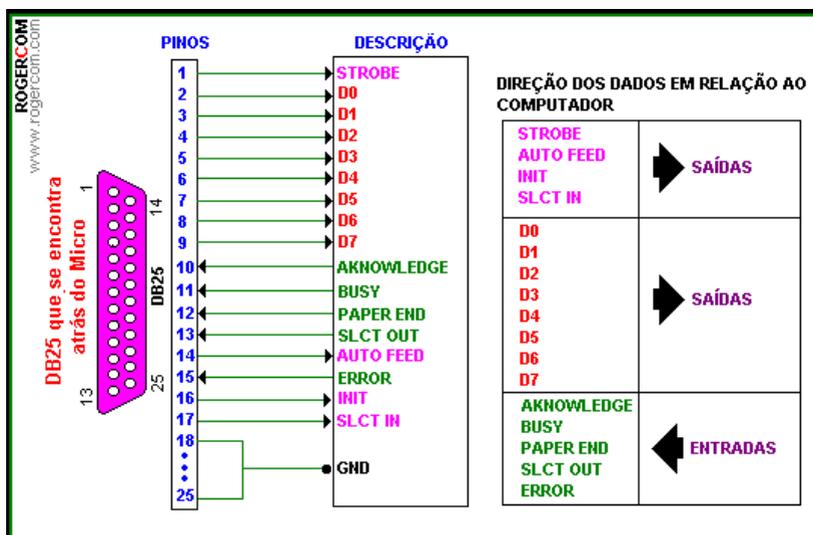


Figura 11 - Identificação das linhas de comunicação da porta paralela
[Fonte: www.rogercom.com, acesso em 23/04/2015].

2.4.4 Características Elétricas

Segundo BRAGA (2001), a porta paralela utiliza lógica digital, possuindo somente dois níveis de tensão, nível baixo 0V e nível alto 5V. É capaz de fornecer (*sourcing*) 2mA ou drenar (*draining*) 24mA individualmente em cada linha, havendo variações entre diferentes modelos de computador. Nota-se que são sinais de baixa potência e suscetíveis a um grande problema enfrentado ao projetar circuitos ligados a porta paralela, que é a sensível queda de tensão ocasionada pelo aumento da corrente exigida, ou seja, o sinal nível alto que deveria ser de 5V, cai ao ponto em que o circuito externo não consegue mais ser acionado. A Figura 12 apresenta este efeito.

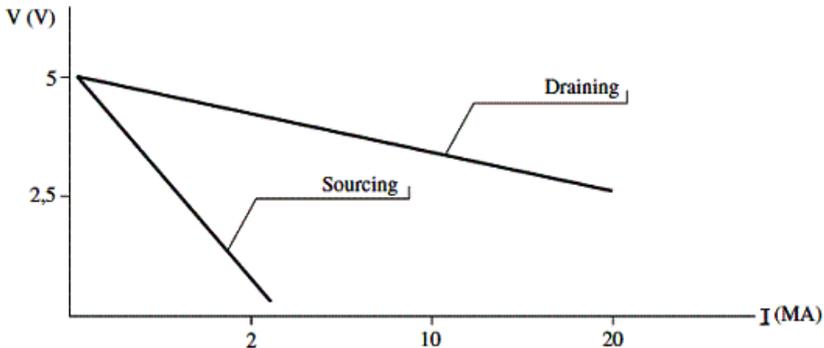


Figura 12 - Capacidades elétricas da porta paralela
 [Fonte: www.newtonbraga.com.br, acesso em 25/04/2015].

Este fenômeno é agravado ao utilizar frequências elevadas, que atenuam ainda mais os sinais, nestes casos é comum o emprego de circuitos integrados chamados de *buffers* (seguidores de tensão isolados).

2.4.5 Isolação Óptica das Linhas de Comunicação

Devido a fragilidade dos diversos componentes semicondutores presentes no computador, onde até mesmo uma pequena descarga eletrostática pode causar danos permanentes, BRAGA (2001) aconselha a utilização de componentes apropriados que façam a isolação entre o computador e qualquer circuito externo.

No contexto da porta paralela, o componente com função isolante que melhor se adapta a esta situação é o opto-acoplador, pois trabalha com baixa potência e pode atingir frequências elevadas.

O isolamento típico de um opto-acoplador é da ordem de 7000 Volts, ou seja, se houver algum acidente no circuito externo, o computador estará perfeitamente seguro. [BRAGA, 2001].

Opto-acoplador é um conjugado de dois componentes eletrônicos, sendo um emissor e outro receptor, montados no mesmo chip.

O emissor é um LED (*Light Emitting Diode* ou diodo emissor de luz) especial, que emite luz infravermelha quando polarizado diretamente.

Para o receptor, podem ser empregados diferentes tipos de componentes fotossensíveis, tais como foto-diodo, foto-transistor, foto-DIAC entre outros, que possuem a mesma lógica de comutar a saída de acordo incidência de luz infravermelha sobre si.

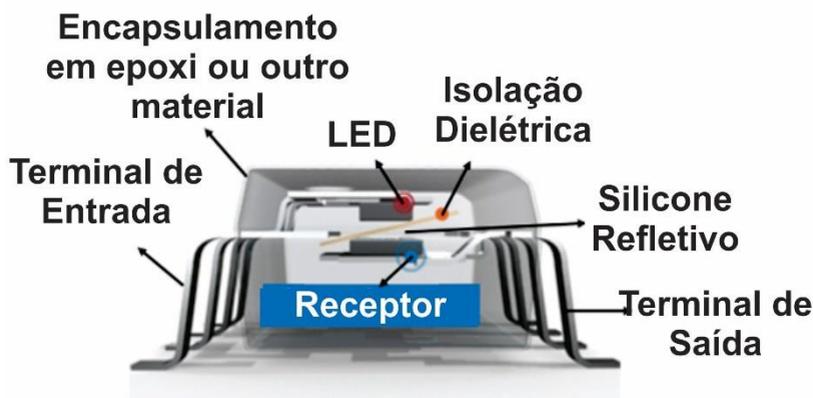


Figura 13 - Anatomia de um opto-acoplador

[Fonte: Traduzido de www.electronicdesign.com, acesso em 25/04/2015].

Para isolação dos sinais digitais da porta paralela utiliza-se o opto-acoplador conjugado LED e foto-transistor, operando na região de corte.

2.5 Motor de Passo

O motor de passo foi inventado pelo engenheiro francês Marius Lavet no ano de 1936, e, de acordo com PAZOS (2002), este é um tipo particular de motor que proporciona a movimentação do rotor em incrementos angulares discretos, controlados por impulsos elétricos sequenciais aplicados nas bobinas do estator. Ao contrário dos motores de corrente contínua, o motor de passo não utiliza elementos de comutação (coletor e escovas).

É denominado “passo” um incremento angular gerado por um impulso, e o valor em graus deste deslocamento está

diretamente relacionado a forma de acionamento e às características construtivas do motor.

Devido ao fato de que um passo do motor tenha um deslocamento angular conhecido e muito preciso (erro máximo de 5% não cumulativo), este motor se adapta muito bem ao controle digital, e, segundo CRISTO (2009), é comum o emprego de controle em malha aberta, pois a configuração prévia de características dos equipamentos é suficiente para gerar a movimentação necessária.

Os motores de passo, por possuírem alta dinâmica, atingem elevadas taxas de aceleração, partindo da inércia até a velocidade máxima quase que instantaneamente, o mesmo ocorre na mudança do sentido de rotação ou frenagem.

Devido as várias versatilidades do motor de passo, torna-se possível sua aplicação em diversos dispositivos de informática, tais como, impressoras e drives de disco rígido e também aplicações industriais em máquinas automatizadas.



Figura 14 - Motor de passo NEMA34

[Fonte: www.automationtechnologiesinc.com, acesso em 26/04/2015].

2.5.1 Tipos de Motor de Passo

Antes de projetar qualquer mecanismo que exija um acionamento através de motor de passo, faz-se necessário conhecer os diferentes tipos de motores de passo, para então selecionar aquele que melhor se adequa a situação.

Existem três tipos básicos: **motor de relutância variável**, **motor de imã permanente** e **motor híbrido**. A diferença entre eles pode ser observada na forma de construção e material do rotor (parte móvel), e também no arranjo das bobinas no estator (parte estática). [CONDIT e JONES, 2004].

2.5.1.1 Motor de Relutância Variável

Relutância magnética é a oposição na circulação de fluxo magnético através dos materiais, é um caso peculiar de cada elemento, sendo que os ferrosos possuem menor relutância, ou seja, maior facilidade para circulação de fluxo magnético.

Os motores de relutância variável têm o rotor confeccionado em ferro doce (baixa relutância) com múltiplos dentes, e o estator possui de três a cinco bobinas conectadas a um terminal comum. A Figura 15 exemplifica um motor de 30 graus por passo, com três bobinas no estator (idênticas a bobina indicada por A-A'). [CONDIT e JONES, 2004].

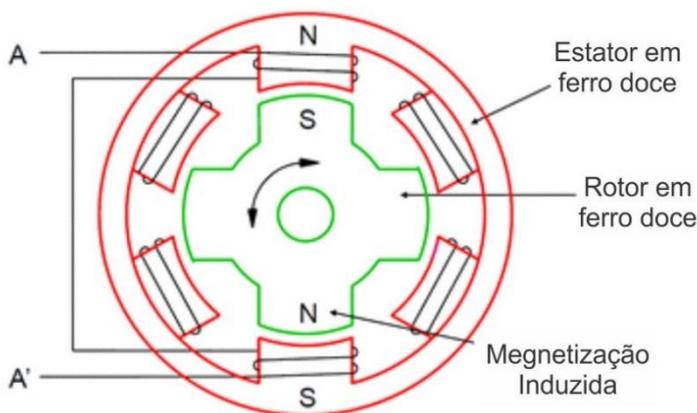


Figura 15 - Diagrama de um motor de passo de relutância variável
[Fonte: Traduzido de GRIMBLEBY, 2008].

Os dentes do rotor são atraídos para a bobina A, quando energizada. Esta atração é causada pelo caminho de fluxo magnético formado entre a bobina e o rotor. O rotor se alinha com a bobina energizada, para minimizar este caminho e durante o alinhamento há variação na relutância magnética até o menor

valor possível quando o alinhamento for completo, ou seja, menor distância entre o dente do rotor e os pólos da bobina energizada.

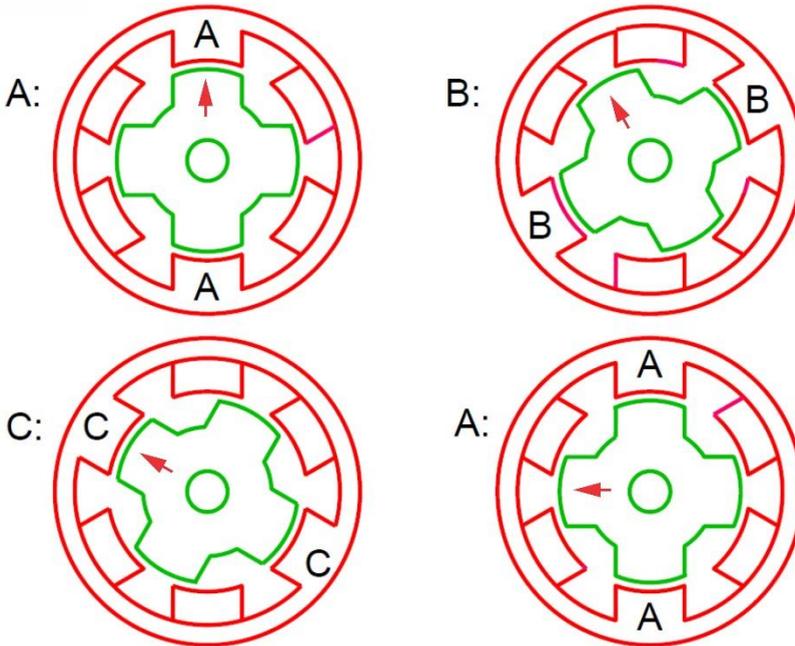


Figura 16 - Rotação no sentido anti-horário motor de relutância variável
[Fonte: GRIMBLEBY, 2008].

Para movimentação do rotor no sentido anti-horário, deve-se acionar as bobinas na sequência $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$, conforme mostra a Figura 16. Neste caso foram executados três passos, e uma movimentação final de 90° .

A movimentação no sentido-horário é feita em sequência inversa, ou seja, $A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$.

O deslocamento angular de um passo α_s pode ser calculado através do número de dentes do rotor N_D e do número de bobinas no estator N_B , conforme a equação 1:

$$\alpha_s = \frac{360}{N_D N_B} \quad (1)$$

A resolução do motor de passo de relutância variável pode ser ampliada através do aumento de dentes no rotor e/ou através do aumento do número de bobinas.

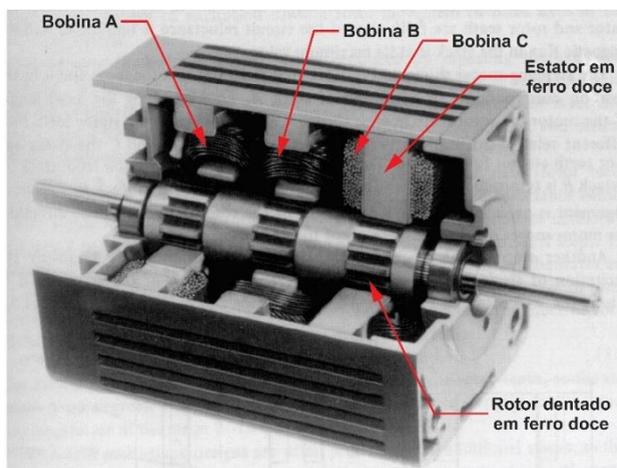


Figura 17 - Vista em corte de um motor de relutância variável [Fonte: GRIMBLEBY, 2008].

A Figura 17 mostra um motor de relutância variável em corte, nota-se o alinhamento nos dentes do rotor e a defasagem entre as bobinas no estator, condições necessárias para o funcionamento.

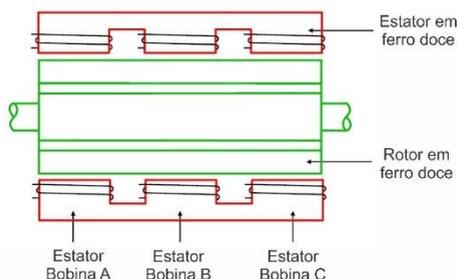


Figura 18 - Disposição das bobinas em um motor de relutância variável [Fonte: Traduzido de GRIMBLEBY, 2008].

2.5.1.2 Motor de Ímã Permanente

Neste tipo de motor, o eixo do rotor é cilíndrico e liso (não possui “dentes”), com ímãs permanentes posicionados de maneira que formem pólos magnéticos no próprio rotor. As bobinas são dispostas em um estator fabricado em ferro doce, conforme Figura 19.

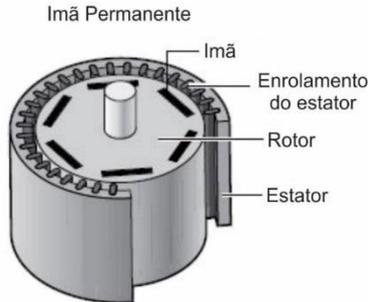


Figura 19 - Forma construtiva típica de um motor de ímã permanente
[Fonte: Traduzido de www.thefarsightlens.com, acesso em 09/05/2015].

A vantagem desta configuração em relação aos motores de relutância variável é o ganho de potência e torque na partida, devido a soma do campo magnético gerado nas bobinas do estator com o campo magnético permanente existente no rotor. Por outro lado, possuem passos de ângulos maiores, o que reduz a precisão do motor.

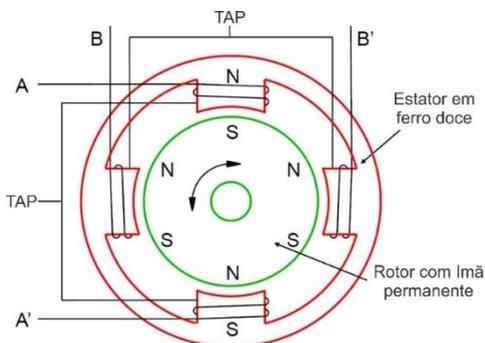


Figura 20 - Diagrama de um motor de passo de ímã permanente
[Fonte: Traduzido de GRIMBLEBY, 2008].

A Figura 20 ilustra um motor de ímã permanente típico, com duas bobinas com *tap* (derivação) central no estator e seis pólos

no rotor, provenientes dos ímãs permanentes. De acordo com GRIMBLEBY (2008), neste caso o deslocamento angular de um passo α_s se calcula através do número de pólos do rotor N_R e do número de pólos do estator N_E , através da equação 2:

$$\alpha_s = \frac{360}{N_R N_E} \quad (2)$$

Os motores de passo de ímã permanente podem possuir 4, 6, ou 8 fios para conexão, dependendo do tipo de acionamento a ser utilizado.

2.5.1.3 Motor Híbrido

O motor de passo híbrido une as qualidades do motor de relutância variável e motor de ímã permanente, proporcionando melhor desempenho e precisão, comumente atingindo passos com deslocamento de $1,8^\circ$ ou menor.

O rotor possui um ou mais conjunto de ímã permanente e dois discos dentados, Figura 21.

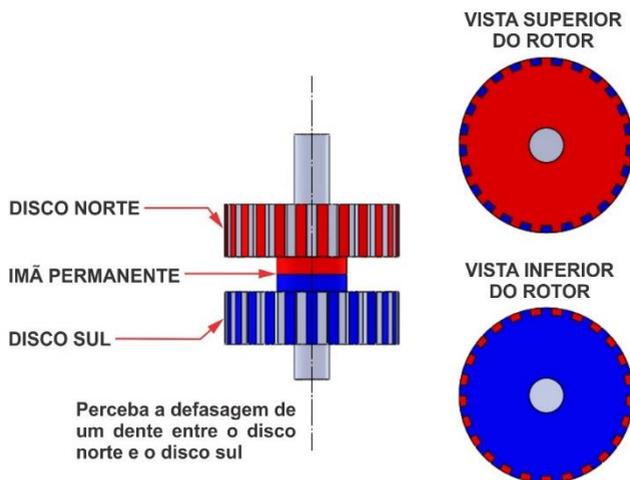


Figura 21 – Elementos do rotor de um motor Híbrido
[Fonte: Autores].

Nota-se na Figura 21 a presença de um ímã entre os discos dentados. Os discos são fabricados em ferro doce, material de alta

permeabilidade magnética, e, devido ao posicionamento estratégico dos discos nas extremidades de concentração dos pólos magnéticos do ímã permanente, um disco é magnetizado com o pólo norte (vermelho) e o outro com o pólo sul (azul).

A defasagem de um dente, existente entre um disco e outro é apresentada na Figura 22, à esquerda. [GRIMBLEBY, 2008].

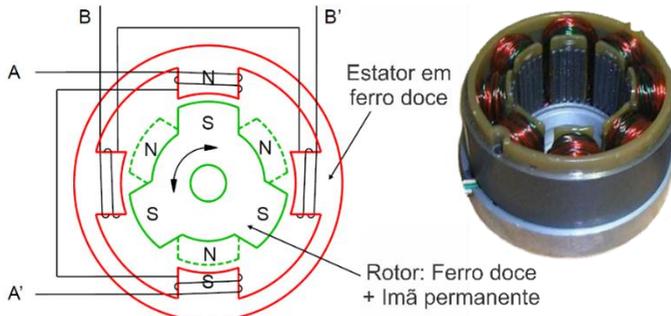


Figura 22 - Diagrama e estator de um motor híbrido
[Fonte: GRIMBLEBY, 2008 e www.edn.com, acesso em 09/05/2015].

A disposição das bobinas (Figura 22, direita) é feita de forma paralela ao rotor, nota-se que também há dentes nos pólos do estator. A Figura 23 detalha uma vista em corte de um motor híbrido com dois conjuntos (ímã + 2 discos, Figura 21) no rotor, proporcionando um aumento no torque.

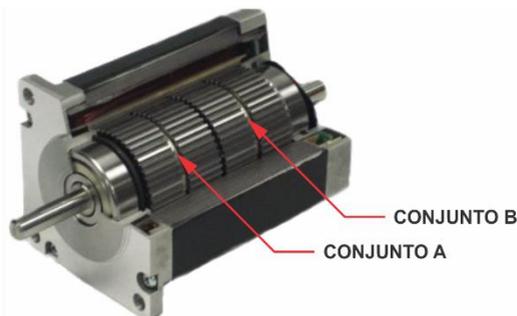


Figura 23 - Vista em corte de um motor híbrido
[Fonte: www.mcu-turkey.com, acesso em 09/05/2015].

Os motores híbridos, em sua forma de acionamento são semelhantes aos motores de imã permanente e também possuem 4, 6 ou 8 fios para ligação.

Segundo GRIMBLEBY (2008), o deslocamento angular de um passo α_s em graus, pode ser obtido através da equação 3, onde ρ é o número de dentes de um disco.

$$\alpha_s = \frac{90}{\rho} \quad (3)$$

2.5.2 Formas de Acionamento

Os motores de passo híbridos e de imã permanente possuem as mesmas formas de acionamento e serão detalhadas nesta seção.

A Figura 24 explana as possíveis configurações de acordo com a quantidade de fios de ligação disponíveis no motor. É necessário conhecer as ligações internas do motor antes de adotar uma topologia de acionamento.

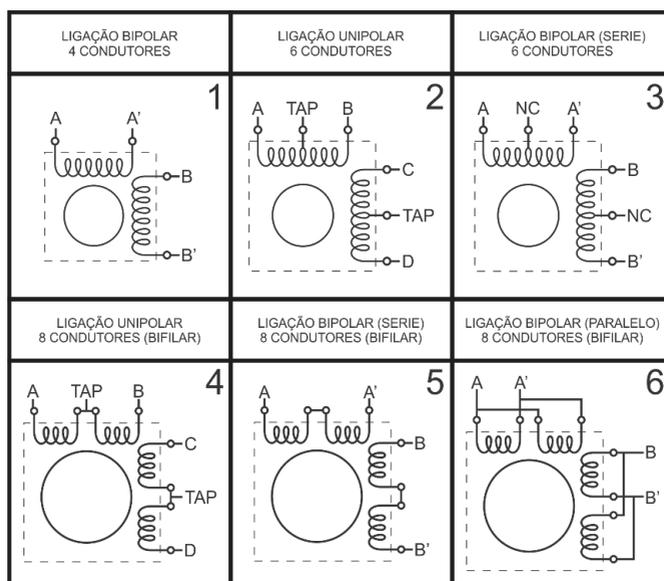


Figura 24 - Diagrama de conexão de fios
[Fonte: Autores].

A corrente nominal do motor é referente ao acionamento unipolar, para acionamento bipolar série utiliza-se 70% a 75% do valor de corrente nominal e para o acionamento bipolar paralelo utiliza-se 130% a 140%. [CRAVO, 2015].

2.5.2.1 Acionamento Unipolar

O acionamento unipolar é a forma mais simples de movimentar um motor de passo. Requer apenas o acionamento sequencial das bobinas sem reversão de corrente, simplificando o *hardware* de potência. Neste caso é necessário que o motor possua derivação central nas bobinas (*TAP* central, exemplo 2 da Figura 24) ou que possua bobinas isoladas, exemplo 4 da Figura 24. Neste caso há quatro bobinas, denominadas de fases, e normalmente o ponto comum das bobinas é ligado ao pólo positivo da fonte.

Há três métodos básicos de acionamento unipolar, o **meio passo**, o **passo completo simples** e o **passo completo com dupla excitação**. A Tabela 4 e a Figura 25 detalham cada etapa da sequência de acionamento em meio passo.

Tabela 4 - Acionamento Unipolar em meio passo (*half step*)

ACIONAMENTO UNIPOLAR MEIO PASSO					
		BOBINAS			
		A	B	C	D
PASSO	1	ON	OFF	OFF	OFF
	2	ON	ON	OFF	OFF
	3	OFF	ON	OFF	OFF
	4	OFF	ON	ON	OFF
	5	OFF	OFF	ON	OFF
	6	OFF	OFF	ON	ON
	7	OFF	OFF	OFF	ON
	8	ON	OFF	OFF	ON

Sentido Horário

Sentido Anti-Horário

[Fonte: Autores].

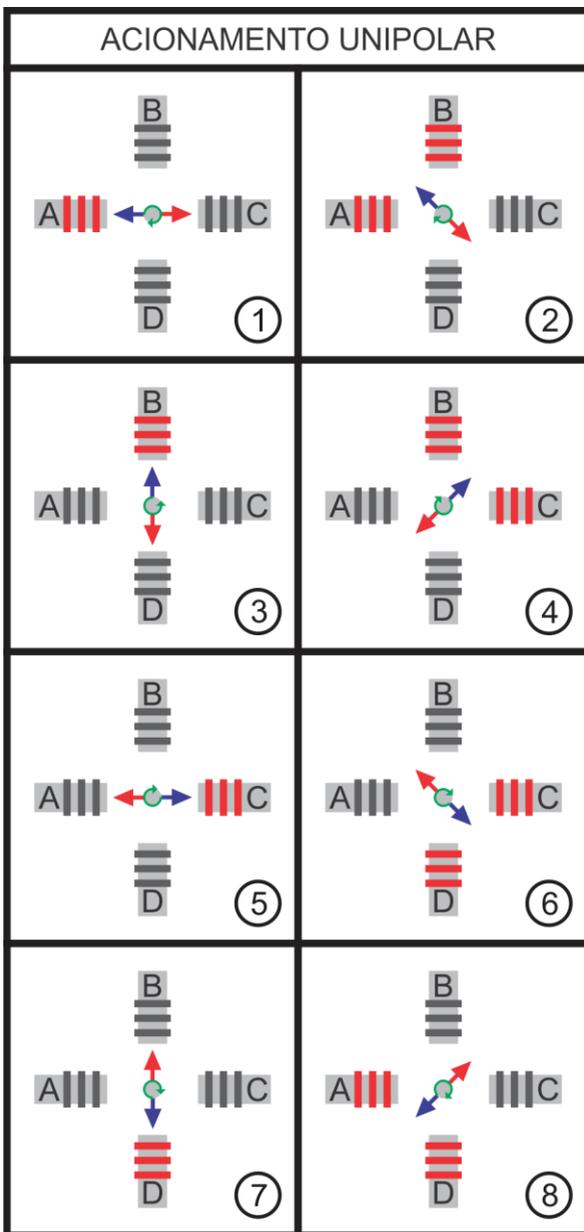


Figura 25 - Acionamento Unipolar em meio passo (*half step*) sentido horário
[Fonte: Autores].

A movimentação do eixo ocorre em **meio passo** no sentido horário para a sequência crescente dos passos $1 \rightarrow 2 \rightarrow (\dots) \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 1 \rightarrow (\dots)$ e no sentido anti-horário para a sequência inversa (decrecente) dos passos $8 \rightarrow 7 \rightarrow (\dots) \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 8 \rightarrow (\dots)$ conforme detalhado na Tabela 4. Esta forma de acionamento possibilita o aumento na resolução do motor, dividindo ao meio o deslocamento angular de um passo, conseqüentemente dobrando o número de passos por revolução.

Já no acionamento em **passo completo simples** (*wave drive*), executa-se somente os passos ímpares da Tabela 4. A movimentação do eixo será no sentido horário para a sequência crescente dos passos $1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 7 \rightarrow 1 \rightarrow (\dots)$ e anti-horário para a sequência inversa (decrecente) dos passos $7 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 1 \rightarrow 7 \rightarrow (\dots)$. Neste caso, somente uma fase é energizada por vez.

O acionamento em **passo completo de dupla excitação** (*normal drive*) proporciona maior torque por sempre manter duas fases energizadas, também é derivado do acionamento em meio passo, porém, executando-se somente os passos pares da Tabela 4. Da mesma maneira que os dois casos já citados, o sentido de rotação é horário para a sequência crescente dos passos $2 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 8 \rightarrow 2 \rightarrow (\dots)$ e anti-horária para a sequência inversa (decrecente) $8 \rightarrow 6 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 8 \rightarrow (\dots)$.

2.5.2.2 Acionamento Bipolar

O acionamento Bipolar, como o próprio nome diz, consiste na formação de um bi-pólo útil ao rotor em cada uma das duas bobinas. Segundo CONDIT e JONES (2004), o acionamento bipolar proporciona um aumento de até 30% no torque, em relação ao acionamento unipolar. Isto é obtido com a energização inteira da bobina, sem utilizar derivação central, desta forma, no acionamento bipolar há somente duas fases. A Figura 24 mostra as formas de ligação do motor para o acionamento bipolar, nos motores bifilares de oito fios (bobinas isoladas) é possível fazer a ligação das bobinas em série (maior torque inicial) ou em paralelo (maior velocidade final). [CONDIT e JONES, 2004].

De maneira similar ao acionamento unipolar, há também três métodos básicos de acionamento bipolar, o **meio passo**, o

passo completo simples, e o **passo completo de dupla excitação**.

Tabela 5 - Acionamento Bipolar em meio passo (*half step*)

ACIONAMENTO BIPOLAR MEIO PASSO					
		BOBINAS			
		A	A'	B	B'
PASSO	1	+	-	OFF	
	2	+	-	+	-
	3	OFF		+	-
	4	-	+	+	-
	5	-	+	OFF	
	6	-	+	-	+
	7	OFF		-	+
	8	+	-	-	+

Sentido Horário

Sentido Anti-Horário

[Fonte: Autores].

É importante notar as polaridades das fases, exercendo atração e repulsão mutuamente no pólo norte (vermelho) e no pólo sul (azul) do rotor, Figura 26.

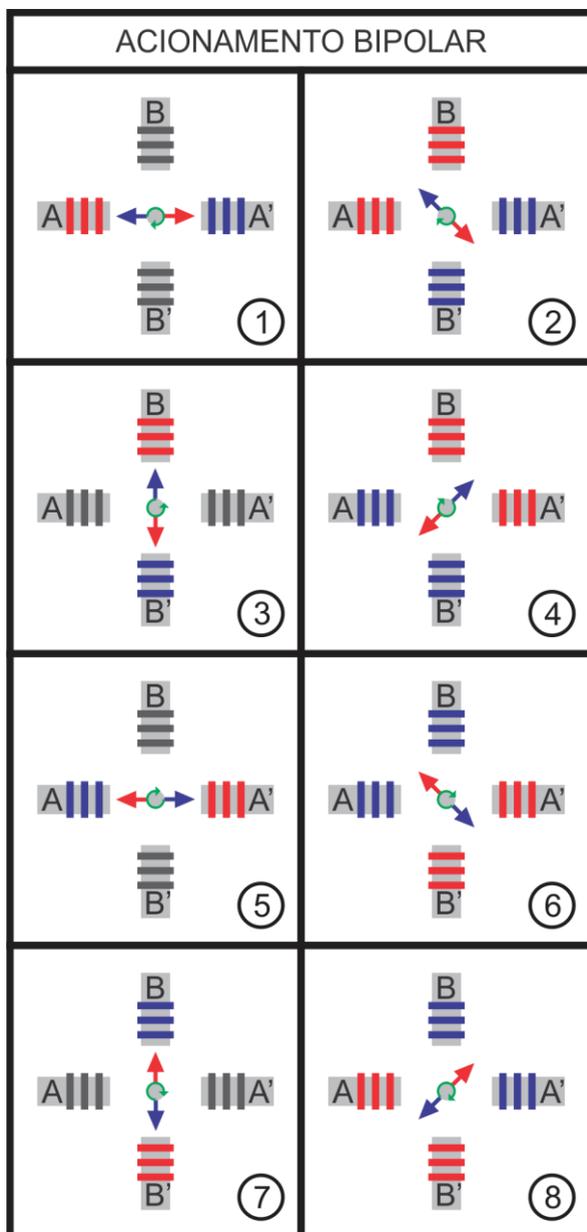


Figura 26 - Acionamento Bipolar em meio passo (*half step*) sentido horário
[Fonte: Autores].

Nota-se na Tabela 5 e Figura 26 que o acionamento é em **meio passo** e a rotação do eixo é horária, seguindo a sequência de acionamento $1 \rightarrow 2 \rightarrow (\dots) \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 1 \rightarrow (\dots)$. Para inversão de sentido, basta inverter a sequência para $8 \rightarrow 7 \rightarrow (\dots) \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 8 \rightarrow (\dots)$.

O acionamento em **passo completo simples** (*wave drive*) é derivado do acionamento em meio passo, neste caso se executa apenas os passos ímpares 1, 3, 5 e 7 da Tabela 5. O movimento será horário na sequência de acionamento $1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 7 \rightarrow 1 \rightarrow (\dots)$, e conseqüentemente anti-horária na sequência inversa, $7 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 1 \rightarrow 7 \rightarrow (\dots)$. Percebe-se, que nos passos ímpares, somente uma bobina está energizada por vez, o que reduz o consumo e o torque do motor.

Já no caso do acionamento em **passo completo de dupla excitação** (*normal drive*), que também é derivado do acionamento em meio passo, executa-se somente os passos pares 2, 4, 6 e 8. O sentido do eixo também é horário na sequência crescente dos passos $2 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 8 \rightarrow 2 \rightarrow (\dots)$ e anti-horário na sequência decrescente $8 \rightarrow 6 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 8 \rightarrow (\dots)$. Esta forma de acionamento, por sempre manter as duas bobinas completamente energizadas, é a que proporciona maior torque a um motor de passo.

Nestes três casos, há necessidade de inversão no sentido de circulação da corrente elétrica através das bobinas, que possibilitem a inversão dos pólos magnéticos das duas fases. Esta é a desvantagem do acionamento bipolar, pois requer um *hardware* de maior volume e complexidade, ocasionando elevação no custo do driver de acionamento.

3 DESENVOLVIMENTO

Neste tópico será detalhado todo o desenvolvimento do projeto e da fabricação da máquina. Para facilitar a compreensão, este foi dividido em quatro subitens, com ênfase específica nas áreas da mecânica (estrutura da máquina), da eletrônica (placas de interface e drivers de acionamento), da elétrica (painel de comando e fontes de alimentação) e informática (computador e *software* de controle).

3.1 Estrutura Mecânica

Uma máquina-ferramenta do tipo fresadora requer uma estrutura rígida, que forneça sustentação e elementos de máquina que proporcionem transmissão e conversão de potência mecânica em uma movimentação precisa, com a menor folga possível. Todos elementos de movimentação foram obtidos através de doação, desta forma, o projeto teve que ser baseado nestes componentes, o que aliviou o orçamento do projeto.

Foi traçado um conjunto básico de requisitos que a máquina deverá atender:

- Área de usinagem útil: 200 x 200 mm;
- Velocidade de avanço: 1000 mm/s;
- Dimensão externa: 600 x 600 x 600 mm;
- Baixo custo;
- Baixo peso.

3.1.1 Projeto e Modelamento Estrutural

Antes de iniciar a fabricação das peças da fresadora, foram feitas análises em máquinas similares já existentes, que possibilitaram a concepção do projeto, para então iniciar a etapa de modelamento.

O *software* utilizado para o modelamento tridimensional, em ambiente virtual, de toda a estrutura foi o *SolidWorks®*, devido a sua facilidade de operação e alterações de projeto. Este *software* disponibiliza uma grande quantidade de recursos para auxiliar o modelamento, fornecendo juntamente, uma imensa biblioteca de

componentes padronizados previamente modelados (parafusos, porcas, rolamentos, etc.).

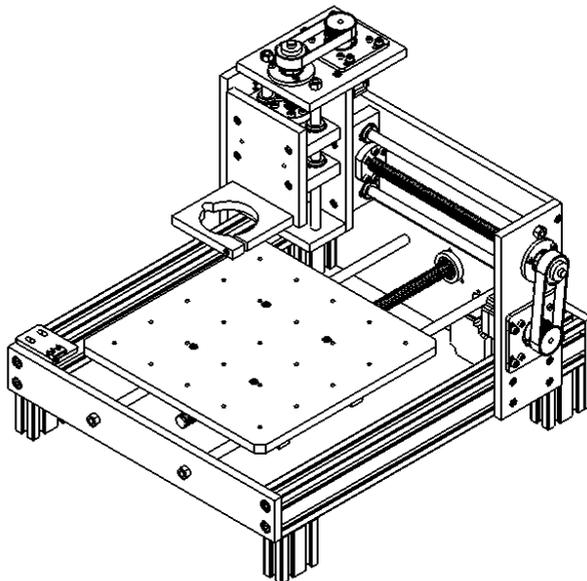


Figura 27 - Vista isométrica do projeto 2D, montagem final
[Fonte: Autores].

Cada peça foi modelada individualmente. Em seguida foram montadas em subconjuntos: barramento x, montante motor, mesa x, barramento y, barramento z, mesa barramento z, fuso barramento x, fuso barramento y, fuso barramento z até atingirem a montagem final, conforme Figura 27. A vantagem de utilizar um sistema CAD 3D está na análise de interferência. Este módulo no CAD verifica a interferência de ajuste e o deslocamento entre furos, eixos e peças montadas. É possível realizar simulação de movimentações neste ambiente virtual, fazendo com que o projeto tenha uma alta probabilidade de sucesso.

A partir do projeto modelado, obtivemos a pré-visualização da máquina Figura 28, antes de iniciar a fabricação.

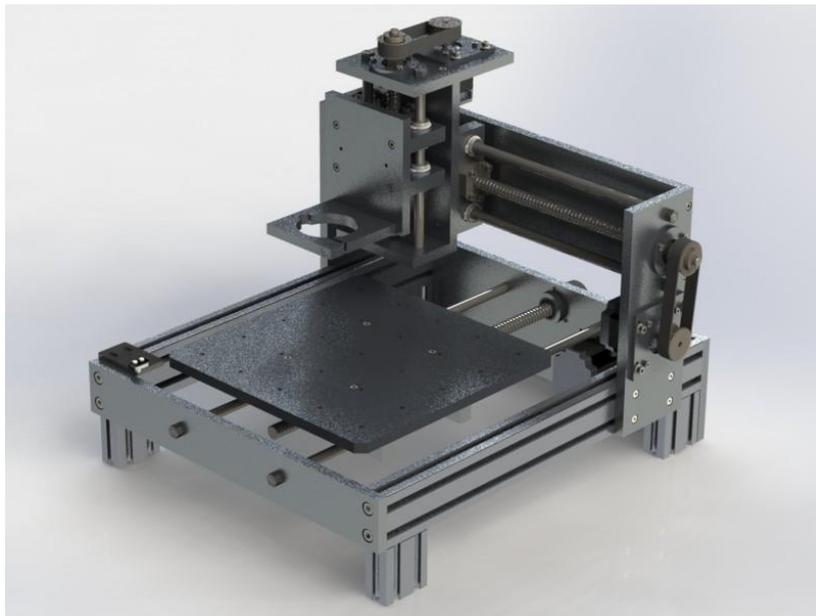


Figura 28 - Imagem renderizada do modelamento da máquina
[Fonte: Autores].

Neste ponto já é conhecido a quantidade necessária de materiais e componentes, otimizando a compra da matéria-prima.

Outra característica importante do *software*, é a facilidade na obtenção dos desenhos em duas dimensões a partir das peças modeladas em 3D, com alto nível de detalhamento e vistas em corte (Figura 29). Estas informações foram extremamente importantes para agilizar o processo de fabricação.

Na Figura 29 são detalhados todos os componentes envolvidos na movimentação de um eixo, no caso o eixo X. A forma construtiva dos demais eixos é idêntica, diferindo apenas em comprimento.

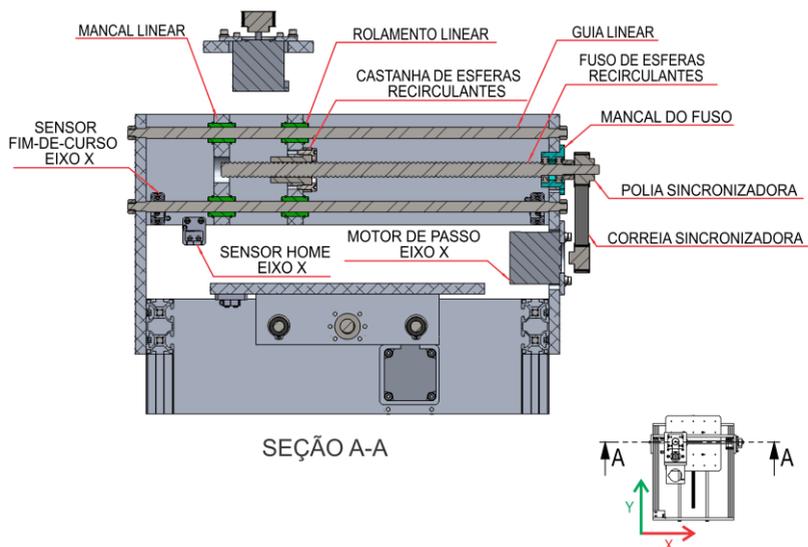


Figura 29 - Desenho da fresadora em corte
[Fonte: Autores].

3.1.2 Sistema de Deslizamento

O sistema de deslizamento de cada eixo é composto de duas guias lineares cilíndricas, fixadas na estrutura através de porcas nas extremidades, conforme Figura 29 e Figura 30. As guias lineares utilizadas possuem diâmetro de 12mm, fabricadas em barras de aço 1045 temperadas e com cementação superficial, que proporcionam alta rigidez e resistência ao desgaste.

Por sobre as guias deslizam os rolamentos lineares, LME-12UU que são montados nos mancais de deslizamento linear de cada eixo. Este mancal foi projetado e executado para não haver folga, desalinhamento nem interferência. Por garantia, para que o rolamento não se desprenda do mancal, foram adicionados anéis elásticos 21x1,2 nos canais já existentes para esta finalidade em cada rolamento, sendo um em cada extremidade.

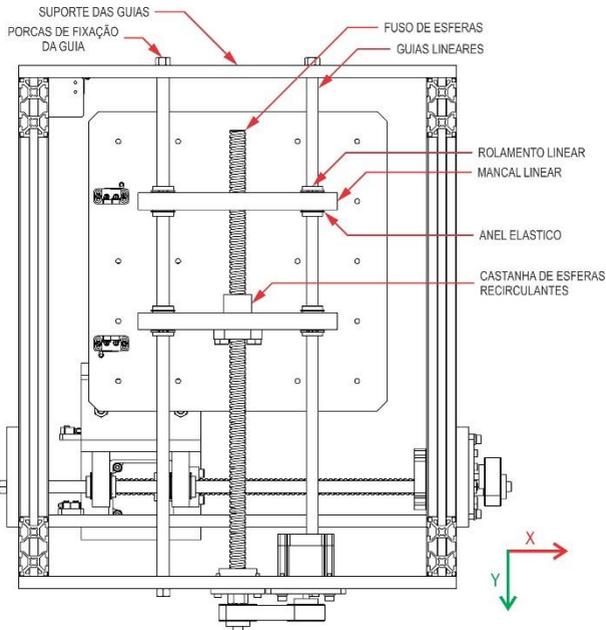


Figura 30 - Vista inferior da fresadora, sistema de deslizamento eixo Y [Fonte: Autores].

3.1.3 Transmissão de Potência Mecânica

Para o acoplamento entre motor e fuso foram utilizadas polias e correias sincronizadoras, Figura 31. Este sistema possibilitou montar os motores na parte interna da máquina, proporcionando redução de tamanho. Mas a grande vantagem, pelo qual foram utilizadas, é que permitem um pequeno desalinhamento entre o motor e o fuso sem comprometer a precisão, devido à presença de dentes nas polias e correias.

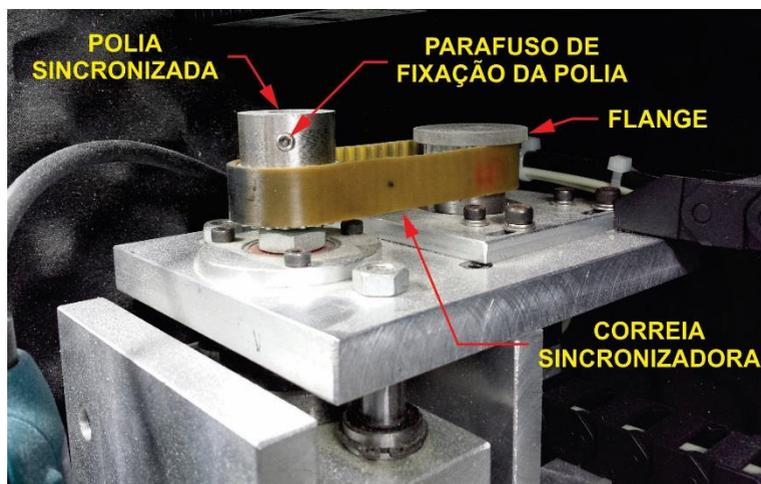


Figura 31 - Transmissão motor-fuso eixo Z
[Fonte: Autores].

Devido a sua geometria plana, nota-se na Figura 31, a presença de um flange na polia do motor, garantindo que a correia não escape.

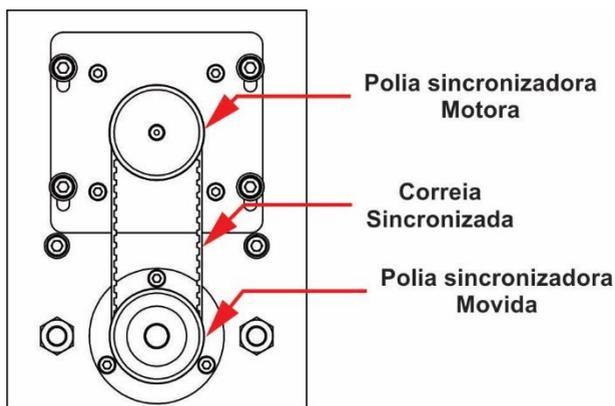


Figura 32 – Desenho de projeto da transmissão motor-fuso eixo Z
[Fonte: Autores].

A relação nesta transmissão é de 1:1, desta forma o número de dentes da polia movida (do fuso) é o mesmo da polia motora (do motor). As polias são fixadas nos assentos dos eixos dos

motores e fusos através de parafusos Allen sem cabeça. Todas as polias possuem 16mm de largura, com 22 dentes e passo de 5mm. As correias sincronizadoras possuem a mesma largura e passo que as polias, variando apenas o comprimento para cada eixo.

3.1.4 Conversão de Movimento

A movimentação dos eixos da máquina é linear, desta forma é necessário transformar o movimento de rotação dos motores de passo em deslocamentos lineares. Para esta importante tarefa foram empregados fusos de esferas recirculantes, obtidos através de doação. Este tipo de fuso proporcionou a conversão de movimento com mínima folga e baixo atrito, semelhantes aos rolamentos radiais, resultando em alto rendimento, dissipando somente 2% da potência mecânica gerada pelo motor, conforme Figura 4.

Os fusos utilizados são fabricados em aço 1045 laminado, temperado, retificado e tratamento superficial de cromo duro. Possuem diâmetro de 16mm e passo de 5mm nos três eixos, alterando apenas o comprimento em 439mm, 350mm e 177mm respectivamente para os eixos X, Y e Z.

Nota-se ainda na Figura 30 que para a movimentação linear do eixo é necessário que a castanha de esferas recirculantes esteja fixa em um dos dois mancais lineares. Ao rotacionar o fuso o eixo se desloca linearmente, devido ao fato de as guias lineares possuírem somente um grau de liberdade.

3.1.4.1 Mancal do Fuso

Segundo o fabricante dos fusos utilizados, *Rosa Sistemi SPA®*, é possível utilizar mancal em apenas uma extremidade do fuso, deixando a outra em suspensão, Figura 30. Essa técnica foi empregada pois não houve a possibilidade de escolha do comprimento dos fusos recebidos por doação. Caso utilizássemos mancais nas duas extremidades, a área útil de usinagem seria drasticamente reduzida em 95x65x15 mm, respectivamente nos eixos X, Y e Z.

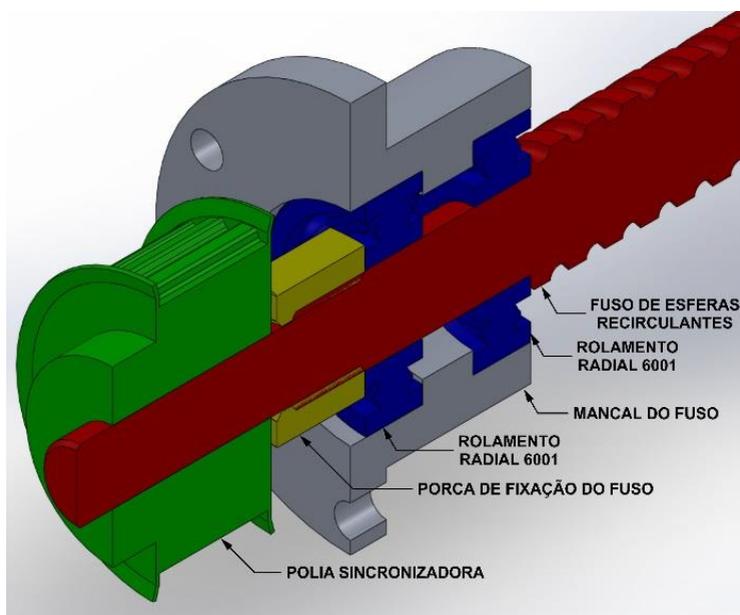


Figura 33 - Vista em corte do mancal do fuso
[Fonte: Autores].

A Figura 33 mostra o mancal desenvolvido, de acordo com as indicações do fabricante dos fusos, para casos de apoio individual. Nota-se que o mancal possui dois rolamentos 6001 DIN-625 para acomodar corretamente o fuso.

3.1.4.2 Resolução da Máquina

Resolução da máquina é o menor deslocamento possível de um eixo. Esta característica está associada a três fatores:

- Passo do fuso de esferas;
- Relação da transmissão de potência;
- Resolução do motor de passo (quantidade de passos para uma revolução).

De acordo com o objetivo principal da máquina, que é a usinagem de placas de circuito impresso compatível com a tecnologia SMT, é importante que a resolução possua o menor

valor possível. A resolução é igual para os três eixos, podendo ser calculada com a equação 4:

$$R_E = \frac{P_F \cdot R_T}{Q_{PM}} \quad (4)$$

Onde:

R_E = Resolução do eixo em milímetros;

P_F = Passo do fuso em milímetros;

R_T = Relação da transmissão de potência;

Q_{PM} = Quantidade de passos do motor para uma revolução exata do motor.

Sabendo que:

$P_F = 5$ mm;

$R_T = 1$;

$Q_{PM} = 400$ (mais detalhes nos tópicos 3.2.2.1 e 3.2.2.3).

Substituindo os valores na equação 4 temos:

$$R_E = \frac{5 \cdot 1}{400} = 0,0125 \text{ mm} \quad (5)$$

3.1.5 Fabricação

O material utilizado nos elementos estruturais foi o alumínio, devido ao seu peso reduzido (2,70 g/cm³), comparado ao aço (7,85 g/cm³) e suas propriedades mecânicas que otimizam a fabricação, visto que o principal processo de fabricação adotado foi a usinagem.

Antes de iniciar a fabricação dos componentes mecânicos foi realizado um estudo dos desenhos técnicos analisando as medidas críticas, ajustes e tolerâncias precisas, determinando assim o processo de fabricação adequado para cada componente.

As peças que demandavam ajustes mecânicos precisos H7 e g6, conforme norma ABNT NBR-6158:1995, foram usinadas em centro de usinagem CNC, conforme ilustra a Figura 34. Isto possibilitou o alinhamento preciso das guias lineares e fusos.



Figura 34 - Fabricação de peças em fresadora CNC (centro de usinagem)
[Fonte: Autores].

Peças com dimensão acima de 240 mm, que apresentaram dificuldade de fixação na morsa, também foram usinadas no centro de usinagem CNC, pois a fresadora convencional não garantia precisão no eixo Z, devido a folgas na movimentação da mesa, exigindo várias fixações.

Boa parte das peças foram fabricadas em máquinas convencionais, executando operações de furação e desbaste, Figura 35.

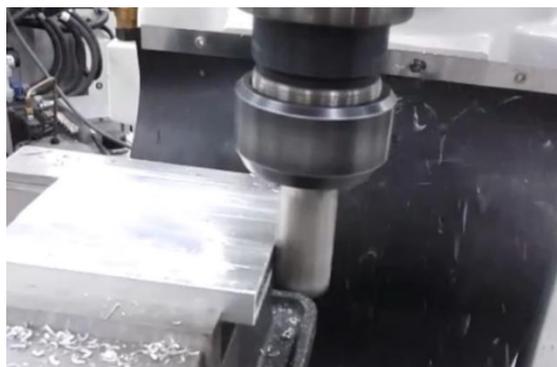


Figura 35 - Fabricação de peças em fresadora convencional
[Fonte: Autores].

Os elementos cilíndricos não possuíam perfil complexo, o que possibilitou a fabricação em torno um convencional, Figura 36.

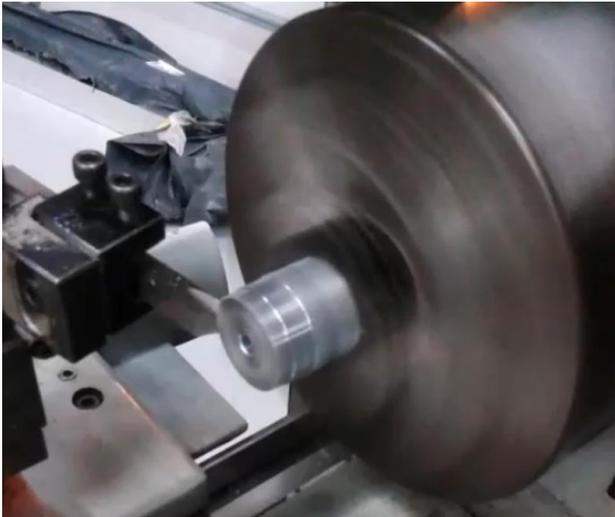


Figura 36 - Torneamento convencional (rebaixo de uma polia)
[Fonte: Autores].

As roscas internas foram usinadas manualmente com machos e desandador. As roscas externas das guias foram executadas manualmente com cossinete e tarraxa.



Figura 37 - Rosqueamento manual, parafuso de fixação da polia
[Fonte: Autores].

3.2 Projeto Eletrônico

Todo o *hardware* necessário para o controle da máquina (exceto o computador e as fontes de alimentação) foi inteiramente projetado e fabricado nesta ocasião. Abrange cinco placas eletrônicas, sendo duas semelhantes para interface entre o computador e a máquina, e três idênticas para o acionamento dos motores de passo, nomeadas de driver de acionamento.

Devido à alta densidade de componentes presente em cada placa eletrônica, houve a necessidade do uso de uma ferramenta de desenvolvimento prática e aprimorada, o *software Proteus®* da *Labcenter Eletronics®* em sua versão 7.8 SP2. Este *software* faz uma excelente integração entre o projeto do esquemático eletrônico (aplicativo ISIS®) e o desenho do *layout* da placa de circuito impresso (aplicativo ARES®), com ferramentas específicas para esta finalidade.

3.2.1 Interface Computador-Máquina

Como a quantidade de sinais envolvidos ultrapassa o limite de 17 linhas de comunicação de uma porta paralela, foi empregado uma segunda porta paralela, *Off-Board*, similar a Figura 9, interligada à placa mãe do computador através de um barramento de interconexão de componentes periféricos, conhecido na área de informática como barramento PCI, do inglês *Peripheral Component Interconnect*. [TORRES, 2001].

Optou-se então para o desenvolvimento de uma placa eletrônica de interface para cada porta paralela utilizada, e apesar destas terem funções similares (isolar e distribuir os sinais), possuem diferenças peculiares quanto ao tipo de sinais envolvidos. A placa denominada de “interface principal”, Figura 38, contém os sinais prioritários, sendo suficiente para o funcionamento da máquina e a placa denominada de “interface secundária” possui sinais complementares.

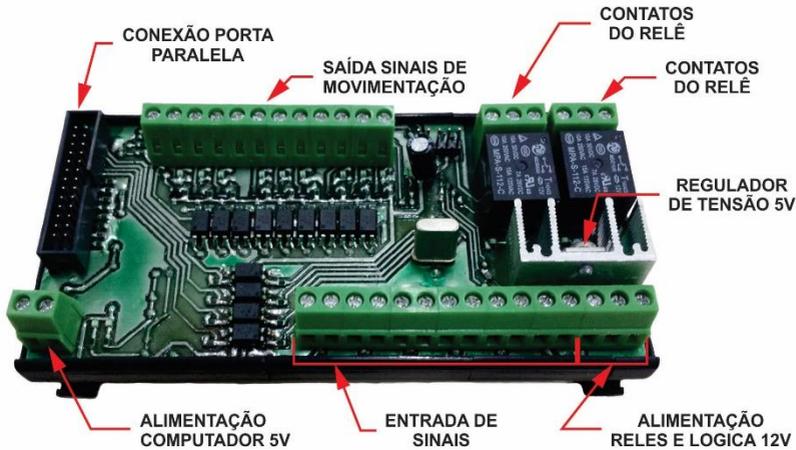


Figura 38 - Placa de Interface Principal
[Fonte: Autores].

3.2.1.1 Detalhamento das Linhas de Comunicação

Este tópico dedica-se a explicar cada linha de comunicação, ou sinal, existente entre o computador e as placas de interface. A Tabela 6 detalha os sinais da placa de “interface principal” e a Tabela 7 detalha os sinais da placa de “interface secundária”.

Tabela 6 - Linhas de comunicação LPT Principal

Número Terminal	Descrição	Direção	Ação do Microcontrolador
02	Relê Aspirador	Saída	Intermediação
03	Relê Spindle	Saída	Intermediação
04	Enable Eixo X	Saída	Apenas leitura
05	Dir Eixo X	Saída	Nenhuma
06	Step Eixo X	Saída	Nenhuma
07	Enable Eixo Y	Saída	Apenas leitura
08	Dir Eixo Y	Saída	Nenhuma
09	Enable Eixo Z	Saída	Apenas leitura
10	Botão Emergência	Entrada	Intermediação
11	Expansão 01	Entrada	Intermediação

Número Terminal	Descrição	Direção	Ação do Microcontrolador
12	Expansão 02	Entrada	Intermediação
13	Expansão 03	Entrada	Intermediação
14	Step Eixo Y	Saída	Nenhuma
16	Dir Eixo Z	Saída	Nenhuma
17	Step Eixo Z	Saída	Nenhuma
01 e 15	Não utilizado	---	---
18 a 25	Referência (ground)	---	---

Continuação da Tabela 6

[Fonte: Autores].

Tabela 7 - Linhas de comunicação LPT Secundária

Número Terminal	Descrição	Direção	Ação do Microcontrolador
02	Fim de curso X-	Entrada	Intermediação
03	Fim de curso X+	Entrada	Intermediação
04	Sensor Home X	Entrada	Intermediação
05	Fim de curso Y-	Entrada	Intermediação
06	Fim de curso Y+	Entrada	Intermediação
07	Sensor Home Y	Entrada	Intermediação
08	Fim de curso Z-	Entrada	Intermediação
09	Fim de curso Z+	Entrada	Intermediação
10	Sensor Home Z	Entrada	Intermediação
11	Sensor Sonda Zero	Entrada	Nenhuma
12	Expansão 02	Entrada	Nenhuma
13	Expansão 03	Entrada	Nenhuma
14	Transistor 01	Saída	Nenhuma
15	Expansão 04	Entrada	Nenhuma
16	Transistor 02	Saída	Intermediação
17	Relê Iluminação	Saída	Intermediação
01	Não utilizado	---	---
18 a 25	Referência (ground)	---	---

[Fonte: Autores]

3.2.1.2 Hardware de Isolação dos Sinais

Do ponto de vista do computador, podem-se dividir as linhas de comunicação em sinais de entrada ou sinais de saídas, e o *hardware* projetado para cada caso é diferente.

No caso dos sinais de saída, há três estágios implementados, sem inversão lógica final, conforme Figura 39.

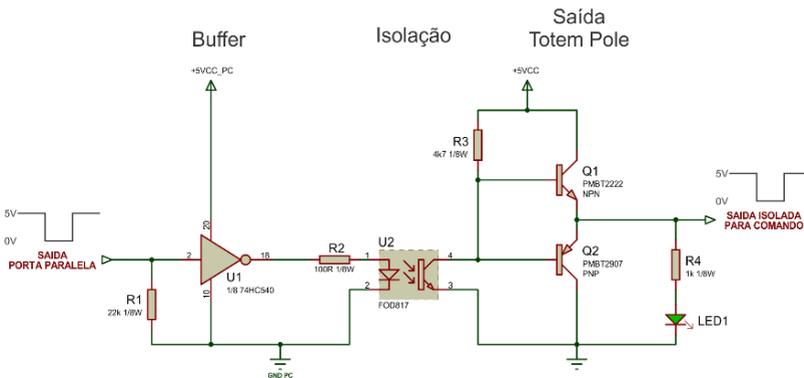


Figura 39 - Circuito de isolamento de uma saída da porta paralela [Fonte: Autores].

- **Estágio de *buffer*:** Mantém a potência do sinal de saída da porta paralela, foi utilizado o circuito integrado 74HC540 para esta finalidade.
- **Estágio de *isolação*:** Garantir *isolação galvânica* entre o computador e qualquer *hardware* externo, através de um *opto-acoplador* (U2) FOD817.
- **Estágio de *saída*:** Um par de transistor em configuração *Totem Pole*, que sempre fornecem na saída um nível lógico, 0V ou 5V, ao contrário de saídas com coletor aberto. Esta configuração possibilita atingir frequências mais elevadas.

Para a *isolação* dos sinais de entrada, a tarefa é mais simples, não há necessidade do emprego dos estágios de *buffer* e *saída Totem Pole*, o que simplifica o circuito ao uso de um *opto acoplador* e dois resistores, porém neste caso há *inversão lógica*

do sinal. A Figura 40 apresenta o circuito de uma entrada da porta paralela.

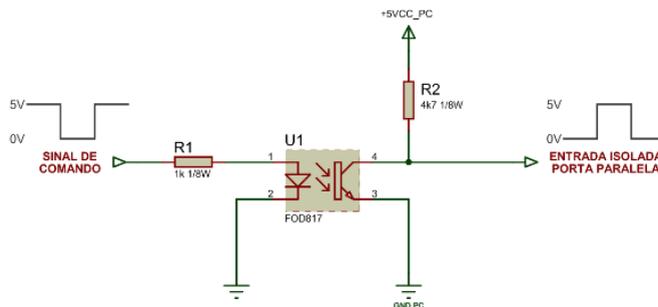


Figura 40 - Circuito de isolamento de uma entrada da porta paralela [Fonte: Autores].

Todos os sinais de entrada e saída das placas de interface possuem indicação luminosa individual através de *LEDs*, para facilitar o monitoramento.

3.2.1.3 Saídas a Relê

O acionamento das cargas monofásicas (220Vac), tais como *spindle*, aspirador e iluminação, é feito através de relês independentes para cada caso, já que não há nenhum tipo de controle específico, apenas ligar e desligar. Os relês por possuírem contatos isolados (Figura 41), proporcionam uma excelente isolamento da rede elétrica.

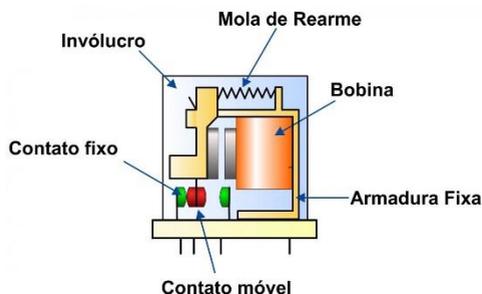


Figura 41 - Detalhamento interno de um relê [Fonte: www.findernet.com, acesso em 03/05/2015].

3.2.1.4 Controlador

As portas paralelas possuem uma inconveniência, durante os processos de inicialização e finalização do sistema operacional do computador, os níveis lógicos dos sinais de saída se alteram aleatoriamente, e isto pode vir a causar acionamentos involuntários do *spindle* por exemplo, caracterizando um grande perigo. Para neutralizar estes casos indesejados, cada placa de interface possui um microcontrolador de 8 *bits*, modelo PIC16F1936 fabricado pela *Microchip*, com a finalidade de intermediar os sinais de entrada e saída, entre a porta paralela do computador e o acionamento das cargas.

A programação dos microcontroladores (*firmwares*) foi escrita em linguagem C, através do compilador PCW® fornecido pela CCS® (*Custom Computer Services, Inc.*). Este compilador pode ser integrado ao ambiente de desenvolvimento fornecido pela própria *Microchip*®, o MPLAB®, através de plug-ins originais, facilitando a programação para quem está familiarizado com a interface do MPLAB®.

Todos os sinais da máquina são intermediados através dos microcontroladores o que possibilitou a implementação de lógicas de segurança e rotinas de intertravamento, exceto os sinais de movimentação dos eixos e da sonda zero (referenciamento automatizado), pois requerem rápida resposta e o microcontrolador pode proporcionar pequenos atrasos na transmissão. Levou-se em consideração que estes sinais não trazem riscos para o operador ou para a máquina, não necessitando de intermediação.

Para os sinais de entrada dos botões no painel, chaves fim-de-curso e chaves de referência foi utilizado filtro digital, através do *firmware* do microcontrolador, para eliminar o ruído causado por efeito *bounce* (repique de tensão gerado em contatos eletromecânicos), conforme indicado na Figura 42.

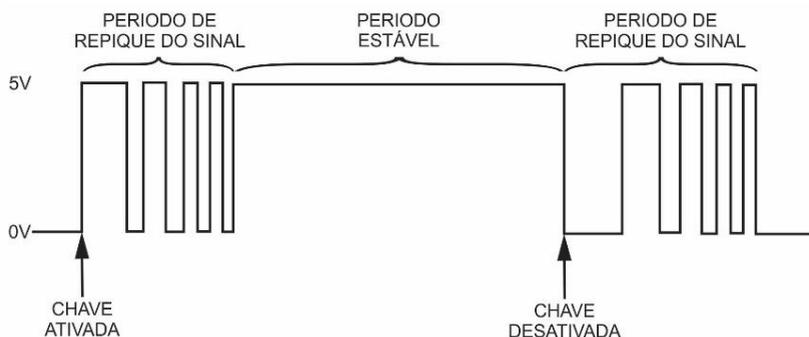


Figura 42 - Efeito "bounce" em contatos mecânicos
 [Fonte: Traduzido de www.elexp.com, acesso em 12/05/2015].

A tarefa do microcontrolador neste caso, é “aceitar” o sinal após este ficar estável por um período determinado, ignorando assim a fase de transição, para isto foi utilizado um *Timer* de 8 bits, recurso disponível no microcontrolador.

3.2.1.5 Alimentação Elétrica

As placas de interface contam com duas fontes de tensão independentes para o funcionamento. Uma fonte é de 5V, isolada e dedicada para os sinais de entrada e saída da porta paralela. A outra fonte é de 12V, nível de tensão necessário para acionamento dos relês. Nas placas de interface, alimentadas em 12V o nível tensão de 5V para o funcionamento dos circuitos lógicos é obtido através do regulador de tensão linear, o circuito integrado LM7805.

3.2.2 Driver de Acionamento Motor de Passo

Driver de acionamento, entende-se por um *hardware* composto de uma parte de potência para o acionamento de uma carga específica e considerável, podendo, em alguns casos, possuir também uma parte de controle, digital e/ou analógico. No contexto, a carga referida são os motores de passo, responsáveis pela movimentação independente dos eixos.

Para simplificar o projeto e a fabricação da placa do driver de acionamento, optou-se por dividi-la em três placas idênticas a da Figura 43, sendo uma para cada motor.

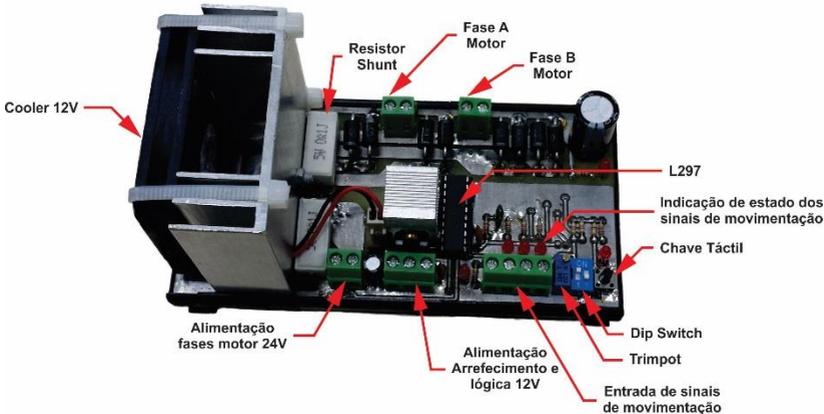


Figura 43 - Driver desenvolvido para o acionamento de um motor de passo [Fonte: Autores].

O circuito eletrônico foi baseado em dois componentes desenvolvidos e fabricados pela *STMicroelectronics®*, específicos para o controle e acionamento sequencial de motores de passo, tratam-se dos circuitos integrados L297 (para o controle) e L298 (para o acionamento das bobinas).

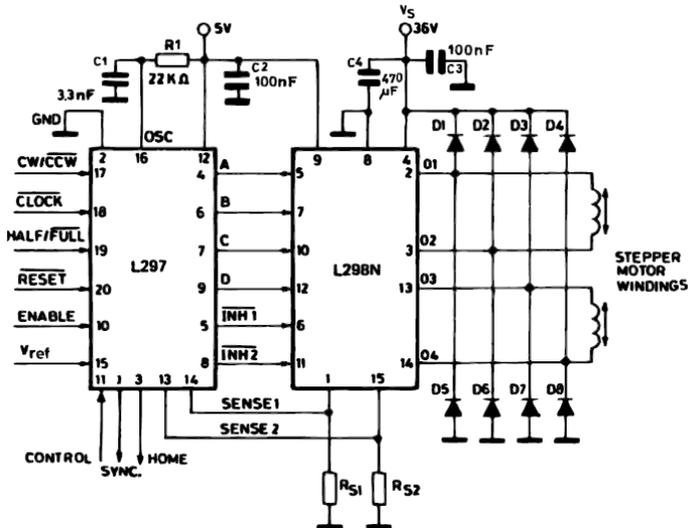


Figura 44 - Exemplo de ligação dos componentes L297 e L298 [Fonte: www.st.com Acesso em 16/05/2015].

3.2.2.1 Seleção do Motor e Forma de Acionamento

Foram selecionados motores híbridos, devido à alta precisão e performance em relação ao seu volume. Fabricante *Astrosyn*, modelo 23KM-C051-07V, Figura 45.

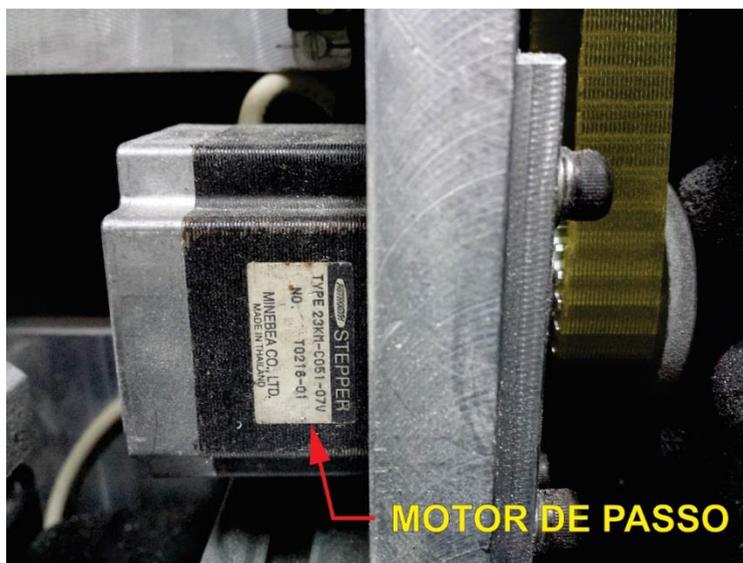


Figura 45 - Motor de passo Astrosyn 23KM-C051-07V montado na máquina [Fonte: Autores].

Os parâmetros dos motores, fornecidos pelo fabricante, são apresentados na Tabela 8:

Tabela 8 - Características motor de passo Astrosyn 23KM-C051-07V

Característica	Valor	Unidade
Tensão nominal por fase	4,0	V
Corrente nominal por fase	2,0	A
Resistência por fase	2,0	Ω
Indutância por fase	4,4	mH
Torque estático	980	mN.m (min)
Torque dinâmico em 600pps	869	mN.m (ref)
Ângulo do passo (completo)	1,8	$^{\circ}$ (graus)

[Fonte: www.astrosyn.com.br acesso em 27/05/2015].

Foi adotado o acionamento de forma bipolar, pois é o que fornece maior torque, segundo CONDIT e JONES (2004). Devido ao fato de que a velocidade de avanço desejada não é elevada, podendo atingir até 1350 pps (passos por segundo), optou-se pela configuração em série das bobinas do motor, exemplo 3 da Figura 24, fornecendo um torque maior nesta faixa de velocidade.

O componente L298 é quem faz o acionamento do motor. Este circuito integrado contém oito transistores de potência, arranjados internamente na forma de duas Ponte-H independentes, sendo uma para cada bobina do motor, representado na Figura 46.

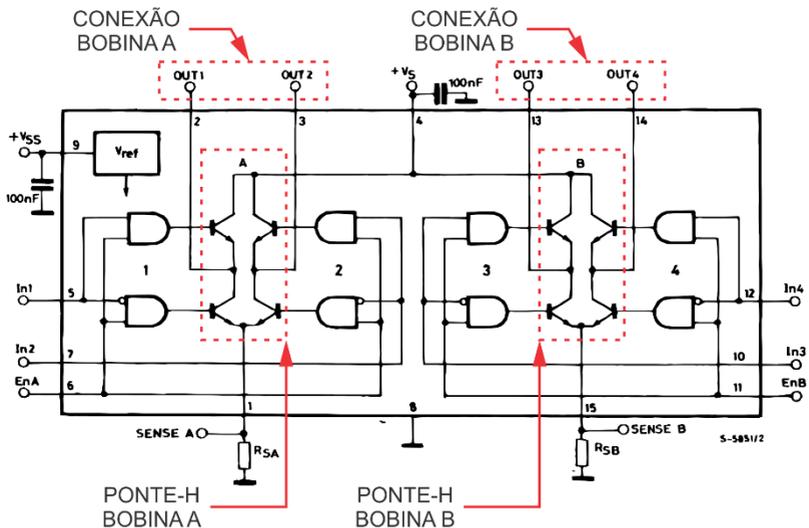


Figura 46 - Diagrama interno L298
[Fonte: www.st.com Acesso em 16/05/2015].

O acionamento em Ponte-H das bobinas permite a reversão da corrente, característica estritamente necessária para o acionamento bipolar.

3.2.2.2 Sinais de Movimentação dos Motores

Cada driver recebe do computador (através das placas de interface), três sinais digitais e independentes para a movimentação do motor:

- **Habilita (*Ena*):** Este sinal, quando em nível alto (5V) habilita o motor para movimentação. Se o driver não receber sinais de passo enquanto estiver habilitado, o motor permanece energizado e estático, garantindo o torque em repouso.
- **Direção (*Dir*):** Define o sentido de rotação do motor, sendo o nível alto (5V) para movimentação horária e nível baixo (0V) para o sentido inverso.
- **Passo (*Step*):** Cada transição de nível alto (5V) para nível baixo (0V) deste sinal, resulta na movimentação de um passo do motor. Isto caracteriza um sinal do tipo “*clock*” sensível à borda de descida. O intervalo entre cada pulso de “*clock*” reflete diretamente na velocidade do motor, ou seja, quanto menor o intervalo do *clock* maior a velocidade do motor.

Estes sinais são recebidos pelo componente L297 através das entradas *Enable*, *CW/CCW* e *Clock* respectivamente, sendo traduzidos para a sequência de acionamento e então enviados ao componente L298 através das saídas A, B, C, D, INH1 e INH2, conforme Figura 44.

A entrada física dos sinais no driver está representada na Figura 43, e os três *LEDs* localizados acima do conector indicam o estado atual de cada sinal.

3.2.2.3 Configurações do Driver

A placa do driver possibilita configurações de funcionamento através de duas chaves em um encapsulamento *DipSwitch* (Figura 43), de forma que:

- **Chave 1 – Posição ON:** Controle de corrente com desenergização rápida. Atuação através das saídas INH1 e INH2 do L297.
- **Chave 1 – Posição OFF:** Controle de corrente com desenergização lenta. Atuação através das saídas A, B, C e D do L297.
- **Chave 2 – Posição ON:** Motor operando em passo completo.
- **Chave 2 – Posição OFF:** Motor operando em meio passo.

Para o melhor desempenho da máquina, a configuração foi mantida da seguinte forma, a chave 1 na posição ON (maior torque). A chave 2 na posição OFF para operar em meio passo, obtendo um deslocamento de $0,9^\circ$ por passo (metade do passo nominal da Tabela 8), totalizando **400 passos por revolução** (maior precisão).

O *trimpot* na Figura 43 é responsável pelo ajuste da corrente aplicada nas bobinas do motor. O ajuste é feito com auxílio de um voltímetro, posicionando a ponteira negativa em um ponto de *ground* da placa, e a ponteira positiva na entrada de referência do L297 (VREF, terminal 15). A corrente aplicada no motor será o valor desta tensão, multiplicado por dez. Desta forma, para regular a corrente em 1,5A em cada bobina, a tensão neste terminal deverá ser de 150mV. Atentar para o limite do componente L298, que é de 4A somando as duas fases. A corrente nos motores dos eixos X, Y e Z foram ajustadas em 1,5A, 1,5A, e 1,1A respectivamente.

Ao pressionar a chave táctil, Figura 43, o L297 retorna para sua lógica interna inicial, colocando as saídas A, B, C, e D em nível lógico 0, 1, 0 e 1 respectivamente. O *led* localizado acima da chave permanece aceso sempre que a lógica das saídas A, B, C, e D satisfizerem esta condição.

3.2.2.4 Alimentação Elétrica

Há duas entradas para fontes de alimentação:

- **Fonte 12V:** Nível de tensão necessário para o funcionamento do *cooler* (ventilador) de refrigeração. A partir desta tensão, através de um regulador de tensão linear, é obtido o nível de 5V para o funcionamento dos componentes lógicos. Nesta fonte, o consumo mensurado no pior caso foi de 225mA, em cada driver.
- **Fonte Motor:** Esta é a fonte aplicada nas bobinas do motor, podendo ser de até 46V (limite do componente L298). Optou-se por utilizar uma fonte de 24V, que é um valor padrão de mercado.

3.2.2.5 Controle de Corrente

O método de controle de corrente, ou fonte de corrente, permite alimentar o motor de passo com uma tensão muito superior à tensão nominal, mantendo-se a corrente igual ou inferior ao valor da corrente nominal.

Este aumento na tensão de alimentação faz com que se atinja a corrente nominal nas bobinas do motor em menor tempo. Isso fica claro ao analisarmos o comportamento da corrente em um indutor, cujo comportamento da tensão é descrito pela equação 6.

$$E = L \cdot \frac{di_L}{dt} \quad (6)$$

Nesta equação, ao considerarmos que a tensão de alimentação é uma fonte contínua, a corrente pode ser descrita por:

$$i_f = i_i + \frac{E}{L} \cdot (t_f - t_i) \quad (7)$$

Onde:

i_f = Corrente final (corrente ajustada), em Ampères;

i_i = Corrente inicial, em Ampères;

E = Tensão da fonte de alimentação de 24V;
 L = Valor da Indutância, em Henry;
 t_f = Tempo final, em segundos;
 t_i = Tempo inicial, em segundos.

Considerando que a corrente inicial é zero, pois a bobina se encontra desenergizada antes de ser acionada, e que o tempo inicial também é zero no momento de iniciar a energização, a equação fica simplificada por:

$$t_f = \frac{L}{E} \cdot i_f \quad (8)$$

Conforme a equação 8, ao utilizar uma fonte de valor superior a tensão nominal do motor, consegue-se atingir a corrente nominal da bobina em um menor tempo, permitindo então diminuir os períodos de comutação das bobinas sem a perda de torque.

Por outro lado, fica evidente a necessidade de um limitador de corrente, para evitar que esta sobretensão gere correntes acima das suportadas pelo motor.

Sendo assim, o sistema de controle somente atua quando a corrente exceder o valor previamente ajustado (Tópico 3.2.2.3). Desta forma, é estritamente necessário ler a corrente que circula em cada bobina.

A leitura da corrente é feita através de dois resistores *shunt* (componentes R_{S1} e R_{S2} , Figura 44). Devido ao fato destes resistores estarem em série com as bobinas do motor, devem possuir baixa resistência elétrica ($R_{shunt} = 0,1 \Omega$) para não dissiparem potência excessiva. A queda de tensão em cada resistor V_{shunt} é diretamente proporcional a corrente elétrica de cada bobina I_{motor} , e pode ser calculada através da lei de Ohm:

$$I_{motor} = \frac{V_{shunt}}{R_{shunt}} \therefore I_{motor} = \frac{V_{shunt}}{0,1} \therefore I_{motor} = 10 \cdot V_{shunt} \quad (9)$$

O tipo de controle presente no driver, é comumente chamado de *PWM Chopper*, e funciona de forma analógica/digital, através de um amplificador operacional trabalhando como

comparador e um flip-flop RS, independentes para cada fase, internamente ao L297, com auxílio de um oscilador resistor-capacitor externo, responsável por gerar a frequência de chaveamento $F_{Chopper}$. O valor desta frequência em Hertz, dependente do resistor R1 e do capacitor C1 (Figura 44 e Figura 47), através da equação 10:

$$F_{Chopper} = \frac{1}{0,69 \cdot R1 \cdot C1} \quad (10)$$

No driver foi utilizado $R1 = 22k\Omega$ e $C1 = 3,3nF$, resultando em uma frequência de aproximadamente 19,96kHz do oscilador. Este é um valor recomendado pela *STmicroelectronics®*, e minimiza o ruído audível produzido pelo motor. A Figura 47 detalha todo o circuito de controle.

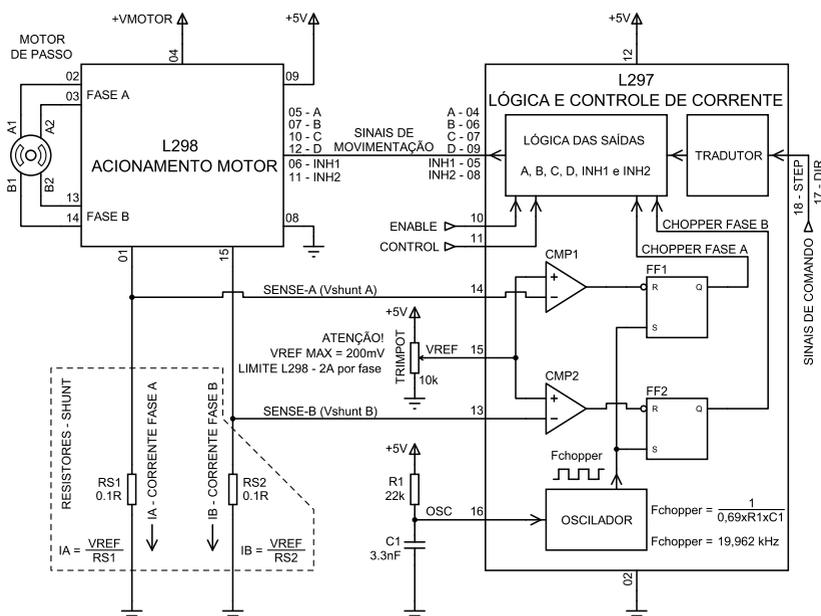


Figura 47 - Circuito controle de corrente L297 e L298
[Fonte: Autores].

O conceito do funcionamento é simples e possui dois casos possíveis:

- $V_{ref} > V_{shunt}$: Corrente na fase é menor que a corrente de ajuste, neste caso a fase do motor é alimentada normalmente com a Fonte Motor (Tópico 3.2.2.4).
- $V_{ref} \leq V_{shunt}$: Corrente na fase é maior que a corrente de ajuste, neste caso o controle entra em ação. A alimentação da fase é então interrompida, sendo acionada novamente apenas quando receber o próximo pulso do oscilador e V_{ref} for menor que V_{shunt} . Devido a lógica do Flip-Flop RS, conforme Figura 47.

Na prática, nota-se que o motor atinge rapidamente a corrente ajustada e então as fases entram em um processo de chaveamento, onde a alimentação de cada fase é ligada e desligada com frequência igual ou muito próxima a frequência do oscilador, mantendo a corrente no valor desejado, sem danificar o motor.

3.3 Projeto Elétrico – Painel de Comando

O painel de comando acomoda as placas eletrônicas, fontes de alimentação e todas conexões. Optou-se por um painel com porta em policarbonato transparente que possibilita a visualização das diversas indicações luminosas presente nas placas desenvolvidas. Para restringir o acesso ao interior do painel, por pessoas não autorizadas, foram empregados dois cadeados para trancar a tampa do painel.

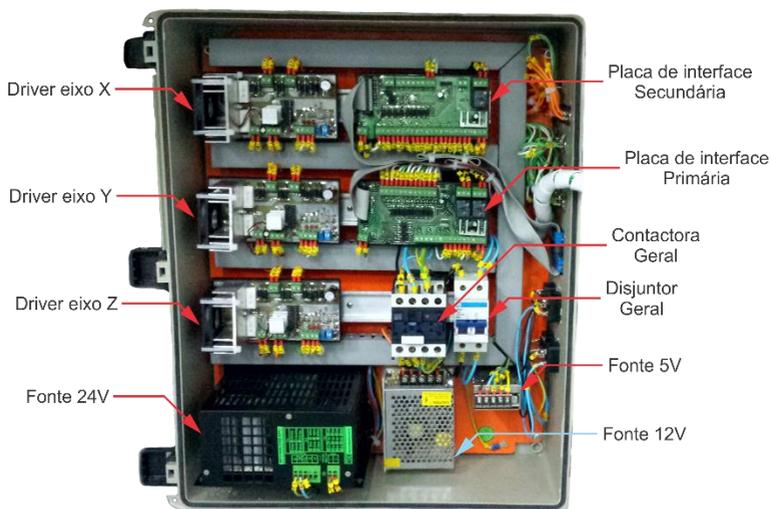


Figura 48 - Parte interna do painel de comando
[Fonte: Autores].

3.3.1 Fontes de Alimentação

Ao todo, foram utilizadas três fontes chaveadas independentes e isoladas para alimentação das placas eletrônicas. As fontes de 12V e 24V foram colocadas no mesmo referencial elétrico, ou seja, interligando os pólos de potencial negativo (*ground*) destas fontes.

3.3.1.1 Fonte 5V – Computador

Esta fonte é dedicada para a isolação dos sinais do computador, por este fato é ligada na mesma referência (*ground*) do computador através das portas paralelas. Ela alimenta apenas parte isolada das placas de interface e é mantida isolada das demais fontes. O consumo máximo desta fonte foi mensurado em 135mA, sendo 90mA para a placa de interface principal e 45mA para a placa de interface secundária. Foi utilizado uma fonte de 1A já disponível, Figura 48, caso contrário poderia ser uma fonte de menor capacidade, na faixa de 200mA.

3.3.1.2 Fonte 12V – Lógica

Esta fonte alimenta as placas de interface e os drivers de acionamento. Este nível de tensão é necessário para o acionamento de relês e *coolers*, a parte lógica destas placas é alimentada com 5V obtido através de reguladores de tensão ligados nesta fonte de 12V. O consumo da fonte foi mensurado em cada placa na qual é aplicada, sempre no caso de maior consumo, os resultados obtidos foram:

- Placa de interface principal: $I_P = 127,5mA$;
- Placa de interface secundária: $I_S = 120,5mA$;
- Placa driver de acionamento: $I_D = 221,5mA$.

O consumo total é obtido na soma destes valores, e como são três drivers, o consumo deste é multiplicado por três:

$$I_T = 127,5m + 120,5m + 3 \cdot 221,5m = 912,5mA \quad (9)$$

Foi utilizado uma fonte com capacidade de 3A, Figura 48. Da mesma forma que a fonte de 5V – Computador, a fonte de 12V – Lógica utilizada está superdimensionada pois foi utilizado uma fonte já disponível. Uma fonte com capacidade de 1A seria suficiente.

3.3.1.3 Fonte 24V – Motores

Fonte que alimenta as bobinas (fases) dos motores de passo. É possível fornecer esta tensão de 24V ao motor de passo com tensão nominal de 4V devido ao controle de corrente explanado no Tópico 3.2.2.5. Como a corrente nominal dos motores, segundo a Tabela 8 é de 2A por fase, para evitar superaquecimento dos motores, a corrente foi ajusta em 75% do valor nominal nos eixos X e Y, e em 55% no eixo Z. Desta forma, é aplicado 1,5A em cada uma das fases dos motores dos eixos X e Y e 1,1A nas fases do motor do eixo Z. O cálculo para a capacidade necessária da fonte de 24V se dá pela equação 10.

$$I_T = 2 \cdot I_x + 2 \cdot I_Y + 2 \cdot I_z \quad (10)$$

Onde:

I_T = Corrente máxima solicitada da fonte 24V;

I_X = Corrente de uma fase do eixo X;

I_Y = Corrente de uma fase do eixo Y;

I_Z = Corrente de uma fase do eixo Z.

Substituindo os valores temos que:

$$I_T = 2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1,1 = 8,2A \quad (11)$$

Foi adotado uma fonte com capacidade máxima de 10A, totalizando 240W de potência, Figura 48.

3.3.2 Comandos Manuais e Indicações do Painel

Por medidas de segurança, optou-se por utilizar uma chave geral com tranca, Figura 49. Para ligar e desligar o painel é necessário a presença de uma chave com segredo compatível. A indicação luminosa em vermelho acima da chave geral permanece acesa enquanto o painel estiver ligado. Para não sobrecarregar a chave geral, esta aciona uma contatora, Figura 48, que alimenta todas as placas. Há um disjuntor, Figura 48, em série com a contatora para evitar danos as placas, em caso de sobrecarga (curto-circuito).

As cargas monofásicas (*Spindle*, Iluminação e Aspirador) possuem controle e indicação individuais na tampa painel, Figura 49. O botão permanece aceso enquanto a respectiva carga está acionada. Devido ao fato de que as cargas monofásicas podem ser acionadas tanto no painel quanto no computador, por medidas de segurança o comando do computador é prioritário em relação ao painel, se determinada carga foi acionada no computador, ela só poderá ser desativada através do computador. Porém, se a carga é acionada no painel, ela pode ser desacionada no computador.

A botão de emergência, Figura 49, é do tipo cogumelo com trava, e inibe todas as ações da máquina quando acionado, exceto a iluminação.

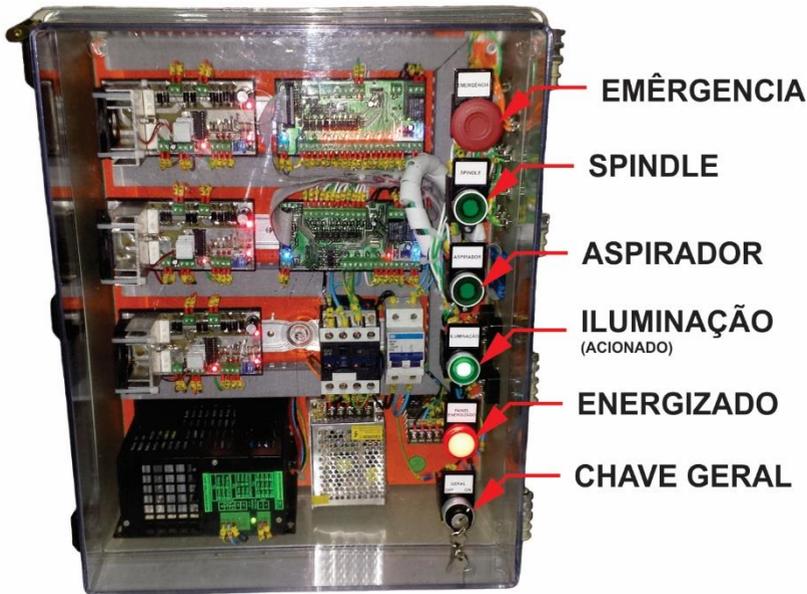


Figura 49 - Vista da tampa do painel de comando
[Fonte: Autores].

3.3.3 Conexões Laterais

Todas as conexões do painel com o meio externo se dão na parte lateral, conforme apresenta a Figura 50.

A entrada de energia da rede (220 Vac) é feita através de um conector macho modelo C14, norma IEC 60320, com um fusível de 10A em série com a fase, através de um soquete no próprio conector. As saídas para as cargas monofásicas utilizam conectores fêmea modelo C13, norma IEC 60320.

Para ligação das portas paralelas, optou-se por manter o padrão através de dois conectores DB25, sendo um para cada porta.

Nas demais conexões (motores e sensores), foram utilizados conectores circular do tipo *MIKE-LS* com porca, que garantem a integridade da conexão.



Figura 50 - Conexões laterais do painel
[Fonte: Autores].

3.4 Software de Controle

Para o controle da máquina foi utilizado o *software* Mach3® na versão R3.042.020, desenvolvido pela Artsoft® (é disponibilizado uma versão gratuita de avaliação em <http://www.machsupport.com/software/mach3/>).

O Mach3® é executado em um computador com o sistema operacional Windows XP® ou superior. Possui uma interface amigável que se parece muito com as interfaces de máquinas CNC comerciais, conforme a Figura 51:

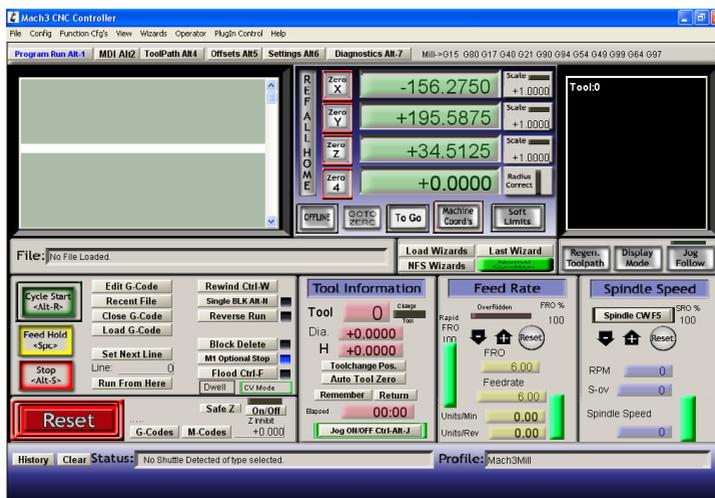


Figura 51 - Mach3®: Tela de interface Principal
[Fonte: Autores].

O *software* é muito versátil, sendo capaz de interpretar a programação de usinagem (Código G) e convertê-la em sinais digitais para a movimentação da máquina. Também faz a leitura de sinais importantes, tais como botão de emergência, sensores fim-de-curso entre outros. O Mach3® é responsável por quase todo controle da máquina.

A única tarefa para o funcionamento do *software* é sua configuração adequada, que deve ser executada com muita atenção.

3.4.1 Requisitos de *Hardware* e *Software* do Computador

Para garantir o melhor desempenho do *software* e da fresadora, o computador deve atender aos requisitos:

- Disponibilidade de duas portas paralelas LPT;
- Processador de 1GHz ou superior;
- Memória RAM de 512MB ou superior;
- Placa de vídeo dedicada de 32MB ou superior;
- Sistema operacional Windows XP® versão de 32 bits ou superior. Sistema operacional de 64 bits não é compatível com o *software*.

3.4.2 Configuração de Entradas e Saídas

Primeiramente é necessário conhecer os endereços das duas portas paralelas utilizadas pela máquina, que já devem estar apropriadamente instaladas no computador. O meio de se obter estas informações já foi detalhado no Tópico 2.4.2.

Já no Mach3®, para abrir o painel de configurações, deve-se clicar no menu “*Config*” e depois em “*Port and Pins*”. Abrirá uma janela com o nome de “*Engine Configuration... Ports & Pins*”, na primeira aba, “*Port Setup and Axis Selection*”, deve-se habilitar “*Port #1*” e “*Port #2*” e então inserir os seus respectivos endereços (primeiro valor do intervalo E/S, Figura 10) no campo “*Port Address*”. No caso do “*Port #2*”, deve-se marcar também a opção “*Pins 2-9 as inputs*”, conforme indica a Figura 52.

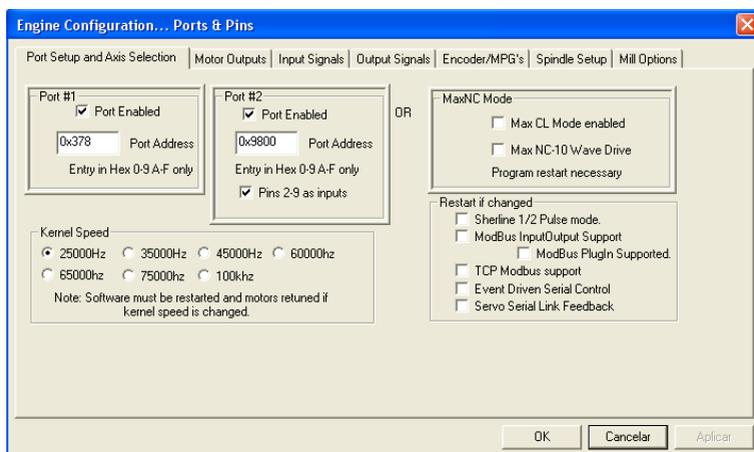


Figura 52 - Mach3®: Configuração das portas LPT no Mach3 [Fonte: Autores].

Em seguida, selecionar a aba “*Motor Outputs*” e configurar exatamente como a Figura 53.

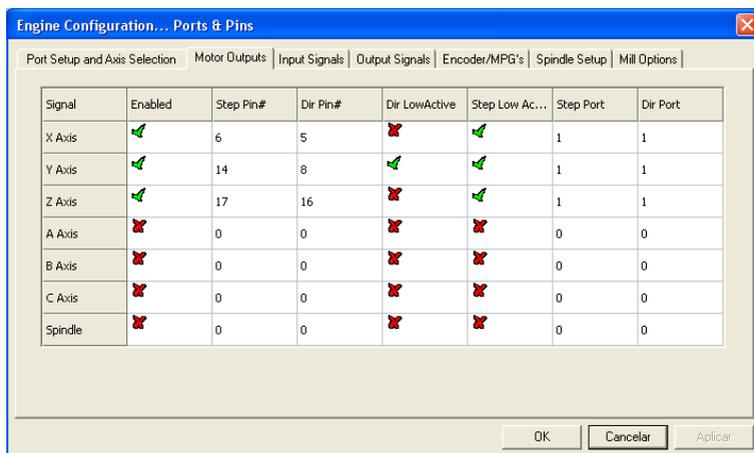


Figura 53 - Mach3®: Configuração dos sinais Step e Dir dos três motores [Fonte: Autores].

Na sequência, para configurar os sinais de entrada, selecionar a aba “*Input Signals*” e fazer da mesma forma que indicado na Figura 54.

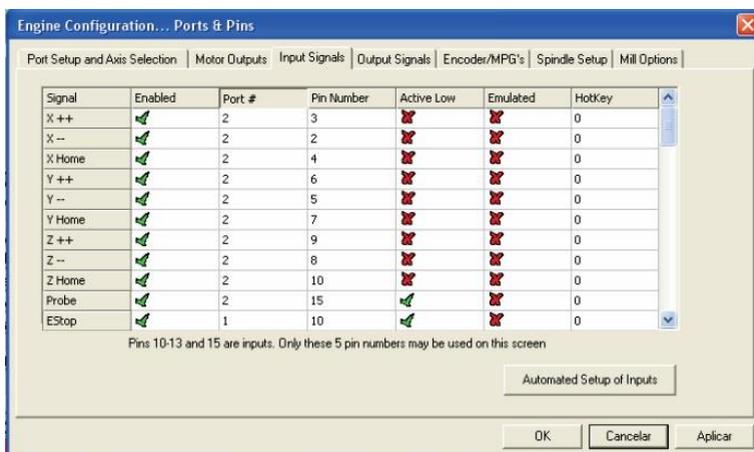


Figura 54 - Mach3®: Configuração das entradas "Input Signals"
[Fonte: Autores].

Para configurar as demais saídas, selecionar a aba "Output Signals" e configurar de acordo com a Figura 55.

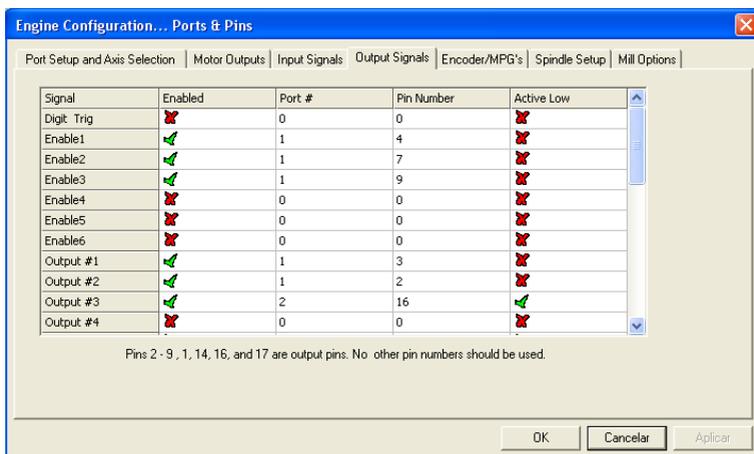


Figura 55 - Mach3®: Configuração das saídas "Output Signals"
[Fonte: Autores].

A configuração do *spindle* é feita na penúltima aba da janela, "Spindle Setup", Figura 56.

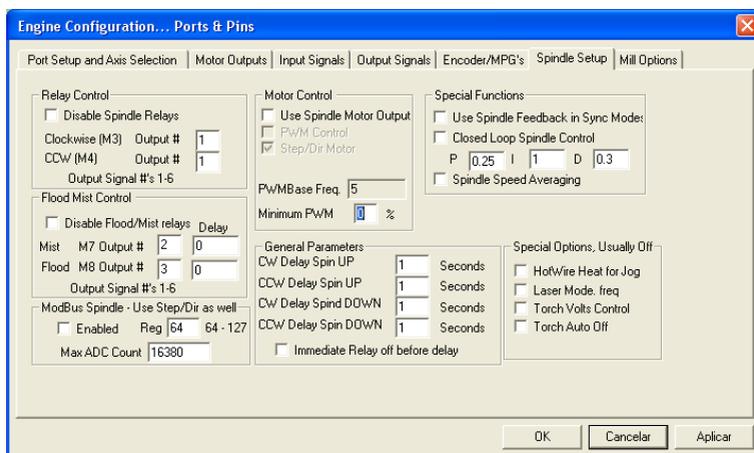


Figura 56 - Mach3®: Configuração do *spindle*, "Spindle Setup"
[Fonte: Autores].

3.4.3 Parametrização dos Motores

Para abrir o painel de parametrização dos motores, deve-se clicar no menu *Config* e depois em *Motor Tuning*.

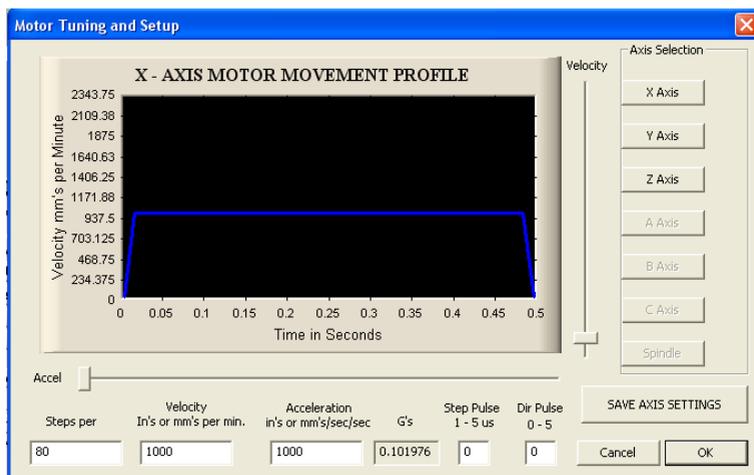


Figura 57 - Mach3®: Parametrização dos motores *Motor Tuning and Setup*
[Fonte: Autores].

Preencher os campos “*Steps per*”, “*Velocity*”, “*Acceleration*”, “*Step Pulse*” e “*Dir Pulse*” respectivamente com os valores 80, 1000, 10000, 0 e 0 conforme a Figura 57, então clicar em “*SAVE SETTINGS*”. Na sequência clicar em “*Y Axis*” e repetir o processo, inserindo os mesmos valores nos mesmos campos. Por fim, clicar em “*Z Axis*” e repetir o processo.

3.4.4 Referenciamento Automatizado Eixo Z “Sonda Zero”

A sonda zero, é um sistema automatizado para referenciar a ponta da ferramenta no eixo Z. Para esta função é necessário utilizar a sonda, semelhante à da Figura 58.

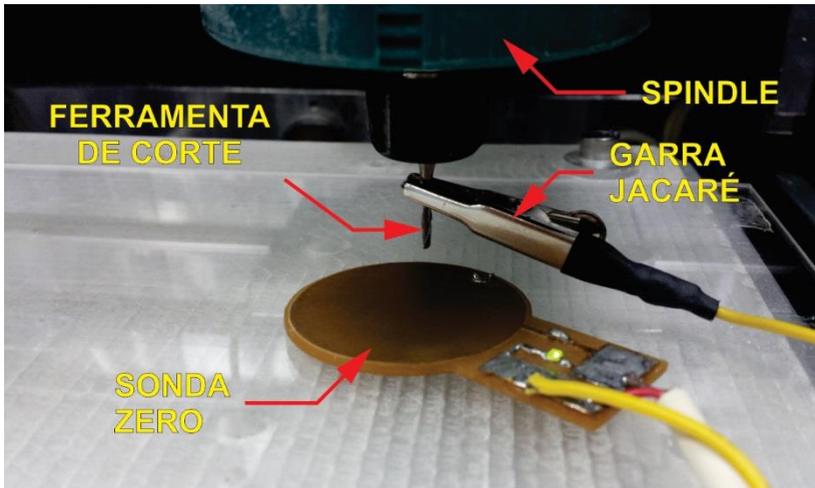


Figura 58 - Sonda Zero
[Fonte: Autores].

Este recurso não é nativo do Mach3®, mas a Artsoft®, disponibiliza meios de customizar o *software*. Para isto, deve-se clicar no menu “*Operator*” e “*Edit Button Script*”. Em seguida, o botão “*Auto Tool Zero*” estará piscando em branco, e, ao clicar neste botão, abrirá uma janela. Nesta janela deverá ser removido qualquer texto existente e inserido o seguinte código:

```

'-----
CurrentFeed = GetOemDRO(818)
DoSpinStop()

ZMove = 20.00 'Distância na qual a máquina procura a
sonda. No caso, ela desce 20 mm antes de abortar.
ZOffset = 1.60 'Espessura da sonda
ZSal = ZOffset + 8,4 'Depois que a sonda faz contato,
ela sobe 8,4 mm + a altura da sonda.

StopZmove = 0
If GetOemLed (825) = 0 Then
DoOEMButton (1010)
Code "G4 P2.5"
Code "G31 Z-" & ZMove & "F25"
While IsMoving()
Sleep(200)
Wend
ProbePos = GetVar(2002)
If ProbePos = - ZMove Then
response = MsgBox ("**ERRO** " , 4 , "Erro na sonda" )
Code "G0 Z10"
StopZmove = 1
Code "F" & CurrentFeed
End If
If StopZmove = 0 Then
Code "G0 Z" & ProbePos
While IsMoving ()
Sleep (200)
Wend
Call SetDro (2, ZOffset)
Code "G4 P1"
Code "G0 Z" & ZSal
Code "(Z zeroed)"
Code "F" & CurrentFeed
End If
Else
Code "(Check Ground Probe)"
End If
Exit Sub
'-----

```

Em seguida, deverá ser fechado a janela de edição do código, e quando pedir para salvar, basta clicar em “OK”.

Após a adição do código, é possível dar continuidade ao procedimento de referenciamento automatizado. Para isto, a

garra-jacaré (Figura 58) deverá ser fixada na ferramenta, e a sonda posicionada abaixo da ferramenta e sobre a superfície a ser usinada (remover qualquer partícula de sujeira entre a sonda e a superfície). Pressionar o botão “Auto Tool Zero” e aguardar a execução. A ferramenta desce com baixa velocidade (25 mm/min) até encostar na sonda, o eixo Z é referenciado (descontando a espessura da sonda) e sobe 10 mm a partir desta nova referência. Caso a ferramenta não encoste na sonda após descer 20mm, o movimento é abortado. Desta forma, deve-se garantir visualmente antes de iniciar o processo, que a distância máxima entre a sonda e a ferramenta seja de no máximo 20 mm no eixo Z.

3.4.5 Operação da Máquina Através do Software

3.4.5.1 Movimentação Manual “Jog Mode”

Ao pressionar a tecla **TAB** é aberto no lado direito da tela o painel de configurações relacionadas às movimentações manuais, conforme Figura 59.



Figura 59 - Mach3®: Painel de Configuração Jog Mode
[Fonte: Autores]

É possível movimentar a máquina manualmente enquanto não estiver executando programas de usinagem. Por padrão, as teclas ◀ e ▶ movimentam o eixo X, no sentido negativo e positivo, respectivamente, as teclas ▼ e ▲ movimentam o eixo Y, no sentido negativo e positivo, respectivamente, e por fim as teclas **Page Up** e **Page Down** movimentam o eixo Z no sentido positivo (cima) e negativo (baixo), respectivamente. Estes deslocamentos são efetuados em percentual da velocidade máxima da máquina, e pode ser ajustado no campo “*Slow Jog Rate*”, Figura 59. Mantendo a tecla **SHIFT** pressionada, a movimentação manual se dá na velocidade máxima.

3.4.5.2 Referenciamento Manual dos Eixos X e Y

Os eixos X e Y são referenciados manualmente, deve-se posicionar a ferramenta de corte no local desejado utilizando o recurso de movimentação manual. Na sequência, clicar nos botões “Zero X” e “Zero Y”, indicados na Figura 60.



Figura 60 - Mach3®: Referenciamento Manual dos Eixos
[Fonte: Autores]

Para o referenciamento do eixo Z deve-se utilizar o recurso automatizado Sonda Zero, conforme já explanado no Tópico 3.4.4.

3.4.5.3 Carregando um Programa de Usinagem no Software



Figura 61 - Mach3®: Carregamento de programa
[Fonte: Autores]

Para carregar (importar) um programa de usinagem, deve-se clicar no botão “*Load G-Code*”, conforme Figura 61. O software trabalha com arquivos de texto nas extensões **.nc**, **.ncc**, **.tap** e **.txt**, caso o programa esteja salvo em uma extensão diferente, deverá ser importado com a opção “*All Files (*.*)*” sob o risco de não ser reconhecido. É possível editar o programa carregado clicando no botão “*Edit G-Code*”, o mesmo será aberto em um bloco de notas para executar as alterações.

Após o referenciamento da ferramenta nos três eixos (Tópicos 3.4.4 e 3.4.5.2) e carregar o programa, deve-se clicar no botão “*Cycle Start*” ou pressionar as teclas **Alt-R** para iniciar o processo de usinagem.

O programa de usinagem em execução pode ser interrompido, para isso deve-se clicar no botão “*Feed Hold*” ou pressionar a tecla **Espaço**. Essa função memoriza a posição atual da ferramenta para possibilitar a continuidade da usinagem, porém o *spindle* permanece ligado, podendo ser desligado manualmente através da tecla de atalho **F5**. Estando a máquina em condição de “*Feed Hold*”, é possível movimentá-la manualmente sem o risco de perder a referência. Para continuar a execução basta clicar no botão “*Cycle Start*” novamente, então abrirá uma janela exibindo a próxima ação da máquina, Figura 62, note que a função “*Start Spindle*” deverá estar selecionada para que o *spindle* seja acionado automaticamente ao retomar a usinagem.

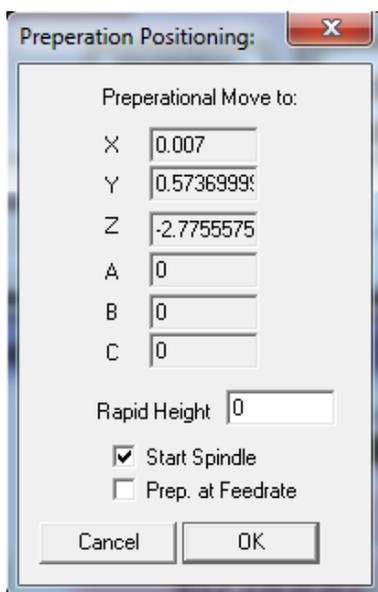


Figura 62 - Mach3®: Preparação para retomada de usinagem
[Fonte: Autores]

A função “*Stop*” é semelhante a função “*Feed Hold*”, porém neste caso o *spindle* é desligado automaticamente. O inconveniente é que ao retomar o processo clicando no botão “*Cycle Start*”, a máquina dá sequência sem acionar o spindle e sem indicar a próxima ação, não exibindo a janela da Figura 62, caso o operador não acione o *spindle* manualmente através da tecla de atalho **F5** antes de clicar em “*Cycle Start*”, poderá ocorrer um acidente e provável quebra da ferramenta de corte. Por questão de segurança é aconselhável utilizar a função “*Feed Hold*” quando houver a necessidade de interromper um programa de uma usinagem em execução.

Não se deve utilizar o botão de emergência para interromper a usinagem, pois poderá comprometer o referenciamento da máquina e dificulta o retorno da execução da usinagem.

Para descarregar um programa basta clicar no botão “*Close G-Code*” conforme Figura 61.

4 RESULTADOS OBTIDOS

4.1 Enclausuramento

A tupa utilizada como *spindle* é um motor universal com escovas e atinge elevadas rotações (30000 rpm em vazio). Estas características justificam o ruído sonoro de 90 decibéis por ele gerado. Para minimizar este problema foi implementado uma cabine de enclausuramento em MDF (*medium density fiberboard* ou placa de fibra de média densidade), com revestimento interno de espuma acústica, para absorver parte deste ruído, Figura 63.

Esta cabine de enclausuramento reduziu em até 15 decibéis o ruído, possibilitando a permanência no ambiente sem a necessidade de proteção auricular, podendo ser normalmente operada em laboratórios e feiras acadêmicas.

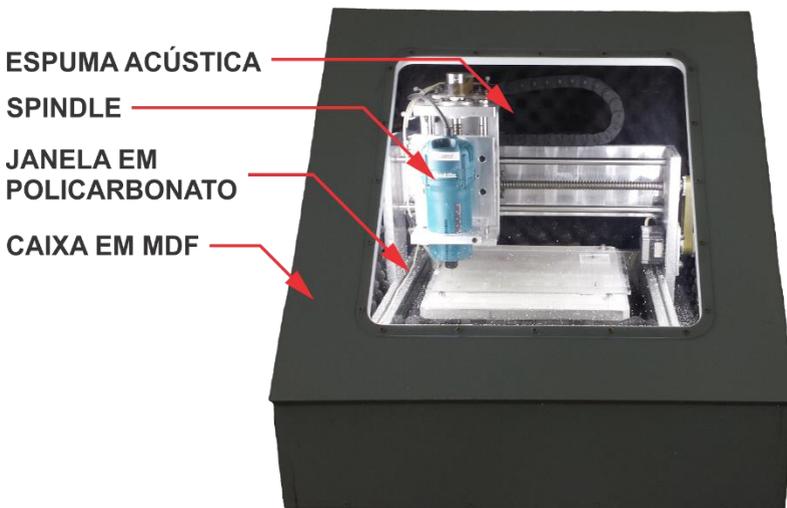


Figura 63 - Enclausuramento da máquina com revestimento acústico interno [Fonte: Autores].

4.2 Protótipo Placa de Circuito Impresso

Foi obtida uma usinagem compatível a tecnologia SMT, através da utilização de fresas cônicas, comumente utilizadas em pantógrafos. Conforme a Figura 64 e a Equação 12, esta

ferramenta de gravação é capaz de usinar uma linha de espessura de 0.207mm com profundidade de 0,1 mm. Esta profundidade é suficiente para remover a camada de cobre presente na placa, isolando o circuito eletrônico projetado.

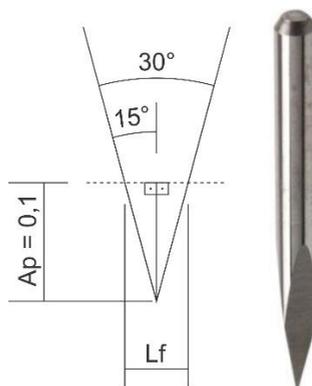


Figura 64 - Fresa de pantógrafo para usinagem das placas
[Fonte: Autores].

$$L_f = 2 \cdot \frac{A_p}{\sin 15} \therefore L_f = 2 \cdot \frac{0.1}{\sin 15} = 0,207mm \quad (12)$$

Onde:

L_f = Largura da fresa em milímetros;

A_p = Profundidade de corte em milímetros.

A resolução obtida, juntamente com a utilização de fresas de pantógrafo, possibilitou a precisão na usinagem de uma placa de circuito impresso com alta densidade de componentes SMT, Figura 65.

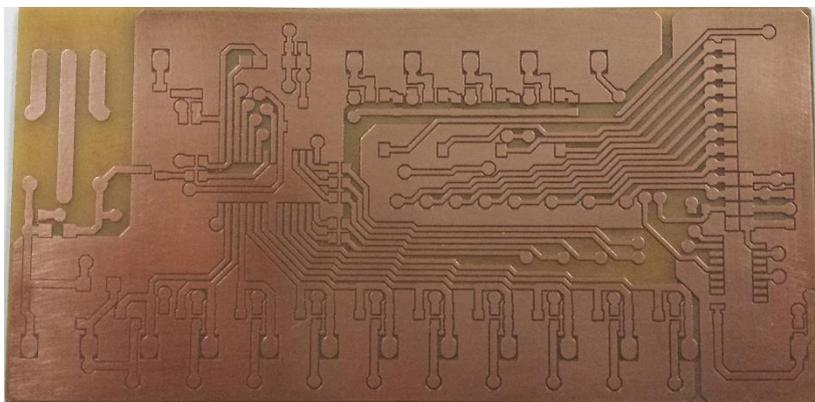


Figura 65 - Placa usinada na máquina desenvolvida
[Fonte: Autores].

A Figura 66 está focalizada em um componente SMT modelo SSOP48, montado em uma PCI fabricada na máquina. As trilhas menores possuem aproximadamente 0,381 mm de espessura. Esta placa recebeu um banho de estanho para evitar oxidação do cobre exposto.

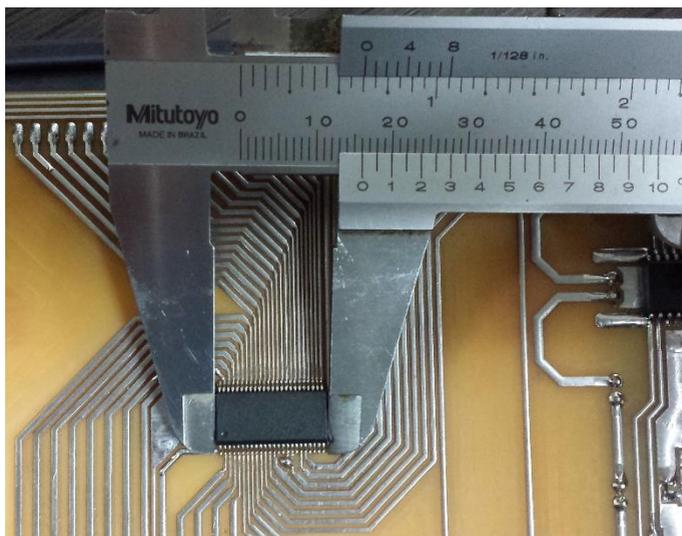


Figura 66 - Alta resolução obtida em protótipos de PCI
[Fonte: Autores].

A qualidade de usinagem obtida foi a mesma em placas de fenolite e fibra de vidro, face simples ou face dupla.

4.3 Protótipo em Acrílico

Para melhor noção da precisão da máquina, foram usinados alguns protótipos em acrílico. A Figura 67 apresenta o projeto de um protótipo, e a Figura 68 uma peça fabricada.

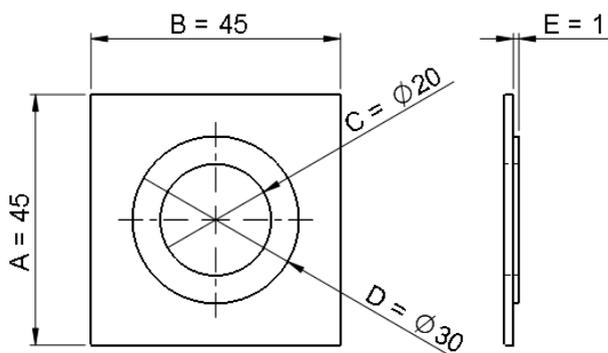


Figura 67 - Projeto protótipo
[Fonte: Autores].

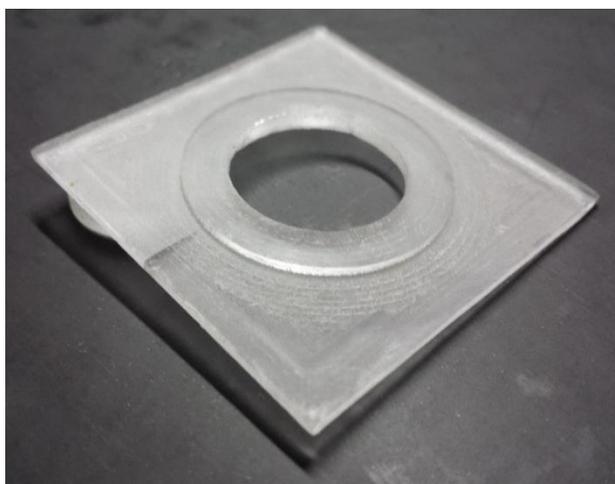


Figura 68 - Protótipo usinado em acrílico
[Fonte: Autores].

A Tabela 9 mostra o comparativo dimensional entre a peça projetada e a fabricada em acrílico. Dimensões obtidas através de um paquímetro quadrimensional com resolução de 0,05 mm.

Tabela 9 - Comparativo dimensional peça em acrílico

Cota	Dimensão peça projetada	Dimensão peça fabricada	Erro
A	45 mm	45 mm	0 mm
B	45 mm	45 mm	0 mm
C	20 mm	19,8 mm	-0,2 mm
D	30 mm	30,05 mm	+0,05 mm
E	1 mm	0,9 mm	0,1 mm

[Fonte: Autores].

A Figura 69 apresenta um chassi de um robô didático, exemplificado outra utilidade da máquina, a confecção de modelos tridimensionais.

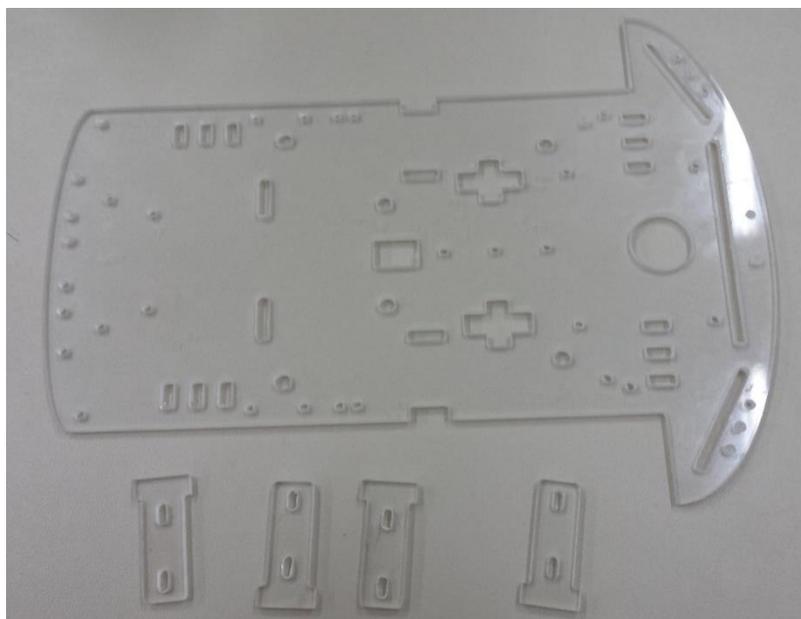


Figura 69 - Chassi usinado em acrílico

[Fonte: Autores].

4.4 Protótipo em MDF

O maior inconveniente da usinagem em MDF é o excesso de poeira produzida. Este tipo de sujeira é prejudicial para a máquina, pois se prende na lubrificação das partes móveis, aumentando o atrito. Por este único motivo não se aconselha a usinagem deste material, sem a prévia implementação de um sistema aspirador de partículas. A Figura 70 apresenta uma peça usinada em MDF.

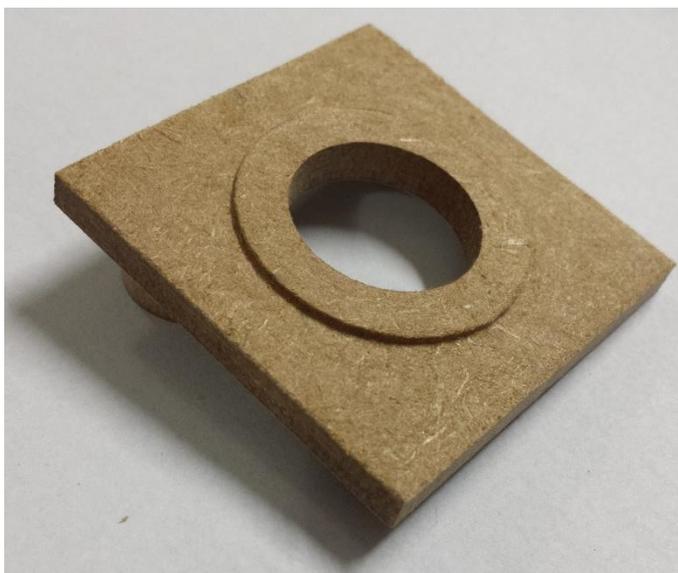


Figura 70 - Protótipo usinado em MDF
[Fonte: Autores].

A Tabela 10 mostra o comparativo dimensional entre a peça projetada e a fabricada em MDF.

Tabela 10 - Comparativo dimensional peça em MDF

Cota	Dimensão peça projetada	Dimensão peça fabricada	Erro
A	45 mm	45,1 mm	+0,1 mm
B	45 mm	45,1 mm	+0,1 mm
C	20 mm	19,85 mm	-0,15 mm
D	30 mm	30,1 mm	+0,1 mm
E	1 mm	0,85 mm	-0,15mm

[Fonte: Autores].

4.5 Nivelamento da mesa no eixo Z

Foi traçado um perfil de nivelamento da mesa no eixo Z, com o auxílio de um relógio comparador com precisão de 0,01 mm devidamente fixado na estrutura, com a ponta posicionada sobre a mesa, conforme Figura 71.

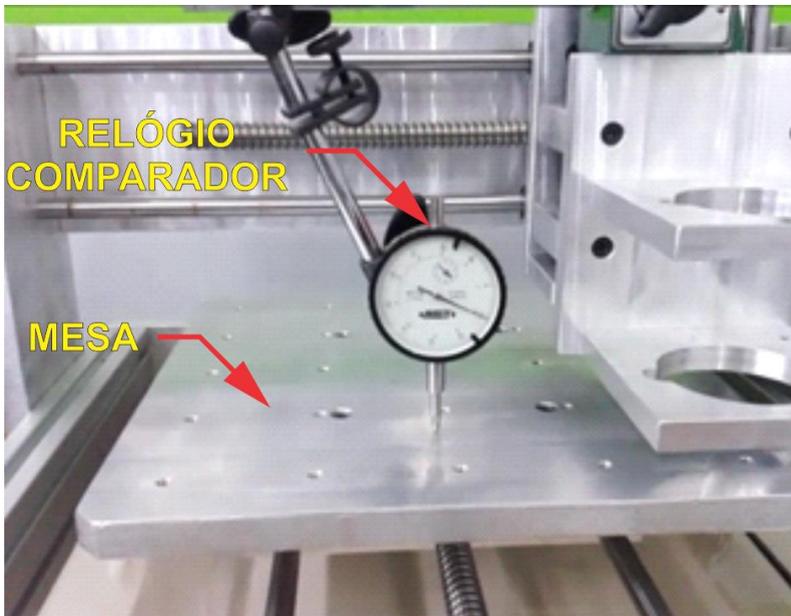


Figura 71 - Traçando perfil de nivelamento da mesa no eixo Z

[Fonte: Autores].

O instrumento de medição foi referenciado no canto frontal esquerdo da mesa, região azul escuro do gráfico na Figura 72. O gráfico foi construído, a partir da leitura do relógio comparador em cada deslocamento de 50 mm nos eixos X e Y, formando uma matriz de três dimensões possível de ser expressa.

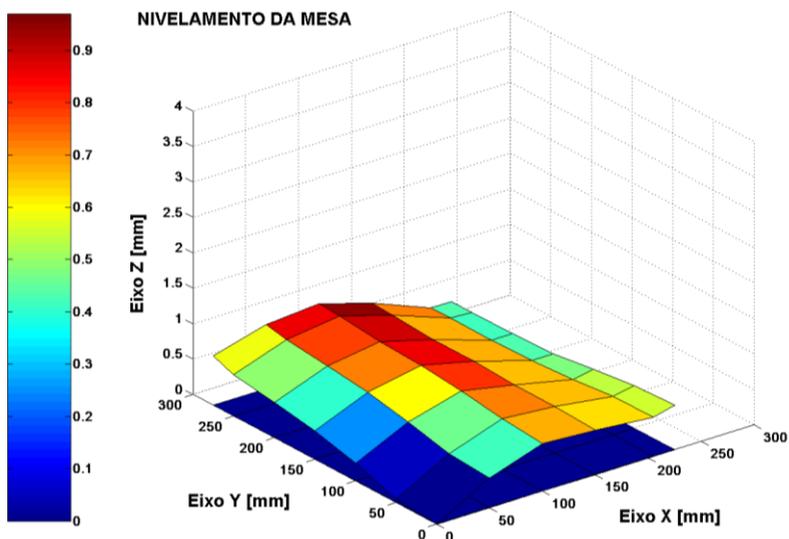


Figura 72 - Nivelamento da mesa, eixo Z
[Fonte: Autores].

Este desnível já era previsto antes mesmo do início da fabricação da máquina. Para contornar o problema, foi adicionado por sobre a mesa, uma chapa de acrílico conforme Figura 73 para atender a dois objetivos:

- Nivelar a mesa, através de um passe de faceamento com uma fresa de topo, por toda área da chapa.
- Evitar danos a ferramenta de corte e/ou a própria mesa de alumínio, servindo como elemento de sacrifício.

O problema foi resolvido, visto que os protótipos fabricados após o nivelamento não apresentaram irregularidades na profundidade da usinagem. Recomenda-se após algum tempo de uso, a substituição do elemento de sacrifício.

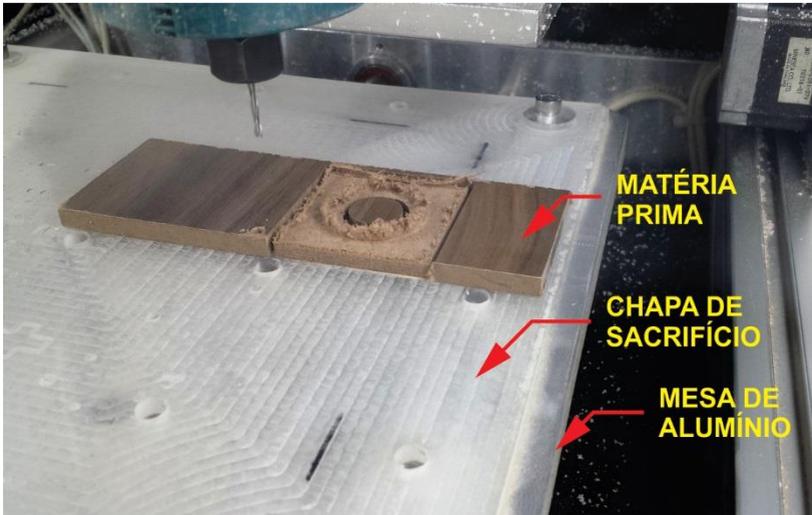


Figura 73 - Chapa de sacrifício em acrílico
[Fonte: Autores].

4.6 Velocidade de Avanço

A velocidade de avanço máxima obtida foi de 1500 mm/min. Se a velocidade for aumentada além deste valor, os motores de passo podem perder a sincronia com a sequência de acionamento das fases, ocasionando a perda de passos, conseqüentemente a perda da referência. Para velocidades acima de 1000mm/min, o torque do motor é proporcionalmente reduzido. Desta forma é aconselhável usinar com velocidades de avanço inferiores a 1000 mm/min e em movimentações livres no máximo 1500 mm/min.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho de conclusão de curso foi desenvolvido uma fresadora CNC didática de pequeno porte, apresentando com detalhamento os elementos chave envolvidos nas etapas de projeto e fabricação da estrutura mecânica e das placas eletrônicas.

De acordo com os resultados obtidos os autores consideram que o projeto desenvolvido atendeu com êxito e satisfação a todos objetivos propostos, máquina compacta com tamanho de 600 x 600 x 550 mm (C x L x A), precisa com resolução de 0,0125 mm e velocidade de avanço de até 1000 mm/min.

A operação durante o processo de prototipagem foi considerada simples, exceto nas etapas de fixação da matéria prima e troca de ferramenta de corte que exigem maior atenção. O recurso de referenciamento automatizado da ponta da ferramenta de corte no eixo Z, através da Sonda Zero, também contribuiu para a simplicidade operacional.

Não há grandes riscos de acidente em sua operação, pois, a cabine de enclausuramento acústico serviu também como proteção contra a projeção de partículas. Porém, as normas de segurança NR10 e NR12 não foram completamente atendidas, pois existem comandos e indicações no painel operando com tensão de 220 Vac e a máquina continua a operar mesmo com a abertura da tampa da cabine.

Dada complexidade e a quantidade de áreas tecnológicas envolvidas, surgiram vários desafios durante as etapas de projeto e fabricação, exigindo a integração do conhecimento obtido em cada unidade curricular do curso de mecatrônica industrial, e auxílio dos professores orientadores. Uma barreira enfrentada foi a necessidade de adaptação do projeto mecânico para possibilitar o uso das peças recebidas por doação.

Esta aplicação exemplifica de forma muito explícita a essência da mecatrônica, onde foi possível observar na prática, vários elementos que foram estudados à teoria em sala de aula.

Contudo acredita-se que o esforço e dedicação empregados nesta ocasião renderão muitos benefícios a instituição, motivando os alunos e criando novas oportunidades de trabalhos relacionados.

5.1 Propostas de Novos Trabalhos

Estando a fresadora concluída, devemos agora observá-la com olhar crítico, para corrigir eventuais problemas e inovar as tecnologias empregadas. Uma rápida reflexão entre os autores, rendeu alguns temas que são sugeridos como propostas para novos trabalhos acadêmicos:

- Adicionar sistema de troca de ferramenta automatizado, com magazine de ferramentas.
- Adicionar controle de posicionamento dos eixos em malha fechada, através da adição de encoder.
- Criar um controle de velocidade do *spindle* em malha fechada, se necessário utilizar outro motor.
- Implementar sensores de alta precisão para o referenciamento automático dos eixos, que garantam sempre a mesma posição inicial da máquina (*home position*).
- Desenvolver um sistema de fixação do elemento a ser usinado, que proporcione maior agilidade ao processo. Mesa de vácuo.
- Finalizar o sistema de aspiração de partículas, pois o painel já contém o acionamento monofásico 220 Vac para o aspirador.
- Alteração da interface de comunicação LPT para USB, fornecendo maior compatibilidade com equipamentos atuais.

BIBLIOGRAFIA

ARIEIRO, Tiago Jorge Ruela, **Manutenção e reparação de máquinas ferramentas de comando numérico**, Universidade do Minho, 2013.

ARTSOFT, **A usage guide for Mach3Mill/Plasma release 1.84+**, 2006.

BRAGA, Newton C. **Os segredos da porta paralela**. Revista Mecatrônica Atual, ano 1, n.º 1, 2001.

CONDIT, Reston e JONES, Douglas W. **Stepping Motors Fundamentals**, Microchip Application Note, 2004.

CRAVO, Edilson. **História do Motor de Passo**. Disponível em: <http://www.kalatec.com.br/historia-do-motor-de-passo>. Acesso em: 05 jun 2015.

CRISTO, Edinara Filipiak de. **Implementações e Técnicas de controle de motor de passo em aplicações CNC**, Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

DUPONT, A. e CASTELL, A. **Technologie professionnelle générale: Etude fonctionnelle des machines-outils**, Desforges éditeur, 1968

FIORELLINO, P., **Introductory Course in the Numerical Control of Machine Tools: Training Course for Industrial Personnel and Students of Technical Colleges**, ACIERA Ag, 1981.

GRIMBLEBY, Jonas B. **Stepping Motors**. University of Reading, 2008.

GROOVER, M. P. **Automation, Production Systems and CIM**, McGraw-Hill, 2001.

KÖNIG, W. **Fertigungsverfahren - vol. 1**. VDI Verlag, 1990.

KÖNIG, W.; **et ali. Diamond Machining Technology. Aachen: maio 1991.** Tutorial do 6º IPES/UME 2, IPT.

KOREN, Y. **Computer Control of Manufacturing Systems**, McGraw-Hill International Book Company, 1983.

MACHADO, Aryoldo. **O Comando numérico: aplicado às máquinas-ferramenta.** São Paulo, Editora Ícone, 3ª edição, 1989.

MADISON J. **CNC Machining Handbook**, Industrial Press Inc., 1996.

MOORE, W. R. **Foundations of Accuracy.** TMSTC. 1989.

MORAES, André Luis de. **Otimização do processo produtivo de montagem de placas SMT, especificamente aparelhos celulares, rádios de comunicação e placas de estação de rádio base.** Jaguariúna. 2006.

PABLA B. S. e ADITHAN, M, **CNC Machines**, New Age International, 1994.

PAZOS, Fernando. **Automação de Sistemas e Robótica.** Rio de Janeiro, Editora Axcel Books do Brasil, 1ª edição, 2002.

SHIGLEY, J. E. e MISCHKE, C. R. **Projeto de Engenharia Mecânica**, Bookman, 2005.

SLOCUM, A. H., **Precision Machine Design**, Prentice Hall, 1992.

STOETERAU, R. L. **Introdução ao Projeto de Máquina-Ferramentas Modernas**, Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico Departamento de Engenharia Mecânica, 2004.

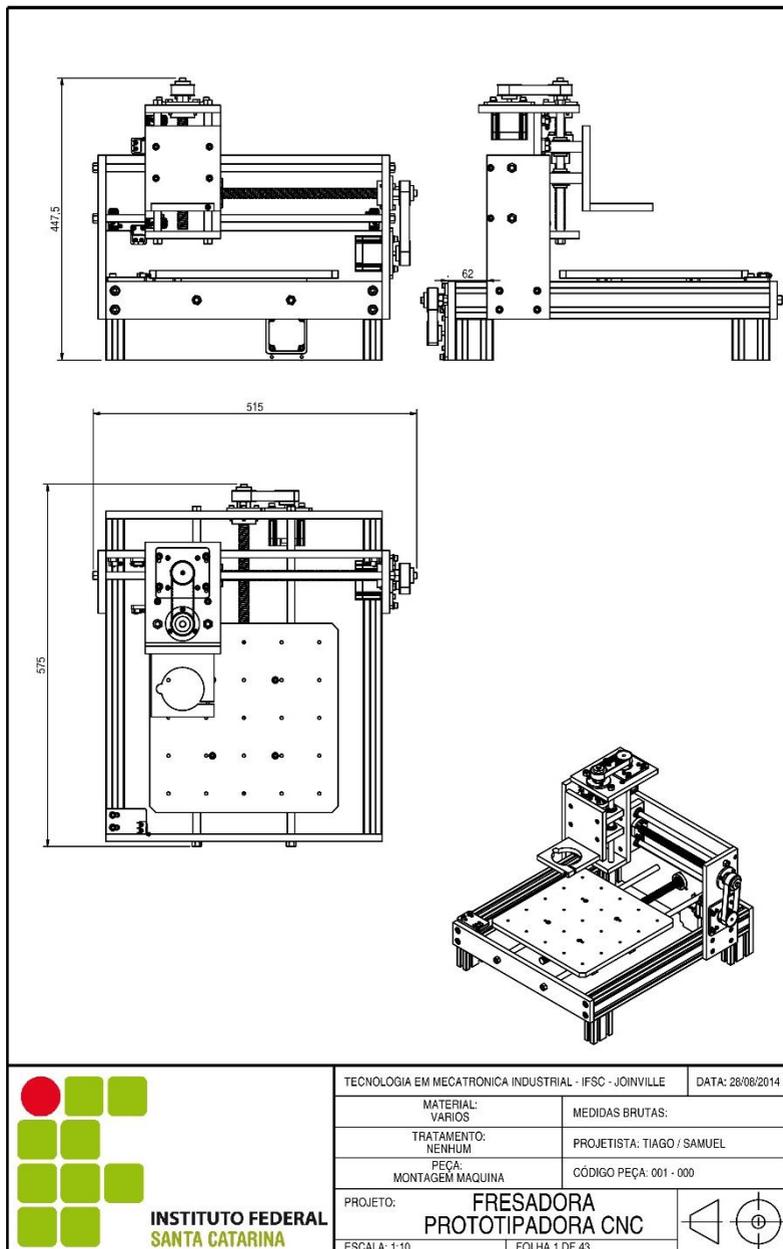
STOETERAU, R. L. **Comportamento Estático e Dinâmico de Mancais Aerostáticos Cilíndricos para Guias Lineares.** Florianópolis: UFSC, 1992. Dissertação.

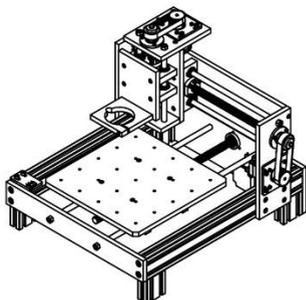
THYER, G. E. **Computer Numerical Control of Machine Tools**. Nova Iorque: Industrial Press, 2ª edição, 1991.

TORRES, Gabriel. **Hardware**, Axcel Books do Brasil, 4ª edição, 2001.

YOUSSEF, H. A. e EL-HOFY, H. **Machining Technology, Machines Tools and Operations**, CRC Press, 2008.

APÊNDICE A – PROJETO MECÂNICO

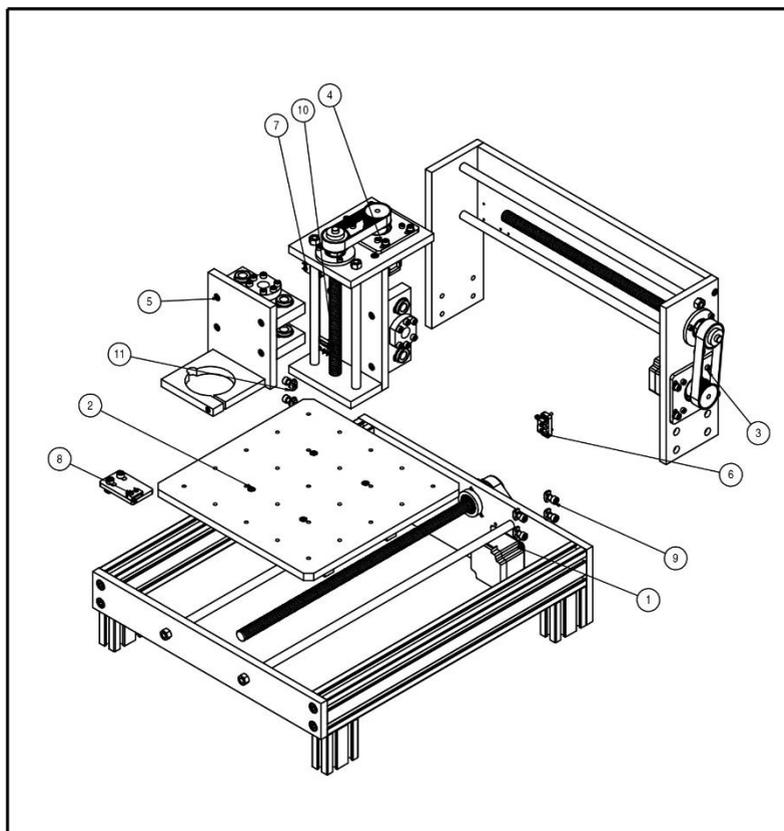




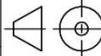
53	ROLAMENTO LINEAR 12UU		12
52	ROLAMENTO 6001 DIN 625		6
51	PORCA SEXTAVADA M8 ISO 4034		12
50	PORCA SEXTAVADA M12 X 1 ISO 4034		3
49	PORCA MARTELO M6		10
48	PORCA M4 ISO 4032		12
47	POLIA SINCRONIZADA 16MM 22 DENTES FURO 6.35		3
46	POLIA SINCRONIZADA 16MM 22 DENTES FURO 10		3
45	PARAFUSO FENDIDO CABEÇA PANELA M3 X 12 ISO 1580		34
44	PARAFUSO ALLEN M8 X 30 DIN 912		8
43	PARAFUSO ALLEN M6 X 12 DIN 912		10
42	PARAFUSO ALLEN M5 X 16 DIN 912		50
41	PARAFUSO ALLEN M4 X 25 DIN 912		1
40	PARAFUSO ALLEN M4 X 20 DIN 912		23
39	MOTOR DE PASSO Nema 23		3
38	CORREIA SINCRONIZADA T5 16MM 300MM		1
37	CORREIA SINCRONIZADA T5 16MM 260MM		1
36	CORREIA SINCRONIZADA T5 16MM 270MM		1
35	CHAVE FDC		9
34	CASTANHA ESFERAS RECIRCULANTES 16MM		3
33	ARRUELA LISA C5.5 DIN 6902		12
32	ARRUELA LISA C4.55 DIN 6902		12
31	ARRUELA DE PRESSAO A5 DIN 128		12
30	ARRUELA DE PRESSAO A4 DIN 128		12
29	ANEL ELASTICO 21 X 1.2 DIN 471		24
Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	MEDIDAS_BRUTAS	QDT.

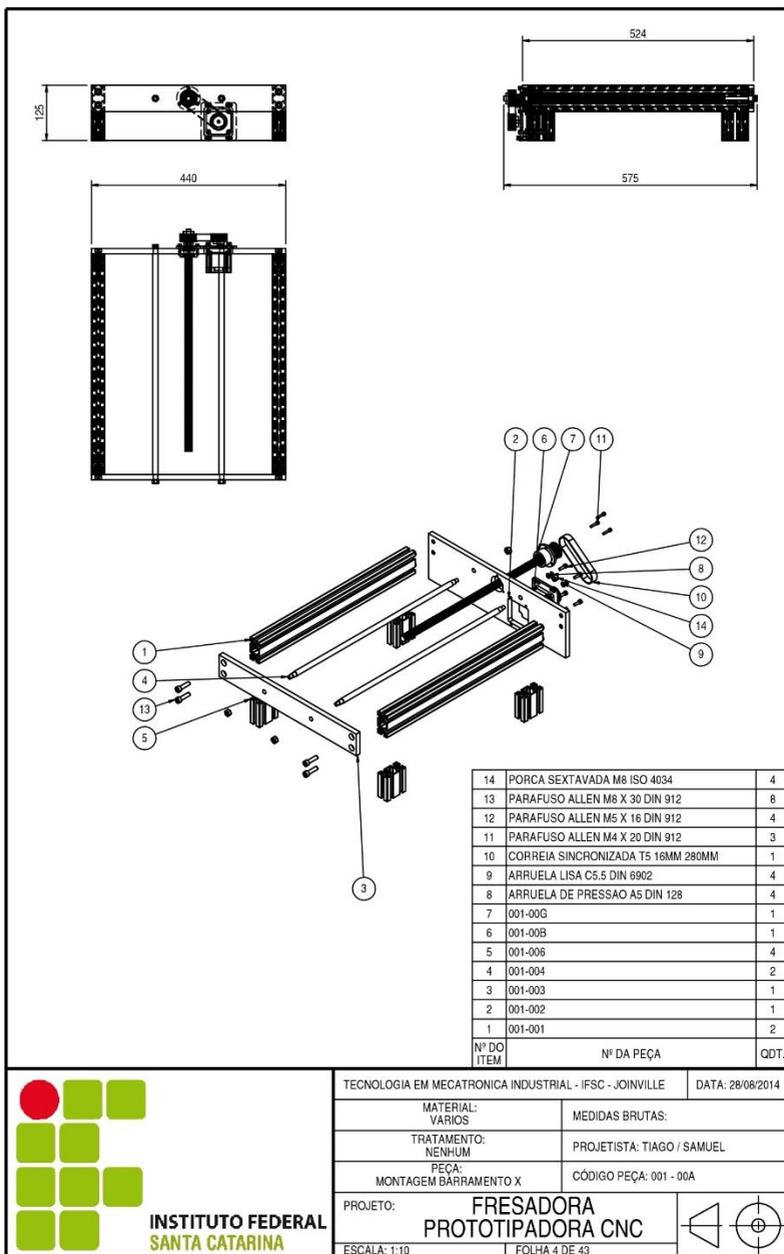
28	001-028	70 X 45 X 6	1
27	001-027	30 X35 X 6	2
26	001-026	40 X 20 X 6	6
25	001-025	205 X 60 X 19,05	1
24	001-024	125 X 60 X 19,05	2
23	001-023	Ø57,15 X 30	3
22	001-022	140 X 125 X 15,875	1
21	001-021	235 X Ø12	2
20	001-020	240 X Ø16	1
19	001-019	165 X 125 X 15,875	1
18	001-018	125 X 60 X 19,05	2
17	001-017	205 X 125 X 15,875	1
16	001-016	413 X Ø16	1
15	001-015	485 X Ø12	2
14	001-014	265 X 105 X 15,875	1
13	001-013	125 X 65 X 15,875	1
12	001-012	445 X 125 X 15,875	1
11	001-011	105 X 105 X 15,875	1
10	001-010	265 X 105 X 15,875	1
9	001-009	305 X 305 X 15,875	1
8	001-008	205 X 60 X 19,05	1
7	001-007	90 X 85 X 6,35	3
6	001-006	30 X 60 X 70	4
5	001-005	502 X Ø16	1
4	001-004	545 X Ø12	2
3	001-003	65 X 445 X 15,875	1
2	001-002	130 X 445 X 15,875	1
1	001-001	30 X 60 X 510	2
Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	MEDIDAS_BRUTAS	QDT.

<p>INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA</p>	TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 28/08/2014
	MATERIAL: VARIOS	MEDIDAS BRUTAS:	
	TRATAMENTO: NENHUM	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
	PEÇA: LISTA DE MATERIAIS	CÓDIGO PEÇA: 001 - 000	
	PROJETO: FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	ESCALA: 1:10	FOLHA 2 DE 43



8	001-00J	FIM DE CURSO 3	1
7	001-00L	FIM DE CURSO 2	2
6	001-00K	FIM DE CURSO 1	6
5	001-00F	MONTAGEM MESA BARRAMENTO Z	1
4	001-00E	MONTAGEM BARRAMENTO Z	1
3	001-00D	MONTAGEM BARRAMENTO Y	1
2	001-00C	MONTAGEM MESA X	1
1	001-00A	MONTAGEM BARRAMENTO X	1
Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	NOME PEÇA	QDT.

 <p>INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA</p>	TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 28/08/2014
	MATERIAL: VARIOS	MEDIDAS BRUTAS:	
	TRATAMENTO: NENHUM	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
	PEÇA: SUBMONTAGENS FRESADORA	CÓDIGO PEÇA: 001 - 000	
	PROJETO: FRESADORA PROTOTIPADORA CNC		
ESCALA: 1:10	FOLHA 3 DE 43		



**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE DATA: 28/08/2014

MATERIAL:
VARIOS

MEDIDAS BRUTAS:

TRATAMENTO:
NENHUM

PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL

PEÇA:
MONTAGEM BARRAMENTO X

CÓDIGO PEÇA: 001 - 00A

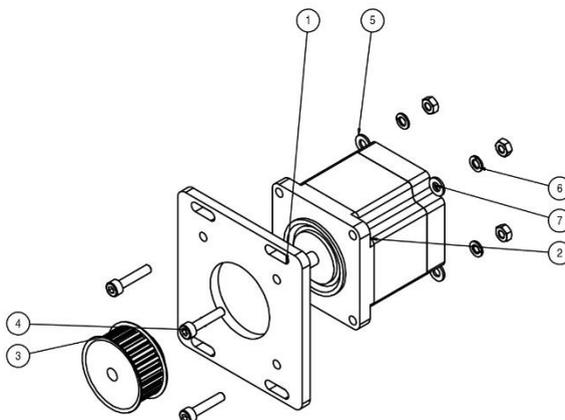
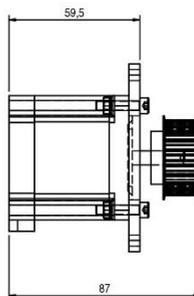
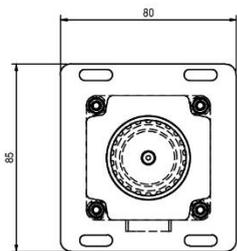
PROJETO:

**FRESADORA
PROTOTIPADORA CNC**

ESCALA: 1:10

FOLHA 4 DE 43



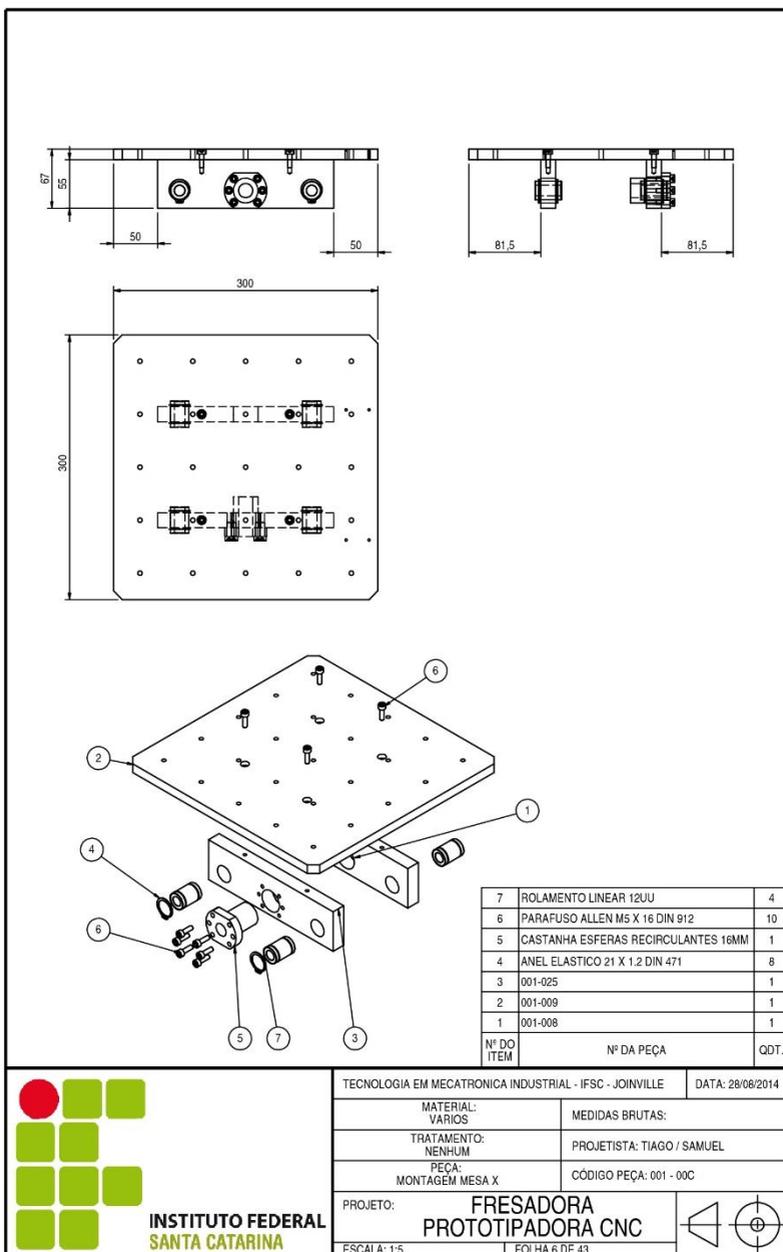


7	PORCA M4 ISO 4032	4
6	ARRUELA DE PRESSAO A4 DIN 128	4
5	ARRUELA LISA C4.55 DIN 6902	4
4	PARAFUSO ALLEN M4 X 20 DIN 912	4
3	POLIA SINCRONIZADA 16MM 22 DENTES FURO 6,35	1
2	MOTOR DE PASSO Nema 23	1
1	001-007	1
Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	QDT.



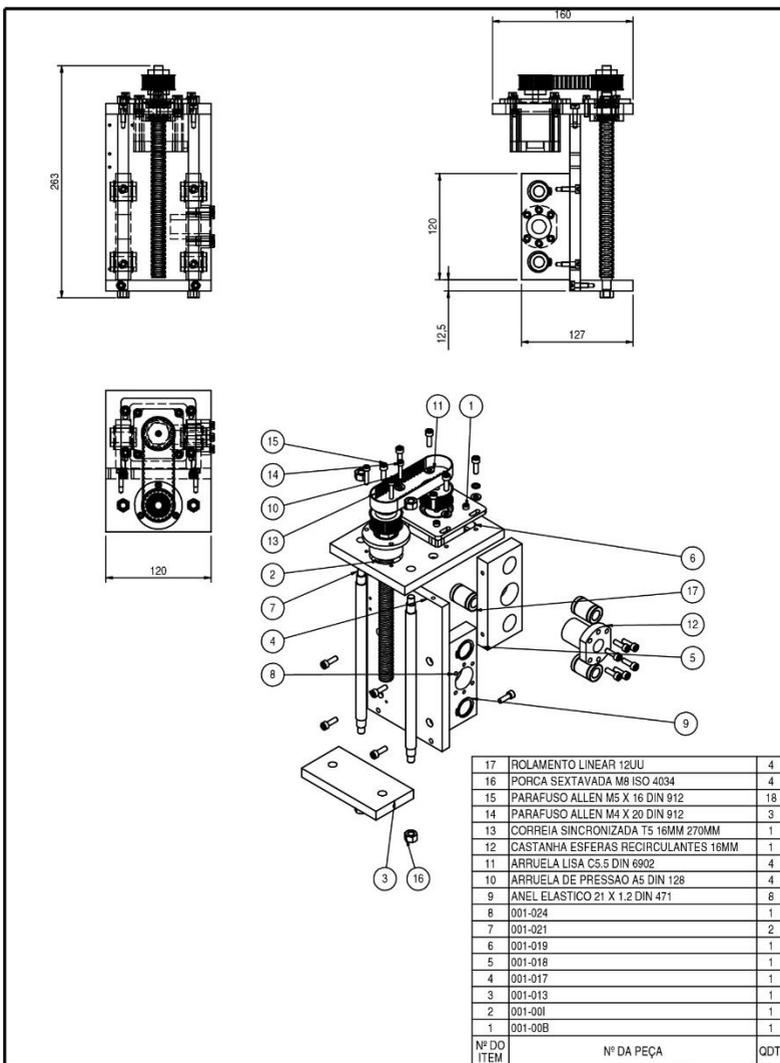
**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 28/08/2014
MATERIAL: VARIOS	MEDIDAS BRUTAS:	
TRATAMENTO: NENHUM	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
PEÇA: MONTANTE MOTOR	CÓDIGO PEÇA: 001 - 00B	
PROJETO:	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
ESCALA: 1:2	FOLHA 5 DE 43	



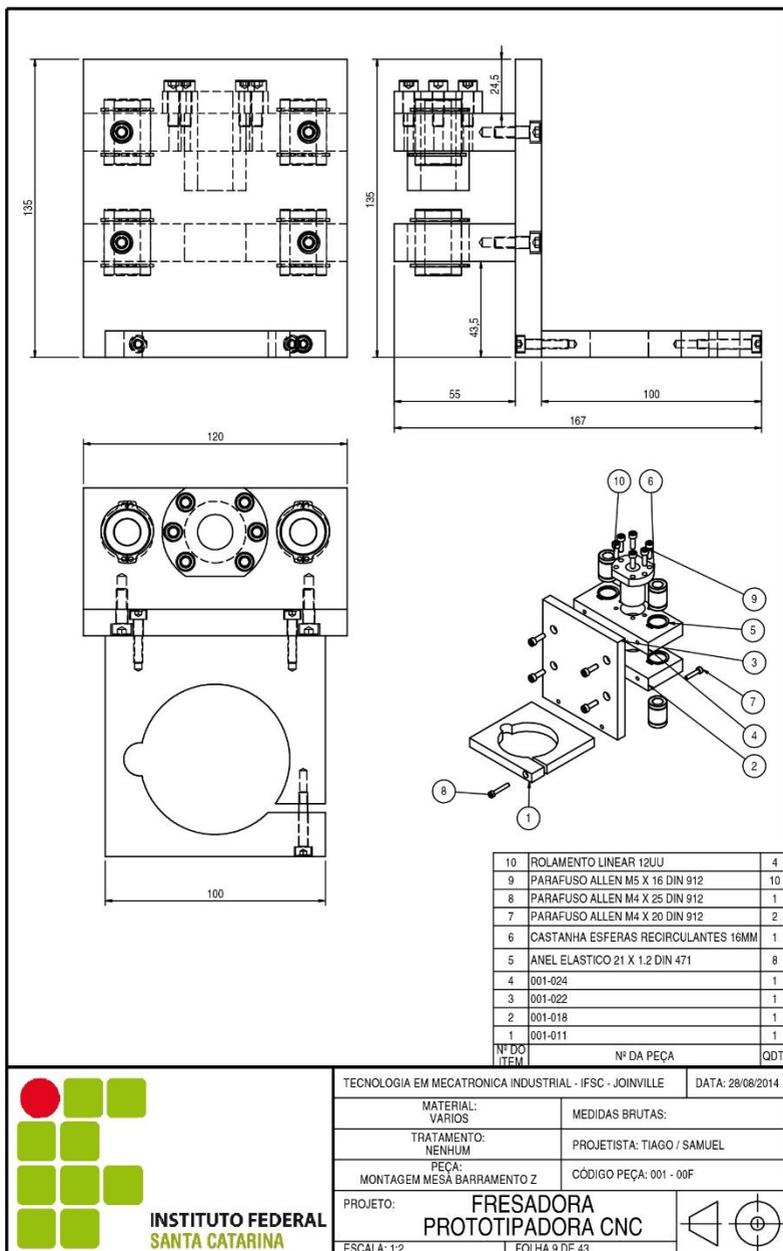
**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 28/08/2014
MATERIAL: VARIOS	MEDIDAS BRUTAS:	
TRATAMENTO: NENHUM	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
PEÇA: MONTAGEM MESA X	CÓDIGO PEÇA: 001 - 00C	
PROJETO:	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
ESCALA: 1:5	FOLHA 6 DE 43	



**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 28/08/2014
MATERIAL: VARIOS	MEDIDAS BRUTAS:	
TRATAMENTO: NENHUM	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
PEÇA: MONTAGEM BARRAMENTO Z	CÓDIGO PEÇA: 001 - 00E	
PROJETO:	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
ESCALA: 1:5	FOLHA 6 DE 43	



**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE DATA: 28/08/2014

MATERIAL:

VARIOS

MEDIDAS BRUTAS:

TRATAMENTO:

NENHUM

PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL

PEÇA:

MONTAGEM MESA BARRAMENTO Z

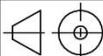
CÓDIGO PEÇA: 001 - 00F

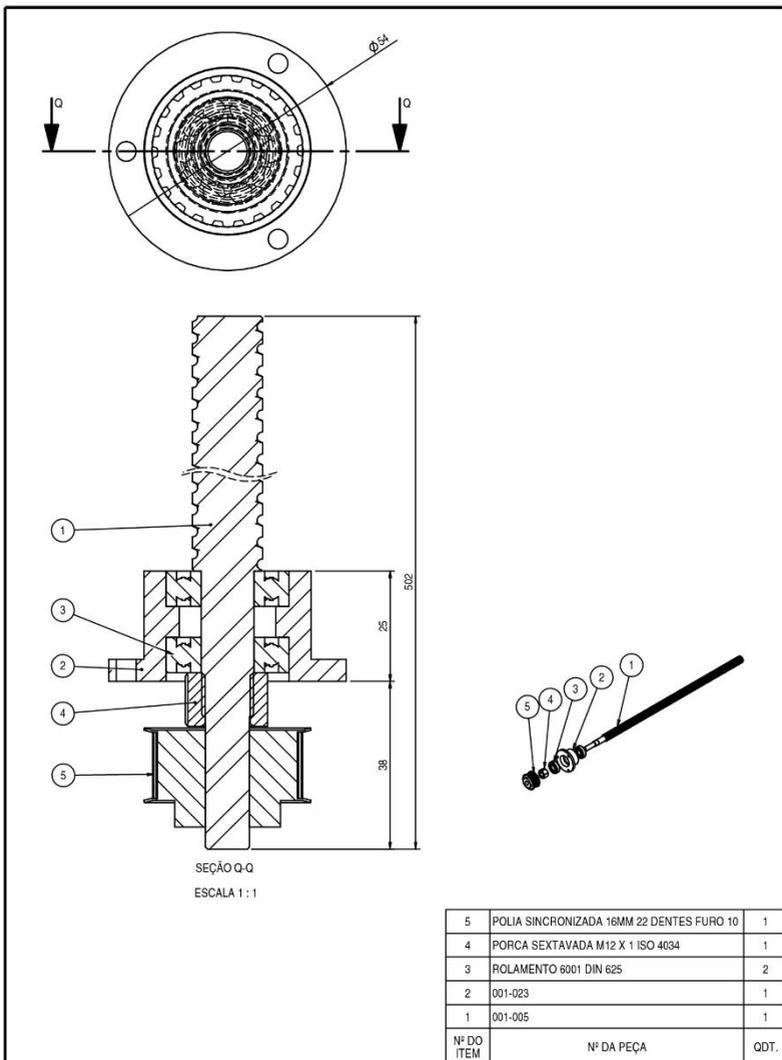
PROJETO:

**FRESADORA
PROTOTIPADORA CNC**

ESCALA: 1:2

FOLHA 9 DE 43





5	POLIA SINCRONIZADA 16MM 22 DENTES FURO 10	1
4	PORCA SEXTAVADA M12 X 1 ISO 4034	1
3	ROLAMENTO 6001 DIN 625	2
2	001-023	1
1	001-005	1
Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	QDT.

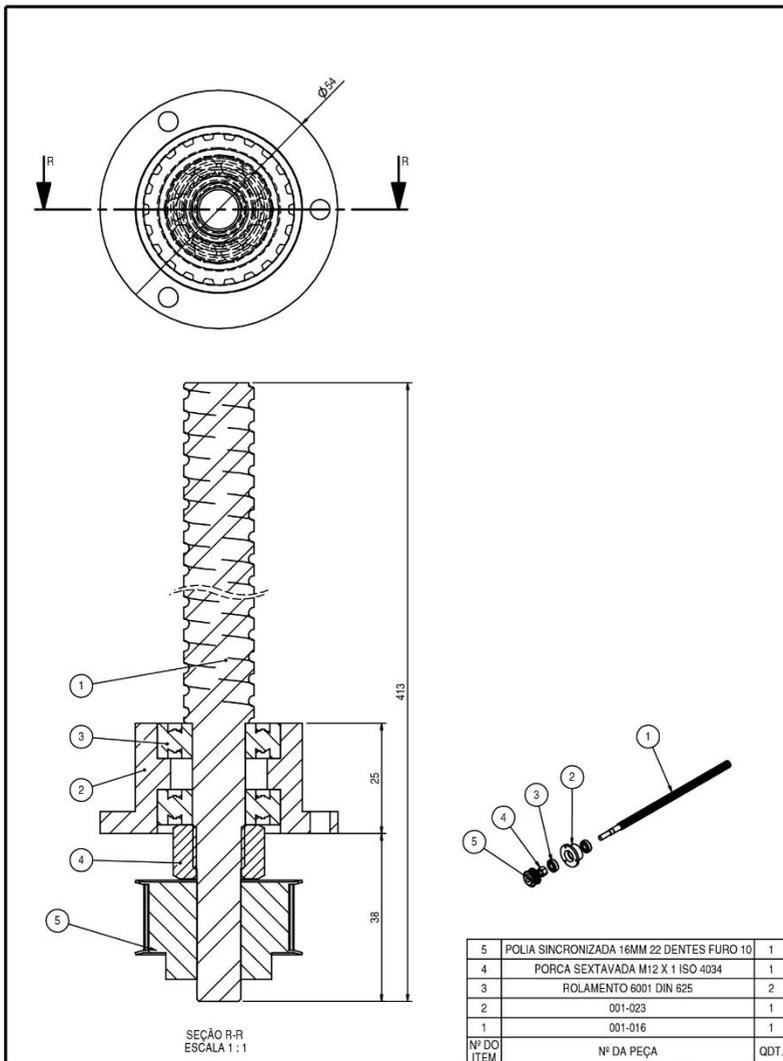
**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE DATA: 28/08/2014

MATERIAL: VARIOS	MEDIDAS BRUTAS:
TRATAMENTO: NENHUM	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL
PEÇA: MONTAGEM FUSO BARRAMENTO X	CÓDIGO PEÇA: 001 - 00G

PROJETO: **FRESADORA
PROTOTIPADORA CNC**

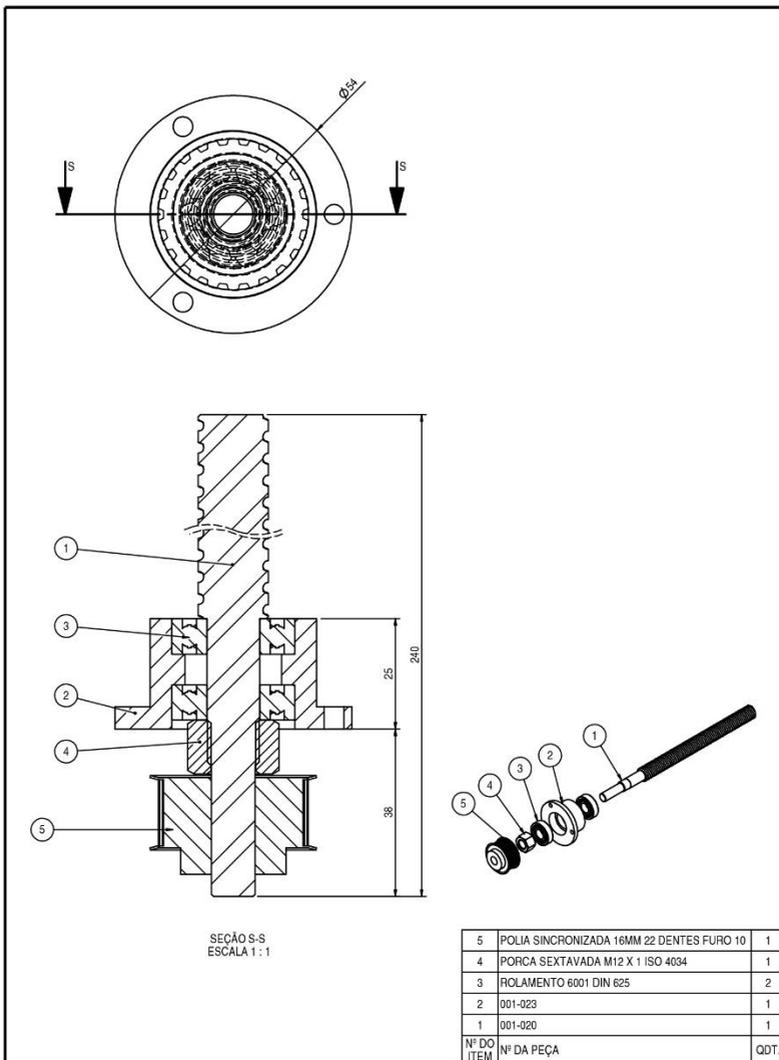
ESCALA: 1:1 FOLHA 10 DE 43



5	POLIA SINCRONIZADA 16MM 22 DENTES FURO 10	1
4	PORCA SEXTAVADA M12 X 1 ISO 4034	1
3	ROLAMENTO 6001 DIN 625	2
2	001-023	1
1	001-016	1
Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	QDT.

**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 28/08/2014
MATERIAL: VARIOS	MEDIDAS BRUTAS:	
TRATAMENTO: NENHUM	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
PEÇA: MONTAGEM FUSO BARRAMENTO Y	CÓDIGO PEÇA: 001 - 00H	
PROJETO:	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
ESCALA: 1:1	FOLHA 11 DE 43	



SEÇÃO S-S
ESCALA 1:1

5	POLIA SINCRONIZADA 16MM 22 DENTES FURO 10	1
4	PORCA SEXTAVADA M12 X 1 ISO 4034	1
3	ROLAMENTO 6001 DIN 625	2
2	001-023	1
1	001-020	1
Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	QDT.

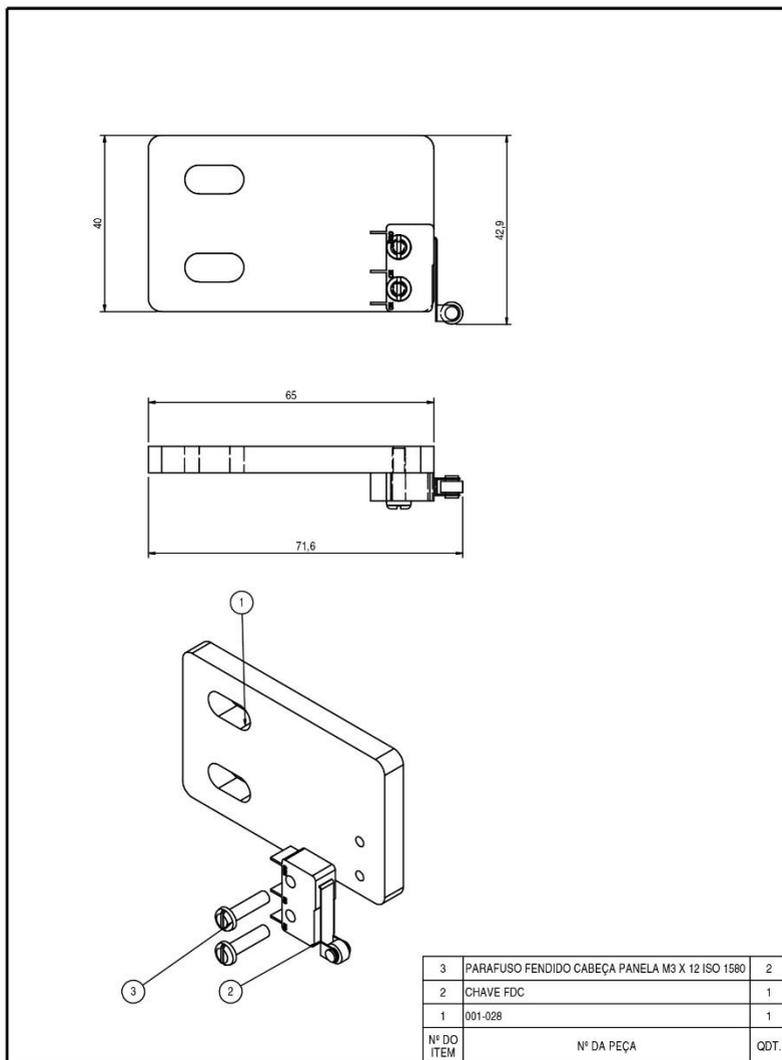
**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE DATA: 28/08/2014

MATERIAL: VARIOS	MEDIDAS BRUTAS:
TRATAMENTO: NENHUM	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL
PEÇA: MONTAGEM FUSO BARRAMENTO Z	CÓDIGO PEÇA: 001 - 001

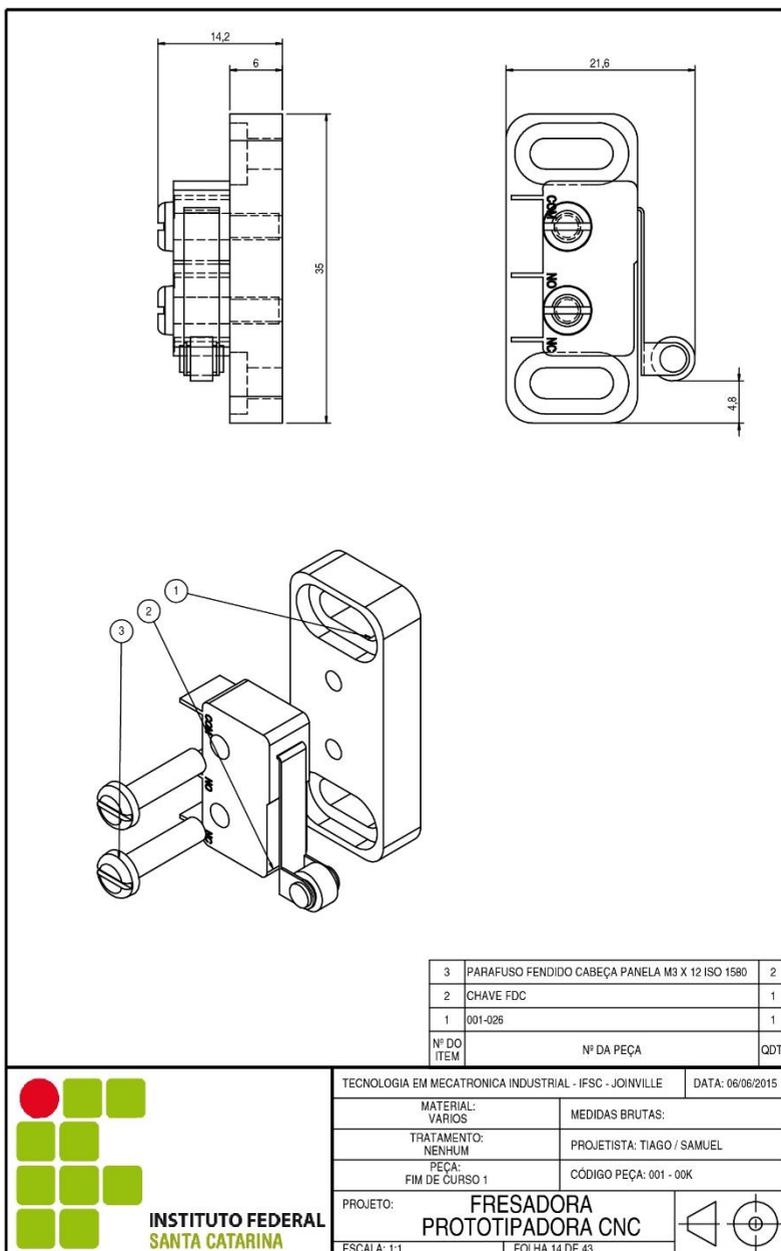
PROJETO: **FRESADORA
PROTOTIPADORA CNC**

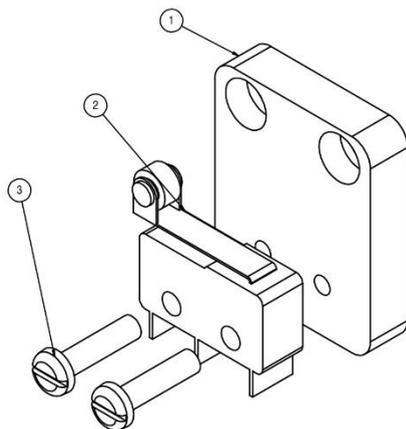
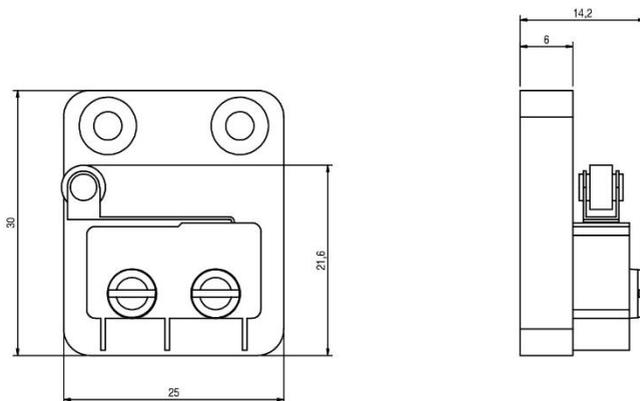
ESCALA: 1:1 FOLHA 12 DE 43



3	PARAFUSO FENDIDO CABEÇA PANELA M3 X 12 ISO 1580	2
2	CHAVE FDC	1
1	001-028	1
Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	QDT.

 <p>INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA</p>	TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 06/06/2015
	MATERIAL: VARIOS	MEDIDAS BRUTAS:	
	TRATAMENTO: NENHUM	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
	PEÇA: FIM DE CURSO 3	CÓDIGO PEÇA: 001 - 00J	
	PROJETO:	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
ESCALA: 1:1	FOLHA 13 DE 43		



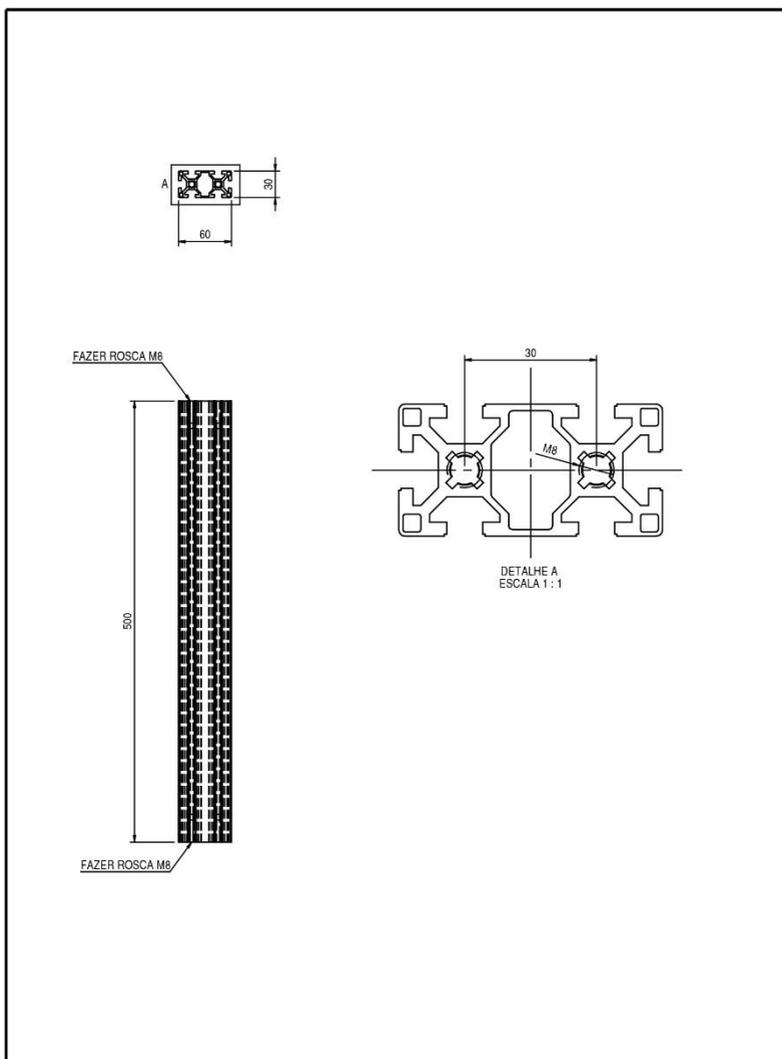


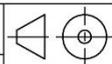
3	PARAFUSO FENDIDO CABEÇA PANELA M3 X 12 ISO 1580	2
2	CHAVE FDC	1
1	001-027	1
Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	QDT.

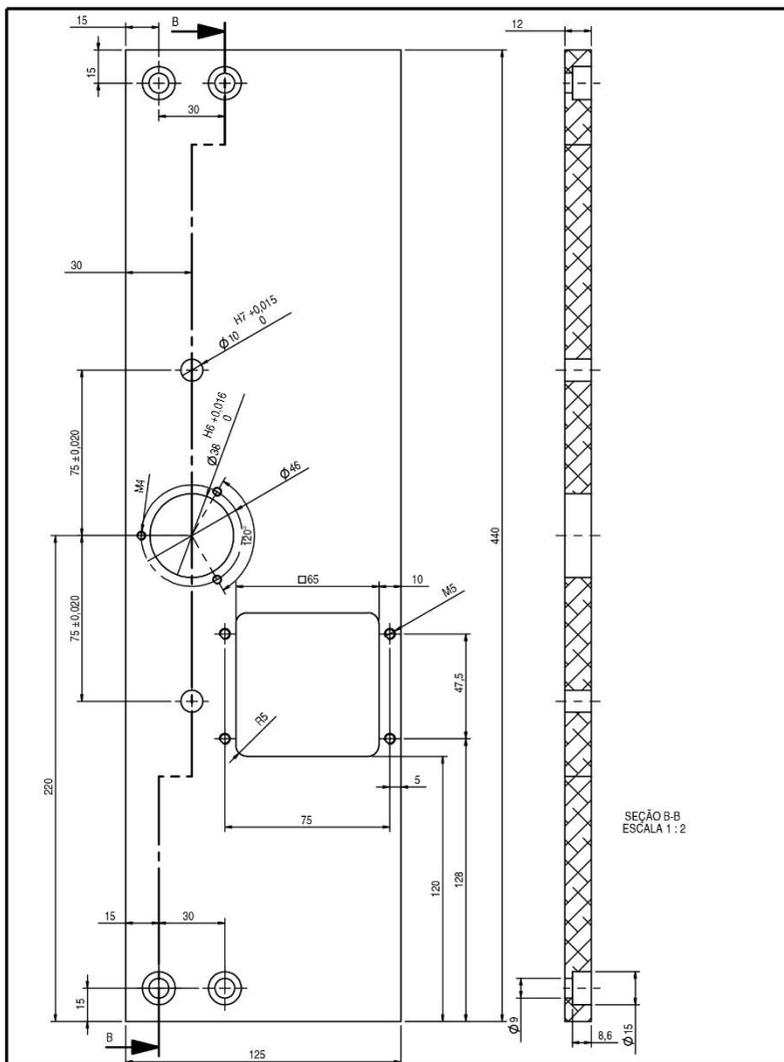


**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 06/06/2015
MATERIAL: VARIOS	MEDIDAS BRUTAS:	
TRATAMENTO: NENHUM	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
PEÇA: FIM DE CURSO 2	CÓDIGO PEÇA: 001 - 00L	
PROJETO:	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
ESCALA: 2:1		



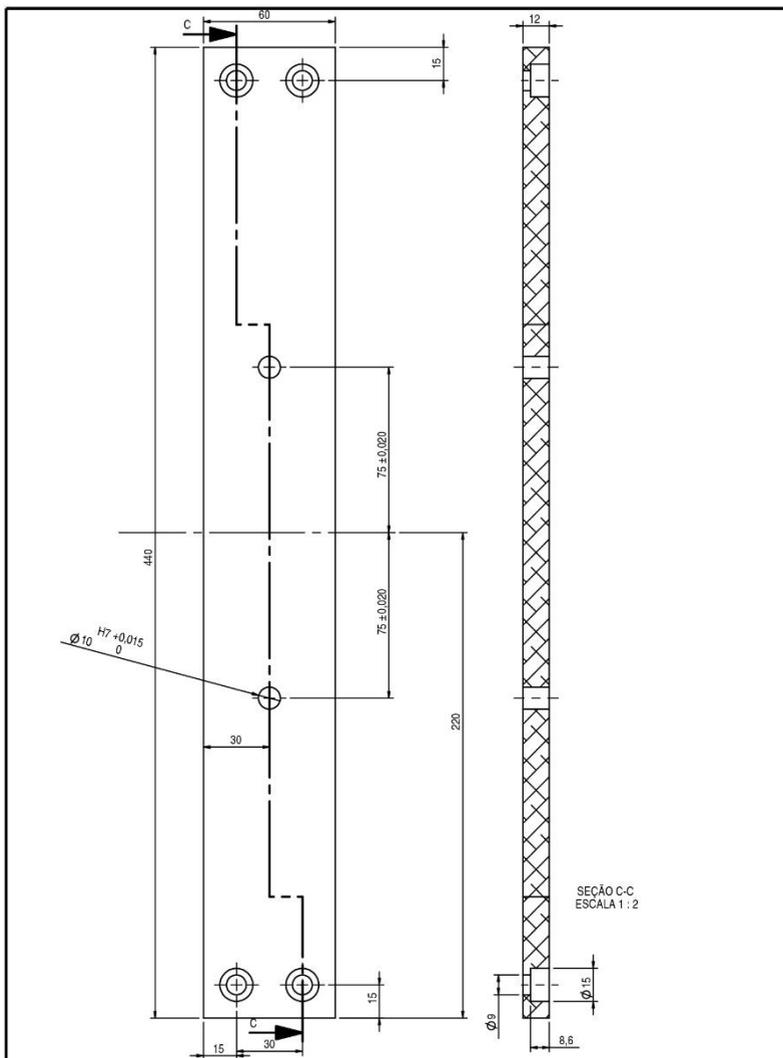
 <p>INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA</p>	TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 28/08/2014
	MATERIAL: PERFIL ALUMINIO EXTRUDADO 30 X 60		MEDIDAS BRUTAS: 30 X 60 X 510
	TRATAMENTO: ANODIZADO		PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL
	PEÇA: LATERAL LD / LE		CÓDIGO PEÇA: 001 - 001
	PROJETO: FRESADORA PROTOTIPADORA CNC		
ESCALA: 1:5		FOLHA 16 DE 43	

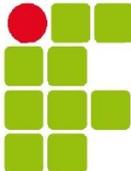


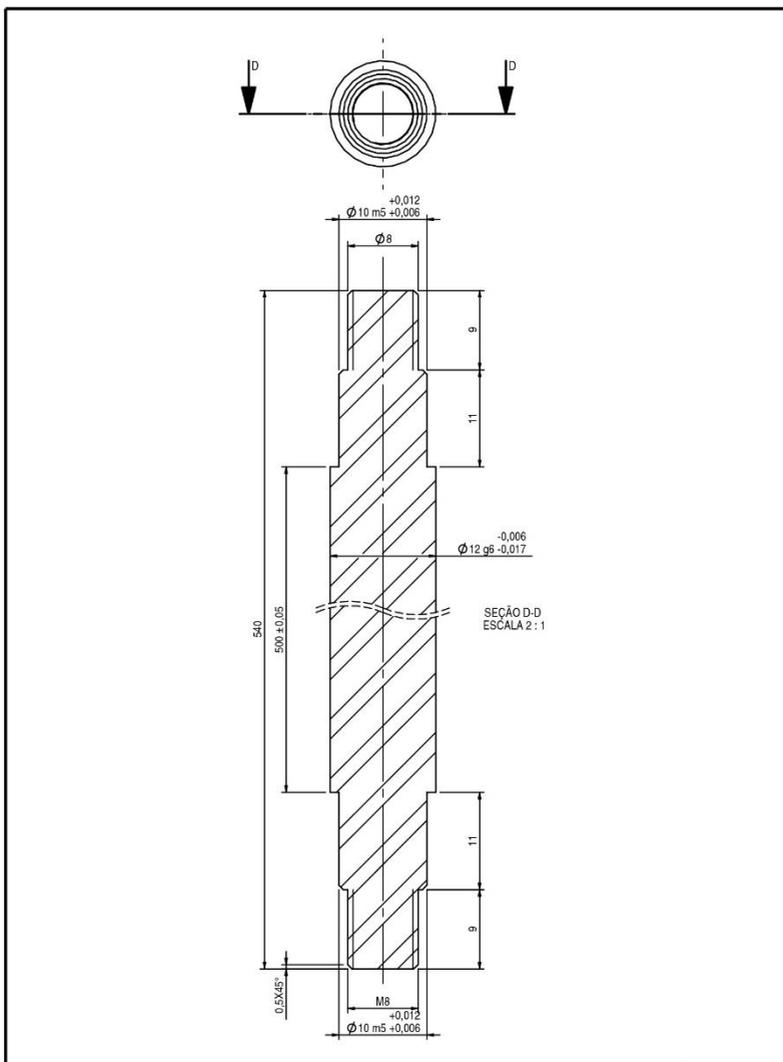
SEÇÃO B-B
ESCALA 1:2

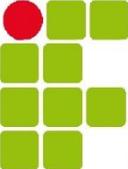
**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

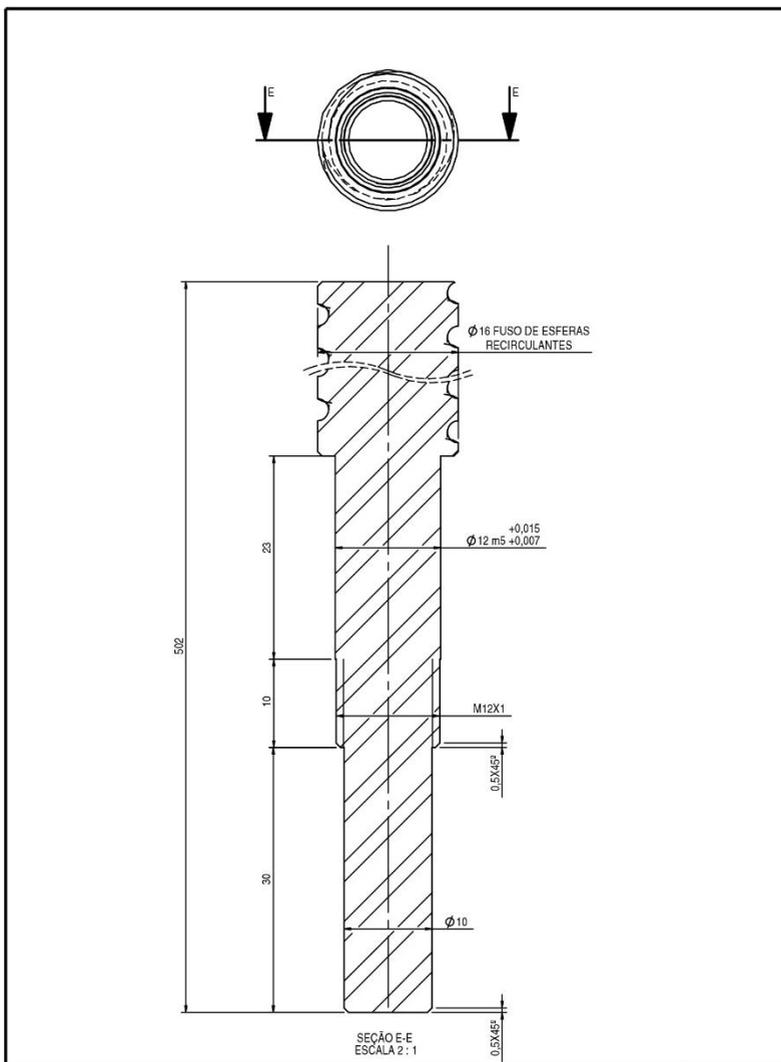
TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 28/08/2014
MATERIAL: ALUMINIO	MEDIDAS BRUTAS: 130 X 445 X 15,875	
TRATAMENTO: -	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
PEÇA: SUPORTE TRASEIRO BARRAMENTO X	CÓDIGO PEÇA: 001 - 002	
PROJETO: ESCALA: 1:2	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
	FOLHA 17 DE 43	



 <p>INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA</p>	TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 01/09/2014
	MATERIAL: ALUMINIO	MEDIDAS BRUTAS: 65 X 445 X 15,875	
	TRATAMENTO:	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
	PEÇA: SUPORTE FRONTAL BARRAMENTO X	CÓDIGO PEÇA: 001 - 003	
	PROJETO:	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
ESCALA: 1:2	FOLHA 18 DE 43		

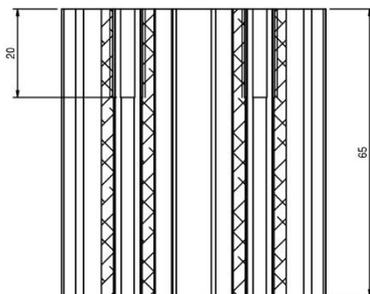


 <p>INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA</p>	TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 01/09/2014
	MATERIAL: HASTE AÇO RETIFICADA Ø12		MEDIDAS BRUTAS: 545 X Ø12
	TRATAMENTO: -		PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL
	PEÇA: EIXO LINEAR X		CÓDIGO PEÇA: 001 - 004
	PROJETO: FRESADORA PROTOTIPADORA CNC		
ESCALA: 2:1		FOLHA 19 DE 43	

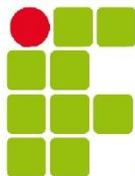
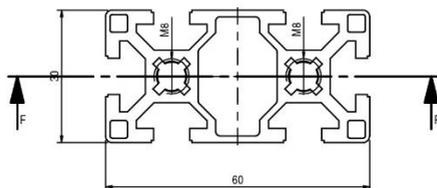


**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 01/09/2014
MATERIAL: FUSO ESFERAS RECIRCULANTES Ø16 X 5	MEDIDAS BRUTAS: 502 X Ø16	
TRATAMENTO: -	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
PEÇA: FUSO BARRAMENTO X	CÓDIGO PEÇA: 001 - 005	
PROJETO: ESCALA: 2:1	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
	FOLHA 20 DE 43	

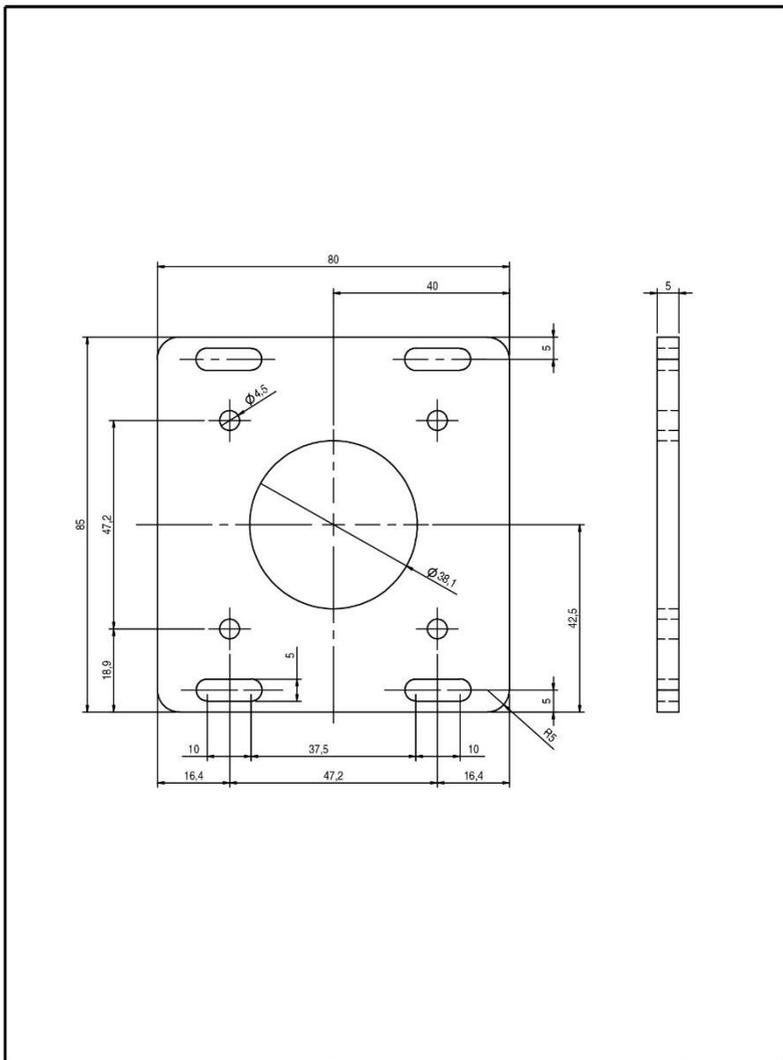


SEÇÃO F-F

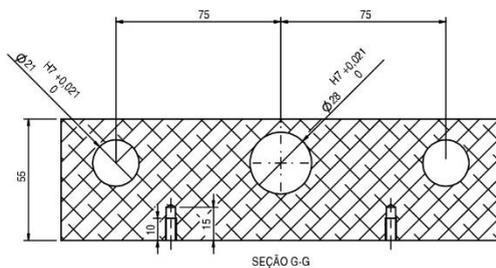
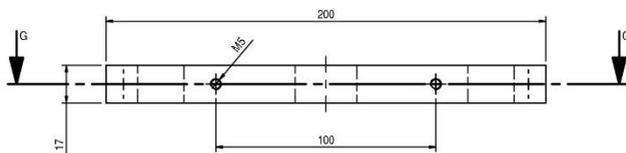


**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 01/09/2014
MATERIAL: PERFIL ALUMINIO EXTRUSADO 30 X 60	MEDIDAS BRUTAS: 30 X 60 X 70	
TRATAMENTO: ANODIZADO	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
PEÇA: SUPORTE PE	CÓDIGO PEÇA: 001 - 006	
PROJETO:	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
ESCALA: 1:1		

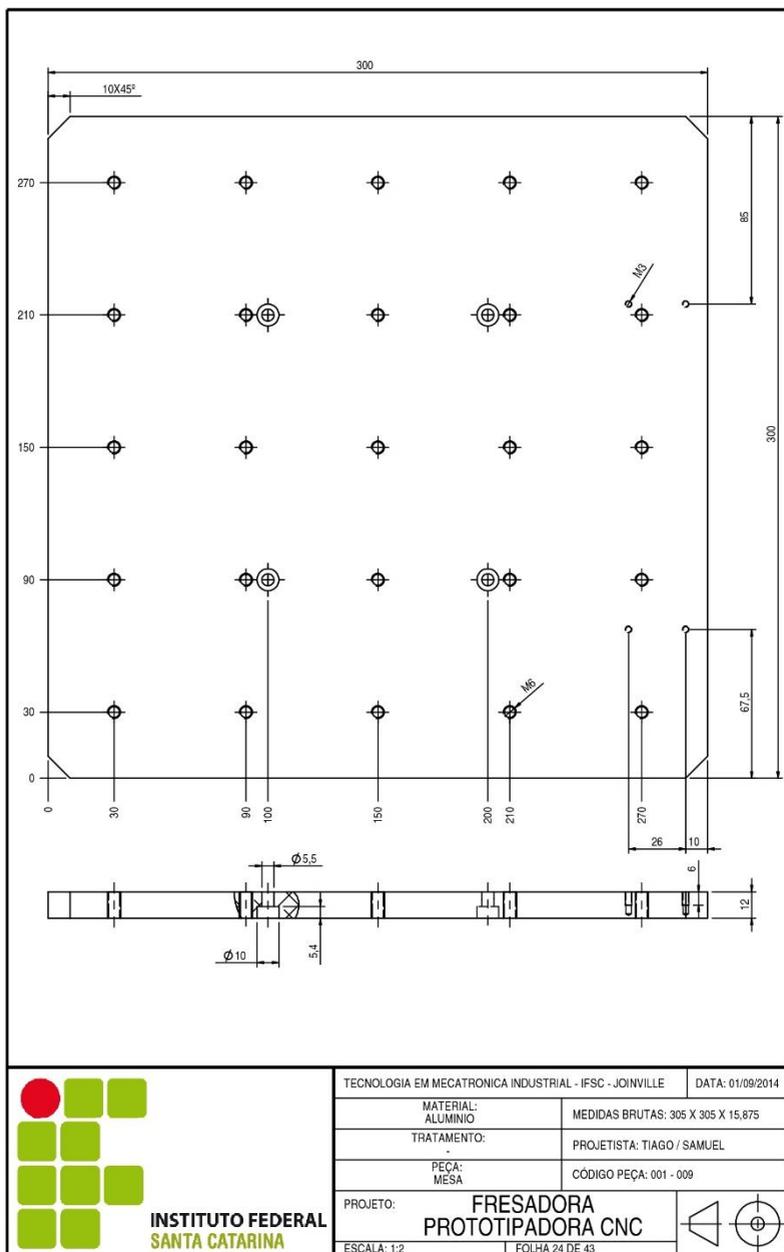


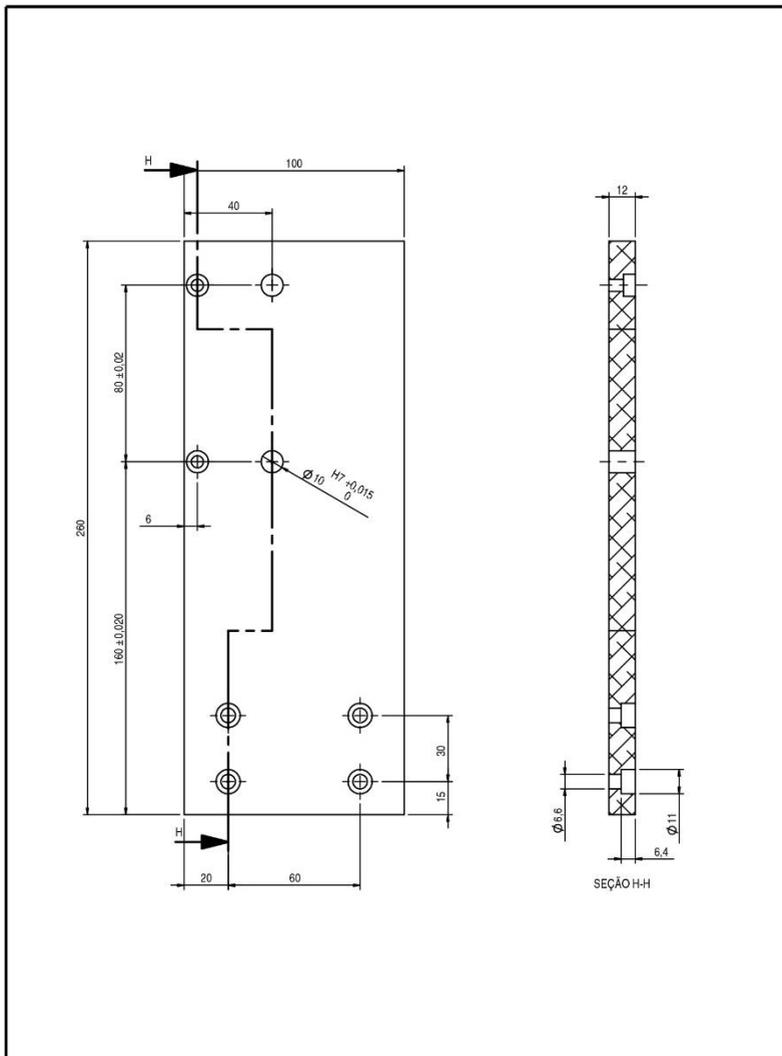
 <p>INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA</p>	TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 01/09/2014
	MATERIAL: ALUMINIO	MEDIDAS BRUTAS: 90 X 85 X 6,35	
	TRATAMENTO:	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
	PEÇA: SUPORTE MOTOR NEMA 23	CÓDIGO PEÇA: 001 - 007	
	PROJETO:	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
ESCALA: 1:1	FOLHA 22 DE 43		



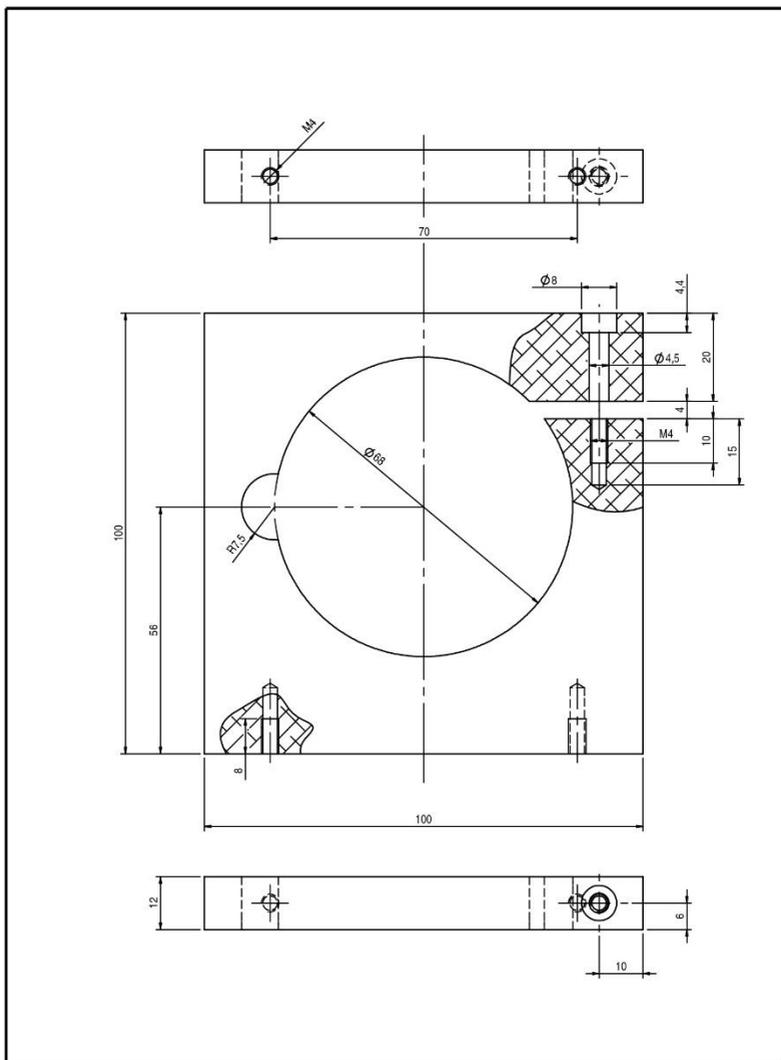
**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

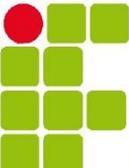
TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 01/09/2014
MATERIAL: ALUMINIO	MEDIDAS BRUTAS: 205 X 60 X 19,05	
TRATAMENTO: -	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
PEÇA: SUPORTE MESA BARRAMENTO X	CÓDIGO PEÇA: 001 - 008	
PROJETO:	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
ESCALA: 1:2		

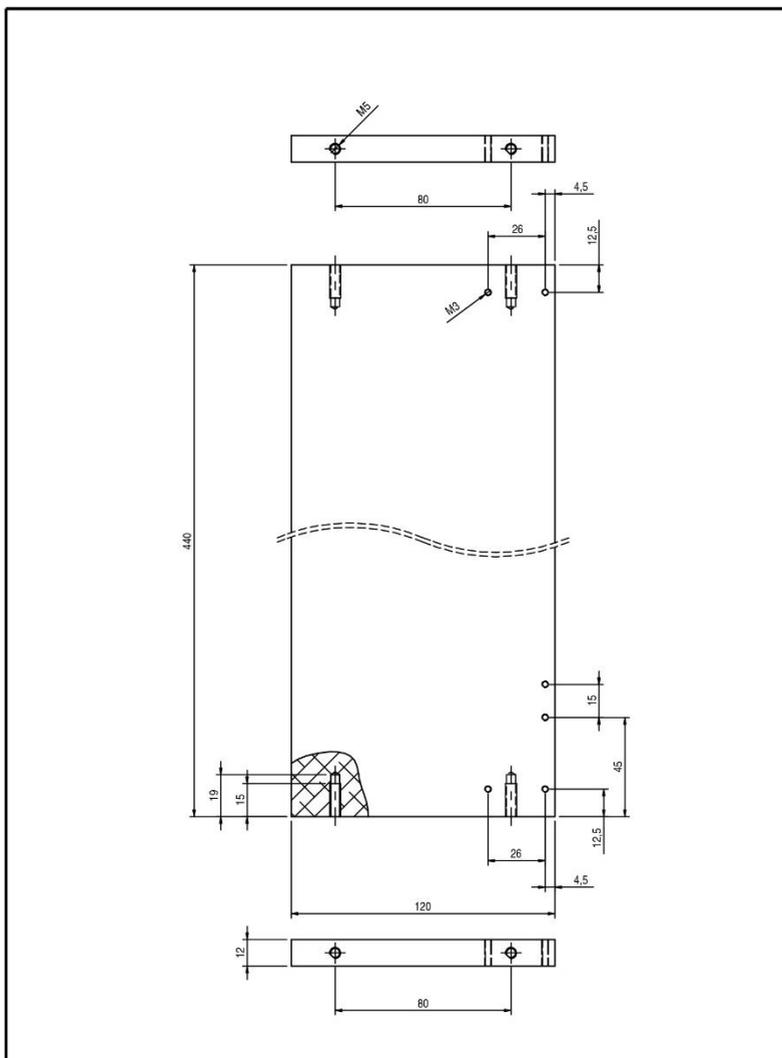




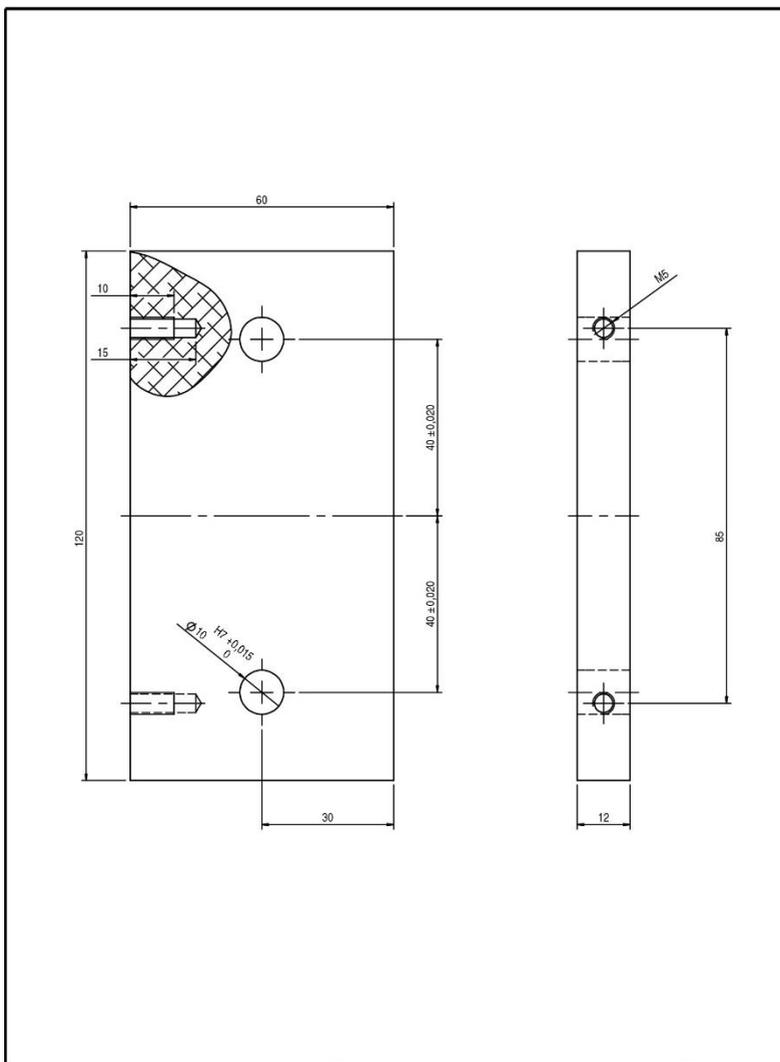
 <p>INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA</p>	TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 01/09/2014
	MATERIAL: ALUMINIO	MEDIDAS BRUTAS: 265 X 105 X 15,875	
	TRATAMENTO: -	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
	PEÇA: SUPORTE ESQUERDO BARRAMENTO Y	CÓDIGO PEÇA: 001 - 010	
	PROJETO: ESCALA: 1:2	<p align="center">FRESADORA PROTOTIPADORA CNC</p> <p>FOLHA 25 DE 43</p>	



 <p>INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA</p>	TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 01/09/2014
	MATERIAL: ALUMINIO	MEDIDAS BRUTAS: 105 X 105 X 15,875	
	TRATAMENTO:	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
	PEÇA: SUPORTE SPINDLE	CÓDIGO PEÇA: 001 - 011	
	PROJETO:	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
ESCALA: 1:1	FOLHA 26 DE 43		

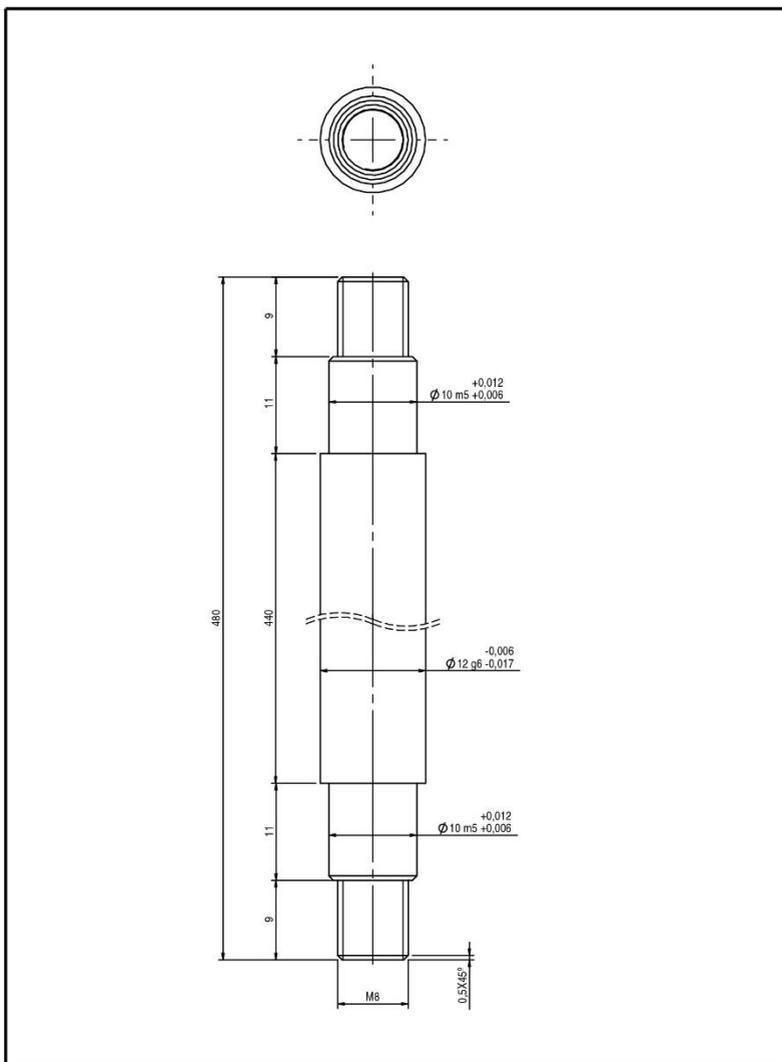


 <p>INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA</p>	TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 01/09/2014
	MATERIAL: ALUMINIO	MEDIDAS BRUTAS: 445 X 125 X 15,875	
	TRATAMENTO: -	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
	PEÇA: TRAVESSA BARRAMENTO Y	CÓDIGO PEÇA: 001 - 012	
	PROJETO:	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
ESCALA: 1:2	FOLHA 27 DE 43		



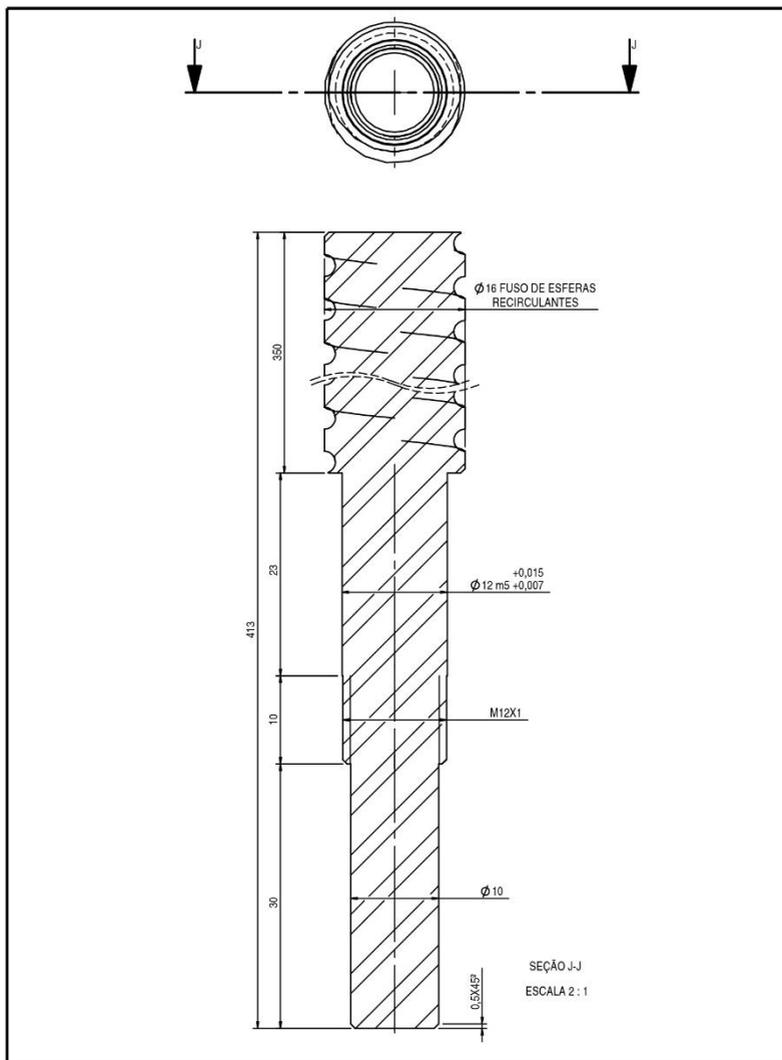
**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 01/09/2014
MATERIAL: ALUMINIO	MEDIDAS BRUTAS: 125 X 65 X 15,875	
TRATAMENTO:	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
PEÇA: SUPORTE INFERIOR BARRAMENTO Z	CÓDIGO PEÇA: 001 - 013	
PROJETO:	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
ESCALA: 1:1	FOLHA 28 DE 43	 

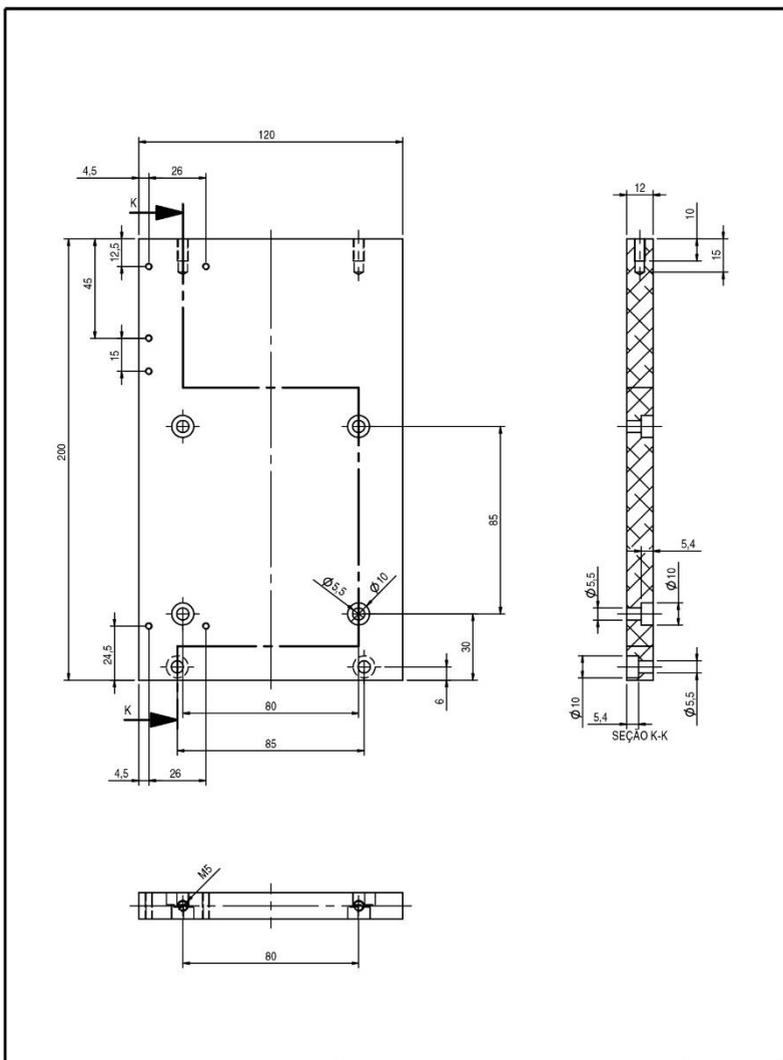


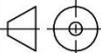
**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

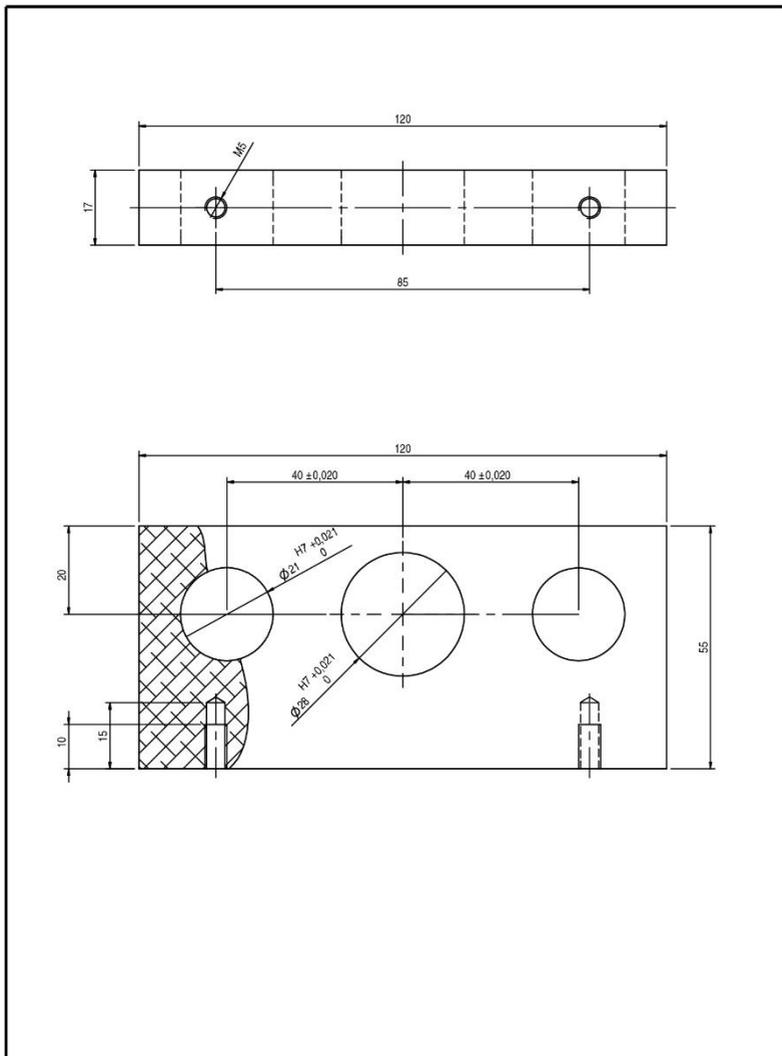
TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 01/09/2014
MATERIAL: HASTE AÇO RETIFICADA $\varnothing 12$	MEDIDAS BRUTAS: 485 X $\varnothing 12$	
TRATAMENTO: -	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
PEÇA: EIXO LINEAR Y	CÓDIGO PEÇA: 001 - 015	
PROJETO:	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
ESCALA: 2:1	FOLHA 30 DE 43	



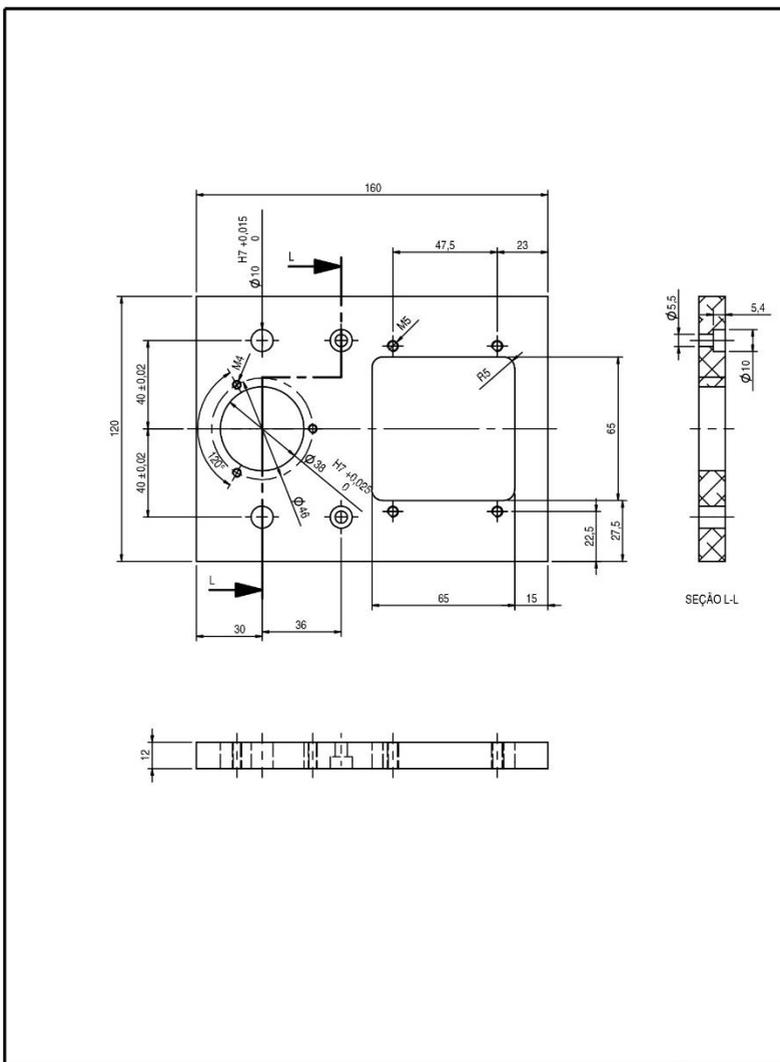
 <p>INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA</p>	TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 01/09/2014
	MATERIAL: FUSO DE ESFERAS RECIRCULANTES Ø16 X 5		MEDIDAS BRUTAS: 413 X Ø16
	TRATAMENTO:		PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL
	PEÇA: FUSO BARRAMENTO Y		CÓDIGO PEÇA: 001 - 016
	PROJETO: FRESADORA PROTOTIPADORA CNC		
ESCALA: 2:1	FOLHA 31 DE 43		

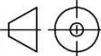


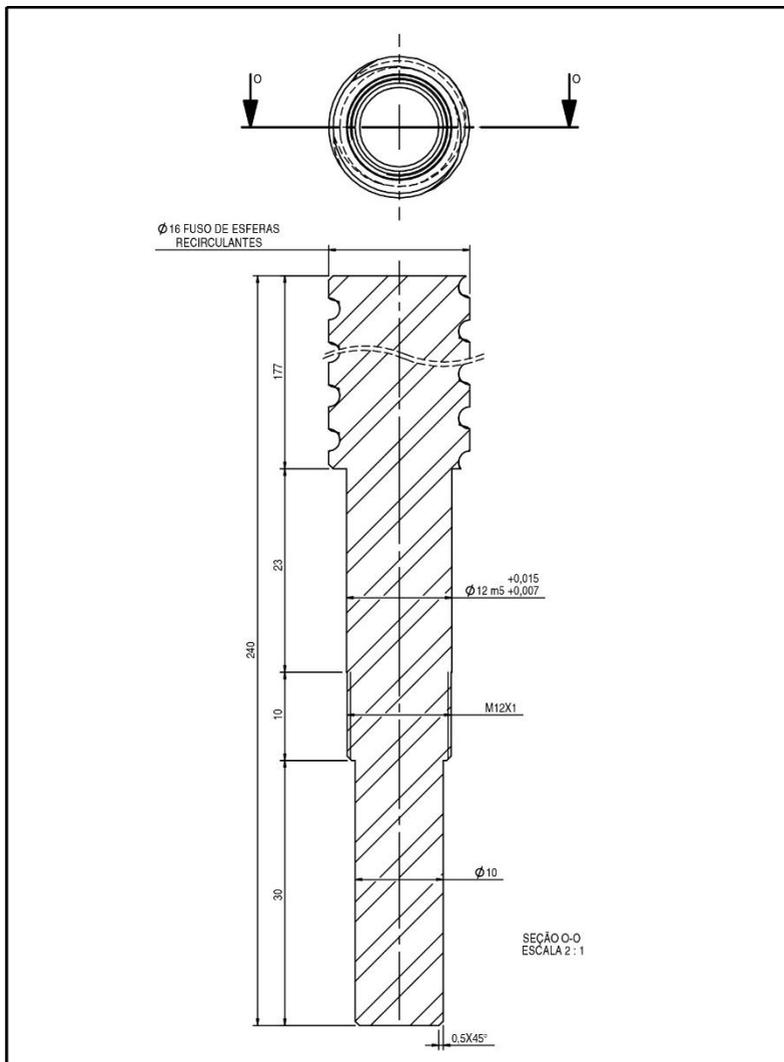
 <p>INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA</p>	TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 01/09/2014
	MATERIAL: ALUMINIO	MEDIDAS BRUTAS: 205 X 125 X 15,875	
	TRATAMENTO:	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
	PEÇA: MESA BARRAMENTO Y	CÓDIGO PEÇA: 001 - 017	
	PROJETO:	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
ESCALA: 1:2	FOLHA 32 DE 43		

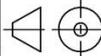


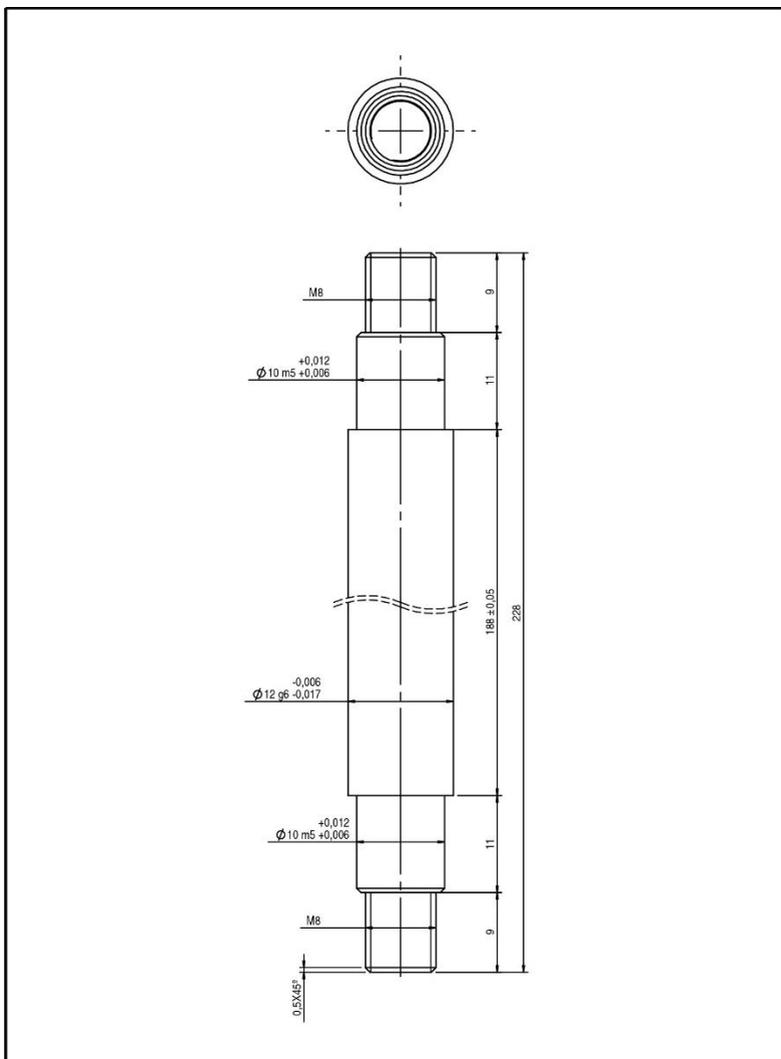
 <p>INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA</p>	TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 01/09/2014
	MATERIAL: ALUMINIO	MEDIDAS BRUTAS: 125 X 60 X 19,05	
	TRATAMENTO: -	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
	PEÇA: SUPORTE MESA BARRAMENTO Y	CÓDIGO PEÇA: 001 - 018	
	PROJETO:	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
ESCALA: 1:1	FOLHA 33 DE 43		



 <p>INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA</p>	TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 01/09/2014
	MATERIAL: ALUMINIO	MEDIDAS BRUTAS: 165 X 125 X 15,875	
	TRATAMENTO:	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
	PEÇA: SUPORTE SUPERIOR BARRAMENTO Z	CÓDIGO PEÇA: 001 - 019	
	PROJETO:	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
ESCALA: 1:2	FOLHA 34 DE 43		



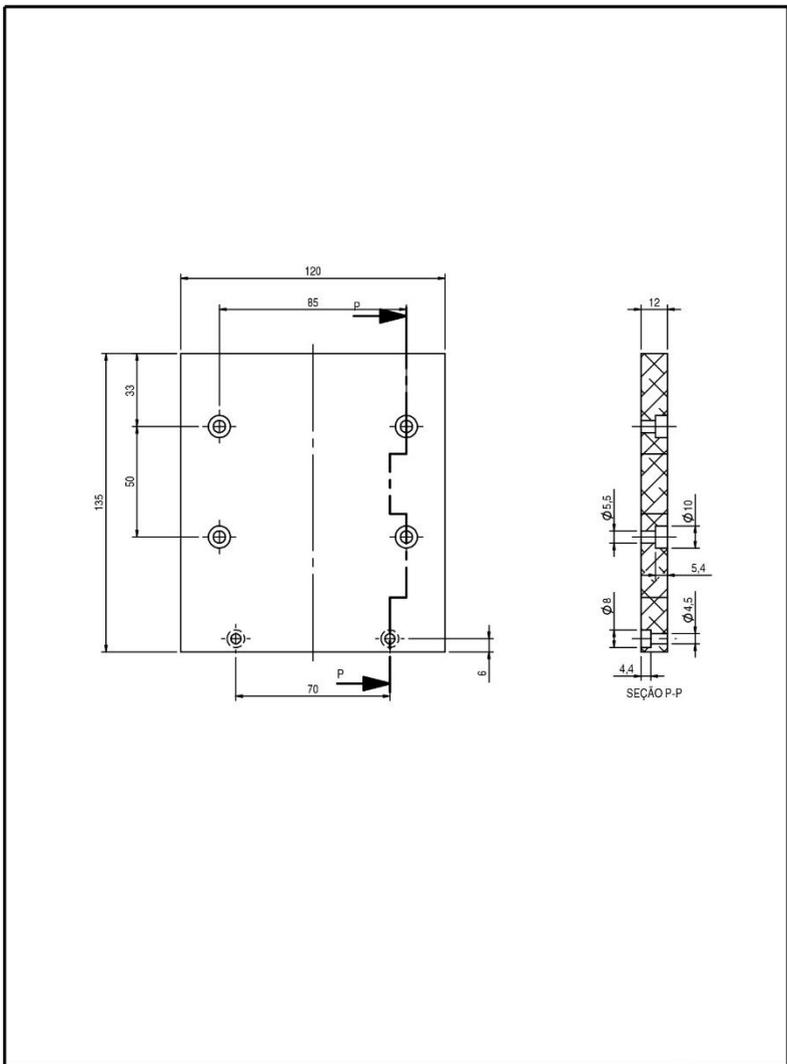
 <p>INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA</p>	TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 01/09/2014
	MATERIAL: FUSO ESFERAS RECIRCULANTES Ø16 X 5		MEDIDAS BRUTAS: 240 X Ø16
	TRATAMENTO: -		PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL
	PEÇA: FUSO BARRAMENTO 2		CÓDIGO PEÇA: 001 - 020
	PROJETO: FRESADORA PROTOTIPADORA CNC		
ESCALA: 2:1	FOLHA 35 DE 43		



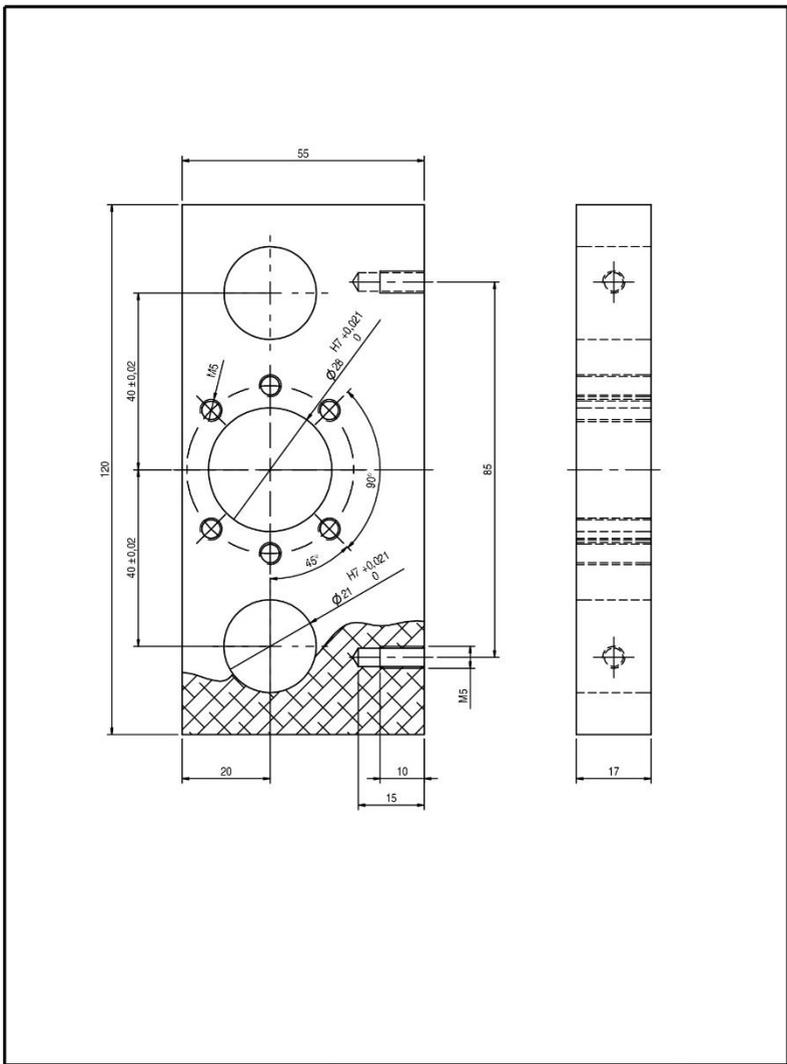
**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

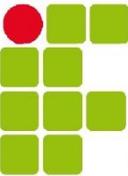
TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 01/09/2014
MATERIAL: HASTE DE AÇO RETIFICADA Ø12	MEDIDAS BRUTAS: 235 X Ø12	
TRATAMENTO:	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
PEÇA: EIXO LINEAR Z	CÓDIGO PEÇA: 001 - 021	
PROJETO:	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
ESCALA: 2:1	FOLHA 36 DE 43	

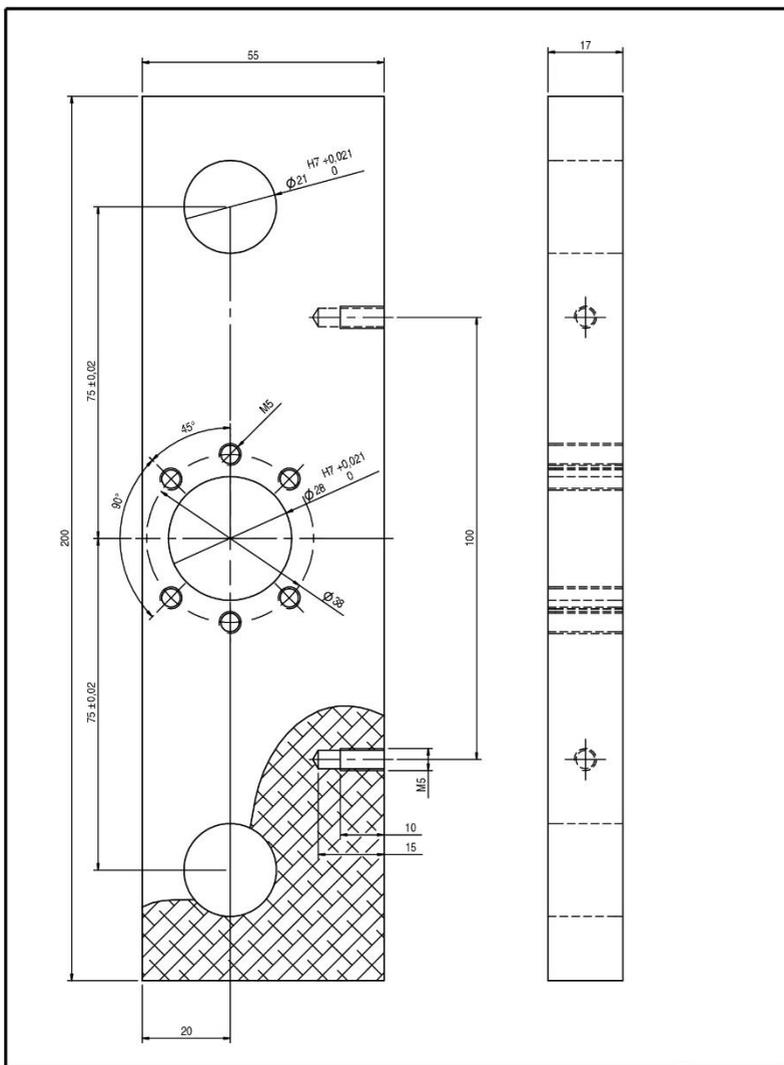




 <p>INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA</p>	TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 01/09/2014
	MATERIAL: ALUMINIO	MEDIDAS BRUTAS: 140 X 125 X 15,875	
	TRATAMENTO:	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
	PEÇA: MESA BARRAMENTO Z	CÓDIGO PEÇA: 001 - 022	
	PROJETO:	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
ESCALA: 1:2	FOLHA 37 DE 43		

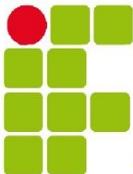
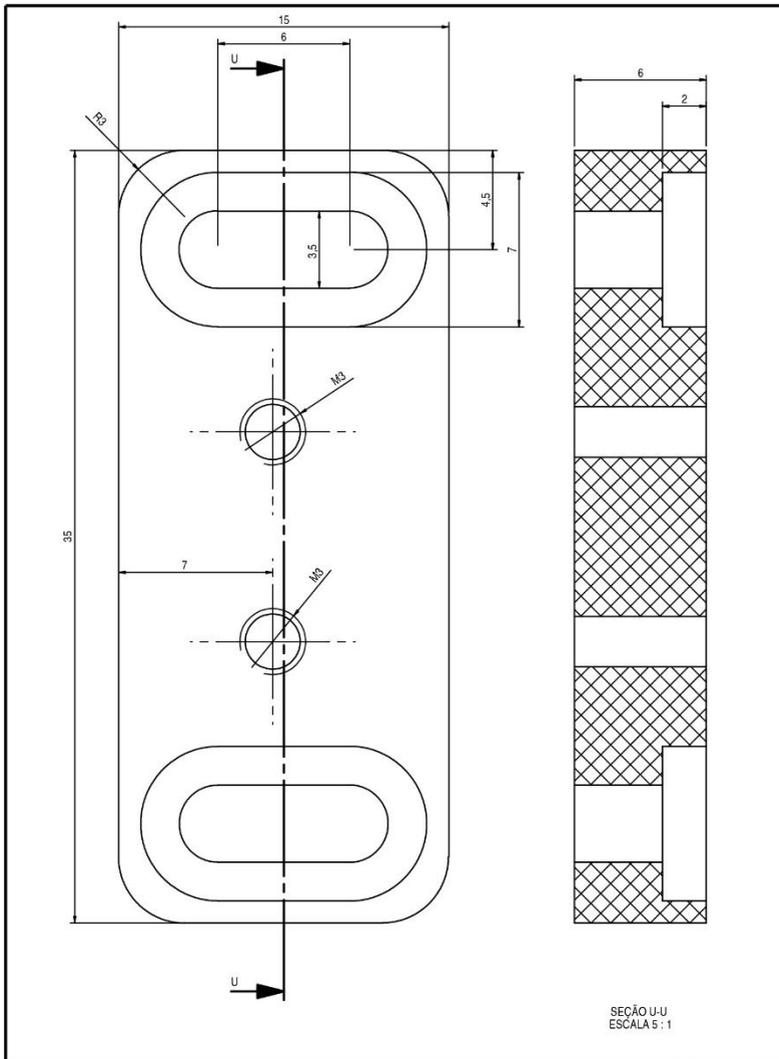


 <p>INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA</p>	TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 01/09/2014
	MATERIAL: ALUMINIO	MEDIDAS BRUTAS: 125 X 60 X 19,05	
	TRATAMENTO: -	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
	PEÇA: SUPORTE castanha BARRAMENTO Y	CÓDIGO PEÇA: 001 - 024	
	PROJETO: ESCALA: 1:1	<p align="center">FRESADORA PROTOTIPADORA CNC</p> <p align="center">FOLHA 39 DE 43</p>	



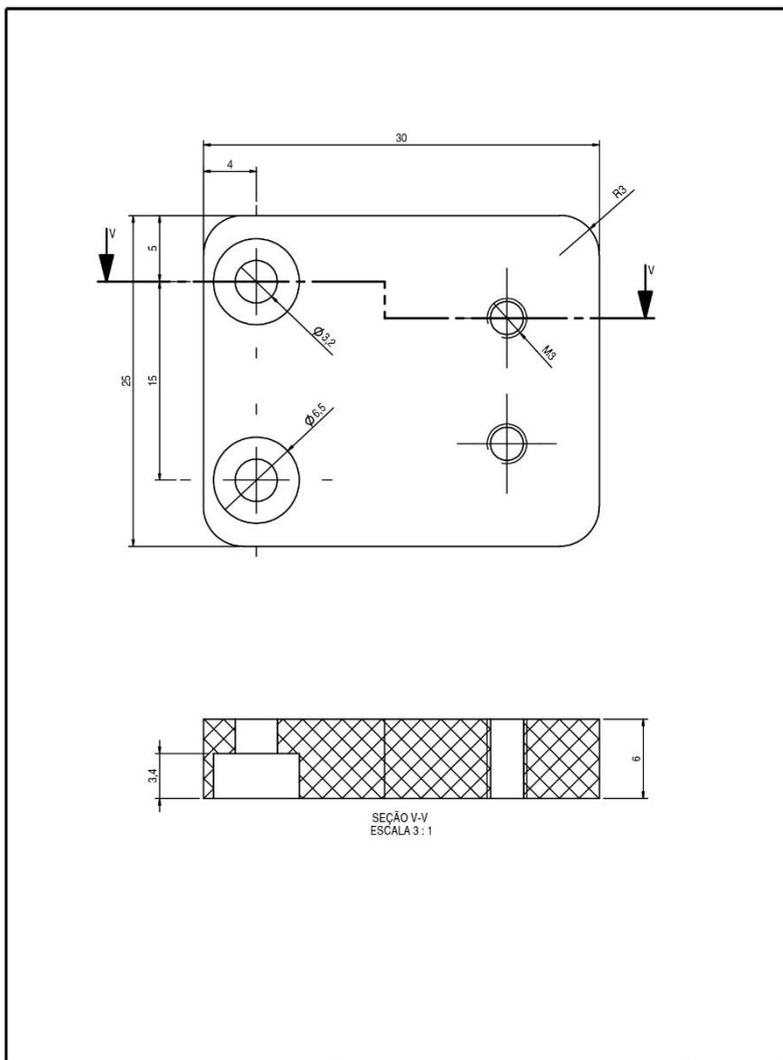
**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 01/09/2014
MATERIAL: ALUMINIO	MEDIDAS BRUTAS: 205 X 60 X 19,05	
TRATAMENTO:	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
PEÇA: SUPORTE CASTANHA BARRAMENTO X	CÓDIGO PEÇA: 001 - 025	
PROJETO:	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
ESCALA: 1:1	FOLHA 40 DE 43	 

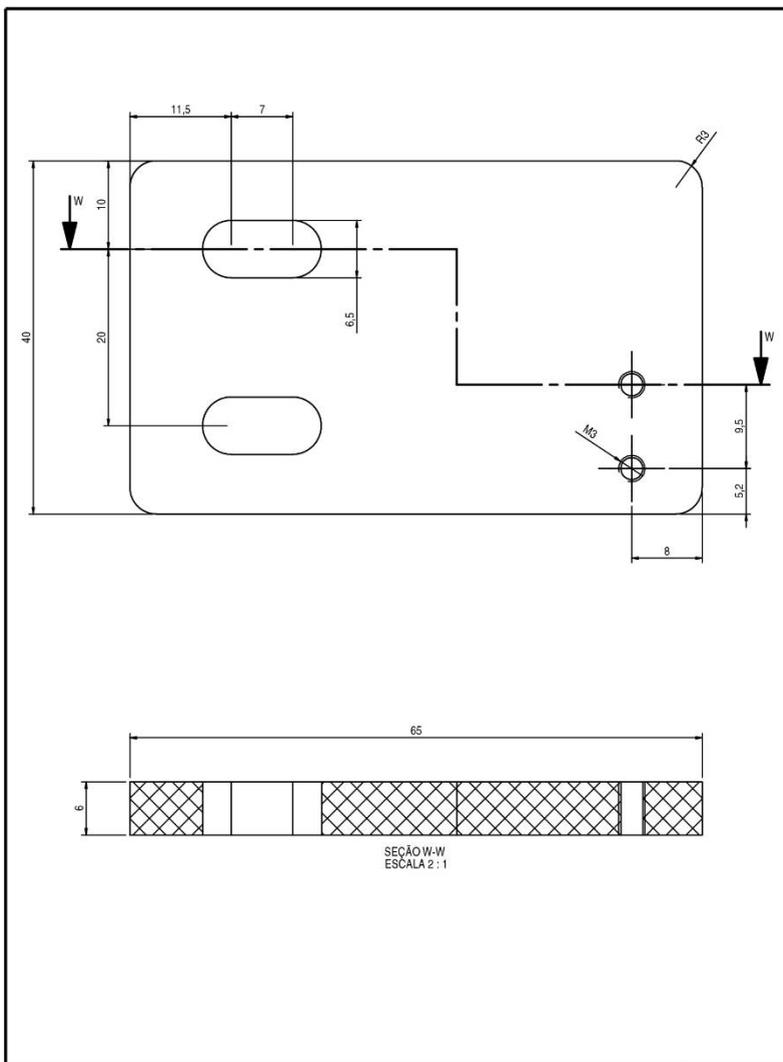


**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

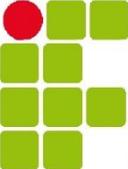
TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 06/06/2015
MATERIAL: POLICARBONATO COMPACTO	MEDIDAS BRUTAS: 40 X 20 X 6	
TRATAMENTO: -	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
PEÇA: SUPORTE 1 FDC	CÓDIGO PEÇA: 001 - 026	
PROJETO:	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
ESCALA: 1:1	FOLHA 41 DE 43	 



 <p>INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA</p>	TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 06/06/2015
	MATERIAL: POLICARBONATO COMPACTO	MEDIDAS BRUTAS: 30 X35 X 6	
	TRATAMENTO:	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
	PEÇA: SUPORTE 2 FDC	CÓDIGO PEÇA: 001 - 027	
	PROJETO:	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
ESCALA: 1:1	FOLHA 42 DE 43		



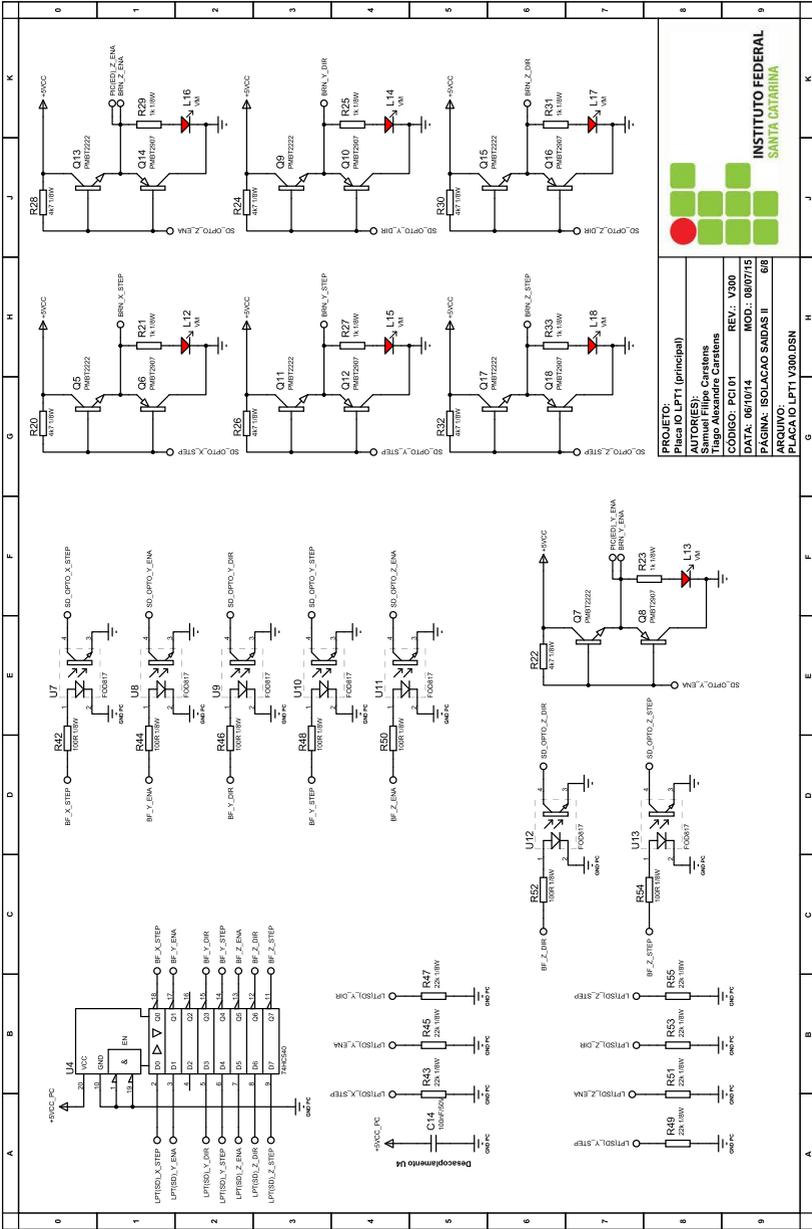
SEÇÃO W-W
ESCALA 2:1

 <p>INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA</p>	TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL - IFSC - JOINVILLE		DATA: 06/06/2015
	MATERIAL: POLICARBONATO COMPACTO	MEDIDAS BRUTAS: 70 X 45 X 6	
	TRATAMENTO: -	PROJETISTA: TIAGO / SAMUEL	
	PEÇA: SUPORTE 3 FDC	CÓDIGO PEÇA: 001 - 028	
	PROJETO: ESCALA: 1:1	FRESADORA PROTOTIPADORA CNC	
FOLHA 43 DE 43			

APÊNDICE B – ESQUEMÁTICO INTERFACE PRINCIPAL

A		B		C		D		E		F		G		H		J		K		
Descrição de todos Bornes - CN3 - CN18																				
Ref Conector	Nº Terminal	Descrição	Classificação	LED Associado	Filtro MCU?		Classificação		Filtro MCU?		Filtro MCU?		Filtro MCU?		Filtro MCU?		Filtro MCU?		Filtro MCU?	
CN3	1	Saída +5VCC/100mA	Alimentação	L2 - Azul	01	Não conectado	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	2	GND	Alimentação	---	02	Relê Aspirador	Saída - Sinal	Sim	01	Relê Aspirador	Saída - Sinal	Sim	02	RA0	Entrada	Bolão Spinelle	02	RA0	Entrada	Bolão Spinelle
	3	Entrada +12VCC/150mA	Alimentação	---	03	Relê Spinelle	Saída - Sinal	Sim	04	Relê Spinelle	Saída - Sinal	Sim	05	RA1	Entrada	Expansão 01	03	RA1	Entrada	Expansão 01
CN4	1	Entrada +5VCC/100mA PC	Alimentação	L1 - Azul	04	Enable Eixo X	Saída - Sinal	Sim ²	05	Enable Eixo X	Saída - Sinal	Sim ²	06	RA2	Saída	Bolão Emergência	04	RA2	Saída	Bolão Emergência
	2	GND PC (Isolado)	Alimentação	---	05	Dir Eixo X	Saída - Sinal	Não	06	Dir Eixo X	Saída - Sinal	Não	07	RA3	Saída	Expansão 02	05	RA3	Saída	Expansão 02
CN5	1	Enable (Conexão Driver X)	Referência - Sinal	L10 - Verde	06	Stop Eixo X	Saída - Sinal	Não	07	Enable Eixo Y	Saída - Sinal	Não	08	RA4	Saída	Expansão 03	06	RA4	Saída	Expansão 03
	2	GND (Conexão Driver X)	Referência - Sinal	---	07	Dir Eixo Y	Saída - Sinal	Não	08	Dir Eixo Y	Saída - Sinal	Não	09	RA5	Entrada	Cristal Externo	07	RA5	Entrada	Cristal Externo
CN6	1	Stop (Conexão Driver X)	Saída - Sinal	L11 - Verde	08	Enable Eixo Z	Saída - Sinal	Sim ²	09	Enable Eixo Z	Saída - Sinal	Sim ²	10	RA6	Entrada	Cristal Externo	08	RA6	Entrada	Cristal Externo
	2	GND (Conexão Driver X)	Saída - Sinal	L12 - Verde	09	Emergência	Entrada - Sinal	Sim	10	Emergência	Entrada - Sinal	Sim	11	RA7	Entrada	Enable Eixo Y	09	RA7	Entrada	Enable Eixo Y
CN7	1	Enable (Conexão Driver Y)	Saída - Sinal	L13 - Verde	10	Expansão 01	Entrada - Sinal	Sim	11	Expansão 01	Entrada - Sinal	Sim	12	RA8	Entrada	Enable Eixo X	10	RA8	Entrada	Enable Eixo X
	2	GND (Conexão Driver Y)	Saída - Sinal	---	11	Expansão 02	Entrada - Sinal	Sim	12	Expansão 02	Entrada - Sinal	Sim	13	RA9	Entrada	Bolão Emergência	11	RA9	Entrada	Bolão Emergência
CN8	1	Stop (Conexão Driver Y)	Saída - Sinal	L14 - Verde	12	Expansão 03	Entrada - Sinal	Sim	13	Expansão 03	Entrada - Sinal	Sim	14	RB0	Saída	Bolão Aspirador	12	RB0	Saída	Bolão Aspirador
	2	Dir (Conexão Driver Y)	Saída - Sinal	L15 - Verde	13	Stop Eixo Y	Saída - Sinal	Não	14	Stop Eixo Y	Saída - Sinal	Não	15	RB1	Saída	Relê Spinelle	13	RB1	Saída	Relê Spinelle
CN9	1	Enable (Conexão Driver Z)	Saída - Sinal	L16 - Verde	14	Não conectado	---	---	15	Não conectado	---	---	16	RB2	Saída	Relê Aspirador	14	RB2	Saída	Relê Aspirador
	2	GND (Conexão Driver Z)	Referência - Sinal	---	15	Dir Eixo Z	Saída - Sinal	Não	16	Dir Eixo Z	Saída - Sinal	Não	17	RB3	Entrada	Enable Eixo X	15	RB3	Entrada	Enable Eixo X
CN10	1	Stop (Conexão Driver Z)	Saída - Sinal	L17 - Verde	16	GND	Referência - Sinal	---	17	GND	Referência - Sinal	---	18	RB4	Entrada	Relê Spinelle	16	RB4	Entrada	Relê Spinelle
	2	Dir (Conexão Driver Z)	Saída - Sinal	L18 - Verde	17	GND	Referência - Sinal	---	18	GND	Referência - Sinal	---	19	RB5	Entrada	Relê Aspirador	17	RB5	Entrada	Relê Aspirador
CN11	1	Bolão Aspirador	Entrada - Sinal	L4 - Vermelho	18	Referência - Sinal	Entrada - Sinal	---	19	Referência - Sinal	Entrada - Sinal	---	20	RB6	Saída	Relê Spinelle	18	RB6	Saída	Relê Spinelle
	2	GND	Referência - Sinal	---	19	Referência - Sinal	Entrada - Sinal	---	20	Referência - Sinal	Entrada - Sinal	---	21	RB7	Entrada	Relê Aspirador	19	RB7	Entrada	Relê Aspirador
CN12	1	Bolão Emergência	Entrada - Sinal	L5 - Vermelho	21	GND	Referência - Sinal	---	22	GND	Referência - Sinal	---	23	RC0	Entrada	Relê Spinelle	21	RC0	Entrada	Relê Spinelle
	2	GND	Referência - Sinal	---	22	GND	Referência - Sinal	---	23	GND	Referência - Sinal	---	24	RC1	Entrada	Relê Spinelle	22	RC1	Entrada	Relê Spinelle
CN13	1	Bolão Spinelle	Entrada - Sinal	L6 - Vermelho	23	GND	Referência - Sinal	---	24	GND	Referência - Sinal	---	25	RC2	Entrada	Relê Spinelle	23	RC2	Entrada	Relê Spinelle
	2	GND	Referência - Sinal	---	24	GND	Referência - Sinal	---	25	GND	Referência - Sinal	---	26	RC3	Entrada	Relê Spinelle	24	RC3	Entrada	Relê Spinelle
CN14	1	Entrada de expansão 01	Entrada - Sinal	L7 - Vermelho	25	GND	Referência - Sinal	---	26	GND	Referência - Sinal	---	27	RC4	Entrada	Relê Spinelle	25	RC4	Entrada	Relê Spinelle
	2	GND	Referência - Sinal	---	26	GND	Referência - Sinal	---	27	GND	Referência - Sinal	---	28	RC5	Entrada	Relê Spinelle	26	RC5	Entrada	Relê Spinelle
CN15	1	Entrada de expansão 02	Entrada - Sinal	L8 - Vermelho	27	Referência - Sinal	Entrada - Sinal	---	28	Referência - Sinal	Entrada - Sinal	---	29	RC6	Entrada	Relê Spinelle	27	RC6	Entrada	Relê Spinelle
	2	GND	Referência - Sinal	---	28	Referência - Sinal	Entrada - Sinal	---	29	Referência - Sinal	Entrada - Sinal	---	30	RC7	Entrada	Relê Spinelle	28	RC7	Entrada	Relê Spinelle
CN16	1	Entrada de expansão 03	Entrada - Sinal	L9 - Vermelho	29	Referência - Sinal	Entrada - Sinal	---	30	Referência - Sinal	Entrada - Sinal	---	31	RC8	Entrada	Relê Spinelle	29	RC8	Entrada	Relê Spinelle
	2	GND	Referência - Sinal	---	30	Referência - Sinal	Entrada - Sinal	---	31	Referência - Sinal	Entrada - Sinal	---	32	RC9	Entrada	Relê Spinelle	30	RC9	Entrada	Relê Spinelle
CN17	1	Contato NA Relê Spinelle	Contato Relê 10A	L19/L21 - Verde	31	Contato NA Relê Spinelle	Contato Relê 10A	---	32	Contato NA Relê Spinelle	Contato Relê 10A	---	33	RC10	Entrada	Relê Spinelle	31	RC10	Entrada	Relê Spinelle
	2	Contato comum Relê Spinelle	Contato Relê 10A	---	32	Contato comum Relê Spinelle	Contato Relê 10A	---	33	Contato comum Relê Spinelle	Contato Relê 10A	---	34	RC11	Entrada	Relê Spinelle	32	RC11	Entrada	Relê Spinelle
	3	Contato NF Relê Spinelle	Contato Relê 10A	---	33	Contato NF Relê Spinelle	Contato Relê 10A	---	34	Contato NF Relê Spinelle	Contato Relê 10A	---	35	RC12	Entrada	Relê Spinelle	33	RC12	Entrada	Relê Spinelle
CN18	1	Contato NA Relê Aspirador	Contato Relê 10A	L20/L22 - Verde	34	Contato NA Relê Aspirador	Contato Relê 10A	---	35	Contato NA Relê Aspirador	Contato Relê 10A	---	36	RC13	Entrada	Relê Spinelle	34	RC13	Entrada	Relê Spinelle
	2	Contato comum Relê Aspirador	Contato Relê 10A	---	35	Contato comum Relê Aspirador	Contato Relê 10A	---	36	Contato comum Relê Aspirador	Contato Relê 10A	---	37	RC14	Entrada	Relê Spinelle	35	RC14	Entrada	Relê Spinelle
	3	Contato NF Relê Aspirador	Contato Relê 10A	---	36	Contato NF Relê Aspirador	Contato Relê 10A	---	37	Contato NF Relê Aspirador	Contato Relê 10A	---	38	RC15	Entrada	Relê Spinelle	36	RC15	Entrada	Relê Spinelle
Descrição das entradas e saídas LPT - CN1																				
Nº Terminal	Descrição	Classificação	Filtro MCU?	Nº Terminal	Descrição	Classificação	Filtro MCU?	Nº Terminal	Descrição	Classificação	Filtro MCU?	Nº Terminal	Descrição	Classificação	Filtro MCU?					
01	Não conectado	---	---	01	Não conectado	---	---	01	Não conectado	---	---	01	Não conectado	---	---					
02	Relê Aspirador	Saída - Sinal	Sim	02	Relê Aspirador	Saída - Sinal	Sim	02	Relê Aspirador	Saída - Sinal	Sim	02	Relê Aspirador	Saída - Sinal	Sim					
03	Relê Spinelle	Saída - Sinal	Sim	03	Relê Spinelle	Saída - Sinal	Sim	03	Relê Spinelle	Saída - Sinal	Sim	03	Relê Spinelle	Saída - Sinal	Sim					
04	Enable Eixo X	Saída - Sinal	Sim ²	04	Enable Eixo X	Saída - Sinal	Sim ²	04	Enable Eixo X	Saída - Sinal	Sim ²	04	Enable Eixo X	Saída - Sinal	Sim ²					
05	Dir Eixo X	Saída - Sinal	Não	05	Dir Eixo X	Saída - Sinal	Não	05	Dir Eixo X	Saída - Sinal	Não	05	Dir Eixo X	Saída - Sinal	Não					
06	Stop Eixo X	Saída - Sinal	Não	06	Stop Eixo X	Saída - Sinal	Não	06	Stop Eixo X	Saída - Sinal	Não	06	Stop Eixo X	Saída - Sinal	Não					
07	Enable Eixo Y	Saída - Sinal	Sim ²	07	Enable Eixo Y	Saída - Sinal	Sim ²	07	Enable Eixo Y	Saída - Sinal	Sim ²	07	Enable Eixo Y	Saída - Sinal	Sim ²					
08	Dir Eixo Y	Saída - Sinal	Não	08	Dir Eixo Y	Saída - Sinal	Não	08	Dir Eixo Y	Saída - Sinal	Não	08	Dir Eixo Y	Saída - Sinal	Não					
09	Enable Eixo Z	Saída - Sinal	Sim ²	09	Enable Eixo Z	Saída - Sinal	Sim ²	09	Enable Eixo Z	Saída - Sinal	Sim ²	09	Enable Eixo Z	Saída - Sinal	Sim ²					
10	Emergência	Entrada - Sinal	Sim	10	Emergência	Entrada - Sinal	Sim	10	Emergência	Entrada - Sinal	Sim	10	Emergência	Entrada - Sinal	Sim					
11	Expansão 01	Entrada - Sinal	Sim	11	Expansão 01	Entrada - Sinal	Sim	11	Expansão 01	Entrada - Sinal	Sim	11	Expansão 01	Entrada - Sinal	Sim					
12	Expansão 02	Entrada - Sinal	Sim	12	Expansão 02	Entrada - Sinal	Sim	12	Expansão 02	Entrada - Sinal	Sim	12	Expansão 02	Entrada - Sinal	Sim					
13	Expansão 03	Entrada - Sinal	Sim	13	Expansão 03	Entrada - Sinal	Sim	13	Expansão 03	Entrada - Sinal	Sim	13	Expansão 03	Entrada - Sinal	Sim					
14	Stop Eixo Y	Saída - Sinal	Não	14	Stop Eixo Y	Saída - Sinal	Não	14	Stop Eixo Y	Saída - Sinal	Não	14	Stop Eixo Y	Saída - Sinal	Não					
15	Não conectado	---	---	15	Não conectado	---	---	15	Não conectado	---	---	15	Não conectado	---	---					
16	Dir Eixo Z	Saída - Sinal	Não	16	Dir Eixo Z	Saída - Sinal	Não	16	Dir Eixo Z	Saída - Sinal	Não	16	Dir Eixo Z	Saída - Sinal	Não					
17	Stop Eixo Z	Saída - Sinal	Não	17	Stop Eixo Z	Saída - Sinal	Não	17	Stop Eixo Z	Saída - Sinal	Não	17	Stop Eixo Z	Saída - Sinal	Não					
18	GND	Referência - Sinal	---	18	GND	Referência - Sinal	---	18	GND	Referência - Sinal	---	18	GND	Referência - Sinal	---					
19	GND	Referência - Sinal	---	19	GND	Referência - Sinal	---	19	GND	Referência - Sinal	---	19	GND	Referência - Sinal	---					
20	GND	Referência - Sinal	---	20	GND	Referência - Sinal	---	20	GND	Referência - Sinal	---	20	GND	Referência - Sinal	---					
21	GND	Referência - Sinal	---	21	GND	Referência - Sinal	---	21	GND	Referência - Sinal	---	21	GND	Referência - Sinal	---					
22	GND	Referência - Sinal	---	22	GND	Referência - Sinal	---	22	GND	Referência - Sinal	---	22	GND	Referência - Sinal	---					
23	GND	Referência - Sinal	---	23	GND	Referência - Sinal	---	23	GND	Referência - Sinal	---	23	GND	Referência - Sinal	---					
24	GND	Referência - Sinal	---	24	GND	Referência - Sinal	---	24	GND	Referência - Sinal	---	24	GND	Referência - Sinal	---					
25	GND	Referência - Sinal	---	25	GND	Referência - Sinal	---	25	GND	Referência - Sinal	---	25	GND	Referência - Sinal	---					
26	GND	Referência - Sinal	---	26	GND	Referência - Sinal	---	26	GND	Referência - Sinal	---	26	GND	Referência - Sinal	---					
Descrição do conector de programação CN2																				
Nº Terminal	Descrição	Nº Terminal	Descrição	Nº Terminal	Descrição	Nº Terminal	Descrição													
01	Master Clear	01	Master Clear	01	Master Clear	01	Master Clear													
02	+5VCC	02	+5VCC	02	+5VCC	02	+5VCC													
03	ICSP Data	03	ICSP Data	03	ICSP Data	03	ICSP Data													
04	ICSP Clock	04	ICSP Clock	04	ICSP Clock	04	ICSP Clock													
05	ICSP VDD	05	ICSP VDD	05	ICSP VDD	05	ICSP VDD													
Descrição das entradas e saídas MCU¹ - U2																				
Nº Terminal	PORT	Classificação	Descrição																	
02	RA0	Entrada	Bolão Spinelle																	
03	RA1	Entrada	Expansão 01																	
04	RA2	Saída	Bolão Emergência																	
05	RA3	Saída	Expansão 01																	
06	RA4	Saída	Expansão 02																	
07	RA5	Saída	Expansão 03																	
10	RA6	Entrada	Cristal Externo																	
09	RA7	Entrada	Cristal Externo																	
21	RB0	Entrada	Enable Eixo Y																	
22	RB1	Entrada	Enable Eixo X																	
23	RB2	Entrada	Bolão Emergência																	
24	RB3	Entrada	Bolão Aspirador																	
25	RB4	Saída	Relê Spinelle																	
26	RB5	Saída	Relê Aspirador																	
27	RB6	Entrada	ICSP Clock																	
28	RB7	Entrada/Saída	ICSP Data																	
11	RC0	Entrada																		

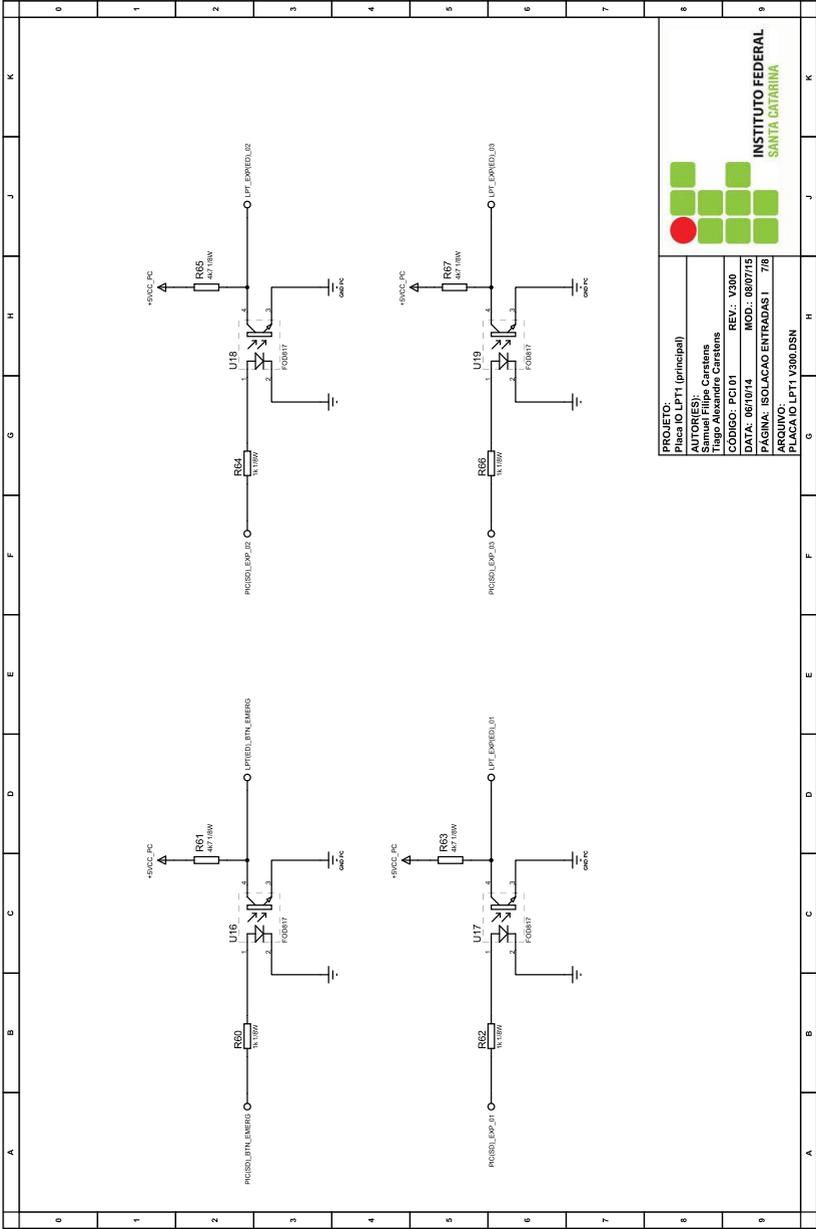
0	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
1	<p>ENTRADAS</p> <p>CN11 1 BRN_LTY_ASPINADOR 2 Borne PCI 3 Borne PCI</p> <p>CN12 1 BRN_LTY_DENSIS 2 Borne PCI 3 Borne PCI</p> <p>CN13 1 BRN_LTY_SPINDLE 2 Borne PCI 3 Borne PCI</p> <p>CN14 1 BRN_DKX_01 2 Borne PCI 3 Borne PCI</p> <p>CN15 1 BRN_DKX_02 2 Borne PCI 3 Borne PCI</p> <p>CN16 1 BRN_DKX_03 2 Borne PCI 3 Borne PCI</p>			<p>SAIDAS A RELE</p> <p>CN17 1 RELE_SPRINDE_MA 2 RELE_SPRINDE_ML 3 RELE_SPRINDE_MF Borne PCI</p> <p>CN18 1 RELE_ASPINADOR_MA 2 RELE_ASPINADOR_ML 3 RELE_ASPINADOR_MF Borne PCI</p>			<p>SAIDAS PARA OS DRIVERS</p> <p>CN9 1 BRN_X_EMA 2 Borne PCI 3 Borne PCI</p> <p>CN8 1 BRN_Y_STEP 2 BRN_Y_DIR 3 Borne PCI</p> <p>CN7 1 BRN_Z_EMA 2 Borne PCI 3 Borne PCI</p> <p>CN10 1 BRN_Z_STEP 2 BRN_Z_DIR 3 Borne PCI</p>			0
8	<p>PROJETO: Placa IO LPT1 (principal)</p> <p>Autores: Sergio Carstens Sergio Carstens Tiago Alexandre Carstens</p> <p>CÓDIGO: PCI 01 REV.: V300</p> <p>DATA: 06/10/14 MOD.: 08/07/15</p> <p>PÁGINA: CONEXÕES II 318</p> <p>ARQUIVO: PLACA IO LPT1 V300.DSN</p>									
9	<p>INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA</p>									
0	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K



PROJETO: Placa IO LPT1 (principal)
AUTORIA: Tiago Alexandre Carstens
DATA: 06/10/14
REV: V300
MOD: 08/07/15
PÁGINA: ISOLACAO SAIDAS II
ARQUIVO: PLACA IO LPT1 V300.DSN

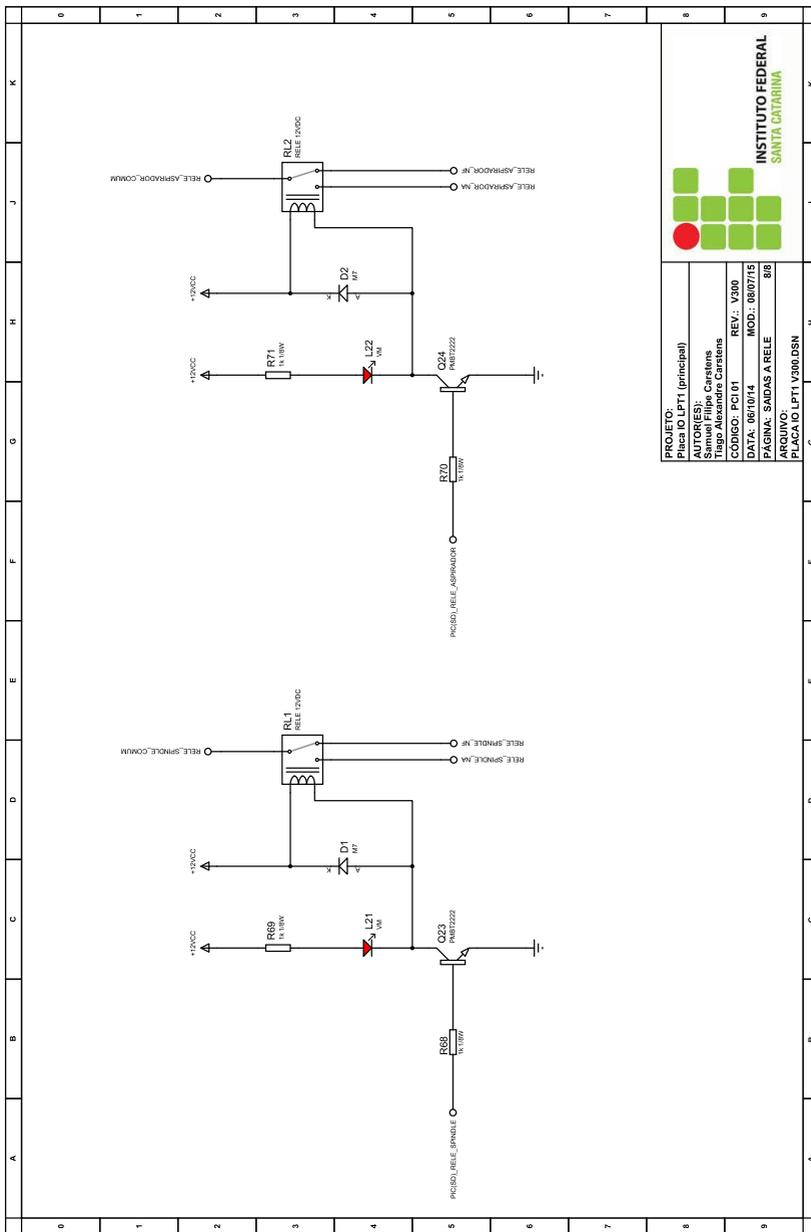


INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA



PROJETO:	Placa IO LPT1 (principal)
ARQUITETO:	Adriano F. de Sá
DESENHADOR:	Samuel Filho
TIPO:	Tiago Alexandre Carstens
CODIGO:	PCI 01
DATA:	08/10/14
MOD.:	08/07/15
PAGINA:	ISOLACAO ENTRADAS 7/8
ARQUIVO:	PLACA IO LPT1 V300.DSN

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA



PROJETO:	Placa IO LPT1 (principal)
AUTORIA:	Eng. Carlos Tejo Alexandre Carstens
CODIGO:	PCI 01
DATA:	06/10/14
REV.:	V300
MOD.:	08/07/15
PAGINA:	SADAS A RELE
ARQUIVO:	818
PLACA IO LPT1 V300.DSN	



APÊNDICE C – LAYOUT INTERFACE PRIMÁRIA

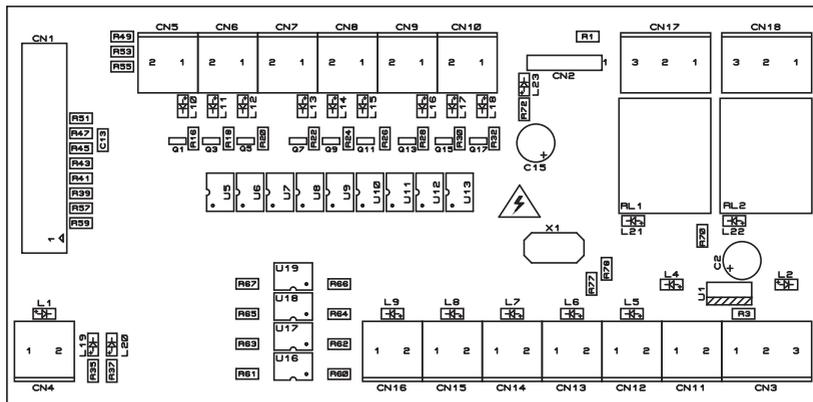


Figura 74 - Interface Principal: Componentes camada superior [Fonte: Autores].

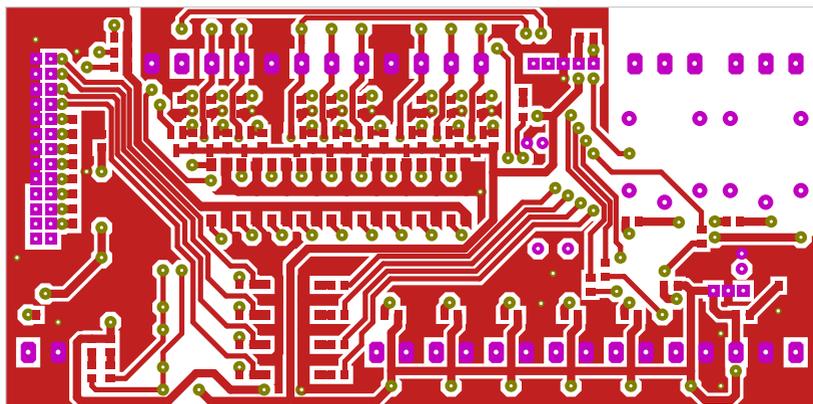


Figura 75 - Interface Principal: Cobre camada superior [Fonte: Autores].

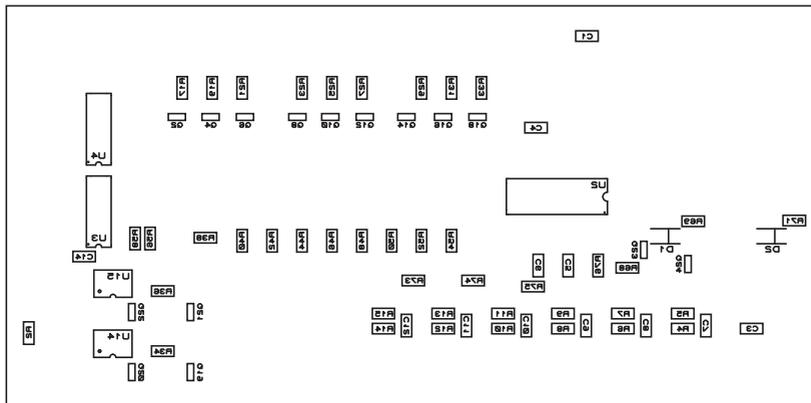


Figura 76 - Interface Principal: Componentes camada inferior
[Fonte: Autores].

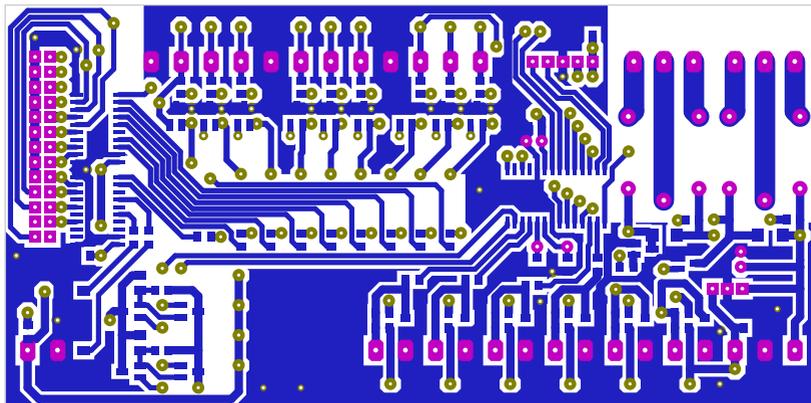
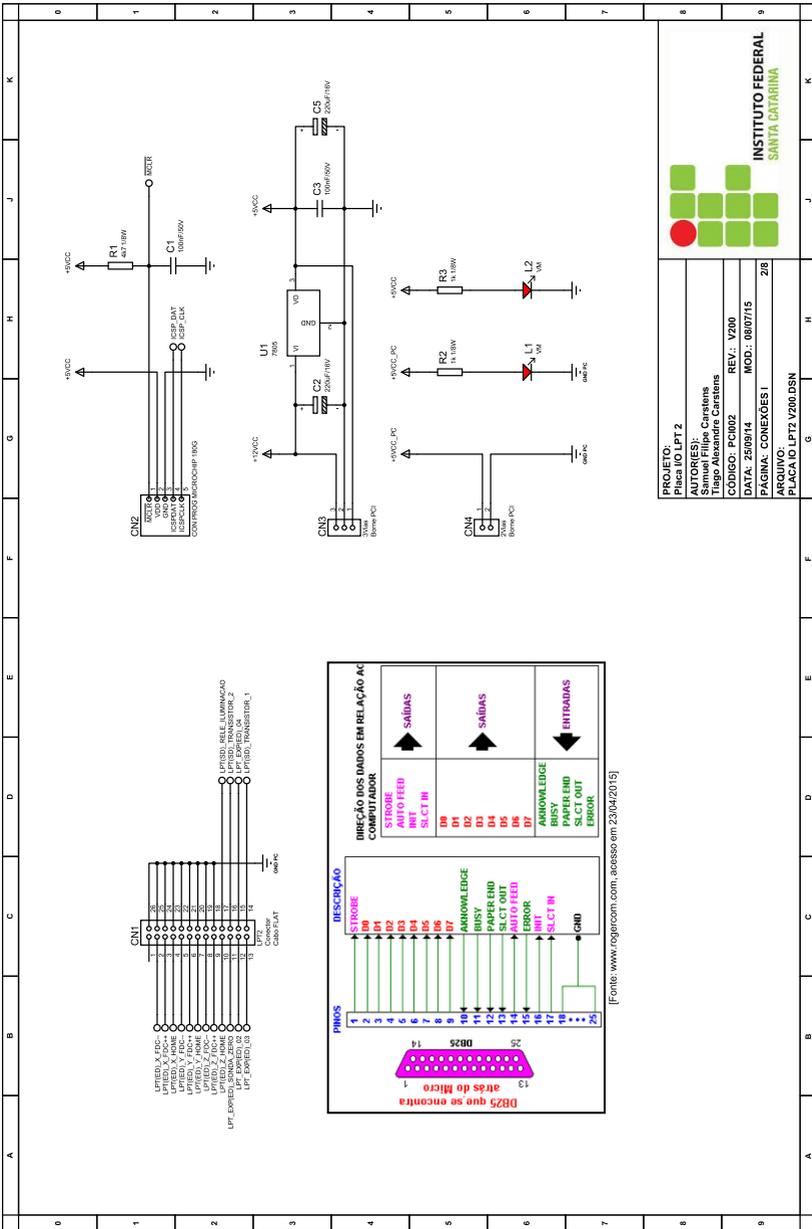


Figura 77 - Interface Principal: Cobre camada inferior
[Fonte: Autores].

APÊNDICE D – ESQUEMÁTICO INTERFACE SECUNDÁRIA

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
Descrição de todos Bomes - CN3 – CN21											
Ref. Conexão	Nº Terminal	Descrição	Classificação	LED Acoplado							
CN3	1	Saida +VCC12V16mA	Atenuação	L3 - Azul							
CN3	2	GND	Atenuação	---							
CN4	1	Entrada +5VCC150mA PC	Atenuação	---							
CN4	2	GND PC (Rede)4	Atenuação	L1 - Azul							
CN5	1	Fin de curso (Z-)	Emprego - Sinal	L8 - Verde							
CN5	2	GND	Referência - Sinal	---							
CN6	1	Fin de curso (X+)	Emprego - Sinal	L18 - Verde							
CN6	2	GND	Referência - Sinal	---							
CN7	1	Header X	Emprego - Sinal	---							
CN7	2	GND	Referência - Sinal	L11 - Verde							
CN8	1	Fin de curso (Y-)	Emprego - Sinal	---							
CN8	2	GND	Referência - Sinal	L12 - Verde							
CN9	1	Fin de curso (Y+)	Emprego - Sinal	---							
CN9	2	GND	Referência - Sinal	L13 - Verde							
CN10	1	Header Y	Emprego - Sinal	---							
CN10	2	GND	Referência - Sinal	L14 - Verde							
CN11	1	Fin de curso (Z-)	Emprego - Sinal	---							
CN11	2	GND	Referência - Sinal	L5 - Verde							
CN12	1	Fin de curso (Z+)	Emprego - Sinal	---							
CN12	2	GND	Referência - Sinal	---							
CN13	1	Header Z	Emprego - Sinal	---							
CN13	2	GND	Referência - Sinal	L7 - Verde							
CN14	1	Bobina Inerçial	Emprego - Sinal	---							
CN14	2	GND	Referência - Sinal	L6 - Verde							
CN15	1	Entrada de operação 01	Emprego - Sinal	---							
CN15	2	GND	Referência - Sinal	L19 - Verde							
CN16	1	Entrada de operação 02	Emprego - Sinal	---							
CN16	2	GND	Referência - Sinal	L20 - Verde							
CN17	1	Entrada de operação 03	Emprego - Sinal	---							
CN17	2	GND	Referência - Sinal	L21 - Verde							
CN18	1	Entrada de operação 04	Emprego - Sinal	---							
CN18	2	GND	Referência - Sinal	L22 - Verde							
CN19	1	Saida Transmissão esp 02	Emprego - Sinal	---							
CN19	2	GND	Referência - Sinal	L16L23 - Verde							
CN20	1	Saida Transmissão esp 01	Emprego - Sinal	---							
CN20	2	GND	Referência - Sinal	L17 - Verde							
CN21	1	Contato NA Roll Inerçial	Contato Roll - Sinal	---							
CN21	2	Contato NC Roll Inerçial	Contato Roll - Sinal	---							
CN21	3	Contato NF Roll Inerçial	Contato Roll - Sinal	L16L18 - Verde							
Descrição das entradas e saídas LPT - CN1											
Nº Terminal	Descrição	Classificação	Filtro MCU								
01	Não conectado	---	---								
02	Fin de curso (Z-)	Emprego - Sinal	Sms								
03	Fin de curso (Z+)	Emprego - Sinal	Sms								
04	Header X	Emprego - Sinal	Sms								
05	Fin de curso (Y-)	Emprego - Sinal	Sms								
06	Fin de curso (Y+)	Emprego - Sinal	Sms								
07	Header Y	Emprego - Sinal	Sms								
08	Fin de curso (Z-)	Emprego - Sinal	Sms								
09	Fin de curso (Z+)	Emprego - Sinal	Sms								
10	Header Z	Emprego - Sinal	Sms								
11	Saida Zeta	Emprego - Sinal	Mks								
12	Expansão 02	Emprego - Sinal	Mks								
13	Expansão 01	Emprego - Sinal	Mks								
14	Transistor 01	Serie - Sinal	Mks								
15	Expansão 04	Emprego - Sinal	Mks								
16	Transistor 02	Serie - Sinal	Sms								
17	Roll Inerçial	Saida - Sinal	Sms								
18	GND	Referência - Sinal	Sms								
19	GND	Referência - Sinal	---								
20	GND	Referência - Sinal	---								
21	GND	Referência - Sinal	---								
22	GND	Referência - Sinal	---								
23	GND	Referência - Sinal	---								
24	GND	Referência - Sinal	---								
25	GND	Referência - Sinal	---								
26	GND	Referência - Sinal	---								
Descrição do conector de programação CN2											
Nº Terminal	Descrição	Classificação	Nº Terminal USBCONT								
01	Master Clear	---	97/063								
02	+5VCC	---	20								
03	GND	---	06 e 19								
04	ICSP Data	---	20/057								
05	ICSP Clock	---	27/066								
Descrição das entradas e saídas MCU* - U2											
Nº Terminal	PORT	Classificação	Descrição								
02	RA0	Entrada	Fin de Curso (Z-)								
03	RA1	Entrada	Fin de Curso (Z+)								
04	RA2	Entrada	Header X								
05	RA3	Entrada	Fin de Curso (Y-)								
06	RA4	Entrada	Fin de Curso (Y+)								
07	RA5	Entrada	Header Y								
08	RA7	Entrada	Fin de Curso (Z-)								
09	RA7	Entrada	Fin de Curso (Z+)								
10	RA8	Entrada	Transmissão 02								
11	RB0	Saida	Roll Inerçial								
12	RB2	Saida	Header Z								
13	RB3	Saida	Fin de Curso (Z-)								
14	RB4	Saida	Fin de Curso (Z+)								
15	RB5	Saida	Header Z								
16	RB7	Saida	Transmissão 02								
17	RB7	Saida	Header Z								
18	RC0	Entrada	Header 2								
19	RC1	Entrada	Roll Inerçial								
20	RC2	Saida	Fin de curso (Y-)								
21	RC3	Saida	Roll Inerçial								
22	RC4	Entrada	Fin de curso (Y-)								
23	RC5	Saida	Fin de curso (Y+)								
24	RC7	Saida	Header X								
25	RC7	Saida	Header X								
26	RC7	Saida	Master Clear								
27	---	---	GND								
28	---	---	Atenuação								
29	---	---	Atenuação								
30	---	---	Atenuação								
*Microcontrolador PIC16F1506											
											
				PROJETO: Plataforma LPT2 AUTORES: Adriano F. Coimbra Tague Alexandre Campos CODIGO: PC002 REV.: 026 DATA: 25/06/18 MOD.: 08/11/18 PAGINA: TABELAS 03 ASSINHA: PLACA IO LPT3 V031.DSN							



PROJETO: Placa IO LPT2

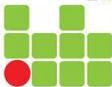
AUTORIA: Cristiano
Tiago Alexandre Carstens

CODIGO: PCI002 **REV:** V200

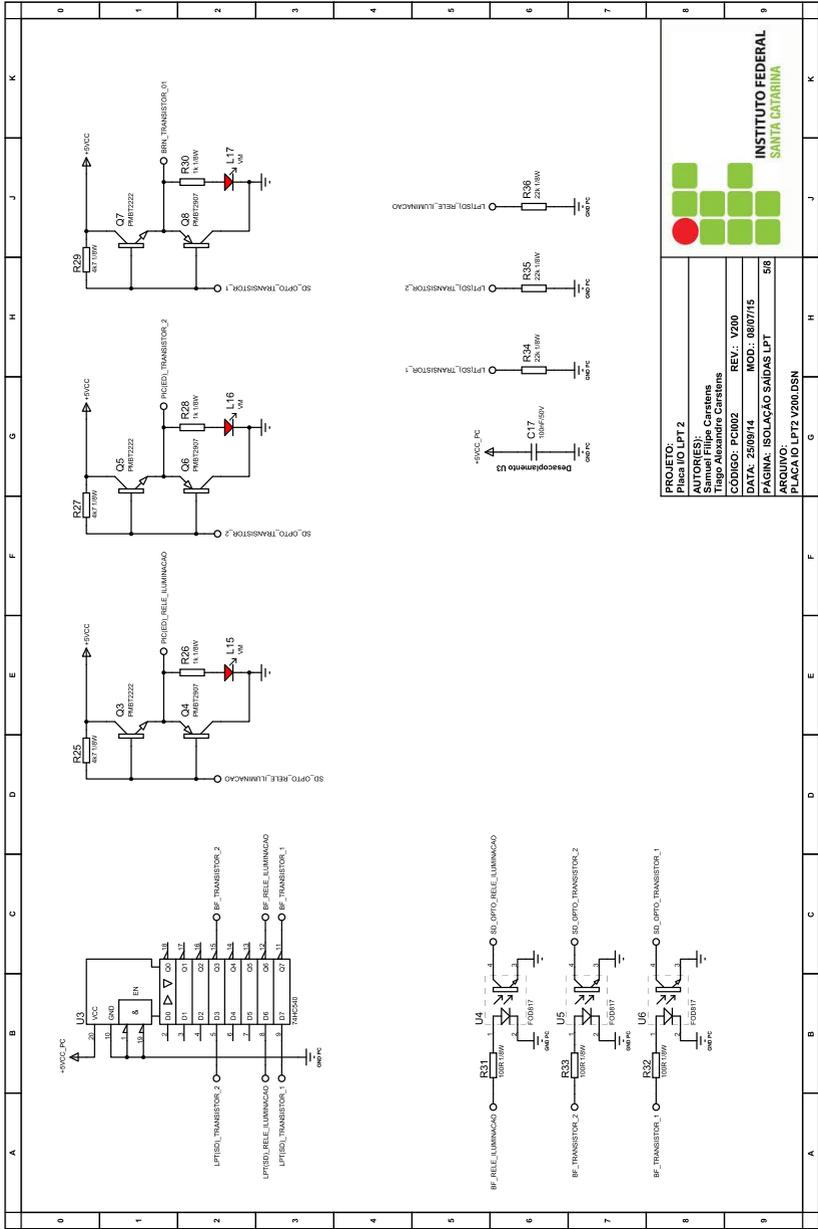
DATA: 25/09/14 **MOD:** 08/07/15

PAGINA: CONEXÕES I **2/8**

ARQUIVO: PLACA IO LPT2 V200.DSN

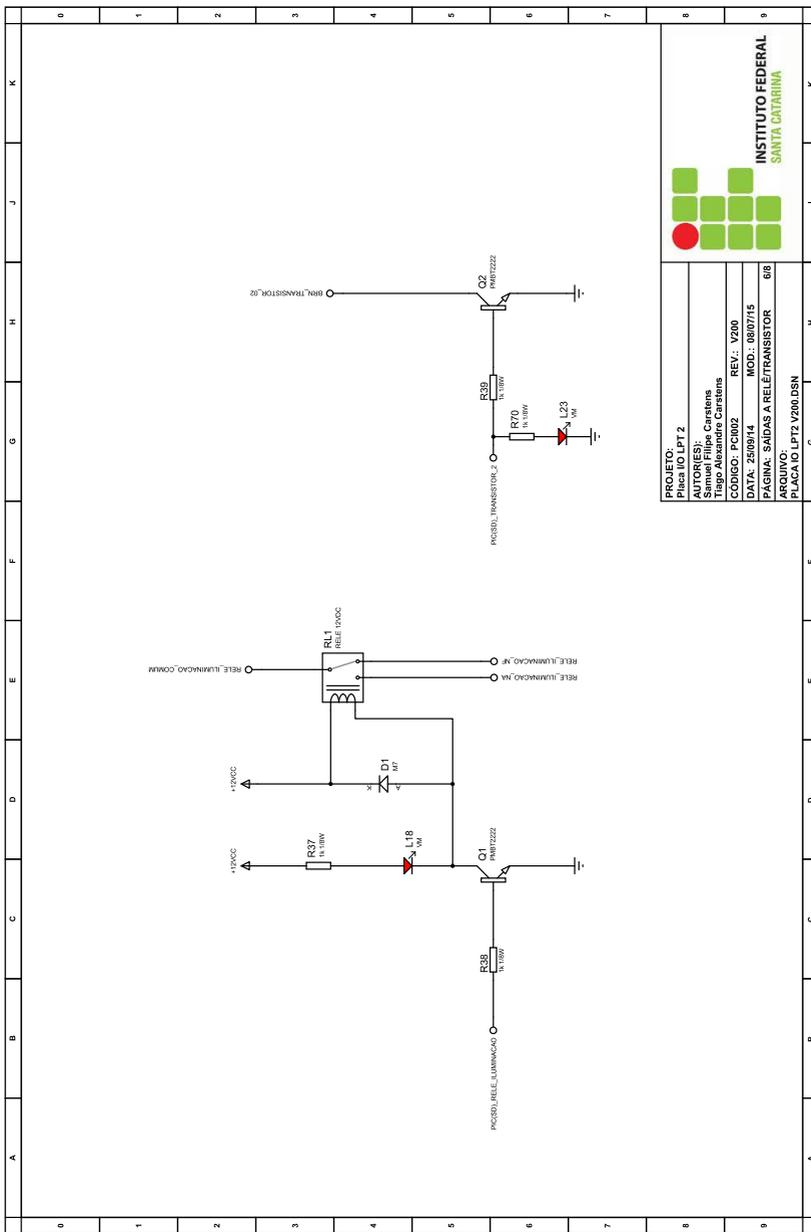


**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

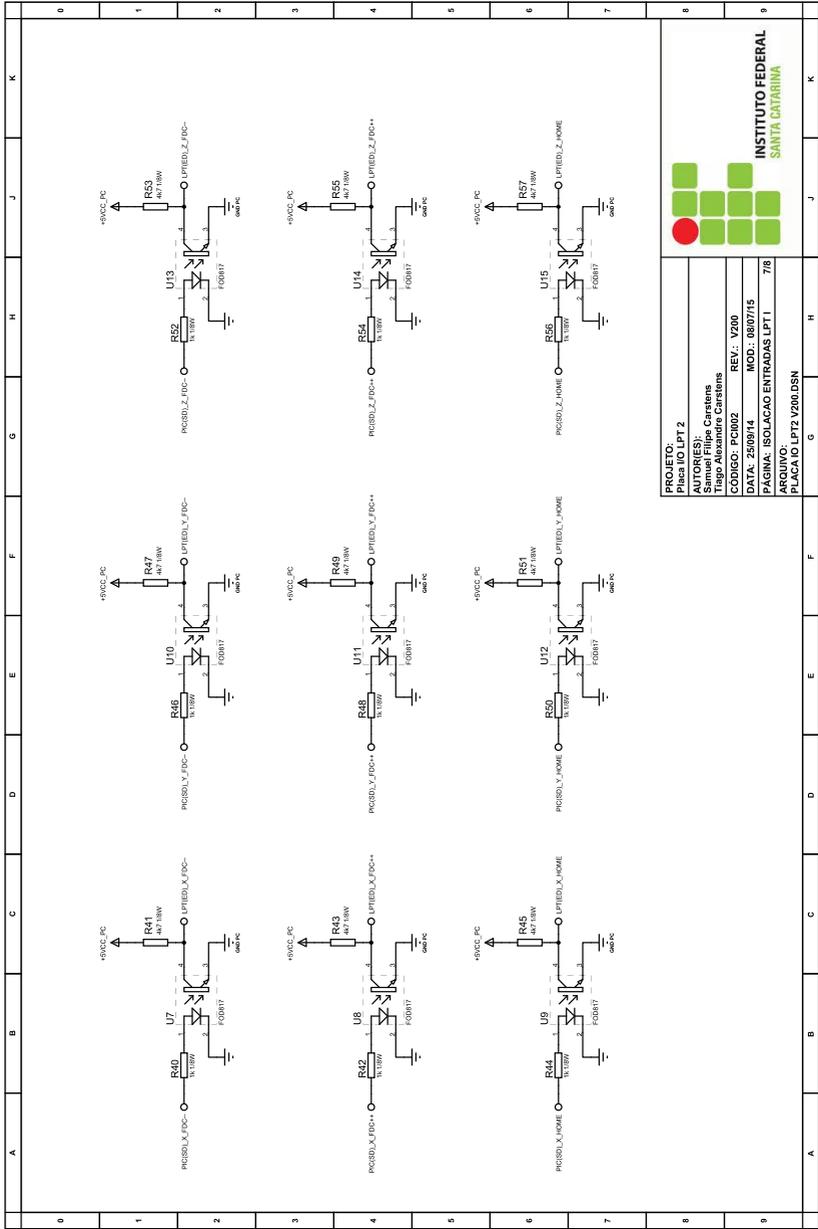


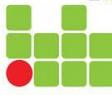
PROJETO: Placa IO LPT 2
PROFESSOR: Sérgio Roberto
ALUNOS: Samuel Felipe Carstens
 Tiago Alexandre Carstens
CODIGO: PC002 **REV.:** V200
DATA: 25/09/14 **MOD.:** 08/07/15
PÁGINA: ISOLAÇÃO SAÍDAS LPT **518**
ARQUIVO: PLACA IO LPT2 V200.DSN

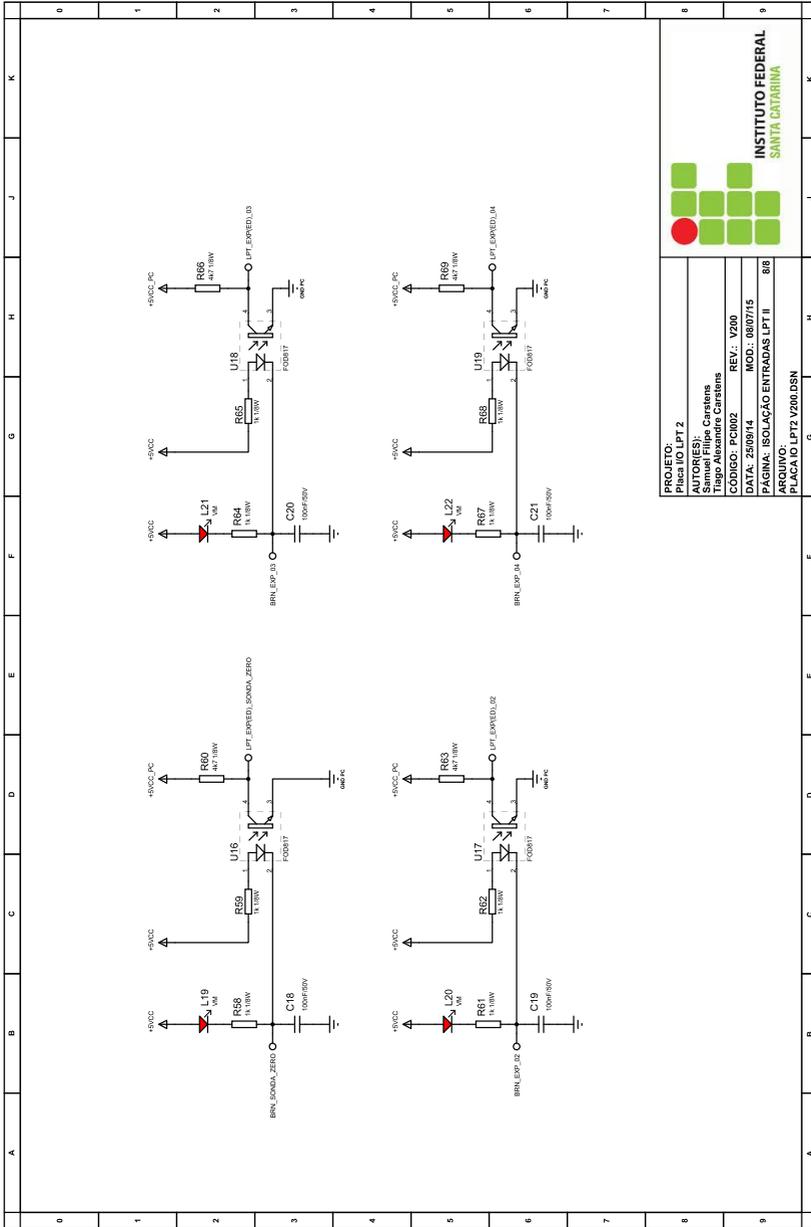
INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA



INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA	
PROJETO: Placa I/O LPT 2	
AUTORIA: Carlos Henrique Trigo Alexandre Carstens	
CODIGO: PCI002	REV.: V200
DATA: 25/09/14	MOD.: 08/07/15
PAGINA: SAIDAS A RELE/TRANSISTOR	618
ARQUIVO:	
PLACA I/O LPT2 V200.DSN	



	
PROJETO: Placa IO LPT 2	
Autor: RST Supervisor: Felipe Carstens Triago Alexandre Carstens	
CODIGO: PC002	REV.: V200
DATA: 25/09/14	MOD.: 08/07/15
PAGINA: ISOLACAO ENTRADAS LPT 1	7/8
ARQUIVO: PLACA IO LPT2 V200.DSN	



APÊNDICE E – LAYOUT INTERFACE SECUNDÁRIA

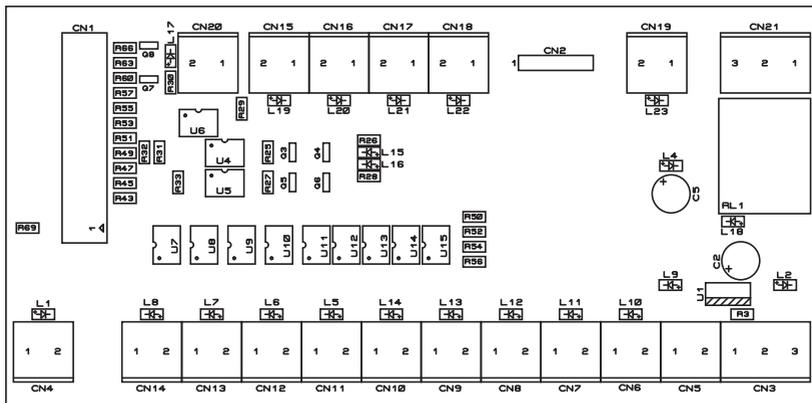


Figura 78 - Interface Secundária: Componentes camada superior
[Fonte: Autores].

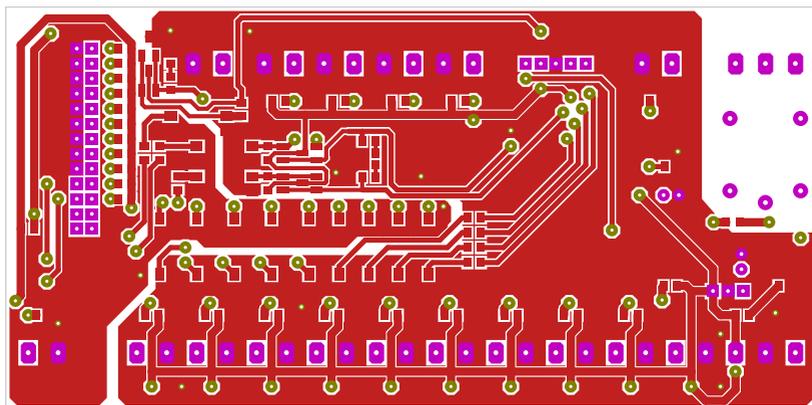


Figura 79 - Interface Secundária: Cobre camada superior
[Fonte: Autores].

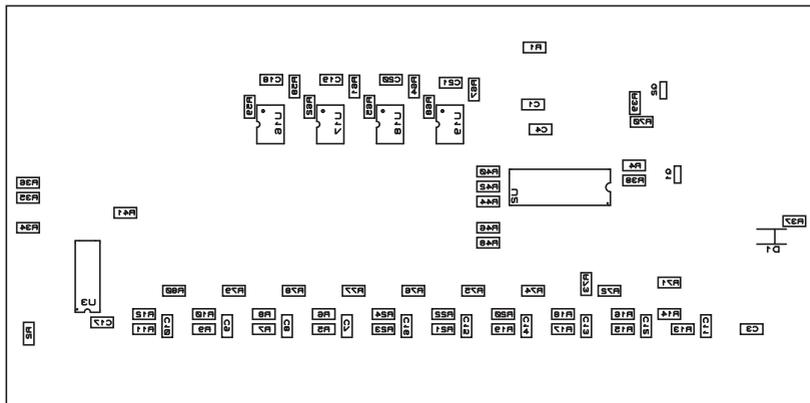


Figura 80 - Interface Secundária: Componentes camada inferior
[Fonte: Autores].

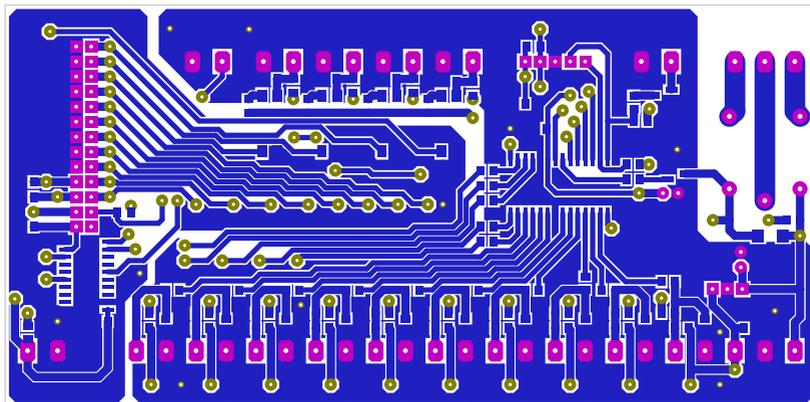
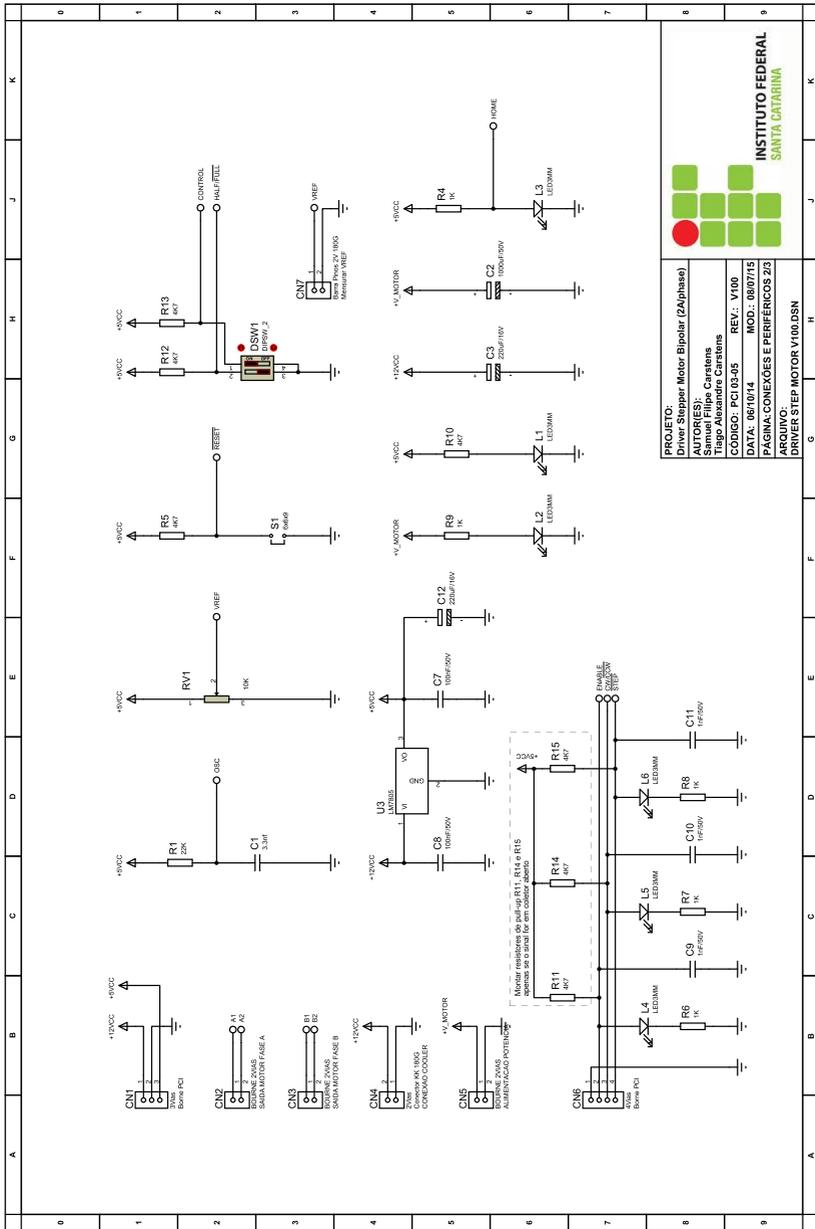


Figura 81 - Interface Secundária: Cobre camada inferior
[Fonte: Autores].

APÊNDICE F – ESQUEMÁTICO DRIVER ACIONAMENTO MOTOR

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	K
Descrição de todos Bornes - CN3 –CN6										
Ref Conector	Nº Terminal	Descrição	Classificação	LED Associado						
CN3	1	Entrada +12VCC/250mA	Alimentação	---						
	2	GND	Alimentação	---						
	3	Saída +5VCC/100mA	Alimentação	L1 - Vermelho						
CN4	1	Fase Motor A1	Alimentação	L1 - Azul						
	2	Fase Motor A2	Alimentação	---						
CN5	1	Fase Motor B1	Referência - Sinal	---						
	2	Fase Motor B2	Referência - Sinal	U9 - Vermelho						
CN6	1	Entrada +36VCC/4A	Referência - Sinal	L10 - Vermelho						
	2	GND	Referência - Sinal	---						
CN8	1	GND	Entrada - Sinal	---						
	1	Estabe	Entrada - Sinal	---						
	2	Dir	Referência - Sinal	L12 - Vermelho						
	2	Stop	Referência - Sinal	---						
Descrição do dipswitch de configuração DSW1										
Nº Entrada	Nome	Descrição								
01	CONTROL	0 - PWM CHOPPER nas linhas de Inibição INH1 e INH2 1 - PWM CHOPPER nas linhas A, B, C e D								
	HALF/FULL	0 - Meio Passo 1 - Passo Completo								
Descrição do conector do Cooler CN4										
Nº Terminal	Nome	Classificação								
01	GND	Alimentação								
02	+12VCC/150mA	Alimentação								
										
PROJETO: Driver Stepper Motor Bipolar (2Alphas) Autor: Carlos Roberto Carstens Supervisor: Samuel Filho Titulo: Alexandre Carstens CÓDIGO: PCI 03-05 REV.: V100 DATA: 08/10/14 MOD.: 08/07/15 PÁGINA: TABELAS/06 ARQUIVO: DRIVER STEP MOTOR V100.DSN										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	K



PROJETO:
 Driver Stepper Motor Bipolar (2phase)
 AUTORES):
 Rafael Cordeiro
 Thiago Alexandre Carstens
 CODIGO: PCI 03-05 REV.: V100
 DATA: 06/10/14 MOD.: 08/07/15
 PÁGINA: CONEXÕES E PERIFÉRICOS 2/3
 ARQUIVO:
 DRIVER STEP MOTOR V100.DSN



INSTITUTO FEDERAL
 SANTA CATARINA

APÊNDICE G – LAYOUT DRIVER ACIONAMENTO MOTOR

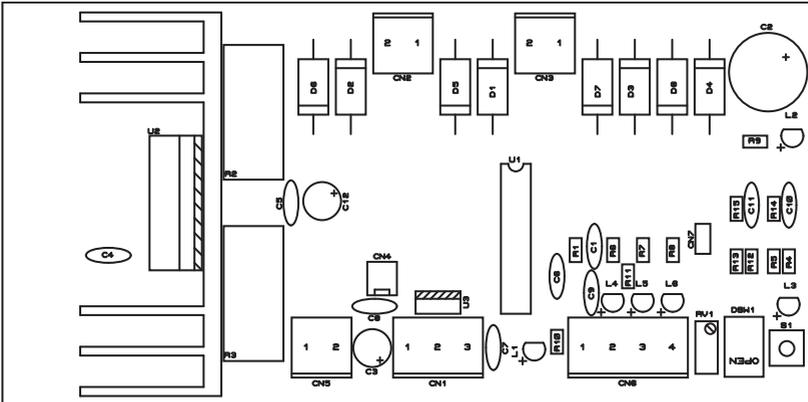


Figura 82 - Driver Acionamento Motor: Componentes camada superior
[Fonte: Autores].

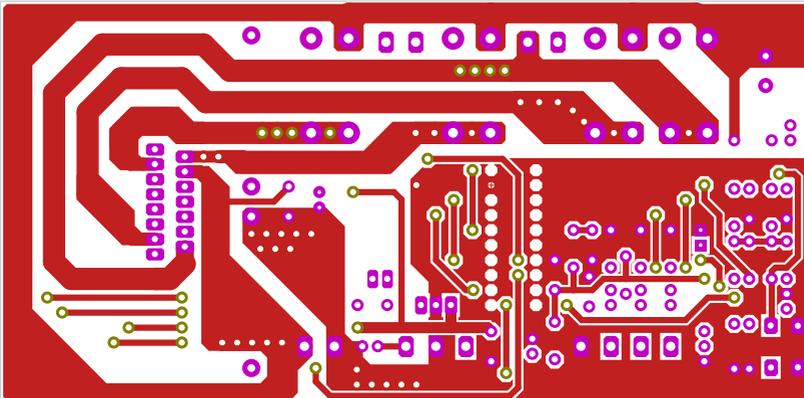


Figura 83 - Driver Acionamento Motor: Cobre camada superior
[Fonte: Autores].

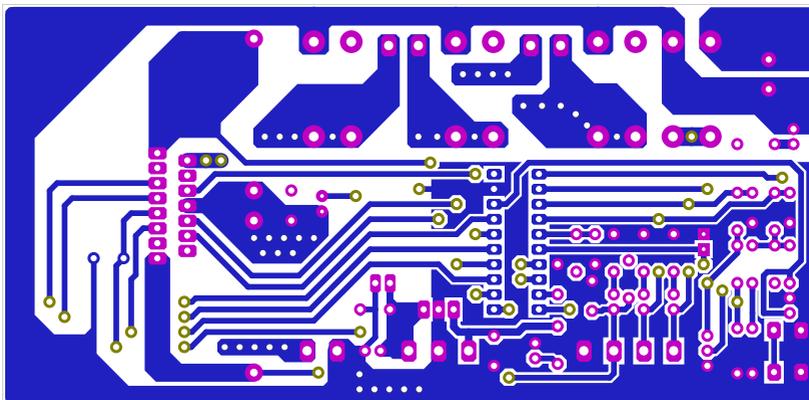


Figura 84 - Driver Acionamento Motor: Cobre camada inferior
[Fonte: Autores].