

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

Fabio Baptista de Oliveira

**Projeto, construção e caracterização de uma
fresadora CNC de bancada**

Alegrete
2019

Fabio Baptista de Oliveira

**Projeto, construção e caracterização de uma
fresadora CNC de bancada**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pampa como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Tonilson de Souza Rosendo

Alegrete
2019

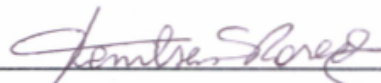
Fabio Baptista de Oliveira

**Projeto, construção e caracterização de uma
fresadora CNC de bancada**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pampa como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 26 de Agosto de 2019.

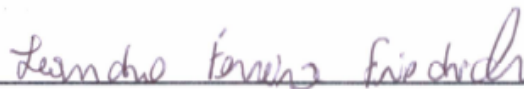
Banca examinadora:



Prof. Dr. Tonilson de Souza Rosendo
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Dr. Aldoni Gabriel Wiedenhoft
UNIPAMPA



Prof. Me. Leandro Ferreira Friedrich
UNIPAMPA

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Celia e José Vicente, pelo apoio e suporte durante toda a graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a orientação do Prof. Dr. Tonilson de Souza Rosendo por sempre estar disposto em ajudar, e a todos colegas que prestaram auxílio no desenvolvimento do trabalho.

"Não devemos acreditar nos muitos que dizem que só as pessoas livres devem ser educadas, deveríamos acreditar nos filósofos que dizem que apenas as pessoas educadas são livres."

Epicteto (apud Carl Sagan, O Mundo Assombrado Pelos Demônios).

RESUMO

Uma fresadora CNC de bancada serve para a confecção de peças, modelos de projetos e pode ser utilizada como base para o ensino de programação de manufatura computarizada. Nos dias atuais, é possível controlar estes equipamentos por meio de sistemas embarcados de fácil acesso, dentre dos quais podemos citar o Arduino. Neste trabalho é feito o projeto e construção de uma fresadora CNC de bancada, capaz de interpretar a linguagem padrão de comandos numéricos, o Código-G. A metodologia do projeto se baseia em uma revisão bibliográfica sobre o processo de fresamento e também em uma pesquisa de mercado em sites de fabricantes, buscando informações sobre máquinas semelhantes. Posteriormente, é feita a concepção do equipamento, a seleção de componentes, métodos de fabricação utilizados e testes para caracterização da máquina. A concepção do equipamento foi idealizada para o uso de materiais e métodos de fabricação acessíveis. Após a construção, a fresadora foi submetida a testes para avaliação de sua funcionalidade e caracterização de erros no corte de chapas de MDF. A máquina apresenta um erro relativo médio entre os testes realizados de $\pm 0,77\%$.

Palavras-chave: CNC, Fresamento, Usinagem, Projeto.

ABSTRACT

The bench CNC milling machine can be used to make parts, project models and can be used as a basis for the teaching of computerized manufacturing programming. Nowadays it is possible to control these equipments by means of embedded systems of easy access, among which we can mention Arduino. In this work the design and construction of a CNC bench milling machine capable of interpreting the standard language of numerical G-Code commands is proposed. The methodology of the project is based on a literature review on the milling process and on a market on the manufacturers' websites seeking information on similar machines. Afterwards, it is presented the design of the equipment, the selection of components, manufacturing methods used and tests for characterization of the machine. The conception of the equipment was designed aiming the use of accessible materials and manufacturing methods. In this way it was possible to construct the miller, which is functional, being tested in the cutting of MDF sheets. The machine has an average relative error between the tests performed of 0,77 %.

Key-words: CNC. Milling. Machining, Project.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos gerais de fresa de topo.	26
Figura 2 – Forças de usinagem e suas componentes na operação de fresamento. . .	28
Figura 3 – Principais forças atuantes no plano de trabalho.	28
Figura 4 – Visualização da profundidade e penetração de trabalho.	31
Figura 5 – Ângulo de posição da ferramenta.	32
Figura 6 – Ângulos de entrada e saída do dente.	33
Figura 7 – Fluxograma do projeto.	35
Figura 8 – Vista em perspectiva.	40
Figura 9 – Eixos de movimentação.	41
Figura 10 – Sistema de movimentação.	42
Figura 11 – Diagrama de Funcionamento.	43
Figura 12 – Área de trabalho do UGS Platform.	44
Figura 13 – Diagrama da eletrônica de controle.	45
Figura 14 – CNC Shield V3.	46
Figura 15 – Direções da força F_U investigadas.	49
Figura 16 – Componentes Grupo 01.	57
Figura 17 – Etapas do processo de criação do programa para corte.	57
Figura 18 – Componentes Grupo 02.	59
Figura 19 – Componentes Grupo 03.	59
Figura 20 – Curva ajustada da força específica de corte.	65
Figura 21 – Fixação de um corpo de prova para teste.	66
Figura 22 – Corpo de prova para medidas de dispersão da distância entre furos passantes nas direções x e y (Teste 01).	66
Figura 23 – Dispersão da distância entre furos passantes (Teste 01).	67
Figura 24 – Corpo de prova para medidas de dispersão em cortes lineares na direção x (Teste 02).	68
Figura 25 – Corpo de prova para medidas de dispersão em cortes lineares na direção y (Teste 03).	68
Figura 26 – Dispersão do comprimento de cortes lineares na direção x (Teste 02). .	69
Figura 27 – Dispersão do comprimento de cortes lineares na direção y (Teste 03). .	70
Figura 28 – Dispersão do espaçamento entre canais na direção de y (Teste 02) e direção de x (Teste 03).	70
Figura 29 – Corpo de prova para medidas de dispersão em percursos com inclinação no plano xy (Teste 04).	71
Figura 30 – Dispersão de cortes com inclinação no plano xy (Teste 04).	71
Figura 31 – Dispersão do espaçamento entre canais inclinados (Teste 04).	72
Figura 32 – Detalhes da fresadora CNC.	73
Figura 33 – Montagem final do projeto.	73

Figura 34 – DCL do carro de movimentação do eixo z (medidas em mm).	81
Figura 35 – DCL no plano yz, do carro de movimentação do eixo x (medidas em mm).	82
Figura 36 – DCL no plano xz, do carro de movimentação do eixo x (medidas em mm).	83
Figura 37 – DCL da mesa de deslocamento no eixo y (medidas em mm).	84
Figura 38 – DCL no plano xy, da mesa de deslocamento no eixo y (medidas em mm).	84
Figura 39 – Fator de vida.	86
Figura 40 – Fator de dureza do eixo.	87
Figura 41 – Distância máxima sem apoios.	91
Figura 42 – Tipos de apoio.	92
Figura 43 – Modelo de simulação.	94
Figura 44 – Deslocamento.	95
Figura 45 – Deslocamento força y.	95
Figura 46 – Força Eixo X.	96
Figura 47 – Diagrama de forças no eixo x.	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características (CNC RC0505)	39
Tabela 2 – Características (WK 3030)	39
Tabela 3 – Características (ROUTER CNC A0404)	40
Tabela 4 – Lista de comandos em Código-G suportados pelo Grbl	45
Tabela 5 – Características (Tupia Makita)	47
Tabela 6 – Fatores de aplicação de carga.	51
Tabela 7 – Características rolamento linear.	52
Tabela 8 – Características rolamento.	53
Tabela 9 – Características fuso.	54
Tabela 10 – Características (Motor de passo)	56
Tabela 11 – Limites de corte.	61
Tabela 12 – Recomendações de velocidade de corte.	62
Tabela 13 – Recomendações de avanço por dente da ferramenta.	63
Tabela 14 – Alumínio.	63
Tabela 15 – Aço.	64
Tabela 16 – MDF.	65
Tabela 17 – Medidas de dispersão da distância entre furos passantes (Teste 01). . .	67
Tabela 18 – Medidas de dispersão em cortes lineares na direção x (Teste 02) e direção y (Teste 03).	69
Tabela 19 – Medidas de dispersão de cortes com inclinação no plano xy (Teste 04). .	71
Tabela 20 – Características (Fresadora CNC de bancada).	72
Tabela 21 – Fator de temperatura.	87
Tabela 22 – Fator de cálculo para rolamentos rígidos de esferas.	89
Tabela 23 – Distância máxima sem apoios.	91
Tabela 24 – Fator de apoio.	92

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Justificativa	23
1.2	Definição do problema	23
1.3	Objetivos	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1	Comando numérico computadorizado	25
2.2	Processo de fresamento	25
2.2.1	Fresamento de topo	26
2.3	Velocidades de usinagem	26
2.4	Forças de corte	27
2.5	Potência de usinagem	29
2.5.1	Relação entre potências	29
2.6	Determinação teórica da força de corte	30
2.6.1	Pressão específica de corte	30
2.6.2	Área da seção transversal de corte	31
2.6.3	Potência média de corte	32
3	METODOLOGIA	35
4	DESENVOLVIMENTO	39
4.1	Pesquisa de mercado	39
4.2	Concepção	40
4.2.1	Estrutura	41
4.2.2	Sistema de movimentação	41
4.3	Sistema de controle	43
4.3.1	Interface Gráfica	43
4.3.2	Firmware	44
4.3.3	Eletrônica de Controle	45
4.4	Dimensionamento	47
4.4.1	Potência de Corte	48
4.4.2	Força de Corte	48
4.4.3	Força de avanço	48
4.4.4	Potência de Avanço	49
4.4.5	Força de Usinagem	49
4.4.6	Forças Atuantes	49
5	DESCRIÇÃO DE COMPONENTES	51
5.1	Rolamentos	51

5.1.1	Rolamentos lineares	51
5.1.2	Mancais	52
5.2	Fuso de esferas	53
5.2.1	Guias lineares	55
5.2.2	Motor de passo	56
6	FABRICAÇÃO	57
6.1	Grupo 01	57
6.2	Grupo 02	58
6.3	Grupo 03	59
7	CARACTERIZAÇÃO	61
7.1	Limites de corte	61
7.1.1	Alumínio série 6000	62
7.1.2	Aço 1020	64
7.1.3	MDF	64
7.2	Testes de corte	65
7.2.1	Teste 01 - Espaçamento entre furos passantes	66
7.2.2	Teste 02 e Teste 03 - Dimensão e espaçamento entre cortes lineares	67
7.2.3	Teste 04 - Dimensão e espaçamento entre cortes lineares com inclinação	70
7.3	Características gerais da máquina construída	72
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
	REFERÊNCIAS	77
	APÊNDICES	79
	APÊNDICE A – FORÇAS ATUANTES	81
	APÊNDICE B – SELEÇÃO DE COMPONENTES	85
B.1	Rolamentos lineares	85
B.2	Mancais	88
B.3	Fuso de esferas	90
B.4	Guias Lineares	93
B.5	Motor de passo	97
	APÊNDICE C – DESENHOS TÉCNICOS	101

ANEXOS	133
ANEXO A – CATÁLOGO ROLAMENTO LINEAR	135
ANEXO B – CATÁLOGO ROLAMENTO	137
ANEXO C – CATÁLOGO FUSO DE ESFERAS	139
ANEXO D – CATÁLOGO FRESA	141

1 INTRODUÇÃO

No passado, a precisão e qualidade das peças produzidas pelas primeiras máquinas-ferramentas, eram determinadas pela habilidade do operador. Ramalho (2016), explica que buscando maior produtividade, os processos de usinagem começaram a ser mecanizados com a utilização de tornos-revólver.

Na década de 1950 surgiu o CN (Comando numérico) e a automatização de máquinas-ferramentas, os programas eram gravados em cartões e fitas perfuradas, não sendo possível a edição pelo operador. Posteriormente com o acesso aos computadores surgiu o CNC (Comando Numérico Computadorizado) e a possibilidade de um maior controle através de técnicas de manufatura assistida por computador (GOELLNER, 2006).

Nos dias atuais, existem sistemas CNC mais acessíveis a usuários sem treinamento específico, devido ao advento de *softwares* e *hardwares* de controle *open-source*.

1.1 Justificativa

Em geral, as máquinas CNC possuem elevado custo, de forma que, o desenvolvimento de um equipamento deste tipo fornece uma alternativa de aquisição por um menor valor. Uma fresadora CNC de bancada serve para a confecção de peças, modelos de projetos e pode ser utilizada como base para o ensino de programação de manufatura computadorizada, com menor despesa de manutenção.

1.2 Definição do problema

O projeto de engenharia mecânica envolve conhecimento multidisciplinar aplicado a solução de um problema, sendo que cada área de conhecimento presente no curso de engenharia mecânica pode ser explorada detalhadamente, dependendo dos objetivos e necessidades do projeto.

Neste trabalho pretende-se desenvolver uma fresadora CNC de bancada explorando os necessários para seu projeto, construção e caracterização.

1.3 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é projetar e construir uma fresadora CNC de bancada. Os objetivos específicos são:

- a) Desenvolver a concepção do sistema;
- b) Dimensionar/Selecionar componentes;
- c) Obter materiais e equipamentos;
- d) Construir e instrumentar o sistema;
- e) Desenvolver testes para caracterização e ajustes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, são abordados conceitos e aspectos teóricos necessários para o desenvolvimento do trabalho.

2.1 Comando numérico computadorizado

Conforme Lyra (2010), o CN foi criado na década de 1950 como aplicação em automação de máquinas operatrizes, esse processo se mostrou eficiente permitindo a fabricação de produtos geometricamente complexos. Mais tarde, com o acesso aos computadores foi possível integrar o CN a um núcleo de processamento e interface gráfica, esta integração proporcionou a acessibilidade aos arquivos de programa que podiam ser facilmente alterados de acordo com a necessidade do usuário, surgindo assim, o CNC.

O CN trabalhava com manipulação de dados para o controle de uma máquina, utilizava funções lógicas fixas, os programas eram gravados em fitas e cartões perfurados. O sistema interpretava o programa, porém, não existia a possibilidade do operador alterá-lo.

O sistema CNC utiliza um micro processador interno, que armazena em sua memória uma variedade de rotinas que são capazes de manipular as funções lógicas. Permitindo ao operador mudanças no programa na própria máquina (PEREIRA, 2012).

A Linguagem G foi adotada pelo sistema ISO (*International System Organization*), como padrão a ser usado pelos fabricantes de comandos. Esta linguagem possui algumas normas rígidas mantendo as funções básicas universais, mas oferece liberdade para criação de recursos próprios (SILVA, 2008). Alguns exemplos de sistemas de comandos são:

- FANUC;
- MITSUBISHI;
- MACH;
- SIEMENS;

Um programa em Linguagem G carrega todas as informações necessárias para o controle de uma máquina CNC como as coordenadas do percurso a ser realizado, velocidade e tipo de avanço. Além de funções mais específicas de troca de ferramenta e acionamento de fluido de corte.

2.2 Processo de fresamento

O fresamento é uma técnica de usinagem onde a remoção de material ocorre devido ao movimento relativo entre a peça e uma ferramenta rotativa denominada fresa. Neste processo, tanto a peça como a ferramenta podem se mover uma em relação a outra (MACEDO, 2001) .

Diniz, Marcondes e Coppini (2010), classificam o processo de fresamento segundo a disposição dos dentes ativos da fresa como:

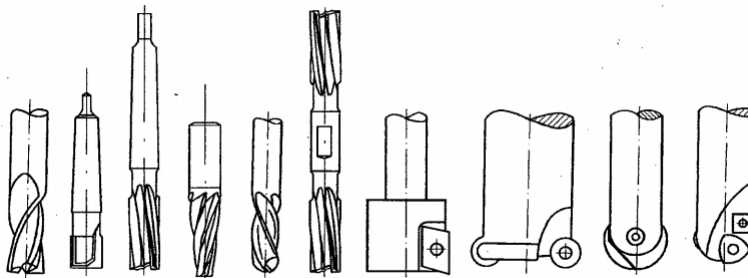
- **Fresamento tangencial** - operação na qual os dentes ativos estão na superfície cilíndrica da ferramenta, o eixo da fresa é paralelo à superfície que está sendo usinada.
- **Fresamento frontal** - operação na qual os dentes ativos da fresa estão na superfície frontal da ferramenta, o eixo da fresa é perpendicular à superfície gerada.
- **Fresamento de topo** - operação na qual os dentes ativos da fresa estão tanto na superfície cilíndrica como na superfície frontal da ferramenta, o eixo da fresa pode estar paralelo ou perpendicular a superfície usinada.

2.2.1 Fresamento de topo

O fresamento de topo pode ser considerado uma combinação do fresamento tangencial e frontal, já que neste método de fresamento a aresta de corte está presente tanto na face frontal quanto na tangencial da fresa. Com o uso do processo de fresamento de topo é possível obter uma variedade de sulcos, chanfros, canais, rasgos e cavidades (SILVA, 2010).

As fresas de topo são bastante versáteis possuindo uma grande variedade de tipos padronizados, formas e tamanhos. A Figura 1 apresenta uma ilustração com vários tipos de fresas de topo.

Figura 1 – Tipos gerais de fresa de topo.



Fonte: (MACEDO, 2001).

2.3 Velocidades de usinagem

Diniz, Marcondes e Coppini (2010) falam sobre a velocidade de corte e velocidade de avanço, assim, como o cálculo das mesmas com base na rotação e no diâmetro da ferramenta.

Na operação de fresamento, a velocidade de corte é a velocidade tangencial instantânea resultante da rotação da ferramenta.

A Equação 2.1 fornece a velocidade de corte:

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (2.1)$$

V_c [m/min] - Velocidade de corte;

d [mm] - Diâmetro da ferramenta;

n [rpm] - Rotação da ferramenta.

A velocidade de avanço é dada pela Equação 2.2:

$$V_f = f_z \cdot Z \cdot n \quad (2.2)$$

V_f [mm/min] - Velocidade de avanço;

f_z [$mm/dente$] - Avanço por dente da ferramenta;

Z - Número de dentes da ferramenta.

Isolando n na Equação 2.1 e substituindo na Equação 2.2, obtemos Equação 2.3:

$$V_f = \frac{1000 \cdot F_c}{\pi \cdot d} \cdot f_z \cdot Z \quad (2.3)$$

2.4 Forças de corte

O conhecimento da magnitude da força de usinagem e suas componentes e direções, tem vital importância no projeto de máquinas-ferramentas e no dimensionamento de seus elementos, guias, mancais, sistemas de acionamento e determinação dos parâmetros de corte. Modelos e simulações das forças atuantes no fresamento de topo tem sido alvo de estudo de muitos autores.

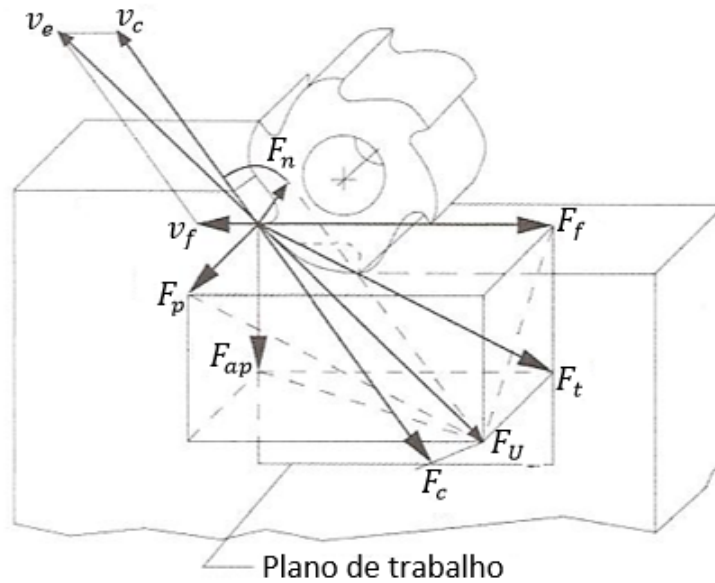
Atualmente dispõe-se de modelos considerando parâmetros específicos como a geometria da fresa e do corte, o material da peça, os parâmetros de corte, a excentricidade e as deflexões estáticas e dinâmicas da ferramenta, peça e máquina, as vibrações externa e autoexcitadas, entres outros. Cada autor tenta simplificar os modelos não considerando todas as variáveis em seus trabalhos (MACEDO, 2001).

Neste trabalho procura-se compreender as principais forças atuantes sobre a estrutura de uma máquina-ferramenta, a fim de se obter uma aproximação dos fenômenos resultantes para caracterização da mesma. Diniz, Marcondes e Coppini (2010) explicam que a força de usinagem é tridimensional como ilustra a Figura 2.

Machado et al. (2011) comenta que os três componentes básicos da força de usinagem são:

- Força de corte (F_c): é a projeção da força de usinagem sobre o plano de trabalho, na direção de corte, dada pela velocidade de corte;
- Força de avanço (F_f): é a projeção da força de usinagem sobre o plano de trabalho, na direção de avanço, dada pela velocidade de avanço;

Figura 2 – Forças de usinagem e suas componentes na operação de fresamento.

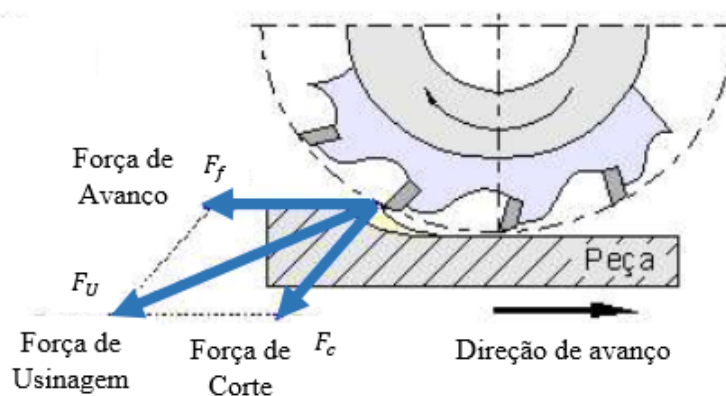


Fonte: Adaptado de (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2010).

- Força passiva (F_p): é a projeção da força de usinagem perpendicular ao plano de trabalho;

A força passiva não contribui para a potência de usinagem pois é perpendicular ao plano de trabalho (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2010). A Figura 3 mostra as duas principais componentes da força de usinagem atuantes, considerando apenas o plano de trabalho.

Figura 3 – Principais forças atuantes no plano de trabalho.



Fonte: Adaptado de (STOETERAU, 2004).

2.5 Potência de usinagem

Conforme Machado et al. (2011), a soma das potências para cada componente de força de usinagem resulta na potência de usinagem, assim como o produto da velocidade pela força e pelo cosseno do ângulo formado entre ambas. A potência de usinagem tem apenas a contribuição das componentes de corte e avanço.

A Equação 2.4 fornece a potência de corte:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{6,0 \cdot 10^4} \quad (2.4)$$

P_c [kW] - Potência de corte;

F_c [N] - Forças de corte;

v_c [m/min] - Velocidade de corte.

A potência de avanço é dada por Equação 2.5:

$$P_f = \frac{F_f \cdot v_f}{6,0 \cdot 10^7} \quad (2.5)$$

P_f [kW] - Potência de avanço;

F_f [N] - Força de avanço;

v_f [mm/min] - Velocidade de avanço.

Para obter a potência dos motores de acionamento, a Equação 2.4 e Equação 2.5 são divididas pela eficiência dos sistemas de transmissão de entrega de potência na ferramenta e no carro de avanço da máquina.

A potência do motor de corte é obtida através da Equação 2.6:

$$P_{mc} = \frac{P_c}{\eta_c} \quad (2.6)$$

P_{mc} [kW] - Potência motor de corte.

η_c - Eficiência da transmissão de potência de corte.

A potência do motor de avanço é obtida através da Equação 2.7:

$$P_{mf} = \frac{P_f}{\eta_f} \quad (2.7)$$

P_{mf} [kW] - Potência motor de avanço.

η_f - Eficiência da transmissão de potência de avanço.

2.5.1 Relação entre potências

Pode ser estabelecida a relação entre a potência de corte e a potência de avanço. Efetuando a fração entre a Equação 2.4 e Equação 2.5, tem-se:

$$\frac{P_c}{P_f} = \frac{1000 \cdot F_c \cdot V_c}{F_f \cdot V_f} \quad (2.8)$$

Substituindo a Equação 2.1 e Equação 2.2 na Equação 2.8, obtemos:

$$\frac{P_c}{P_f} = \pi \cdot \frac{F_c}{F_f} \cdot \frac{d}{f_z \cdot Z} \quad (2.9)$$

Diniz, Marcondes e Coppini (2010) estabelecem que para a operação de torneamento:

$$F_c = 4,5 \cdot F_f$$

Para exemplificar pode-se analisar a relação entre potências utilizando um d pequeno e um f grande.

$$d = 10 \text{ mm}$$

$$f_z = 1 \text{ mm/volta}$$

$$Z = 1$$

Assim, temos:

$$P_c/P_f = \pi \cdot 4,5 \cdot 10 = 140$$

Para essa situação a potência de avanço é 140 vezes menor que a potência de corte.

Devido as forças de avanço serem na maioria das vezes menores que as de corte, os valores de potência obtidos para os motores na direção de avanço são geralmente bem menores que os da direção de corte (MACHADO et al., 2011).

2.6 Determinação teórica da força de corte

A força de corte é a principal componente da potência de usinagem para caracterização de uma máquina-ferramenta. Assim como todas as componente da força de usinagem, a força de corte varia com a seção de cavaco.

Esta variação quase linear foi constatada experimentalmente e a relação da área da seção de corte e força leva a Equação 2.10 (MACHADO et al., 2011).

$$F_c = K_s \cdot A \quad (2.10)$$

K_s [N/mm^2] - Pressão específica de corte;

A [mm^2] - Área da seção transversal de corte.

2.6.1 Pressão específica de corte

Uma fórmula analítica suficientemente precisa para o cálculo de K_s foi apresentada por Kienzle. O autor observou em gráficos construídos com dados experimentais, o comportamento da pressão específica de corte em função da espessura de corte para pares de ferramenta-peça. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2010)

A partir destas observações estabeleceu a relação da Equação 2.11.

$$K_s = K_{s1} \cdot h^{-z} \quad (2.11)$$

z - Coeficiente angular da reta;
 h [mm] - Espessura de corte;
 K_{s1} [N/mm²] - Pressão específica de corte para uma seção de 1 mm de espessura por 1mm de largura

2.6.2 Área da seção transversal de corte

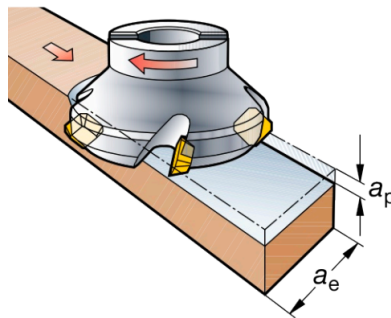
É a área da seção transversal calculada de um cavaco a ser removido, medida perpendicularmente à direção de corte, esta área é obtida pela Equação 2.12.

$$A = a_p \cdot f = b \cdot h \quad (2.12)$$

a_p [mm] - Profundidade ou largura de usinagem;
 f [mm] - Avanço;
 b [mm] - Largura de corte;
 a_e [mm] - Penetração de trabalho.

Por meio da Figura 4, é possível visualizar a_p e a_e em uma operação de fresamento.

Figura 4 – Visualização da profundidade e penetração de trabalho.



Fonte: (SANDVIK COROMANT, 2017).

Em condições ideais a largura de corte é idêntica ao comprimento da aresta de corte ativa. A largura de corte pode ser determinada pela Equação 2.13.

$$b = \frac{a_p}{\sin \chi_r} \quad (2.13)$$

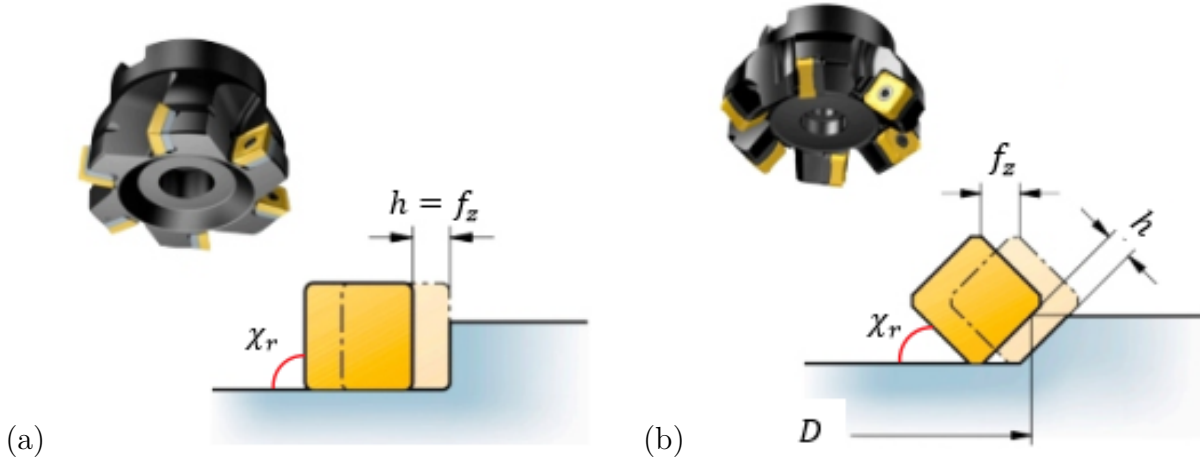
χ_r - Ângulo de posição da ferramenta em relação a peça.

A espessura de corte é encontrada pela Equação 2.14.

$$h = f \cdot \sin \chi_r \quad (2.14)$$

A Figura 5 mostra dois exemplos do ângulo de posição χ_r da ferramenta em relação a peça usinada, em (a) para 90° e (b) 45° .

Figura 5 – Ângulo de posição da ferramenta.



Fonte: Adaptado de (SANDVIK COROMANT, 2017).

Substituindo a Equação 2.11 e a Equação 2.12 na Equação 2.10. Obtemos a Equação 2.15 para calcular a força de corte.

$$F_c = K_{s1} \cdot h^{(1-z)} \cdot b \quad (2.15)$$

2.6.3 Potência média de corte

A potência de corte consumida oscila a todo instante no processo de fresamento, devido a características como a variação do número de dentes no corte e espessura do cavaco (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2010).

Nesse contexto, é interessante o cálculo de uma potência média de corte através do uso de uma pressão específica de corte média e uma espessura de corte média.

A potência média de corte é calculada pela Equação 2.16.

$$P_{cm} = \frac{K_{sm} \cdot a_e \cdot a_p \cdot V_f}{60 \cdot 10^6} \quad (2.16)$$

P_{cm} [kW] - Potência média de corte;

K_{sm} [N/mm²] - Pressão específica de corte média;

a_e [mm] - Penetração de trabalho;

A pressão específica de corte média é apresentada pela Equação 2.17.

$$K_{sm} = K_{s1} \cdot h_m^{-z} \quad (2.17)$$

K_{sm} [N/mm²] - Pressão específica de corte média;

h_m [mm] - Espessura de corte média.

A determinação da espessura média do cavaco é dada através dos ângulos de contato entre a peça, a fresa e o ângulo de posição da ferramenta em relação a peça.

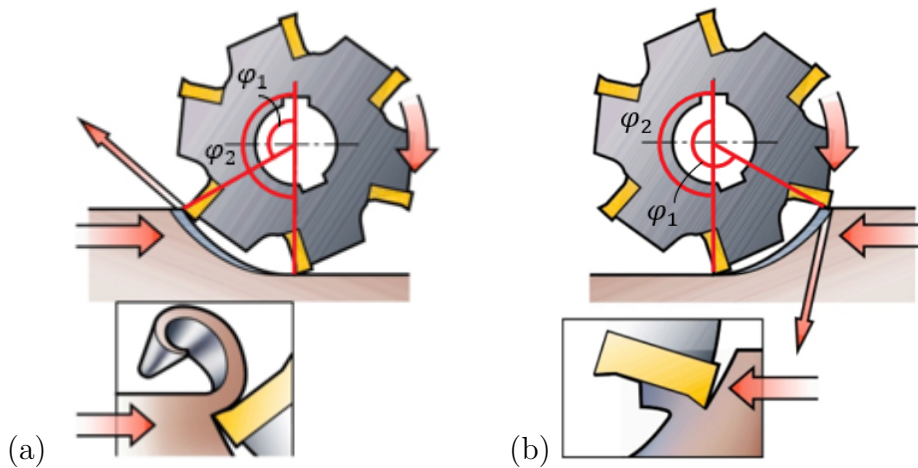
$$h_m = \frac{1}{\varphi_2 - \varphi_1} \cdot f_z \cdot \sin \chi_r \cdot (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) \quad (2.18)$$

φ_1 - Ângulo entre o ponto de saída (ou entrada no fresamento concordante) do dente e a vertical;

φ_2 - Ângulo entre o ponto de entrada (ou saída no fresamento concordante) do dente e a vertical.

Na Figura 6 é ilustrado os ângulos φ_1 e φ_2 , para o fresamento discordante (a) e concordante (b).

Figura 6 – Ângulos de entrada e saída do dente.



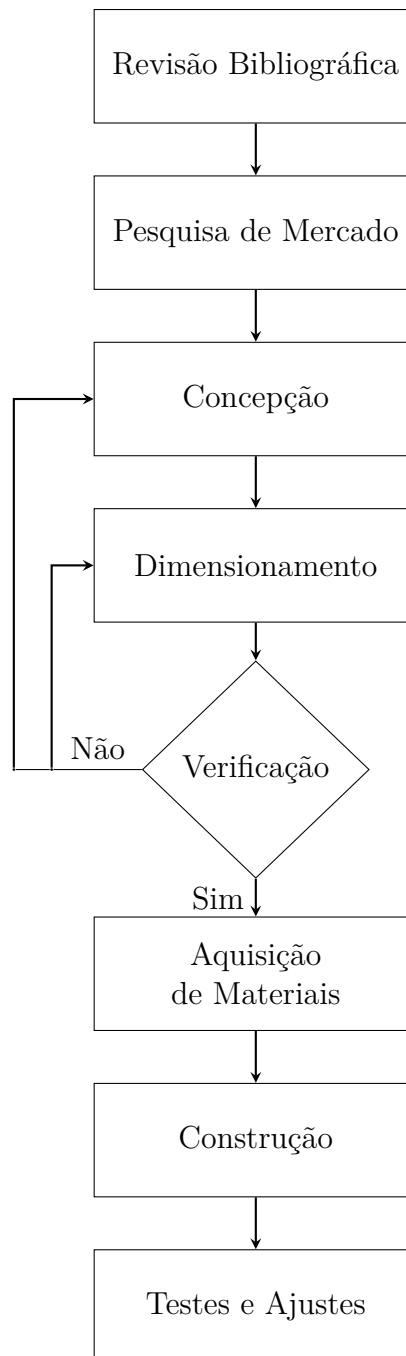
Fonte: Adaptado de (SANDVIK COROMANT, 2017).

A espessura de corte aumenta progressivamente de um valor mínimo a um valor máximo no fresamento discordante. O oposto ocorre no fresamento concordante, inicia-se com uma espessura de corte máxima até um valor mínimo na saída do dente.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada no trabalho é apresentada através do fluxograma ilustrado pela Figura 7, neste fluxograma pode-se visualizar que alguns passos são iterativos e devem ser realizados até a obtenção de resultados satisfatórios.

Figura 7 – Fluxograma do projeto.



Fonte: Autor.

A seguir é realizada a descrição das tarefas que compõe a metodologia e foram realizadas até o fim do trabalho.

a) Revisão bibliográfica

A realização da revisão bibliográfica serve para embasar as decisões referentes ao projeto. Procura-se conhecer o funcionamento de fresadoras CNC e as forças envolvidas no processo de fresamento, forças que devem atuar na estrutura da máquina.

b) Pesquisa de mercado

A realização de uma pesquisa de mercado serve para informar-se sobre produtos semelhantes existentes no mercado, assim como a procura de componentes necessários para a construção da fresadora. Esta tarefa foi realizada por meio de consultas em sites de fabricantes de máquinas CNC.

c) Concepção

A concepção deve ser pensada de modo a originar soluções que possam ser executadas por meio de materiais e métodos de fabricação dos quais se tenha acesso.

Nesta etapa é feita a descrição de funcionamento dos principais elementos mecânicos da fresadora CNC. Através de desenhos é mostrado a arquitetura da máquina e como ocorre a integração dos elementos que a compõe. Também é explanado sobre a atuação dos componentes eletrônicos responsáveis pelo controle da máquina.

d) Dimensionamento

O objetivo do dimensionamento é verificar os limites dos esforços que poderão atuar nos componentes e quais materiais poderão ser usinados pela fresadora CNC, garantindo que as geometrias e matérias-primas empregadas atendam as solicitações de funcionamento. O dimensionamento foi feito de forma analítica e para geometrias mais complexas foi utilizada simulação por elementos finitos em *software*.

Os principais elementos a serem caracterizados são listados:

- **Guias lineares** - determinado o limite de carga sobre estes componentes garantindo sua rigidez para que não ocorressem deformações que ocasionassem mal funcionamento da máquina;
- **Fusos** - foram verificadas as condições de funcionamento máximas, empregadas com uso destes elementos como velocidade de avanço, rotação e esforços;
- **Estrutura** - o principal parâmetro de caracterização estrutural foi a rigidez, para garantir uma boa performance de funcionamento dos sistemas e avaliar possíveis necessidades de reforços estruturais;
- **Potência de usinagem** - foi determinada a potência de usinagem que poderá ser empregada sem que esta ocasione esforços que excedam os limites de operação suportados pelos sistemas.

d) Seleção e especificação de componentes

Nesta seção é relatada as escolhas e especificação de componentes como rolamentos, parafusos, motores para potência de corte e de avanço. Primeiro foi necessário conhecer os esforços atuantes no elemento e depois foi feita uma seleção através de catálogos de fabricantes, ou especificado a geometria para manufatura (no caso de componente fabricado).

e) Aquisição de materiais

Esta tarefa se refere a aquisição de materiais e equipamentos necessários para a construção da fresadora CNC. A obtenção dos componentes foi realizada através de doações de empresas, materiais existentes na universidade e através de recursos próprios.

f) Construção

A construção foi realizada com uso de equipamentos e ferramental existente na Universidade Federal do Pampa/Campus Alegrete e na Ind. e Comércio Lezy de Implementos Agrícolas Ltda. Todos os componentes fabricados foram pensados e planejados de maneira que puderam ser manufaturadas com máquinas e equipamentos existentes nesses locais

g) Testes e ajustes

O testes serviram para validar o funcionamento da fresadora CNC, caracterizar as condições de funcionamento e verificar a necessidade de ajustes. Foram efetuados testes de movimentação dos eixos e análise de repetibilidade de características geométricas de corpos de prova fabricados pelo equipamento.

4 DESENVOLVIMENTO


Este capítulo faz o detalhamento do desenvolvimento do projeto da fresadora CNC.

4.1 Pesquisa de mercado

Foi realizada uma pesquisa de mercado com o objetivo de identificar equipamentos existentes, suas características e formas de funcionamento. A consulta foi realizada em *sites* de empresas que fabricassem máquinas de tamanho similar a do projeto.

Nas tabelas Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3 são apresentados três modelos de máquinas CNC e suas principais características.


Tabela 1 – Características (CNC RC0505).

Modelo (CNC RC0505)	Características	
	Área útil	500x500x60 mm
	Material usinado	Polímeros, MDF, acrílico.
	Atuador	Correia dentada
	Velocidade máx.	1000 mm/min
	Motor de usinagem	500 W
	Precisão	0,1 mm
	Preço	R\$ 5700,00

Fonte: (DISTRITEC CNC, 2018).

O modelo da Tabela 1 não apresenta controle de rotação do motor de corte, é controlada por um computador e possui uma estrutura simplificada.


Tabela 2 – Características (WK 3030).

Modelo (WK 3030)	Características	
	Área útil	300x300x60 mm
	Material usinado	Acrílico, MDF, gravação em metais.
	Atuador	Fuso de esferas
	Velocidade máx.	4000 mm/min
	Motor de usinagem	800 W
	Precisão	0,015 mm
	Preço	R\$ 16200,00

Fonte: (COBRA CNC, 2019).

Já a Tabela 2 mostra um modelo que permite ajuste da rotação do motor de corte e possui um totem de controle disponibilizado pelo fabricante.

Tabela 3 – Características (ROUTER CNC A0404).

Modelo (Router CNC A0404)	Características	
	Área útil	400x400x100 mm
	Material usinado	Polímeros, MDF, acrílico, alumínio.
	Atuador	Fuso de esferas
	Velocidade máx.	3000 mm/min
	Motor de usinagem	1500 W
	Precisão	0,03 mm
	Preço	R\$ 22000,00

Fonte: (CNC MÁQUINAS, 2018).

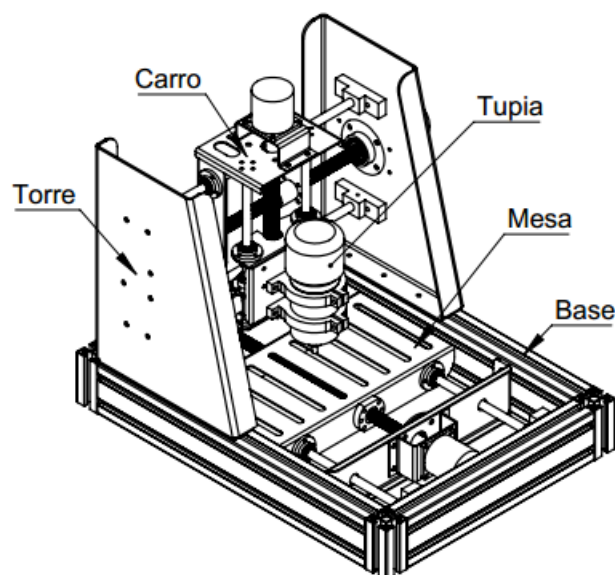
Por meio da pesquisa de mercado foi possível analisar conceitos de movimentação e arranjo estrutural. Fica evidente que conforme a qualidade dos componentes utilizados pelos fabricantes maior é o preço final do equipamento.

4.2 Concepção

Nesta seção são apresentados os arranjos dos sistemas mecânicos e eletrônicos do projeto.

A concepção da fresadora CNC é mostrada na Figura 8, através de um desenho em perspectiva. Nesta ilustração pode-se visualizar a integração dos componentes mecânicos do equipamento.

Figura 8 – Vista em perspectiva.

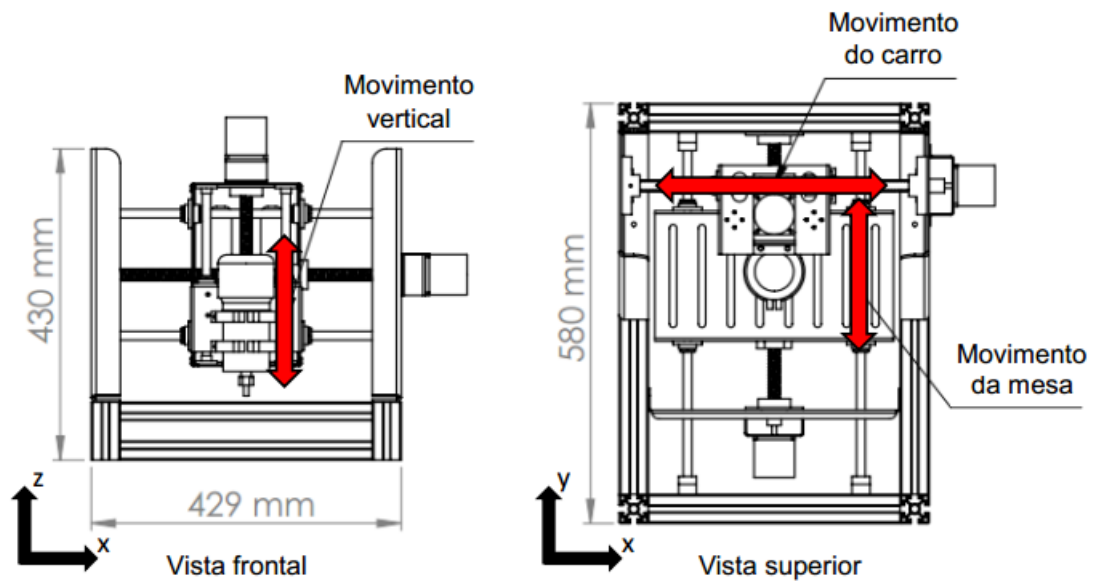


Fonte: Autor.

Através da Figura 9, é apresentada uma vista frontal da máquina, nesta ilustração é possível visualizar o sistema de movimentação no eixo z, responsável pelo deslocamento da ferramenta de corte até o plano de trabalho.

Ainda na Figura 9, é mostrada uma vista superior da fresadora CNC, nesta imagem se pode visualizar os sistemas de movimentação no plano xy. A movimentação no eixo x é feita pela mesa onde é disposto o material a ser usinado, o movimento no eixo y é realizado pelo carro que transporta o motor de corte.

Figura 9 – Eixos de movimentação.



Fonte: Autor.

4.2.1 Estrutura

A estrutura serve de base de montagem para todos os subsistemas e elementos que constituem a máquina-ferramenta.

A fresadora CNC tem como base (Figura 8) um perfil de alumínio estrutural que apresenta grande versatilidade, rigidez e possui ranhuras que servem como pontos de fixação. As torres laterais e carros de movimentação são construídos em chapas de aço carbono que passam pelo processo de dobra.

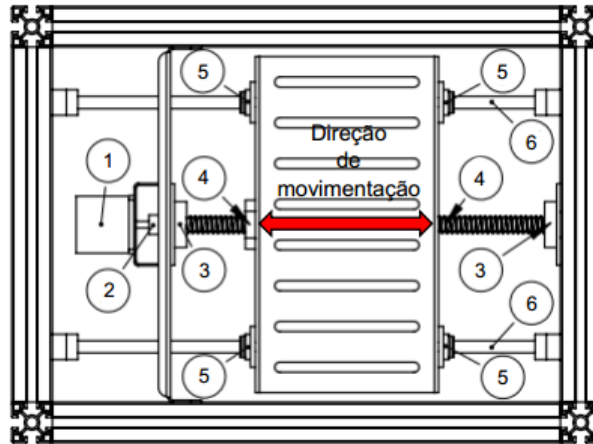
Esta concepção foi diretamente influenciada pelos materiais do qual já se tinha acesso, como os perfis de alumínio e chapas de aço.

4.2.2 Sistema de movimentação

O sistema de movimentação dos três eixos possui basicamente os mesmos componentes. Na Figura 10 é exibido uma vista superior do sistema da mesa, onde é fixado o

material a ser usinado, nesta imagem é visível os principais componentes que fazem parte dos sistemas de movimentação.

Figura 10 – Sistema de movimentação.



Fonte: Autor.

A seguir é feita uma descrição dos componentes enumerados na Figura 10:

1. **Motor de avanço** - fornece o torque e potência necessário para a movimentação do sistema. São usados motores de passo, já que estes possuem facilidade de controle.
2. **Acoplamento flexível** - transmite a potência do motor de avanço para o fuso, fazendo a conexão entre estes dois componentes. São usados acoplamentos flexíveis porque estes componentes podem eliminar o problema de pequenos desalinhamentos.
3. **Mancal** - permitem a rotação do fuso, servindo de apoio. Buscando a diminuição do atrito, são usados rolamentos de esferas, devido a estes elementos serem padronizados e de fácil acesso.
4. **Porca/Fuso de esferas** - convertem o acionamento rotativo dos motores de avanço em movimento linear. Os fusos de esferas recirculantes permitem a operação suave, sem sobressaltos e com pouca folga.
5. **Rolamentos lineares** - são formados por uma gaiola (cilindro externo), com circuitos para guiar conjuntos de esferas recirculantes que fornecem movimento de baixo atrito, são compactos e possuem fácil implementação.
6. **Guia linear** - elemento estrutural que suporta a carga movida, servindo de caminho para o deslizamento dos rolamentos lineares.

4.3 Sistema de controle

O funcionamento da *Fresadora-CNC* pode ser ilustrado basicamente, pela Figura 11. Através do *Terminal de Comando* o *Operador* controla e monitora o andamento das atividades que estão sendo realizadas.

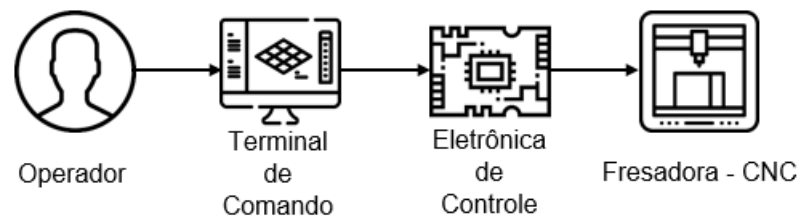
O *Terminal de Comando* pode ser qualquer computador com conexão *USB* e que atenda os requisitos necessários para instalação do programa de *Interface Gráfica* descrito na (subseção 4.3.1).

As ações do operador realizadas por meio do *Terminal de Comando*, são enviadas para *Eletrônica de Controle* que interpreta os comandos recebidos e efetua as execuções elétricas necessárias para o funcionamento da *Fresadora-CNC*. A interpretação feita pela *Eletrônica de Controle* ocorre no microcontrolador, através de um programa chamado *Firmware* explanado na (subseção 4.3.2).

O programa de *Interface Gráfica* e o *Firmware*, foram selecionados considerando os seguintes requisitos:

- a) Interpretação de Código-G;
- b) *Software* livre;
- c) Sistema bem documentado e de fácil acesso.

Figura 11 – Diagrama de Funcionamento.



Fonte: Autor.

4.3.1 Interface Gráfica

O programa de *Interface Gráfica* é responsável por mostrar visualmente as funcionalidades do equipamento ao usuário, assim como facilitar a sua utilização através de ícones e botões.

O *UGS Platform* sigla para *Universal G-Code Sender* é um programa de *Interface Gráfica* para controle de máquinas CNC, desenvolvido para integração com o *Firmware Grbl*.

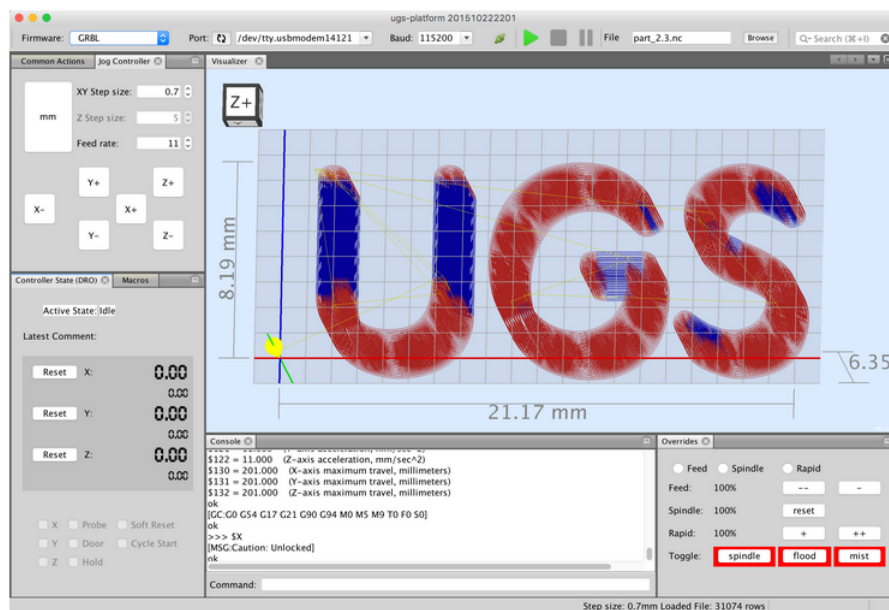
Algumas características do *UGS Platform* são:

- Integração com o *Grbl*;
- Funcionamento em sistemas Windows, Linux e OSX;

- Visualização 3D dos programas em Código-G, com atualização da posição da ferramenta.
- Estimativa de duração de execução.

Todas as funcionalidades e documentação de desenvolvimento do *UGS Platform*, pode ser facilmente encontrado no *GitHub*¹. Na Figura 12 é mostrada a área de trabalho do *UGS Platform*.

Figura 12 – Área de trabalho do UGS Platform.



Fonte: (UGS, 2019).

4.3.2 Firmware

O *Firmware* é o programa que permite que o microcontrolador interprete os comandos enviados pelo usuário e os converta em ações (como o acionamento dos motores).

Foi adotado o *Grbl* como *Firmware*, devido a este ser escrito utilizando todos os recursos inteligentes dos microcontroladores *Atmega328p* do *Arduino*, permitindo a comunicação com computadores através da porta USB e trabalhando com o Código-G.

A documentação de desenvolvimento e funcionamento do *Grbl* também encontra-se na plataforma *GitHub*² e é constantemente atualizado.

Na Tabela 4, são apresentados alguns comandos em Código-G suportados pelo *Grbl*.

¹ *GitHub* é uma plataforma de hospedagem de código-fonte com controle de versão. Ele permite que programadores, utilitários ou qualquer usuário cadastrado na plataforma contribuam em projetos. Detalhes do UGS Platform em <<https://github.com/winder/Universal-G-Code-Sender>>

² Detalhes do *Grbl* em <<https://github.com/gnea/grbl/wiki>>

Tabela 4 – Lista de comandos em Código-G suportados pelo Grbl.

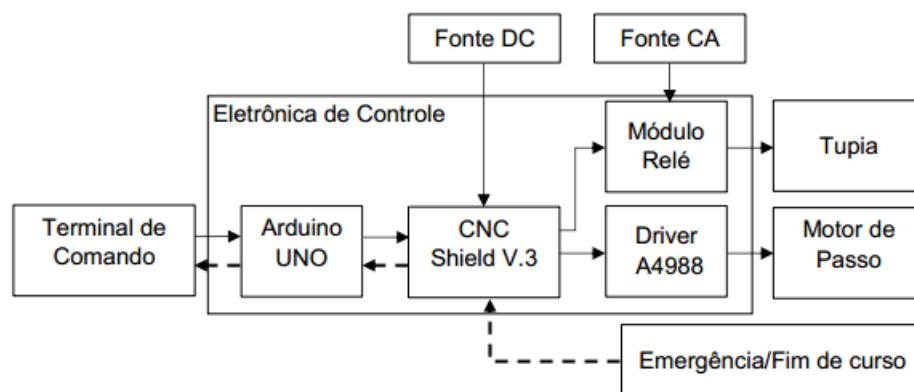
Grupo Modal	Comando
Modo de Movimento	G0, G1, G2, G3, G38.2, G38.3, G38.4, G38.5, G80
Sistema de Coordenadas de Trabalho	G54, G55, G56, G57, G58, G59
Plano de Trabalho	G17, G18, G19
Modo de Distância	G90, G91
Modo de Distância (Arco IJK)	G91.1
Modo de Velocidade de Avanço	G93, G94
Seleção de Unidades	G20, G21
Compensação do Raio da Ferramenta	G40
Compensação do Comprimento da Ferramenta	G43.1, G49
Modos de Parada	M0, M1, M2, M30
Controle do Spindle	M3, M4, M5
Controle de Refrigerante	M7, M8, M9

Fonte: GNEA/GRBL (2019).

4.3.3 Eletrônica de Controle

O funcionamento da eletrônica de controle pode ser visualmente simplificado pela Figura 13, onde podem ser acompanhados os fluxos de sinais de comando, as linhas tracejadas são sinais de entrada que podem partir do botão de emergência ou chaves de fim de curso.

Figura 13 – Diagrama da eletrônica de controle.



Fonte: Autor.

A seguir é comentado sobre os componentes que fazem parte da eletrônica de controle.

Arduino UNO

O *Arduino UNO* é uma placa plataforma para desenvolvimento de projetos eletrônicos controlados pelo microcontrolador *ATmega328P*. Este é o microcontrolador onde é instalado o *firmware*.

Algumas características do *Arduino UNO* são:

- Possui 14 pinos de entrada/ saída digital (dos quais 6 podem ser usadas como saídas PWM);
- 6 entradas analógicas;
- Memória de 32KB.
- Conexão USB.

Todos os detalhes de funcionamento do *Arduino UNO* podem ser encontrados em ARDUINO (2019).

Driver A4988

O *driver* recebe os comandos do microcontrolador e então os converte em sinais com a potência necessária, para o correto acionamento dos motores.

Todas as informações de desenvolvimento do *Driver A4988* são encontradas em POLOLU (2019).

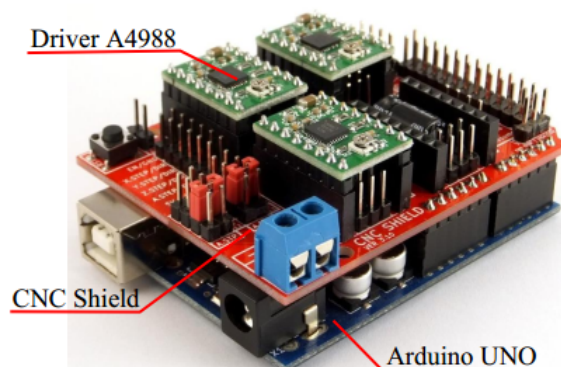
Características do *Driver A4988*:

- Limitação de corrente ajustável;
- Cinco resoluções de passo;
- Operação de 8 V a 35 V;
- Pode trabalhar com correntes de até 2 A.

Arduino CNC Shield V3

O *Arduino CNC Shield V3* é a placa que integra o sistema de controle, conectando o *Arduino UNO* e os *Drivers* que acionam os motores de passo. Além de receber a conexão dos sensores de final de curso e alimentação elétrica necessária. Na Figura 14 é mostrado uma *Shield* conectada a o arduino e *drivers*, sendo um sistema bem compacto e de fácil montagem.

Figura 14 – CNC Shield V3.




Fonte: Adaptado de (PROTONEER, 2019).

Através do uso da *Arduino CNC Shield V3* é possível a conexão de quatro *drivers*, permitindo o controle de três eixos independentes e um eixo clone (dois motores em um eixo). Mais detalhes de funcionamento do *Arduino CNC Shield V3* são encontradas em PROTONEER (2019).

Tupia

O motor de corte utilizado na fresadora CNC é uma tupia manual e suas características são apresentadas na Tabela 5. Este modelo foi adotado, visto que foi recebido como doação pela Indústria e Comércio Lezy de Máquinas Agrícolas. A tupia é compacta e pode trabalhar por longos períodos, diferentemente de uma retífica. Entretanto, não possibilita o controle de rotação.

Tabela 5 – Tupia Makita.

Tupia Makita M3700	Características	
	Rotação	35000 rpm
	Potência	530 W
	Massa	1,4 kg

Fonte: (MAKITA DO BRASIL, 2019).

Módulo Relé

Devido ao motor de corte ser uma tupia que funciona com corrente alternada, esta não pode ser acionada diretamente pelo Arduino. Sendo assim, operando como um interruptor, o módulo relé é conectado a fonte de corrente alternada. Quando é necessário, o Arduino envia um sinal que chaveia o relé e permite a passagem de energia ao motor de corte.

4.4 Dimensionamento

A determinação da força de usinagem F_U foi iniciada encontrando-se as potências de corte P_c e potência de avanço P_f , assim como a velocidade de corte V_c e velocidade de avanço V_f . Posteriormente, se busca determinar onde ocorrem as maiores forças nos componentes da máquina.

4.4.1 Potência de Corte

O Motor de corte é uma Tupia Makita com as características já apresentadas na Tabela 5.

Não é utilizado nenhum sistema para transmissão da potência fornecida pela tupia, este equipamento é instalado diretamente a estrutura da máquina CNC. Dessa maneira, a eficiência da transmissão de potência de corte pode ser considerada $\eta_f = 1$. Isolando P_c na Equação 2.6, obtemos:

$$P_c = 530 \text{ W}$$

4.4.2 Força de Corte

A força de corte é determinada isolando F_c na Equação 2.4, obtendo assim a Equação 4.1.

$$F_c = \frac{P_c \cdot 6 \cdot 10^4}{V_c} \quad (4.1)$$

A velocidade de corte V_c é determinada pela Equação 2.1, considerando:

$n = 35000 \text{ rpm}$ (Rotação da Tupia)

$d = 6 \text{ mm}$ (Diâmetro da Fresa) - Para o cálculo é considerado este diâmetro, já que é a capacidade máxima da pinça da Tupia

O valor encontrado é:

$$V_c = 659,73 \text{ m/min}$$

A força de corte obtida pela Equação 4.1 é:

$$F_c = 48,20 \text{ N}$$

4.4.3 Força de avanço

Na subseção 2.5.1 é comentado, que para a operação de torneamento:

$$F_c = 4,5 \cdot F_f$$

Como não foi encontrado a relação entre potências para a operação de fresamento, tomamos como uma situação mais extrema em que a força de corte é igual a força de avanço.

$$F_c = F_f$$

$$F_f = 48,20 \text{ N}$$

4.4.4 Potência de Avanço

A potência de avanço é determinada pela Equação 2.4. Considerando $V_f = 600$ mm/min, obtemos:

$$P_f = 0,48 \text{ W}$$

4.4.5 Força de Usinagem

A força de avanço não encontra-se na mesma direção da força de corte, logo, o módulo da força de usinagem F_U é calculada pela Equação 4.2:

$$F_U = \sqrt{F_c^2 + F_f^2} = 68,17 \text{ N} \quad (4.2)$$

Sendo assim a força de usinagem encontrada é:

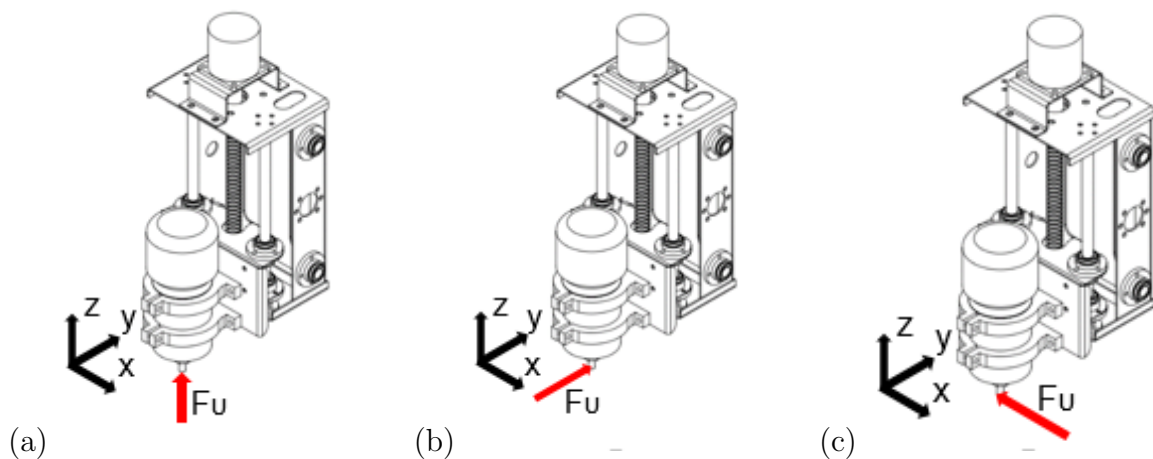
$$F_U = 68,17 \text{ N}$$

4.4.6 Forças Atuantes

Para a determinação das forças atuantes nos componentes, é necessário estabelecer em que situação ocorrem os maiores esforços. Para tal tarefa, a força de usinagem F_U foi considerada atuando em três direções, como mostrado na Figura 15, que representa o carro que transporta o motor de corte.

As maiores forças resultantes ocorrem na situação exibida pela Figura 15 b), quando F_U atua paralela ao eixo y.

Figura 15 – Direções da força F_U investigadas.



Fonte: Autor.

Os diagramas de corpo livre e somatórios de forças efetuados para a determinação das reações nos componentes, são detalhados no Apêndice A, encontrados na página 81.

5 DESCRIÇÃO DE COMPONENTES

Neste capítulo apresenta-se de forma sucinta a seleção de componentes utilizados no projeto da fresadora CNC, os cálculos detalhados são relatados no Apêndice B.

5.1 Rolamentos

Para a seleção dos rolamentos são usados fatores de aplicação de carga, que são apresentados na Tabela 6. Esses fatores tem o mesmo propósito que os fatores de segurança e são usados para aumentar a carga equivalente antes efetuar a seleção.

Tabela 6 – Fatores de aplicação de carga.

Tipo de aplicação	Fator de carga
Engrenamento preciso	1,0-1,1
Engrenamento comercial	1,1-1,3
Aplicações com vedação de mancal pobres	1,2
Maquinaria sem impacto	1,0-1,2
Maquinaria de impacto leve	1,2-1,5
Maquinaria com impacto moderado	1,5-3,0

Fonte: (SHIGLEY, 2005).

5.1.1 Rolamentos lineares

A seleção dos rolamentos lineares foi executada usando os dados do catálogo **Linear Bushings and Shafts¹ - da empresa Rexroth**. Basicamente é usada a associação de vida do mancal com a carga aplicada no mesmo, usando alguns fatores de correção para condições de funcionamento como dureza do eixo e temperatura de funcionamento.

Para os cálculos, foram efetuadas a seguintes considerações:

- Maquinaria para uso em serviço intermitente em que uma operação confiável é de grande importância. Para esta classificação a vida de serviço sugerida por Shigley (2005), é $L_h = 8.10^3 h$;
- Eixo com dureza Rockwell C 60;
- Temperatura de funcionamento inferior a 100 °C;
- Curso de deslocamento do rolamento linear $S = 0,20 m$;
- Velocidade de avanço $V_f = 600 mm/min = 0,6 m/min$.

¹ <<http://www.rodamientos.com/catalogos/roda/star01.pdf>>

Partindo destas considerações é calculada a carga dinâmica no rolamento. Todo o procedimento utilizado, as respectivas equações e tabelas usadas são apresentados no Apêndice B na seção B.1, localizado na página 85.

A carga dinâmica corrigida utilizando o fator de carga para maquinaria de impacto leve (Tabela 6).

$$C_d = 181,20 N$$

Com a carga dinâmica conhecida foi selecionado o rolamento linear **LMEUU12** e todos suas medidas são apresentadas no Anexo A, fixado na página 135.

A Tabela 7 apresenta as principais características do rolamento linear, e pode ser verificado que carga dinâmica calculada não ultrapassa a suportada pelo rolamento.

Tabela 7 – Características rolamento LMEUU12.

Diâmetro interno [mm]	Diâmetro externo [mm]	Carga dinâmica C_d - [kN]	Carga estática C_0 - [kN]
12	22	510	775

Fonte: (RAC MOVIMENTAÇÃO LINEAR LTDA, 2015).

5.1.2 Mancais

No projeto existem dois fusos horizontais no plano xy, e um fuso vertical no eixo z, a rotação e apoio destes é efetuada por mancais de elementos rolantes.

A força peso dos carros e reações devido aos movimentos de corte, são suportadas pelas guias e rolamentos lineares, havendo nos fusos, apenas esforços gerados pela carga que estes movimentam.

As maiores forças encontradas nos mancais horizontais são:

$F_a = 68,38 N$ - Força axial devido aos esforços para movimentação da carga.

$F_r = 2,45 N$ - Força radial devido ao peso do fuso.

Devido a existência de forças combinadas (radiais e axiais) no mancal, estas foram corrigidas para uma carga dinâmica equivalente. Posteriormente, foi determinada a carga estática equivalente, conforme o catalogo da empresa **SKF**².

Todo o procedimento detalhado de cálculo dos rolamentos é apresentado no Apêndice B na seção B.2, encontrado na página 88, assim como as tabelas e equações utilizadas.

Foi selecionado o rolamento 6301-2RSL no Anexo B, fixado na página 137 e suas principais características são dispostas na Tabela 8.

² <<https://www.skf.com/br/products/index.html>>

Tabela 8 – Características rolamento 6302-2RSL.

Diâmetro interno [mm]	Diâmetro externo [mm]	Carga dinâmica $C - [kN]$	Carga estática $C_0 - [kN]$
12	37	10,1	4,15

Fonte: (SKF, 2019)

A carga dinâmica encontrada, multiplicada pelo fator de carga proposto na Tabela 6 para maquinaria de impacto leve é:

$$P = 238 \text{ N}$$

Verifica-se que a carga dinâmica equivalente é bem menor que a carga dinâmica apresentada na Tabela 8, logo, o rolamento é capaz de suportar os esforços sobre o qual é submetido.

Verificada a carga dinâmica, é necessário examinar a carga estática equivalente. Multiplicando o valor da carga estática equivalente pelo fator de carga para maquinaria de impacto leve (Tabela 6). Encontramos:

$$P_0 = 53,50 \text{ N}$$

O valor da carga estática equivalente é menor comparado a carga estática que o rolamento pode suportar.

Carga axial pura

O fuso vertical do eixo z causa apenas carga axial no mancal de rolamento. Com o objetivo de manter os três eixos com o mesmo modelo de rolamento, foi verificado se este atendia a solicitação de carga axial pura.

A força axial aplicada no rolamento do eixo z é:

$$F_a = 32,67 \text{ N}$$

Conforme catálogo da **SKF**, a carga axial pura sobre o rolamento deve ter magnitude máxima de metade da carga estática da qual o modelo é projetado para suportar, portanto, este critério também é atendido.

5.2 Fuso de esferas

São usados três fusos de esferas recirculantes, que possuem 16 mm de diâmetro e passo de 5 mm. Todos os detalhes do fuso podem ser encontrados no Anexo C, apresentado na página 139.

As principais características do fuso são dispostas na Tabela 9.

Tabela 9 – Características fuso de esferas.

Diâmetro interno [mm]	Diâmetro externo [mm]	Carga dinâmica C - [kN]	Carga estática C_0 - [kN]
13,4	16	14,7	21,1

Fonte: Adaptado de (IBATECH TECNOLOGIA LINEAR, 2019).

O procedimento para determinação das cargas atuantes nos fusos foi feita com base nas equações e tabelas fornecidas pela empresa **IBATECH - Technology e control**³.

O procedimento de cálculos detalhados encontram-se no Apêndice B na seção B.3, página 90.

Carga axial

A maior carga axial nos fusos horizontais que realizam a movimentação no plano xy, corrigida pelo fator de carga para maquinaria de impacto leve (Tabela 6).

$$F_a = 103 \text{ N}$$

Comparando as cargas dinâmica e estática que o fuso tem capacidade de suportar (Tabela 9), verifica-se que a força axial no fuso é muito menor.

Carga transversal

Os fusos horizontais podem sofrer deformações devido a cargas transversais causadas por seu próprio peso. Sendo assim, deve-se respeitar uma distância máxima sem apoios.

O fuso com diâmetro de 16 mm, permite uma distância máxima sem apoios de 950 mm. O maior fuso da máquina tem 425 mm, logo, os três fusos atendem o requisito de carga transversal.

Flambagem

O fuso do eixo z em posição vertical sofre esforços que podem ocasionar flambagem. A força axial neste fuso é:

$$F_a = 21,78 \text{ N}$$

Para o cálculo da carga de coluna foi usado a fórmula de Euler e fatores de correção de acordo com o sistema de apoio utilizado nos extremos do fuso.

A carga que o fuso pode suportar sem que ocorra flambagem é apresentada a seguir:

$$C_{carga} = 42 \text{ kN}$$

³ <<http://www.imatech.com.br/produtos/detalhes/66/Fuso>>

Esta carga é muito maior que a força atuante no fuso, não havendo dessa maneira risco de flambagem.

Cisalhamento

Os fusos possuem suas pontas usinadas para o encaixe nos mancais e sua conexão com os acoplamentos que transmitem o torque.

Foi realizada uma verificação da tensão de cisalhamento provocada pelo torque para uma barra circular sólida.

$T = 0,43 \text{ N.m}$ - Torque considerado para cálculo;

$r = 0,006 \text{ m}$ - Raio da extremidade usinada do fuso;

A tensão de cisalhamento encontrada para a situação.

$$\tau = 1,26 \text{ MPa}$$

O material do fuso é um aço AISI/SAE 4140 e sua tensão de escoamento é $\sigma_e = 415 \text{ MPa}$.

Sua tensão máxima de cisalhamento.

$$\tau_{max} = 207,5 \cdot 10^6 \text{ MPa}$$

Logo a tensão cisalhamento no fuso é muito menor que τ_{max} , não havendo risco de falha por esse critério.

5.2.1 Guias lineares

As guias lineares são eixos retificados com 12 mm de diâmetro, do fabricante **OBR Equipamentos Industriais**⁴. O material é o aço **SUJ2** que é equivalente ao aço **ASTM 52100**⁵.

Para a avaliação do deslocamento das guias lineares, foram realizadas simulações por elementos finitos no *software* SolidWorks. As guias lineares do eixo x (ver Figura 44) foram as que mais sofreram deslocamento devido ao carregamento.

As maiores deformações ocorrem quando os rolamentos estão mais distantes dos apoios. Sendo assim, para a simulação as cargas foram aplicadas na situação em que o carro é posicionado no meio do percurso.

Na Figura 44 é mostrado o resultado da simulação, que apresenta um deslocamento máximo de $0,1074 \text{ mm}$.

Para a validação do resultado foi realizada uma simulação aplicando apenas a maior força de ($66,26 \text{ N}$), como mostrado na Figura 45. O ponto de maior deslocamento corresponde a $0,1048 \text{ mm}$.

⁴ Características guia linear <<http://www.obr.com.br/produtos/ni-w-12/>>

⁵ Propriedades do aço ASTM 52100 <<http://www.astmsteel.com/product/52100-bearing-steel-aisi/>>

Para confrontar os resultados, o deslocamento foi calculado de modo analítico. Considerando a guia linear com as duas extremidades engastadas.

Para a definição do deslocamento da viga, foi usado o método da integração e o resultado obtido foi:

$$\nu_2 = -0,1082 \text{ mm}$$

Dessa maneira, é possível verificar que as simulações apresentam um resultado satisfatório.

5.2.2 Motor de passo

O maior torque requerido foi detectado no eixo x e seu cálculo detalhado é apresentado no Apêndice B, fixado na página 90. O dimensionamento seguiu o sugerido pelo catálogo da empresa **THK do Brasil**, abordando as forças externas sobre o carro do eixo x, sua massa e a aceleração.

O torque requerido para o acionamento do eixo é:

$$T_m = 0,0608 \text{ N.m ou } T_m = 0,62 \text{ kgf.cm}$$

Tabela 10 – Motor de passo.

Astrosyn 23LM-C004-04	Características no acionamento Bipolar	
	Ângulo	1,8
	Tensão Nominal	12 V
	Corrente Nominal	0,6 A
	Torque	4 kgf.cm
	Número de Passos	200

Fonte: (GUIA CNC, 2019).

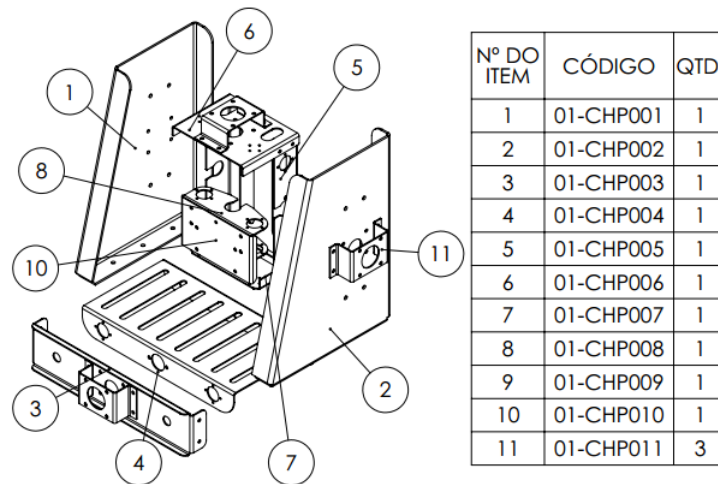
6 FABRICAÇÃO

Neste capítulo são descritos os métodos de fabricação utilizados.

6.1 Grupo 01

O Grupo 01 são as peças planejadas para fabricação em chapas de aço. A Figura 16 apresenta uma vista explodida e uma lista com os componentes deste grupo.

Figura 16 – Componentes Grupo 01.

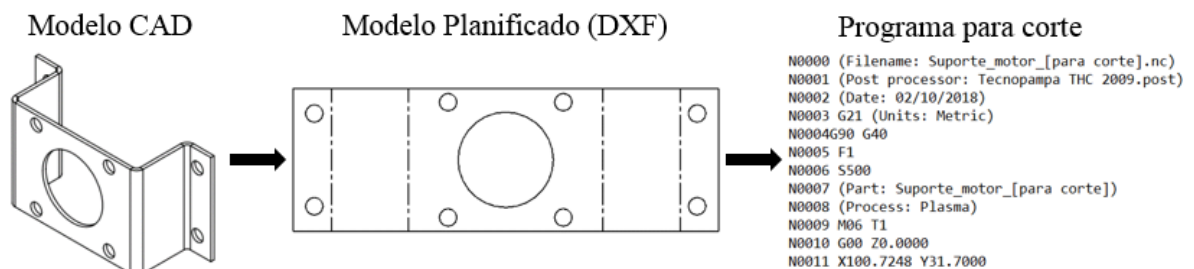


Fonte: Autor.

Partindo do desenho técnico do componente, é feito o planejamento de fabricação do mesmo. Primeiramente, foi criado no *software* SolidWorks[®], um desenho CAD com recursos específicos para chapas metálicas. Estes recursos permitem a construção 3D através do processo de dobra.

O desenho é planejado no próprio *software* e convertido para o formato DXF. Então é elaborado um programa em Código-G do componente para corte através do processo plasma em uma máquina CNC. As etapas do processo são ilustradas na Figura 17.

Figura 17 – Etapas do processo de criação do programa para corte.



Fonte: Autor.

A implementação desenvolvida para a fabricação dos componentes do grupo 01 está disponível em um repositório no Github ¹.

Etapas de fabricação do Grupo 01:

1. **Corte inicial** - Neste trabalho é denominado como corte inicial, a etapa em que é realizado o corte da chapa metálica em uma área suficiente para a fabricação do componente. Para esta tarefa foi usada uma guilhotina elétrica para corte em chapas de aço.
2. **Corte plasma** - A chapa de aço sofre o corte em sua geometria especificada, esta tarefa é realizada em uma máquina CNC pelo processo de corte Plasma.
3. **Furação** - O corte plasma demonstra-se impreciso e com muitas rebarbas para cortes circulares com pequenos diâmetros. O menor diâmetro de corte usado foi 25 *mm*. Furos menores foram usinados pelo processo de furação em uma furadeira de coluna.
4. **Acabamento** - Após os cortes e furações as chapas fabricadas apresentam rebarbas, estas rebarbas são retiradas com o uso de uma esmerilhadeira manual.
5. **Processo de dobra** - Neste processo as chapas de aço são dobradas em suas geometrias finais. O processo de dobra foi realizado em uma dobradeira manual.
6. **Pintura** - Etapa em que as peças já conformadas recebem uma pintura para acabamento e proteção superficial.

6.2 Grupo 02

O Grupo 02 engloba os sólidos por revolução manufaturados pelo processo de torneamento. Na Figura 18 é apresentada uma vista explodida dos componentes do Grupo 02 e também a listagem destes componentes.

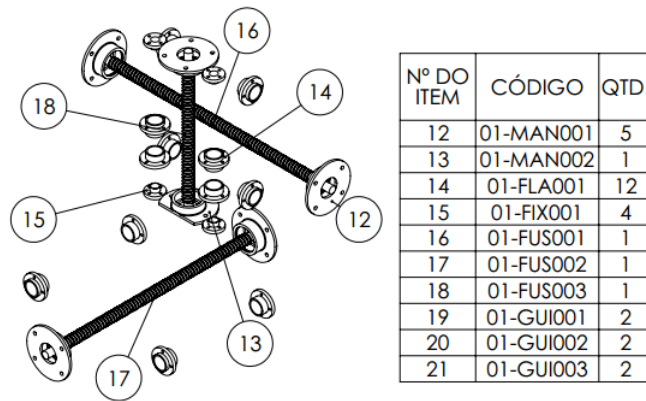
Após a concepção dos componentes, foram feitos os desenhos técnicos com as especificações de medidas e material. Todos os componentes seguiram praticamente as mesmas etapas de fabricação, os fusos foram adquiridos e receberam apenas usinagem em suas extremidades.

Etapas de fabricação do Grupo 02:

1. **Corte inicial** - O material que vai ser manufaturado é cortado com comprimento suficiente para atender a geometria especificada e um sobremetal suficiente para a aplicação do processo de fabricação. Para esta etapa foi utilizada serra fita horizontal e serra policorte de bancada.

¹ <https://github.com/fabioBapOli/pecas_fresadora_cnc_bancada>

Figura 18 – Componentes Grupo 02.



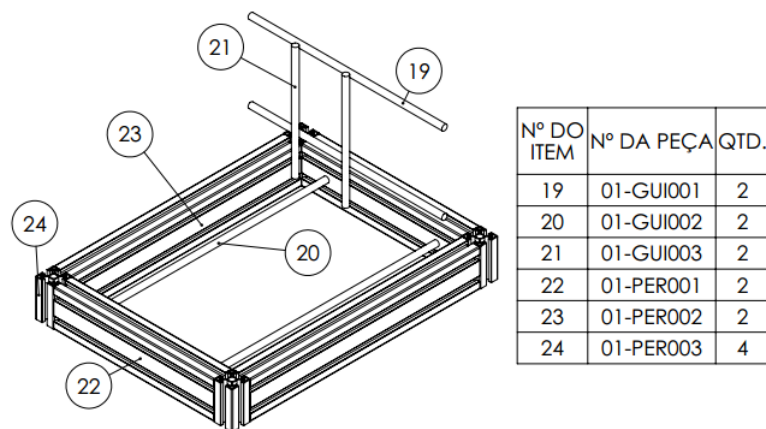
Fonte: Autor.

2. **Torneamento** - Nesta etapa as peças são usinadas pelo processo de torneamento em um torno mecânico.
3. **Furação** - Alguns componentes necessitaram de furos que não são possíveis de serem realizados no torno. Nestas peças, a furação foi feita em uma furadeira de coluna.
4. **Acabamento** - Nesta fase os componentes recebem um acabamento para retirada de rebarbas ou escareamento de furos.

6.3 Grupo 03

O Grupo 03 possui componentes que receberam apenas corte para atender o comprimento especificado. A Figura 19 mostra a montagem e a listagem destes componentes.

Figura 19 – Componentes Grupo 03.



Fonte: Autor.

7 CARACTERIZAÇÃO

Neste capítulo é realizada a caracterização da fresadora CNC, estabelecendo limites de corte e avaliando alguns aspectos de movimentação.

7.1 Limites de corte

Para a determinação da força de usinagem na seção 4.4, foram realizadas considerações como o diâmetro de 6 mm para a ferramenta. A rotação do motor de corte é fixa e devido as necessidades de aceleração e desaceleração dos eixos, a velocidade de avanço tem um valor máximo. Na Tabela 11, são apresentados os limites de corte da fresadora CNC.

Tabela 11 – Limites de corte.

P_c máxima	V_c máximo	F_c máximo	V_f máximo	f máximo	Rotação
530 W	660 m/min	50 N	600 mm/min	0,017 mm/rev	35.000 rpm

Fonte: Autor.

Na seção 2.6, é mostrado que a força de corte pode ser estabelecida por características da ferramenta e do material a ser usinado.

Usando essa abordagem, podemos variar o diâmetro da ferramenta e a profundidade de usinagem, estabelecendo limites para que o equipamento opere dentro das restrições de projeto.

Isolando d na Equação 2.1, é encontrada a Equação 7.1, .

$$d = \frac{10^3 \cdot V_c}{\pi \cdot 35000 \text{rpm}} \quad (7.1)$$

Com o avanço por dente da ferramenta conhecido, determina-se o avanço que pode ser empregado pela Equação 7.2.

$$f = f_z \cdot Z \quad (7.2)$$

A profundidade de corte pode ser encontrada, substituindo a Equação 2.13 na Equação 2.15. Isolando ap e aplicando a força de corte usada no dimensionamento, obtemos a Equação 7.3.

$$ap = \frac{50N \cdot \sin \chi_r}{K_{s1} \cdot h^{(1-z)}} \quad (7.3)$$

Onde espessura de corte h é calculada pela Equação 2.14.

O deslocamento mínimo que pode ser empregado pelos eixos é de $0,025\text{ mm}$, caso o ap calculado seja menor que este valor, não será possível usinar o material. Entretanto, uma profundidade de corte dessa magnitude não seria usual.

Visto que, a espessura do cavaco varia no processo de fresamento, os limites de corte estabelecidos valem para a força máxima de corte usada no dimensionamento. A potência média de corte é encontrada através da Equação 2.16, onde h_m é determinado pela Equação 2.18.

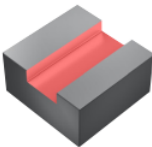
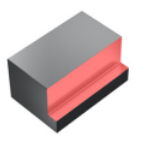
7.1.1 Alumínio série 6000

Ligas de alumínio da série 6000 possuem grandes quantidades de magnésio e silício em sua composição, tendo uma usinabilidade muito boa em comparação com outras ligas (METALTHAGA, 2019).

As características de limites de corte foram calculados para o fresamento de canais, onde é usado todo o diâmetro da fresa como penetração de trabalho ($d = a_e$). Nessa situação os ângulos de contado dos dentes são $\varphi_1 = 0^\circ$ e $\varphi_2 = 180^\circ$, e o ângulo de posição $\chi_r = 90^\circ$.

Os cálculos foram realizados usando informações de fresas de metal duro **Co-roMill®** da empresa **SandvikCoromant**, os detalhes do modelo da fresa podem ser encontrados no Anexo D (página 141). A Tabela 12 apresenta uma tabela com recomendações de velocidade de corte, o fator f_z^* mostrado na tabela serve para consulta do avanço por dente.

Tabela 12 – Recomendações de velocidade de corte.

										
				$a_e = 1.0 \times DC$			$a_e = 0.5 \times DC$			
				$a_p = 0.5 \times DC$			$a_p = 1.0 \times DC$			
ISO	N° MC	CMC	Material	HB	f_z^*	v_c , m/min	v_c , pés/min	f_z^*	v_c , m/min	v_c , pés/min
P	P1.2.Z.AN	01.2	Aços sem liga	190	F52	145	476	F47	175	574
	P2.2.Z.AN	02.2	Aços baixa-liga	240	F52	110	361	F47	135	443
	P3.0.Z.HT	03.21	Aços alta-liga	380	F52	80	262	F47	100	328
M	P5.0.Z.AN	05.11	Aços inoxidáveis ferríticos/martensíticos	200	F52	65	213	F47	80	262
	M1.0.Z.AQ	05.21	Aços inoxidáveis austeníticos	200	F51	65	213	F46	80	262
	M3.2.Z.AQ	05.51	Aços inoxidáveis Duplex (austeníticos/ferríticos)	260	F51	55	180	F46	70	230
K	K1.1.C.NS	07.2	Ferros fundidos maleáveis	200	F52	140	459	F47	165	541
	K2.1.C.UT	08.2	Ferros fundidos cinzentos	180	F52	130	427	F47	150	492
	K3.2.C.UT	09.2	Ferros fundidos nodulares	215	F52	125	410	F47	145	476
N	N1.2.Z.AG	30.12	Ligas à base de alumínio	100	F53	680	2231	F50	835	2740
	N1.3.C.UT	30.21	Ligas à base de alumínio	75	F53	230	755	F50	305	1001
	N1.4.C.NS	30.42	Ligas à base de alumínio	130	F53	100	328	F50	130	427
	N3.2.C.UT	33.2	Cobre e ligas de cobre	90	F53	130	427	F50	170	558

Fonte: Adaptado de (SANDVIKCOROMANT, 2019)

Na Tabela 13 é encontrado recomendações de avanço por dente para alguns diâmetros de ferramenta.

Tabela 13 – Recomendações de avanço por dente da ferramenta.

D_c	mm	0.500	1.000	2.000	3.000	4.000	6.000	6.350	7.938
F52	mm/dente	-	0.003	0.007	0.013	0.020	0.030	0.030	0.040
F53	mm/dente	-	0.004	0.009	0.017	0.025	0.040	0.040	0.045
F54	mm/dente	-	0.002	0.006	0.010	0.016	0.027	0.027	0.041
F55	mm/dente	-	0.004	0.008	0.016	0.025	0.041	0.041	0.062
F56	mm/dente	-	0.006	0.010	0.021	0.031	0.051	0.051	0.082

Fonte: Adaptado de (SANDVIKCOROMANT, 2019)

A pressão específica para o alumínio e o fator de correção também são fornecidas pela **SandvikCoromant**¹.

Os Parâmetros usados para avaliar os limites de corte do alumínio, com uso de uma fresa de metal duro são listados abaixo.

$$K_{s1} = 650 \text{ N/mm}^2$$

$$z = 0,25$$

$Z = 2$ - número de dentes da ferramenta.

$V_c = 680 \text{ m/min}$ - Velocidade máxima recomendada para o alumínio.

Dispondo das equações apresentadas na seção 7.1, foi criada uma tabela no *software Excel*[®], onde foi calculada a profundidade de corte máxima para alguns diâmetros de ferramenta. O a_p calculado é verificado na Tabela 12, usando o recomendado como valor máximo.

A Tabela 14 apresenta os limites de corte para ligas de alumínio da série 6000.

Tabela 14 – Alumínio.

Diâmetro (mm)	$a_{p_{max}}$ (mm)	V_c (m/min)	V_f (mm/min)	P_{cm} (W)
1	0,50	110	280	6,75
2	1,00	220	600	47,53
3	1,50	340	600	106,95
4	1,63	440	600	154,95
5	1,63	550	600	193,43
6	1,63	660	600	232,43

Fonte: Autor.

Na Tabela 14 é possível visualizar que com início em $d = 2\text{mm}$, a velocidade de avanço máxima da fresadora é atingida. Isso ocorre porque a espessura de corte está diretamente ligada ao avanço empregado.

¹ <<https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/materials/pages/workpiece-materials.aspx>>

Devido a isso, a_p se torna fixo, e o fator limitante será a velocidade de corte. O valor máximo de V_c que foi adota para o dimensionamento é alcançada com $d = 6mm$.

7.1.2 Aço 1020

Os cálculos para a usinagem do aço foram realizados para o mesmo tipo de fresa de metal duro **CoroMill**[®]. A pressão específica para o aço e o fator de correção, fornecidos pela **SandvikCoromant**, são listados a seguir:

$$K_{s1} = 1500 \text{ N/mm}^2$$

$$z = 0,25$$

$Z = 2$ - número de dentes da ferramenta.

$V_c = 145 \text{ m/min}$ - Velocidade de corte máxima indicada pelo fabricante.

A Tabela 15 apresenta o resultado para o aço.

Tabela 15 – Aço.

Diâmetro (mm)	ap_{max} (mm)	V_c (m/min)	V_f (mm/min)	P_{cm} (W)
1	0,50	110	210	5,44

Fonte: Autor.

A velocidade de corte indicada para o aço é bem menor que a do alumínio, sendo ultrapassada em $d = 2mm$. Como a profundidade de corte calculada é pequena, é usual realizar apenas operações de gravação no aço.

Com o controle de rotação seria possível diminuir a velocidade de corte, aumentando bastante a capacidade de usinagem da fresadora.

7.1.3 MDF

O MDF (*Medium Density Fiberboard*), é um painel de madeira reconstituída, sendo um produto industrial produzido a partir de fibras lignocelulósicas (fibras naturais). Apresenta bastante homogeneidade, estabilidade dimensional, ótimo acabamento e resistência mecânica próxima à madeira maciça (JEREMIAS, 2016).

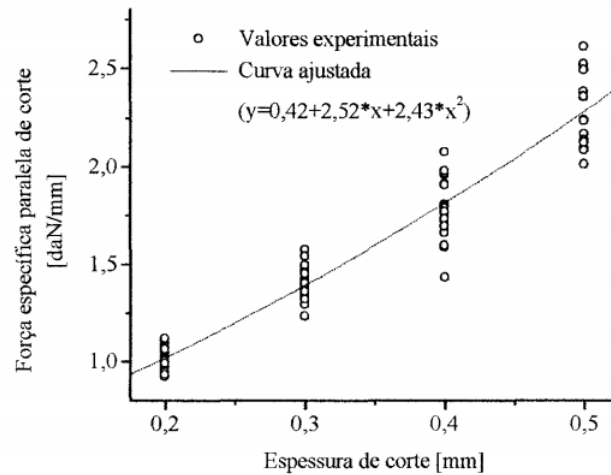
Não foi encontrada a pressão específica de corte para o MDF. No entanto, são obtidos valores da força específica de corte em relação a espessura de corte no estudo de CASTRO (2000).

Na Figura 20 é exibido o gráfico gerado com os resultados de medida da força específica de usinagem, para uma ferramenta com ângulo de saída $\gamma = 15^\circ$. A Equação 7.4 proposta por CASTRO (2000), expressa a correção da curva por regressão polinomial.

$$y = 0,42 + 2,52.x + 2,43.x^2 \quad (7.4)$$

O avanço máximo da fresadora é conhecido $f = 0,017\text{mm}/\text{rev}$, então a espessura de corte é calculada pela Equação 2.14, substituindo o valor encontrado na Equação 7.4, obtêm-se uma aproximação da força específica de corte.

Figura 20 – Curva ajustada da força específica de corte.



Fonte: (CASTRO, 2000).

A força específica de corte $[N/mm]$, é relacionada com a largura de corte. De modo que F_c usada no dimensionamento é conhecida, pode-se calcular a profundidade de corte necessária para atingir esse valor.

Para uma ferramenta com $d = 6\text{ mm}$ atingir a força de corte limite, é necessário $a_p = 10,41\text{ mm}$. Devido a isso, para o corte de MDF é viável usar ferramentas com diâmetros maiores, estabelecendo a profundidade de corte em que F_c máxima é alcançada.

A Tabela 16 apresenta o valor de a_p que pode ser usado para alguns diâmetros de ferramentas. Outra cuidado é que a relação de V_c com a força de corte não deve gerar potências maiores que a capacidade.

Tabela 16 – MDF.

Diâmetro (mm)	$a_{p_{max}}$ (mm)	V_c (m/min)	V_f (mm/min)	F_c (N)	P_c (W)
6,00	10,41	659,73	600,00	48,20	529,97
8,00	7,81	879,65	600,00	36,16	530,14
10,00	6,25	1099,56	600,00	28,94	530,31
12,00	5,21	1319,47	600,00	24,12	530,48

Fonte: Autor.

7.2 Testes de corte

Objetivando avaliar a movimentação de corte da máquina CNC, foram realizados quatro testes usando chapas de MDF como corpos de prova. Os corpos de prova possuem

dimensões de $200\text{ mm} \times 160\text{ mm} \times 9\text{ mm}$, possuindo furos para fixação na mesa da fresadora, como ilustrado na Figura 21.

Figura 21 – Fixação de um corpo de prova para teste.



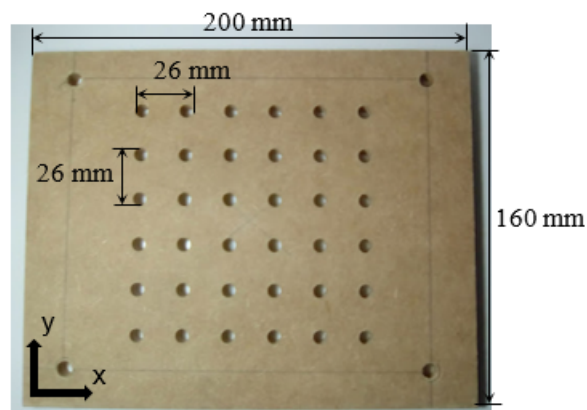
Fonte: Autor.

Para cada teste foi elaborado um programa em Código-G que, após ser iniciado, executa todos os cortes sem a necessidade de interferência do operador. Um paquímetro foi utilizado para a verificação das dimensões dos corpos de prova e todos os testes foram realizados usando uma fresa para madeira com $d = 6\text{ mm}$ e $Z = 1$.

7.2.1 Teste 01 - Espaçamento entre furos passantes

No Teste 01 foram realizados trinta e seis furos passantes, igualmente espaçados no plano xy . A Figura 22 mostra um corpo de prova utilizado no teste, a distância entre furos ilustrada é a distância para uma execução de corte sem erros.

Figura 22 – Corpo de prova para medidas de dispersão da distância entre furos passantes nas direções x e y (Teste 01).



Fonte: Autor.

Foram efetuados três ensaios, originando noventa medidas de distância para cada eixo. Com os dados obtidos calculou-se a média, variância, desvio padrão e os erros absoluto e relativo. Os resultados são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Medidas de dispersão da distância entre furos passantes (Teste 01).

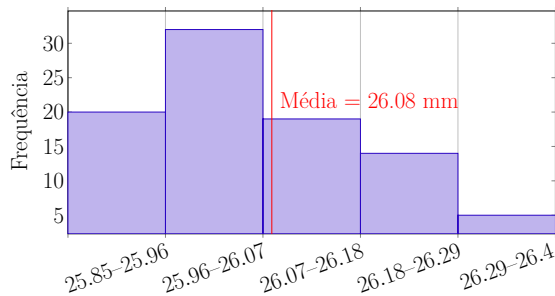
	Eixo x	Eixo y
Média (<i>mm</i>)	26,08	26,13
Variância (<i>mm</i> ²)	0,0219	0,0264
Desvio Padrão (<i>mm</i>)	0,1481	0,1625
Coefficiente de variação (%)	0,5678	0,6220
Média erro absoluto (<i>mm</i>)	0,1161	0,1394
Média erro relativo (%)	0,4464	0,5363

Fonte: Autor.

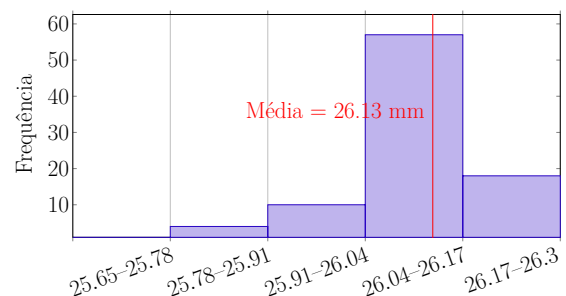
Para uma melhor visualização das informações obtidas, as distâncias detectadas foram separadas em intervalos. A partir destes intervalos, criou-se gráficos que mostram a frequência em que os mesmos ocorrem.

Na Figura 23 (a) encontra-se o gráfico com as medidas realizadas no eixo x, as distâncias estão separadas em cinco intervalos que são relacionados com a frequência com que foram identificados. O mesmo procedimento já descrito para o eixo x foi realizado para o eixo y, o gráfico é mostrado na Figura 23 (b).

Figura 23 – Dispersão da distância entre furos passantes (Teste 01).



(a) Intervalo de distância entre furos na direção x (mm)



(b) Intervalo de distância entre furos na direção y (mm)

Fonte: Autor.

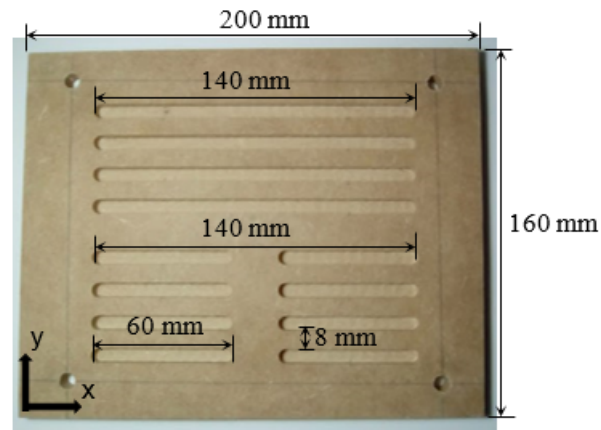
Observando as medidas de dispersão na Tabela 17 e os gráficos na Figura 23, percebe-se que a média dos dois eixos está acima do valor exato de 26 mm, com um erro relativo de cerca de 0,5 % para os dois eixos.

7.2.2 Teste 02 e Teste 03 - Dimensão e espaçamento entre cortes lineares

Foram efetuados três ensaios para cada teste, que consistem na realização de percursos de corte retilíneo na direção dos eixos x e y. Cada corpo de prova possui dois comprimentos de corte distintos, para verificar se esta situação causa maior variação nas medidas dos canais usinados.

A Figura 24 mostra um corpo de prova empregado no Teste 02, onde são visíveis os percursos na direção do eixo x realizado pela fresa.

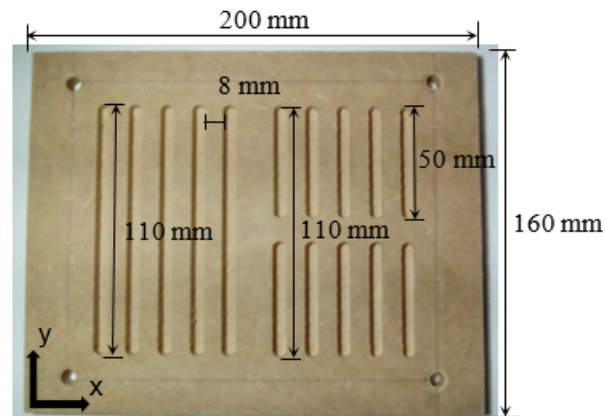
Figura 24 – Corpo de prova para medidas de dispersão em cortes lineares na direção x (Teste 02).



Fonte: Autor.

Na Figura 25 são mostrados os cortes realizados na direção do eixo y em um corpo de prova utilizado no Teste 03.

Figura 25 – Corpo de prova para medidas de dispersão em cortes lineares na direção y (Teste 03).



Fonte: Autor.

Os corpos de prova foram avaliados tomando-se as medidas dos canais menores, dos percursos totais e espaçamento entre os mesmos. Então, foi calculada a média, variância, desvio padrão e erros absoluto e relativos para cada grupo de medidas.

Optou-se por apresentar as medidas de dispersão em uma única tabela para melhor comparação entre os resultados.

Na Tabela 18, são dispostas as medidas de dispersão dos Testes 02 e Teste 03.

Tabela 18 – Medidas de dispersão em cortes lineares na direção x (Teste 02) e direção y (Teste 03).

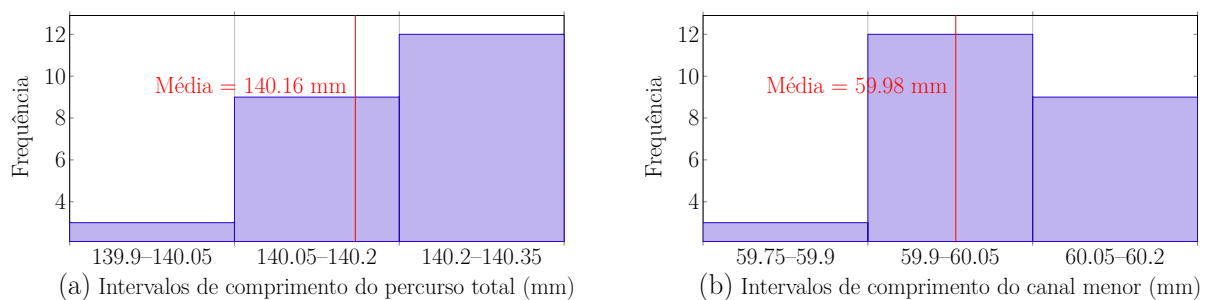
	Percurso total	Canal menor	Espaçamento
Teste 02	Média (<i>mm</i>)	140,16	59,98
	Variância (<i>mm</i> ²)	0,0153	0,0077
	Desvio Padrão (<i>mm</i>)	0,1235	0,0878
	Coefficiente de variação (%)	0,0881	0,1464
	Média erro absoluto (<i>mm</i>)	0,1792	0,0875
	Média erro relativo (%)	0,1280	0,1458
Teste 03	Média (<i>mm</i>)	109,86	49,87
	Variância (<i>mm</i> ²)	0,0265	0,0206
	Desvio Padrão (<i>mm</i>)	0,1628	0,1435
	Coefficiente de variação (%)	0,1482	0,2878
	Média erro absoluto (<i>mm</i>)	0,2354	0,2167
	Média erro relativo (%)	0,2140	0,5250

Fonte: Autor.

Os dados de medidas obtidos são apresentados em gráficos que mostram a frequência em que um intervalo de comprimento foi encontrado.

A Figura 26 refere-se a o Teste 02. Em (a) encontra-se o gráfico do percurso total, já em (b) o gráfico para as medidas tomadas do canal menor.

Figura 26 – Dispersão do comprimento de cortes lineares na direção x (Teste 02).



Fonte: Autor.

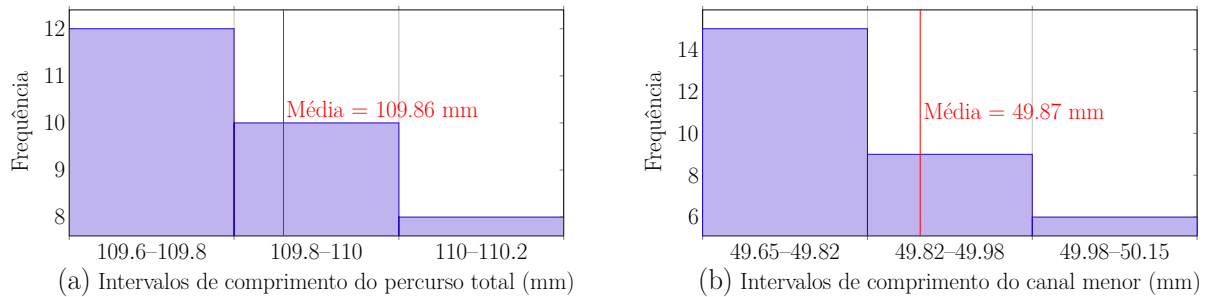
Analisando as medidas de dispersão do Teste 02, verifica-se que a média dos valores para o canal menor se encontram mais próximas da distância exata. Já a média dos percursos totais encontra-se mais distante do valor exato, mas apresenta uma menor dispersão.

Os gráficos do Teste 03 são exibidos na Figura 27. Em (a) o gráfico do percurso total, em (b) do canal menor.

Para o Teste 03, que se refere a os percursos na direção do eixo y, as duas médias

encontram-se abaixo do valor exato programado no corte. O Teste 02 referente aos cortes na direção x, apresenta erros menores que o Teste 03 alusivo aos cortes na direção y.

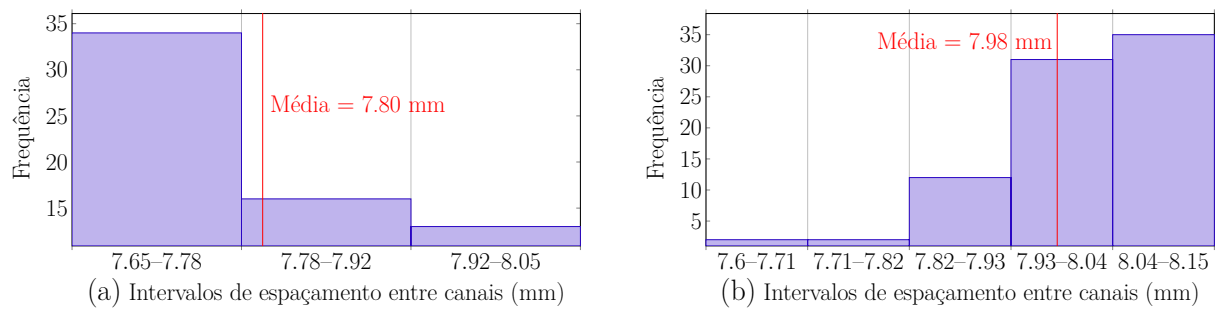
Figura 27 – Dispersão do comprimento de cortes lineares na direção y (Teste 03).



Fonte: Autor.

Na Figura 28 são expostos os gráficos da medida de espaçamento entre os canais. O gráfico do Teste 02 encontra-se em (a) e o gráfico do Teste 03 em (b).

Figura 28 – Dispersão do espaçamento entre canais na direção de y (Teste 02) e direção de x (Teste 03).



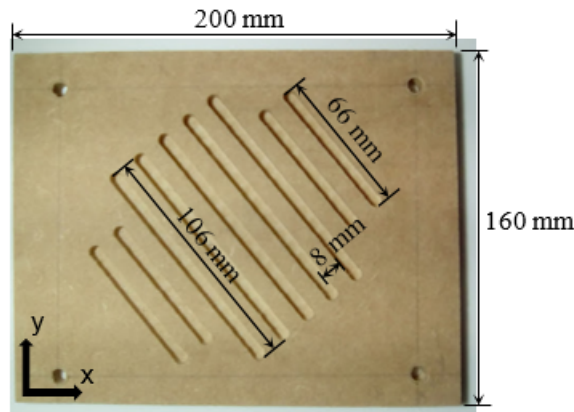
Fonte: Autor.

As medições realizadas para os espaçamento entre os cortes apresentaram erros relativos de cerca 2 %, e bastante dispersão.

7.2.3 Teste 04 - Dimensão e espaçamento entre cortes lineares com inclinação

No Teste 04 realizou-se percursos de corte com inclinação de 45° no plano xy, com dois comprimentos distintos, com os mesmos objetivos dos Testes 02 e Teste 03. A Figura 42 mostra um dos três corpos de prova utilizados.

Figura 29 – Corpo de prova para medidas de dispersão em percursos com inclinação no plano xy (Teste 04).



Fonte: Autor.

Os corpos de prova foram avaliados tomando-se as medidas dos canais menores, dos percursos totais e espaçamento.

O resultados da análise de dispersão é apresentado na Tabela 19.

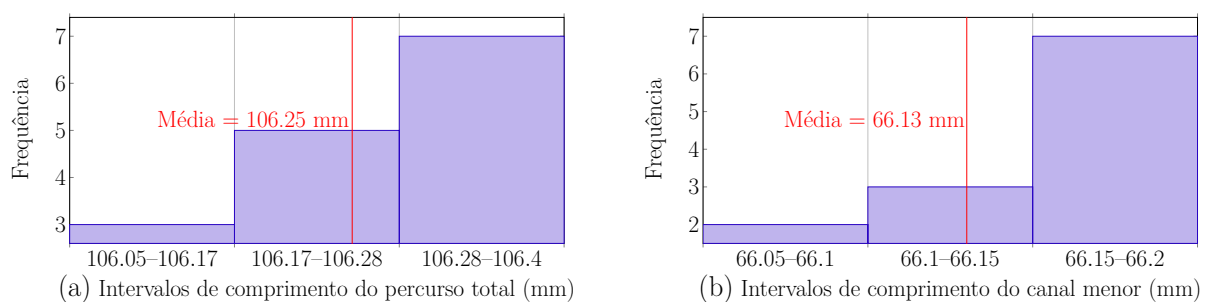
Tabela 19 – Medidas de dispersão de cortes com inclinação no plano xy (Teste 04).

	Percurso total	Canal menor	Espaçamento
Média (mm)	106.25	66.13	8.07
Variância (mm ²)	0.0118	0.0023	0.0042
Desvio Padrão (mm)	0.1087	0.0479	0.0648
Coefficiente de variação (%)	0.1023	0.0724	0.8027
Média erro absoluto (mm)	0,2467	0,1250	0,0867
Média erro relativo (%)	0,2367	0,1894	1,0833

Fonte: Autor.

A Figura 30 exibe os gráficos do Teste 04, em (a) para os percursos maiores e em (b) para os percursos menores.

Figura 30 – Dispersão de cortes com inclinação no plano xy (Teste 04).

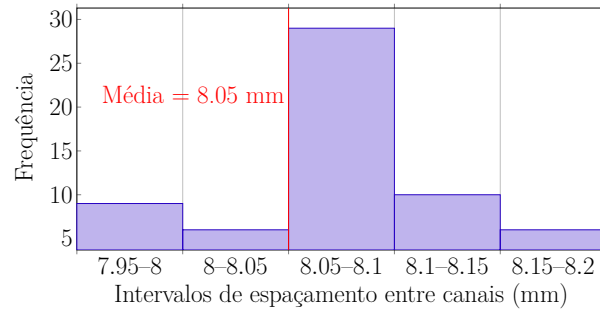


Fonte: Autor.

Observando os resultados, é possível verificar que estes apresentam um desvio padrão um pouco menor, mas não diferem muito dos testes com cortes paralelos ao eixos.

O gráfico com os dados do espaçamento entre os canais no Teste 04 é mostrado na Figura 31.

Figura 31 – Dispersão do espaçamento entre canais inclinados (Teste 04).



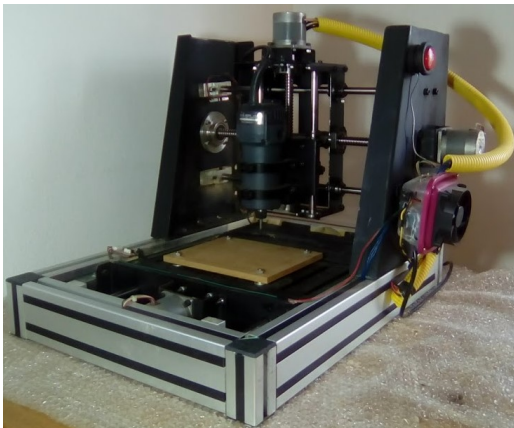
Fonte: Autor.

7.3 Características gerais da máquina construída

Aqui é feito um compilado geral da máquina projetada e construída neste trabalho, indicando um erro relativo médio entre os testes realizados de $\pm 0,77\%$.

A fresadora CNC pode ser controlada através de comunicação USB por qualquer computador que tenha os requisitos para a instalação do *UGS Platform*, possuindo compatibilidade com os principais comandos em Código-G. As principais características da fresadora são apresentadas na Tabela 20.

Tabela 20 – Características (Fresadora CNC de bancada).

Fresadora CNC de Bancada	Características gerais da máquina construída	
	Área útil	200 mm x 130 mm x 60 mm
	Material usinado	Polímeros, MDF, Alumínio.
	Atuador	Fuso de esferas
	Velocidade máx.	600 mm/min
	Motor de usinagem	530 W
	Menor deslocamento	0,025 mm
	Erro relativo médio entre os testes realizados $\pm 0,77\%$.	

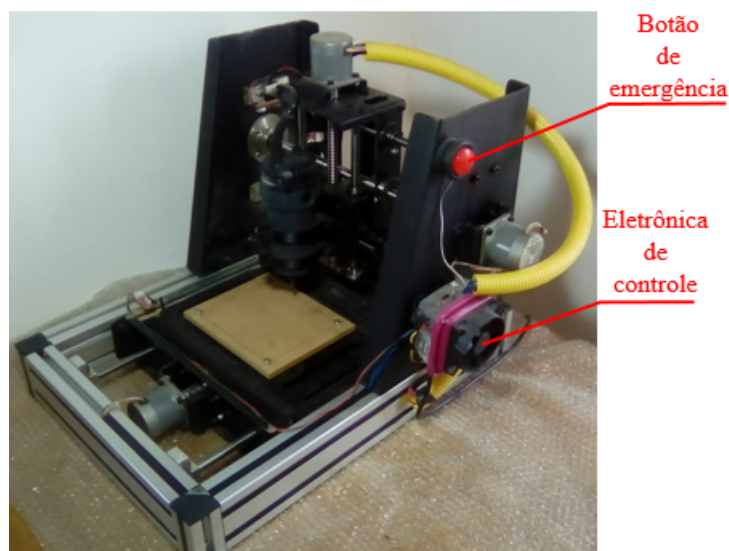
Fonte: Autor.

O equipamento possui duas chaves de fim de curso em cada eixo, para evitar que os carros de movimentação se choquem na estrutura, forçando os motores. As chaves de

fim de curso também possibilitam a execução do ciclo "Homing", esta função permite a configuração de um ponto zero quando a máquina é iniciada.

Na Figura 32, é possível visualizar o botão de emergência e a localização da eletrônica de controle.

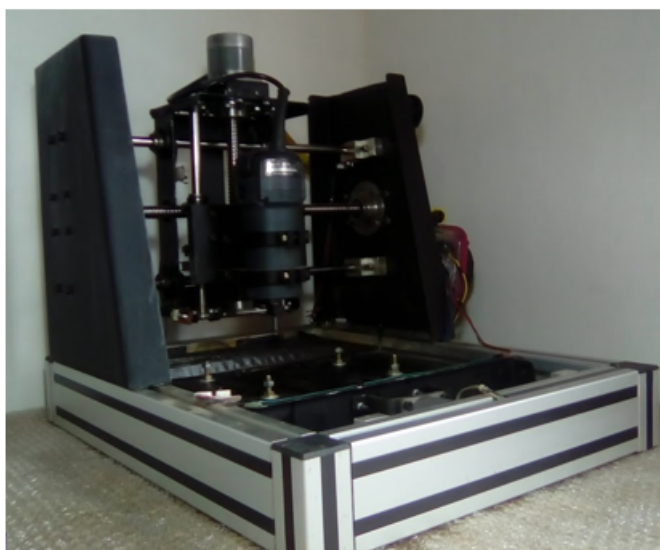
Figura 32 – Detalhes da fresadora CNC.



Fonte: Autor.

Na Figura 33 é apresentada uma foto em perspectiva da montagem final da fresadora CNC. Os desenhos técnicos e lista de materiais do projeto são encontrados no Apêndice C, 101.

Figura 33 – Montagem final do projeto.



Fonte: Autor.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi feito o projeto e a construção de uma máquina CNC compacta, de bancada que é capaz de interpretar o código G. O objetivo principal foi obter uma máquina de baixo custo, fácil de operar e que permitisse a usinagem de materiais de baixa resistência, principalmente MDF.

Inicialmente foi feita uma pesquisa de máquinas comerciais. O que foi tomado como base para a condução deste trabalho.

Após a definição da concepção da máquina, foi feito o dimensionamento e seleção dos principais componentes. Por fim, a máquina foi submetida a testes, através dos quais foi possível avaliar sua funcionalidade e fazer a caracterização da sua reprodutibilidade.

Conseqüentemente foram conhecidas as principais forças que atuam na máquina, possibilitando estabelecer parâmetros de corte para que esta opere dentro dos limites de projeto. A concepção do sistema alcança as finalidades desejadas, como a movimentação em três eixos, sendo um equipamento bastante robusto.

Uma característica limitadora da fresadora CNC é a rotação fixa do seu motor de corte, existindo somente o controle da velocidade de avanço. A implementação de um motor com controle de rotação possibilitaria o controle da velocidade de corte.

A fresadora se mostrou funcional, sendo testada na realização de corte em chapas de MDF, sua operação é simples não exigindo grandes conhecimento de CNC para sua utilização. Os testes realizados indicam um erro relativo médio $\pm 0,77\%$.

REFERÊNCIAS

- ARDUINO. **Documentação Arduino UNO**. 2019. [Online; accessed 26-april-2019]. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>. Citado na página 46.
- BOSCH REXROTH CORPORATION. **Linear Bushings and Shafts - Rexroth**. 2001. [Online; accessed 07-May-2019]. Disponível em: <<http://www.rodamientos.com/catalogos/roda/star01.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 86 e 87.
- CASTRO, E. **Estudo da usinabilidade de chapas de MDF para usinagem de desbaste e acabamento**. 2000. 122 p. Tese (Doutorado) — Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia dos Materiais)-Universidade ... , 2000. Citado 2 vezes nas páginas 64 e 65.
- CNC MÁQUINAS. **Características Router CNC A0404**. 2018. [Online; accessed 30-May-2018]. Disponível em: <<http://www.cncmaquinas.com.br/produto/router-a-0404/7>>. Citado na página 40.
- COBRA CNC. **Características WK3030**. 2019. [Online; accessed 21-May-2019]. Disponível em: <<https://www.cobracnc.com.br/produto/mini-router-wk3030>>. Citado na página 39.
- DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. [S.l.]: Artliber Editora, 2010. Citado 5 vezes nas páginas 26, 27, 28, 30 e 32.
- DISTRITEC CNC. **Características Router CNC RC0505**. 2018. [Online; accessed 30-May-2018]. Disponível em: <<http://www.distriteccnc.com.br/produto-page.php?id=5&menu=9?menu=10&uri=router-cnc-baby-500-x-500-x-60mm>>. Citado na página 39.
- GNEA/GRBL. **Documentação Grbl**. 2019. [Online; accessed 25-april-2019]. Disponível em: <<https://github.com/gnea/grbl/wiki>>. Citado na página 45.
- GOELLNER, E. Ferramenta computacional para acionamento de motores de passo aplicados ao projeto de equipamentos cnc. Universidade Federal de Santa Maria, 2006. Citado na página 23.
- GUIA CNC. **Características Astrosym 23LM-C004-04**. 2019. [Online; accessed 12-Jun-2019]. Disponível em: <<https://www.guiacnc.com.br/motores-em-geral-144/t19869/>>. Citado na página 56.
- IBATECH TECNOLOGIA LINEAR. **Fuso de esferas**. 2019. [Online; accessed 13-May-2019]. Disponível em: <<http://www.ibatech.com.br/produtos/detalhes/66/Fuso>>. Citado 3 vezes nas páginas 54, 91 e 92.
- JEREMIAS, T. D. Avaliação do acabamento gerado por fresamento em chapas de mdf a partir de diferentes combinações de parâmetros de corte. 2016. Citado na página 64.
- LYRA, P. V. A. **Desenvolvimento de uma Máquina Fresadora CNC Didática**. [S.l.]: Universidade de Brasília, 2010. Citado na página 25.
- MACEDO, S. E. M. Análise de forças no fresamento de topo convencional e com altas velocidades de corte. Florianópolis, SC, 2001. Citado 3 vezes nas páginas 25, 26 e 27.

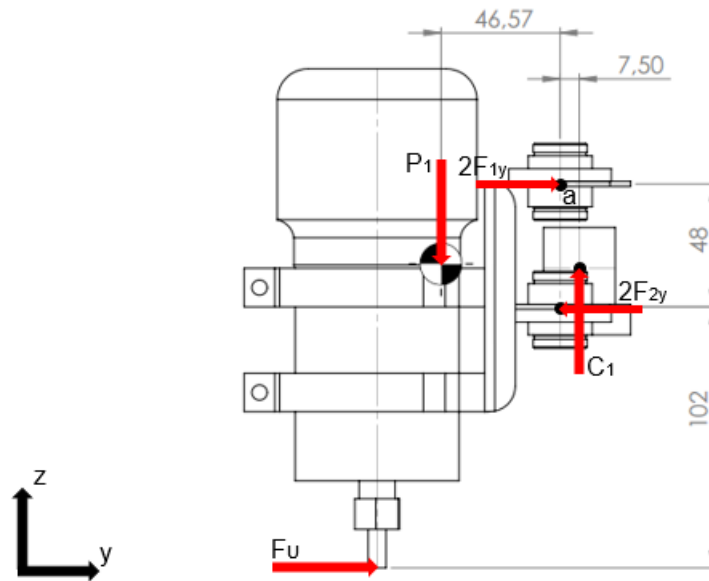
- MACHADO, Á. R. et al. **Teoria da usinagem dos materiais**. [S.l.: s.n.], 2011. v. 2. Citado 3 vezes nas páginas 27, 29 e 30.
- MAKITA DO BRASIL. **Características Tupia M3700G**. 2019. [Online; accessed 21-april-2019]. Disponível em: <<http://www.makita.com.br/MT/?sub=TUPIA&cod=M3700G&l=15>>. Citado na página 47.
- METALTHAGA. **Alumínio série 6000**. 2019. [Online; accessed 20-May-2019]. Disponível em: <<http://metalthaga.com.br/ligas-de-aluminio/>>. Citado na página 62.
- PEREIRA, A. G. Desenvolvimento e avaliação de um editor para programação cn em centros de usinagem. 2012. Citado na página 25.
- POLOLU. **Documentação Driver A4988**. 2019. [Online; accessed 26-april-2019]. Disponível em: <<https://www.pololu.com/product/1182>>. Citado na página 46.
- PROTONEER. **Documentação CNC Shield V3**. 2019. [Online; accessed 26-april-2019]. Disponível em: <<https://blog.protoneer.co.nz/arduino-cnc-shield-v3-00-assembly-guide/#4THAXIS>>. Citado 2 vezes nas páginas 46 e 47.
- RAC MOVIMENTAÇÃO LINEAR LTDA. **Rolamentos lineares (Buchas de esferas)**. 2015. [Online; accessed 13-May-2018]. Disponível em: <<http://www.racml.com.br/rolamentoslineares.php>>. Citado na página 52.
- RAMALHO, G. M. F. **Estudo Conceitual de uma Mini Fresadora Vertical Operada por Comando Numérico Computadorizado (CNC)**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016. Citado na página 23.
- SANDVIK COROMANT. **Treinamento Catálogo - Tecnologia em Usinagem**. 2017. [Online; accessed 15-May-2019]. Disponível em: <http://sandvik.ecbook.se/se/pt/training_handbook/>. Citado 3 vezes nas páginas 31, 32 e 33.
- SANDVIKCOROMANT. **Recomendações de Corte**. 2019. [Online; accessed 09-May-2019]. Disponível em: <http://sandvik.ecbook.se/se/pt/versatile_tools/>. Citado 2 vezes nas páginas 62 e 63.
- SHIGLEY, J. E. **Projeto de engenharia mecânica**. [S.l.]: Bookman - Porto Alegre, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 51 e 85.
- SILVA, R. H. L. Monitoramento do desgaste de ferramentas no fresamento de topo através dos sinais de potência e emissão acústica e redes neurais. Universidade Federal de Uberlândia, 2010. Citado na página 26.
- SILVA, S. **CNC: Programação de Comandos Numéricos Computadorizados: Torneamento**. [S.l.]: Érica - São Paulo, 2008. Citado na página 25.
- SKF. **Rolamentos de esferas**. 2019. [Online; accessed 12-May-2019]. Disponível em: <<https://www.skf.com/br/products/index.html>>. Citado 2 vezes nas páginas 53 e 89.
- STOETERAU, R. L. Introdução ao projeto de máquina-ferramentas modernas. **Universidade Federal de Santa Catarina**, 2004. Citado na página 28.
- UGS. **Documentação UGS**. 2019. [Online; accessed 26-april-2019]. Disponível em: <http://winder.github.io/ugs_website/>. Citado na página 44.

Apêndices

APÊNDICE A – FORÇAS ATUANTES

Neste apêndice é mostrado os somatórios de forças para os maiores esforços encontrados nos sistemas da máquina. A Figura 34 apresenta o diagrama de de corpo livre (DCL) do mecanismo de movimentação no eixo z.

Figura 34 – DCL do carro de movimentação do eixo z (medidas em mm).



Fonte: Autor.

Para simplificação dos cálculos são feitas as seguintes considerações:

- A porca do fuso, suporta apenas esforços paralelos ao eixo z;
- Os rolamentos lineares possuem movimentação livre no eixo z;
- Os rolamentos lineares estão alinhados e suportam esforços na direção do eixo y;
- A força peso e localização da mesma foi determinada através do software SolidWorks®.

As forças aplicadas aos rolamentos lineares F_{1y} e F_{2y} são multiplicadas por dois (Figura 34) devido a carga ser suportada por quatro rolamentos.

A magnitude da força de usinagem calculada na subseção 4.4.5 e a força peso do mecanismo de movimentação do eixo z, são respectivamente:

$$F_U = 68,17 \text{ N}$$

$$P_1 = 21,78 \text{ N}$$

A força aplicada sobre a porca do fuso de acionamento do eixo z (C_1) é determinada pelo somatório de forças no eixo z, Equação A.1.

$$\begin{aligned} \sum F_z &= 0 \\ -P_1 + C_1 &= 0 \end{aligned} \quad (\text{A.1})$$

$$C_1 = 21,78 \text{ N}$$

$$\sum M_a = 0$$

$$P_1 \cdot 46,57 \cdot 10^{-3} \text{ m} + F_U \cdot 150 \cdot 10^{-3} \text{ m} + C_1 \cdot 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ m} - 2F_{2y} \cdot 48 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0 \quad (\text{A.2})$$

$$F_{2y} = 118,65 \text{ N}$$

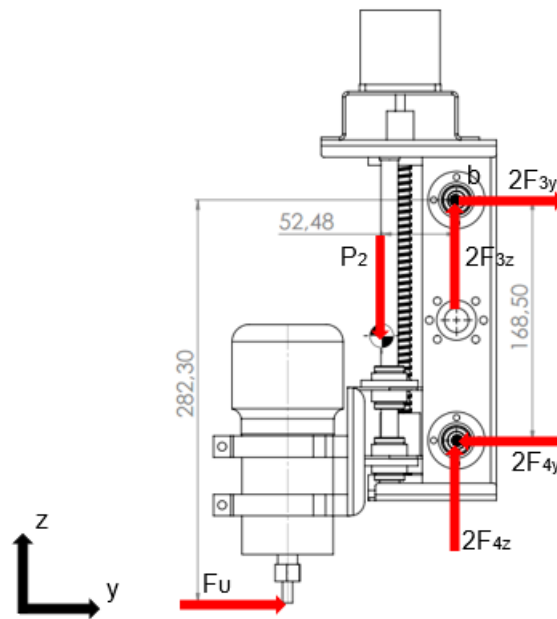
$$\sum F_y = 0$$

$$F_U + 2F_{1y} - 2F_{2y} = 0 \quad (\text{A.3})$$

$$F_{1y} = 84,57 \text{ N}$$

Na Figura 35 é exibido o diagrama de corpo livre do carro de movimentação do eixo x e as forças que atuam sobre o mesmo.

Figura 35 – DCL no plano yz, do carro de movimentação do eixo x (medidas em mm).



Fonte: Autor.

$$P_2 = 58,86 \text{ N}$$

$$\sum M_b = 0$$

$$P_2 \cdot 52,48 \cdot 10^{-3} \text{ m} + F_U \cdot 282,3 \cdot 10^{-3} \text{ m} - 2F_{4y} \cdot 168,50 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0 \quad (\text{A.4})$$

$$F_{4y} = 66,26 \text{ N}$$

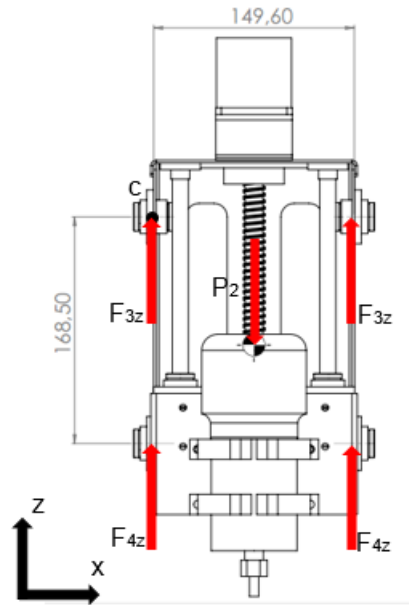
$$\sum F_y = 0$$

$$F_U + 2F_{3y} - 2F_{4y} = 0 \quad (\text{A.5})$$

$$F_{3y} = 32,18 \text{ N}$$

A Figura 36 mostra o digrama de corpo livre do carro de movimentação do eixo x, no plano zy.

Figura 36 – DCL no plano xz, do carro de movimentação do eixo x (medidas em mm).



Fonte: Autor.

$$\sum M_c = 0$$

$$-P_2 \cdot 74,8 \cdot 10^{-3} m + F_{3z} \cdot 149,60 \cdot 10^{-3} m + F_{4z} \cdot 149,60 \cdot 10^{-3} m = 0 \quad (\text{A.6})$$

$$F_{3z} = F_{4z}$$

$$F_{3z} = 14,72 \text{ N}$$

No DCL de mesa de deslocamento no eixo y Figura 37, é considerada uma carga P_3 sobre a mesa, representando uma massa de material a ser usinado.

$$P_3 = 45,42 \text{ N}$$

$$\sum M_d = 0$$

$$-P_3 \cdot 120 \cdot 10^{-3} m + F_U \cdot 73,50 \cdot 10^{-3} m + 2F_{6z} \cdot 240 \cdot 10^{-3} m = 0 \quad (\text{A.7})$$

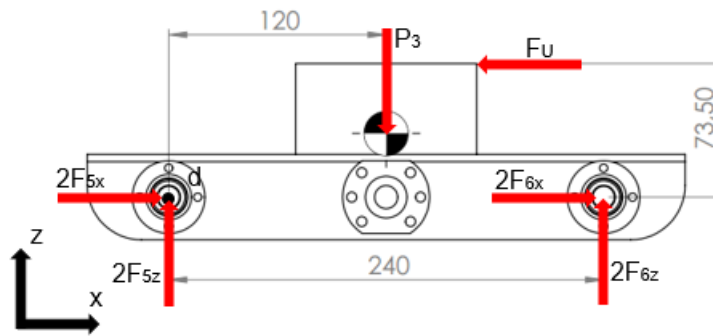
$$F_{6z} = 0,92 \text{ N}$$

$$\sum F_z = 0$$

$$-P_3 + 2F_{5z} + 2F_{6z} = 0 \quad (\text{A.8})$$

$$F_{5z} = 21,79 \text{ N}$$

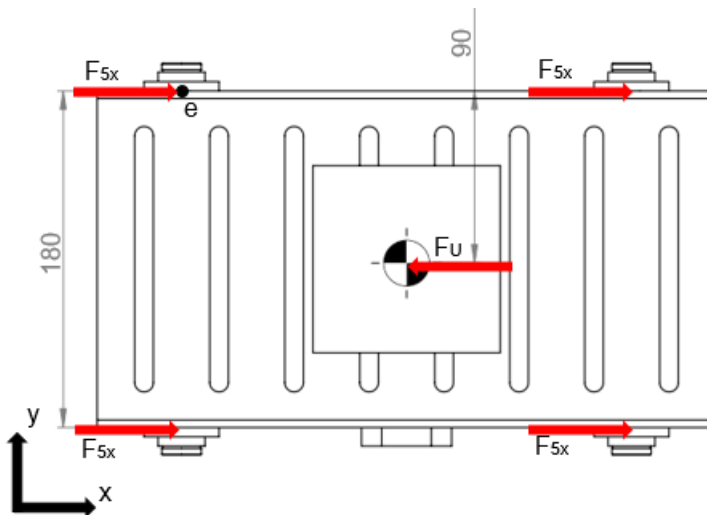
Figura 37 – DCL da mesa de deslocamento no eixo y (medidas em mm).



Fonte: Autor.

A Figura 38 ilustra o DCL da mesa no plano xy.

Figura 38 – DCL no plano xy, da mesa de deslocamento no eixo y (medidas em mm).



Fonte: Autor.

$$\sum M_e = 0$$

$$-F_U \cdot 90 \cdot 10^{-3} m + F_{5x} \cdot 180 \cdot 10^{-3} m + F_{5x} \cdot 180 \cdot 10^{-3} m = 0 \quad (\text{A.9})$$

$$F_{5x} = 17,04 \text{ N}$$

APÊNDICE B – SELEÇÃO DE COMPONENTES

B.1 Rolamentos lineares

A seleção dos rolamentos lineares foi executada usando os dados do catálogo **Linear Bushings and Shafts**¹ - da empresa **Rexroth**. Basicamente é usada a associação de vida do mancal com a carga aplicada no mesmo, usando alguns fatores de correção.

Determinação da vida de serviço, Equação B.1:

$$L = \left(\frac{C_d}{F_r} \cdot f_H \cdot f_t \right)^3 \cdot 10^5 \quad (\text{B.1})$$

L [m] - Vida de serviço;

C_d [N] - Carga dinâmica;

F_r [N] - Força atuante no rolamento linear;

f_H - Fator de dureza do eixo;

f_t - Fator de temperatura.

Vida de serviço em horas, Equação B.2:

$$L_h = \frac{L}{2 \cdot S \cdot n_f \cdot 60} \quad (\text{B.2})$$

L_h [h] - Vida de serviço em horas;

S [m] - Curso de deslocamento;

n_f [min^{-1}] - Frequência de ciclos completos;

A carga dinâmica, Equação B.3:

$$C_d = \frac{F_r}{f_h \cdot f_t \cdot f_L} \quad (\text{B.3})$$

f_L [m] - Fator de vida de serviço;

Seleção do rolamento linear

Considerações para seleção do rolamento linear:

- Maquinaria para uso em serviço intermitente em que uma operação confiável é de grande importância. Para esta classificação a vida de serviço sugerida por Shigley (2005), é $L_h = 8 \cdot 10^3$ h;
- Eixo com dureza Rockwell C 60;
- Temperatura de funcionamento inferior a 100 °C;
- Curso de deslocamento do rolamento linear $S = 0,20$ m;

¹ <http://www.rodamientos.com/catalogos/roda/star01.pdf>

- Velocidade de avanço $V_f = 600 \text{ mm/min} = 0,6 \text{ m/min}$.

Com o curso de deslocamento e a velocidade avanço, determina-se a frequência de ciclos completos:

$$n_f = 3 \text{ min}^{-1}$$

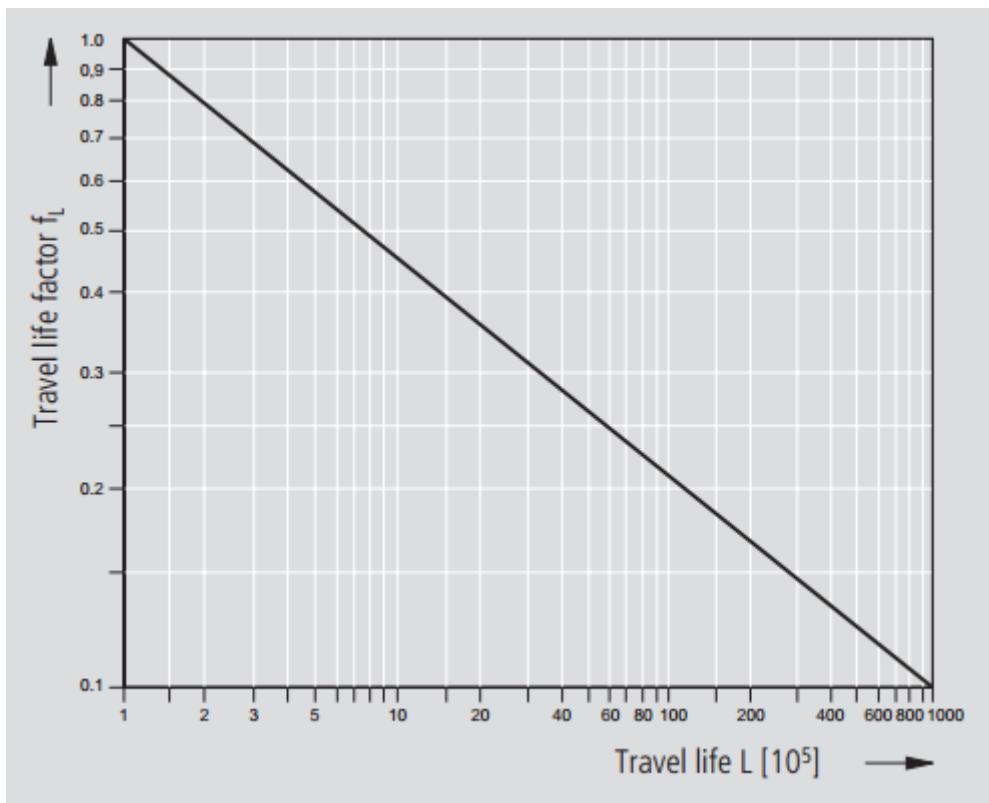
Isolando L na Equação B.2 e fazendo as substituições, obtemos:

$$L = 5,76 \cdot 10^5 \text{ m}$$

Encontrado L , determina-se o fator de vida de serviço f_L através da Figura 39.

$$f_L = 0,55$$

Figura 39 – Fator de vida.



Fonte: (BOSCH REXROTH CORPORATION, 2001)

A Tabela 21 apresenta os fatores de temperatura (f_t) que devem ser usados. Como o funcionamento do rolamento linear é abaixo de 100 °C.

$$f_t = 1$$

Tabela 21 – Fator de temperatura.

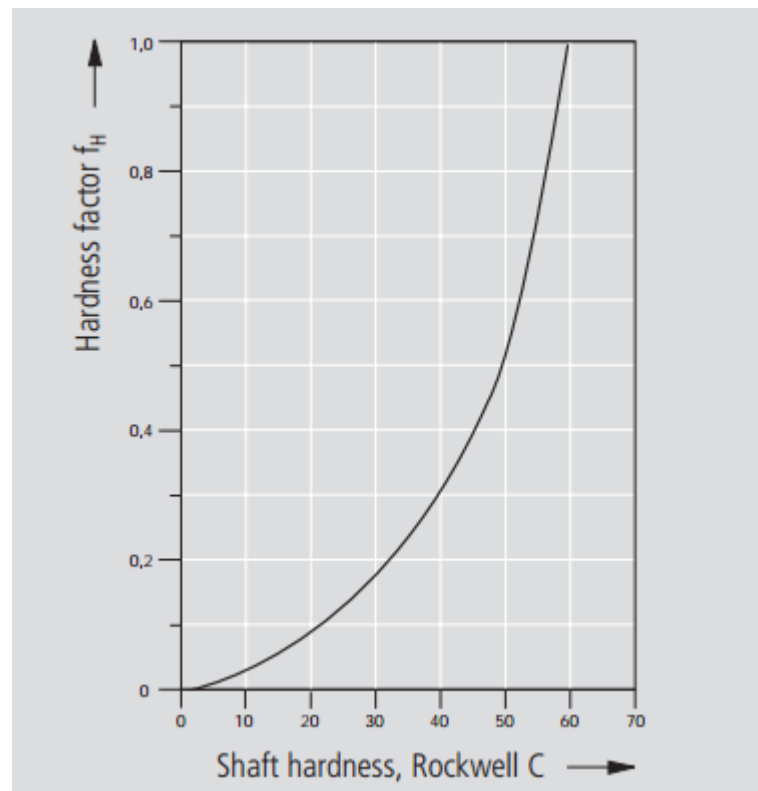
Bushing temperature °C	100	125	150	175	200
Temperature factor f_t	1	0.92	0.85	0.77	0.70

Fonte: (BOSCH REXROTH CORPORATION, 2001)

O fator de dureza para um eixo com dureza Rockwell C 60, é encontrado na Figura 40.

$$f_h = 1$$

Figura 40 – Fator de dureza do eixo.



Fonte: (BOSCH REXROTH CORPORATION, 2001)

Encontrado todos os fatores, determina-se a carga dinâmica pela Equação B.3.

$$C_d = 120,8 \text{ N}$$

Aplicando o fator de carga para maquinaria de impacto leve (Tabela 6), encontra-se:

$$C_d = 181,20 \text{ N}$$

O rolamento linear selecionado é o **LMEUU12** e todas as suas características são encontradas na Anexo A, página 135.

B.2 Mancais

Os mancais tem a função de apoiar e permitir a rotação dos fusos. No projeto existem dois fusos horizontais no plano xy, e um fuso vertical no eixo z.

A força peso dos carros e reações devido aos movimentos de corte, são suportadas pelas guias e rolamentos lineares. O fusos sofrem apenas as reações devido a movimentação da carga.

Os fusos horizontais do plano xy, sofrem esforços combinados de força axial e força radial.

Conforme o catalogo da empresa **SKF**² as reações devem ser corrigidas para uma carga dinâmica equivalente.

Para tal correção deve ser verificado se $\frac{F_a}{F_r} \leq e$, então é usado Equação B.4:

$$P = F_r \quad (\text{B.4})$$

Se $\frac{F_a}{F_r} > e$, é utilizada a Equação B.5:

$$P = X.F_r + Y.F_a \quad (\text{B.5})$$

F_a - Carga axial;

F_r - Carga radial;

C_0 - Carga estática;

e = Limite da relação de cargas;

X - Fator de cálculo para carga radial;

Y - Fator de cálculo para carga axial.

A Tabela 22 apresenta os dados de fatores para correção do carregamento dinâmico equivalente.

As maiores forças encontradas nos mancais horizontais são:

$F_a = 68,38 \text{ N}$ - Força axial devido aos esforços para movimentação da carga.

$F_r = 2,45 \text{ N}$ - Força radial devido ao peso do fuso.

² <https://www.skf.com/br/products/index.html>

Tabela 22 – Fator de cálculo para rolamentos rígidos de esferas.

$f_0 F_a/C_0$	Rolamentos de uma e de duas carreiras Folga normal		
	e	X	Y
0,172	0,19	0,56	2,3
0,345	0,22	0,56	1,99
0,689	0,26	0,56	1,71
1,03	0,28	0,56	1,55
1,38	0,3	0,56	1,45
2,07	0,34	0,56	1,31
3,45	0,38	0,56	1,15
5,17	0,42	0,56	1,04
6,89	0,44	0,56	1

Fonte: (SKF, 2019)

Foi selecionando um rolamento 6301-2RSL no Anexo B (página 137), onde podem ser encontrada as características deste rolamento.

O uso do diagrama da Tabela 22, requer a relação:

$$\frac{F_a}{C_0} = 0,016$$

Como o a relação calculada é menor do que a faixa mostrada pela Tabela 22, é adotado o menor valor apresentado.

A verificação $\frac{F_a}{F_r}$ resulta em:

$$\frac{F_a}{F_r} = 27,91 > e$$

Para tal condição é adotada a Equação B.5, para determinação da carga dinâmica equivalente:

$$P = 0,56 \cdot 2,45N + 2,3 \cdot 68,38N = 158,65N$$

Podemos multiplicar o valor da carga dinâmica equivalente por um fator de carga proposto na Tabela 6 para maquinaria de impacto leve. O valor encontrado é:

$$P = 158,65N \cdot 1,5 \approx 238N$$

Assim verifica-se que a carga dinâmica equivalente é bem menor que a carga dinâmica apresentada na Tabela 8, que o rolamento é capaz de suportar.

Realizada os cálculos para a carga dinâmica, é necessário examinar a carga estática equivalente utilizando a Equação B.6.

$$P_0 = 0,6 \cdot F_r + 0,5 \cdot F_a \quad (\text{B.6})$$

P_0 - Carga estática equivalente.

Substituindo os valores na Equação B.6 encontramos:

$$P_0 = 0,6.245N + 0,5.68,38N = 35,66N$$

Multiplicando o valor da carga estática equivalente pelo fator de carga para maquinaria de impacto leve Tabela 6. Encontramos:

$$P_0 = 1,5.35,66 \approx 53,50N$$

O valor da carga estática equivalente é menor que a carga estática que o rolamento pode suportar.

O fuso vertical do eixo z causa apenas carga axial no mancal de rolamento. Com o objetivo de manter os três eixos com o mesmo modelo de rolamento, é preciso analisar se este atende as solicitações que ira ser submetido.

Para carga axial pura o esforço aplicado deve atender a seguinte expressão:

$$F_a \leq 0,5.C_0 \quad (B.7)$$

A carga aplicada sobre o rolamento:

$$F_a = 21,78 N.$$

Aplicando o fator de carga para maquinaria de impacto leve, Tabela 22.

$$F_a = 1,5.21,78N = 32,67N$$

Com o valor da carga axial calculado e a carga estática do rolamento que é conhecida (Tabela 8), podemos fazer a verificação pela Equação B.7.

$$32,67N \leq 2,08kN$$

Realizada as verificações necessárias pode-se concluir que o rolamento selecionado atende aos esforços a qual será solicitado.

B.3 Fuso de esferas

A maior carga axial nos fusos horizontais que realizam a movimentação no plano xy.

$$F_a = 68,38 N$$

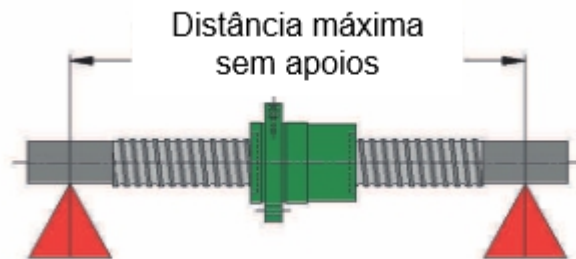
Multiplicando essa força pelo fator de carga para maquinaria de impacto leve (Tabela 6).

$$F_a = 1,5.68,38 N \approx 103 N$$

Com os dados da (tabela), verifica-se que a força axial no fuso é muito menor que a carga dinâmica e carga estática que o fuso tem capacidade de suportar.

Os fusos horizontais podem sofrer deformações devido a cargas transversais causadas por seu próprio peso. Sendo assim o fuso deve respeitar uma distância máxima sem apoios, como ilustrado na Figura 41.

Figura 41 – Distância máxima sem apoios.



Fonte: Adaptado de (IBATECH TECNOLOGIA LINEAR, 2019).

A Tabela 23 apresenta a distância máxima sem apoios suportada pelos fusos. O fuso com diâmetro de 16 mm permite uma distância máxima de 950 mm, o maior fuso da máquina tem 425 mm. Logo os três fusos atendem o requisito de cargas transversais.

Tabela 23 – Distância máxima sem apoios.

Diâmetro interno [mm]	Distância máxima [mm]
16	950
20	1050
25	1200
32	1400
40	1550
50	1750

Fonte: Adaptado de (IBATECH TECNOLOGIA LINEAR, 2019).

O fuso do eixo z em posição vertical sofre esforços que podem ocasionar flambagem. Para o cálculo da carga de coluna pode-se utilizar a fórmula de Euler Equação B.8, e fatores de correção de acordo com o sistema de apoio utilizado nos extremos do fuso.

$$E_{uler} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot I}{L_{ar}^2} \quad (B.8)$$

I [mm⁴] - Inércia da seção;

L_{ar} [mm] - Distância entre apoios.

O momento de inércia da seção pode ser calculado pela Equação B.9.

$$I = d_3^4 \cdot \frac{\pi}{64} \quad (B.9)$$

d_3 [mm] - Menor diâmetro do fuso.

A carga de coluna suportada pelo fuso é calculada pela Equação B.10.

$$C_{carga} = E_{uler} \cdot F_{actor} \cdot C_{seg} \quad (B.10)$$

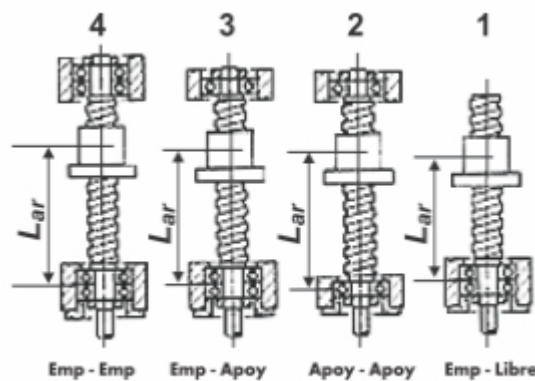
F_{actor} - Fator de apoio do extremos;

C_{seg} - Coeficiente de segurança.

O fator de apoio é escolhido conforme o sistema de fixação utilizado. O apoio fixo conta com mancais axiais e radiais, o sistema apoiado apenas com rolamentos radiais.

A Figura 42 ilustra os quatro métodos de apoios.

Figura 42 – Tipos de apoio.



Fonte: Adaptado de (IBATECH TECNOLOGIA LINEAR, 2019).

A Tabela 24 apresenta o fator de apoio que deve ser utilizado de acordo com o sistema usado.

Tabela 24 – Fator de apoio.

	Emb - Emb	Emb - Apoi	Apoi - Apoi	Emb - Livre
Fator	4	2	1	0,25

Fonte: Adaptado de (IBATECH TECNOLOGIA LINEAR, 2019).

O momento de inércia é calculado pela Equação B.9.

$$I = 13,4^4 \cdot \frac{\pi}{64} = 1582,67mm^4$$

Com o momento de inércia conhecido calcula-se Euler pela Equação B.8:

$$E_{uler} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 1582,67mm^4}{(250mm)^2} = 52,48kN$$

A carga corrigida é calculada pela Equação B.10.

$$C_{carga} = 52,48kN \cdot 1,0,8 = 42kN$$

Os fusos possuem suas pontas usinadas para o encaixe nos mancais e sua conexão com os acoplamentos que transmitem o torque.

Uma verificação da tensão de cisalhamento provocada pelo torque para uma barra circular sólida, é determinada pela Equação B.11.

$$\tau = \frac{T.r}{J} \quad (\text{B.11})$$

τ [Pa] - Tensão de cisalhamento;

r [m] - Raio da seção estudada;

J [m⁴] - Momento polar.

O momento polar é calculado pela Equação B.12

$$J = \frac{\pi.d^4}{32} \quad (\text{B.12})$$

O maior torque o motor de passo poderia aplicar no fuso.

$$T = 0,43 \text{ N.m}$$

$$r = 0,006 \text{ m}$$

Calculando o momento pela Equação B.12, encontra-se:

$$J = 2,04.10^{-9} \text{ m}^4$$

Substituindo o valor do momento na Equação B.11, a tensão de cisalhamento é:

$$\tau = 1,26 \text{ MPa}$$

A tensão máxima de cisalhamento pode ser determinada pela Equação B.13.

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_e}{2} \quad (\text{B.13})$$

σ_e [MPa] - Tensão de escoamento do aço usado.

O material do fuso é uma aço AISI/SAE 4140 e sua tensão de escoamento é $\sigma_e = 415 \text{ MPa}$.

Usando a Equação B.13 calcula-se a tensão máxima de cisalhamento.

$$\tau_{max} = 207,5.10^6 \text{ MPa}$$

Logo a tensão cisalhamento no fuso é muito menor que τ_{max} , não havendo risco de falha por esse critério.

B.4 Guias Lineares

As guias lineares são eixos retificados com 12 mm de diâmetro, do fabricante **OBR Equipamentos Industriais**³. O material é o aço **SUJ2** que é equivalente ao aço **ASTM**

³ Características guia linear <<http://www.obr.com.br/produtos/ni-w-12/>>

52100⁴.

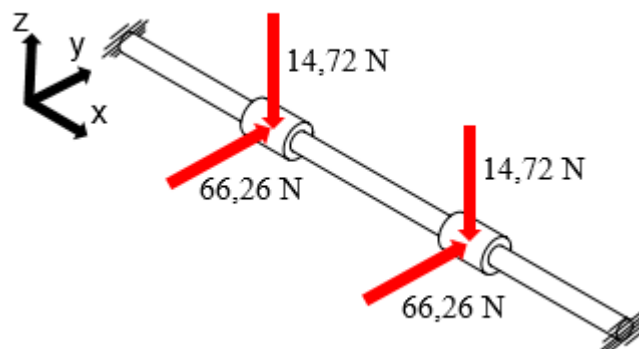
Para a avaliação do deslocamento das guias lineares, foram realizadas simulações por elementos finitos no software SolidWorks[®]. As guias lineares do eixo x foram as que mais sofreram deslocamento devido ao carregamento.

As maiores deformações ocorrem quando os rolamentos estão mais distantes dos apoios, então para a simulação as cargas foram aplicadas na situação em que o carro é posicionado no meio do percurso. A simulação foi realizada seguindo as seguintes considerações:

- Extremidades engastadas;
- O material da guia é o aço ASTM 52100;
- Os rolamentos são considerados cilindros maciços e de mesmo material da guia, servindo apenas para a aplicação das forças;
- O contato entre a guia e os rolamentos é configurado como "contato sem penetração".

O modelo para análise da guia linear do eixo x, é ilustrado pela Figura 43.

Figura 43 – Modelo de simulação.



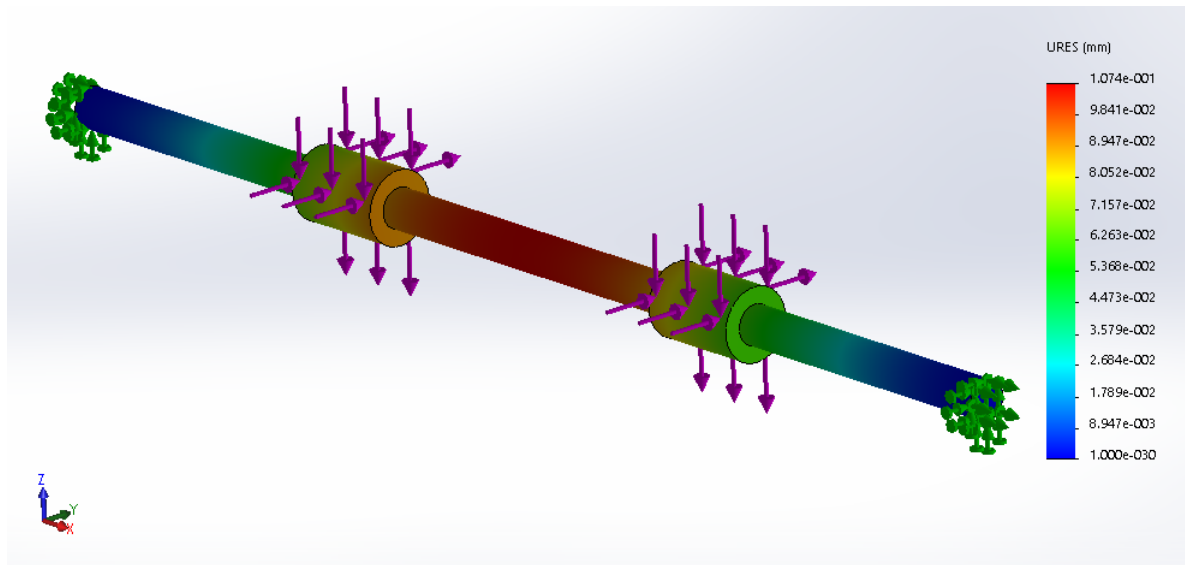
Fonte: Autor.

Na Figura 44 é mostrado o resultado da simulação, que apresenta um deslocamento máximo de 0,1074 mm.

Para a validação do resultado foi realizada uma simulação aplicando apenas a maior força de (66,26 N), como mostrado na Figura 45. O ponto de maior deslocamento corresponde a 0,1048 mm.

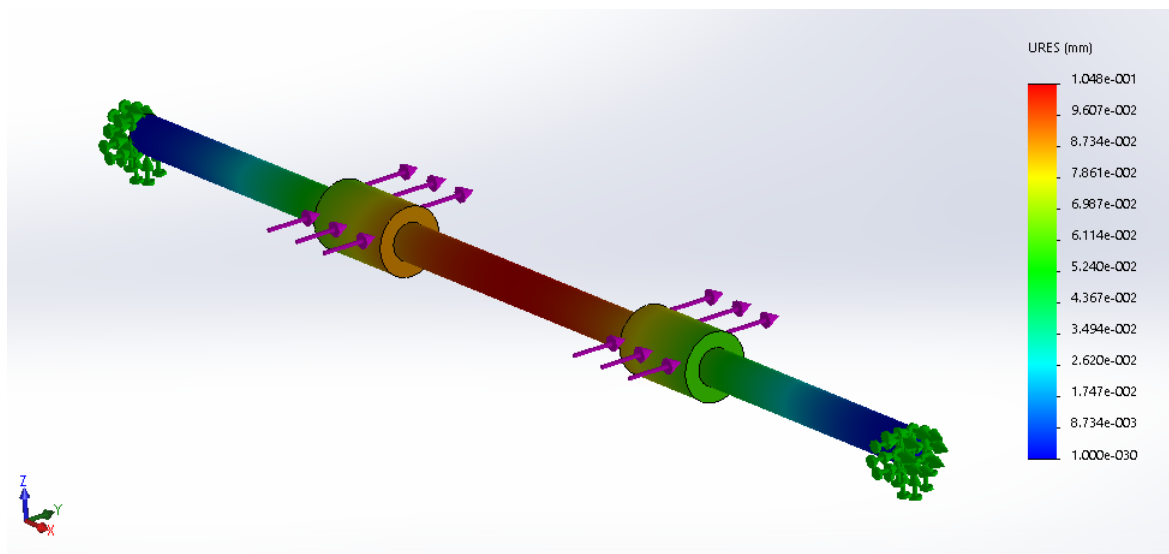
⁴ Propriedades do aço ASTM 52100 <<http://www.astmsteel.com/product/52100-bearing-steel-aisi/>>

Figura 44 – Deslocamento.



Fonte: Autor.

Figura 45 – Deslocamento força y.



Fonte: Autor.

Para confrontar os resultados o deslocamento foi calculado de modo analítico. Considerando a guia linear com as duas extremidades engastadas, se obtêm um elemento estaticamente indeterminado.

Para a definição do deslocamento da viga, foi usado o método da integração, através da Equação B.14.

$$EI \frac{d^2 v}{dx^2} = M_{(x)} \quad (\text{B.14})$$

E [Pa] - Módulo de elasticidade;

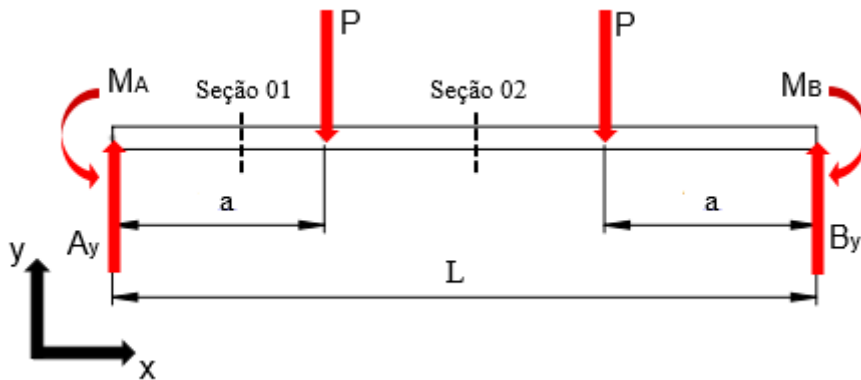
ν [m] - Deslocamento;

M_x - Equação do momento interno da viga para uma seção.

Integrando a Equação B.14 duas vezes, é encontrada a equação para o deslocamento. As constantes são estabelecidas por meio de condições de contorno e de simetria.

A solução do problema exige determinar uma equação para o momento interno em duas seções da viga ilustrada na Figura 46.

Figura 46 – Força Eixo X.



Fonte: Autor.

A resolução do problema é bem trabalhoso e leva aos resultados:

Equação B.15 para o momento nos apoios:

$$M_A = P.a - \frac{P.a^2}{L} \quad (\text{B.15})$$

Equação B.16 para o deslocamento na seção 1 da Figura 46:

$$EI\nu_1 = \frac{Px_1^2}{2} \left(\frac{x_1}{3} - a + \frac{a^2}{L} \right) \quad (\text{B.16})$$

Equação B.17 para o deslocamento na seção 2 da Figura 46:

$$EI\nu_2 = \frac{Pa^2}{2} \left(\frac{x_2^2}{L} - x_2 + \frac{a}{3} \right) \quad (\text{B.17})$$

$x_2 = 186 \text{ mm}$ - Ponto de maior deslocamento da guia;

$L = 372 \text{ mm}$ - Comprimento total da guia;

$a = 112 \text{ mm}$ - Distância do apoio até o ponto de aplicação da carga;

$E = 210 \text{ GPa}$ - Módulo de elasticidade do aço ASTM 52100;

$d = 12 \text{ mm}$ - Diâmetro da guia.

Calculando a inércia pela Equação B.9:

$$I = 1,0179 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$$

Substituindo os valores na Equação B.17, para encontrar o deslocamento no meio da guia, obtemos:

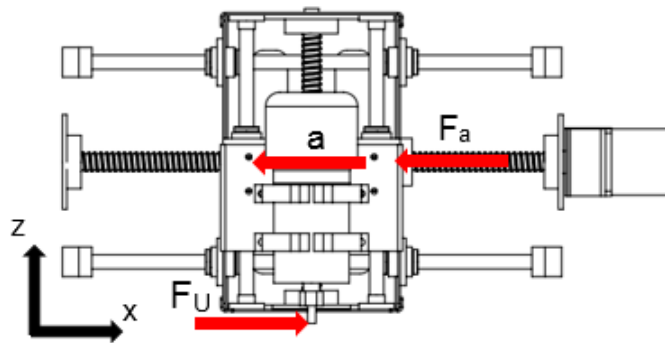
$$\nu_2 = -0,1082 \text{ mm}$$

Dessa maneira é possível verificar que as simulações apresentam um resultado satisfatório.

B.5 Motor de passo

O maior torque requerido foi detectado no eixo x, a Figura 47 apresenta um esquema das forças consideradas para a determinação do torque do motor de acionamento, o vetor (a) refere-se a aceleração requerida. O dimensionamento foi efetuado com base na sugestão de cálculos do catálogo da empresa **THK do Brasil**⁵.

Figura 47 – Diagrama de forças no eixo x.



Fonte: Autor.

O torque necessário para a movimentação do sistema foi obtido pela Equação B.18.

$$T_m = T_1 + T_2 \quad (\text{B.18})$$

T_m [N.m] - Torque requerido no motor;

T_1 [N.m] - Torque devido a carga externa;

T_2 [N.m] - Torque necessário para aceleração.

O torque necessário para vencer uma força externa é obtido pela Equação B.19.

$$T_1 = \frac{R_t \cdot F_a}{\eta_f} \quad (\text{B.19})$$

R_t [m/rad] - Relação de transmissão;

F_a [N] - Carga externa;

η_f - Eficiência do fuso.

⁵ <https://tech.thk.com/pt/products/pdf/br_b15_069.pdf>

A relação de transmissão é calculada com base no passo do fuso, pela Equação B.20.

$$R_t = \frac{P_h}{2.\pi} \quad (\text{B.20})$$

P_h [m] - Passo do fuso.

O torque necessário para acelerar a carga é obtido pela Equação B.21.

$$T_2 = (J_f + m_t.R_t^2).\alpha \quad (\text{B.21})$$

J_f [kg.m²] - Momento de inércia do fuso.

m_t [kg] - Massa movida pelo fuso;

α [rad/s²] - Aceleração angular.

Considerando o fuso como um cilindro constante com diâmetro igual ao nominal, podemos calcula a inércia pela Equação B.22.

$$J_f = \frac{1}{2}.m_f.r^2 \quad (\text{B.22})$$

r [m] - Raio do fuso.

Dados usados para o dimensionamento:

$L_f = 0,425$ m - Comprimento do fuso;

$r_f = 8.10^{-3}$ m - Raio do fuso;

$m_f = 0,6708$ kg - Massa do fuso;

$P_h = 5.10^{-3}$ m - Passo do fuso;

$\eta_f = 0,9$ - Eficiência do fuso;

$m_t = 6$ kg - Massa transportada;

$V_f = 600$ mm/min - Velocidade de avanço considerada para calculo;

$a = 8.10^{-3}$ mm/s² - Aceleração considerada.

Usando a Equação B.22 encontra-se o momento de inércia do fuso.

$$J_f = 4,2931.10^{-5} \text{ kg.m}^2$$

Pela Equação B.20 calcula-se a relação de transmissão.

$$R_t = 7,9577.10^{-4} \text{ m/rad}$$

Usando as informações de V_f , P_h e a , determina-se a velocidade angular.

$$\alpha = 10,0531 \text{ rad/s}^2$$

Usando a Equação B.21 é determinado o torque para aceleração.

$$T_2 = 4,6979.10^{-4} \text{ N.m}$$

O cálculo do torque necessário para vencer a força externa é realizado pela Equação B.19.

$$T_1 = 0,0603 \text{ N.m}$$

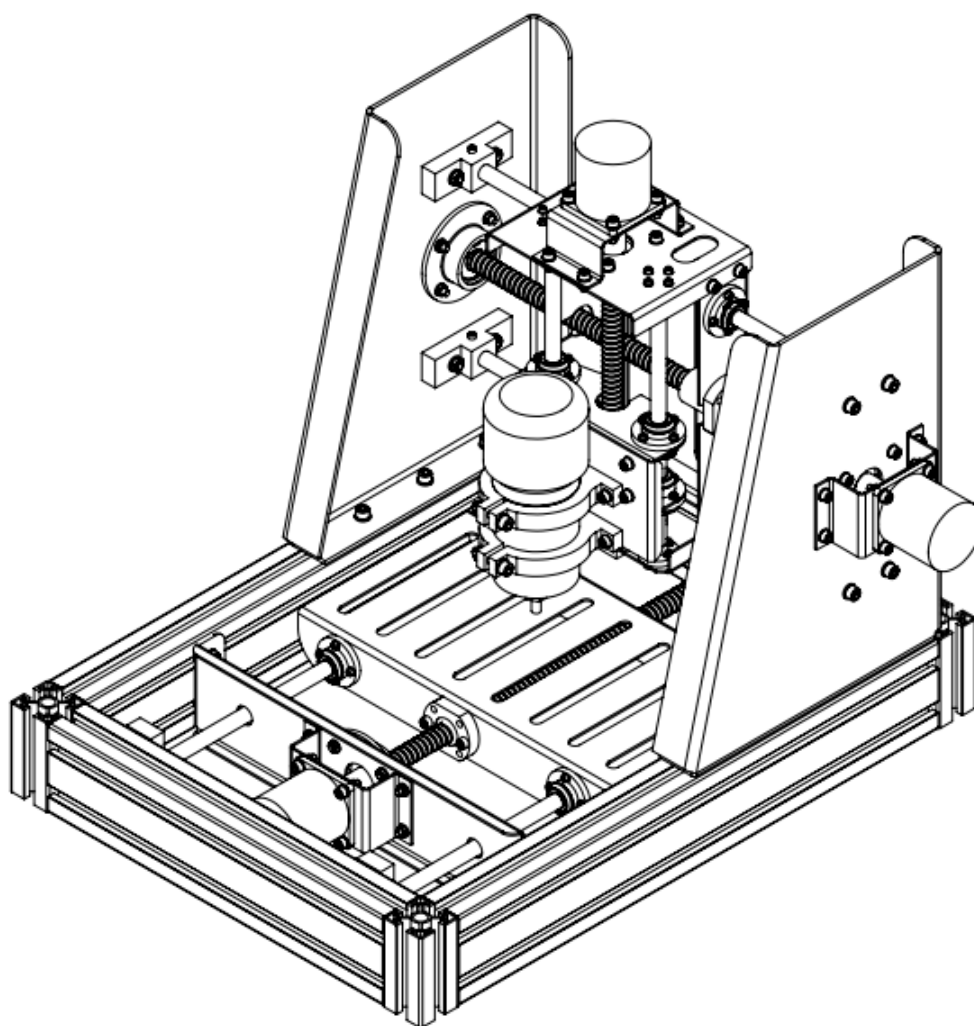
Com as parcelas de torque obtidas, calcula-se o torque requerido pela Equação B.18.

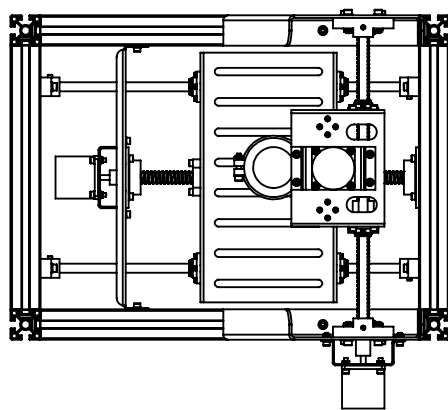
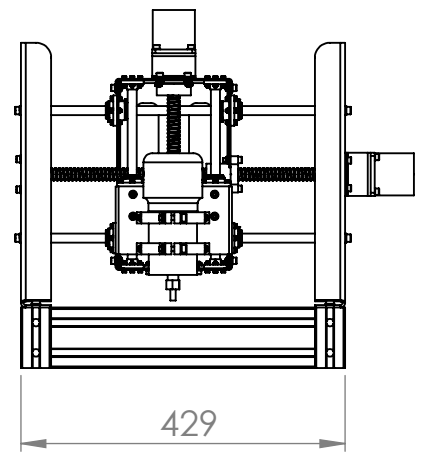
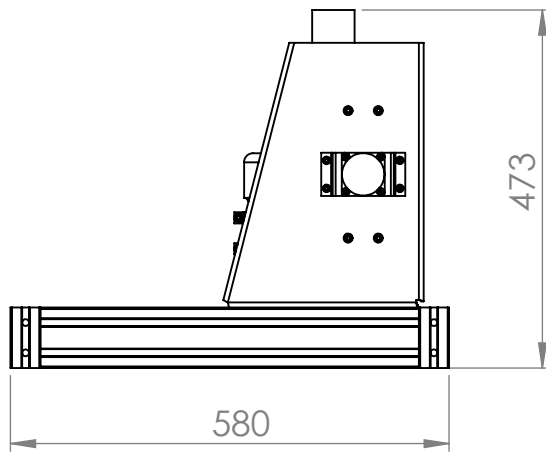
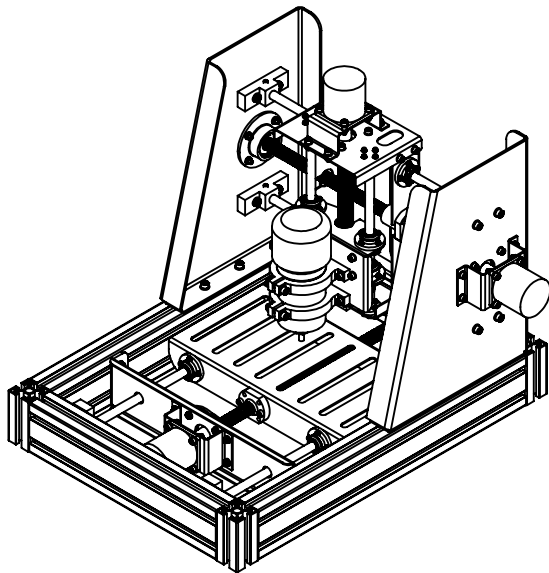
$$T_m = 0,0608 \text{ N.m ou } T_m = 0,62 \text{ kgf.cm}$$

O motor utilizado para acionamento dos fusos é um motor de passo modelo Astrosyn 23LM-C004-04


APÊNDICE C – DESENHOS TÉCNICOS

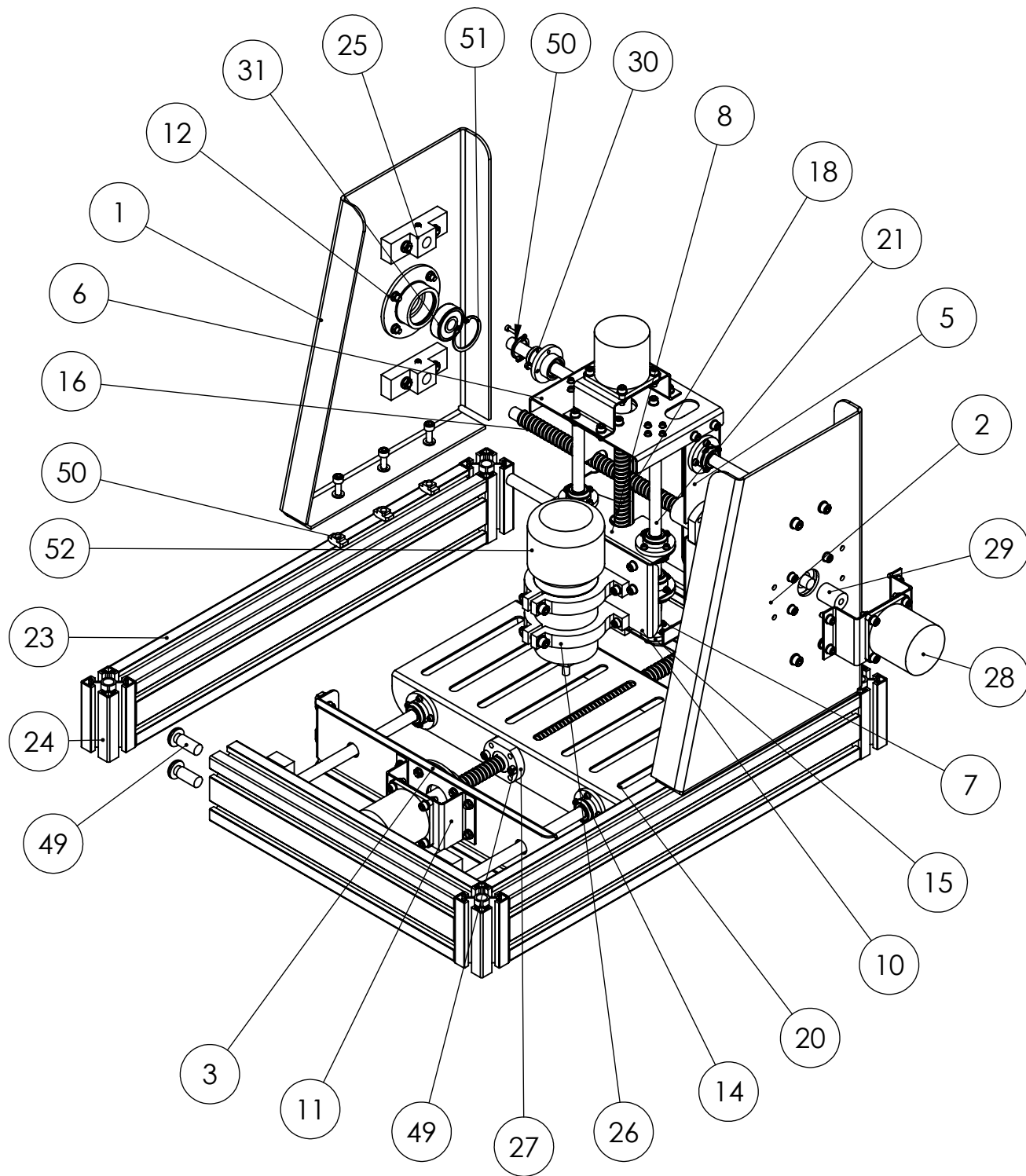
FRESADORA CNC DE BANCADA






MEDIDAS GERAIS

	Título		Projeção:
	Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:10
	Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 1 de 30




Na descrição não estão incluídas as ferragens do item 32 ao item 48.

VISTA EXPLODIDA

 <p>unipampa Universidade Federal do Pampa</p>	Título		Projeção:
	Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:6
	Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 2 de 30


Lista de componentes fabricados

Nº DO ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	QTD.
1	01-CHP001	Chapa estrutura lateral	1
2	01-CHP002	Chapa estrutura lateral	1
3	01-CHP003	Chapa para fixação do motor do eixo y	1
4	01-CHP004	Chapa mesa	1
5	01-CHP005	Chapa estrutura do carro do eixo x	1
6	01-CHP006	Chapa superior do carro do eixo x	1
7	01-CHP007	Chapa inferior do carro do eixo x	1
8	01-CHP008	Chapa superior do carro do eixo z	1
9	01-CHP009	Chapa inferior do carro do eixo z	1
10	01-CHP010	Chapa estrutura do carro z	1
11	01-CHP011	Chapa para fixação do motor de passo	3
12	01-MAN001	Mancal para fixação do rolamento de esferas	5
13	01-MAN002	Mancal do eixo z para fixação do rolamento de esferas	1
14	01-FLA001	Flange para fixação do rolamento linear	12
15	01-FIX001	Flange para fixação das guias lineares do eixo z	4
16	01-FUS001	Fuso de esferas IBATECH - Ref. 1.016.05.4.3 - Eixo x	1
17	01-FUS002	Fuso de esferas IBATECH - Ref. 1.016.05.4.3 - Eixo y	1
18	01-FUS003	Fuso de esferas IBATECH - Ref. 1.016.05.4.3 - Eixo z	1
19	01-GUI001	Guia linear retificada - $\phi = 12$ mm - Eixo x	2
20	01-GUI002	Guia linear retificada - $\phi = 12$ mm - Eixo y	2
21	01-GUI003	Guia linear retificada - $\phi = 12$ mm - Eixo z	2
22	01-PER001	Perfil de alumínio	2
23	01-PER002	Perfil de alumínio	2
24	01-PER003	Perfil de alumínio	4
25	01-FIX002	Fixador da guia linear	8
26	01-SUP001	Suporte de fixação da tупia	2

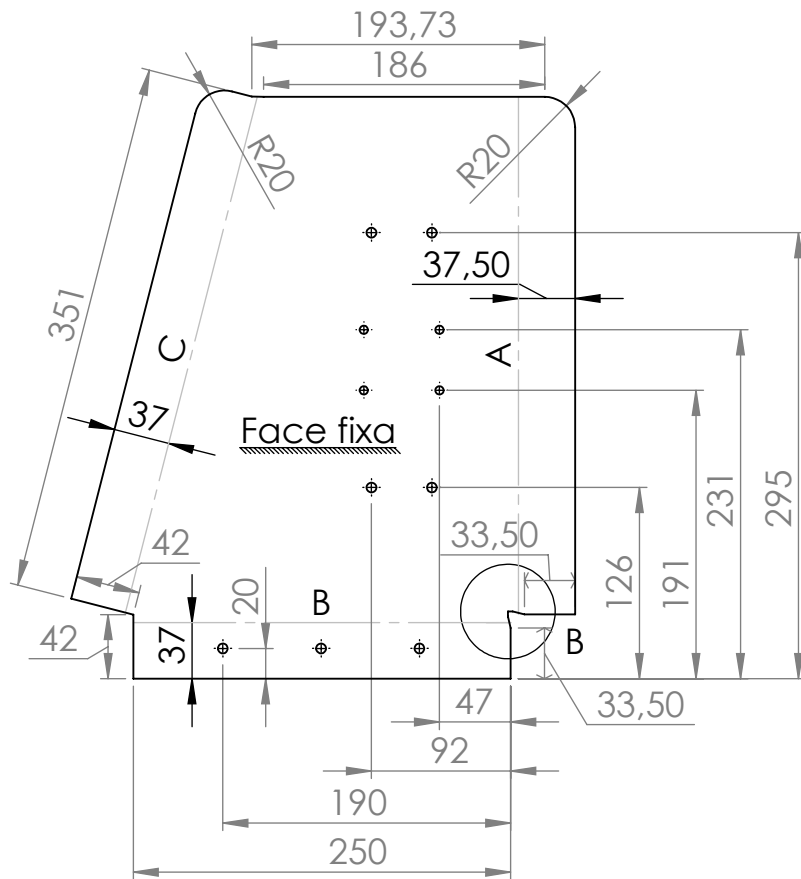
	Título		Projeção:
	Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:1
	Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 3 de 30

Lista de componentes adquiridos

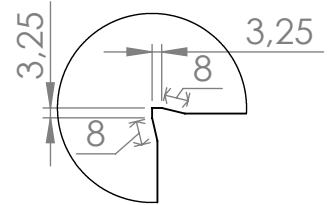
Nº DO ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	QTD.
27	01-POR001	Porca (Fuso de esferas) IBATECH - Ref. 1.016.05.4.3	3
28	01-MOT001	Motor de passo Astrosyn 23LM-C004-04	3
29	01-ACO001	Acoplamento Flexível	3
30	01-ROL001	Rolamento de esferas recirculantes - LM12UU	12
31	01-ROL002	Rolamento de esferas - 6301-2RSH	6
32	01-ARR001	Arruela lisa DIN 125 - A 6.4	34
33	01-ARR002	Arruela lisa DIN 125 - A 5.3	134
34	01-ARR003	Arruela lisa DIN 125 - A 3.2	128
35	01-POR002	Porca sextavada DIN 934 - MA M6	10
36	01-POR003	Porca sextavada DIN 934 - MA M5	66
37	01-POR004	Porca sextavada DIN 934 - MA M3	64
38	01-PAR-001	Parafuso sextavado interno DIN 912 - M6 X 25	16
39	01-PAR002	Parafuso sextavado interno DIN 012 - M6 X 16	6
40	01-PAR003	Parafuso s/cabeça sextavado interno DIN 916 - M6 X 10	8
41	01-PAR004	Parafuso sextavado interno DIN 912 - M6 X 30	2
42	01-PAR005	Parafuso sextavado interno DIN 912 - M5 X 16	28
43	01-PAR006	Parafuso sextavado interno DIN 912 - M5 X 12	23
44	01-PAR007	Parafuso sextavado interno DIN 912 - M5 X 10	13
45	01-PAR008	Parafuso sextavado interno DIN 912 - M3 X 12	64
46	01-PAR009	Parafuso sextavado interno DIN 912 - M5 X 20	10
47	01-POR005	Porca T M6 (Fixação no perfil de alumínio)	14
48	01-POR006	Porca T M5 (Fixação no perfil de alumínio)	8
49	01-PAR010	Parafuso Torx M12 (Fixação do perfil de alumínio)	16
50	01-ANE001	Anel elástico externo DIN 471 - 20 X 1.75	24
51	01-ANE002	Anel elástico interno DIN 472 - 37 X 1.5	5
52	01-TUP001	Tupia Makita M3700	1

	Título		Projeção:
	Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:1
	Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 4 de 30

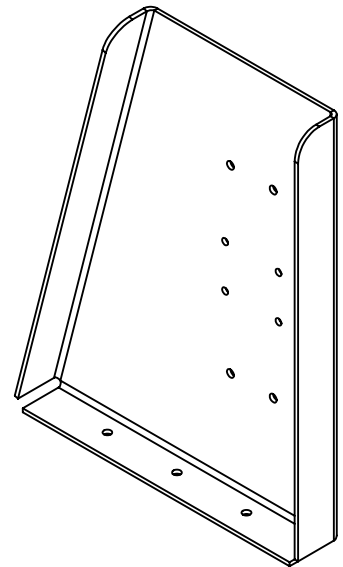
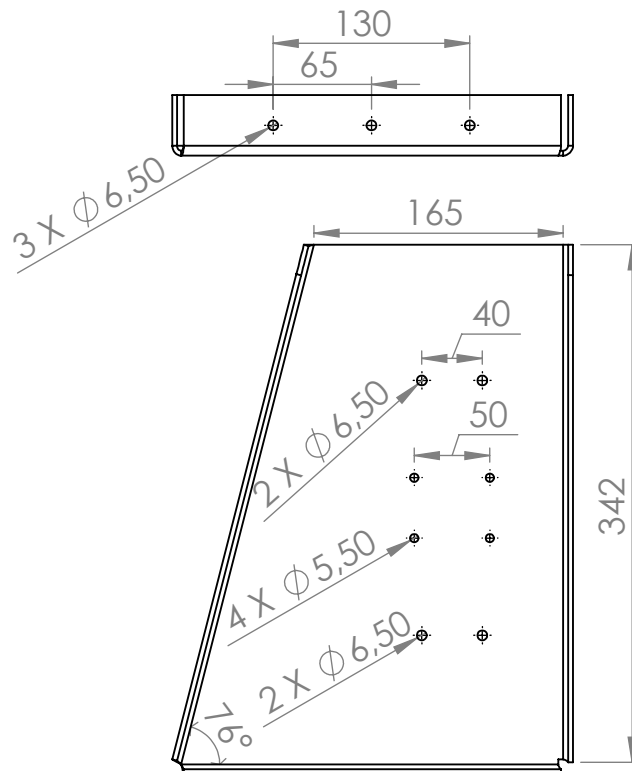
Chapa planificada




Rótulo	Direção	Ângulo
A	PARA CIMA	90°
B	PARA CIMA	90°
C	PARA CIMA	90°



DETALHE B
ESCALA 2 : 5



01	01-CHP001	01	CHAPA 11 - AÇO
Peça	Denominação e Observação	Qty.	Material e Dimensão
	Título		Projeção:
	Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:5
	Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 5 de 30

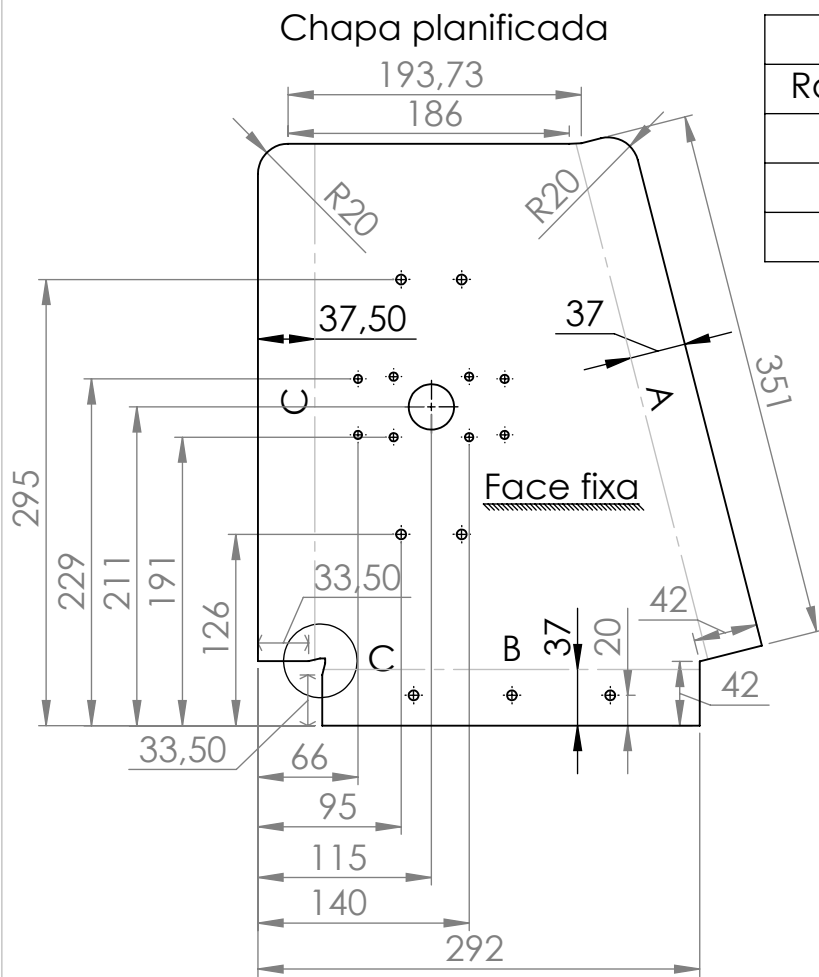
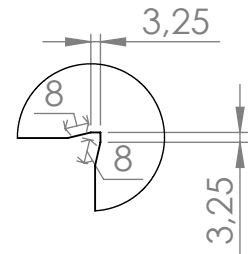
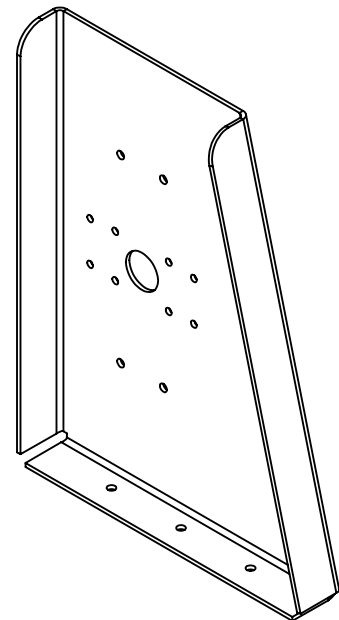
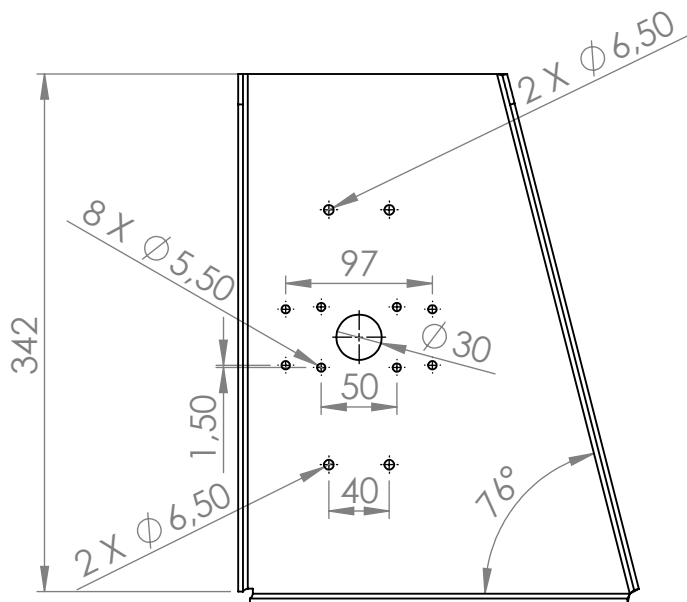
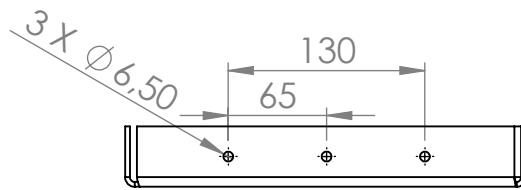


Tabela de dobras		
Rótulo	Direção	Ângulo
A	PARA CIMA	90°
B	PARA CIMA	90°
C	PARA CIMA	90°



DETALHE C
ESCALA 2 : 5



02	01-CHP002	01	CHAPA 11 - AÇO
Peça	Denominação e Observação	Qnt.	Material e Dimensão

Chapa planificada

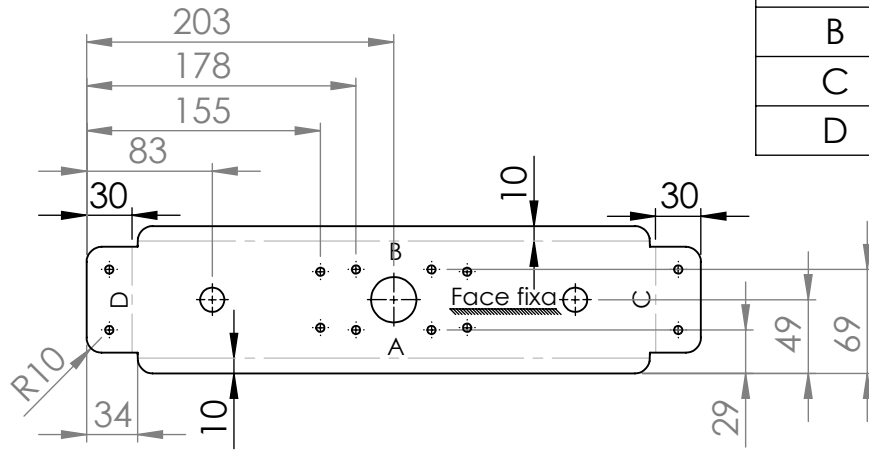
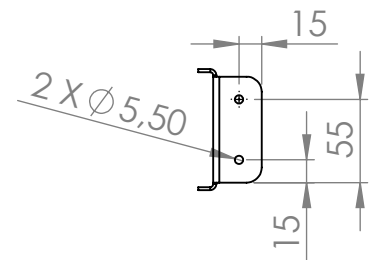
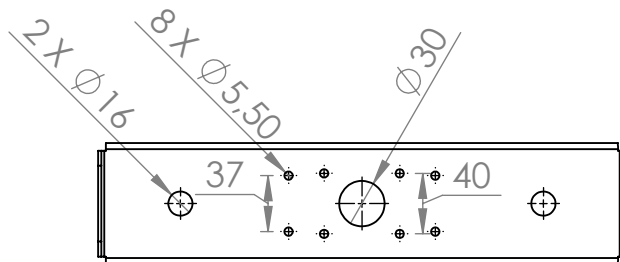
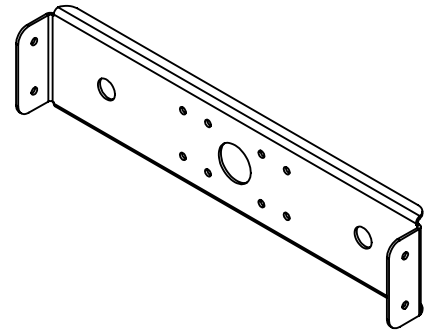
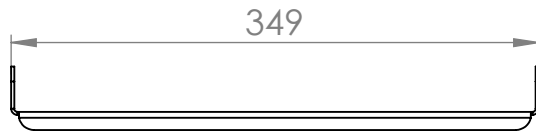

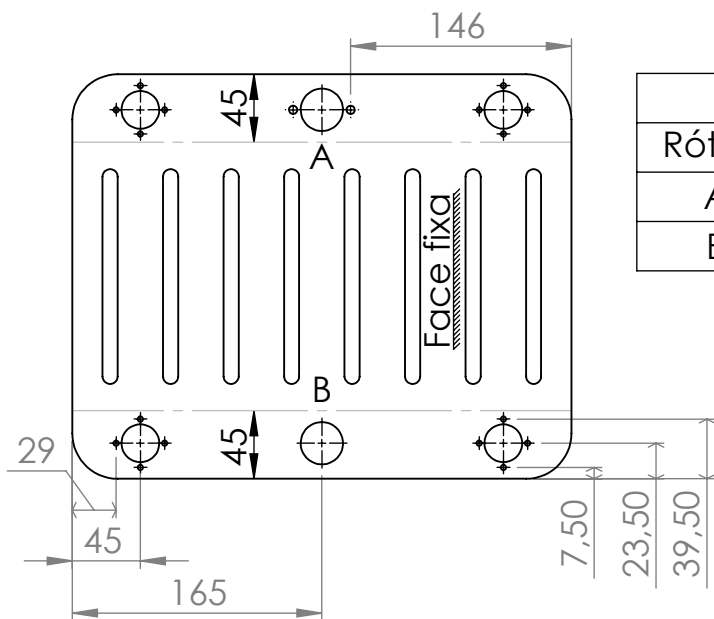


Tabela de dobras		
Rótulo	Direção	Ângulo
A	PARA CIMA	90°
B	PARA CIMA	90°
C	PARA BAIXO	90°
D	PARA BAIXO	90°

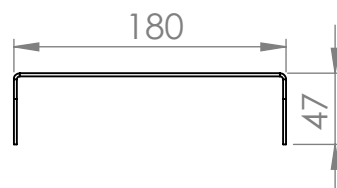
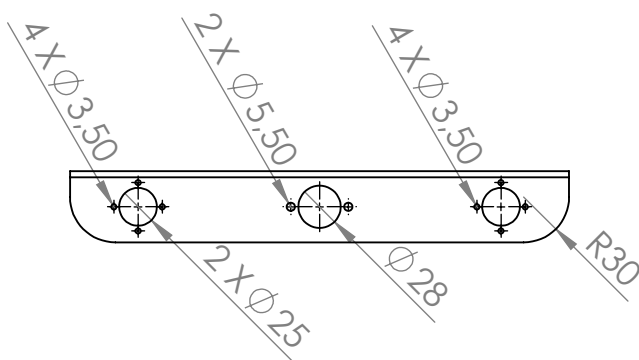
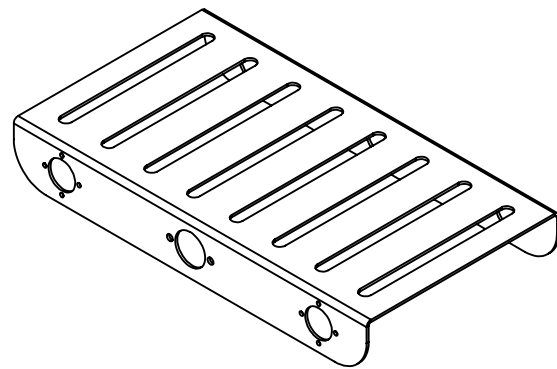
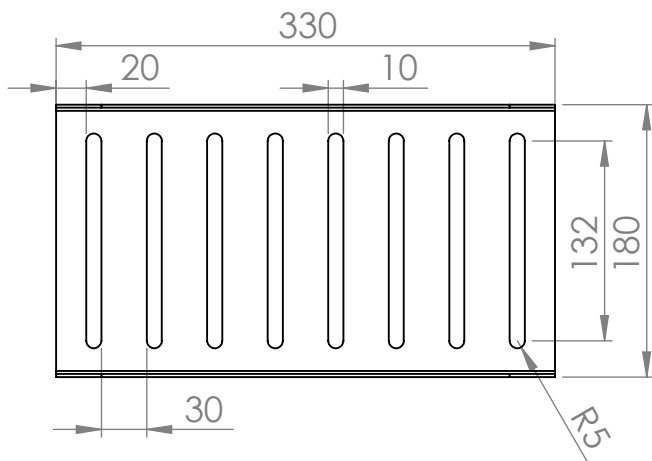


03	01-CHP003	01	CHAPA 14 - AÇO
Peça	Denominação e Observação	Qty.	Material e Dimensão
	Título		Projeção:
	Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:5
Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 7 de 30	

Chapa planificada



Rótulo	Direção	Ângulo
A	PARA BAIXO	90°
B	PARA BAIXO	90°



04	01-CHP004	01	CHAPA 14 - AÇO
Peça	Denominação e Observação	Qty.	Material e Dimensão
	Título Fresadora CNC de Bancada		Projeção: Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Sector	Engenharia Mecânica	Escala: 1:5
	Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 8 de 30

Chapa planificada

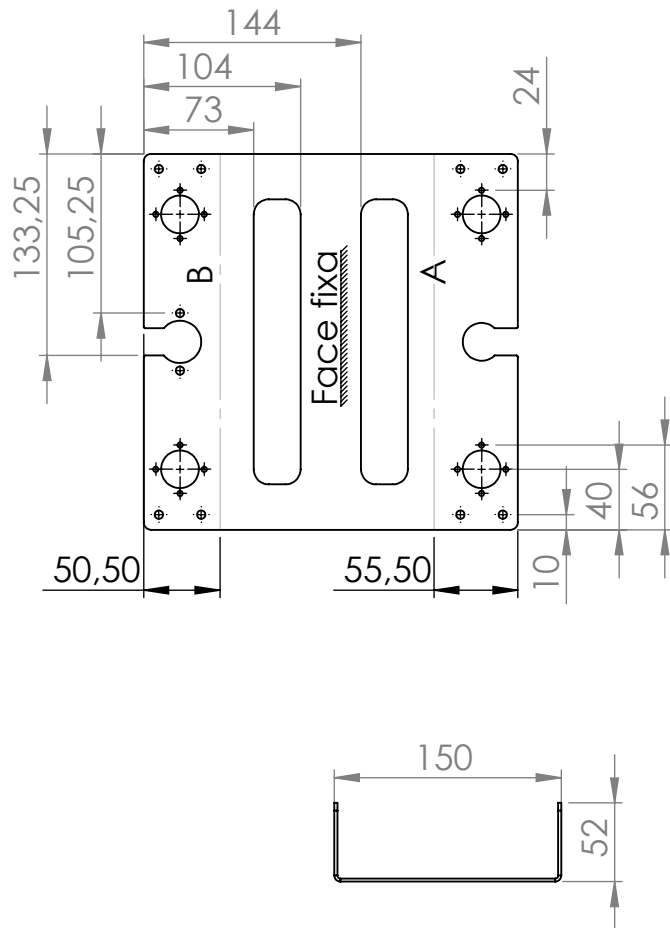
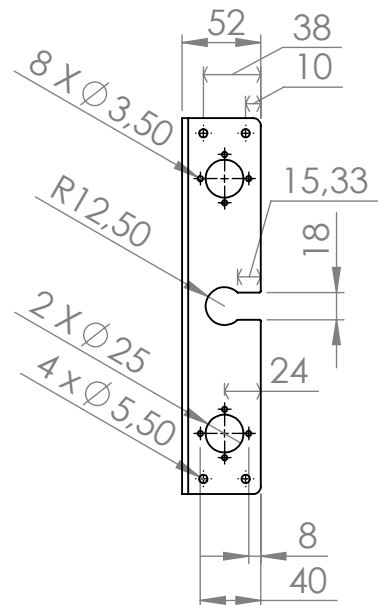
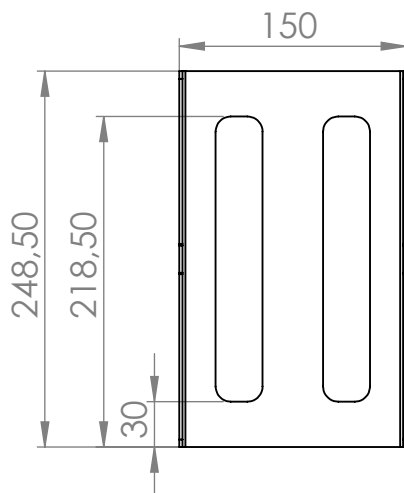
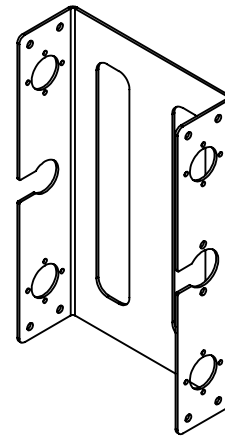
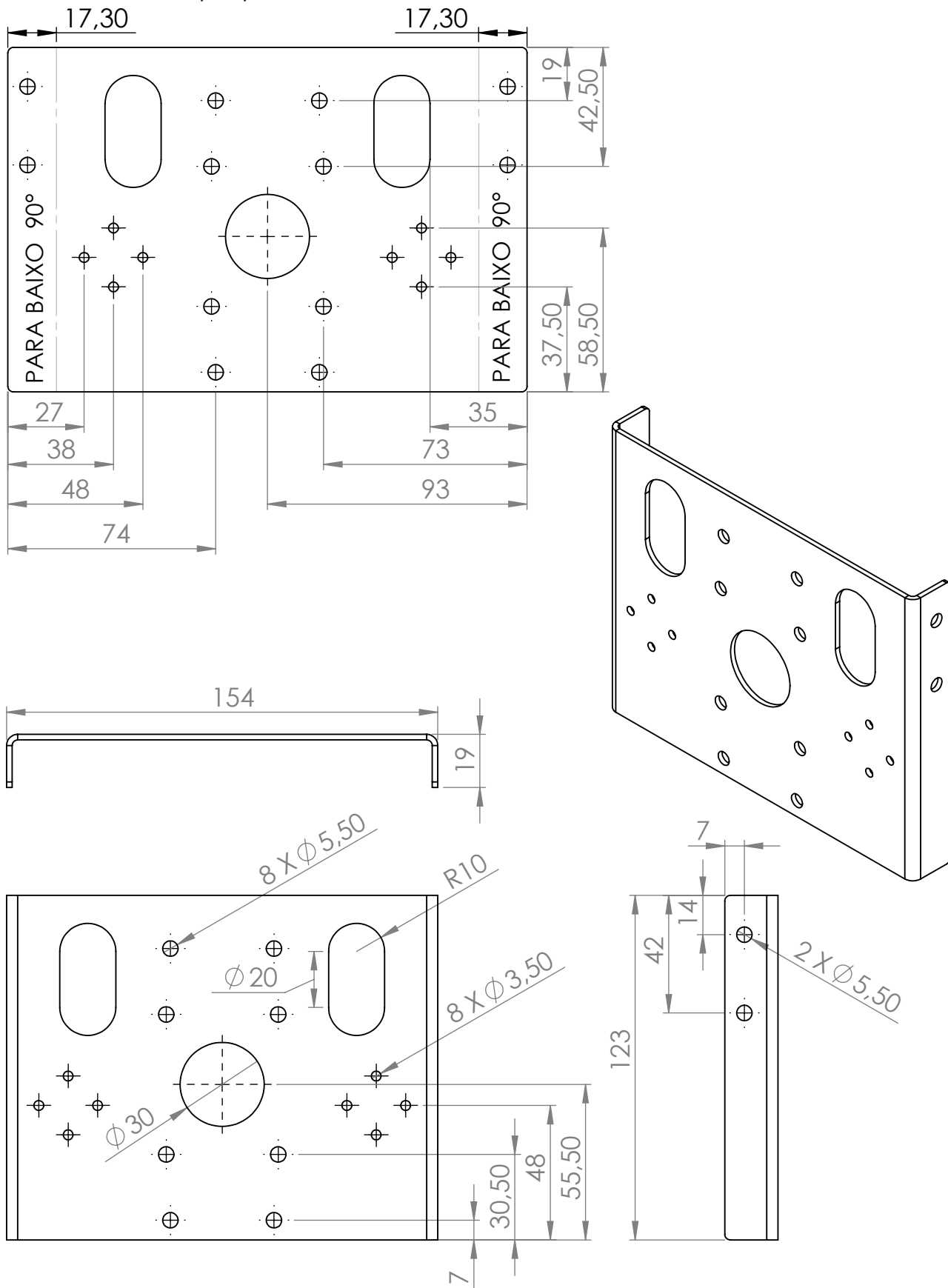


Tabela de dobras		
Rótulo	Direção	Ângulo
A	PARA BAIXO	90°
B	PARA BAIXO	90°




05	01-CHP005	01	CHAPA 14 - AÇO
Peça	Denominação e Observação	Qty.	Material e Dimensão
	Título		Projeção:
	Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:5
	Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 9 de 30

Chapa planificada



06	01-CHP006	01	CHAPA 14 - AÇO
Peça	Denominação e Observação	Qty.	Material e Dimensão

	Título		Projeção:
	Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:2
	Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 10 de 30

Chapa planificada

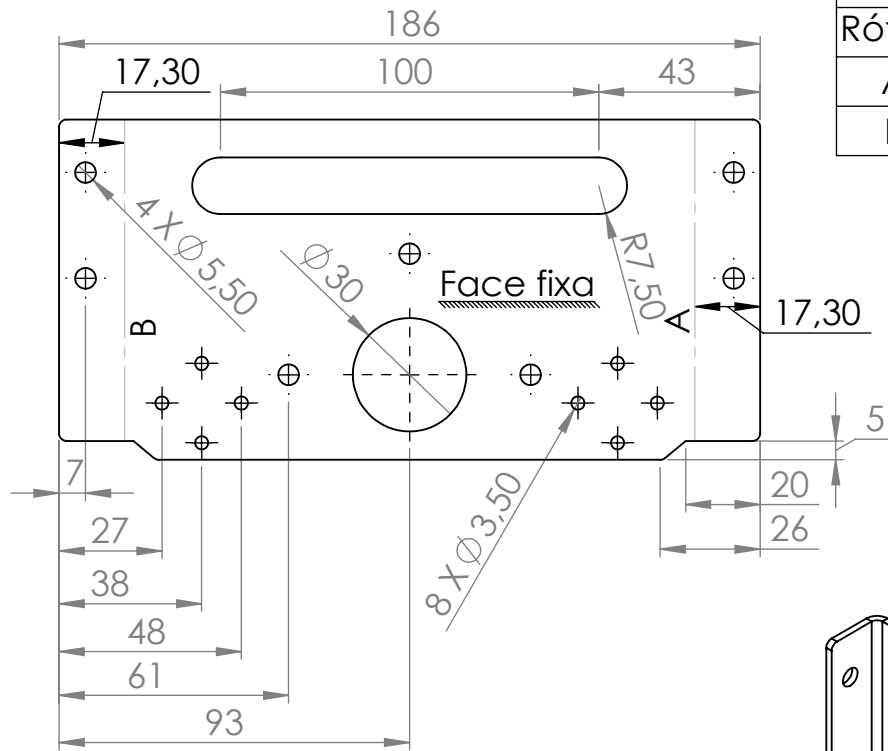
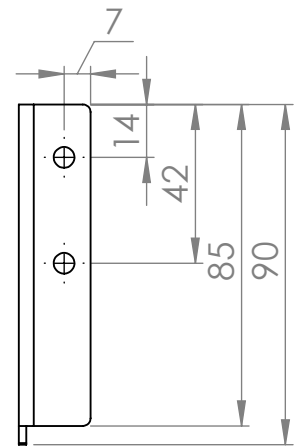
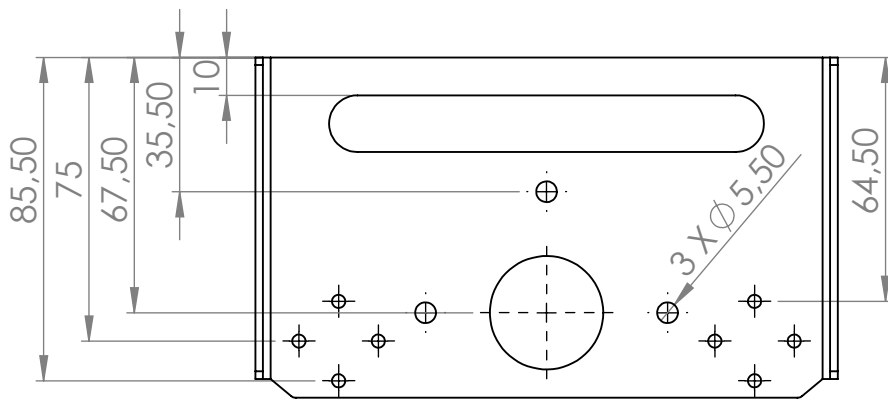
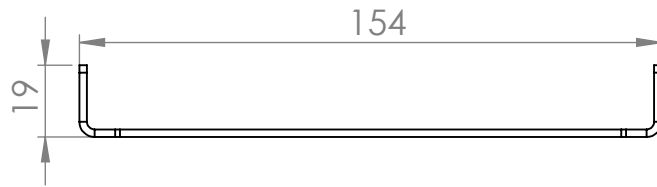
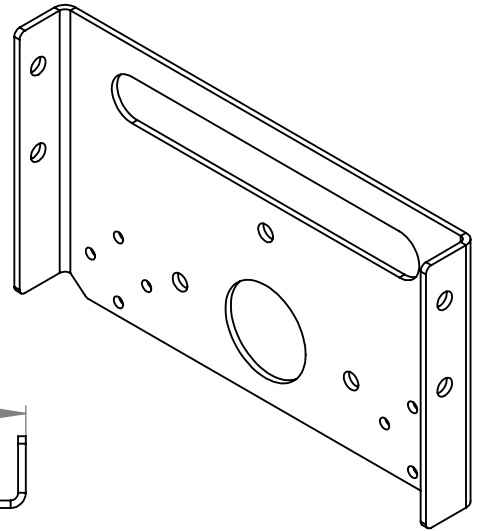


Tabela de dobras		
Rótulo	Direção	Ângulo
A	PARA CIMA	90°
B	PARA CIMA	90°



07	01-CHP007	01	CHAPA 14 - AÇO
Peça	Denominação e Observação	Qnt.	Material e Dimensão



Título		Fresadora CNC de Bancada	Projeção:
Instituto		Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Data: 15/06/2019
Setor		Engenharia Mecânica	Unidade: mm
Responsável		Fabio Oliveira	Escala: 1:2
			Folha: 11 de 30

Chapa planificada

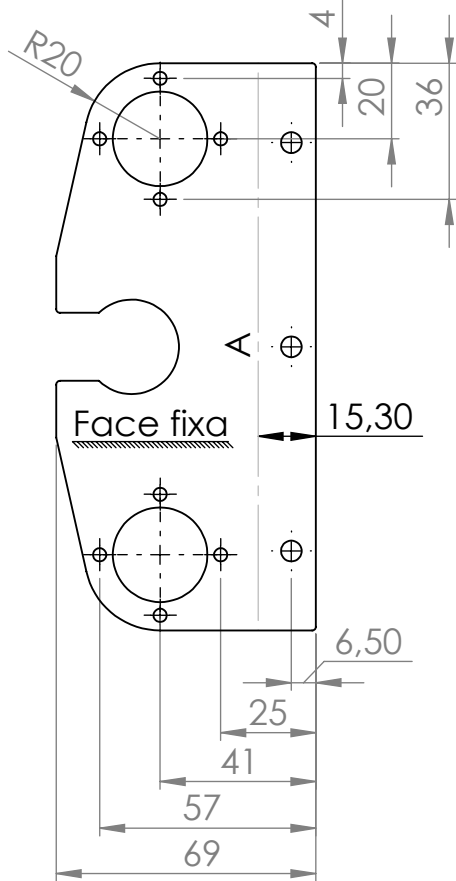
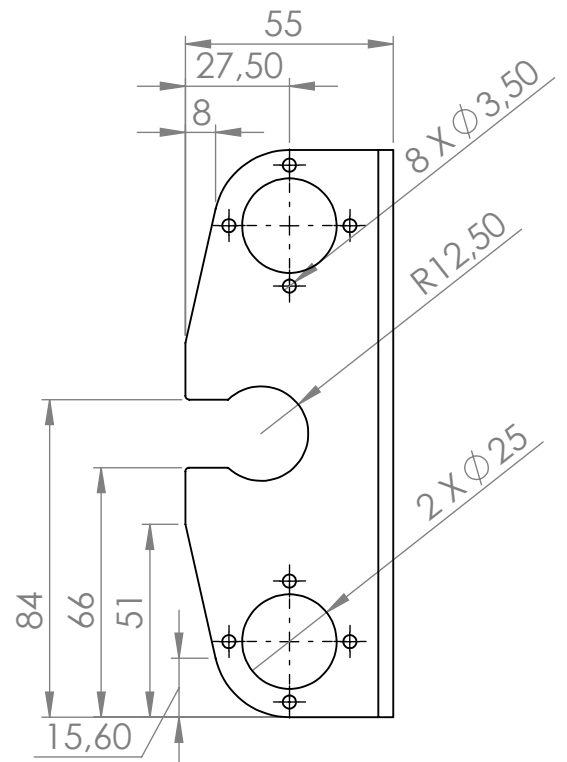
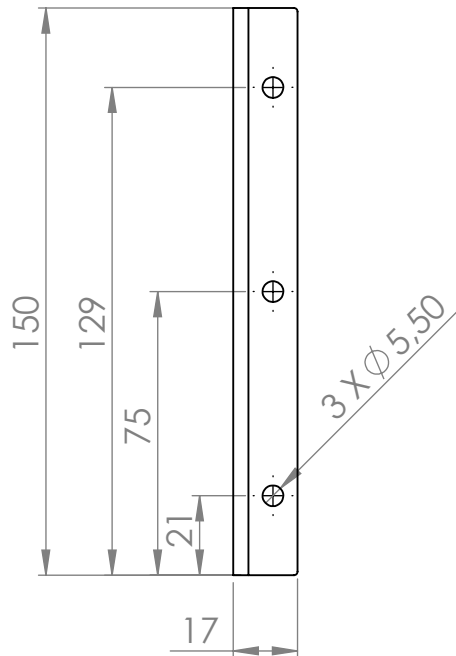
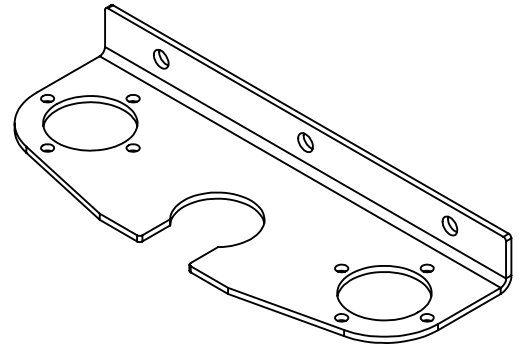



Tabela de dobras		
Rótulo	Direção	Ângulo
A	PARA BAIXO	90°



08	01-CHP008	01	CHAPA 14 - AÇO
Peça	Denominação e Observação	Qnt.	Material e Dimensão
	Título		Projeção:
	Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:2
	Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 12 de 30

Chapa planificada

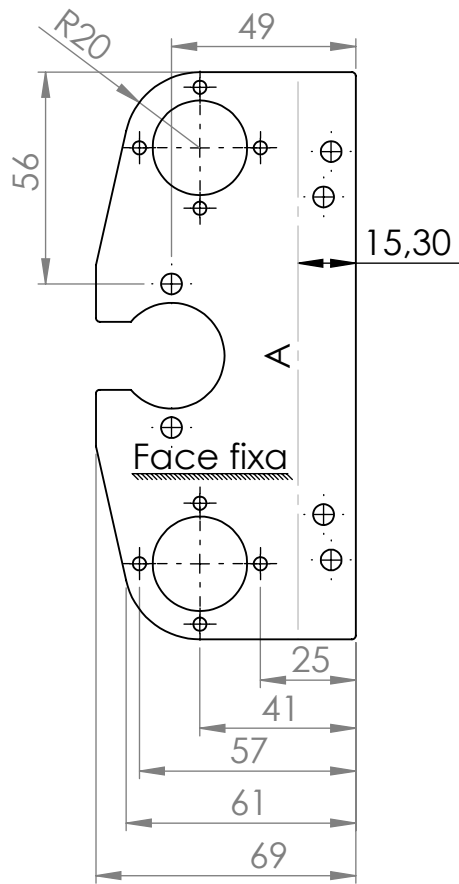
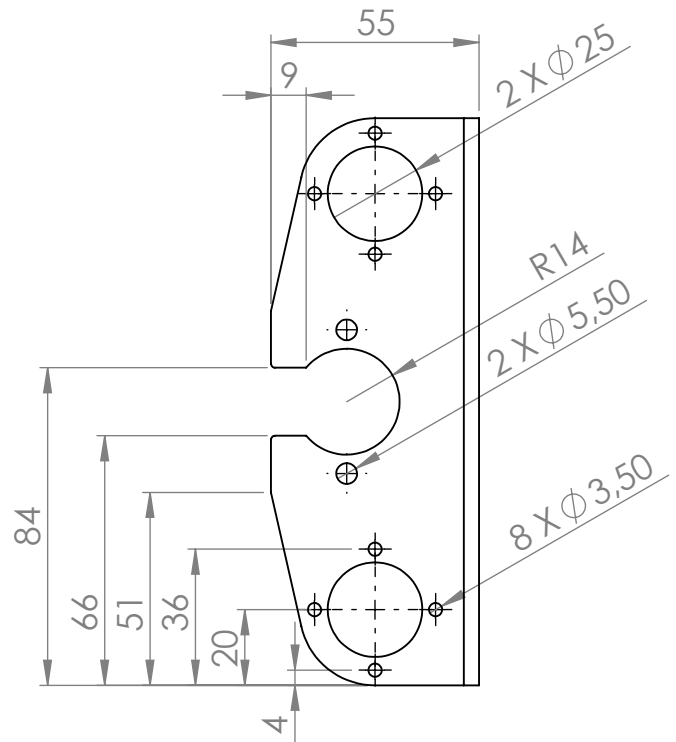
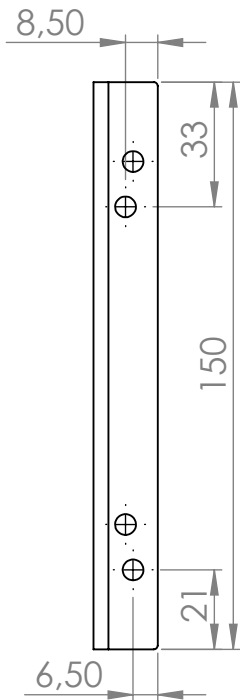
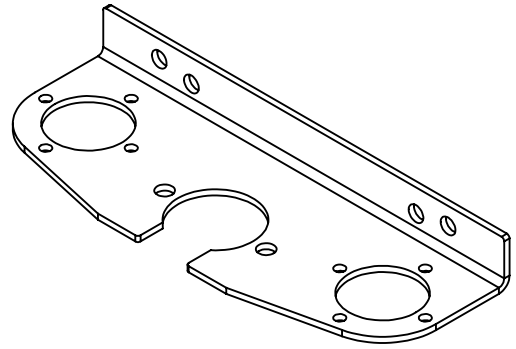



Tabela de dobras		
Rótulo	Direção	Ângulo
A	PARA BAIXO	90°



01	01-CHP009	01	CHAPA 14 - AÇO
Peça	Denominação e Observação	Qty.	Material e Dimensão
 <p>unipampa Universidade Federal do Pampa</p>	Título		Projeção:
	Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:2
Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 13 de 30	

Chapa planificada

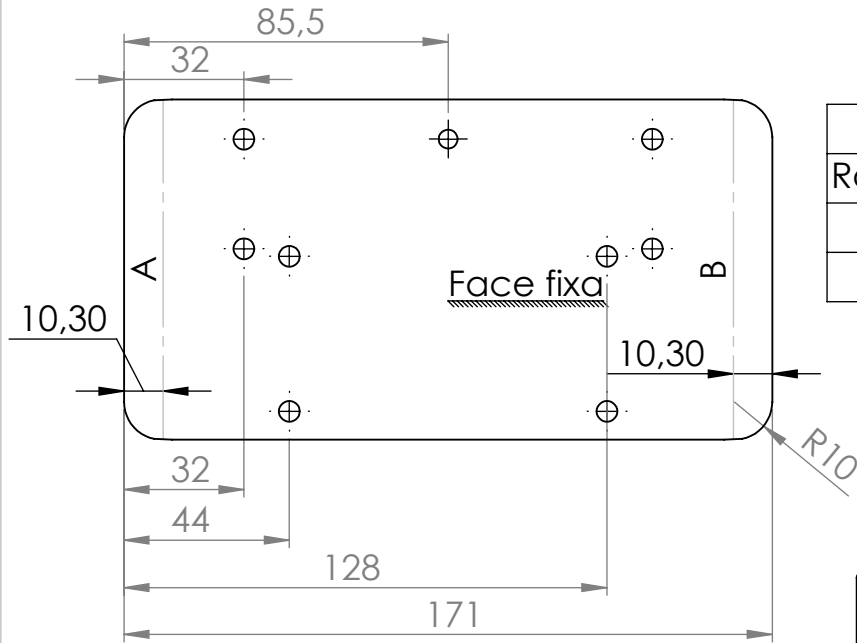
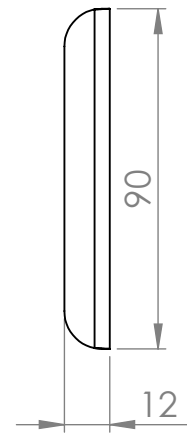
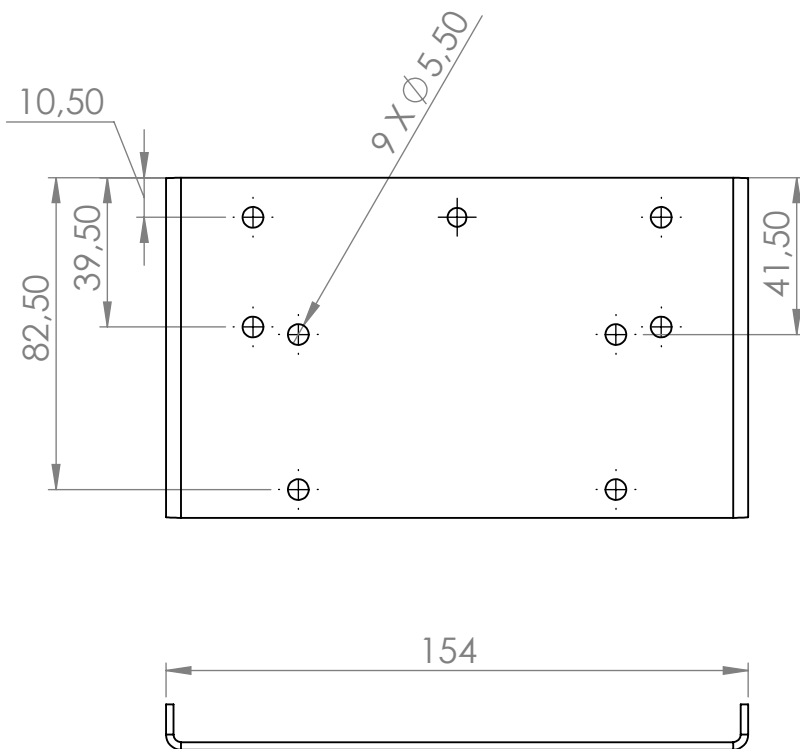
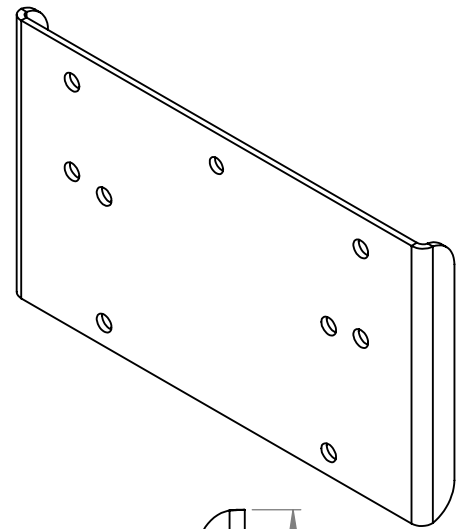


Tabela de dobras		
Rótulo	Direção	Ângulo
A	PARA BAIXO	90°
B	PARA BAIXO	90°

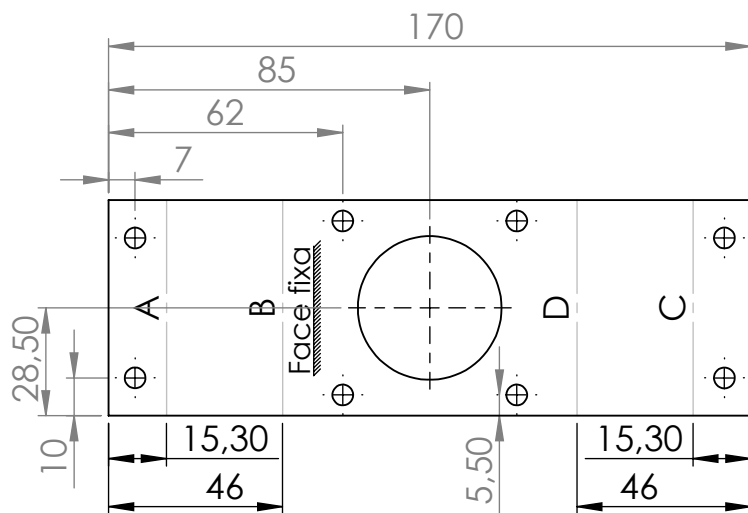


10	01-CHP010	01	CHAPA 14 - AÇO
Peça	Denominação e Observação	Qty.	Material e Dimensão

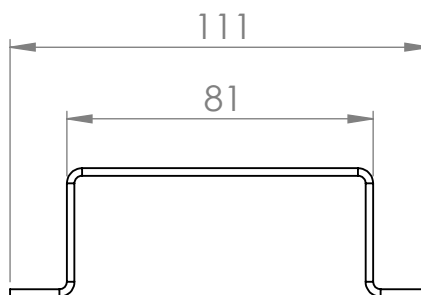
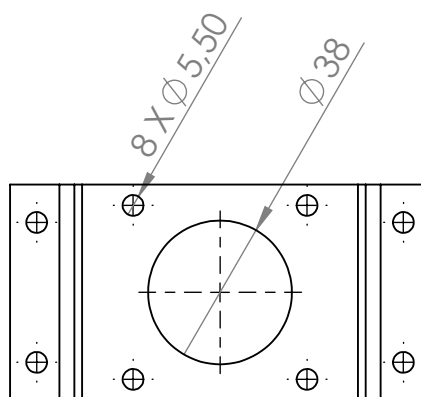
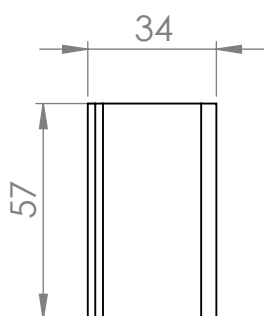
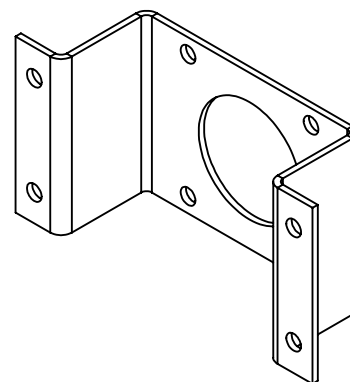


Título		Projeção:
Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:2
Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 14 de 30

Chapa planificada



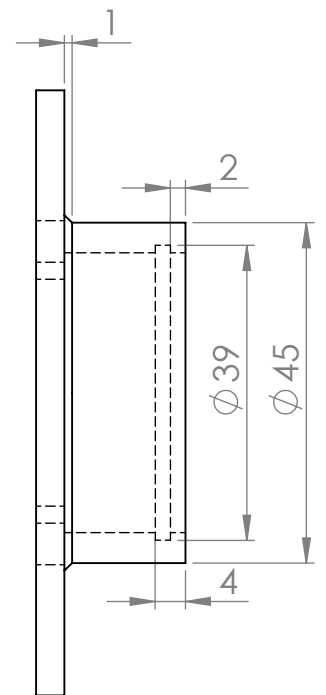
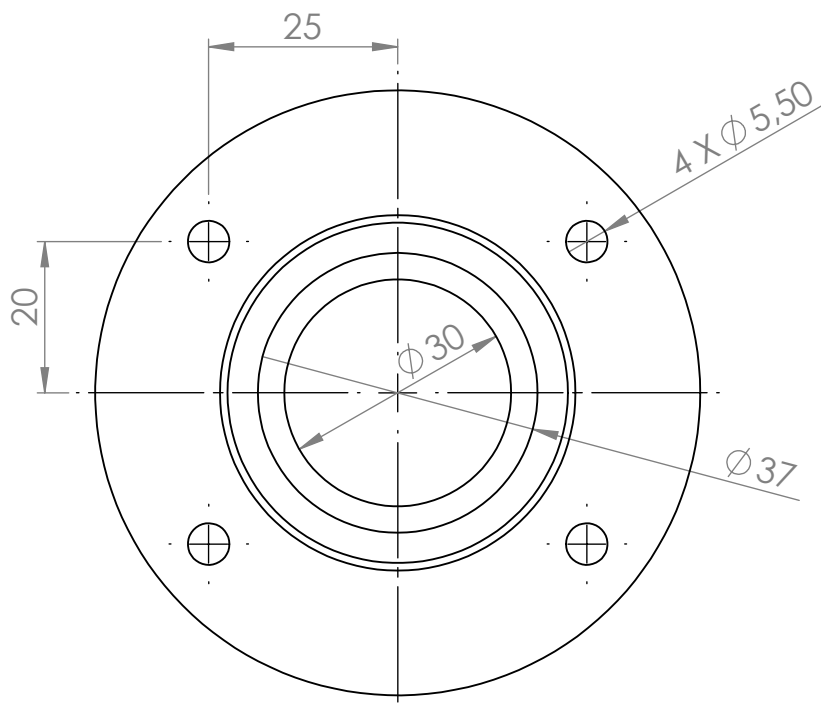
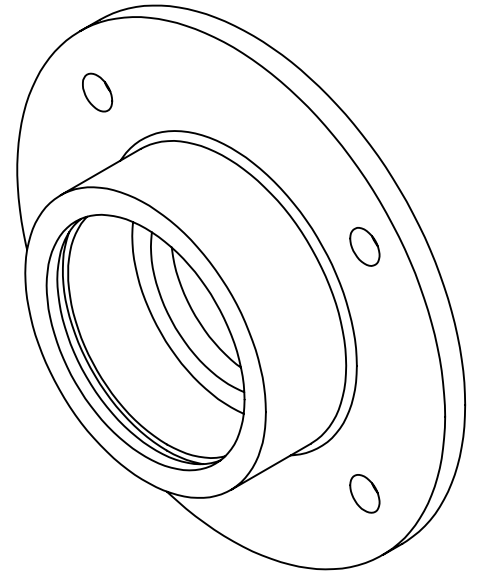
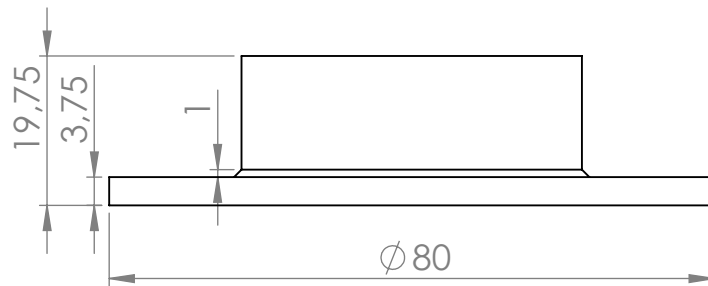
Rótulo	Direção	Ângulo
A	PARA CIMA	90°
B	PARA BAIXO	90°
C	PARA CIMA	90°
D	PARA BAIXO	90°




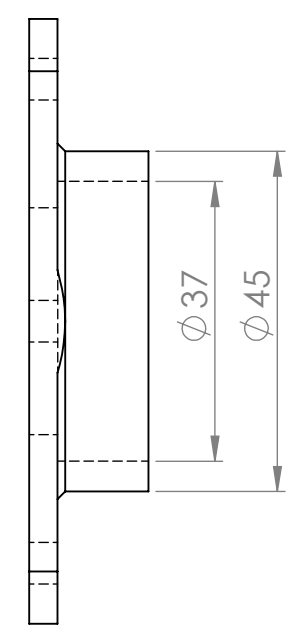
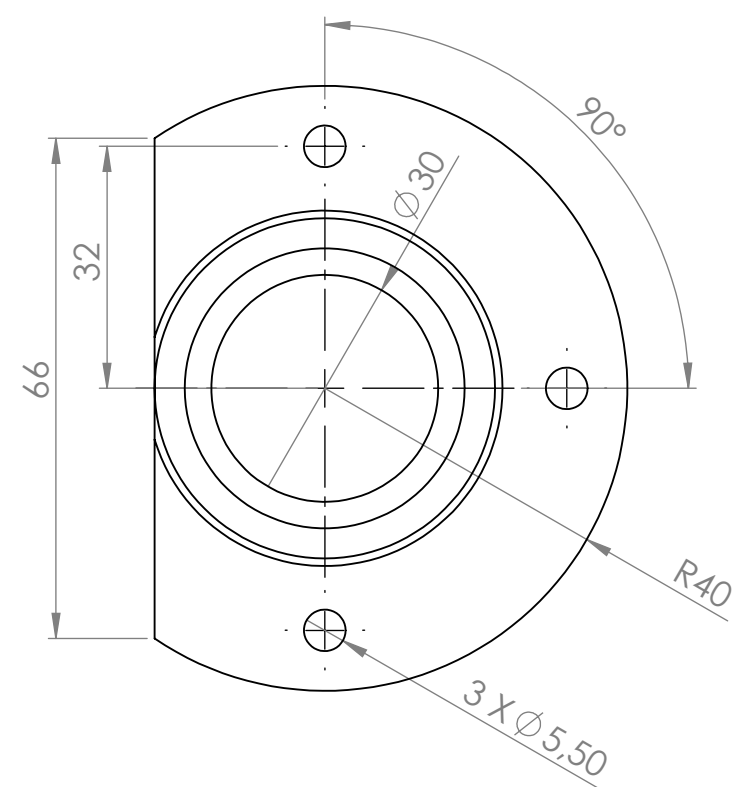
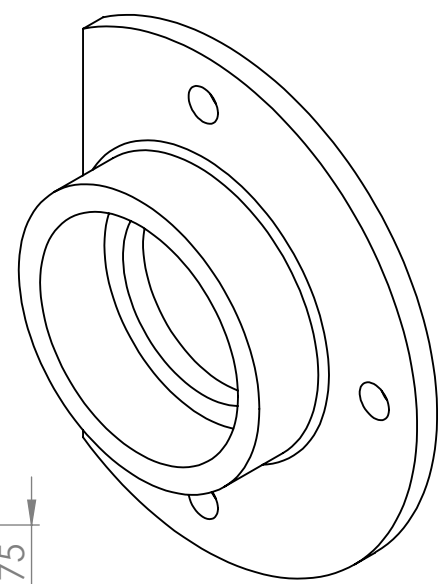
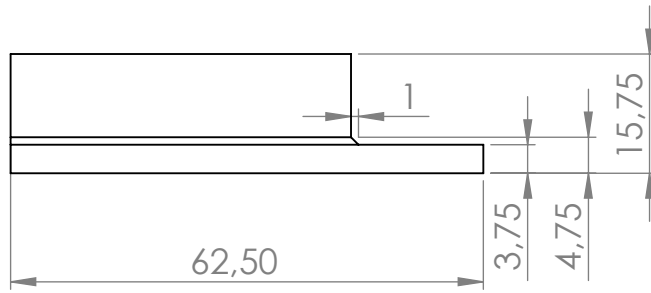
11	01-CHP011	03	CHAPA 14 - AÇO
Peça	Denominação e Observação	Qnt.	Material e Dimensão




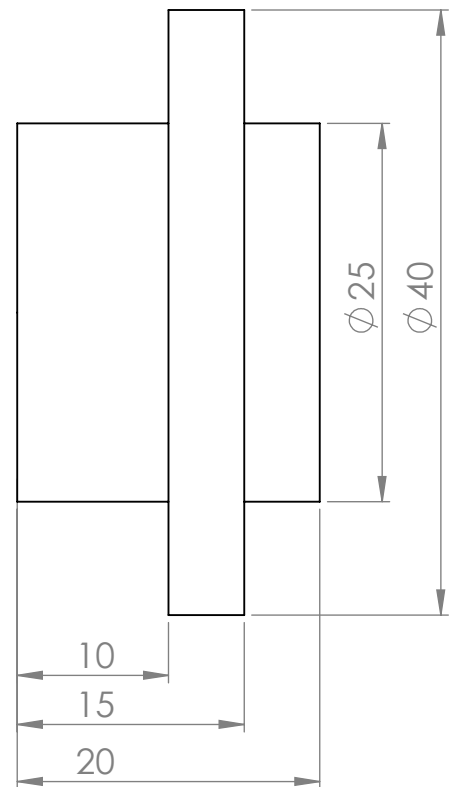
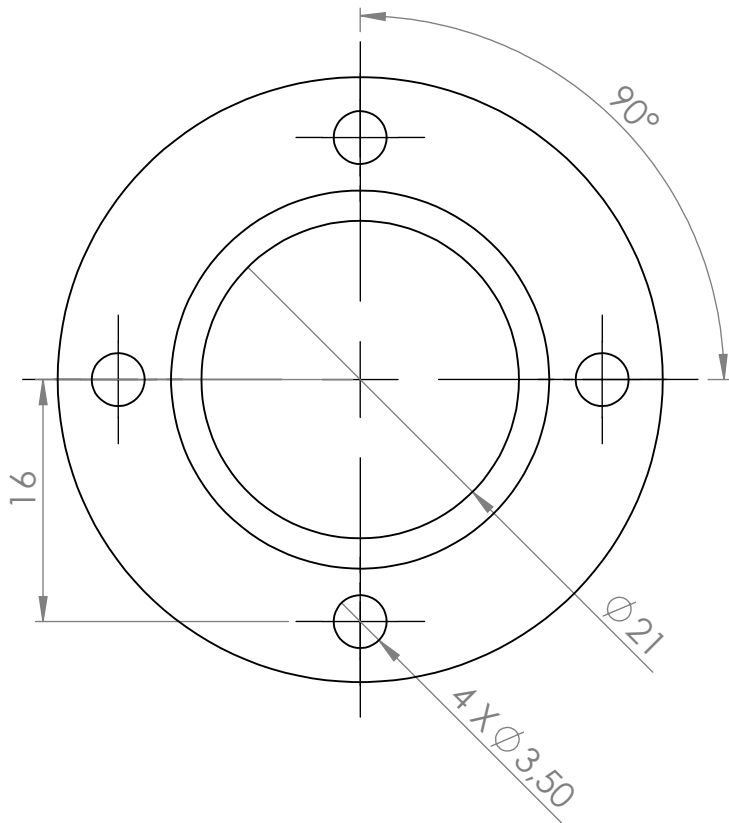
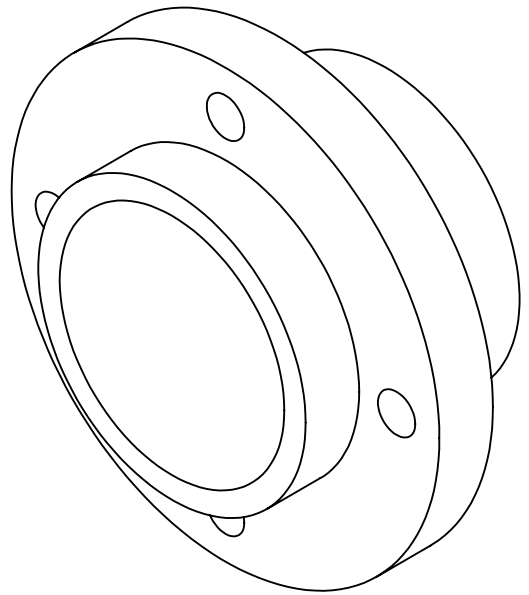
Título		Projeção:
Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:2
Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 15 de 30




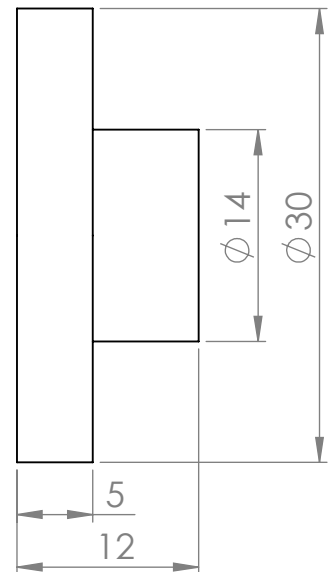
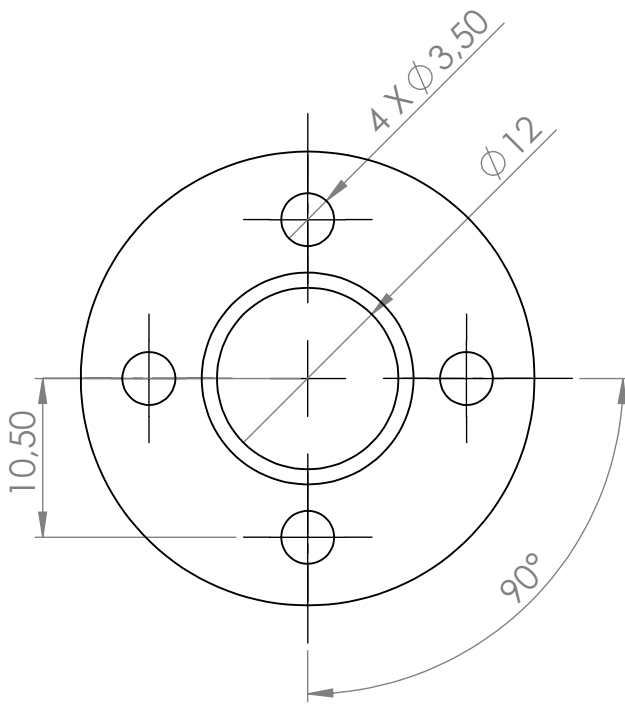
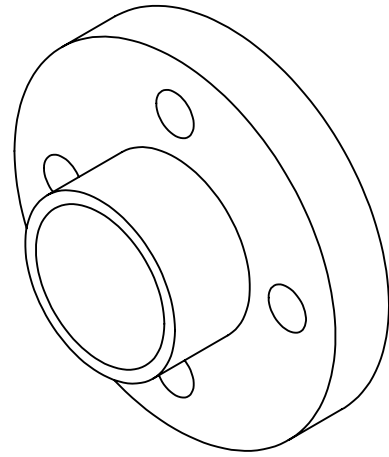
12	01-MAN001	05	AÇO 1020
Peça	Denominação e Observação	Qty.	Material e Dimensão
 Universidade Federal do Pampa	Título Fresadora CNC de Bancada		Projeção: Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:1
	Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 16 de 30




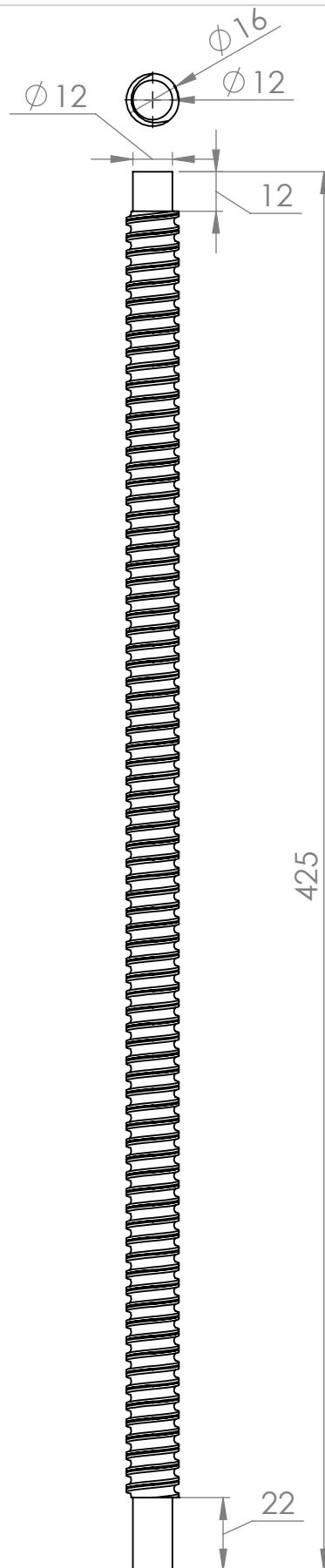
13	01-CHP013	01	AÇO 1020
Peça	Denominação e Observação	Qty.	Material e Dimensão
	Título		Projeção:
	Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:1
	Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 17 de 30




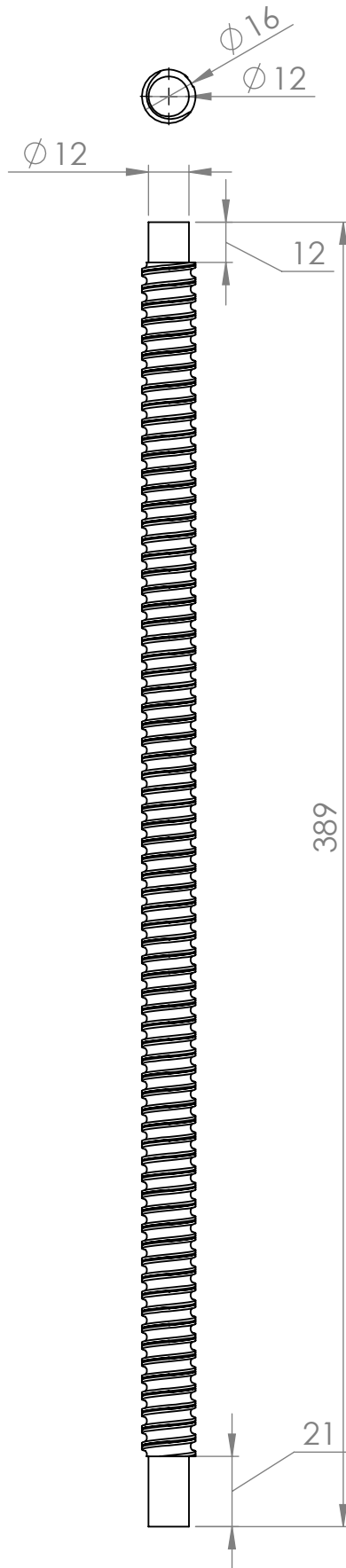
14	01-FLA001	12	AÇO 1020
Peça	Denominação e Observação	Qty.	Material e Dimensão
	Título		Projeção:
	Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 2:1
	Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 18 de 30



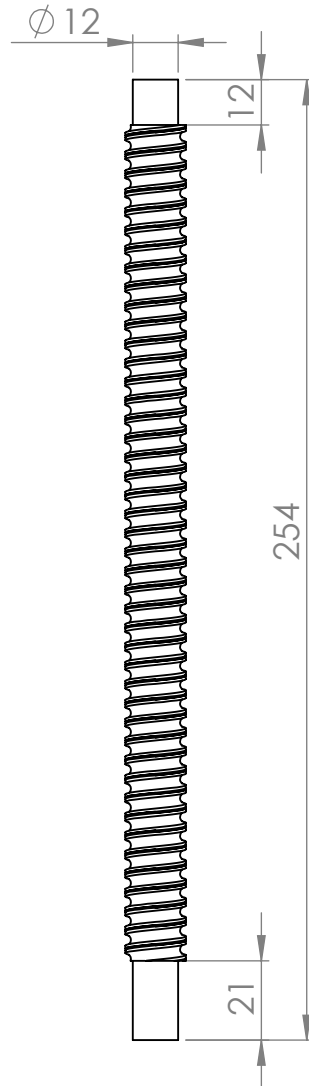
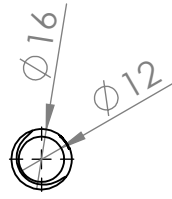
15	01-FIX001	04	AÇO 1020
Peça	Denominação e Observação	Qty.	Material e Dimensão
 Universidade Federal do Pampa	Título Fresadora CNC de Bancada		Projeção: Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 2:1
	Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 19 de 30




16	01-FUS001	01	AÇO AISI/SAE 4140
Peça	Denominação e Observação	Qty.	Material e Dimensão
	Título		Projeção:
	Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:2
Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 20 de 30	

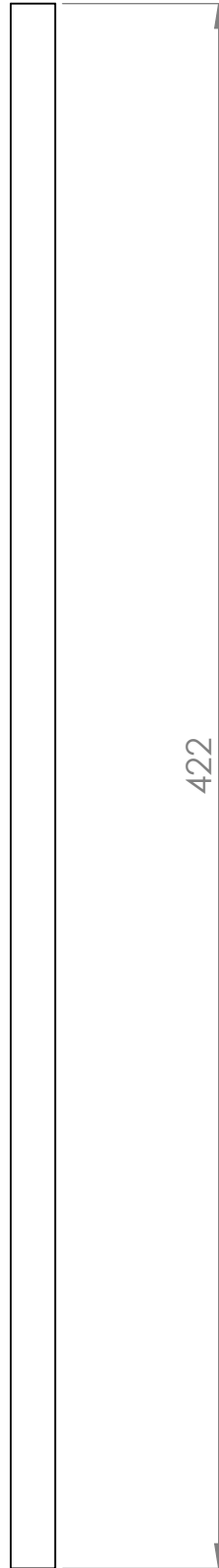



17	01-FUS002	01	AÇO AISI/SAE 4140
Peça	Denominação e Observação	Qnt.	Material e Dimensão
	Título		Projeção:
	Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:2
Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 21 de 30	

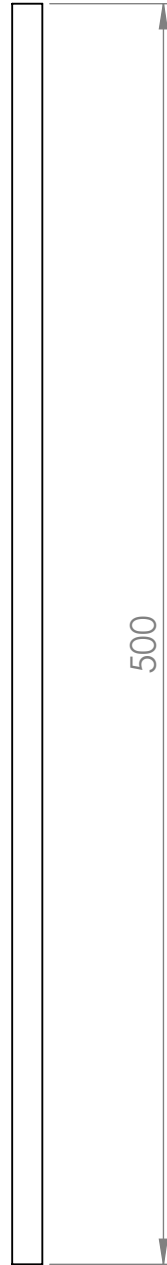
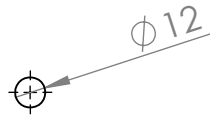


18	01-FUS003	01	AÇO AISI/SAE 4140
Peça	Denominação e Observação	Qty.	Material e Dimensão
	Título		Projeção:
	Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:2
	Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 22 de 30

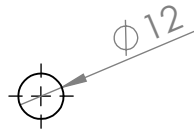
Ø 12




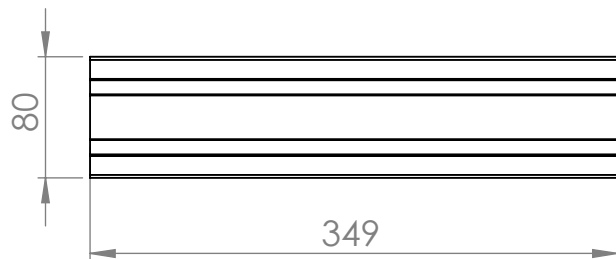
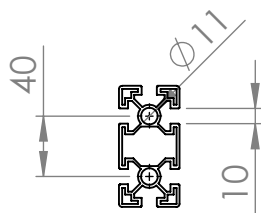
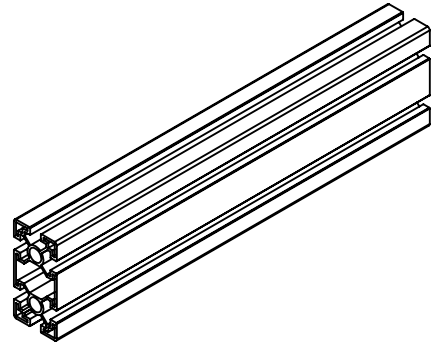
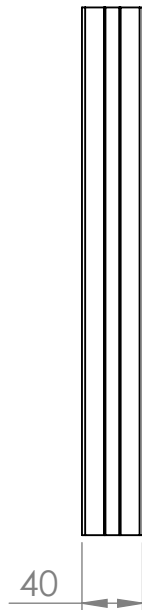
19	01-GUI001	02	AÇO ASTM 52100
Peça	Denominação e Observação	Qty.	Material e Dimensão
 Universidade Federal do Pampa	Título		Projeção:
	Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:2
Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 23 de 30	




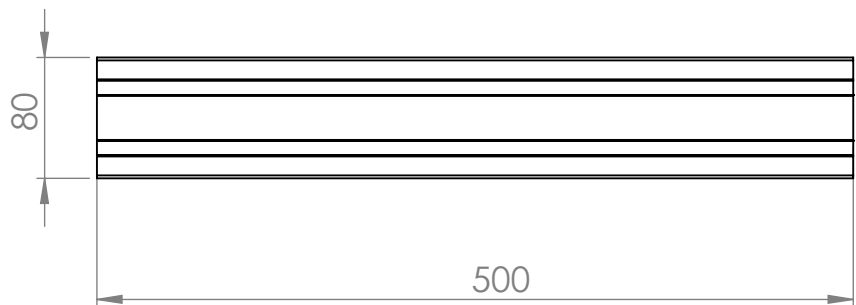
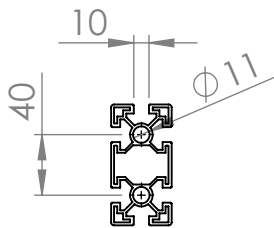
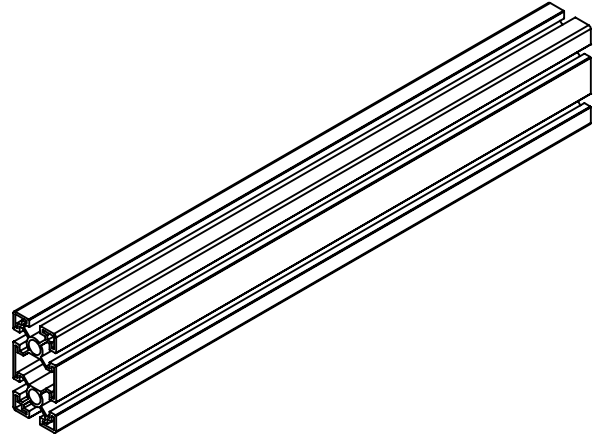
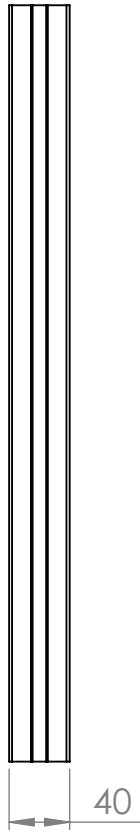
20	01-GUI002	02	AÇO ASTM 52100
Peça	Denominação e Observação	Qty.	Material e Dimensão
	Título		Projeção:
	Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:3
	Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 24 de 30




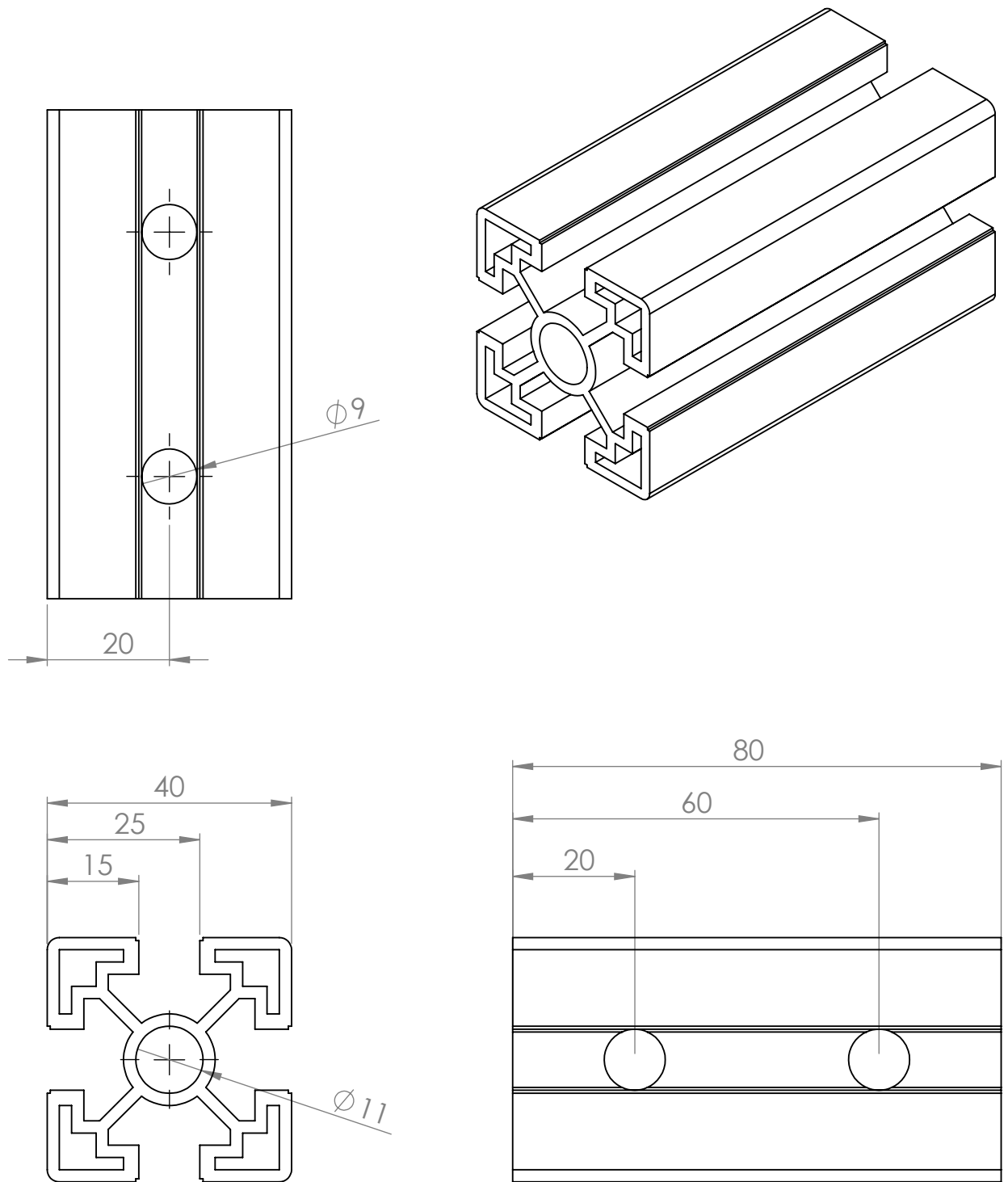
21	01-GUI003	02	AÇO ASTM 52100
Peça	Denominação e Observação	Qty.	Material e Dimensão
	Título		Projeção:
	Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:2
	Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 25 de 30




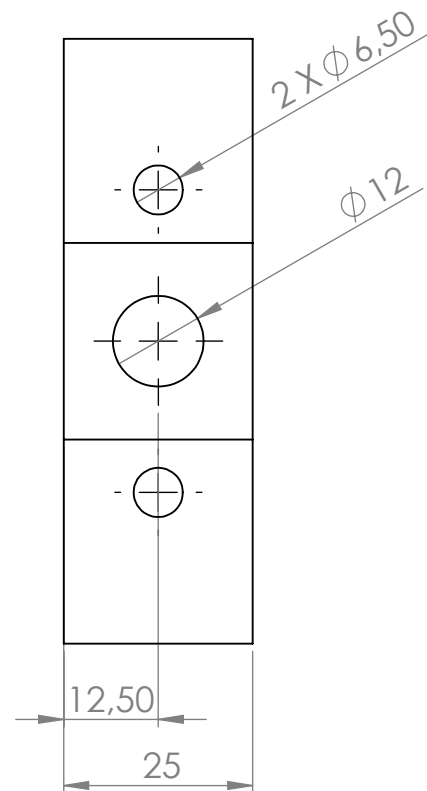
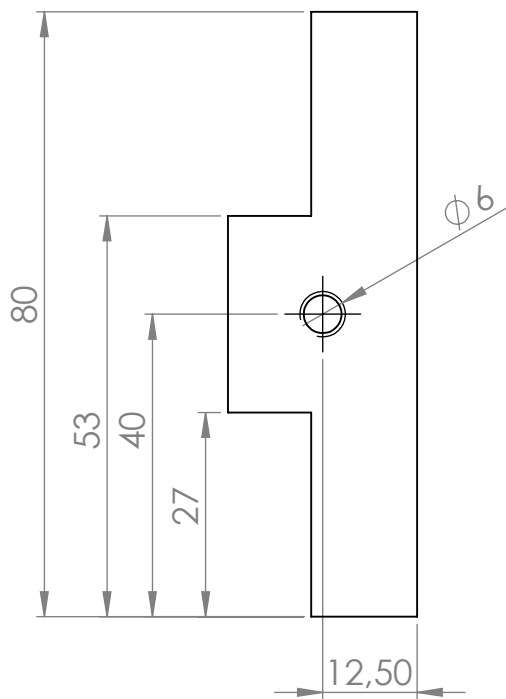
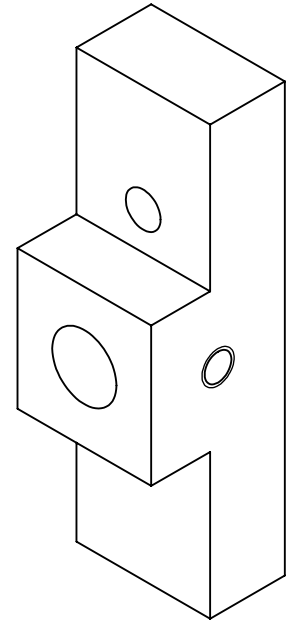
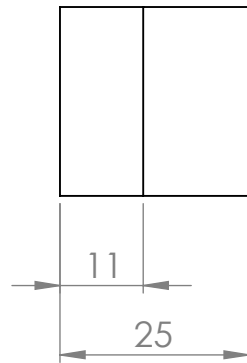
22	01-PER001	02	ALUMÍNIO
Peça	Denominação e Observação	Qty.	Material e Dimensão
	Título		Projeção:
	Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:5
	Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 26 de 30




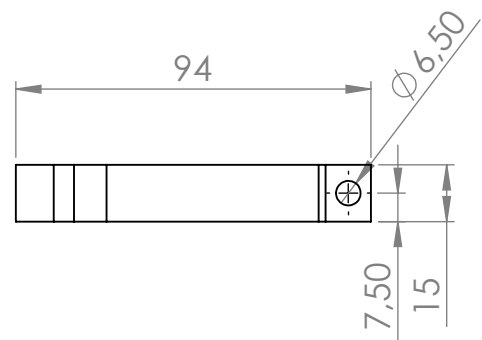
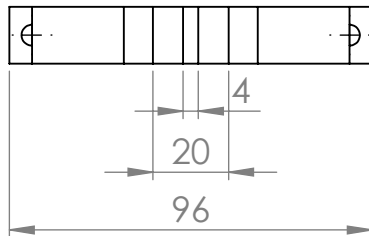
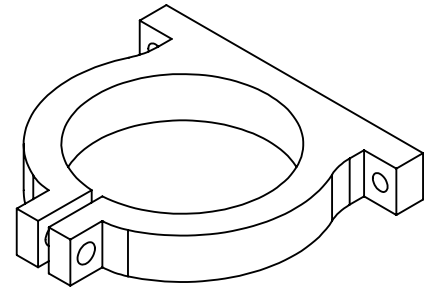
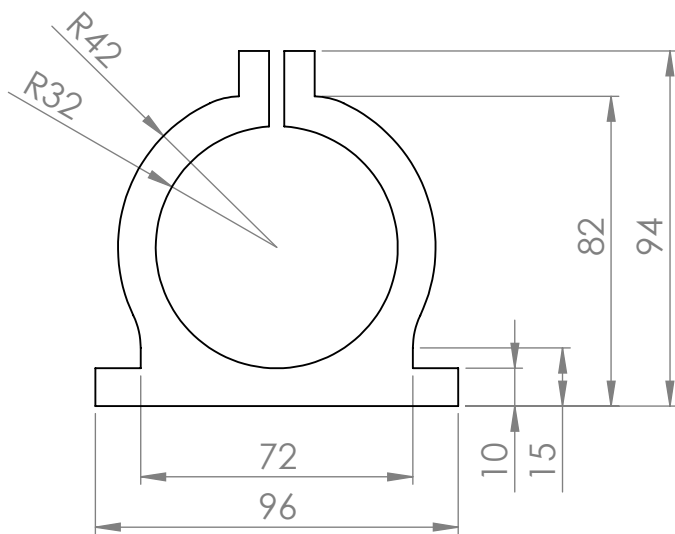
23	01-PER002	02	ALUMÍNIO
Peça	Denominação e Observação	Qty.	Material e Dimensão
	Título		Projeção:
	Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:1
	Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 27 de 30




24	01-PER003	04	ALUMÍNIO
Peça	Denominação e Observação	Qnt.	Material e Dimensão
 Universidade Federal do Pampa	Título		Projeção:
	Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:1
	Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 28 de 30



25	01-FIX002	08	ALUMÍNIO
Peça	Denominação e Observação	Qty.	Material e Dimensão
	Título		Projeção:
	Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:1
	Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 29 de 30

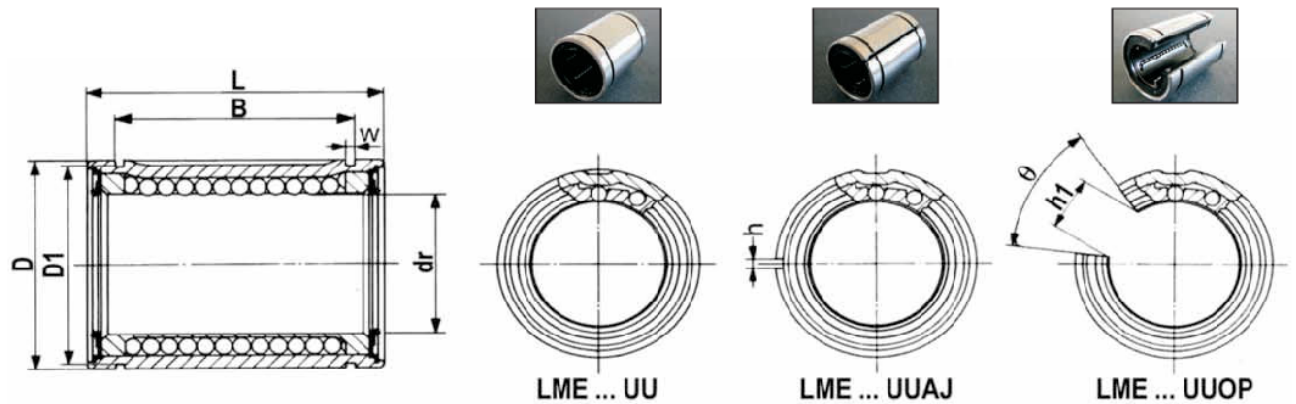


26	01-SUP001	02	PLÁSTICO ABS
Peça	Denominação e Observação	Qty.	Material e Dimensão
	Título		Projeção:
	Fresadora CNC de Bancada		Data: 15/06/2019
	Instituto	Universidade Federal do Pampa - Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:2
	Responsável	Fabio Oliveira	Folha: 30 de 30

Anexos

ANEXO A – CATÁLOGO ROLAMENTO LINEAR

Catalogo de rolamentos lineares da empresa RAC Rolamentos Lineares¹.



Ø Eixo (mm)	Código do Rolamento Linear (Bucha de Esferas)												
	Standard	Nº de circuitos	Massa (g)	Ajustável	Nº de circuitos	Massa (g)	Aberto	Nº de circuitos	Massa (g)	dr Tolerância (µm)	D Tolerância (µm)		
5	LME 5UU	4	11	LME 5UUAJ	4	11	-	-	-	5	+8 0	12	0
8	LME 8UU	4	20	LME 8UUAJ	4	20	-	-	-	8		16	-8
12	LME 12UU	4	41	LME 12UUAJ	4	41	LME 12UUOP	3	30	12	+9	22	0
16	LME 16UU	5	65	LME 16UUAJ	5	65	LME 16UUOP	4	48	16		26	-9
20	LME 20UU	5	91	LME 20UUAJ	5	91	LME 20UUOP	4	75	20	-1	32	0 -11
25	LME 25UU	6	215	LME 25UUAJ	6	215	LME 25UUOP	5	170	25		40	
30	LME 30UU	6	325	LME 30UUAJ	6	325	LME 30UUOP	5	270	30	-1	47	0 -15
40	LME 40UU	6	705	LME 40UUAJ	6	705	LME 40UUOP	5	585	40		62	
50	LME 50UU	6	1130	LME 50UUAJ	6	1130	LME 50UUOP	5	870	50	+13 -2	75	-13
60	LME 60UU	6	2200	LME 60UUAJ	6	2200	LME 60UUOP	5	1620	60		90	0 -15
80	LME 80UU	6	4295	LME 80UUAJ	6	4295	LME 80UUOP	5	3675	80	+16 -4	120	0 -15

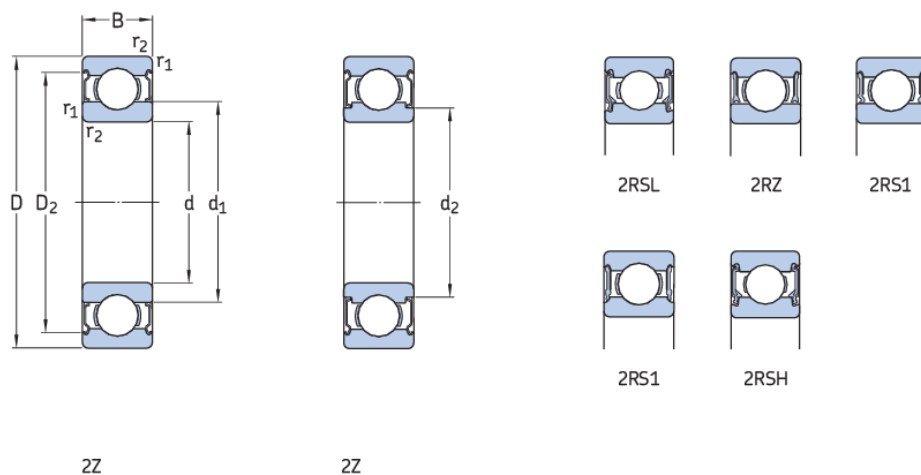
Ø Eixo (mm)	Dimensões (mm)								Folga Radial Máx.(µm)	Capacidade Carga		Excentricidade Máx.(µm)	
	L	Tolerância	B	Tolerância	h	h1	θ	W		D1	Dinâmica C (N)		Estática Co (N)
5	22	0	14.5	0	1	-	-	1.1	11.5	-5	206	265	12
8	25	-0.2	16.5	-0.2	1	-	-	1.1	15.2	-5	265	402	
12	32	0 -0.2	22.9	0 -0.2	1.5	7.5	78°	1.3	21	-7	510	775	12
16	36		24.9		1.5	10	78°	1.3	24.9	-7	578	892	
20	45	0 -0.3	31.5	0 -0.3	2.0	10	60°	1.6	30.3	-9	863	1370	15
25	58		44.1		2.0	12.5	60°	1.85	37.5	-9	980	1570	
30	68	0 -0.3	52.1	0 -0.3	2.0	12.5	50°	1.85	44.5	-9	1570	2750	17
40	80		60.6		3	16.8	50°	2.15	59	-13	2160	4020	
50	100	0 -0.3	77.6	0 -0.3	3	21	50°	2.65	72	-13	3820	7940	20
60	125	0 -0.4	101.7	0 -0.4	3	27.2	54°	3.15	86.5	-16	4710	10000	
80	165	0 -0.4	133.7	0 -0.4	3	36.3	50°	4.15	116	-16	10400	18000	20

¹ <http://www.racml.com.br/RolamentosLineares.php>

ANEXO B – CATÁLOGO ROLAMENTO

Catálogo de rolamentos da empresa SKF¹.

1.2 Rolamentos rígidos de uma carreira de esferas tampados d de 12 a 15 mm



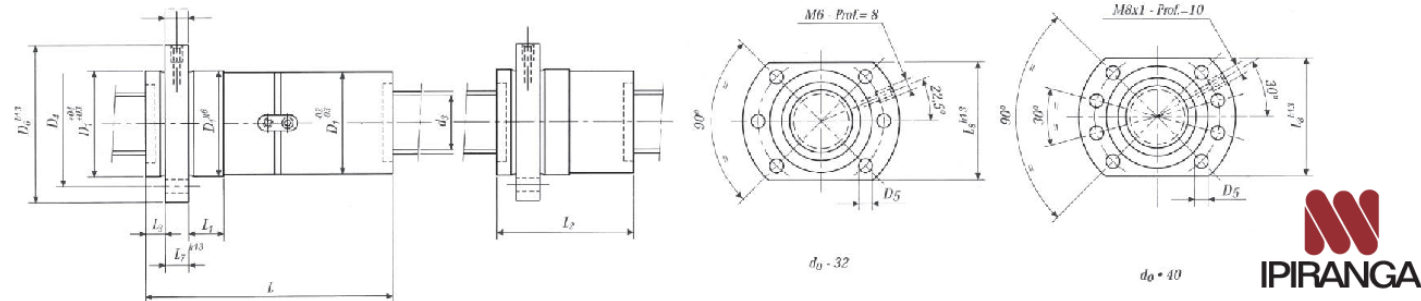
Dimensões principais	Classificações básicas de carga		Limite de carga de fadiga P_u	Classificações de velocidade		Massa	Designações			
	dinâmica	estática C_0		de referência	Velocidade-limite ¹⁾		Rolamento tapado em ambos os lados	um lado		
d	D	B	C	C_0	P_u	r/min	kg	–		
mm			kN		kN					
12 cont.	32	10	7,02	3,1	0,132	55 000	29 000	0,037	E2.6201-2Z	–
	32	10	7,28	3,1	0,132	50 000	26 000	0,039	* 6201-2Z	* 6201-Z
	32	10	7,28	3,1	0,132	50 000	26 000	0,038	* 6201-2RSL	* 6201-RSL
	32	10	7,28	3,1	0,132	–	15 000	0,038	* 6201-2RSH	* 6201-RSH
	32	14	6,89	3,1	0,132	–	15 000	0,045	62201-2RS1	–
	37	12	9,95	4,15	0,176	49 000	25 000	0,06	E2.6301-2Z	–
	37	12	10,1	4,15	0,176	45 000	22 000	0,063	* 6301-2Z	* 6301-Z
	37	12	10,1	4,15	0,176	45 000	22 000	0,06	* 6301-2RSL	* 6301-RSL
	37	12	10,1	4,15	0,176	–	14 000	0,06	* 6301-2RSH	* 6301-RSH
	15	24	5	1,9	1,1	0,048	60 000	30 000	0,0074	61802-2Z
	24	5	1,9	1,1	0,048	–	17 000	0,0074	61802-2RS1	–
	28	7	4,36	2,24	0,095	56 000	28 000	0,016	61902-2Z	–
	28	7	4,36	2,24	0,095	56 000	28 000	0,016	61902-2RZ	–
	28	7	4,36	2,24	0,095	–	16 000	0,016	61902-2RS1	–
	32	8	5,85	2,85	0,12	50 000	26 000	0,025	* 16002-2Z	* 16002-Z
	32	9	5,53	2,75	0,118	55 000	28 000	0,03	E2.6002-2Z	–
	32	9	5,85	2,85	0,12	50 000	26 000	0,032	* 6002-2Z	* 6002-Z
	32	9	5,85	2,85	0,12	50 000	26 000	0,03	* 6002-2RSL	* 6002-RSL
	32	9	5,85	2,85	0,12	–	14 000	0,03	* 6002-2RSH	* 6002-RSH
	32	13	5,59	2,85	0,12	–	14 000	0,039	63002-2RS1	–
	35	11	7,8	3,75	0,16	47 000	25 000	0,045	E2.6202-2Z	–
	35	11	8,06	3,75	0,16	43 000	22 000	0,048	* 6202-2Z	* 6202-Z
	35	11	8,06	3,75	0,16	43 000	22 000	0,046	* 6202-2RSL	* 6202-RSL
	35	11	8,06	3,75	0,16	–	13 000	0,046	* 6202-2RSH	* 6202-RSH
	35	14	7,8	3,75	0,16	–	13 000	0,054	62202-2RS1	–
	42	13	11,4	5,3	0,224	41 000	21 000	0,083	E2.6302-2Z	–
	42	13	11,9	5,4	0,228	38 000	19 000	0,086	* 6302-2Z	* 6302-Z
	42	13	11,9	5,4	0,228	38 000	19 000	0,085	* 6302-2RSL	* 6302-RSL
	42	13	11,9	5,4	0,228	–	12 000	0,085	* 6302-2RSH	* 6302-RSH
	42	17	11,4	5,4	0,228	–	12 000	0,11	62302-2RS1	–

¹ <https://www.skf.com/br/products/index.html>

ANEXO C – CATÁLOGO FUSO DE ESFERAS

Catálogo de fusos de esferas laminado da empresa **IBATECH - Technology e control**¹.

Tabela de medidas



Referencia Reference Reference Riferimento Referenz		Ø Nominal Ø Nominal Ø Nominal Ø Nominale Ø Nenn	Paso Pitch Pas Passo Steigung	Ø Bolas Ø Ball Ø Billes Ø Sfere Ø Kugel	Circuitos Circuits Circuits Circuiti Umläufe	Diámetros Diameters Diamètres Diametri Durchmesser					Longitudes Lengths Longueurs Longhezze Längen					Cargas Loads Charges Carichi Tragzahl		Rigidez Rigidity Rigidite Rigidità Steffigkeit		
Tuerca única Single nut Ecrou simple Chiocciola singola Einzel - Mutter	Tuerca doble Double nut Ecrou double Doppia Chiocciola Doppel - Mutter	d ₀	P _{h0}	D _w	i	d ₃	D ₁	D ₄	D ₅	D ₆	L	L ₁	L ₂	L ₃	L ₇	L ₈	Dinámica Dynamic Dynamique Dinamica Dynamische C _{am} (KN)	Estática Static Statique Statica Statische C _{cam} (KN)	Husillo por metro Screw per meter Vis par mètre Vite per metro Spindel per Meter R _{sm} (N/µm)	Tuerca doble Double nut Ecrou double Doppia Chiocciola Doppel - Mutter R _{nu} (N/µm)
1.016.05.4.3	2.016.05.4.3	16	5	3,969	3	13,4	28	38	5,5	48	84	10	49	5,5	10	40	14,7	21.1	35	340
1.020.05.4.3	2.020.05.4.3	20	5	3,969	3	17,4	36	47	6,6	58	84	10	49	5,5	10	44	16,9	27.4	57	450
1.025.05.4.3	2.025.05.4.3	25	5	3,969	3	22,4	40	51	6,6	62	85	10	50	6	10	48	19,4	35.8	92	500
1.025.10.5.3	2.025.10.5.3		10	4,762	3	21,75	40	51	6,6	62	132	10	74	6	10	48	23,3	39.4	89	550
1.025.15.5.3	2.025.15.5.3		15	4,762	3	21,75	40	51	6,6	62	169	10	94	6	10	48	21,9	36.2	89	550
1.032.05.4.4	2.032.05.4.4	32	5	3,969	4	29,4	50	65	9	80	98	10	57	6	12	62	27,9	61.7	154	850
1.032.10.6.3	2.032.10.6.3		10	6,35	3	27,66	50	65	9	80	138	20	76	6	12	62	37,5	65	145	700
1.032.15.6.3	2.032.15.6.3		15	6,35	3	27,66	56	71	9	86	176	20	103	6	14	65	35,3	59.7	145	700
1.032.20.5.3	2.032.20.5.3		20	4,762	3	28,75	56	71	9	86	208	20	122	6	14	65	28,9	59.3	151	700
1.032.25.5.2	2.032.25.5.2		25	4,762	2	28,75	56	71	9	86	177	20	106	6	14	65	19,5	37.3	151	500
1.040.05.4.4	2.040.05.4.4	40	5	3,969	4	37,4	63	78	9	93	102	10	61	7	14	70	31,6	81.3	246	950
1.040.05.4.5	2.040.05.4.5				5						112		66				101.6	1200		
1.040.10.6.3	2.040.10.6.3	40	10	6,35	3	35,66	63	78	9	93	141	20	81	7	14	70	45,1	91.4	233	800
1.040.10.6.4	2.040.10.6.4				4						163		92				122	1000		
1.040.10.6.5	2.040.10.6.5				5						185		103				152.4	1250		

¹ <http://www.imatech.com.br/catalogos>

ANEXO D – CATÁLOGO FRESA

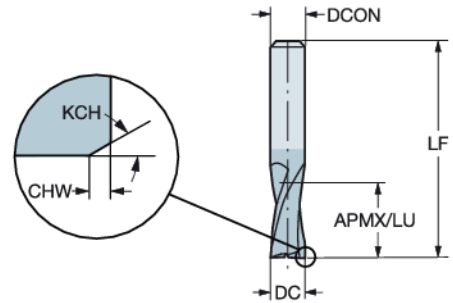
Fresa de topo CoroMill, de metal duro para desbaste pesado.

Para vários materiais com dureza ≤ 48 HRc

FHA 30°
BSG DIN 6527 K
TCDCON h6



Versão métrica



										Dimensões, mm	
DC	CZC _{MS}	APMX	CHW	KCH	LU	ZEFP	Código para pedido	GRADE	DCON	LF	
1.0	3	3.5			3.5	2	1P220-0100-XA	1630	3.0	38.0	
1.5	3	3.5			3.5	2	1P220-0150-XA	1630	3.0	38.0	
1.8	6	3.5			3.5	2	1P220-0180-XA	1630	6.0	50.0	
2.0	6	3.5			3.5	2	1P220-0200-XA	1630	6.0	50.0	
2.5	6	3.5	0.08	45°	3.5	2	1P220-0250-XA	1630	6.0	50.0	
2.8	6	4.5	0.08	45°	4.5	2	1P220-0280-XA	1630	6.0	50.0	
3.0	6	4.5	0.08	45°	4.5	2	1P220-0300-XA	1630	6.0	50.0	
3.5	6	4.5	0.08	45°	4.5	2	1P220-0350-XA	1630	6.0	50.0	
3.8	6	5.5	0.08	45°	5.5	2	1P220-0380-XA	1630	6.0	54.0	
4.0	6	5.5	0.13	45°	5.5	2	1P220-0400-XA	1630	6.0	54.0	
4.5	6	5.5	0.13	45°	5.5	2	1P220-0450-XA	1630	6.0	54.0	
4.8	6	6.5	0.13	45°	6.5	2	1P220-0480-XA	1630	6.0	54.0	
5.0	6	6.5	0.13	45°	6.5	2	1P220-0500-XA	1630	6.0	54.0	
5.8	6	7.5	0.13	45°	7.5	2	1P220-0575-XA	1630	6.0	54.0	
6.0	6	7.5	0.13	45°	7.5	2	1P220-0600-XA	1630	6.0	54.0	
6.8	8	8.5	0.13	45°	8.5	2	1P220-0675-XA	1630	8.0	58.0	
7.0	8	8.5	0.13	45°	8.5	2	1P220-0700-XA	1630	8.0	58.0	
7.8	8	9.5	0.13	45°	9.5	2	1P220-0775-XA	1630	8.0	58.0	
8.0	8	9.5	0.20	45°	9.5	2	1P220-0800-XA	1630	8.0	58.0	
9.0	10	10.5	0.20	45°	10.5	2	1P220-0900-XA	1630	10.0	66.0	
9.7	10	11.5	0.20	45°	11.5	2	1P220-0970-XA	1630	10.0	66.0	
10.0	10	11.5	0.20	45°	11.5	2	1P220-1000-XA	1630	10.0	66.0	
11.7	12	12.5	0.20	45°	12.5	2	1P220-1170-XA	1630	12.0	73.0	
12.0	12	12.5	0.20	45°	12.5	2	1P220-1200-XA	1630	12.0	73.0	
13.7	14	14.5	0.20	45°	14.5	2	1P220-1370-XA	1630	14.0	75.0	
14.0	14	14.5	0.20	45°	14.5	2	1P220-1400-XA	1630	14.0	75.0	
15.7	16	16.5	0.20	45°	16.5	2	1P220-1570-XA	1630	16.0	82.0	
16.0	16	16.5	0.20	45°	16.5	2	1P220-1600-XA	1630	16.0	82.0	
17.7	18	18.5	0.20	45°	18.5	2	1P220-1770-XA	1630	18.0	84.0	
18.0	18	18.5	0.20	45°	18.5	2	1P220-1800-XA	1630	18.0	84.0	
19.7	20	20.5	0.30	45°	20.5	2	1P220-1970-XA	1630	20.0	92.0	
20.0	20	20.5	0.30	45°	20.5	2	1P220-2000-XA	1630	20.0	92.0	