

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ÁULIS SOARES SILVA

**PROJETO MECÂNICO DETALHADO DE UMA
MÁQUINA LAPIDADORA INDUSTRIAL COM FOLHAS
DE PROCESSO, DOCUMENTAÇÃO DE PEÇAS E
SEQUÊNCIA DE OPERAÇÃO**

SÃO CARLOS - SP
2023

ÁULIS SOARES SILVA

**PROJETO MECÂNICO DETALHADO DE UMA MÁQUINA LAPIDADORA INDUSTRIAL
COM FOLHAS DE PROCESSO, DOCUMENTAÇÃO DE PEÇAS E SEQUÊNCIA DE
OPERAÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Tadeu Paziani

São Carlos - SP
2023

Soares Silva, Áulis

PROJETO MECÂNICO DETALHADO DE UMA MÁQUINA
LAPIDADORA INDUSTRIAL COM FOLHAS DE
PROCESSO, DOCUMENTAÇÃO DE PEÇAS E
SEQUÊNCIA DE OPERAÇÃO / Áulis Soares Silva -- 2023.
138f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos,
campus São Carlos, São Carlos

Orientador (a): Prof. Dr. Fabrício Tadeu Paziani

Banca Examinadora: Prof. Dr. Fabrício Tadeu Paziani,
Prof. Dr. Luis Antonio Oliveira Araujo, Prof. Dr. Mariano
Eduardo Moreno

Bibliografia

1. Projeto mecânico. 2. Lapidadora. 3. Fabricação. I.
Soares Silva, Áulis. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Ronildo Santos Prado - CRB/8 7325



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA - CCEMec/CCET
 Rod. Washington Luís km 235 - SP-310, s/n - Bairro Monjolinho, São Carlos/SP, CEP 13565-905
 Telefone: (16) 33519703 - <http://www.ufscar.br>

DP-TCC-FA nº 16/2023/CCEMec/CCET

Graduação: Defesa Pública de Trabalho de Conclusão de Curso
Folha Aprovação (GDP-TCC-FA)

FOLHA DE APROVAÇÃO

ÁULIS SOARES SILVA

**PROJETO MECÂNICO DETALHADO DE UMA MÁQUINA LAPIDADORA INDUSTRIAL COM FOLHAS DE PROCESSO,
 DOCUMENTAÇÃO DE PEÇAS E SEQUÊNCIA DE OPERAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso

Universidade Federal de São Carlos – Campus São Carlos

São Carlos, 05 de abril de 2023

ASSINATURAS E CIÊNCIAS

Cargo/Função	Nome Completo
Orientador	Fabício Tadeu Paziani
Membro da Banca 1	Luis Antonio Oliveira Araujo
Membro da Banca 2	Mariano Eduardo Moreno



Documento assinado eletronicamente por **Fabício Tadeu Paziani, Docente**, em 05/04/2023, às 18:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luis Antonio Oliveira Araujo, Docente**, em 05/04/2023, às 18:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Mariano Eduardo Moreno, Docente**, em 05/04/2023, às 18:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufscar.br/autenticacao>, informando o código verificador **0993392** e o código CRC **A4FFB67B**.

Referência: Caso responda a este documento, indicar expressamente o Processo nº 23112.010308/2023-04

SEI nº 0993392

Modelo de Documento: Grad: Defesa TCC: Folha Aprovação, versão de 02/Agosto/2019

RESUMO

Universidades públicas possuem um orçamento limitado, o que resulta na dificuldade de aquisição de alguns equipamentos necessários a práticas laboratoriais. Devido à escassez de equipamentos, as atividades precisam ser adaptadas ou as turmas divididas para que todos possam participar. A disciplina “Princípios de Metrologia Industrial” do curso de Engenharia Mecânica da UFSCar, depende de um acervo de peças para ensaio e de acessórios de medição que possuem um custo elevado, já que devem apresentar tolerâncias geométricas e dimensionais estreitas, como baixo erro de planicidade, por exemplo. Uma solução é melhorar a geometria e o acabamento superficial das peças manufaturadas ou equipamentos utilizando uma lapidadora industrial, que ainda reduz os picos de rugosidade superficial, melhorando o contato da peça com o desempenho, que é a superfície de referência para as medições. Considerando a dificuldade em adquirir uma lapidadora comercial, pretende-se diminuir os custos de aquisição através do desenvolvimento de um projeto da máquina, baseado em patentes existentes, publicações e máquinas comerciais para determinar os elementos construtivos necessários e seus parâmetros. O objetivo é desenvolver um projeto detalhado e documentado em desenhos técnicos de fabricação, especificações de componentes comerciais e folhas de processos, para possibilitar a construção uma lapidadora para o departamento de Engenharia Mecânica da UFSCar.

Palavras-chave: Projeto mecânico, lapidadora, fabricação.

ABSTRACT

Public universities have a limited budget, which results on the acquisition difficulty of some equipment needed for laboratory practices. Due to the shortage of equipment, activities need to be adapted or classes divided so that everyone can participate. The discipline “Principles of Industrial Metrology” of the Mechanical Engineering course at UFSCar, depends on a collection of test pieces and measurement accessories that are expensive, since they must have tight geometric and dimensional tolerances, such as low flatness error, for instance. One solution is to improve the geometry and surface finish of manufactured parts or equipment using an industrial lapping machine, which also reduces surface roughness peaks, improving contact between the part and the granite surface plate, which is the reference surface for measurements. Considering the difficulty in acquiring a commercial lapping machine, it is intended to reduce acquisition costs through the development of a machine design, based on existing patents, publications and commercial machines to determine the necessary constructive elements and their parameters. The intent is to develop a detailed project, documented in technical manufacturing drawings, specifications of commercial components and process sheets so that a lapping machine can be built for the Mechanical Engineering department at UFSCar.

Keywords: mechanical design, lapping machine, manufacturing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Laboratório de Metrologia Mecânica Industrial utilizada pelo departamento de Engenharia Mecânica, localizada no NuLEEn (Núcleo de Laboratórios o Ensino de Engenharias) da UFSCar em 2023.	13
Figura 2 – Mapeamento do erro de planicidade da superfície lapidada.....	14
Figura 3 – Representação dos mecanismos de desgastes a) rolamento e b) deslizamento de partículas.	15
Figura 4 – Caminhos cicloidais para uma velocidade de rotação do cilindro igual a metade da velocidade de rotação do prato em sentidos opostos.	16
Figura 5 – Croqui da patente US2869294A.	18
Figura 6 – Croqui da patente US2762172A.	19
Figura 7 – Esquema de montagem de torno vertical da FAG.	20
Figura 8 – Representação do bloco no prato.....	21
Figura 9 – Especificações máquina da LAM PLAN.	21
Figura 10 – Especificações dos pratos AQUA LAM.	22
Figura 11 – Especificações máquina da Kemet.	22
Figura 12 – Especificações máquina da Joke.	23
Figura 13 – Croqui da proposta 1.	24
Figura 14 – Croqui da proposta 2.	24
Figura 15 – Croqui da proposta 3.	25
Figura 16 – Croqui da proposta 4.	25
Figura 17 – Croqui da proposta 5.	26
Figura 18 – CAD desenvolvido durante o projeto com um corte transversal no eixo.	30
Figura 19 – Fator de operação da Forbo.	32
Figura 20 – Características de materiais da Forbo.	34
Figura 21 – Diagrama de corpo livre da transmissão de correias.	34
Figura 22 – Características de polias de poliamida da Forbo.	35
Figura 23 – Valores de alongamento por aceleração centrífuga da Forbo.	36
Figura 24 – Decaimento da força de pré-tensão da Forbo.	37
Figura 25 – Situações de carregamento do eixo, a) eixo defletido pelo carregamento da correia, b) acréscimo da deflexão por um momento concentrado e c) decréscimo da deflexão por um momento concentrado.	39
Figura 26 – Orientação crítica do momento concentrado.	40

Figura 27 – Diagrama de corpo livre do eixo dos planos a) x-y e b) x-z.	41
Figura 28 – Diagrama de corpo livre do eixo na direção x.	43
Figura 29 – Diagrama de Esforços internos em função da posição no eixo.....	44
Figura 30 – Tabela de constate de Neuber para aços.	49
Figura 31 – Seções críticas e diâmetros notáveis do eixo.....	51
Figura 32 – K_t e K_{ts} na Seção Crítica 4.....	52
Figura 33 – Dimensionamento das Seções Críticas 1-2-3 do eixo.	53
Figura 34 – Dimensionamento das Seções Críticas 4-5-6 do eixo.	54
Figura 35 – Deslocamento angular do eixo.....	55
Figura 36 – Deslocamento transversal do eixo.	56
Figura 37 – Seções críticas e diâmetros notáveis do suporte.....	57
Figura 38– Tensões nominais da Seção Crítica do suporte.....	57
Figura 39 – Dimensionamento da Seção Crítica do suporte.....	59
Figura 40 – Coeficiente de Carga f_w da NSK.....	60
Figura 41 – Valores de X e Y da NSK.....	62
Figura 42 – Dimensões das chavetas.....	66
Figura 43 – CAD da montagem do mancal Inferior com rolamento.	71
Figura 44 – Diagram de corpo livre da chapa inferior carregada pela carga axial do rolamento A.	72
Figura 45 – Seção transversal na posição de momento máximo da chapa.	73
Figura 46 – Bacia de coleta.	75
Figura 47 – Posição do anel e do braço de apoio na máquina.....	76
Figura 48 – Diferença na velocidade do anel que causa o giro.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo da especificação de máquinas comerciais	23
Tabela 2 – Matriz de decisão.....	27
Tabela 3 – Material do eixo.....	46
Tabela 4 – Esforços alternados e médios.	48
Tabela 5 – Diâmetros finais do eixo.	52
Tabela 6 – Diâmetros finais do suporte.	57
Tabela 7 – Material do suporte do prato.	58
Tabela 8 – Materiais chaveta 1.	68
Tabela 9 – Materiais chaveta 2.	69

LISTA DE SIMBOLOS

D_p	Diâmetro do prato de lapidação [mm]
d_1	Diâmetro polia motora [mm]
d_2	Diâmetro polia movida [mm]
D	Diâmetro maior seção crítica [mm]
d	Diâmetro menor seção crítica [mm]
d_i	Diâmetro interno seção crítica [mm]
d_{pino}	Diâmetro do pino [mm]
d_{trans}	Diâmetro de transmissão de torque [mm]
d_{paraf}	Diâmetro do parafuso [mm]
e	Distância entre centros das polias [mm]
l_1	Comprimento de correia em contato polia menor [mm]
l_2	Comprimento de correia em contato polia maior [mm]
l_l	Comprimento de correia livre [mm]
l	Comprimento total da correia [mm]
L_1	Distância do apoio A até a aplicação de carga [mm]
L_2	Distância da aplicação de carga até o apoio B [mm]
L_p	Comprimento da chaveta [mm]
b_0	Largura da Correia [mm]
R_p	Raio do prato de lapidação [mm]
r	Raio do entalhe concentrador de tensão [mm]
b	Largura da chaveta [mm]
h	Altura da chaveta [mm]
t_1	Profundidade do rasgo da chaveta no eixo [mm]
b_t	Base total da chapa [mm]
b_f	Base do furo na chapa [mm]
h_{cha}	Espessura da chapa [mm]
$y(x)$	Equação de singularidade da deflexão transversal do eixo [mm]
A	Área da seção crítica [mm ²]
I	Momento de inércia da seção crítica [mm ⁴]
J	Momento polar de inércia da seção crítica [mm ⁴]
I_{sec}	Momento de inércia da seção de chapa [mm ⁴]
c_2	Fator de Operação [-]

C_4	Alongamento básico de pré-carga [-]
C_5	Alongamento causado pela aceleração centrífuga [-]
$C_{inicial}$	Fator potencializador de pré-carga [-]
ε	Alongamento de operação [-]
C_{car}	Fator de carregamento [-]
C_{tam}	Fator de tamanho [-]
C_{surf}	Fator de superfície [-]
C_{temp}	Fator de temperatura [-]
C_{conf}	Fator de confiabilidade [-]
q	Fator de sensibilidade do entalhe [-]
K_t	Concentrador de tensão normal [-]
K_{ts}	Concentrador de tensão cisalhante [-]
K_f	Concentrador de tensão normal de fadiga [-]
K_{fs}	Concentrador de tensão cisalhante de fadiga [-]
K_{fm}	Concentrador de tensão normal de fadiga média [-]
K_{fms}	Concentrador de tensão cisalhante de fadiga média [-]
N_y	Coeficiente de segurança contra o escoamento de Von Mises [-]
N_f	Coeficiente de segurança contra fadiga de Goodman [-]
f_w	Coeficiente de carga no rolamento [-]
X	Coeficiente de carga radial dinâmico [-]
Y	Coeficiente de carga axial dinâmico [-]
X_0	Coeficiente de carga radial estático [-]
Y_0	Coeficiente de carga axial estático [-]
P	Carga equivalente dinâmica [-]
P_0	Carga equivalente estática [-]
N_e	Coeficiente de segurança estático [-]
N_d	Coeficiente de segurança dinâmico [-]
a	Coeficiente do tipo de rolamento [-]
L_{10}	Vida nominal do rolamento [-]
K_i	Coeficiente de atrito da união parafusada [-]
μ	Coeficiente de atrito de dois materiais [-]
C_{int}	Constante de integração
N	Força normal [N]

V	Força cortante [N]
F_r^{teo}	Carga radial teórica no rolamento [N]
F_r	Carga radial no rolamento [N]
F_a^{teo}	Carga axial teórica no rolamento [N]
F_a	Carga axial no rolamento [N]
C	Capacidade de carga dinâmica do rolamento [N]
C_0	Capacidade de carga estática do rolamento [N]
F_{trans}	Força transmitida [N]
F_b	Força de referência [N]
F_u	Força de atrito da correia [N]
F_w	Força de pré-carga [N]
$F_{w_inicial}$	Força de pré-carga inicial [N]
F_1	Força do lado tensionado da correia [N]
F_2	Força do lado frouxa da correia [N]
$R_{ax,y,z}$	Reações do apoio A nas direções x, y e z respectivamente [N]
$R_{bx,y,z}$	Reações do apoio B nas direções x, y e z respectivamente [N]
P_{apl}	Carga aplicada no eixo [N]
M	Momento fletor [N.mm]
T	Momento torsor [N.mm]
T_{aper}	Torque de aperto do parafuso [N.m]
T_{motor}	Torque requerido do motor [N.m]
σ^{nom}	Tensão normal nominal [MPa]
σ	Tensão normal [MPa]
τ^{nom}	Tensão cisalhante nominal [MPa]
τ	Tensão cisalhante [MPa]
σ^{eq}	Tensão equivalente de Von Mises [MPa]
σ^{max}	Tensão máxima de Von Mises [MPa]
S_{ut}	Limite de resistência [MPa]
S_y	Limite de escoamento [MPa]
S_e'	Tensão limite de fadiga estimada [MPa]
S_e	Tensão limite de fadiga [MPa]
E	Módulo de Young [Gpa]
P_{motor}	Potência do Motor [W]

P_{obj}	Potência objetiva do projeto [W]
n_e	Rotação de entrada [rpm]
n_s	Rotação de saída [rpm]
v	Velocidade Tangencial da correia [m/s]
β_1	Arco de abraçamento da polia menor [°]
β_2	Arco de abraçamento da polia maior [°]
θ	Ângulo de orientação das forças da correia [°]
φ	Ângulo de orientação do torque crítico [°]
$\theta(x)$	Equação de singularidade da deflexão angular do eixo [rad]
F'_u	Força de atrito transmissível por unidade de largura da correia [N/mm]
F'_{uNem}	Força de atrito transmissível por unidade de largura a 1% de alongamento da correia [N/(mm-%)]
F'_w	Força de pré-carga por unidade de largura a 1% de alongamento da correia [N/(mm-%)]
\sqrt{a}	Constante de Neuber [$\sqrt{\text{mm}}$]
L_{horas}	Vida em horas [h]
$F_s(x)$	Equação de singularidade de M/l do eixo [N/mm ³]

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo geral	17
2.2	Objetivos específicos	17
3	METODOLOGIA	18
3.1	Pesquisa de similares	18
3.2	Especificações da máquina	20
3.3	Propostas	24
3.4	Matriz de decisão	26
3.5	Estratégia de desenvolvimento	28
4	DISCUSSÕES E RESULTADOS	30
4.1	Visão geral	30
4.2	Redução de correia	31
4.3	Motor elétrico	38
4.4	Eixo	39
4.5	Suporte do prato	56
4.6	Rolamentos	59
4.7	Fixadores transmissores de torque	65
4.8	Mancal inferior	71
4.9	Caixa	71
4.10	Bacia de coleta	75
4.11	Anel condicionador e braço de apoio	75
5	CONCLUSÃO	77
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
7	ANEXO	82
8	APÊNDICE A	84

1 INTRODUÇÃO

Na Metrologia Mecânica Dimensional, frequentemente, a peça a ser medida é fixada por dispositivos apoiados em uma referência confiável, que deve possuir um erro de forma pequeno o suficiente para não influenciar na medida de uma peça com tolerância mais aberta (Evans, 1996). Usualmente essa referência é um desempenho, uma mesa de granito ou ferro fundido de alta qualidade que possui erro de planicidade muito baixo, no máximo 27,5 μm para um desempenho com área de 300x250 mm para desempenos da classe 3, e 4 μm para desempenos na classe 0 (ABNT NBR NM 103, 1998).

Em práticas didáticas da disciplina “Princípios de Metrologia Industrial”, o curso de engenharia mecânica utiliza em 2023 um desempenho de granito no laboratório de metrologia mecânica industrial, que não comporta toda turma que precisa ser dividida em grupos menores que realizam as práticas em dias diferentes, demandando mais aulas e tempo dos técnicos da oficina que auxiliam na atividade.

Figura 1 – Laboratório de Metrologia Mecânica Industrial utilizada pelo departamento de Engenharia Mecânica, localizada no NuIEEn (Núcleo de Laboratórios e Ensino de Engenharias) da UFSCar em 2023.

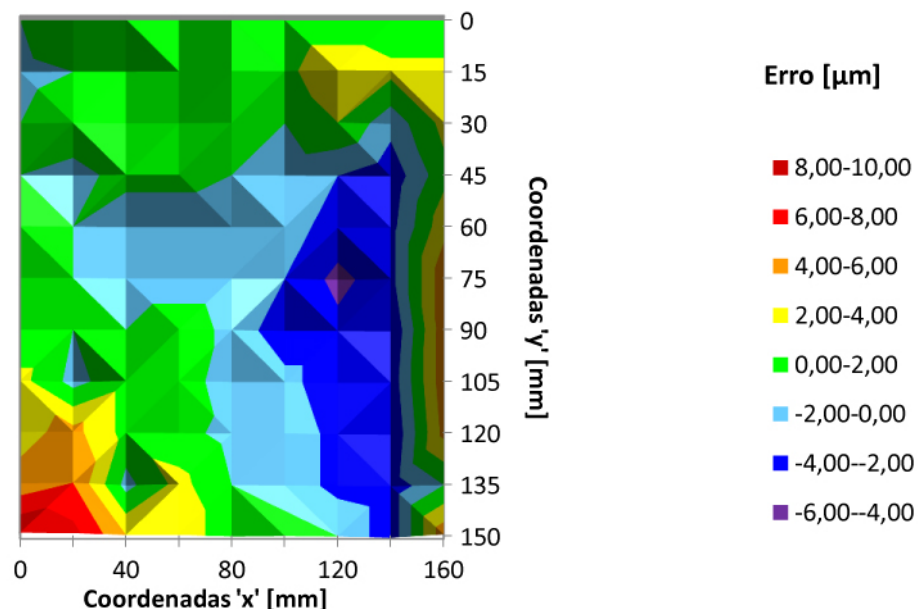


Fonte: Autor, 2023.

Para facilitar as práticas, a referência utilizada para a medição pode ser um pequeno desempenho para cada grupo de alunos, desde que a ordem do erro de planicidade desse bloco seja menor que a peça a ser medida, permitindo utilizar os laboratórios educacionais da faculdade, que comportam toda a turma em um só dia.

O valor de compra de desempenos com baixo erro é alto, porque planicidades são melhoradas através de operações custosas e/ou demoradas, então a opção mais econômica para adquirir os desempenos seria diminuir o erro de planicidade de blocos simples de granito comprados em marmorarias, que possuem um erro inicial de 40 μm . No trabalho de Nardin (2017), através de lapidação manual, o autor conseguiu diminuir o erro de 40 μm de um bloco de granito comum para um erro de 16 μm na área lapidada em algumas horas de trabalho, constatando que até mesmo com lapidações manuais é possível atingir qualidades suficientemente boas através de blocos com baixa qualidade.

Figura 2 – Mapeamento do erro de planicidade da superfície lapidada



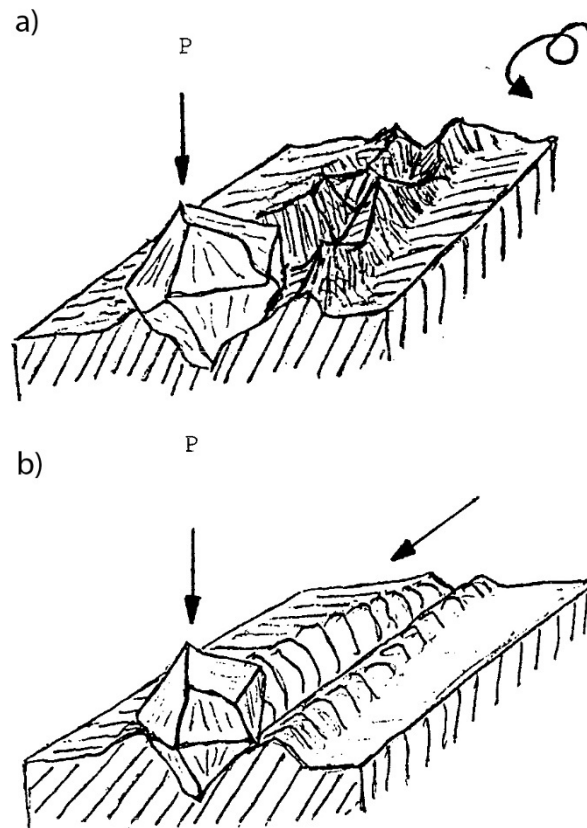
Fonte: Nardin, 2017.

Levantou-se então a possibilidade da fabricação de uma lapidadora para o departamento, partindo da hipótese de que a fabricação de um projeto desenvolvido da máquina terá um custo menor que máquinas comerciais. Além de facilitar a aquisição dos desempenos, disponibilizar uma lapidadora com tecnologia criada pela academia para seus membros, que podem utilizá-la para outras aplicações que requerem uma alta qualidade superficial.

A lapidação é um processo utilizado atualmente para produzir peças com baixo erro de planicidade, melhorando as propriedades de forma e acabamento superficial de uma peça, mas já era usada desde a era da pedra polida, de 8000 a

5000 a.C., para outros fins (Marinescus et al., 2006). O processo de lapidação é muito semelhante ao polimento, em ambos uma peça é forçada contra uma contraparte em movimento, sendo desgastadas por partículas abrasivas. A diferença entre os processos é que na lapidação todos os mecanismos de desgaste ocorrem ao mesmo tempo, o rolamento e deslizamento de partículas livres e o microcorte causado por partículas alojadas na contraparte que está sendo lapidada. Já no polimento, ocorrem no máximo dois mecanismos no mesmo processo, comumente o rolamento e deslizamento na interface, pois no polimento existe um disco macio entre a peça e a superfície, assim não existem partículas alojadas na interface, o que impede o desgaste por microcortes. Em alguns casos, o polimento é realizado com um disco que possui partículas embutidas, mas sem a adição de partículas livres, assim o processo funciona com apenas um mecanismo de desgaste.

Figura 3 – Representação dos mecanismos de desgastes a) rolamento e b) deslizamento de partículas.

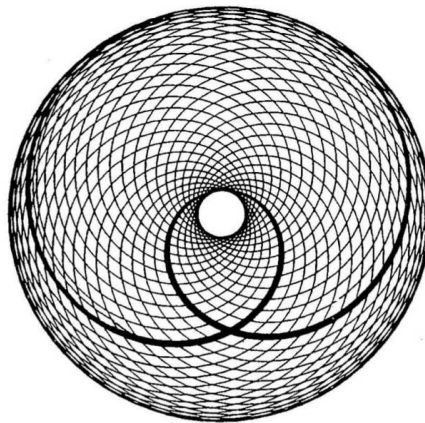


Fonte: Stähli, A.W. 2001.

Já que a lapidação atua com três mecanismos de desgaste, a retirada de material é maior que no polimento, aumentando o dano superficial enquanto reduz consideravelmente o erro de planicidade de uma superfície. O polimento remove menos material, não reduzindo o erro de planicidade e em alguns casos até aumentando, se o processo se perdura por muito tempo, enquanto melhora a qualidade superficial de uma peça já lapidada, uniformizando a superfície (Marinescus et al., 2006).

No modelo mais comum de máquinas lapidadoras, a contraparte é um prato metálico ou cerâmico com baixo erro de planicidade e a peça é forçada contra ele utilizando-se pesos ou sistemas pneumáticos dentro de cilindros condicionadores, que permitem a rotação da peça enquanto orbita o centro do prato, semelhantemente a um sistema planetário, que evita a repetibilidade do trajeto no prato, ajudando a aleatorizar o desgaste e aumentando a qualidade do processo por evitar a tendência de desgaste (Marinescus et al., 2006).

Figura 4 – Caminhos cicloidais para uma velocidade de rotação do cilindro igual a metade da velocidade de rotação do prato em sentidos opostos.



Fonte: Stähli, A.W. 2001.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento do projeto detalhado de uma máquina lapidadora que consiga lapidar um bloco de granito de 300x200x30 mm para o Departamento de Engenharia Mecânica. Compõe o projeto a documentação em desenhos técnicos, as especificações de componentes comerciais e as folhas de processos de fabricação, inspeção e montagem, com foco no desenvolvimento de uma máquina com tecnologia conhecida, que pode ser adaptada pelo corpo acadêmico em função da demanda e que seja baseada em metodologias de design que almejam abaixar o custo de fabricação.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar os tipos de máquinas lapidadoras e suas particularidades, determinando qual tipo melhor atende às necessidades do departamento;
- Modelar peças e planejar seus processos de manufatura;
- Planejar a inspeção dos componentes fabricados;
- Planejar a montagem e a manutenção do equipamento.

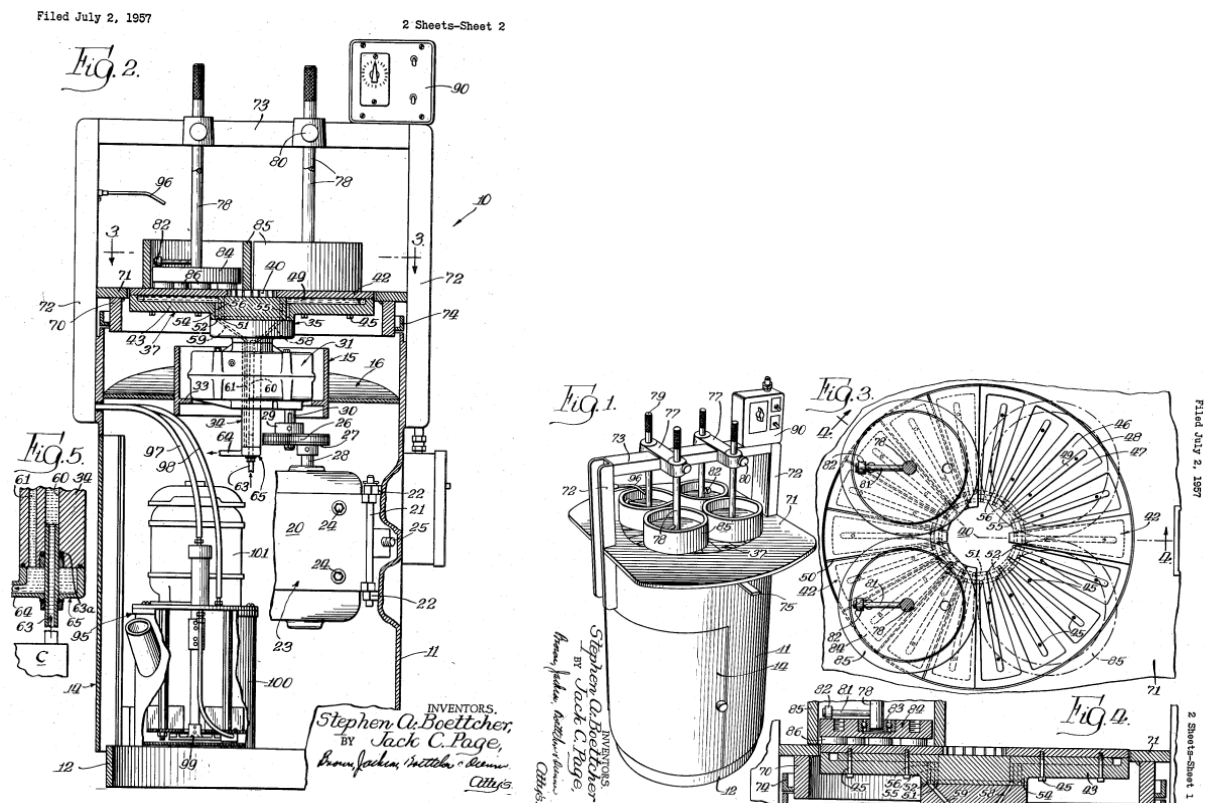
3 METODOLOGIA

3.1 Pesquisa de similares

Para fundamentação das propostas, foram pesquisadas máquinas similares, sejam elas lapidadoras ou outras máquinas que possuam um eixo vertical que rotaciona sob compressão.

A primeira patente é a US2869294A, onde tem-se a construção mais intuitiva desse dispositivo. O prato de lapidação está fixado no eixo de saída, geralmente biapoiado, de uma caixa de redução que recebe potência de uma transmissão de correias, movida por um motor elétrico fixado na carcaça. A proposta é simples e objetiva, utilizando elementos simples de projetos de máquinas.

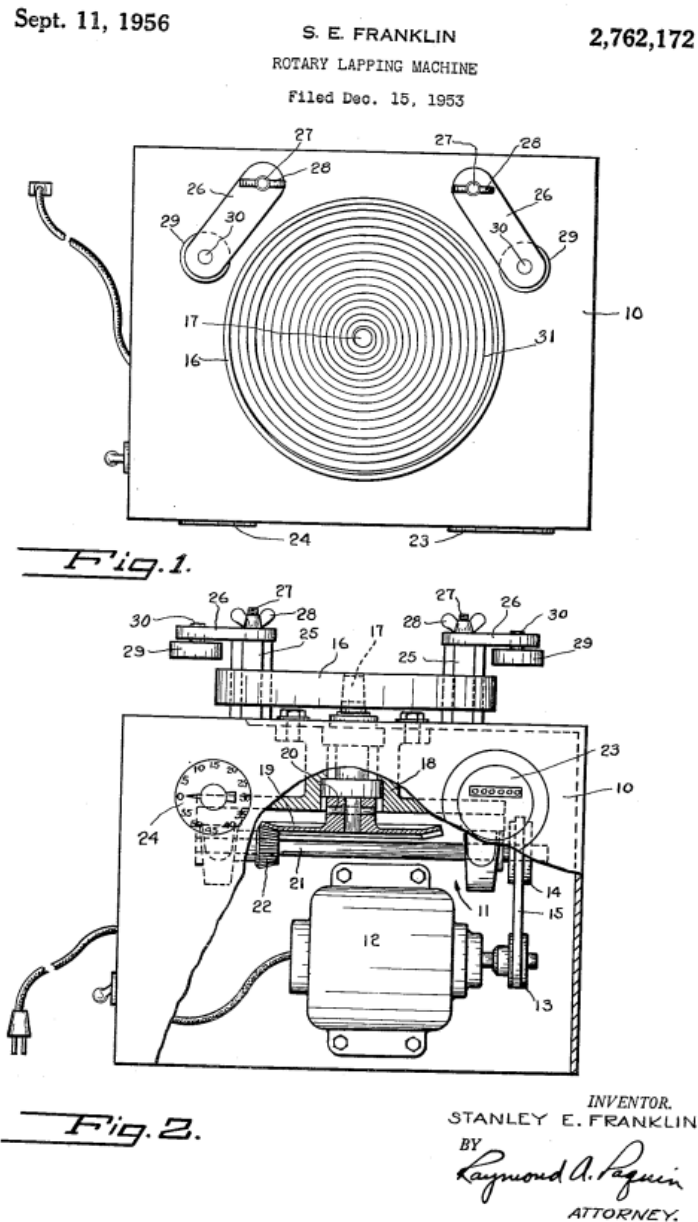
Figura 5 – Croqui da patente US2869294A.



Fonte: S. A. BOETCHER et al, 1957.

Similarmente à patente anterior, a patente US2762172A utiliza um eixo mancalizado na vertical onde está fixado o prato de lapidação, que utiliza uma redução de engrenagens cônicas que alteram a direção da rotação, permitindo que o motor seja fixado com o eixo na horizontal.

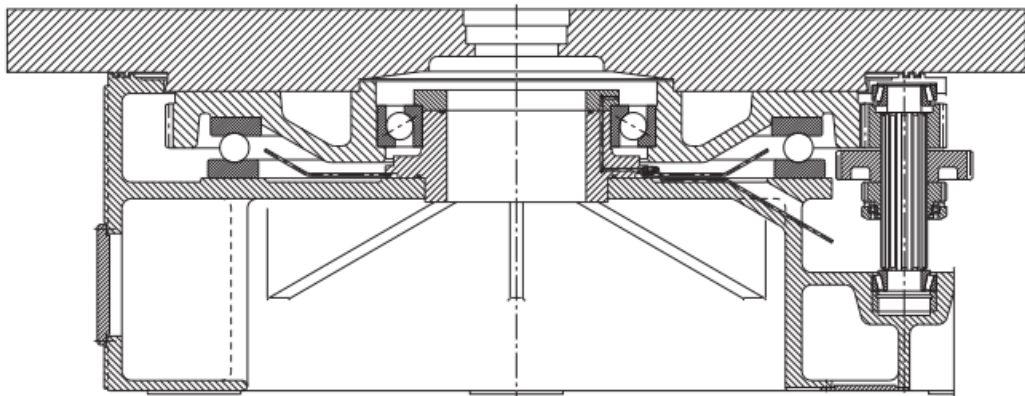
Figura 6 – Croqui da patente US2762172A.



Fonte: S. E. FRANKLIN, 1953.

No documento da FAG (FAG, 2012), existem montagens de máquina com sistemas mancalizados e um deles utiliza princípios de funcionamento almejados nesse projeto. No exemplo 19, a proposta é a construção de uma mesa rotativa para um torno vertical, que deve rotacionar enquanto suporta o peso de uma peça que está sendo usinada. A montagem utiliza uma combinação de rolamentos de contato angular e axiais para suportar a carga de compressão, transmitindo-a para a carcaça enquanto suporta a carga radial causada pela rotação.

Figura 7 – Esquema de montagem de torno vertical da FAG.

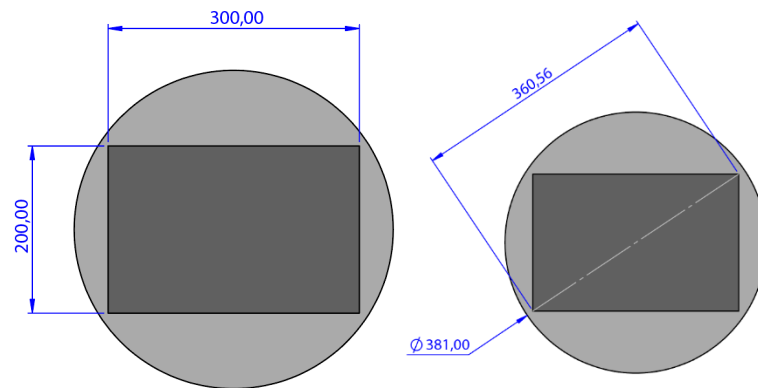


Fonte: FAG, 2012.

3.2 Especificações da máquina

Como já mencionado, o projeto da máquina lapidadora deverá possibilitar a lapidação de um bloco de granito de dimensões 300x200x30 mm. Estas dimensões foram baseadas no desempenho comercial encontrado no catálogo da Mituyoto, fabricante de dispositivos de metrologia, e devem ser suficientes para acomodar acessórios de fixação de peças e uma base contendo um relógio comparador. O prato de lapidação deve ter um diâmetro suficiente para o bloco, sobrando espaço para que seja possível manualmente aleatorizar o seu movimento durante o processo de lapidação. Através da diagonal do bloco, é possível determinar qual o diâmetro necessário.

Figura 8 – Representação do bloco no prato.



Fonte: Autor, 2023.

$$D_p > \sqrt{300^2 + 200^2} > 360,55 \text{ mm} \quad (1)$$

Procurando em catálogos de máquinas comerciais, o diâmetro imediatamente superior ao mínimo necessário é igual a 381 mm (15 polegadas).

$$D_p = 381 \text{ mm}$$

Nos catálogos também é possível encontrar os valores de potência, rotação e espessura do prato, indicando as especificações que o projeto deve atender.

A máquina da LAM PLAN utiliza três anéis condicionadores e possui controle de velocidade. A empresa fornece informações sobre diâmetros do prato e anéis, potência do motor, faixa de rotação e espessura do prato da linha AQUA LAM.

Figura 9 – Especificações máquina da LAM PLAN.

Technical data	M.M.8400
Plate Ø	381 mm
Inner ring Ø	138 mm
Capacity per ring	1 part Ø130 mm or 170 parts Ø 5 mm
Number of rings	3
Electric power supply	230 V single-phase
Motor Power	0.37 kW
Control	Touch screen 3,5 inches
Plate rotation speed	From 30 to 90 rpm
Dimensions (W x D x H)	625 x 725 x 450 mm
Weight (without plate)	70 kg
Abrasive distribution system	Included - Type depending on the plate
Reference	10 08400 00

Fonte: Catálogo máquinas lapidadoras e polidoras da LAM PAN, 2022.

Figura 10 – Especificações dos pratos AQUA LAM.

AQUA LAM® cast iron plates

Radial grooved cast iron plate with LAM PLAN adaptation system, other machine adaptations on request.




Dimensions Ø	Thickness (according to lapping machine types)	Ref.
14" 355 mm	25 - 40 mm	VO 14RA STD
15" 381 mm	25 - 40 mm	VO 15RA STD
19" 480 mm	25 - 40 mm	VO 19RA STD
24" 610 mm	35 - 40 mm	VO 24RA STD
28" 700 mm	55 mm	VO 28RA STD
36" 914 mm	57 - 58 mm	VO 36RA STD
39" 1000 mm	57 - 60 mm	VO 40RA STD
1200 mm	70 mm	VO 47RA STD
48" 1219 mm	70 mm	VO 48RA STD
59" 1500 mm	80 - 100 mm	VO 59RA STD

Fonte: Site da LAM PAN, disponível em <https://www.lamplan.com/en/lapping-polishing/supports/lapping-supports/lapping-plates.html>, acessado em 05 de março de 2023.

A máquina da Kemet utiliza três anéis condicionadores. A empresa fornece informações sobre diâmetros do prato e anéis, potência do motor, rotação do prato e carga máxima aplicável por anel.

Figura 11 – Especificações máquina da Kemet.



Machine Model	15	20
Lapping Plate outside Diameter	381 mm	508 mm
Lapping Plate Speed	70rpm	70rpm
No. of Conditioning Rings	3	3
Conditioning Ring inside Diameter	140 mm	191 mm
Max load per Conditioning ring	39Kg	53Kg
Height of Open Face Machine	670 mm	700 mm
Height of Pneumatic Lift Machine	N/A	965 mm
Working Height	310 mm	385 mm
Depth of Machine	620 mm	780 mm
Standard Electrical Supply	220v-1Ph-50Hz or 380v or 415v 3Ph-50Hz	
Main Drive Motor	0.37kW	0.75kW
Abrasive pump motor	0.18kW	0.18kW
Net Weight Open Face	116kg	245kg
Gross Weight Open Face	156kg	343kg
Net Weight Pneumatic	N/A	240kg
Gross Weight Pneumatic	N/A	385kg

Fonte: Catálogo máquinas lapidadoras de precisão e polimento da KEMET, 2018.

A máquina da Joke utiliza três anéis condicionadores. A empresa fornece informações sobre diâmetros do prato e anéis, potência da máquina e rotação máxima do prato. No manual existe um esquemático da montagem interna que indica como é a transmissão de potência, utilizando uma transmissão de correias do motor até uma transmissão de engrenagens que movimenta o prato.

Figura 12 – Especificações máquina da Joke.



Power:	0.55 kW
Power consumption:	1,200 W
Fuse protection:	16 A, slow blow
Number of roller yokes:	3
Supply voltage:	400 V, 50/60 Hz
Lapping agent waste tank volume:	6 l
Device dimensions (W x H x D):	620 x 720 x 400 mm
Rotation speed max.:	90 1/min
Weight:	approx. 150 kg
Cooling:	no
Matching dressing ring inner-Ø:	Ø 140 mm
matching lapping disc dimensions:	Ø 380 mm / 15°

Fonte: Site da Joke, disponível em <https://www.joke-technology.com/en/2111/polishing-and-lapping-machine-joke-el-380/n>, acessado em 05 de março de 2023.

Através das informações adquiridas e utilizando a Tabela 1, que resume essas informações, é possível definir as especificações do projeto.

Tabela 1 – Resumo da especificação de máquinas comerciais

Modelo	Marca	Ø de Prato [mm]	Ø di Prato [mm]	Nº anéis	Ø di Anel [mm]	P motor [kW]	n [rpm]
M.M.8400	LAM PLAN	381	138	3	130	0,37	30 - 90
Kemet 15	Kemet	381	-	3	140	0,37	70
EL 380/N	Joke	380	-	3	140	> 0,55	90 max

Fonte: Autor, 2023.

Como a máquina será utilizada para fins acadêmicos, não é preciso utilizar a maior potência encontrada, que é da máquina da Joke. Como a Kemet 15 suporta uma carga suficientemente alta nos anéis, de 49 kg, decidiu-se que a potência e rotação dessa máquina são suficientes para as demandas do departamento.

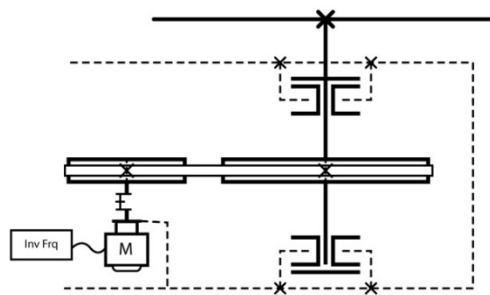
$$P_{obj} \geq 370 \text{ W}$$

$$n_s = 70 \text{ rpm}$$

3.3 Propostas

Baseado na pesquisa de similares, foram desenvolvidas cinco propostas de montagem que suportam um eixo sob compressão com uma rotação de aproximadamente 70 rpm. Um dos problemas encontrados durante o desenvolvimento é a rotação de saída do sistema, que é baixa considerando como acionamento um motor elétrico ligado a uma rede convencional de 60 Hz, que faz com que se necessite de uma grande redução na máquina para atingir a rotação desejada no prato.

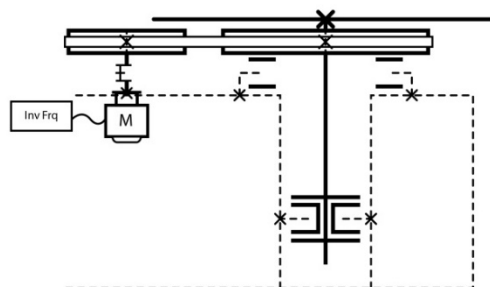
Figura 13 – Croqui da proposta 1.



Fonte: Autor, 2023.

Na **proposta 1**, utiliza-se uma transmissão por correias entre um motor elétrico e o prato de saída, que está fixado a um eixo bimancaalizado. A velocidade do motor é reduzida por um inversor de frequências, diminuindo a redução necessária na transmissão e evitando a necessidade de uma grande polia no eixo de saída. A vantagem dessa montagem é a utilização de correias para a transmissão até o eixo, o que alivia as tolerâncias de fabricação da máquina.

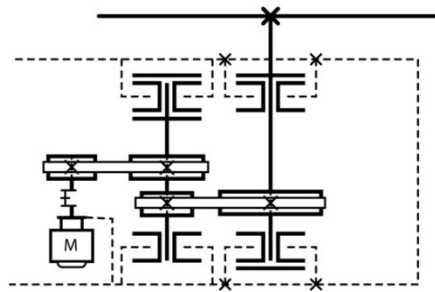
Figura 14 – Croqui da proposta 2.



Fonte: Autor, 2023.

A **proposta 2** tem o mesmo sistema de transmissão da anterior, porém com uma construção de apoios mais segura para a montagem, pois o rolamento axial suporta o conjunto polia-prato, descarregando qualquer carga acêntrica diretamente na carcaça sem gerar momentos concentrados no eixo. Essa montagem é inspirada no torno vertical da FAG e é uma ótima opção para caso grandes momentos concentrados sejam aplicados no eixo, porém ela requer um mancal axial com um diâmetro próximo ao do prato, aumentando o custo da montagem.

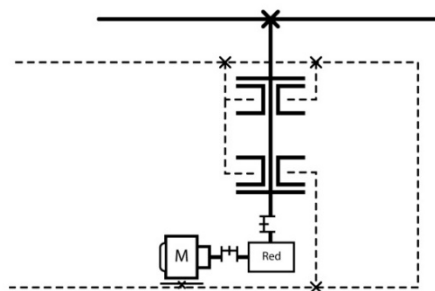
Figura 15 – Croqui da proposta 3.



Fonte: Autor, 2023.

Na **proposta 3**, para que um inversor de frequências não seja necessário, utiliza-se uma transmissão composta de correias, aumentando a redução para um diâmetro menor da última polia movida, o que aumenta o número de eixos mancalizados na máquina e requer mais ajustes.

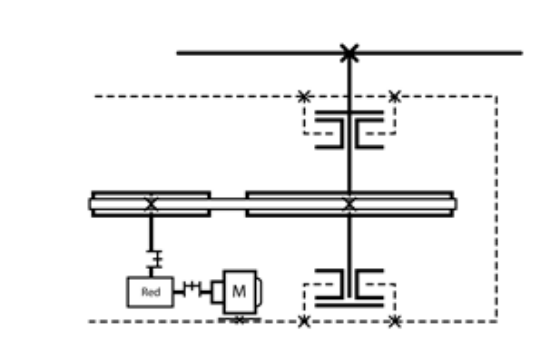
Figura 16 – Croqui da proposta 4.



Fonte: Autor, 2023.

Na **proposta 4**, substituiu-se a transmissão composta de correias por uma transmissão de engrenagens de grande redução, seja ela comercial ou fabricada, acoplada ao eixo que sustenta o prato. A fixação da transmissão demanda ajustes apertados para garantir o alinhamento dos eixos.

Figura 17 – Croqui da proposta 5.



Fonte: Autor, 2023.

Na **proposta 5**, adicionou-se uma transmissão por correias intermediária para transmitir o torque de um redutor até o eixo. Desta forma, é possível modificar a redução por correias para cada redutor comercial, almejando a rotação de saída de 70 rpm enquanto alivia-se os ajustes de montagem.

3.4 Matriz de decisão

Foi utilizada uma matriz de decisão que, através de votos em critérios ponderados, seleciona imparcialmente a melhor opção para certa demanda. Cada proposta recebe uma nota de 0 a 5 para cada critério pré-definido, onde 0 indica um desempenho muito ruim e 5 indica um ótimo desempenho. Cada um desses critérios tem um peso que vai de 0 a 1, sendo que 0 indica um critério irrelevante e 1 um critério muito relevante. A nota final da proposta depende da soma dos critérios multiplicados por seus pesos e a melhor proposta é aquela com o maior valor final. Os critérios escolhidos, seus pesos e justificativas são os seguintes:

- **Custo, peso 1:** a redução do custo de aquisição da máquina é o principal objetivo do projeto, portanto quanto mais simples e baratos forem os componentes comerciais, melhor será a proposta.

- **Manufaturabilidade (DFM), 0,7:** assim como o custo de componentes comerciais, a fácil manufaturabilidade das peças é importante para o sucesso da proposta, já que peças desenvolvidas com, por exemplo, a metodologia de design DFM (*Design for Manufacturability*), requerem menos tempo de trabalho, o que resulta em uma redução do custo de mão de obra.
- **Robustez, 0,5:** a máquina deve suportar os esforços solicitados sem falhar, porém, é esperado que os componentes de qualquer proposta sejam projetados para suportar mais carga que a operação máxima especificada.
- **Quantidade de Ajustes, 0,7:** se muitos ajustes são necessários para garantir a montagem da máquina, o tempo e o custo de fabricação aumentam para garantir tolerâncias dimensionais e geométricas.

Tabela 2 – Matriz de decisão.

	Proposta 1	Proposta 2	Proposta 3	Proposta 4	Proposta 5
Custo	4	2	2	3	3
Manufaturabilidade	4	4	4	4	4
Robustez	4	5	3	4	4
Quantidade de Ajustes	4	4	3	3	4
Resultado	11,6	10,1	8,4	9,9	10,6

Fonte: Autor, 2023.

A selecionada foi a **proposta 1** e a segunda melhor foi a **proposta 5**. As duas são similares e contam com um motor de velocidade controlada conectado ao eixo por uma transmissão de correias, indicando que o projeto pode utilizar um inversor de frequências preferencialmente, mas também um motoredutor se for mais viável.

3.5 Estratégia de desenvolvimento

As peças da máquina foram desenvolvidas utilizando metodologias clássicas de projetos de elementos de máquinas, abordadas em livros didáticos de engenharia, ou em dimensionamentos específicos de catálogos de componentes comerciais. Todo dimensionamento relevante será documentado em um memorial de cálculo que descreve o processo de dimensionamento, as considerações feitas e simplificações.

Como o objetivo é facilitar a aquisição de uma lapidadora para o Departamento de Engenharia Mecânica da UFSCar através do desenvolvimento de um projeto que visa o barateamento da produção, a metodologia de design mais apropriada é o *Design for Manufacturability* (DFM). No DFM, as peças são desenvolvidas com o objetivo de simplificar o processo de fabricação, reduzindo os custos de produção de uma máquina enquanto se mantém um nível apropriado de qualidade (Bralla, 1998; Boothroyd, 1994).

Os seguintes documentos de projeto foram desenvolvidos de forma a assegurar que as decisões tomadas no dimensionamento sejam utilizadas durante a fabricação e o resultado esteja dentro do planejado:

- Desenhos técnicos das peças a serem manufaturadas, com cotas apresentando as medidas nominais das dimensões de cada peça e suas tolerâncias dimensionais/geométricas, apresentando o intervalo aceitável para a diferença entre o valor fabricado e o nominal, que serão utilizados na fabricação;
- Definição da peça em bruto, onde se determina para cada peça o formato e o processo gerador da peça em bruto visando a redução da perda de material, já que a matéria prima tem uma geometria próxima ao formato final esperado;
- Roteiro de fabricação e plano de processos das peças a serem manufaturadas, onde são detalhadas a ordem dos processos e as etapas que devem ser seguidas para produzir cada peça;
- Plano de inspeção das peças, onde são detalhadas as medidas que devem ser conferidas para avaliar se as tolerâncias de projeto foram alcançadas, utilizando equipamentos de metrologia, como relógio comparador, desempeno e acessório de fixação;

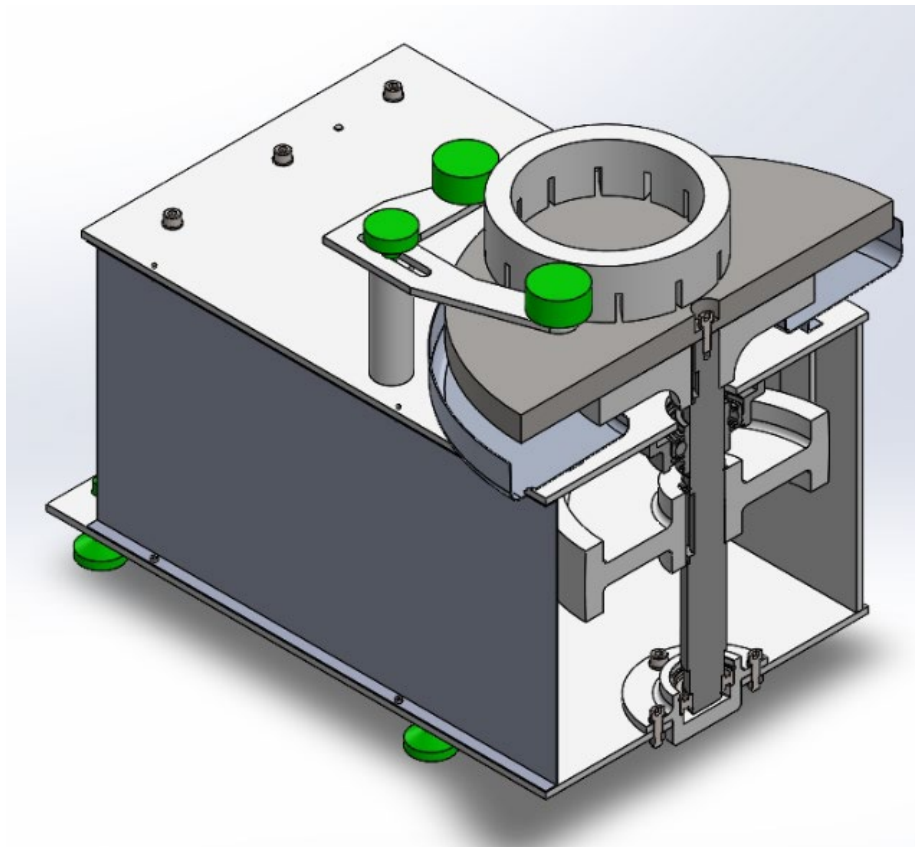
- Plano de montagem, que descreve como a montagem deve ser feita, especificando a ordem dos componentes e cuidados para evitar danos em partes da máquina;
- Planos de manutenção e operação, que descrevem os cuidados que devem ser tomados para preservar o equipamento, como rotinas de limpeza, recomendações de uso e informações sobre a vida útil dos componentes comerciais.
- Lista dos itens comerciais, que apresenta todos os componentes que devem ser comprados para a montagem, com quantidades e especificações.

4 DISCUSSÕES E RESULTADOS

4.1 Visão geral

Através de iterações de projeto e do debate de estratégias de montagem, foi desenvolvido o projeto de uma máquina lapidadora que utiliza uma fonte motora com 400 W de potência, que é transmitida para um prato fixado a um eixo biapoiado. Com o projeto dimensionado, desenvolveu-se desenhos técnicos das peças que precisam ser fabricadas e unidas, que acompanham planos de processo para assegurar as tolerâncias dimensionais e geométricas do projeto. Os desenhos e os planos de processos estão no apêndice.

Figura 18 – CAD desenvolvido durante o projeto com um corte transversal no eixo.



Fonte: Autor, 2023.

4.2 Redução de correia

A rotação de saída do projeto é muito baixa para a utilização das estimativas de potência transmissível no equacionamento desenvolvido por Shigley [3], que requer uma velocidade tangencial de no mínimo 5 m/s. Sendo assim, foi utilizado o catálogo da Forbo, uma fabricante que detalha como selecionar uma correia de seu catálogo, utilizando a velocidade tangencial apenas para determinar o alongamento da correia causado pela aceleração centrífuga, enquanto a potência transmissível é função do catálogo.

Para determinar a potência a ser transmitida, utilizou-se uma potência motora maior que a das máquinas comerciais para que não falte potência devido a perdas energéticas na utilização de uma transmissão de correias em baixa velocidade e rolamentos comerciais de baixo custo.

$$P_{\text{motor}}=400,00 \text{ W}$$

Por razões construtivas, não é desejável que a polia movida seja maior que o prato de lapidação, implicando em uma caixa desnecessariamente grande. Após iterações no dimensionamento das correias, o diâmetro final da polia movida é de 250 mm.

$$d_2=250,0 \text{ mm}$$

No catálogo, a força de atrito necessária é calculada utilizando a potência do motor e a velocidade da correia, que por sua vez é calculada utilizando a rotação desejada de saída e o diâmetro da polia movida.

$$v = \pi * \frac{d_2}{1000} * \frac{n_s}{60} = \pi * \frac{(250 \text{ mm})}{1000} * \frac{(70 \text{ rpm})}{60} = 0,92 \text{ m/s} \quad (2)$$

$$F_u = \frac{P_{\text{motor}} * 1000}{v} = \frac{(0,400 \text{ kW}) * 1000}{(0,92 \text{ m/s})} = 436,54 \text{ N} \quad (3)$$

A força de atrito deve ser corrigida por um fator de operação determinado pelas condições de trabalho da máquina, o que é encontrado na seção 9.5 do catálogo e apresentado na **Figura 19**. A força corrigida é a força de referência, que será utilizada para determinar a largura da correia. Como não se esperam choques na máquina movida e a máquina motora é um motor elétrico, o fator de correção definido é 1,0.

Figura 19 – Fator de operação da Forbo.

Type of drive	Examples of drives	Operation factor c_2
Consistent operation Small masses to be accelerated Load-free acceleration	Generators with low capacity Centrifugal pumps Automatic lathes Lightweight textile machinery	1.0
Almost consistent operation Medium-sized masses to be accelerated Usually load-free acceleration	Small fans up to 8 kW Tool machines Rotary piston compressor Wood processing machinery Light and medium-weight Generators Grain mills Multi-stage gearbox Carding machines Extruders Stone frame saws Screw-type compressors	1.2
Irregular operation Medium-sized masses to be accelerated Sudden force	Piston pumps, compressors Degree of uniformity > 180 Centrifuges Large pressure pumps Fans Kneading machines Beaters Crushing mills Pebble mills Tube mills Looms Agitators Cutting machines wood industry Vehicle body presses Conical belts paper industry	1.35
Irregular operation Large-sized masses to be accelerated Substantial sudden force Acceleration under load	Piston pumps, compressors Degree of uniformity > 180 Wood frame saws Jolters Excavator drives Edge runners Rolling machines Brick presses Forging presses Shears Punch presses Roller mills Stone crushers Flakers	1.7

Depending on drive's torque, the following minimum parameters during operation must be kept to:

Drive	Minimum value c_2
Speed-controlled electric motors (e.g. frequency converters)	1.0
Electrical motors with Y-delta connection Electrical motors with mechanical, or hydrodynamic clutch Pole-changing electrical motors Combustion engines Water turbines	1.3
Electrical motors, directly switched on without centrifugal clutch	1.7

Fonte: Forbo (modificado), 2019.

$$F_B = \frac{F_u}{c_2} = \frac{(436,54 \text{ N})}{1,0} = 436,54 \text{ N} \quad (4)$$

Através de iterações, foram definidos a distância entre centros e o diâmetro para a polia motora, utilizados junto do diâmetro da polia movida para determinar o arco de abraçamento da correia nas polias.

$$d_1=75,0 \text{ mm e } e=300,0 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 2 * \arccos\left(\frac{d_2 - d_1}{2 * e}\right) = 2 * \arccos\left(\frac{(250,0 \text{ mm}) - (75,0 \text{ mm})}{2 * (300 \text{ mm})}\right) \quad (5)$$

$$\beta_1 = 146,08^\circ$$

$$\beta_2 = 2 * \arccos\left(\frac{d_1 - d_2}{2 * e}\right) = 2 * \arccos\left(\frac{(75 \text{ mm}) - (250 \text{ mm})}{2 * (300 \text{ mm})}\right) \quad (6)$$

$$\beta_2 = 213,91^\circ$$

O comprimento total da correia sem pré-carga é determinado pela soma dos comprimentos de contato em cada polia e de duas vezes o comprimento livre.

$$l = l_1 + l_2 + 2 * l_s \quad (7)$$

$$l_1 = \frac{\pi}{360}((d_1 * \beta_1)) = \frac{\pi}{360} * ((75 \text{ mm}) * (146,08^\circ)) = 95,61 \text{ mm}$$

$$l_2 = \frac{\pi}{360}(d_2 * \beta_2) = \frac{\pi}{360} * ((250 \text{ mm}) * (213,91^\circ)) = 466,68 \text{ mm}$$

$$l_s = \sqrt{e^2 - \frac{(d_2 - d_1)^2}{4}} = \sqrt{(300)^2 - \frac{((250) - (75))^2}{4}} = 286,96 \text{ mm} \quad (8)$$

$$l = (95,61 \text{ mm}) + (466,68 \text{ mm}) + (2 * 286,96 \text{ mm}) = 1136,22 \text{ mm}$$

Para selecionar a correia, é preciso determinar o material das fibras tensores, que resistem à transmissão de potência, e o material da matriz de cobertura, que mantém as fibras unidas e resiste ao atrito contra as polias. O fabricante resume as características de cada material em gráficos, utilizados para selecionar a melhor opção para a aplicação. O material escolhido para as fibras é poliamida, pela melhor capacidade de transmissão e para a matriz é elastômero G, pelo bom atrito e resistência superficial.

Figura 20 – Características de materiais da Forbo.

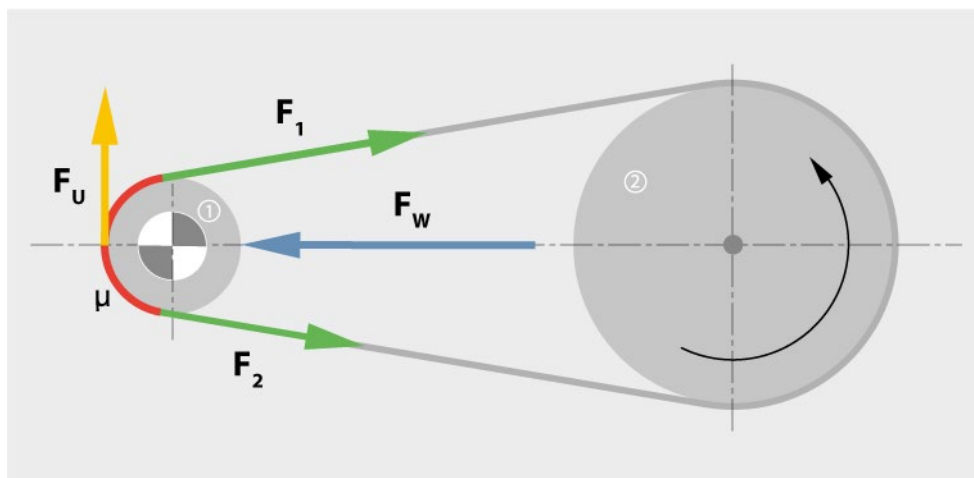


* The material-specific properties shown apply to fabric tension members as well as sheets and endless cord.

Fonte: Forbo (modificado), 2019.

Os esforços que precisam ser determinados no dimensionamento são a força de atrito no arco de contato, as forças no lado frouxo e no lado tensionado da correia, e a pré carga, que estão representadas na **Figura 21**.

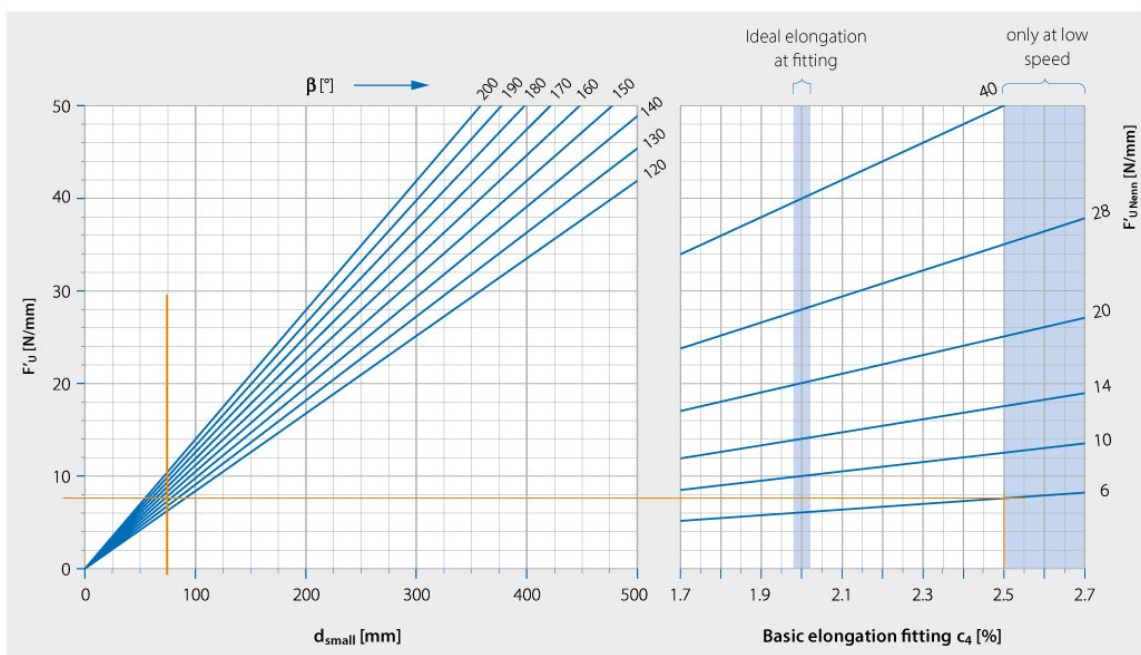
Figura 21 – Diagrama de corpo livre da transmissão de correias.



Fonte: Forbo, 2019.

Através das curvas da seção 9.6 no catálogo, é possível determinar, através do diâmetro da polia motora e seu ângulo de abraçamento, a força de atrito transmissível por unidade de largura, a força de atrito transmissível por unidade de largura a 1% de alongamento e o alongamento básico de pré-carga, utilizados para selecionar a correia no catálogo do fabricante. O ponto selecionado na Figura 22 está em uma zona que só pode ser utilizada para aplicações de baixa velocidade.

Figura 22 – Características de polias de poliamida da Forbo.



Fonte: Forbo (modificado), 2019.

$$F'_u = 8 \text{ N/mm}$$

$$F'_{uNem} = 6 \text{ N/mm}$$

$$c_4 = 2,5 \%$$

A correia selecionada foi a “GT 6P black”, uma correia de poliamida coberta de elastômero G, que possui uma força de atrito transmissível por unidade de largura a 1% de alongamento de 6 N/mm. O fabricante informa o esticamento mínimo e máximo para a correia, de 1,5 a 3,0%, implicando que, do alongamento básico encontrado, é possível ter um ganho de até 0,5% antes de atingir o limite superior. No catálogo

também está especificada a força de pré-carga por unidade de largura a 1% de alongamento.

$$F'_w = 6 \text{ N}/(\text{mm}\cdot\%)$$

A largura necessária para produzir a força de referência é determinada pela força de atrito transmissível por unidade de largura.

$$b_0 \geq \frac{F_B}{F'_u} \geq \frac{(436,54 \text{ N})}{(8 \text{ N}/\text{mm})} \geq 54,57 \text{ mm} = 55 \text{ mm} \quad (9)$$

O alongamento de operação da correia é encontrado através da soma do alongamento básico de pré-carga e do alongamento causado pela aceleração centrífuga. O alongamento causado pela aceleração centrífuga não superará os 0,5% até que o limite superior de alongamento da correia seja atingido, já que a velocidade tangencial da correia é muito menor que as informações do catálogo expressas na Figura 23, então o alongamento causado pela aceleração centrífuga foi desconsiderado.

Figura 23 – Valores de alongamento por aceleração centrífuga da Forbo.

Polyamide line

F'UNenn	v [m/s]					
	20	30	40	50	60	70
6	0.2	0.3	0.7	1.0	*	*
10	0.2	0.3	0.6	0.9	*	*
14	0.1	0.3	0.5	0.8	1.0	*
20	0.1	0.3	0.4	0.7	1.0	*
28	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	*
40	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0
54	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9
80	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8

Tension member design: Sheet;

coatings: GT

For belts in the polyamide line, the elongation at fitting ε may not exceed 3%.

Fonte: Forbo, 2019.

$$c_5 = 0,0 \%$$

$$\varepsilon = c_4 + c_5 = 2,5 + 0,0 = 2,5\% \quad (10)$$

A força de pré-carga é utilizada para calcular a força no lado tensionado e no lado frouxo da polia e é determinada pela força de pré-carga por unidade de largura a 1% de alongamento, o alongamento básico e a largura da correia.

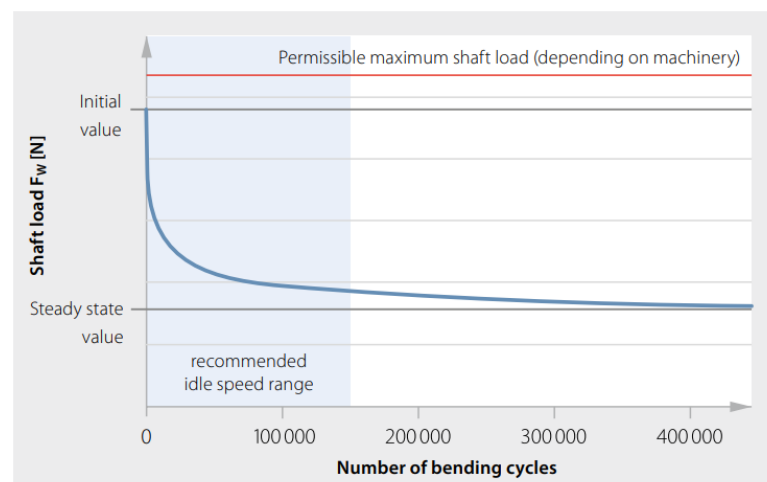
$$F_w = \varepsilon * F'_w * b_0 = (2,5 \%) * (6 \text{ N/mm}\%) * (55 \text{ mm}) = 825,00 \text{ N} \quad (11)$$

$$F_1 = \frac{F_w + F_u}{2} = \frac{(825,00 \text{ N}) + (436,54 \text{ N})}{2} = 630,77 \text{ N} \quad (12)$$

$$F_2 = \frac{F_w - F_u}{2} = \frac{(825,00 \text{ N}) - (436,54 \text{ N})}{2} = 194,23 \text{ N} \quad (13)$$

Durante início da vida da correia, a força de pré-carga decai após alguns ciclos de funcionamento, requerendo um carregamento maior que diminui até uma força de pré-carga em regime permanente quase constante. O fator que potencializa a pré-carga pode ser encontrado na seção 6.3 do catálogo e depende do material das fibras da correia. Para correias de poliamida, é igual a 2,2.

Figura 24 – Decaimento da força de pré-tensão da Forbo.



Fonte: Forbo, 2019.

$$F_{w_inicial} = c_{inicial} * F_w = 2.2 * (825,00 \text{ N}) = 1815,00 \text{ N} \quad (14)$$

As polias foram desenhadas de acordo com as recomendações do fabricante de curvatura de contato e largura da polia, e puderam ser comerciais ou fabricadas, sendo que o determinante será o custo.

4.3 Motor elétrico

Como a proposta escolhida requer um inversor de frequência para reduzir a rotação, é preciso, através da curva de potência do motor, garantir que o motor forneça 400 W de potência na rotação de entrada necessária, que por sua vez é definida através da relação de transmissão das polias e a rotação de entrada.

$$n_e = \frac{d_2}{d_1} * n_s = \frac{(250 \text{ mm})}{(75 \text{ mm})} * (70 \text{ rpm}) = 233,33 \text{ rpm} \quad (15)$$

Se existirem motores disponíveis no departamento durante a fabricação, é possível definir se o motor pode ser utilizado sem as curvas de torque, ajustando um inversor de frequência para a rotação necessária para avaliar se ele é capaz aplicar um torque que resulte em no mínimo 400 W de potência. O torque do motor pode ser avaliado através do acoplamento de um sistema com uma corda amarrada a um corpo e enrolada a uma polia. O raio da polia e massa do corpo devem ser conhecidos e ter um torque resistivo ao levantamento do corpo suficiente para gerar 400 W na rotação necessária para a transmissão. Se o motor conseguir levantar o peso nessas condições, ele tem uma potência superior a 400 W.

$$T_{motor} = \frac{P_{motor}}{n_e} = \frac{(400 \text{ W})}{(233,33 \text{ rpm})} = 16,37 \text{ N.m} \quad (16)$$

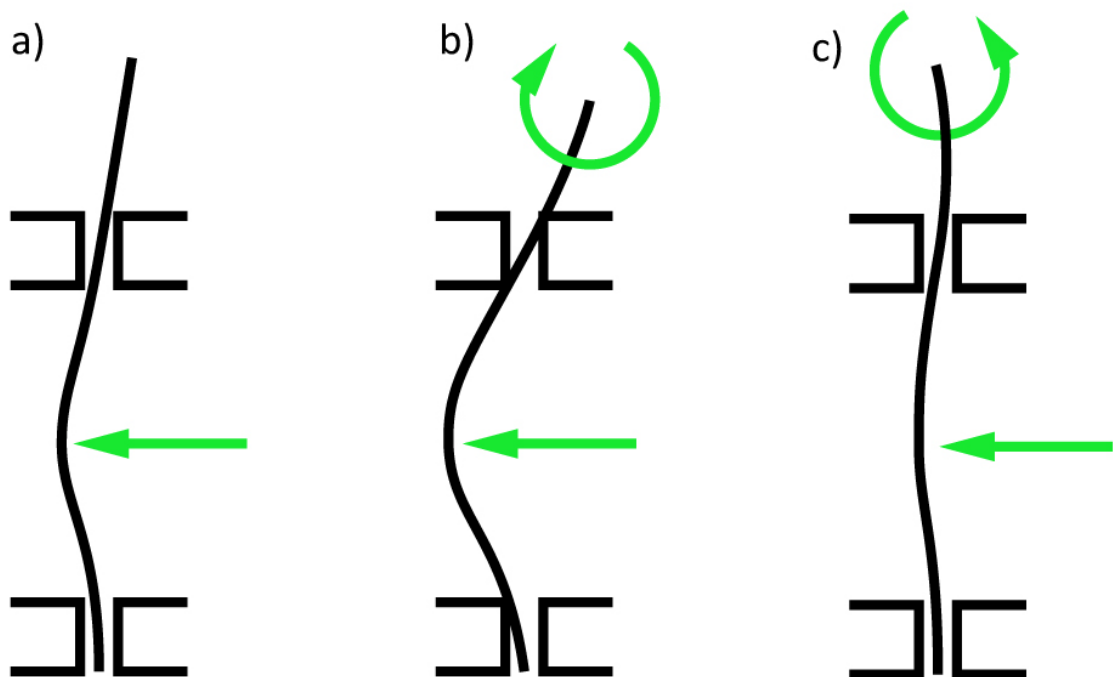
Para simplificar a fabricação da máquina, optou-se por utilizar um esticador comercial para deslocar o motor e aplicar a pré-carga nas correias. Como o motor não foi selecionado, a escolha do modelo de esticador estará incumbida a quem fabricar a máquina, podendo requerer adaptações na caixa da máquina.

4.4 Eixo

O eixo foi dimensionado pelo estudo das tensões nos pontos críticos, causados pelos esforços internos aos quais está submetido. A metodologia é utilizada por cursos de graduação e livros didáticos de engenharia.

Durante a operação, o eixo irá sustentar o prato de lapidação, que recebe uma carga acêntrica. Para o dimensionamento, essa carga deve ser deslocada até a linha de centro do eixo, adicionando-se um momento concentrado na extremidade do eixo, com magnitude igual a carga e a distância entre a aplicação da carga e a linha de centro do eixo. No pior caso, esse momento potencializa a deflexão do eixo causada pela tração das correias, representado na **Figura 25.b)**.

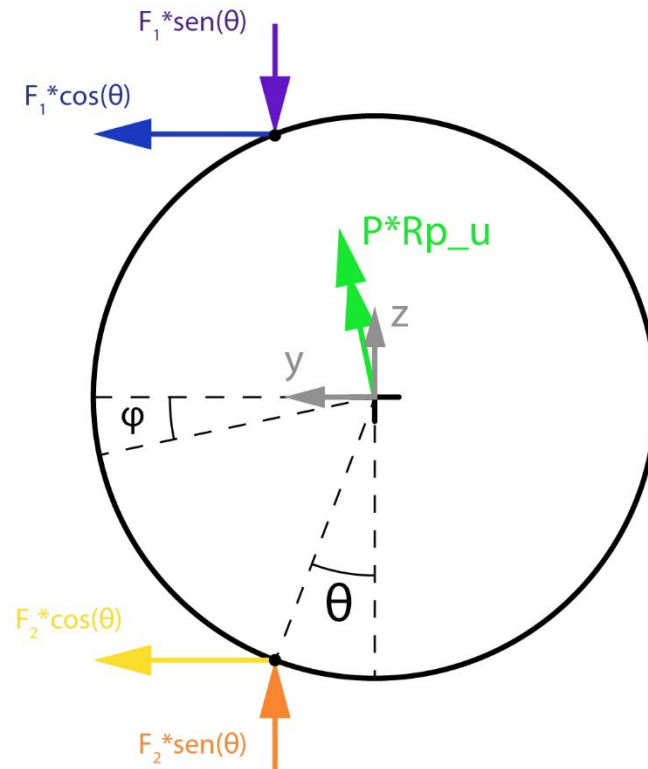
Figura 25 – Situações de carregamento do eixo, a) eixo defletido pelo carregamento da correia, b) acréscimo da deflexão por um momento concentrado e c) decréscimo da deflexão por um momento concentrado.



Fonte: Autor, 2023.

A orientação crítica do momento ocorre na direção perpendicular ao ângulo φ da direção y da referência, assim como está representado na **Figura 26**. Esse ângulo depende da diferença entre as forças do lado tensionado e frouxo da correia.

Figura 26 – Orientação crítica do momento concentrado.



Fonte: Autor, 2023.

$$\theta = \frac{\beta_2 - 180^\circ}{2} = \frac{(213,91^\circ) - 180^\circ}{2} = 16,96^\circ \quad (17)$$

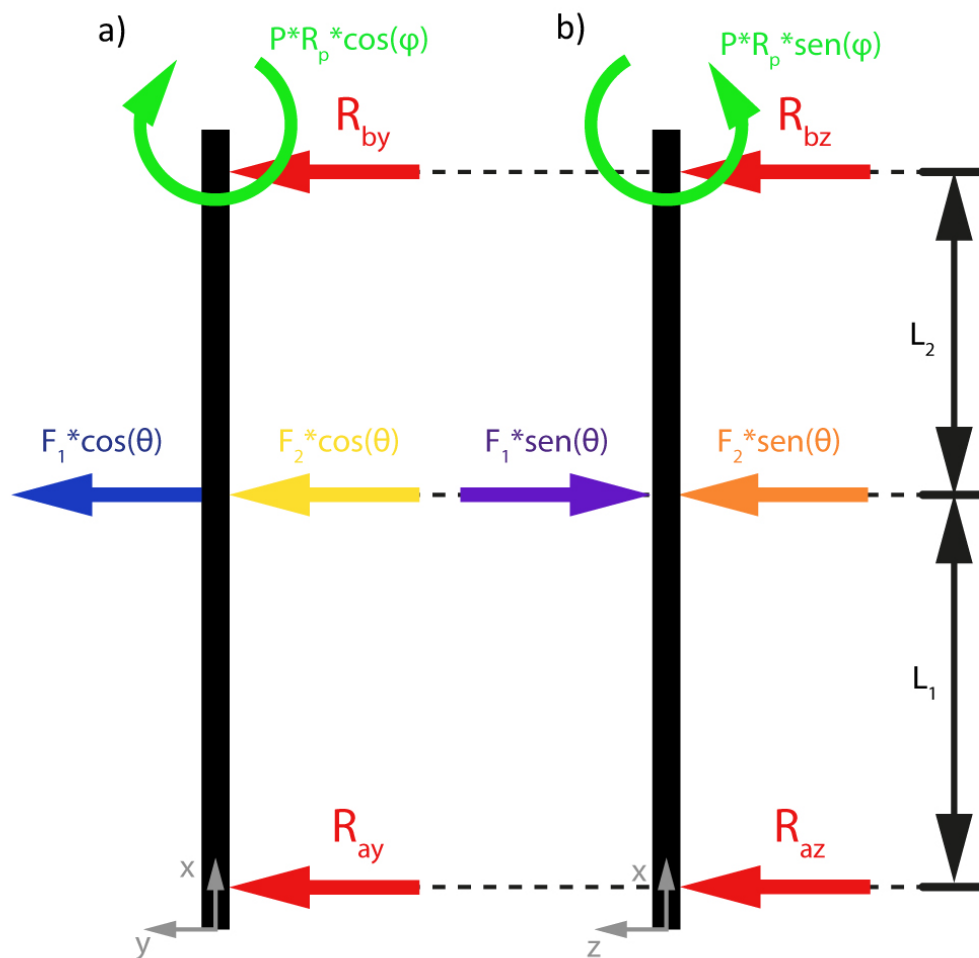
$$\varphi = a \operatorname{sen} \left(\frac{(F_2 - F_1) * \operatorname{sen}(\theta)}{(F_1 + F_2) * \operatorname{cos}(\theta)} \right) \quad (18)$$

$$\varphi = a \operatorname{sen} \left(\frac{(((194,23 \text{ N}) - (630,77 \text{ N})) * \operatorname{sen}(16,96^\circ))}{(((630,77 \text{ N}) + (194,23 \text{ N})) * \operatorname{cos}(16,96^\circ))} \right) = -9,28^\circ$$

Com essas considerações, foram desenvolvidos diagramas de corpo livre nos planos x-y, x-z e na direção x, onde aplicou-se a somatória de momentos e forças para determinar as equações das reações nos mancais. O raio do prato é a metade do

diâmetro do prato. A carga P para o cálculo do momento é igual a carga máxima aplicável na máquina, determinada nas iterações de projeto como 25 kg, enquanto a carga normal aplicada no eixo é a carga máxima com o acréscimo do peso do prato, de 38,8 kg.

Figura 27 – Diagrama de corpo livre do eixo dos planos a) x-y e b) x-z.



Fonte: Autor, 2023.

Plano X-Y

$$\sum M_a = 0 \Rightarrow R_{by} = \frac{(P_{apl} * R_p * \cos(\varphi)) - [(F_1 + F_2) * (L_1 * \cos(\theta))]}{(L_1 + L_2)} \quad (19)$$

$\downarrow P_{apl} = 245,25 \text{ N}, R_p = 190,5 \text{ mm}, L_1 = 155 \text{ mm}, L_2 = 73 \text{ mm} \downarrow$

$$R_{by} = -345,94 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow R_{ay} = -[(F_1 + F_2) * \cos(\theta) + R_{by}] \quad (20)$$

$$R_{ay} = -443,19 \text{ N}$$

Plano X-Z

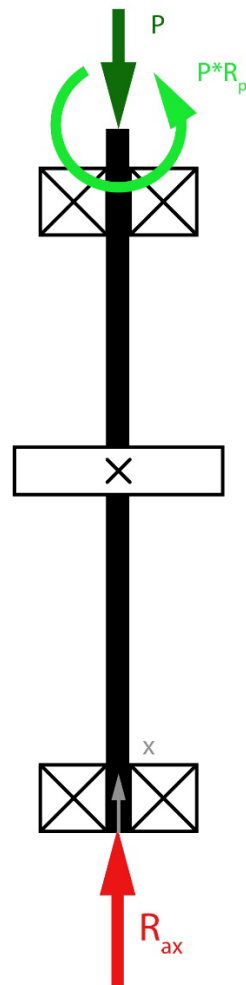
$$\sum M_a = 0 \Rightarrow R_{bz} = \frac{-(P_{apl} * R_p * \sin(\varphi)) - [(F_2 - F_1) * (L_1 * \sin(\theta))]}{(L_1 + L_2)} \quad (21)$$

$$R_{bz} = 159,39 \text{ N}$$

$$\sum F_z = 0 \Rightarrow R_{az} = -[(F_2 - F_1) * \sin(\theta) + R_{bz}] \quad (22)$$

$$R_{az} = -32,07 \text{ N}$$

Figura 28 – Diagrama de corpo livre do eixo na direção x.



Fonte: Autor, 2023.

Direção X

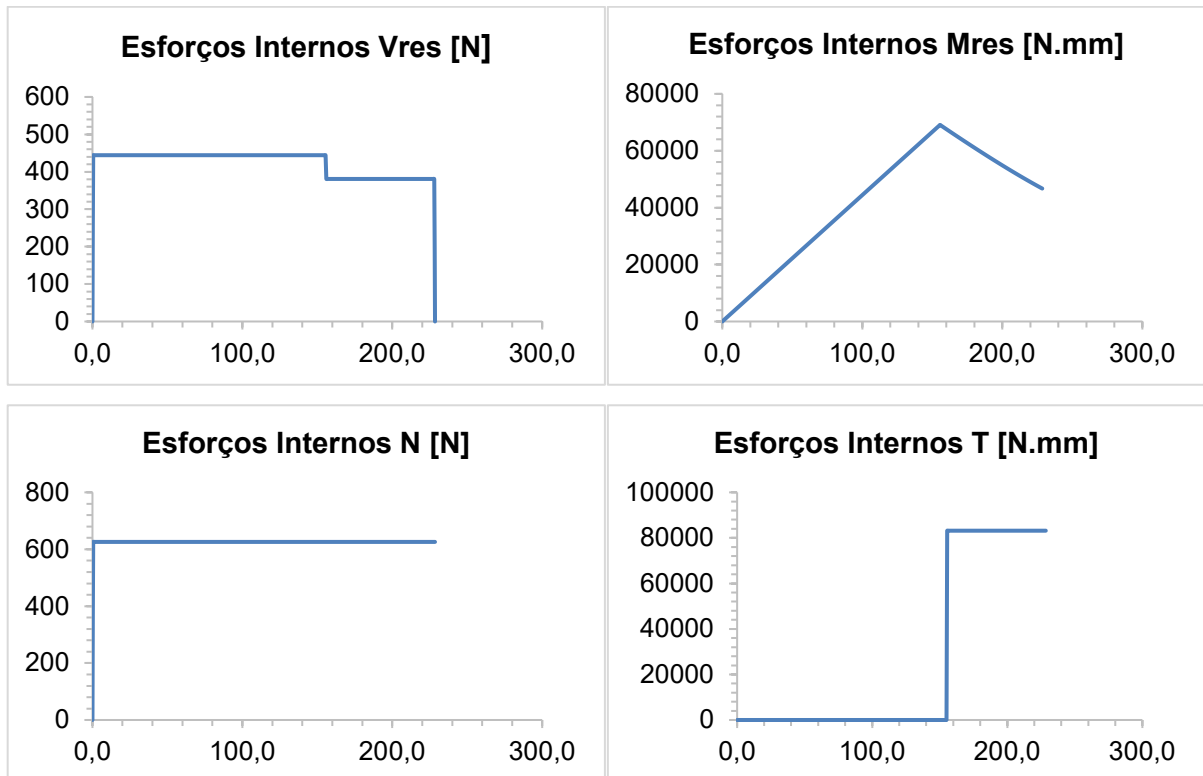
$$\sum F_x = 0 \Rightarrow R_{ax} = P_{apl} + ((38,8 \text{ kg}) * (9,81 \text{ m/s}^2)) \quad (23)$$

$$R_{ax} = 625,88 \text{ N}$$

Conhecidos as reações e os carregamentos, foram determinados os esforços internos do eixo através do método das equações de singularidade, abordado no livro de Shigley [3], que utiliza a equação do carregamento do problema, integrada uma vez para encontrar a equação que descreve o esforço cortante e outra para a equação que descreve o esforço de momento fletor. Essas equações são aplicadas para todos os pontos no comprimento do eixo, resultando nos diagramas de esforços internos.

Os diagramas resultantes foram plotados através da raiz quadrada da soma dos valores de cortante e momento dos diagramas nos planos x-y e x-z, acima dos 228,5mm o valor do esforço é constante é igual o último ponto do diagrama das figuras.

Figura 29 – Diagrama de Esforços internos em função da posição no eixo.



Fonte: Autor, 2023.

Foram escolhidas seções críticas no eixo, onde espera-se que existam tensões altas causadas por um concentrador de tensão, uma mudança de geometria que causa um acúmulo de linhas de carregamento, resultando em uma zona de alta tensão concentrada na borda do material. Nas seções críticas, calculou-se as tensões equivalentes médias e alternadas corrigidas pelos concentradores, avaliando-nas pelo critério de falha por fadiga de Goodman. Além da fadiga, a tensão máxima equivalente na seção foi avaliada utilizando o critério de falha de escoamento de Von Mises.

Numericamente, os concentradores potencializam a tensão da seção por um fator K_t para tensões normais e K_{ts} para tensões de cisalhamento, que dependem da geometria da seção. No eixo existem 3 tipos de concentradores com os seguintes métodos de determinação.

- I. **Chavetas:** são concentradores de tensão não uniforme na seção e dependem do raio da fresa que será utilizada. Como a ferramenta não foi selecionada, foram utilizados os valores recomendados por Peterson [2]: K_t igual a 2,14 e K_{ts} igual a 3 para uma relação de raio do entalhe sobre o diâmetro de 0,02. Após a escolha da ferramenta, o dimensionamento do eixo deve ser corrigido com tabelas de concentradores para avaliar se o novo raio pode causar problemas, aumentando a tensão concentrada no entalhe, reduzindo a vida do eixo na seção.
- II. **Escalonamento com raio de canto:** Norton [1] disponibiliza as curvas do concentrador, presentes no ANEXO, Figura A1, juntamente com a equação ajustada que as rege para cada diferença de diâmetro no escalonamento, determinando os concentradores de tensão normal K_t , e de tensão cisalhante K_{ts} .
- III. **Rasgos de anel elástico:** Para as espessuras de rasgo no eixo, o raio de entalhe esperado é próximo de 0,2 mm, o que, junto das outras dimensões do entalhe aplicados nas curvas de Shigley [3], presentes no ANEXO, Figura A2, determina os valores de concentração. Quando esse concentrador for utilizado, será apresentado uma imagem dos pontos do problema nas curvas para determinação dos coeficientes, já a precisão depende do usuário.

Conhecido os esforços internos, é necessário determinar as geometrias do eixo, calculando, para cada seção crítica, a área, o momento de inércia e o momento polar de inércia. No eixo não existem furos que o fragilizem, logo, d_i é zero.

$$A = \frac{\pi * (d - d_i)}{4} \quad (24)$$

$$I = \frac{\pi * (d^4 - d_i^4)}{64} \quad (25)$$

$$J = \frac{\pi * (d^4 - d_i^4)}{32} \quad (26)$$

O material escolhido para o eixo é o aço SAE 8640, por ser uma liga de construção mecânica indicada para cementação e boa resistência a corrosão. Possui as propriedades mecânicas apresentadas na Tabela 3, que serão utilizadas nos critérios de falha. A tensão limite de fadiga pode ser estimada para aços pela seguinte equação.

$$Se' \begin{cases} Se' = 0,5 * S_{ut}, & se S_{ut} < 1400 MPa \\ Se' = 700 MPa, & se S_{ut} \geq 1400 MPa \end{cases} \quad (27)$$

Tabela 3 – Material do eixo.

SAE 8640		
E	200	Gpa
Sy	913,0	MPa
Sut	945,0	MPa
Se'	472,5	MPa

Fonte: *MatWeb AISI 8640 Steel, cold drawn, 25 mm (1 in.) round*, disponível em <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=fc8af357cda840d09f3f2245861ddf5f>, acessado em 11 de abril de 2023.

A tensão limite de fadiga estimada deve ser corrigida por fatores modificadores, que compensam a diferença entre o teste de fadiga, que determina a tensão limite de fadiga, e o ensaio de ruptura que foi utilizado para a estimativa.

$$Se = C_{car} * C_{tam} * C_{surf} * C_{temp} * C_{conf} * Se' \quad (28)$$

- **C_{car} - Fator de carregamento:** depende dos tipos de carregamento que o eixo está submetido e será o mesmo para todas as seções.

$$C_{car} = 1,0 \text{ Carga de flexão alternada}$$

- **C_{tam} – Fator de tamanho:** depende da dimensão do menor diâmetro da seção e para seções circulares utiliza a equação abaixo.

$$C_{tam} = 1,189 * d^{-0,097}, \text{ para } 8 \text{ mm} < d \leq 250 \text{ mm}$$

- **C_{surf} – Fator de superfície:** depende da qualidade superficial da seção e está diretamente vinculada ao último processo de usinagem, que para a maior parte das seções será a qualidade de usinagem, exceto nas seções chavetadas, que terão a qualidade de eixo retificado.

$$C_{surf} = A(S_{ut})^b, \begin{cases} A = 4,51 \text{ e } b = -0,265 \text{ para Usinado} \\ A = 1,58 \text{ e } b = -0,085 \text{ para Retificado} \end{cases}$$

- **C_{temp} – Fator de temperatura:** depende da temperatura de operação e tem valor diferente de 1 acima de 450°C para aços, temperatura que nunca será atingida em condições normais de operação.

$$C_{temp} = 1$$

- **C_{conf} – Fator de confiabilidade:** depende da dispersão dos valores obtidos em ensaios de tração, a confiabilidade assumida para o projeto foi de 99,99%.

$$C_{conf} = 0,702$$

Durante a rotação do eixo, um ponto na extremidade da seção transversal sofre diferentes estados de tensão causados pela variação da posição do ponto em relação ao centro de giro. A tensão causada pelo momento fletor é alternada, já que, para a fadiga a compressão não propaga trincas no eixo. A força axial e o momento torsor são constantes e as tensões não variam durante a rotação. A força cortante é repetida na seção do eixo pois inverte de sinal para equilibrar a inversão das forças em um elemento infinitesimal durante a compressão e tração normal. Os valores alternados e médios dos esforços estão resumidos na **Tabela 4** e o valor do diagrama depende da posição da seção crítica.

Tabela 4 – Esforços alternados e médios.

Símbolo	Significado	Valor alternado (a)	Valor médio (m)
M_i	Momento fletor resultante	diagrama M_{res}	0
N_i	Força axial	0	diagrama N
T_i	Momento torsor	0	diagrama T
V_i	Força cortante resultante	(diagrama V_{res})/2	(diagrama V_{res})/2

Fonte: Autor, 2023.

As tensões nominais alternadas e médias são calculadas da mesma forma e abaixo o subíndice i é utilizado para separar as equações de tensão alternada (a) da média (m).

$$\sigma_i^{(axial)nom} = \frac{N_i}{A} \quad (29)$$

$$\sigma_i^{(flexão)nom} = \frac{M_i * (d/2)}{I} \quad (30)$$

$$\sigma_i^{nom} = \sigma_i^{(axial)nom} + \sigma_i^{(flexão)nom} \quad (31)$$

$$\tau_i^{nom} = \tau_i^{(cortante)nom} + \tau_i^{(torção)nom} \quad (32)$$

$$\tau_i^{(cortante)nom} = \frac{4 * V_i}{3 * A} \quad (33)$$

$$\tau_i^{(torção)nom} = \frac{T_i * (d/2)}{J} \quad (34)$$

Os valores de tensão nominais devem ser corrigidos pelos concentradores de tensão de fadiga, que por sua vez são calculados através dos concentradores de tensão estáticos e do fator de sensibilidade do entalhe.

Para determinar o fator de sensibilidade utiliza-se a equação de Kuhn-Hardrath, que requer a constante de Neuber do material, encontrado na Figura 30.

$$q = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{a}{r}}} \quad (35)$$

Figura 30 – Tabela de constate de Neuber para aços.

Tabela 6-6	
Constante de Neuber para aços	
S_{ut} (ksi)	\sqrt{a} (in ^{0,5})
50	0,130
55	0,118
60	0,108
70	0,093
80	0,080
90	0,070
100	0,062
110	0,055
120	0,049
130	0,044
140	0,039
160	0,031
180	0,024
200	0,018
220	0,013
240	0,009

Fonte: Norton, 2011.

Então é possível calcular os concentradores de fadiga normal, cisalhante, normal médio e médio cisalhante.

$$K_f = 1 + q * (K_t - 1) \quad (36)$$

$$K_{fm} = \begin{cases} K_f, \text{ se } K_f * |\sigma_a^{nom} + \sigma_m^{nom}| < S_y \\ \frac{S_y - K_f * \sigma_a^{nom}}{|\sigma_m^{nom}|}, \text{ se } K_f * |\sigma_a^{nom} + \sigma_m^{nom}| > S_y \\ 0, \text{ se } K_f * |2 * \sigma_a^{nom}| > 2 * S_y \end{cases} \quad (37)$$

$$K_{fs} = 1 + q * (K_{ts} - 1) \quad (38)$$

$$K_{fms} = \begin{cases} K_{fs}, \text{ se } K_{fs} * |\sigma_a^{nom} + \sigma_m^{nom}| < S_y/\sqrt{3} \\ \frac{S_y/\sqrt{3} - K_{fs} * \sigma_a^{nom}}{|\sigma_m^{nom}|}, \text{ se } K_{fs} * |\sigma_a^{nom} + \sigma_m^{nom}| > S_y/\sqrt{3} \\ 0, \text{ se } K_{fs} * |2 * \sigma_a^{nom}| > 2 * S_y/\sqrt{3} \end{cases} \quad (39)$$

As tensões nominais são corrigidas e utilizadas para calcular as tensões equivalentes da seção.

$$\sigma_a = K_f * \sigma_a^{nom} \quad (40)$$

$$\sigma_m = K_{fm} * \sigma_m^{nom} \quad (41)$$

$$\tau_a = K_{fs} * \tau_a^{nom} \quad (42)$$

$$\tau_m = K_{fms} * \tau_m^{nom} \quad (43)$$

$$\sigma_a^{eq} = \sqrt{\sigma_a^2 + (3 * (\tau_a^2))} \quad (44)$$

$$\sigma_m^{eq} = \sqrt{\sigma_m^2 + (3 * (\tau_m^2))} \quad (45)$$

$$\sigma_{max}^{eq} = \sigma_a^{eq} + \sigma_m^{eq} \quad (46)$$

Com as tensões equivalentes determinadas, é possível aplicar o critério de falha pré-determinado e encontrar os coeficientes de segurança da seção.

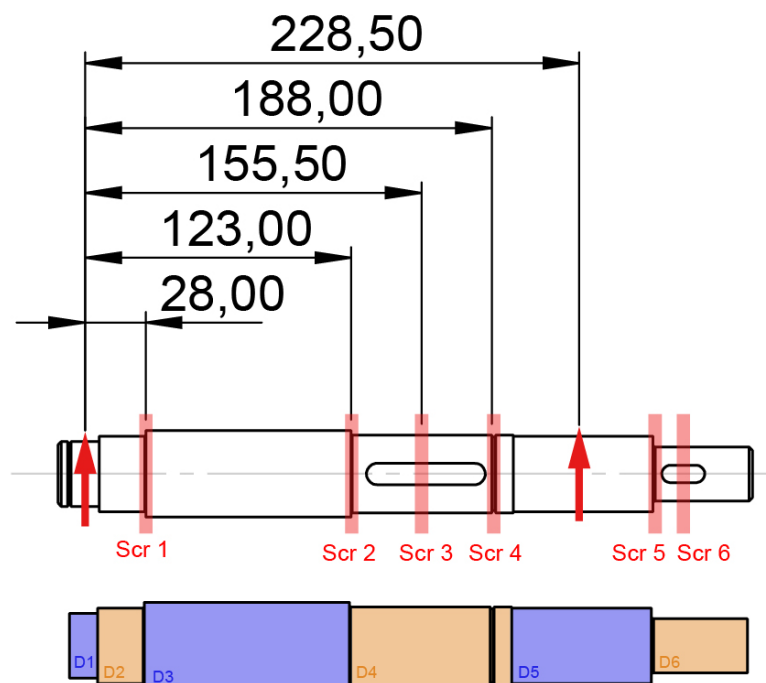
$$N_y = \frac{S_y}{\sigma_{max}^{eq}}, \text{ critério de Von Mises} \quad (47)$$

$$N_f = \frac{1}{\left(\frac{\sigma_a^{eq}}{S_e}\right) + \left(\frac{\sigma_m^{eq}}{S_{ut}}\right)}, \text{ critério de Goodman modificado} \quad (48)$$

Os coeficientes de segurança desejados são acima de 1,5 para a fadiga e acima de 3,0 para o escoamento, indicando um eixo com margem de segurança para vida infinita com uma boa margem de segurança contra o escoamento.

As seções críticas do eixo foram escolhidas nas posições onde existem concentradores de tensão consideráveis. Suas posições e diâmetros notáveis estão ilustrados na Figura 31 e os valores finais de diâmetros expressos na Tabela 5. Os limites de L_1 e L_2 são as posições das reações dos apoios de rolamentos.

Figura 31 – Seções críticas e diâmetros notáveis do eixo.



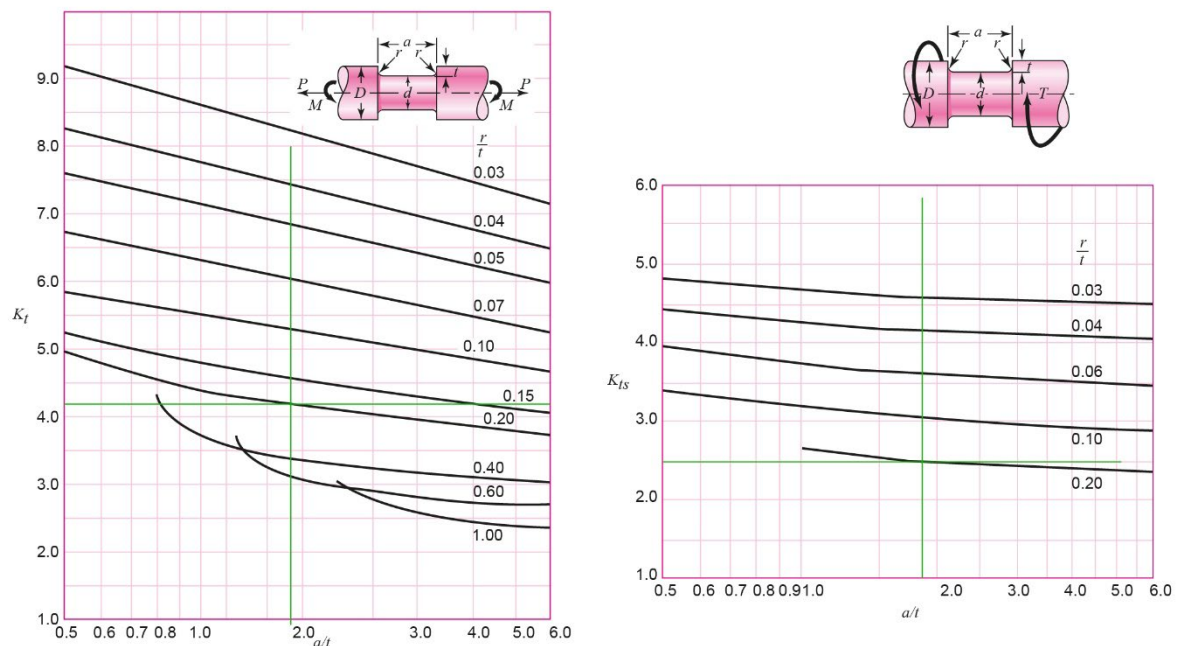
Fonte: Autor, 2023.

Tabela 5 – Diâmetros finais do eixo.

D1	30,00	mm
D2	35,00	mm
D3	40,00	mm
D4	36,00	mm
D5	35,00	mm
D6	25,00	mm

Fonte: Autor, 2023.

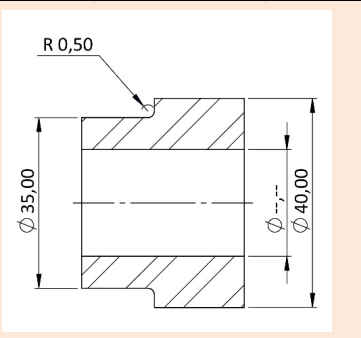
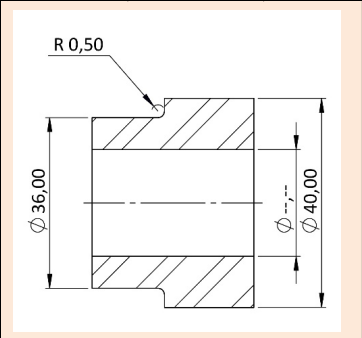
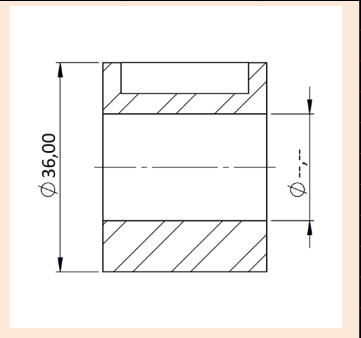
Na Seção Crítica 4, foi utilizado um rasgo de anel elástico para localizar a polia no eixo e nessa seção o K_t e K_{ts} utilizados estão expressos na Figura 32.

Figura 32 – K_t e K_{ts} na Seção Crítica 4.

Fonte: Shigley, 2008.

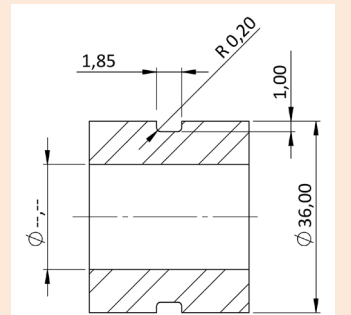
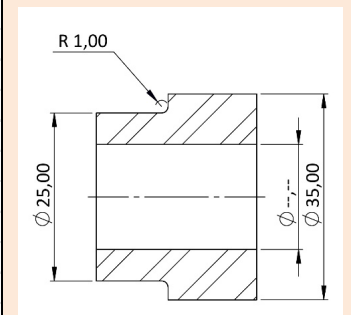
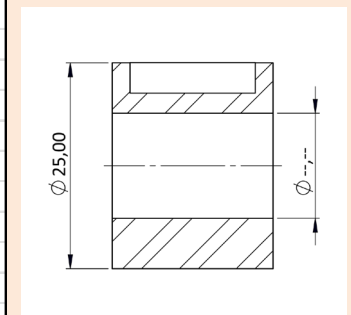
Os resultados do dimensionamento do eixo estão resumidos na Figura 33 e Figura 34.

Figura 33 – Dimensionamento das Seções Críticas 1-2-3 do eixo.

Seção 1 (Escalonado)			Seção 2 (Escalonado)			Seção 3 (Mmax+chaveta)		
D	40,00	mm	D	40,00	mm	D	0,00	mm
d	35,00	mm	d	36,00	mm	d	36,00	mm
D/d	1,14	-	D/d	1,11	-	D/d	0,00	-
di	0,00	mm	di	0,00	mm	di	0,00	mm
A	962,11	mm ²	A	1017,88	mm ²	A	1017,88	mm ²
I	73661,76	mm ⁴	I	82447,96	mm ⁴	I	82447,96	mm ⁴
J	147323,51	mm ⁴	J	164895,92	mm ⁴	J	164895,92	mm ⁴
Ccar	1,00	-	Ccar	1,00	-	Ccar	1,00	-
Ctam	0,84	-	Ctam	0,84	-	Ctam	0,84	-
Csup	0,73	-	Csup	0,73	-	Csup	0,88	-
Ctemp	1,00	-	Ctemp	1,00	-	Ctemp	1,00	-
Cconf	0,70	-	Cconf	0,70	-	Cconf	0,70	-
Se	205,0	Mpa	Se	204,5	Mpa	Se	245,9	Mpa
x	28,00	mm	x	123,00	mm	x	155,50	mm
r	0,50	mm	r	0,50	mm	r	0,72	mm
r/d	0,01	-	r/d	0,01	-	r/d	0,02	-
								
Kt flexão	2,54	-	Kt flexão	2,61	-	Kt flexão	2,14	-
Kts torção	1,79	-	Kts torção	1,79	-	Kts torção	3,00	-
raiz a	0,20	mm ^{0,5}	raiz a	0,20	mm ^{0,5}	raiz a	0,20	mm ^{0,5}
q	0,78	-	q	0,78	-	q	0,81	-
Kf	2,20	-	Kf	2,25	-	Kf	1,92	-
Kfm	2,20	-	Kfm	2,25	-	Kfm	1,92	-
Kfs	1,61	-	Kfs	1,61	-	Kfs	2,61	-
Kfsm	1,61	-	Kfsm	1,61	-	Kfsm	2,61	-
σa	6,49	Mpa	σa	26,94	Mpa	σa	28,87	Mpa
τa	0,99	Mpa	τa	0,94	Mpa	τa	1,52	Mpa
σa - eq	6,71	Mpa	σa - eq	26,99	Mpa	σa - eq	28,99	Mpa
σm	1,43	Mpa	σm	1,38	Mpa	σm	1,18	Mpa
τm	0,99	Mpa	τm	0,94	Mpa	τm	25,23	Mpa
σm - eq	2,24	Mpa	σm - eq	2,14	Mpa	σm - eq	43,72	Mpa
σmáx - eq	8,95	Mpa	σmáx - eq	29,12	Mpa	σmáx - eq	72,71	Mpa
Ny	104,02	-	Ny	31,97	-	Ny	12,80	-
Nf	28,48	-	Nf	7,45	-	Nf	6,09	-

Fonte: Autor, 2023.

Figura 34 – Dimensionamento das Seções Críticas 4-5-6 do eixo.

Seção 4 (Rasgo)			Seção 5 (Escalonado)			Seção 3 (chaveta)		
D	0,00	mm	D	35,00	mm	D	0,00	mm
d	36,00	mm	d	25,00	mm	d	25,00	mm
D/d	0,00	-	D/d	1,40	-	D/d	0,00	-
di	0,00	mm	di	0,00	mm	di	10,00	mm
A	1017,88	mm ²	A	490,87	mm ²	A	412,33	mm ²
I	82447,96	mm ⁴	I	19174,76	mm ⁴	I	18683,89	mm ⁴
J	164895,92	mm ⁴	J	38349,52	mm ⁴	J	37367,77	mm ⁴
Ccar	1,00	-	Ccar	1,00	-	Ccar	1,00	-
Ctam	0,84	-	Ctam	0,87	-	Ctam	0,87	-
Csup	0,73	-	Csup	0,73	-	Csup	0,88	-
Ctemp	1,00	-	Ctemp	1,00	-	Ctemp	1,00	-
Cconf	0,70	-	Cconf	0,70	-	Cconf	0,70	-
Se	204,5	Mpa	Se	211,8	Mpa	Se	254,7	Mpa
x	188,00	mm	x	>228,5	mm	x	>228,5	mm
r	0,20	mm	r	1,00	mm	r	0,50	mm
r/d	0,01	-	r/d	0,04	-	r/d	0,02	-
								
Kt _{flexão}	4,25	-	Kt _{flexão}	2,25	-	Kt _{flexão}	2,14	-
Kts _{torção}	2,50	-	Kts _{torção}	1,80	-	Kts _{torção}	3,00	-
raiz a	0,20	mm ^{0,5}	raiz a	0,20	mm ^{0,5}	raiz a	0,20	mm ^{0,5}
q	0,69	-	q	0,83	-	q	0,78	-
Kf	3,23	-	Kf	2,04	-	Kf	1,88	-
Kfm	3,23	-	Kfm	2,04	-	Kfm	1,88	-
Kfs	2,03	-	Kfs	1,66	-	Kfs	2,55	-
Kfsm	2,03	-	Kfsm	1,66	-	Kfsm	2,55	-
σ _a	41,42	Mpa	σ _a	62,12	Mpa	σ _a	58,90	Mpa
τ _a	1,01	Mpa	τ _a	0,00	Mpa	τ _a	0,00	Mpa
σ _a - eq	41,45	Mpa	σ _a - eq	62,12	Mpa	σ _a - eq	58,90	Mpa
σ _m	1,99	Mpa	σ _m	2,60	Mpa	σ _m	2,86	Mpa
τ _m	19,44	Mpa	τ _m	45,04	Mpa	τ _m	70,98	Mpa
σ _m - eq	33,72	Mpa	σ _m - eq	78,05	Mpa	σ _m - eq	122,98	Mpa
σ _{máx} - eq	75,18	Mpa	σ _{máx} - eq	140,17	Mpa	σ _{máx} - eq	181,88	Mpa
N _y	12,38	-	N _y	6,64	-	N _y	5,12	-
N _f	4,19	-	N _f	2,66	-	N _f	2,77	-

Fonte: Autor, 2023.

Nenhuma das seções possui um coeficiente de segurança contra a fadiga menor que 1,5, logo todas as seções do eixo possuem vida infinita com uma margem de segurança satisfatória. Nenhuma das seções possui um coeficiente de segurança contra o escoamento menor do que 3,0, o que está acima do desejado.

Foi utilizado o método das equações de singularidade para determinar e avaliar as deflexões transversais e angulares do eixo através da integração da equação do esforço de momento fletor pelo momento de inércia do eixo. O método é abordado mais profundamente no livro de Shigley [3].

$$\frac{M}{I} = E * \frac{d^2y(x)}{dx^2} = E * \frac{d\theta(x)}{dx} \quad (49)$$

$$\frac{M}{I} = Fs(x) \quad (50)$$

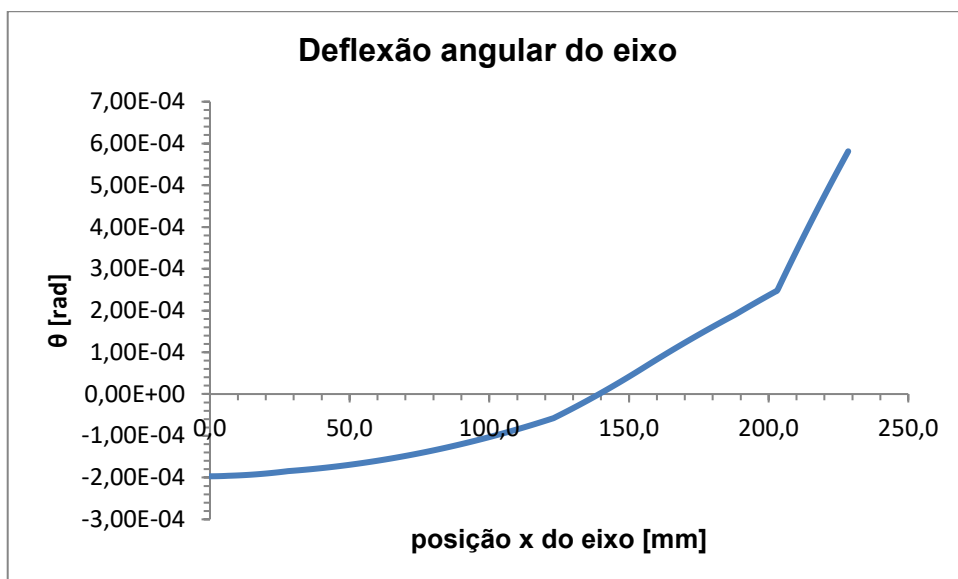
$$\theta(x) = \frac{1}{E} * \int Fs(x)dx + C_{int1} \quad (51)$$

$$y(x) = \frac{1}{E} * \iint Fs(x)dx + C_{int1} * x + C_{int2}$$

com condições de contorno $\begin{cases} y(x = 0) = 0 \\ y(x = 228,5) = 0 \end{cases} \quad (52)$

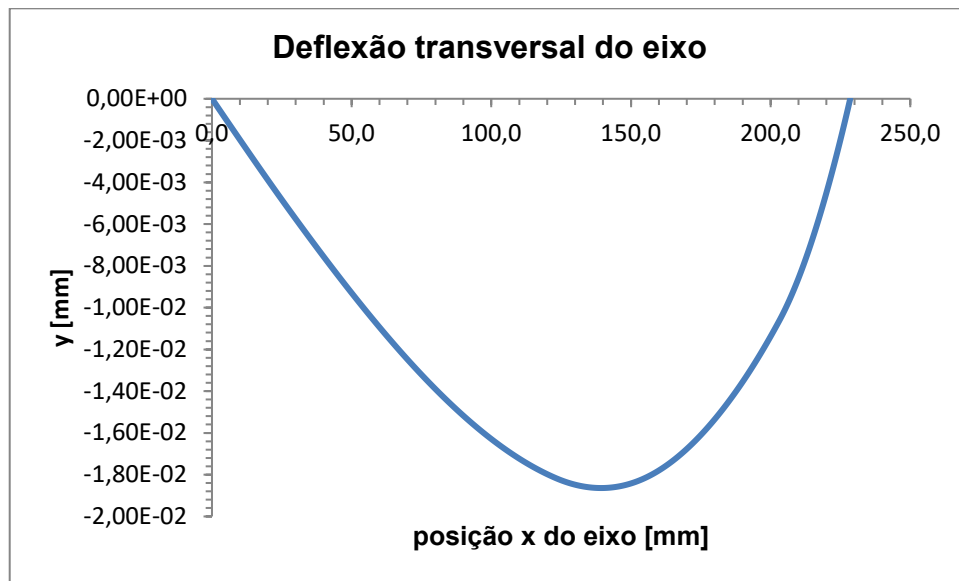
Os resultados relevantes são a deflexão transversal na posição da correia e as deflexões angulares nas posições dos rolamentos.

Figura 35 – Deslocamento angular do eixo.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 36 – Deslocamento transversal do eixo.



Fonte: Autor, 2023.

As deflexões são baixas e indicam que não existem problemas consideráveis de perda de torque na correia causada pela deflexão transversal do eixo, nem problemas nos rolamentos causados pela deflexão angular do eixo nos apoios.

4.5 Suporte do prato

Para auxiliar o eixo a suportar o prato de lapidação, foi desenvolvida uma peça que apoia o prato a um colo do eixo, o que já é utilizado em algumas máquinas comerciais.

O dimensionamento dessa peça é semelhante a um eixo com um furo, sendo que os esforços internos são uniformes nas seções e estão expressos abaixo.

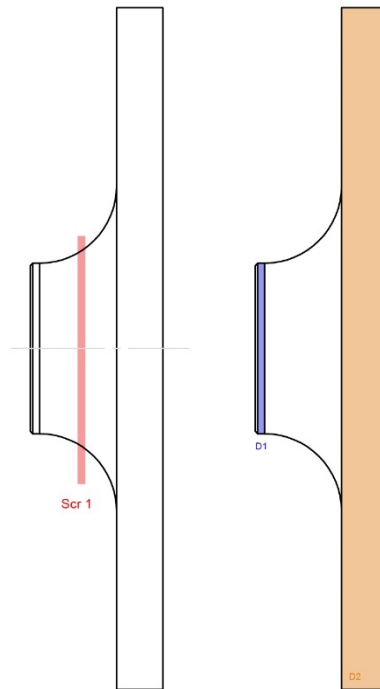
$$M_a = 49638,60 \text{ N.mm}$$

$$N_m = 671,99 \text{ N}$$

$$T_m = 54567,41 \text{ N.mm}$$

As seções críticas do suporte foram escolhidas nas posições onde existem concentradores de tensão consideráveis. Suas posições e diâmetros notáveis estão ilustrados na **Figura 37** e os valores finais de diâmetros expressos na **Tabela 6**.

Figura 37 – Seções críticas e diâmetros notáveis do suporte.



Fonte: Autor, 2023.

Tabela 6 – Diâmetros finais do suporte.

D1	40,00	mm
D2	220,00	mm

Fonte: Autor, 2023.

As tensões nominais foram calculadas para o problema e estão expressas na **Figura 38**.

Figura 38– Tensões nominais da Seção Crítica do suporte.

σ_a_nom	8,77	Mpa
σ_m_nom	0,82	Mpa
σ_nom_max	9,59	Mpa
σ_nom_min	-7,96	Mpa
τ_a_nom	0,00	Mpa
τ_m_nom	7,81	Mpa
τ_nom_max	7,81	Mpa
τ_nom_min	7,81	Mpa

Fonte: Autor, 2023.

O concentrador de tensão do suporte não está incluído nas curvas dos ábacos encontrados na literatura, mas pode-se, através de considerações, supor um valor para o concentrador e superestimar o projeto. Como a razão D/d é maior que os valores dos ábacos, a curva do problema estaria acima das curvas conhecidas, o que indicaria um concentrador de tensão mais alto. Além disso, a razão r/d também tem valores maiores que os ábacos, indicando um baixo concentrador de tensão, já que o comportamento das curvas tende a estabilizar em um valor para razões de r/d tendendo ao infinito. Logo, é possível assumir que a concentração de tensão não será tão alta, o que só pode ser confirmado com simulações numéricas, ábacos de concentradores mais específicos ou utilização de protótipos. O valor de K_t e K_{ts} assumidos foram de 5,0, o suficiente para superestimar o projeto.

O material escolhido para o suporte foi aço AISI 1045, por ser um material de boa manufaturabilidade e boa resistência.

Tabela 7 – Material do suporte do prato.

AISI 1045		
E	200	Gpa
Sy	485,0	MPa
Sut	515,0	MPa
Se'	257,5	MPa

Fonte: *MatWeb AISI 1045 Steel, as cold drawn, 50-75 mm (2-3 in) round*, disponível em <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=3135b629bdee490aa25f94230424c08a>, acessado em 11 de abril de 2023.

Aplicando os concentradores assumidos, foram utilizados os mesmos critérios de falha do eixo, rendendo os seguintes coeficientes de segurança para a seção.

Figura 39 – Dimensionamento da Seção Crítica do suporte.

σ_a	41,05	Mpa
τ_a	0,00	Mpa
$\sigma_a - eq$	41,05	Mpa
σ_m	3,82	Mpa
τ_m	36,53	Mpa
$\sigma_m - eq$	63,39	Mpa
$\sigma_{m\acute{a}x} - eq$	104,43	Mpa
N_y	4,64	-
N_f	2,27	-

Fonte: Autor, 2023.

Nenhumas das seções possui um coeficiente de segurança contra a fadiga menor que 1,5, logo todas as seções do eixo possuem vida infinita com uma margem de segurança satisfatória. Nenhuma das seções possui um coeficiente de segurança contra o escoamento menor do que 3,0, o que está acima do desejado.

4.6 Rolamentos

A vida útil dos rolamentos foi calculada utilizando o método de comparação da carga dinâmica e estática equivalente aplicada no rolamento, causada pelas reações dos apoios no eixo, com o valor respectivo de capacidade de carga de cada rolamento. Esse método é comumente apresentado por fabricantes de rolamentos, e nesse projeto foi desenvolvido com as especificações da NSK e da SFK.

As cargas teóricas radial e axial aplicadas nos rolamentos são determinadas pelas reações nos apoios, onde a carga radial é dada pela resultante das reações em y e z.

$$F_{ri}^{teo} = \sqrt{R_{iz}^2 + R_{iy}^2}, \quad \text{onde } i \text{ é o apoio A ou o B} \quad (53)$$

$$F_{aa}^{teo} = R_{ax}, \quad \text{não existe reação axial em B} \quad (54)$$

O valor teórico é corrigido por um coeficiente de carga dado pela condição de operação da máquina e encontrado no catálogo da NSK, presente na Figura 40.

$$F_i = f_w * F_i^{teo}, \quad \text{com } i = \begin{cases} r \text{ p/ radial} \\ a \text{ p/ axial} \end{cases} \quad (55)$$

$1 \leq f_w \leq 1,2$ para máquinas com operação suave

Figura 40 – Coeficiente de Carga f_w da NSK

Tabela 5.5 Valores de Coeficiente de Carga f_w

Condições de Operação	Exemplos de Aplicação	f_w
Operação suave e sem choque	Motores elétricos, máquinas operatrizes, ar condicionado	1 a 1,2
Operação normal	Sopradores, elevadores, compressores, guindastes, máquinas para indústria de papel	1,2 a 1,5
Operação com choque, vibração ou ambos	Máquinas de construção civil, britadores, peneiras vibratórias, laminadores	1,5 a 3

Fonte: NSK, 2013.

O cálculo da carga estática e dinâmica equivalente depende dos fatores X, Y, X₀ e Y₀ e f_0 que são encontrados nos catálogos do rolamento utilizado, que para rolamentos cilíndricos de esferas são determinados através das seguintes equações.

$$P_0 = \begin{cases} X_0 * F_r + Y_0 * F_a, & \text{se } \frac{F_a}{F_r} > 0,8 \\ F_r, & \text{se } \frac{F_a}{F_r} \leq 0,8 \end{cases} \quad (56)$$

$$P = X * F_r + Y * F_a \quad (57)$$

O coeficiente de segurança estático é calculado utilizando a carga estática equivalente e a capacidade de carga estática do rolamento.

$$N_e = \frac{C_0}{P_0} \quad (58)$$

O coeficiente de segurança dinâmico é calculado através da carga dinâmico equivalente e da capacidade de carga dinâmico do rolamento e é utilizado para determinar a vida em horas, para uma vida nominal de 10^6 ciclos.

$$N_d = \frac{C}{P} \quad (59)$$

$$L_{horas} = \frac{L_{10} * (N_d)^a}{n_s * 60} \quad (60)$$

$$L_{10} = 10^6 \text{ e } a = 3 \text{ para rolamento de esferas}$$

Os coeficientes de segurança dos dois rolamentos que suportam o eixo foram calculados através do equacionamento de catálogo. A carga axial no rolamento A corresponde à soma dos pesos que devem ser descarregados na carcaça. A carga radial de cada rolamento corresponde às suas respectivas reações ao carregamento da correia.

No rolamento A, as cargas radial e axial teóricas foram corrigidas pelo coeficiente de carga. A carga axial é a carga aplicada na lapidação mais toda a massa do conjunto do eixo que deve ser sustentado.

$$F_{rA}^{teo} = \sqrt{(-443,19 \text{ N})^2 + (-32,07 \text{ N})^2} = 444,35 \text{ N} \quad (61)$$

$$F_{rA} = 1,1 * (444,35 \text{ N}) = 488,79 \text{ N}$$

$$F_{aA}^{teo} = 856,41 \text{ N} \quad (62)$$

$$F_{aA} = 1,1 * (856,41 \text{ N}) = 942,05 \text{ N}$$

O rolamento de código 6006 foi selecionado e possui as seguintes especificações retiradas do catálogo da NSK.

$$C = 13200 \text{ N e } C_0 = 8300 \text{ N}$$

$$f_0 = 14,7 -$$

$$X_0 = 0,6 - \text{ e } Y_0 = 0,5 -$$

Os valores de X e Y, reproduzidos na **Figura 41**, são encontrados no catálogo para rolamentos rígidos de esferas.

Figura 41 – Valores de X e Y da NSK.

$\frac{f_0 F_a}{C_{0r}}$	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$	
		X	Y	X	Y
0,172	0,19	1	0	0,56	2,30
0,345	0,22	1	0	0,56	1,99
0,689	0,26	1	0	0,56	1,71
1,03	0,28	1	0	0,56	1,55
1,38	0,30	1	0	0,56	1,45
2,07	0,34	1	0	0,56	1,31
3,45	0,38	1	0	0,56	1,15
5,17	0,42	1	0	0,56	1,04
6,89	0,44	1	0	0,56	1,00

Fonte: NSK, 2013.

$$\frac{f_0 * F_a}{C_0} = \frac{14,7 * (942,05 \text{ N})}{(8300 \text{ N})} = 1,67 \quad (63)$$

$$e \xrightarrow{\text{interpolado}} 0,32 \quad (64)$$

$$\frac{F_a}{F_r} = 1,93 > e = 0,32 \Rightarrow \begin{cases} X \xrightarrow{\text{interpolado}} 0,56 \\ Y \xrightarrow{\text{interpolado}} 1,39 \end{cases} \quad (65)$$

Calculando as cargas equivalentes, é possível determinar o coeficiente de segurança estático e a vida do rolamento para a rotação de 70 rpm.

$$P_0 = 0,6 * (488,79 N) + 0,5 * (942,05 N) = 764,30 N$$

$$\text{já que } \frac{F_a}{F_r} = 1,93 > 0,8 \quad (66)$$

$$N_e = \frac{C_0}{P_0} = \frac{(8300 N)}{(764,30 N)} = 10,86 \quad (67)$$

$$P = 0,56 * (488,79 N) + 1,39 * (942,05 N) = 1584,56 N \quad (68)$$

$$N_d = \frac{(13200 N)}{(1584,56 N)} = 8,33 \quad (69)$$

$$L_{horas} = \frac{10^6 * (8,33)^3}{(70 rpm) * 60} = 1,38 * 10^5 horas = 15,7 anos \quad (70)$$

No rolamento B, a carga radial resultante foi calculada e corrigida pelo coeficiente de carga e nenhuma carga axial é sustentada.

$$F_{rB}^{teo} = \sqrt{(-345,94 N)^2 + (159,39 N)^2} = 380,89 N$$

$$F_{rB} = 1,1 * (380,89 N) = 418,98 N \quad (71)$$

$$F_{aB}^{teo} = 0 N$$

$$F_{aB} = 1,1 * 0 = 0 N \quad (72)$$

O rolamento de código UC 207 foi selecionado e possui as seguintes especificações retiradas do catálogo da SKF, que utiliza o mesmo método de dimensionamento da NSK.

$$C = 25500 \text{ N}$$

$$C_0 = 15300 \text{ N}$$

Esse rolamento é acoplável em mancais de ferro fundido fixáveis por parafusos, o que facilita a fabricação da máquina, já que requer ajustes mais abertos para a fixação do rolamento na caixa. O mancal precisa de lubrificação por uma graxeira, o que requer algum dispositivo para aplicação de graxa.

Esse rolamento não deve suportar carga axial por recomendações do fabricante, mas já que nenhum colo é apoiado no rolamento, não existe carga axial descarregada. Os valores de X e X_0 são 1, e os valores de Y e Y_0 são 0, já que toda carga equivalente é carga radial no rolamento. As cargas equivalentes são utilizadas para determinar o coeficiente de segurança estático e a vida do rolamento para a rotação de 70 rpm.

$$P_0 = F_r = 418,98 \text{ N}, \quad \text{já que } \frac{F_a}{F_r} = 0 \leq 0,8 \quad (73)$$

$$N_e = \frac{C_0}{P_0} = \frac{(15300 \text{ N})}{(418,98 \text{ N})} = 36,52 \quad (74)$$

$$P = 1 * (418,98 \text{ N}) + 0 * (0,00 \text{ N}) = 418,98 \text{ N} \quad (75)$$

$$N_d = \frac{(25500 \text{ N})}{(412,73 \text{ N})} = 60,86 \quad (76)$$

$$L_{horas} = \frac{10^6 * (60,86)^3}{(70 \text{ rpm}) * 60} = 5,37 * 10^7 \text{ horas} = 6130 \text{ anos} \quad (77)$$

São utilizados quatro parafusos para fixação do mancal, com um diâmetro recomendado de 12 mm, e um torque de aperto de pelo menos 6,5 N.m. A força de aperto aplicada pelos parafusos sustenta o atrito estático entre as superfícies até um valor crítico que, se for superior ao valor da carga radial aplicada ao mancal, torna desnecessário o uso de pinos de cisalhamento.

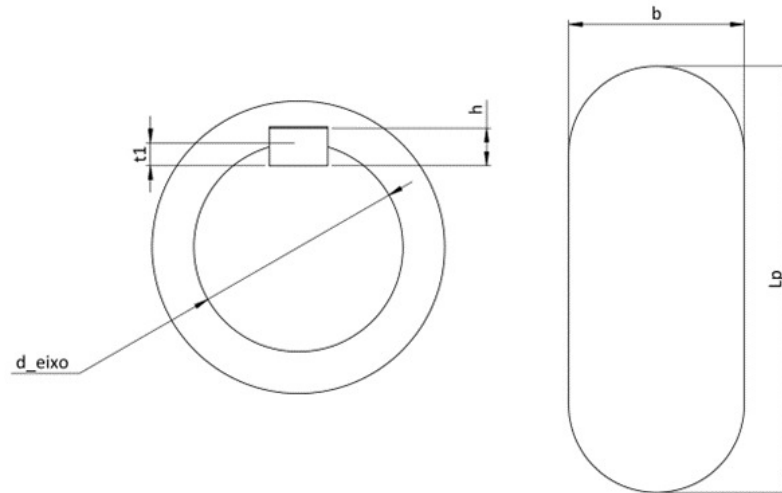
$$F_r^{resistida} = \frac{4000 * T_{aper}}{d_{paraf} * K_i} * \mu_{a\grave{c}-a\grave{c}} = \frac{4000 * (6,5 \text{ N.m})}{(12,0 \text{ mm}) * K_i} * 0,8 = \frac{1733 \text{ N}}{K_i} \quad (78)$$

O valor de K_i é dado pela geometria do parafuso e os coeficientes de atrito dos materiais, variando com a lubrificação da montagem. Para montagens sem lubrificação de aço-aço, K_i vale aproximadamente 1 e tem um valor típico de 0,2 para condições normais de lubrificação na montagem. Como K_i está no dividendo, a força resistida mínima é no mínimo de 1733 N, superior à carga radial aplicada, indicando que a montagem não precisa de pinos de cisalhamento desde que o torque recomendado seja atingido e verificado em manutenções. Em parafusos comerciais de 12 mm, o torque de aperto recomendado para evitar a desmontagem é superior a 6,5 N.m, indicando que a força resistida será superior à estimada.

4.7 Fixadores transmissores de torque

Para o dimensionamento das chavetas, foram calculadas a tensão de cisalhamento no rasgamento da chaveta e as tensões de esmagamento causadas pela chaveta a um cubo e pela chaveta ao eixo, utilizando o critério de falha de Von Mises. As áreas de cisalhamento da chaveta e as áreas de esmagamento dos cubos e dos eixos com as dimensões baseadas na **Figura 42** são as características geométricas utilizadas para calcular as tensões no material.

Figura 42 – Dimensões das chavetas.



Fonte: Autor, 2023.

$$A_{cis} = (L_p - b) * b \quad (79)$$

$$A_{esm}^{cubo} = (L_p - b) * (h - t_1) \quad (80)$$

$$A_{esm}^{eixo} = (L_p - b) * t_1 \quad (81)$$

A força que será transmitida pela chaveta no conjunto eixo-cubo é dada pelo torque a ser transmitido e o diâmetro de onde a chaveta está localizada.

$$F_{trans} = \frac{2 * T_m^{eixo}}{d_{trans}} \quad (82)$$

As tensões são calculadas utilizando a geometria do problema e o esforço aplicado, comparadas com os limites de escoamento dos materiais pelo critério de Von Mises, resultando em um coeficiente de segurança.

$$\tau_{cis} = \frac{F_{trans}}{A_{cis}} \text{ e } N_y^{cis} = \frac{S_{chaveta}}{\sqrt{3} * \tau_{cis}} \quad (83)$$

$$\sigma_{esm}^{cubo} = \frac{F_{trans}}{A_{esm}^{cubo}} \text{ e } N_y^{cubo} = \frac{S_y^{cubo}}{\sigma_{esm}^{cubo}} \quad (84)$$

$$\sigma_{esm}^{eixo} = \frac{F_{trans}}{A_{esm}^{eixo}} \text{ e } N_y^{eixo} = \frac{S_y^{eixo}}{\sigma_{esm}^{eixo}} \quad (85)$$

Existem duas chavetas no eixo, no qual os valores de b , h e t_1 dependem do diâmetro e são determinadas através da norma DIN 6885-1.

Na conexão do eixo à polia, existe uma chaveta alocada em um diâmetro de 36 mm. O comprimento da chaveta foi escolhido baseado no tamanho do cubo da polia, que terá 63 mm.

$$b = 10,0 \text{ mm}, h = 8,0 \text{ mm}, t_1 = 5,0 \text{ mm}$$

$$L_p = 55,0 \text{ mm}$$

$$A_{cis} = ((55,0 \text{ mm}) - (10,0 \text{ mm})) * (10,0 \text{ mm}) = 450,0 \text{ mm} \quad (86)$$

$$\begin{aligned} A_{esm}^{cubo} &= ((55,0 \text{ mm}) - (10,0 \text{ mm})) * ((8,0 \text{ mm}) - (5,0 \text{ mm})) \\ &= 135,0 \text{ mm} \end{aligned} \quad (87)$$

$$A_{esm}^{eixo} = ((55,0 \text{ mm}) - (10,0 \text{ mm})) * (8,0 \text{ mm}) = 225,0 \text{ mm} \quad (88)$$

$$F_{trans} = \frac{2 * (54567,41 \text{ N} \cdot \text{mm})}{(36,0 \text{ mm})} = 3031,52 \text{ N} \quad (89)$$

Com o critério aplicado, foram encontrados os coeficientes de segurança para essa chaveta. Os materiais estão resumidos na Tabela 8.

Tabela 8 – Materiais chaveta 1.

Material Cubo Polia			Material Chavetas			Material Cubo Eixo		
AISI 1045			AISI 1020			SAE 8640		
E	200	Gpa	E	200	Gpa	E	200	Gpa
Sy	485	MPa	Sy	350	MPa	Sy	931	MPa
Sut	515	MPa	Sut	420	MPa	Sut	945	MPa

Fonte: MatWeb AISI 1020 Steel, cold rolled, disponível em

<https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=10b74ebc27344380ab16b1b69f1cffbb>,

acessado em 11 de abril de 2023. Demais materiais também retirados do MatWeb, referenciados anteriormente.

$$\tau_{cis} = \frac{(3031,52 N)}{(450,0 mm)} = 6,74 MPa \text{ e } N_y^{cis} = \frac{(450 MPa)}{\sqrt{3} * (6,74 MPa)} = 38,57 \quad (90)$$

$$\sigma_{esm}^{cubo} = \frac{(3031,52 N)}{(135,0 mm)} = 22,46 MPa \text{ e } N_y^{cubo} = \frac{(450 MPa)}{(22,46 MPa)} = 20,04 \quad (91)$$

$$\sigma_{esm}^{eixo} = \frac{(3031,52 N)}{(225,0 mm)} = 13,47 MPa \text{ e } N_y^{eixo} = \frac{(715 MPa)}{(13,47 MPa)} = 53,07 \quad (92)$$

Na conexão do eixo ao suporte, existe uma chaveta alocada em um diâmetro de 25 mm. O comprimento da chaveta foi determinado em iterações para atingir um coeficiente de segurança acima de 3,5.

$$b = 8,0 mm, h = 7,0 mm, t_1 = 4,0 mm$$

$$L_p = 20,0 mm$$

$$A_{cis} = ((20,0 mm) - (8,0 mm)) * (8,0 mm) = 96,0 mm \quad (93)$$

$$\begin{aligned} A_{esm}^{cubo} &= ((20,0 mm) - (8,0 mm)) * ((7,0 mm) - (4,0 mm)) \\ &= 36,0 mm \end{aligned} \quad (94)$$

$$A_{esm}^{eixo} = ((20,0 \text{ mm}) - (8,0 \text{ mm})) * (7,0 \text{ mm}) = 48,0 \text{ mm} \quad (95)$$

$$F_{trans} = \frac{2 * (54567,41 \text{ N} \cdot \text{mm})}{(25,0 \text{ mm})} = 4365,39 \text{ N} \quad (96)$$

Com o critério aplicado, foram encontrados os coeficientes de segurança para essa chaveta. Os materiais estão resumidos na Tabela 9.

Tabela 9 – Materiais chaveta 2.

Material Cubo Eixo			Material Chavetas			Material Suporte Braço		
SAE 8640			AISI 1020			AISI 1045		
E	200	Gpa	E	200	Gpa	E	200	Gpa
Sy	931	MPa	Sy	350	MPa	Sy	485	MPa
Sut	945	MPa	Sut	420	MPa	Sut	515	MPa

Fonte: MatWeb, 2023.

$$\tau_{cis} = \frac{(4365,39 \text{ N})}{(96,0 \text{ mm})} = 45,47 \text{ MPa} \text{ e } N_y^{cis} = \frac{(450 \text{ MPa})}{\sqrt{3} * (45,47 \text{ MPa})} = 5,71 \quad (97)$$

$$\sigma_{esm}^{cubo} = \frac{(4365,39 \text{ N})}{(36,0 \text{ mm})} = 121,26 \text{ MPa} \text{ e } N_y^{cubo} = \frac{(450 \text{ MPa})}{(121,26 \text{ MPa})} = 3,71 \quad (98)$$

$$\sigma_{esm}^{eixo} = \frac{(4365,39 \text{ N})}{(48,0 \text{ mm})} = 90,95 \text{ MPa} \text{ e } N_y^{eixo} = \frac{(715 \text{ MPa})}{(13,47 \text{ MPa})} = 4,95 \quad (99)$$

Para transmitir torque do suporte do prato até o prato, será utilizado dois pinos de cisalhamento entre as peças, e o dimensionamento se dá pela avaliação da tensão da união com o critério de Von Mises para um pino de aço AISI 1045.

$$A_{cis} = \frac{\pi * d_{pino}^2}{4} = \frac{\pi * (6 \text{ mm})^2}{4} = 28,27 \text{ mm}^2 \quad (100)$$

$$F_{trans} = \frac{2 * T_m^{eixo}}{d_{trans}} = \frac{2 * (54567,41 \text{ N} \cdot \text{mm})}{(160 \text{ mm})} = 682,09 \text{ N} \quad (101)$$

$$\tau_{cis} = \frac{F_{trans}}{A_{cis}} = \frac{(682,09 \text{ N})}{(28,27 \text{ mm}^2)} = 24,13 \text{ MPa} \quad (102)$$

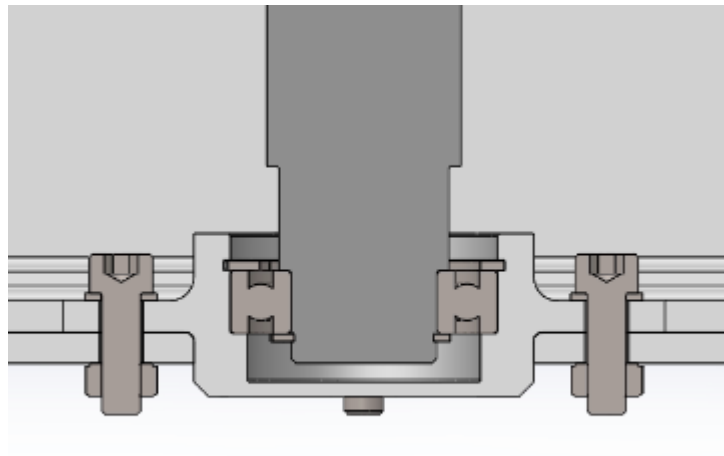
$$N_y^{cis} = \frac{S_y^{chaveta}}{\sqrt{3} * \tau_{cis}} = \frac{(450 \text{ MPa})}{\sqrt{3} * (24,13 \text{ MPa})} = 10,77 \quad (103)$$

Pode-se também avaliar o esmagamento do pino contra cada parte da transmissão de torque, porém os resultados de tensão estariam próximo da tensão cisalhante, já que a área de esmagamento é aproximadamente da área de cisalhamento, resultando em um coeficiente de segurança maior do que o encontrado para o cisalhamento já que a tensão normal utiliza o limite de escoamento do material sem a divisão pela raiz de três pelo método de Von Mises. O pino suporta a carga e consegue transmitir o torque desejado sem que falhe por escoamento.

4.8 Mancal inferior

Para alojar o rolamento inferior na caixa, foi desenvolvido um mancal que será fixado através de parafusos, utilizando um anel elástico para localizar o rolamento. O mancal atravessa a chapa inferior com pouca folga, evitando o cisalhamento dos parafusos. A classe desses parafusos pode ser baixa, já que não serão elementos estruturais e devem apenas suportar o torque recomendado para evitar desmontagem.

Figura 43 – CAD da montagem do mancal Inferior com rolamento.



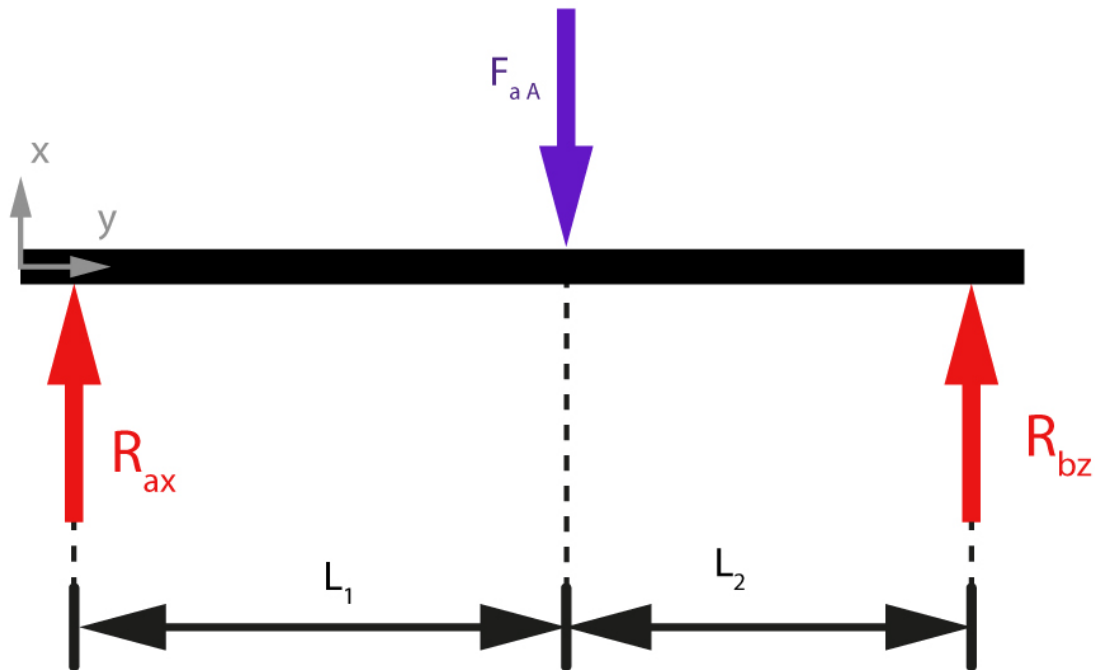
Fonte: Autor, 2023.

4.9 Caixa

A caixa da máquina sustenta os esforços do eixo e protege o sistema de potência do meio externo, também evitando acidentes. É separada em três conjuntos unidos através de parafusos.

A Caixa Inferior é composta por vigas U comerciais de duas polegadas primeira alma, soldadas a chapas de aço. As chapas têm a mesma espessura para simplificar a lista de matérias-primas e foi determinada pelo estado de tensão causado pelo carregamento do eixo na chapa, utilizando o critério de falha de Von Mises. Para o dimensionamento, o sistema foi simplificado para uma barra biapoiada com um carregamento vertical, permitindo determinar o momento máximo ao qual o material está submetido.

Figura 44 – Diagram de corpo livre da chapa inferior carregada pela carga axial do rolamento A.



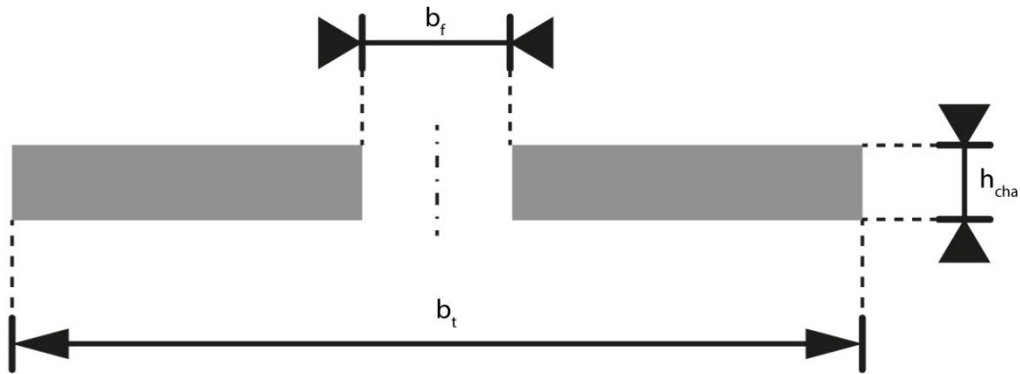
Fonte: Autor, 2023.

$$R_{ax} = \frac{F_{aA} * L_2}{(L_1 + L_2)} = \frac{(868,19 \text{ N}) * (94,0 \text{ mm})}{((404,0 \text{ mm}) + (94,0 \text{ mm}))} = 163,88 \text{ N} \quad (104)$$

$$M_{max} = R_{ax} * L_1 = (163,88 \text{ N}) * (404,0 \text{ mm}) = 66205,59 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (105)$$

Na seção onde o momento é máximo, existe o furo de posicionamento do mancal do inferior, o que altera o cálculo do momento de inércia.

Figura 45 – Seção transversal na posição de momento máximo da chapa.



Fonte: Autor, 2023.

$$I_{sec} = \frac{(b_t - b_f) * h_{cha}^3}{12} = \frac{((306,0 \text{ mm}) - (70,0 \text{ mm})) * (6,35 \text{ mm})^3}{12} \quad (106)$$

$$I_{sec} = 5035,61 \text{ mm}^4$$

O estado crítico de tensão ocorre na posição mais externa da chapa, onde ocorre a máxima tensão normal causada pela flexão, utilizada para aplicar o critério de falha de Von Mises.

$$\sigma_n = \frac{M_{max} * h}{2 * I_{sec}} = \frac{(66205,59 \text{ N} \cdot \text{mm}) * (6,35 \text{ mm})}{2 * (5035,61 \text{ mm}^4)} = 41,74 \text{ MPa} \quad (107)$$

$$N_y = \frac{S_y}{\sigma_n} = \frac{(250 \text{ MPa})}{(41,74 \text{ MPa})} = 6,00 \quad (108)$$

A espessura é suficiente para sustentar a carga do eixo sem o risco de falha, já que além da soldagem nas vigas U, haverá o reforço causado pela soldagem da chapa traseira. Na CaixaInferior são fixados os pés de sustentação da máquina e o tracionador da correia.

A CaixaSuperior fecha o sistema por cima e é onde será fixado o mancal superior, o braço do anel condicionador e a bacia coletora. Esse conjunto só recebe o carregamento radial do mancal superior e será fixado na CaixaInferior com parafusos

e dois pinos de cisalhamento. Os pinos serão de aço AISI 1045, devem suportar a carga radial sem cisalhar e foram dimensionados pelo critério de falha de Von Mises.

$$\tau_{cis} = \frac{F_{rB}}{2 * A_{cis}} = \frac{2 * F_{rB}}{\pi * d_{pino}^2} = \frac{2 * (372,06 N)}{\pi * (6 mm)^2} = 6,58 MPa \quad (109)$$

$$N_y^{cis} = \frac{(450 MPa)}{\sqrt{3} * (6,58 MPa)} = 5,71 \quad (110)$$

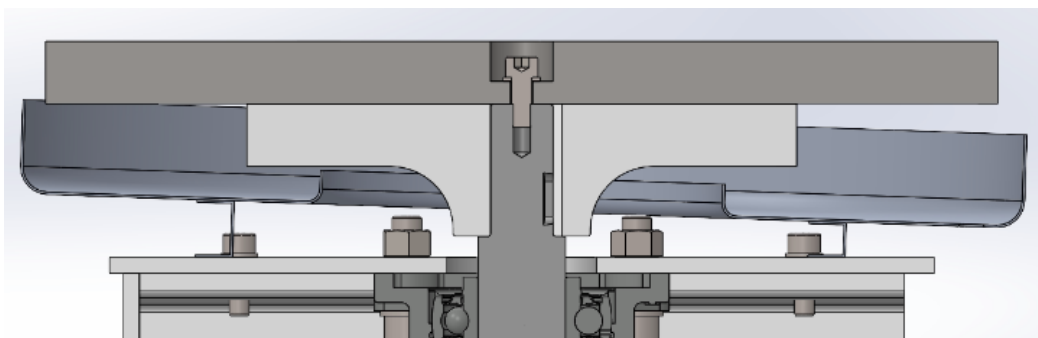
Serão utilizados parafusos M8x1,25 para fixar a CaixaSuperior na CaixaInferior, parafusados em roscas passantes nas vigas U, seguindo as recomendações de Fischer (Fischer, 2011) para o comprimento mínimo de filetes roscados.

A caixa será fechada pela Tampa com parafusos, separando o sistema de transmissão do usuário e evitando acidentes.

4.10 Bacia de coleta

A lapidação requer a aplicação de um abrasivo, geralmente impregnado em um fluido, na interface do prato com a peça, que acaba sendo jogado para fora do prato durante a operação. Para evitar que esse fluido danifique partes da máquina, ele deve ser escoado até um recipiente e a solução encontrada foi o uso de uma bacia fabricada através de deformação incremental. A altura do puxamento interno deve ser suficiente para impedir que o fluido entre nas partes girantes da máquina.

Figura 46 – Bacia de coleta.

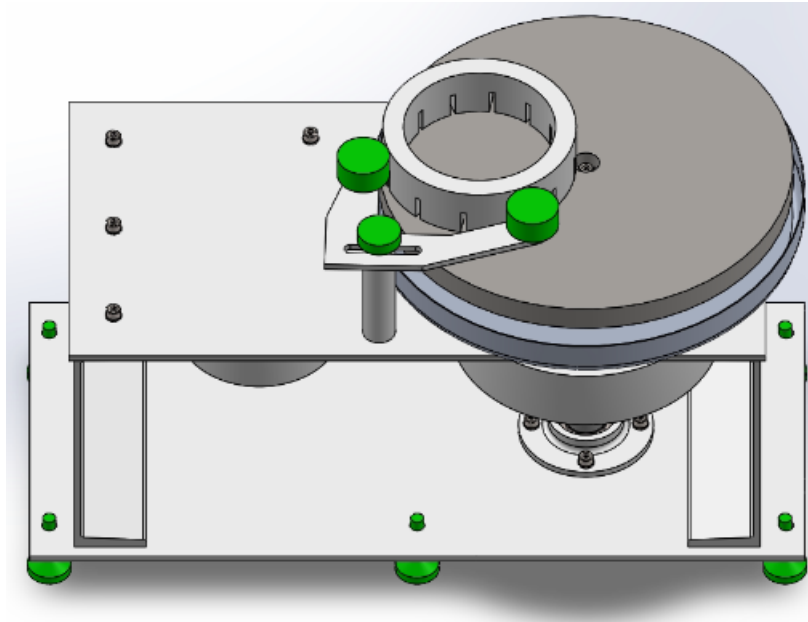


Fonte: Autor, 2023.

4.11 Anel condicionador e braço de apoio

Para que o usuário possa lapidar peças sem aleatorizar o movimento manualmente, será utilizado um sistema de um anel condicionador. A posição do anel é definida pelo ajuste do braço de apoio, fixado na direção das forças da correia para que o momento causado pelo carregamento da lapidação não amplifique a deflexão causada no eixo pela correia.

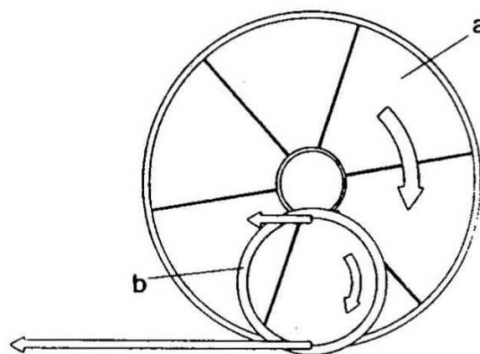
Figura 47 – Posição do anel e do braço de apoio na máquina.



Fonte: Autor, 2023.

O braço possui roletes com giro livre, ajustados para encostar em dois pontos distantes do anel. Quando o prato gira, o ponto mais externo do anel em relação ao prato possui uma velocidade tangencial maior que o ponto mais próximo do centro do prato e, como existe a obstrução do braço, o anel gira criando um padrão cicloidal que aleatoriza o desgaste. Como o anel gira em contato com o braço, o esforço aplicado é baixo devido ao atrito reduzido na interface do prato com o anel.

Figura 48 – Diferença na velocidade do anel que causa o giro.



Fonte: Stähli, A.W. 2001.

5 CONCLUSÃO

O projeto foi dimensionado e documentado através de um memorial de cálculos. O design das peças teve como foco a facilitação da fabricação, o que gerou folhas de processos e planos de montagem que indicam uma possível rotina de fabricação. Apesar disso, o projeto dependerá de adaptações no momento da construção, quando a verba necessária estiver disponível.

O motor elétrico não foi selecionado, já que pode não ser utilizado por deixar de ser uma opção viável no momento da fabricação. Foram definidas as especificações básicas necessárias do motor, encarregando o responsável por fabricar a máquina de selecionar a melhor opção disponível e adaptar o projeto. O motor precisa fornecer 400 Watts de potência a 233,3 rpm, ter um comprimento de 130 mm e suportar um carregamento de 1815 N transversalmente no eixo. Como a carga transversal é alta, pode ser que seja necessário o projeto de um eixo para o acoplamento do motor à polia motora.

Acima de 130 mm, não existe espaço dentro da caixa para a montagem vertical do motor e o projeto precisa ser adaptado. Algumas soluções já foram encontradas para este caso e devem ser avaliadas na fabricação:

- Utilizar um moto-redutor com saída vertical e entrada horizontal, desde que a altura do redutor seja suficiente para montar o esticador de correias na caixa;
- Furar a chapa inferior, deixando parte do motor fora dos limites da caixa, o que já ajudará a arrefecer o motor. Deve ser instalada uma tela de proteção que envolve o motor;
- Utilizar uma montagem semi-cruzada das correias, deixando o eixo da polia movida e da motora ortogonais, permitindo a montagem do motor na horizontal.

Em todo caso, será necessário furar a caixa logo a frente do ventilador do motor para permitir o seu arrefecimento e instalar uma tela de proteção. Outros furos são necessários, como o do cabo de alimentação do motor e as fixações do tubo da graxeira.

As dimensões da bacia de coleta utilizadas no CAD do projeto foram um exemplo de uma geometria que funciona para a máquina, porém um estudo deve ser conduzido

para desenvolver o projeto dimensional e de fabricação através de deformações incrementais, determinando se não existe risco de rasgamento durante a fabricação. A fixação da bacia na carcaça pode ser feita de diversas formas, a utilizada no CAD é o parafusamento na carcaça de abas soldadas na bacia, permitindo a retirada para manutenções.

Os roletes do suporte do anel não foram desenvolvidos, mas existem várias soluções, como a utilização de roletes comerciais ou montagem de um par de rolamentos em uma roda de nylon usinado, com um parafuso e porcas para fixação.

O prato de lapidação deve ter baixo erro de planicidade, para que o seu erro de forma não atrapalhe na redução do erro da peça. Portanto, serão necessários dois pratos de lapidação, sendo que um é utilizado para lapidar o outro e, com objetivo de aumentar a utilidade deste processo, é desejável que cada prato tenha um tipo de padrão de entalhe, resultando em dois pratos com diferentes usos.

Foram disponibilizados os desenhos CAD das peças e as planilhas de cálculo de dimensionamento do projeto, que devem ser utilizados para adaptações da máquina. Com o projeto fabricado, o Departamento de Engenharia Mecânica poderá produzir superfícies com qualidade superficial mais alta que as atingidas pelos processos disponíveis até o desenvolvimento do projeto.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 103**, Rio de Janeiro, 1988.

Barylski, A., & Deja, M. **Finishing of Ceramics in a Single-Disk Lapping Machine Configuration.**, Trans Tech Publications, Ltd., 2010.

BOETTHCER, S. A. et al. **Lapping machine.**, Depositante: *Abrading Systems Company.*, US2869294A. Depósito: 2 jun. 1957. Concessão: 20 jan. 1959.

Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W.A. **Product Design for Manufacture and Assembly** (3rd ed.). CRC Press., 2010.

BUDYNAS, R.; NISBETT, K. **Shigley's Mechanical Engineering Design.**, 8th ed, McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2008. [3]

COLLINS, J. A. **Projeto mecânico de elementos de máquinas: uma perspectiva de prevenção da falha.**, 1st ed, Rio de Janeiro, LTC, 2006.

Evans, C.J., Hocken, R.J., & Estler, W.T. **Self-Calibration: Reversal, Redundancy, Error Separation, and 'Absolute Testing'**. CIRP Annals, vol. 45, pg 617-634, 1996.

FAG. **Rolamentos FAG: Rolamentos de esferas. Rolamentos de rolos. Caixas. Acessórios.**, Catálogo, 1999.

FAG. **The Design of Rolling Bearing Mountings: Design Examples covering Machines, Vehicles and Equipment**, amostra de exemplos de montagem, 2012.

FISCHER, U. et al. **Manual de tecnologia metal mecânica.**, 2nd ed, São Paulo: Blucher, 2011.

FORBO *movement systems*. **Compendium flat belts**, Guia de dimensionamento, 2019.

FRANKLIN, S. E. **Rotary lapping machine.**, Depositante: *Marine Pumps, Inc.*, US2762172A. Depósito: 15 dec. 1953. Concessão: 11 set. 1956.

MARINESCU, I. D., UHLMANN, E., DOI, T. **Handbook of Lapping and Polishing.**,^{1st} ed, CRC Press, 2006.

MATWEB. 2022. <https://www.matweb.com/> - acesso em abril de 2023.

Mou, Zhao Yu, et al. **Modal Analysis of Precision Lapping Machine.**, Advanced Materials Research, vol. 102–104, Trans Tech Publications, Ltd., 2010.

Nardin, F. L., et al. **Desenvolvimento de material didático para uso em aulas práticas de metrologia industrial**, Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 26 a 29 setembro de 2017 em Joinville/SC.

NORTON, R. L. **Machine design: an integrated approach.**, 4th ed, Boston; Mexico City: Prentice Hall, 2011. ^[1]

NSK. **Catálogo de rolamentos.**, Catálogo, 2013.

OSWALDO LUIZ AGOSTINHO; RODRIGUES, A.; JOÃO LIRANI. **Tolerancias, ajustes, desvios e análise de dimensões.**, 2th ed, São Paulo, Blucher, 2020.

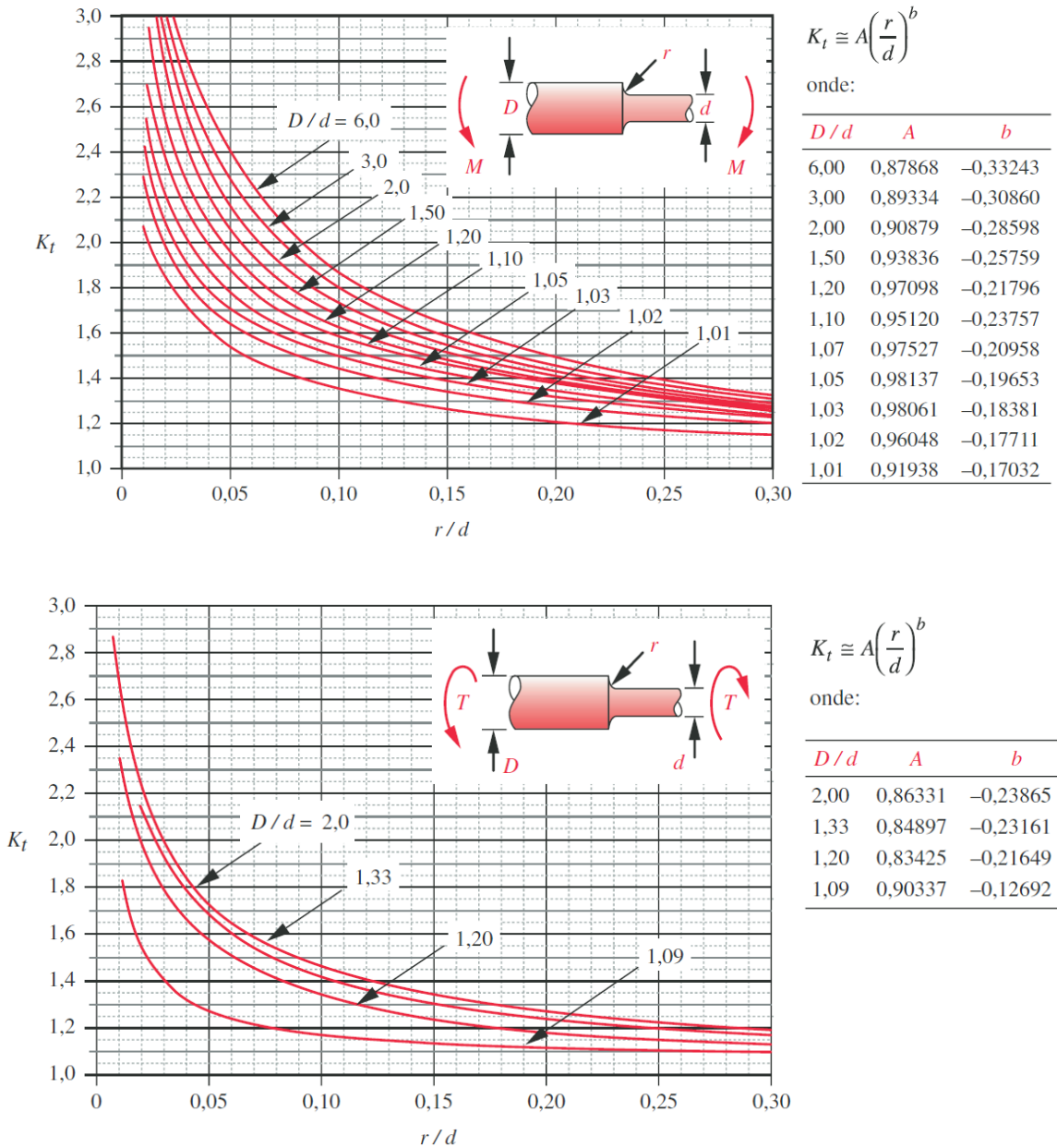
PILKEY, W. D.; PILKEY, D. F. **Peterson's stress concentration factors.**, 3rd ed, Hoboken: John Wiley, Cop, 2008. [2]

Stähli, A.W. **Die Lämp-Technik. Firmendruckschrift der A.W. Stähli AG. Schweiz.**, Pieterlen, 2001.

Whitehouse, David J. **Surfaces and Their Measurement.**, San Diego: Butterworth-Heinemann ImprintElsevier Science & Technology Books, 2002.

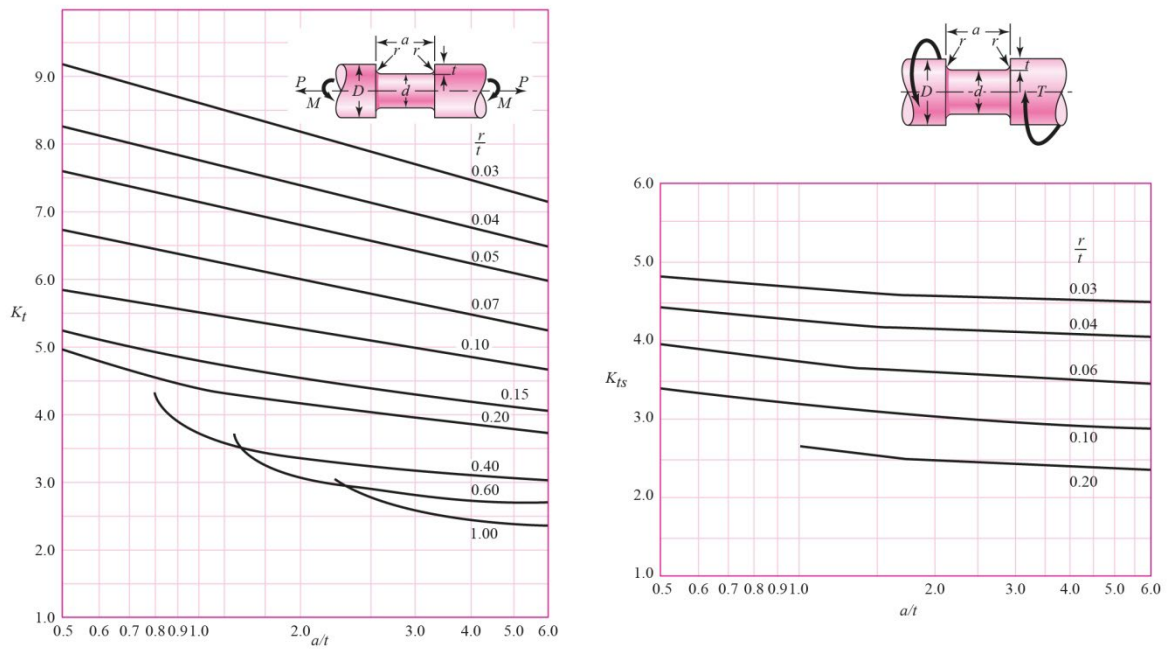
7 ANEXO

Figura A1 – Concentrador de tensão de escalonamento com raio de canto.



Fonte: Norton, 2011.

Figura A2 – Concentrador de rasgo de anel.



Fonte: Shigley, 2008.

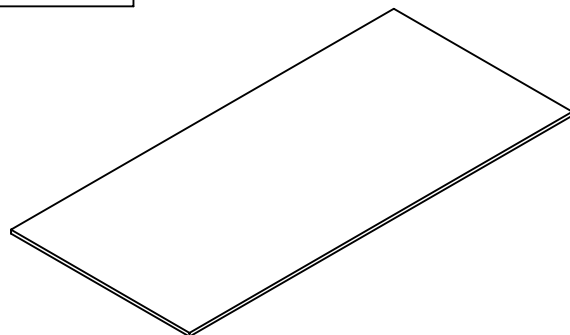
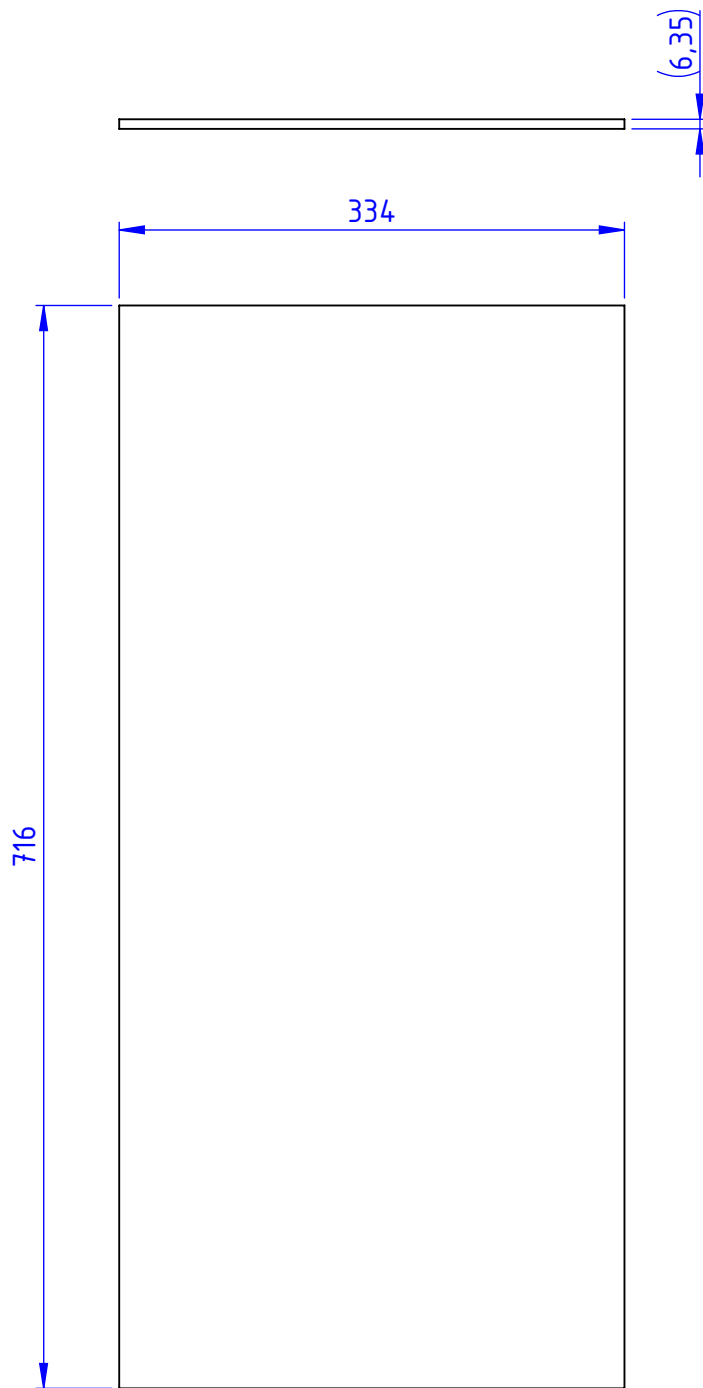
8 APÊNDICE A

Neste apêndice estão incluídos a lista de componentes comerciais, os desenhos das peças e das montagens, os roteiros de fabricação das peças, os planos de montagem dos subconjuntos e do conjunto final, os planos de inspeção que são necessários e o plano de uso e manutenção da máquina.

Figura A1 – Lista de Componentes comerciais

Lista Componentes Comerciais	
Peça	Qnt
Pé Máquina M12x1,75	6
Rolamento NSK 6006	1
Unidade de rolamento flangeada SKF UFC 207	1
Anel elástico 471 30x1,5	1
Anel elástico 471 36x1,75	1
Anel elástico 472 55x2	1
Parafuso M12x1,75x40 8.8	4
Parafuso M8x1,25x25 8.8	15
Parafuso M3x0,5x10 8.8	6
Arruela DIN 128 A12	4
Arruela DIN 128 A8	15
Porca ISO 4032 M12x1,75 classe 9	4
Porca ISO 4032 M8x1,25 classe 9	4
Manípulo DIN 6336 M8x1,25x25	1
Pino cisalhamento DIN 28734 6x14 h6	4
Motor elétrico especificado	1
Tracionador de correia	1
Chaveta paralela DIN 6885 A 10 x 8 x 55	1
Chaveta paralela DIN 6885 A 8 x 7 x 22	1

Fonte: Autor, 2023.



Código: **LAP0001** Descrição: **MP Chapa Inferior**

Matéria Prima: **CHAPA AÇO ASTM A36 #1/4" - CONFORME DESENHO** Peso(kg): **11.92**

Desenhado por: **Áulis Soares Silva**

	Escala: A4-1:5	Folha: 1 de 2	Unid: mm	Tolerancias Gerais NBR ISO 2768-mK	até 6	6 à 30	30 à 120	120 à 315	315 à 1000	1000 à 2000	> 2000
					±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2

F

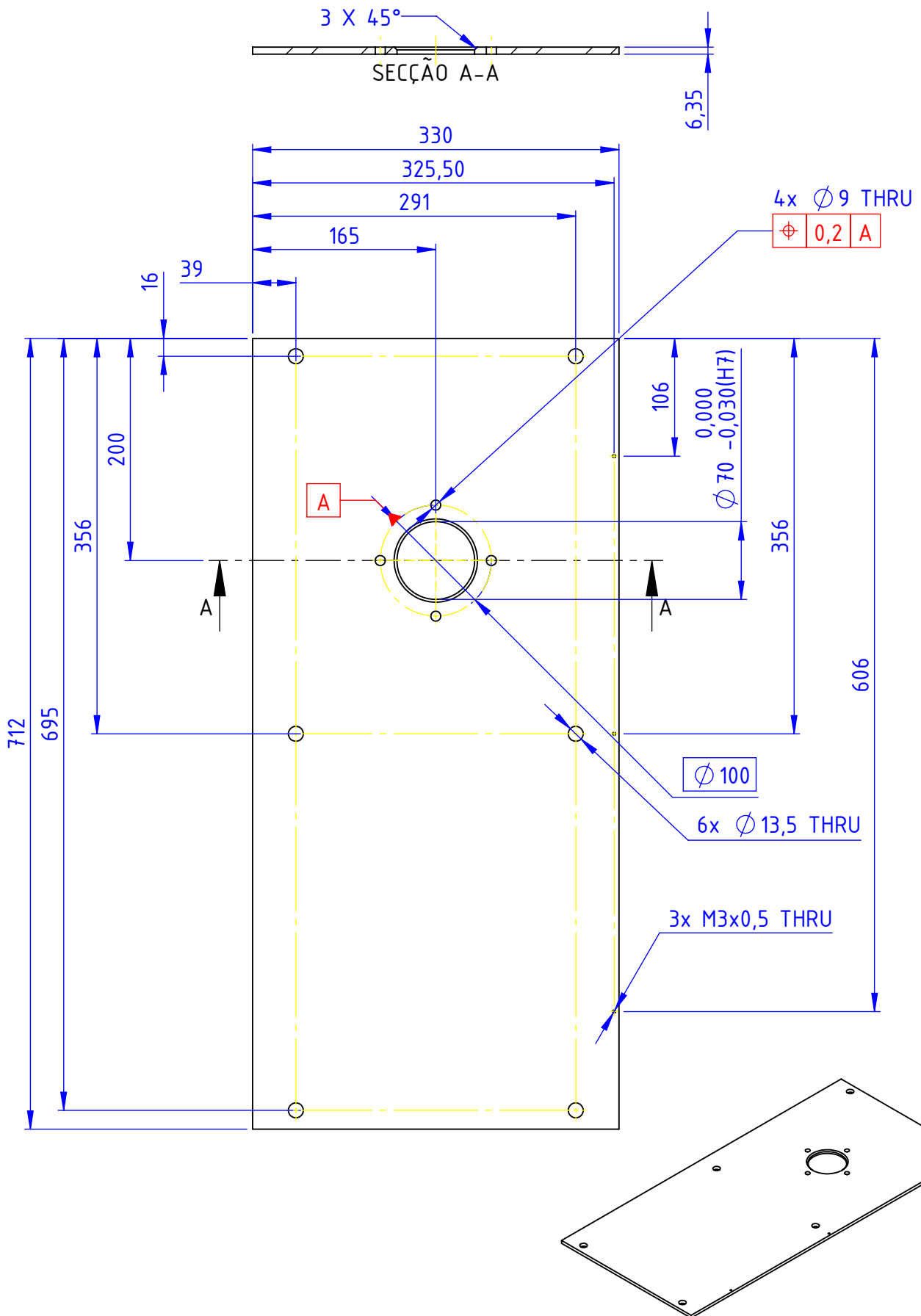
E

D

C

B

A



Código:

LAP0001

Descrição:

MP Chapa Inferior

Matéria Prima:

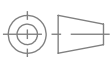
CHAPA AÇO ASTM A36 #1/4" - CONFORME DESENHO

Peso(kg):

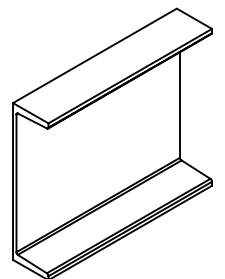
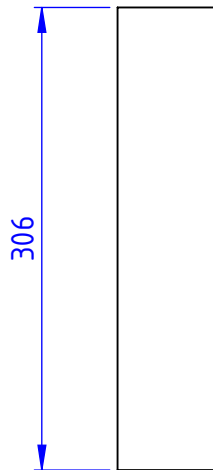
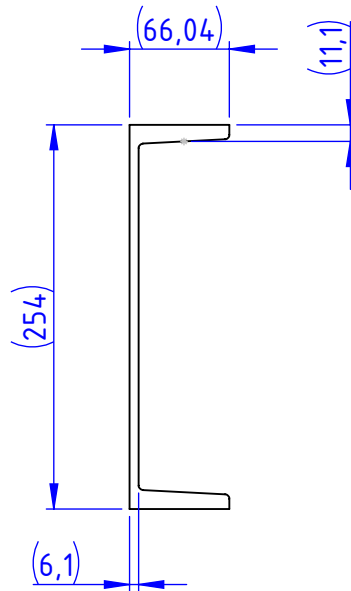
11.92

Desenhado por:

Áulis Soares Silva

Escala:
A4-1:5Folha:
2 de 2Unid:
mmTolerancias Gerais
NBR ISO 2768-mKaté 6
 $\pm 0,1$ 6 à 30
 $\pm 0,2$ 30 à 120
 $\pm 0,3$ 120 à 315
 $\pm 0,5$ 315 à 1000
 $\pm 0,8$ 1000 à 2000
 $\pm 1,2$ > 2000
 ± 2

Viga U 10'' 1ª alma



Código:

LAP0002

Descrição:

Viga U Estrutural

Matéria Prima:

VIGA U ASTM A36 10'' 1ª ALMA X 306 mm

Peso(kg):

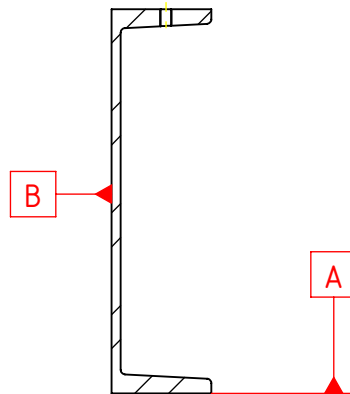
6.92

Desenhado por:

Áulis Soares Silva

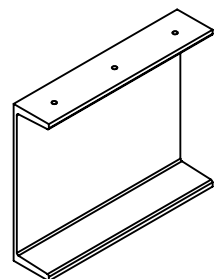
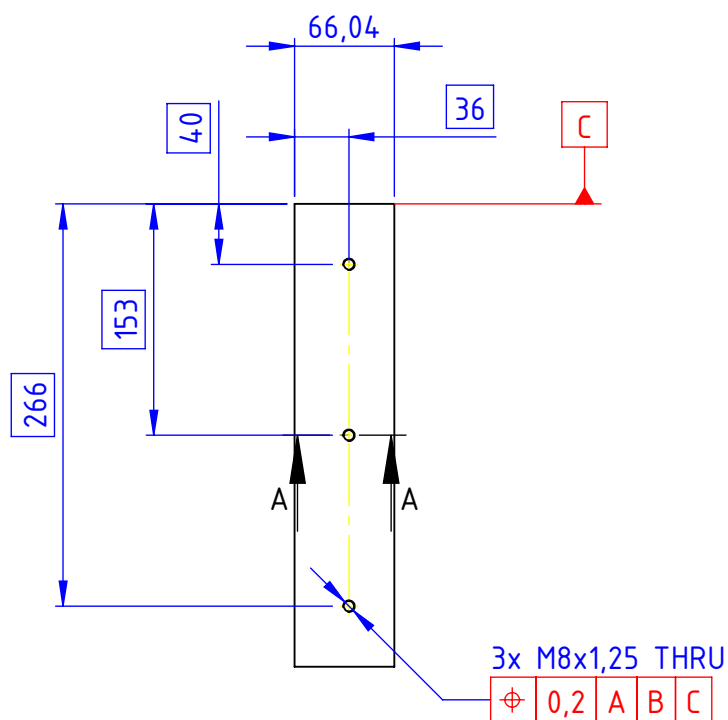
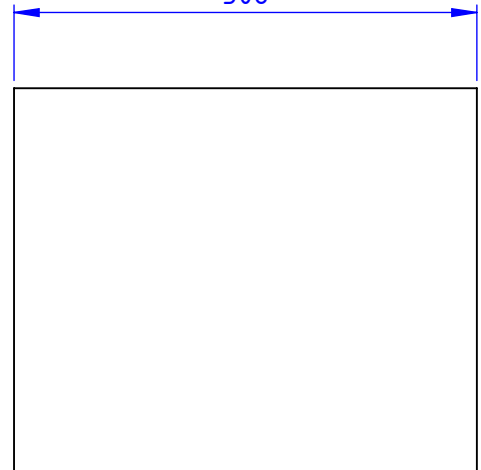
Escala:
A4-1:5Folha:
1 de 2Unid:
mmTolerancias Gerais
NBR ISO 2768-mKaté 6
±0,16 à 30
±0,230 à 120
±0,3120 à 315
±0,5315 à 1000
±0,81000 à 2000
±1,2> 2000
±2

Viga U 10" 1ª alma



SECÇÃO A-A

306



Código:

LAP0002

Descrição:

Viga U Estrutural

Matéria Prima:

VIGA U ASTM A36 10" 1ª ALMA X 306 mm

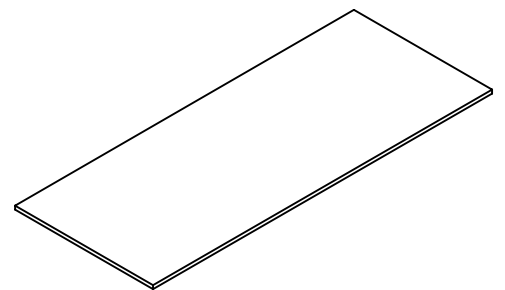
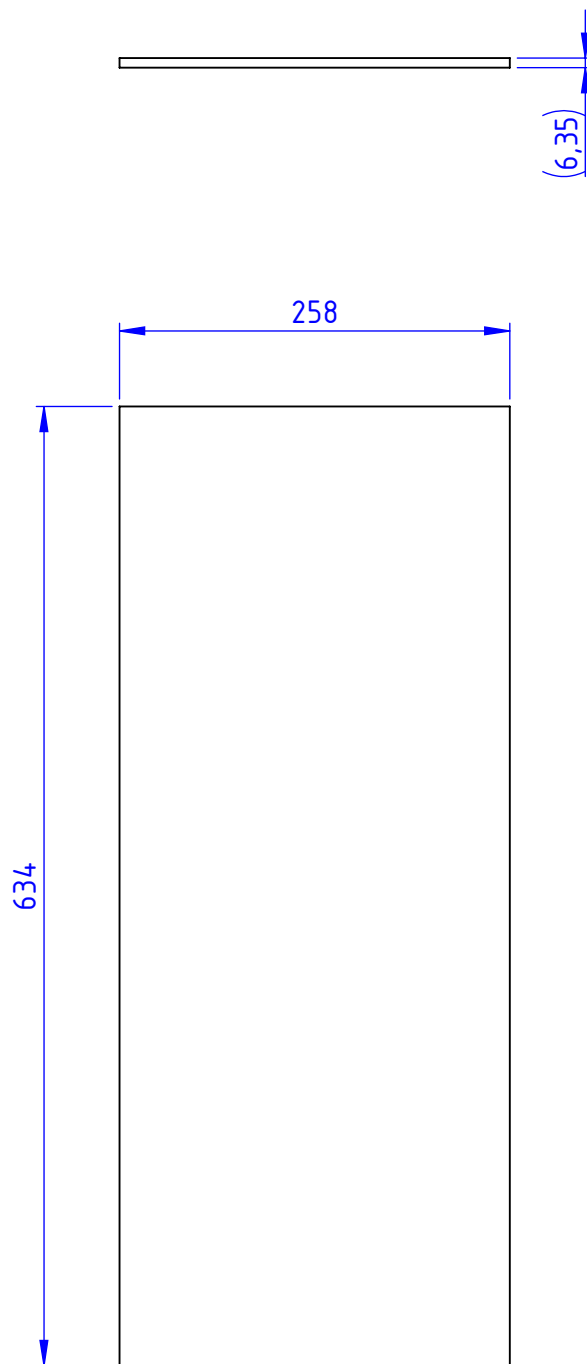
Peso(kg):

6.92

Desenhado por:

Áulis Soares Silva

Escala:
A4-1:5Folha:
2 de 2Unid:
mmTolerancias Gerais
NBR ISO 2768-mKaté 6
±0,16 à 30
±0,230 à 120
±0,3120 à 315
±0,5315 à 1000
±0,81000 à 2000
±1,2> 2000
±2



Código:

LAP0003

Descrição:

Chapa Traseira

Matéria Prima:

CHAPA AÇO ASTM A36 #1/4" - CONFORME DESENHO

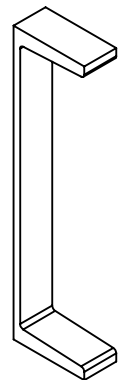
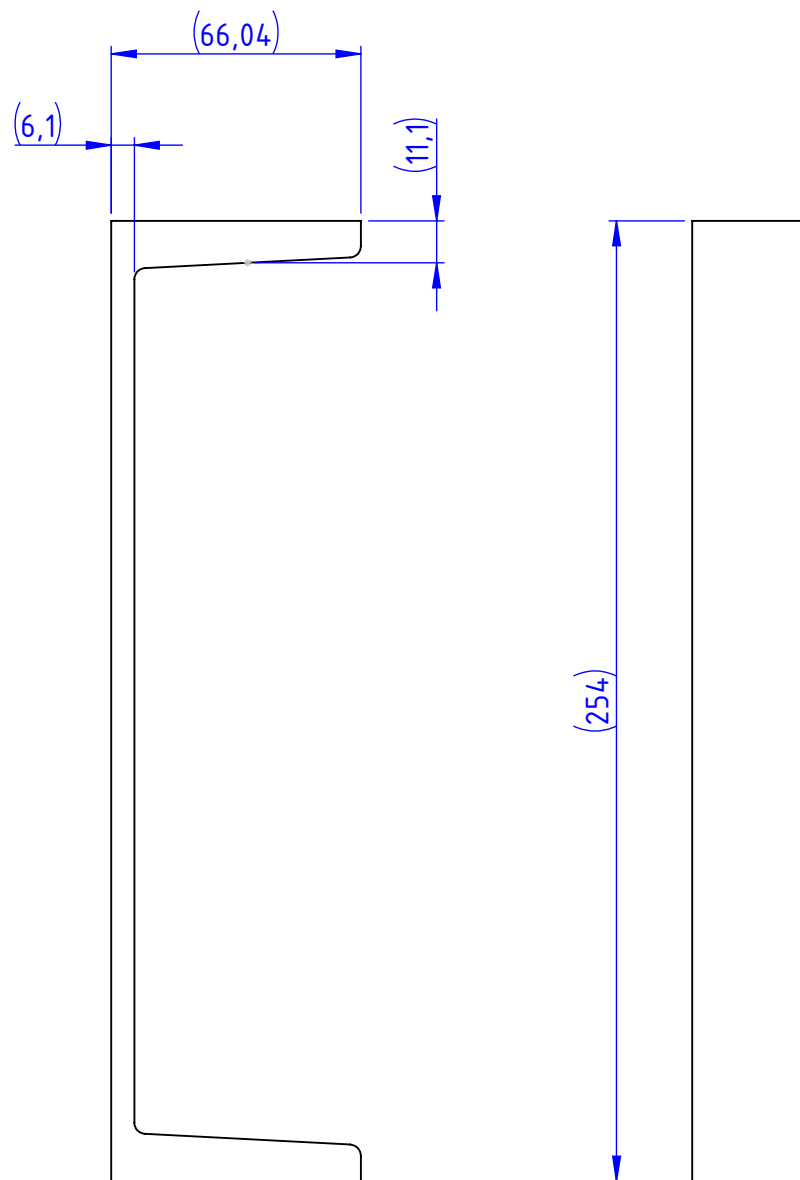
Peso(kg):

8.15

Desenhado por:

Áulis Soares Silva

Escala:
A4-1:5Folha:
1 de 2Unid:
mmTolerancias Gerais
NBR ISO 2768-mKaté 6
±0,16 à 30
±0,230 à 120
±0,3120 à 315
±0,5315 à 1000
±0,81000 à 2000
±1,2> 2000
±2



Código:

LAP0004

Descrição:

Viga U Fechamento

Matéria Prima:

VIGA U ASTM A36 10" 1ª ALMA X 30 mm

Peso(kg):

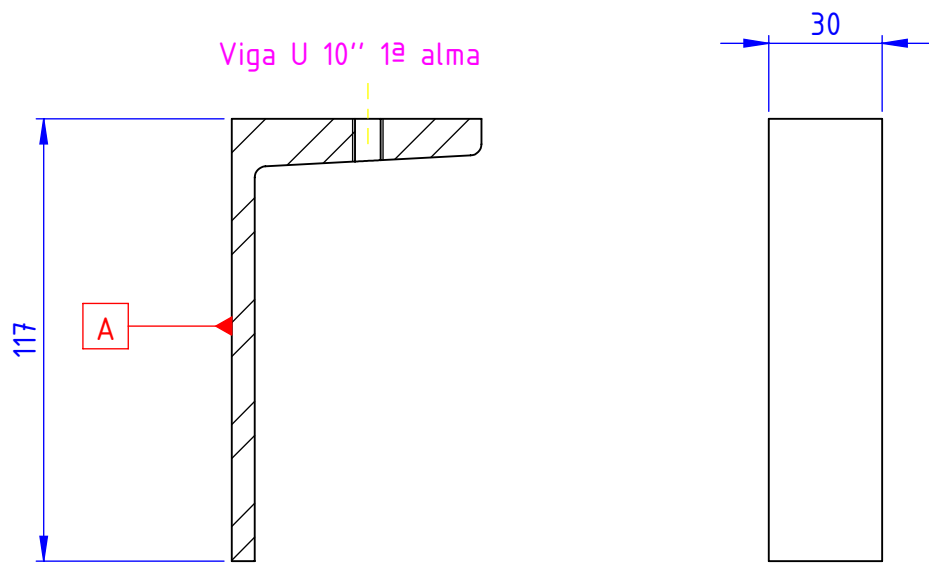
0.68

Desenhado por:

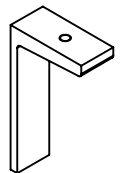
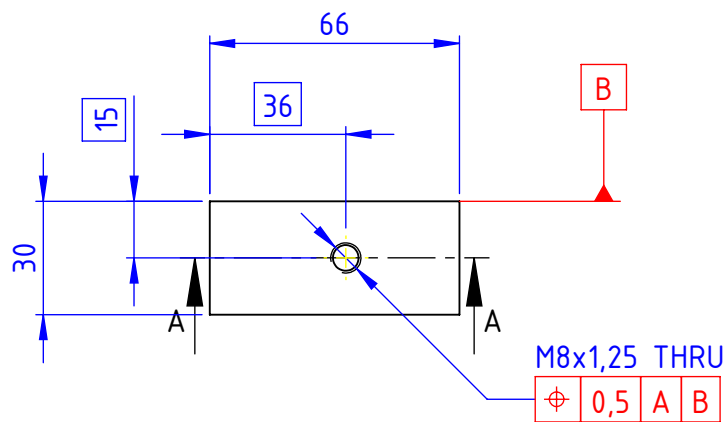
Áulis Soares Silva

Escala:
A4-1:2Folha:
1 de 2Unid:
mmTolerancias Gerais
NBR ISO 2768-mK

	até 6	6 à 30	30 à 120	120 à 315	315 à 1000	1000 à 2000	> 2000
	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2



SECÇÃO A-A



Código:

LAP0004

Descrição:

Viga U Fechamento

Matéria Prima:

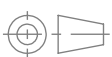
VIGA U ASTM A36 10" 1ª ALMA X 30 mm

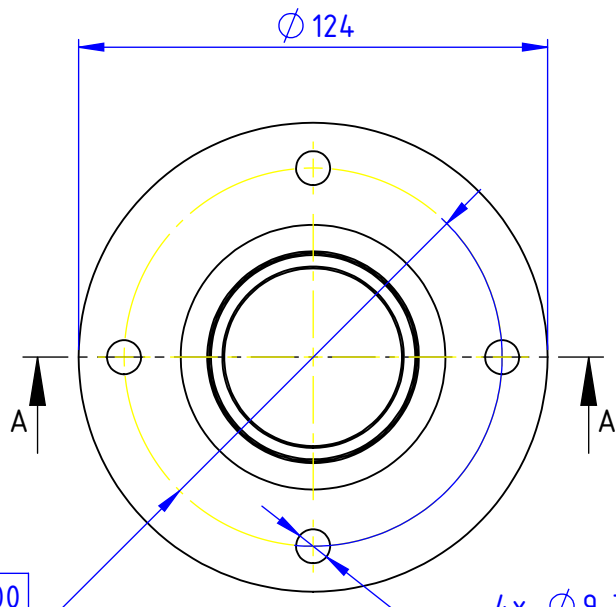
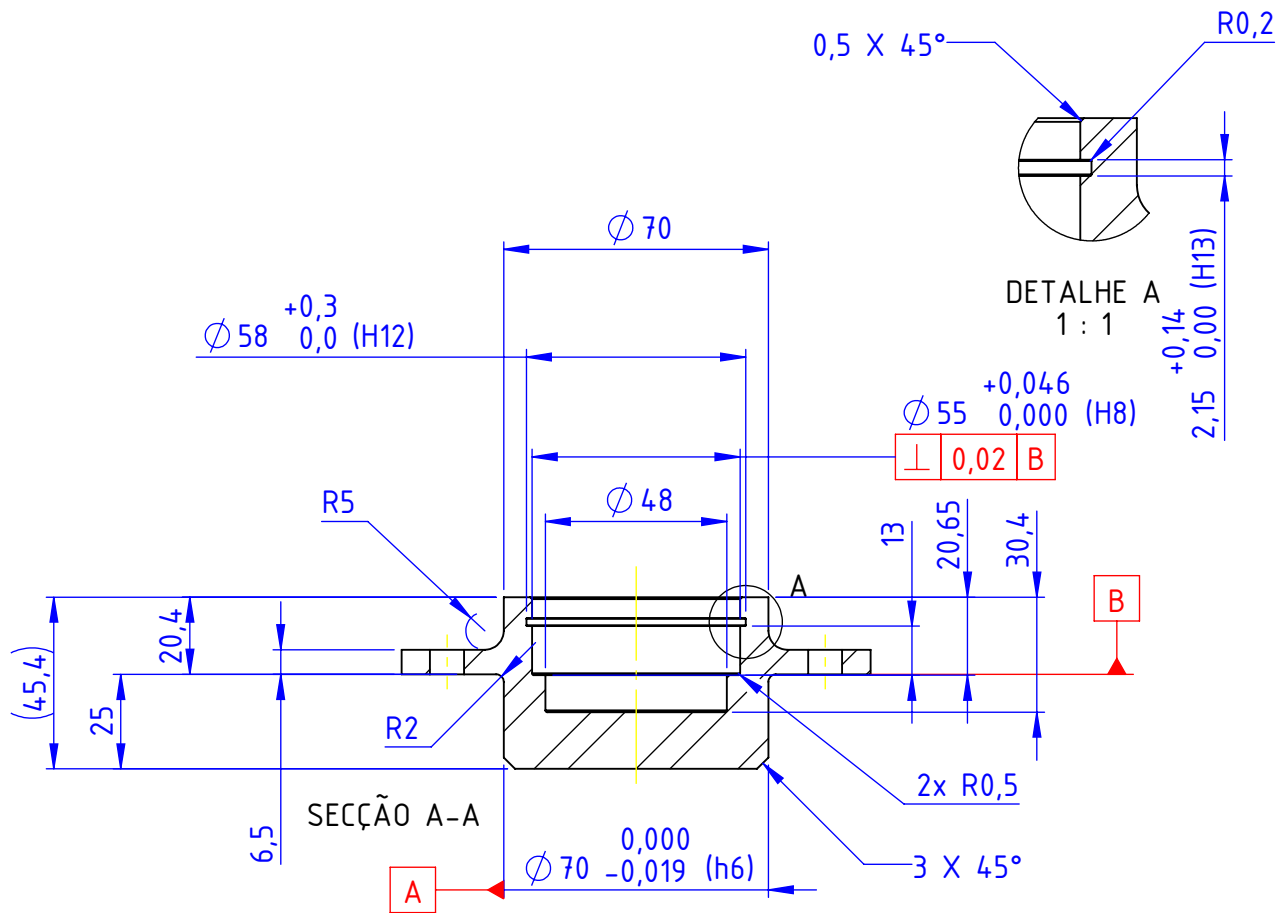
Peso(kg):

0.68

Desenhado por:

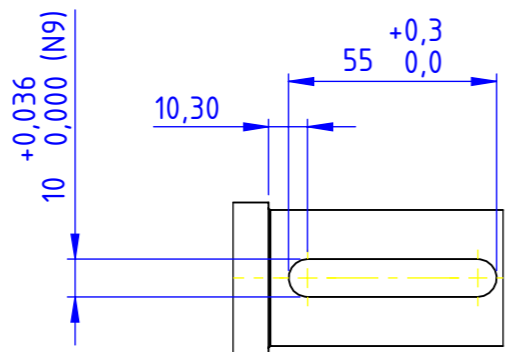
Áulis Soares Silva

Escala:
A4-1:2Folha:
2 de 2Unid:
mmTolerancias Gerais
NBR ISO 2768-mKaté 6
±0,16 à 30
±0,230 à 120
±0,3120 à 315
±0,5315 à 1000
±0,81000 à 2000
±1,2> 2000
±2

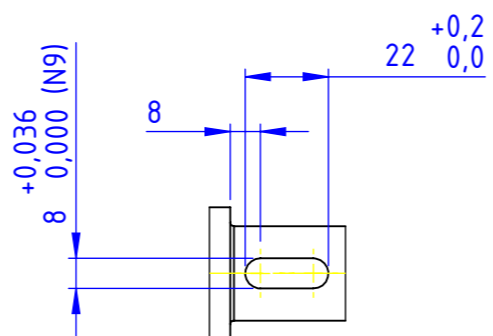


Código:	LAP0005	Descrição:	Mancal Inferior
Matéria Prima:	BARRA REDONDA AÇO AISI 1045 Ø5.1/4" X 50 mm	Peso(kg):	1.25
Desenhado por:	Áulis Soares Silva		

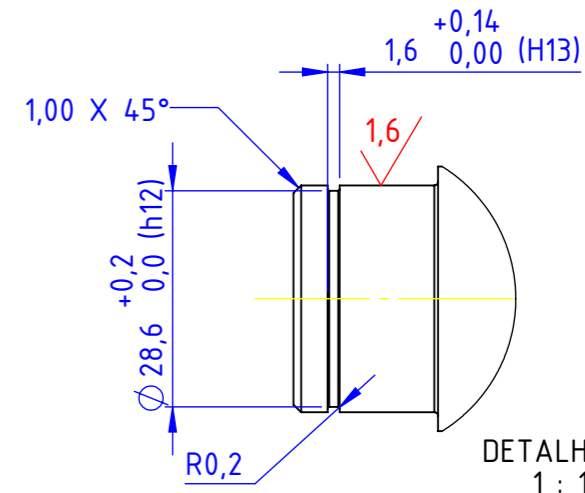
	Escala:	Folha:	Unid:	Tolerancias Gerais	até 6	6 à 30	30 à 120	120 à 315	315 à 1000	1000 à 2000	> 2000
	A4-1:2	1 de 1	mm	NBR ISO 2768-mK	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2



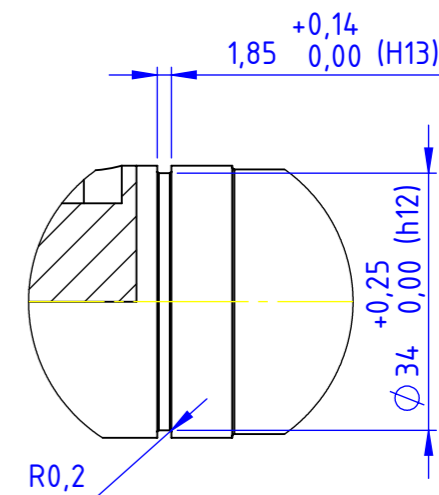
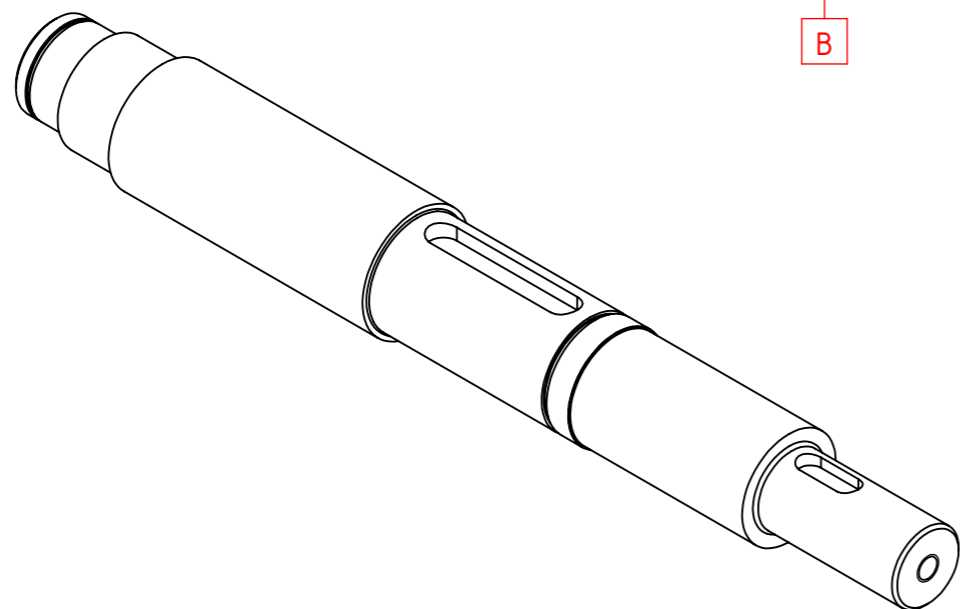
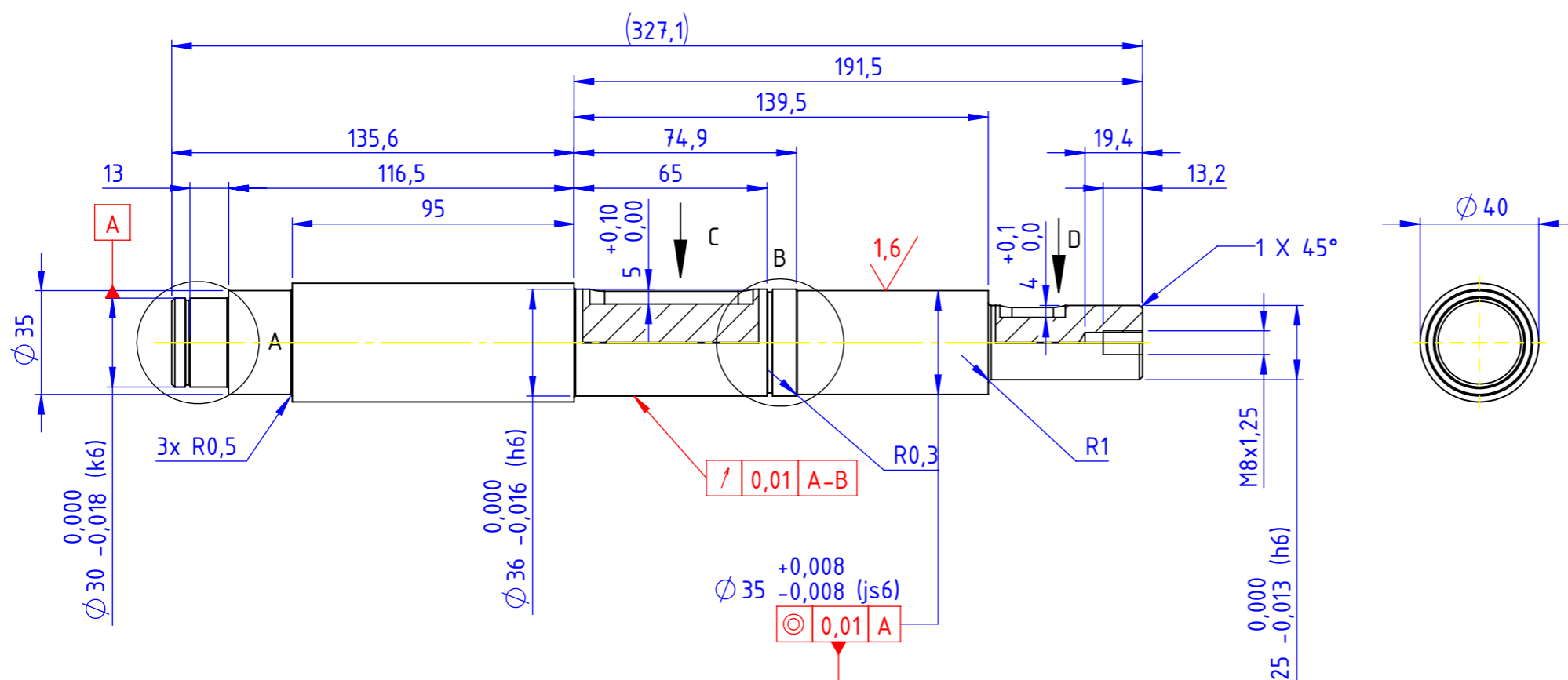
EXIBIR C





EXIBIR D

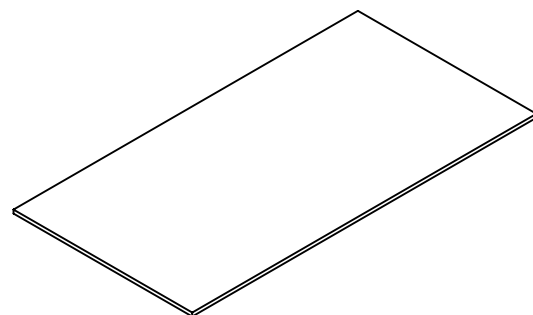
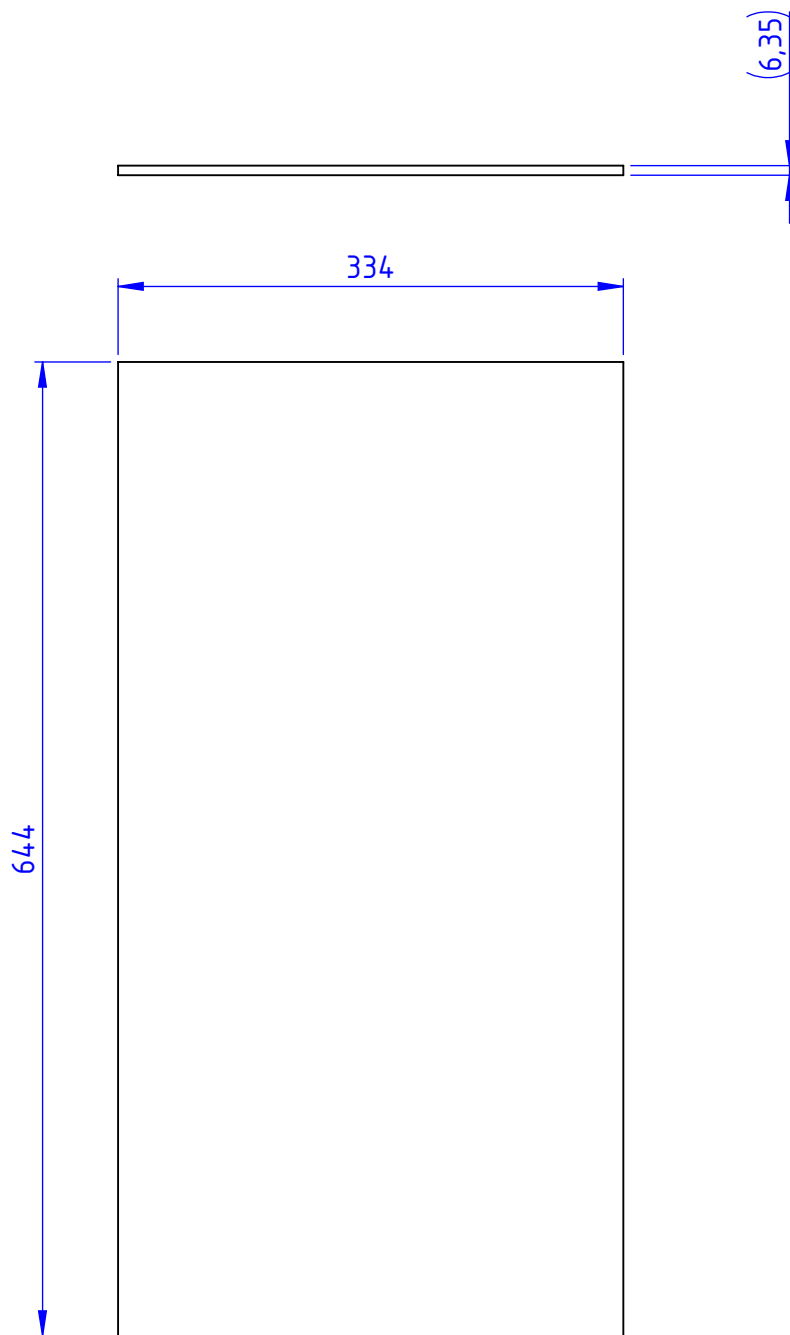


DETALHE A
1 : 1



DETALHE B
1 : 1

	Código: LAP0006		Descrição: Eixo						
	Matéria Prima: BARRA REDONDA AÇO AISI 8640 Ø2" X 343mm		Peso(kg): 2.4591						
	Desenhado por: Áulis Soares Silva								
	 Escala: A3-1:2	Folha: 1 de 1	Unid: mm	Tolerancias Gerais NBR ISO 2768-mK					
			até 6	6 à 30	30 à 120	120 à 315	315 à 1000	1000 à 2000	> 2000
			±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2



Código:

LAP0007

Descrição:

Chapa Superior

Matéria Prima:

CHAPA AÇO ASTM A36 #1/4" - CONFORME DESENHO

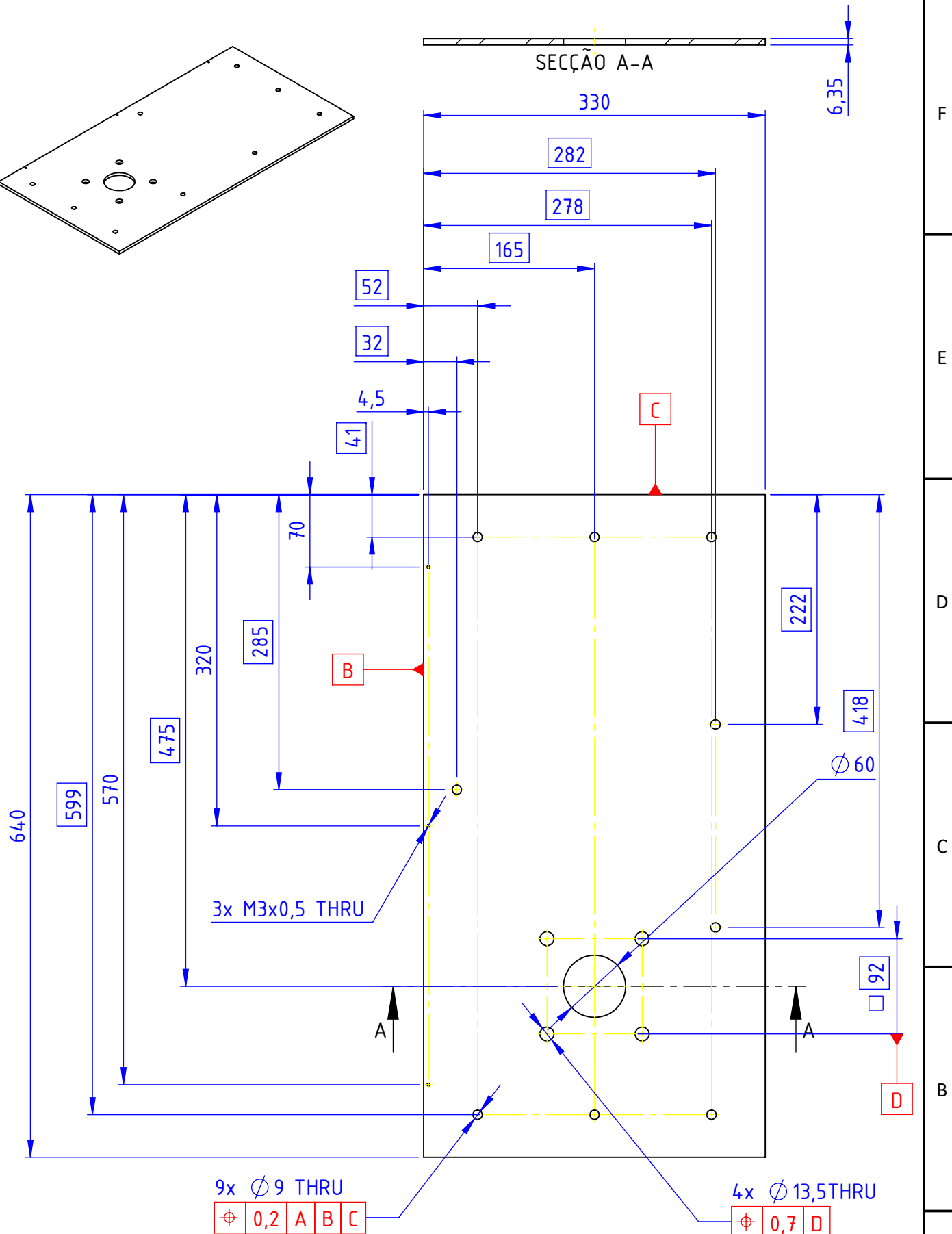
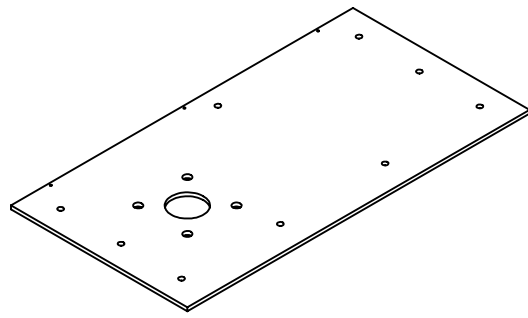
Peso(kg):

10.72

Desenhado por:

Áulis Soares Silva

Escala:
A4-1:5Folha:
1 de 2Unid:
mmTolerancias Gerais
NBR ISO 2768-mKaté 6
±0,16 à 30
±0,230 à 120
±0,3120 à 315
±0,5315 à 1000
±0,81000 à 2000
±1,2> 2000
±2



Código:

LAP0007

Descrição:

Chapa Superior

Matéria Prima:

CHAPA AÇO ASTM A36 #1/4" - CONFORME DESENHO

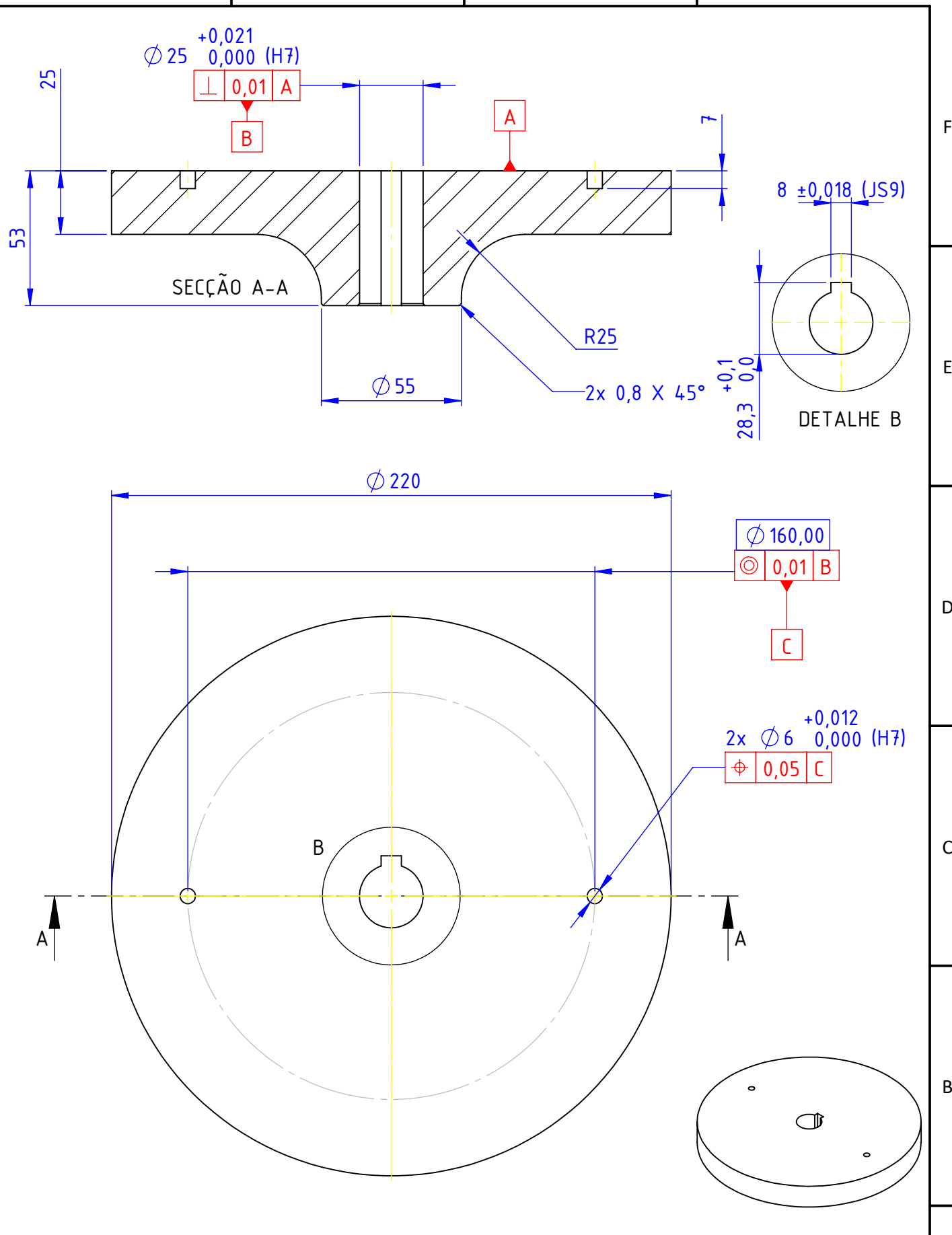
Peso(kg):

10.72

Desenhado por:

Áulis Soares Silva

Escala:
A4-1:5Folha:
2 de 2Unid:
mmTolerancias Gerais
NBR ISO 2768-mKaté 6
±0,16 à 30
±0,230 à 120
±0,3120 à 315
±0,5315 à 1000
±0,81000 à 2000
±1,2> 2000
±2



Código:

LAP0008

Descrição:

Suporte do Prato

Matéria Prima:

BARRA REDONDA AÇO AISI 1045 Ø10.1/2" X 68 mm

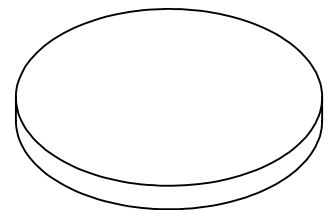
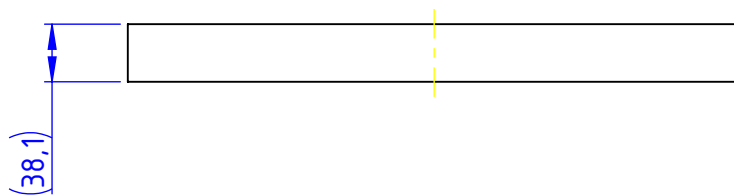
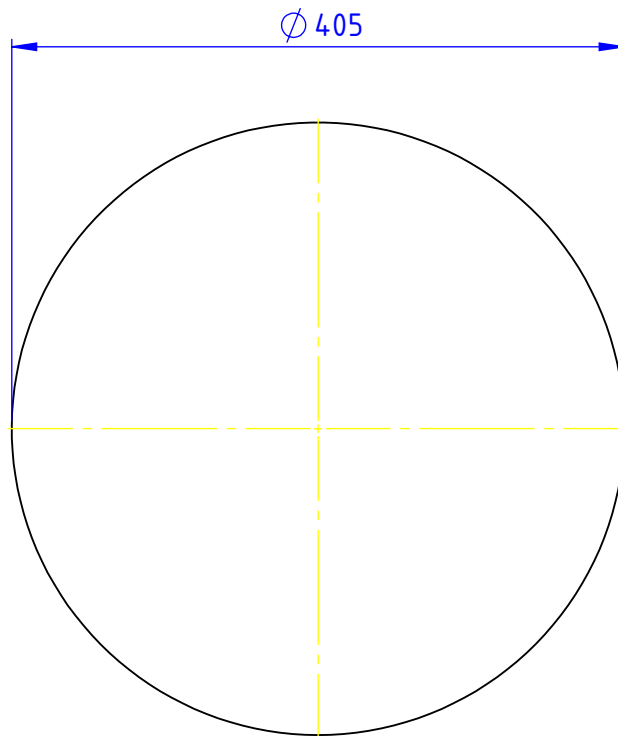
Peso(kg):

7.98

Desenhado por:

Áulis Soares Silva

Escala:
A4-1:2Folha:
1 de 1Unid:
mmTolerancias Gerais
NBR ISO 2768-mKaté 6
±0,16 à 30
±0,230 à 120
±0,3120 à 315
±0,5315 à 1000
±0,81000 à 2000
±1,2> 2000
±2



Código:

LAP0009

Descrição:

Prato de Lapidação Sem Padrão

Matéria Prima:

CHAPA AÇO AISI 1020 #1.1/2" - CONFORME DESENHO

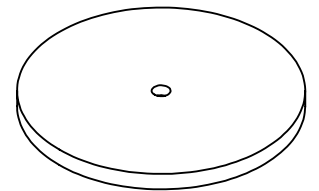
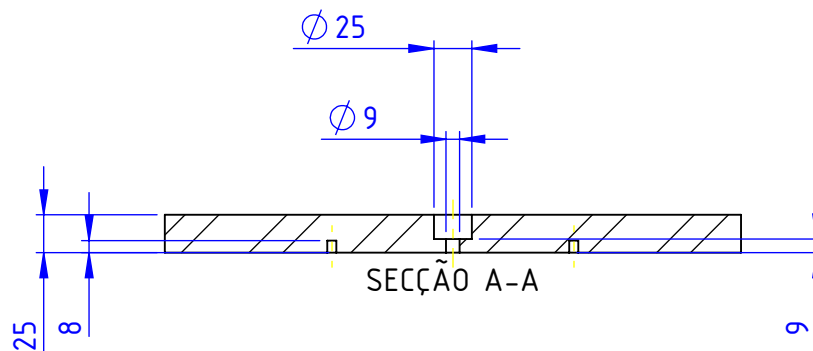
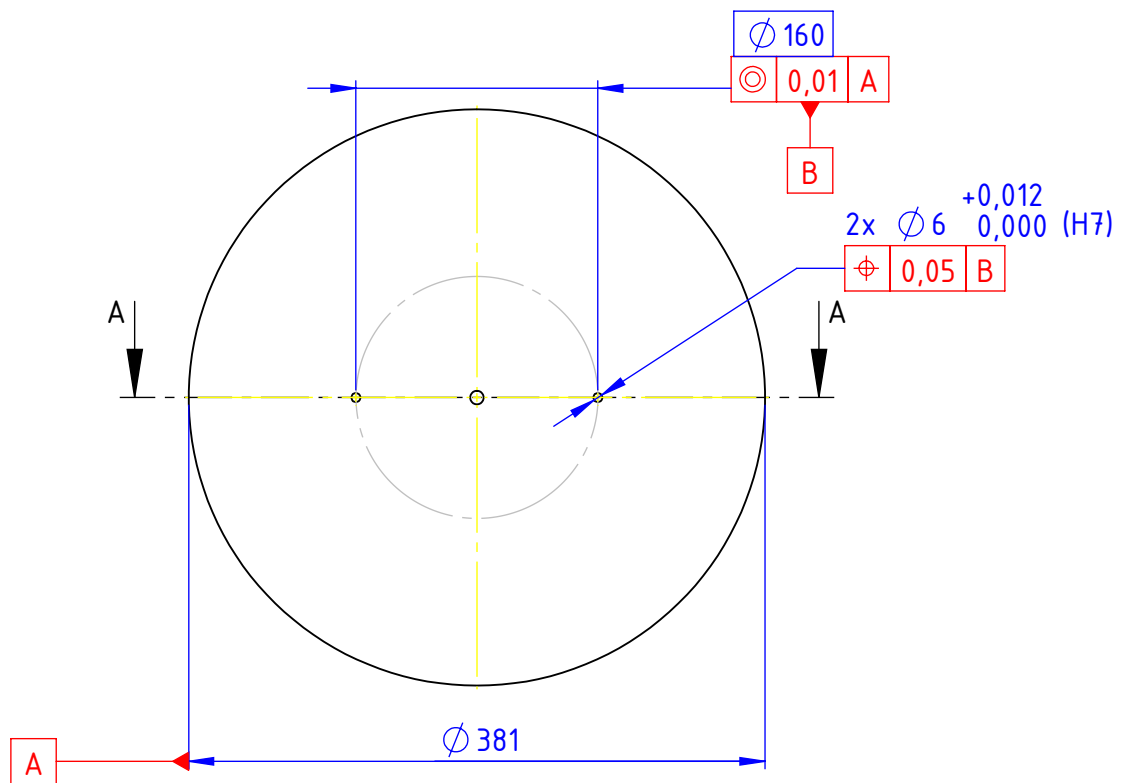
Peso(kg):

38.78

Desenhado por:

Áulis Soares Silva

Escala:
A4-1:5Folha:
1 de 2Unid:
mmTolerancias Gerais
NBR ISO 2768-mKaté 6
 $\pm 0,1$ 6 à 30
 $\pm 0,2$ 30 à 120
 $\pm 0,3$ 120 à 315
 $\pm 0,5$ 315 à 1000
 $\pm 0,8$ 1000 à 2000
 $\pm 1,2$ > 2000
 ± 2



Código:

LAP0009

Descrição:

Prato de Lapidação Sem Padrão

Matéria Prima:

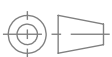
CHAPA AÇO AISI 1020 #1.1/2" - CONFORME DESENHO

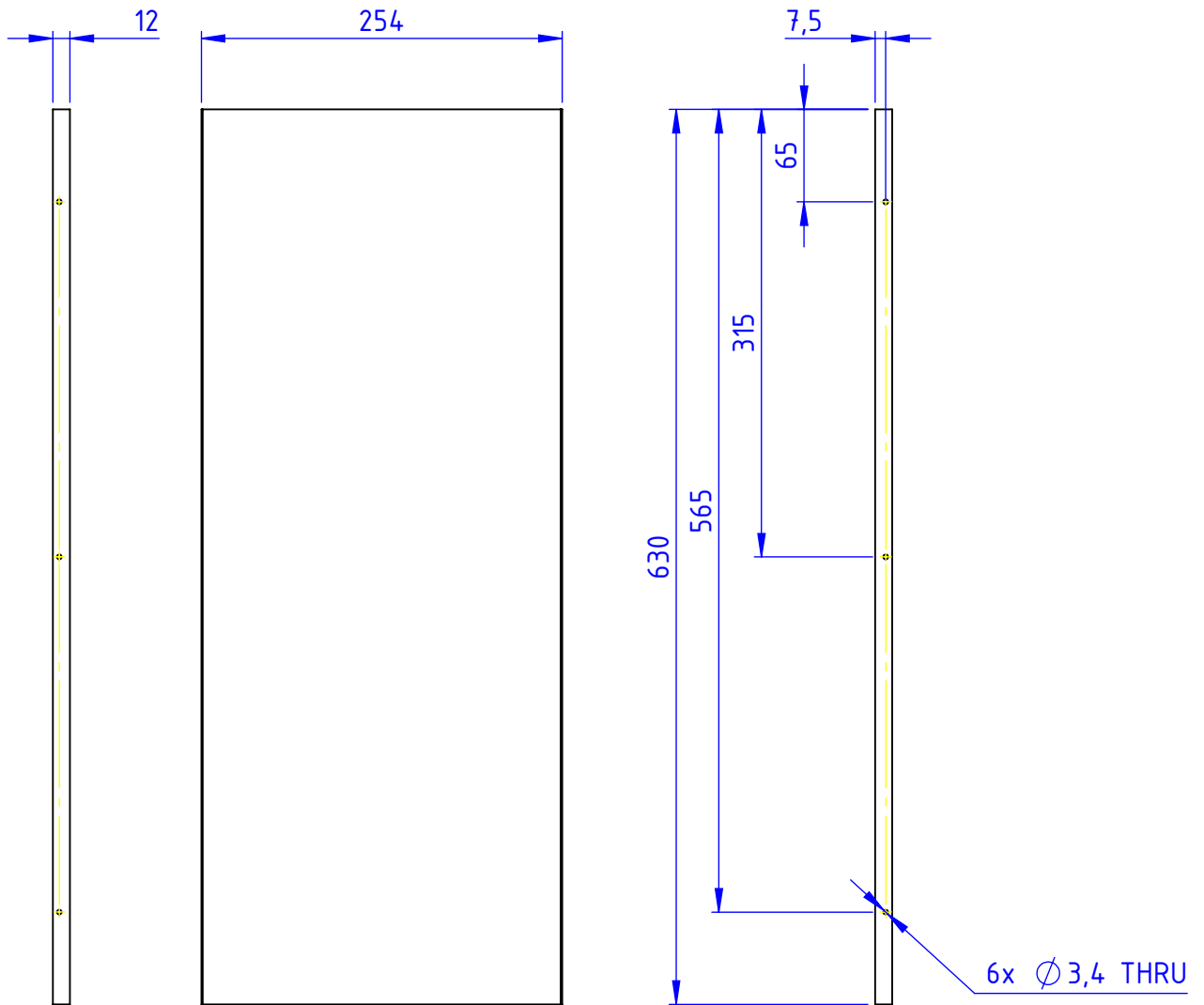
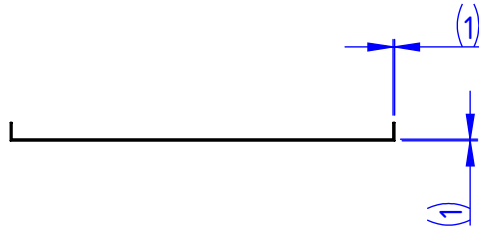
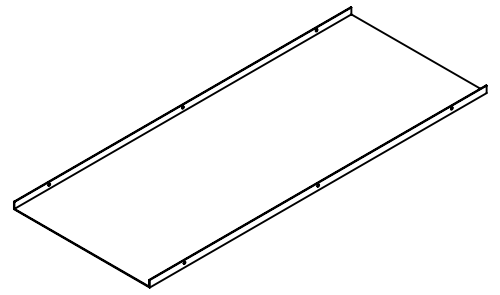
Peso(kg):

38.78

Desenhado por:

Áulis Soares Silva

Escala:
A4-1:5Folha:
2 de 2Unid:
mmTolerancias Gerais
NBR ISO 2768-mKaté 6
 $\pm 0,1$ 6 à 30
 $\pm 0,2$ 30 à 120
 $\pm 0,3$ 120 à 315
 $\pm 0,5$ 315 à 1000
 $\pm 0,8$ 1000 à 2000
 $\pm 1,2$ > 2000
 ± 2



Código:

LAP0010

Descrição:

Tampa Fechamento

Matéria Prima:

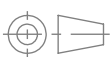
CHAPA AÇO Galvanizado #630x280x1 mm

Peso(kg):

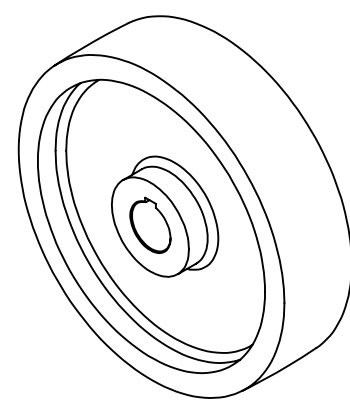
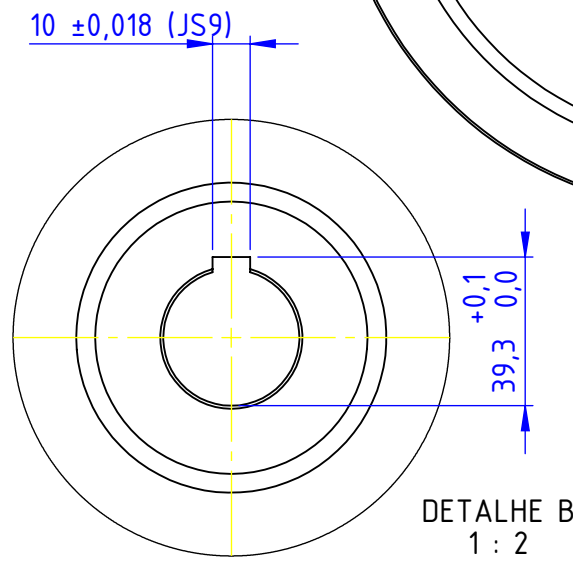
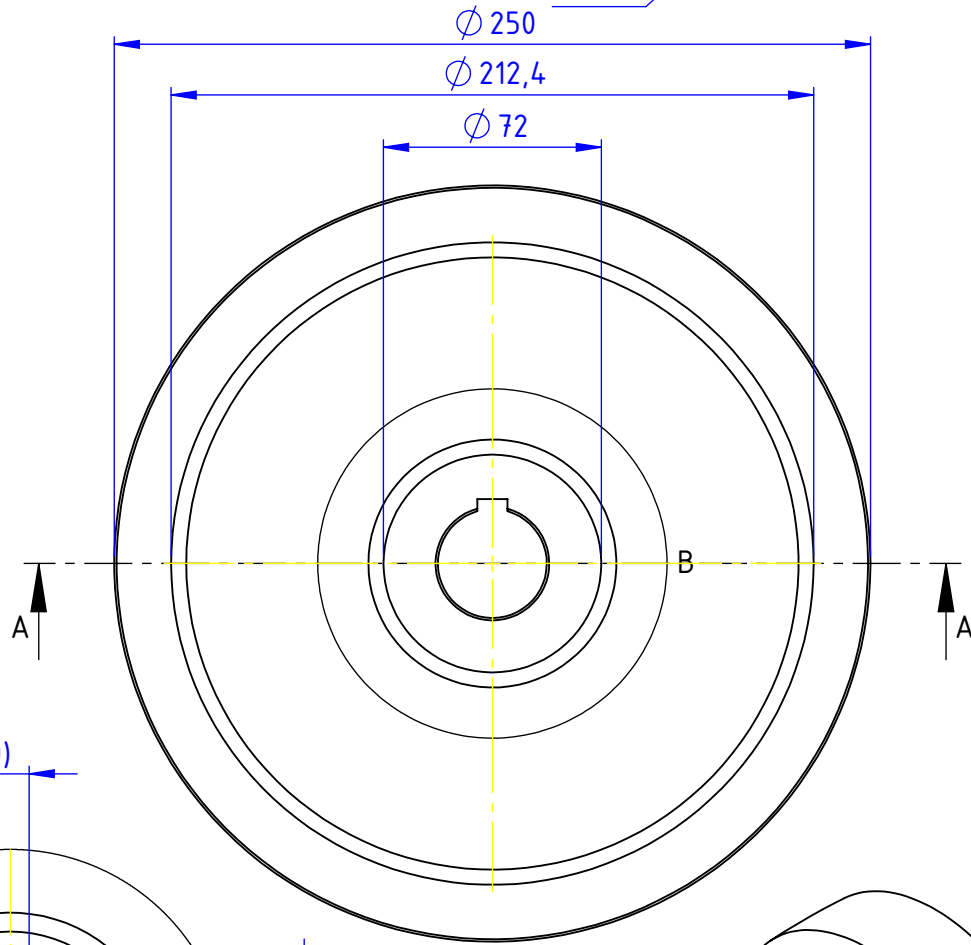
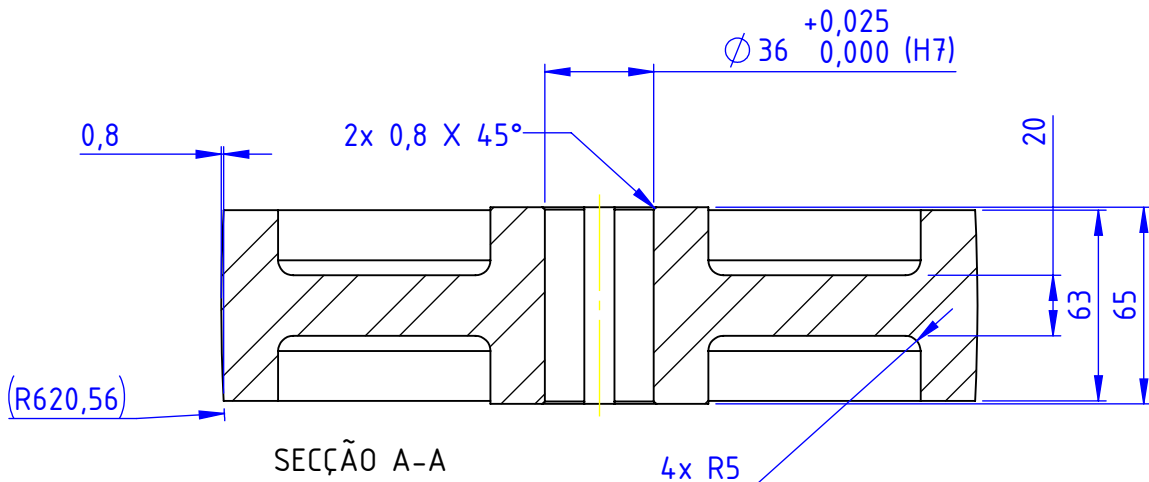
0.17

Desenhado por:

Áulis Soares Silva

Escala:
A4-1:5Folha:
1 de 1Unid:
mmTolerancias Gerais
NBR ISO 2768-mK

até 6	6 à 30	30 à 120	120 à 315	315 à 1000	1000 à 2000	> 2000
±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2

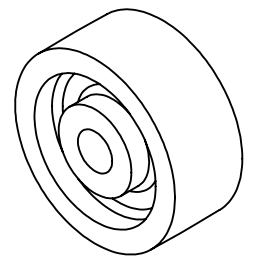
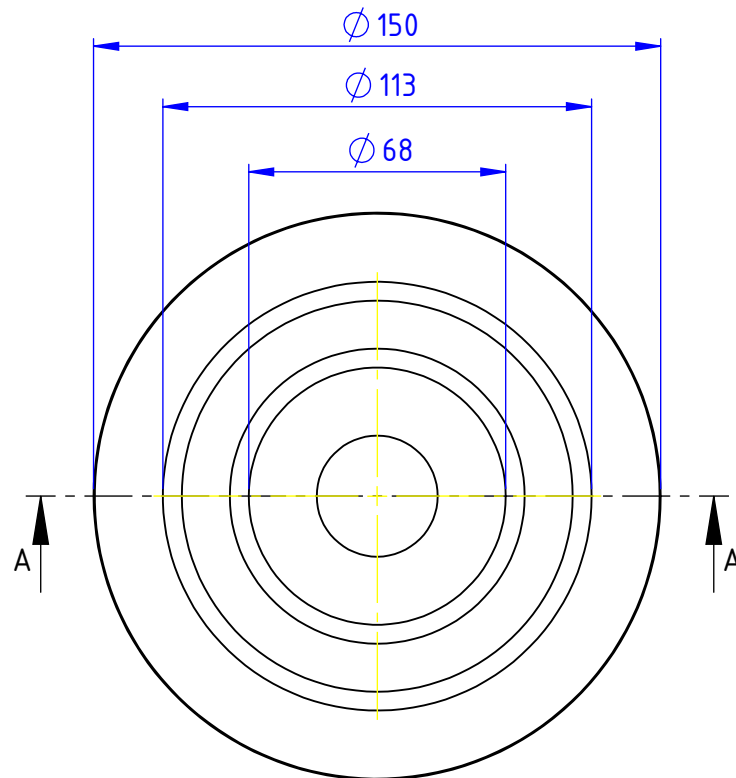
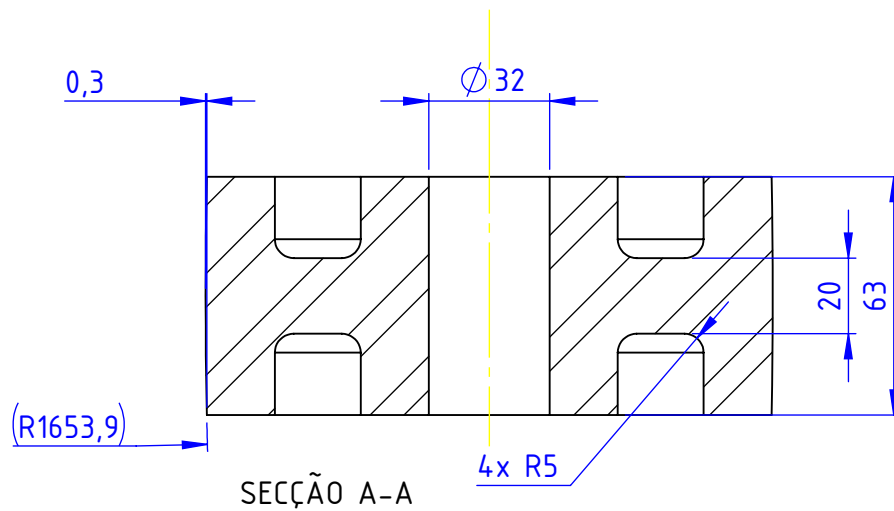


Código: **LAP0011** Descrição: **Polia Moviada**

Matéria Prima: **BARRA REDONDA AÇO AISI 1045 Ø10.1/2" X 70 mm** Peso(kg): **13.19**

Desenhado por: **Áulis Soares Silva**

	Escala: A4-2:5	Folha: 1 de 1	Unid: mm	Tolerancias Gerais NBR ISO 2768-mK	até 6 ±0,1	6 à 30 ±0,2	30 à 120 ±0,3	120 à 315 ±0,5	315 à 1000 ±0,8	1000 à 2000 ±1,2	> 2000 ±2



Peça precisa ser adaptada para o componente comercial

Tolerâncias dependem do componente comercial



Código:

LAP0012

Descrição:

Polia Motora

Matéria Prima:

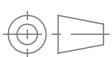
BARRA REDONDA AÇO AISI 1045 Ø8.1/2" X 70 mm

Peso(kg):

6.18

Desenhado por:

Áulis Soares Silva



Escala:
A4-1:2

Folha:
1 de 1

Unid:
mm

Tolerancias Gerais
NBR ISO 2768-mK

até 6
±0,1

6 à 30
±0,2

30 à 120
±0,3

120 à 315
±0,5

315 à 1000
±0,8

1000 à 2000
±1,2

> 2000
±2

F

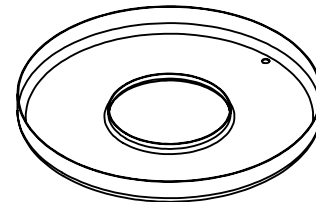
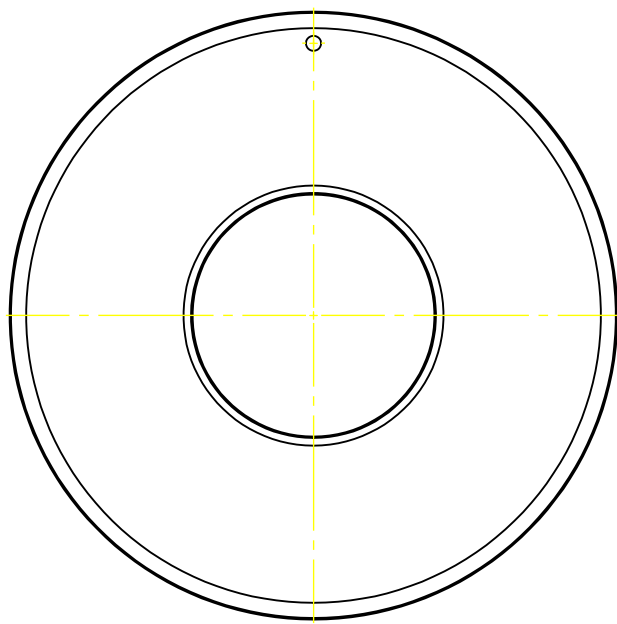
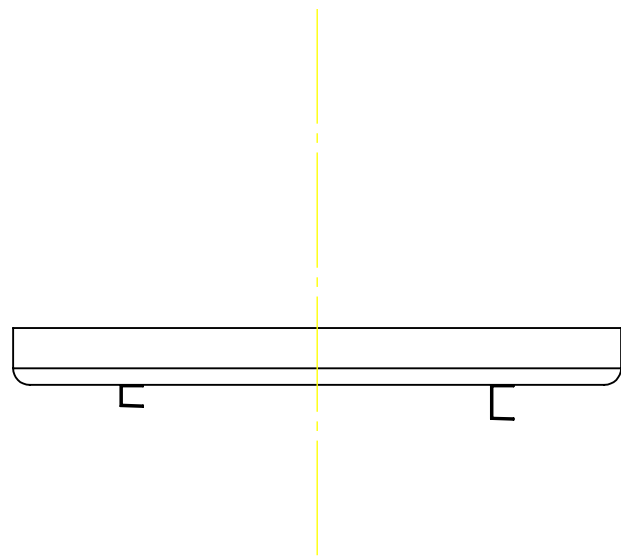
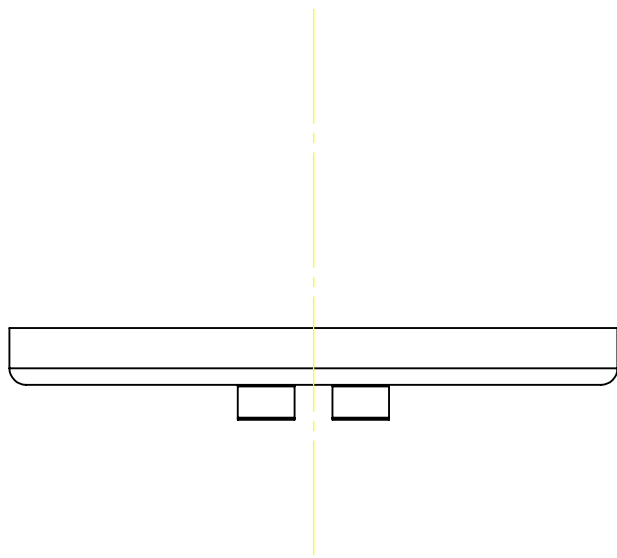
E

D

C

B

A



Componente não projetado, precisa de um estudo conduzido para seu desenvolvimento



Código:
LAP0013

Descrição:
Bacia Coletora

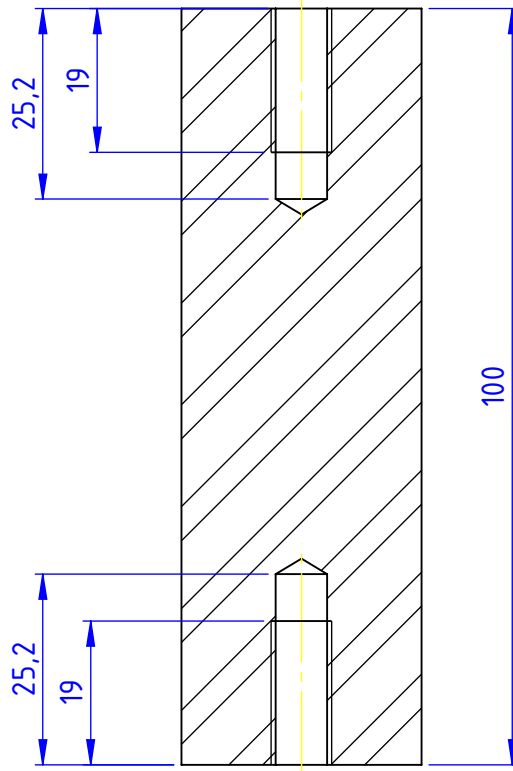
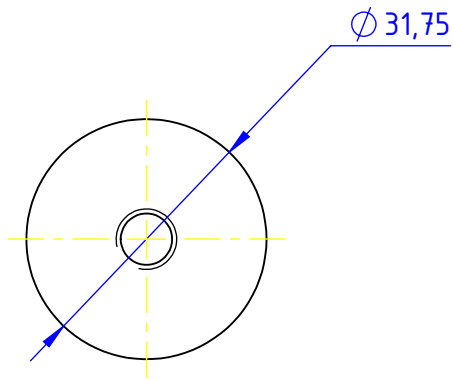
Matéria Prima:

--

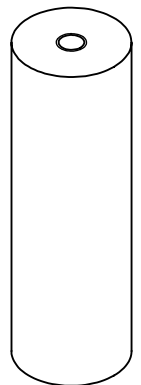
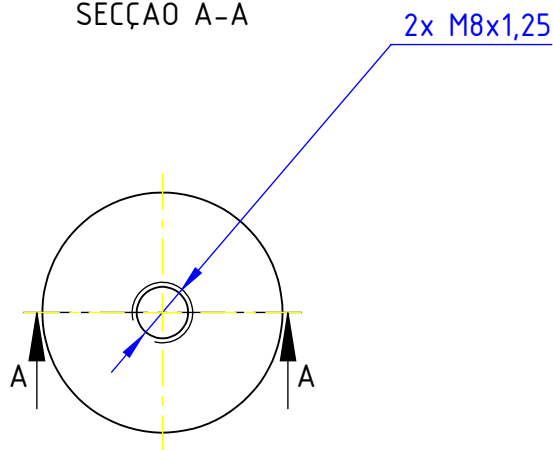
Desenhado por:

Áulis Soares Silva

	Escala: A4-1:5	Folha: 1 de 1	Unid: mm	Tolerancias Gerais NBR ISO 2768-mK	até 6	6 à 30	30 à 120	120 à 315	315 à 1000	1000 à 2000	> 2000
					±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2



SECÇÃO A-A



Código:

LAP0014

Descrição:

Suporte Braço

Matéria Prima:

BARRA REDONDA AÇO AISI 1045 Ø1.1/4" X 110 mm

Peso(kg):

0.61

Desenhado por:

Áulis Soares Silva



Escala:
A4-1:1

Folha:
1 de 1

Unid:
mm

Tolerancias Gerais
NBR ISO 2768-mK

até 6
±0,1

6 à 30
±0,2

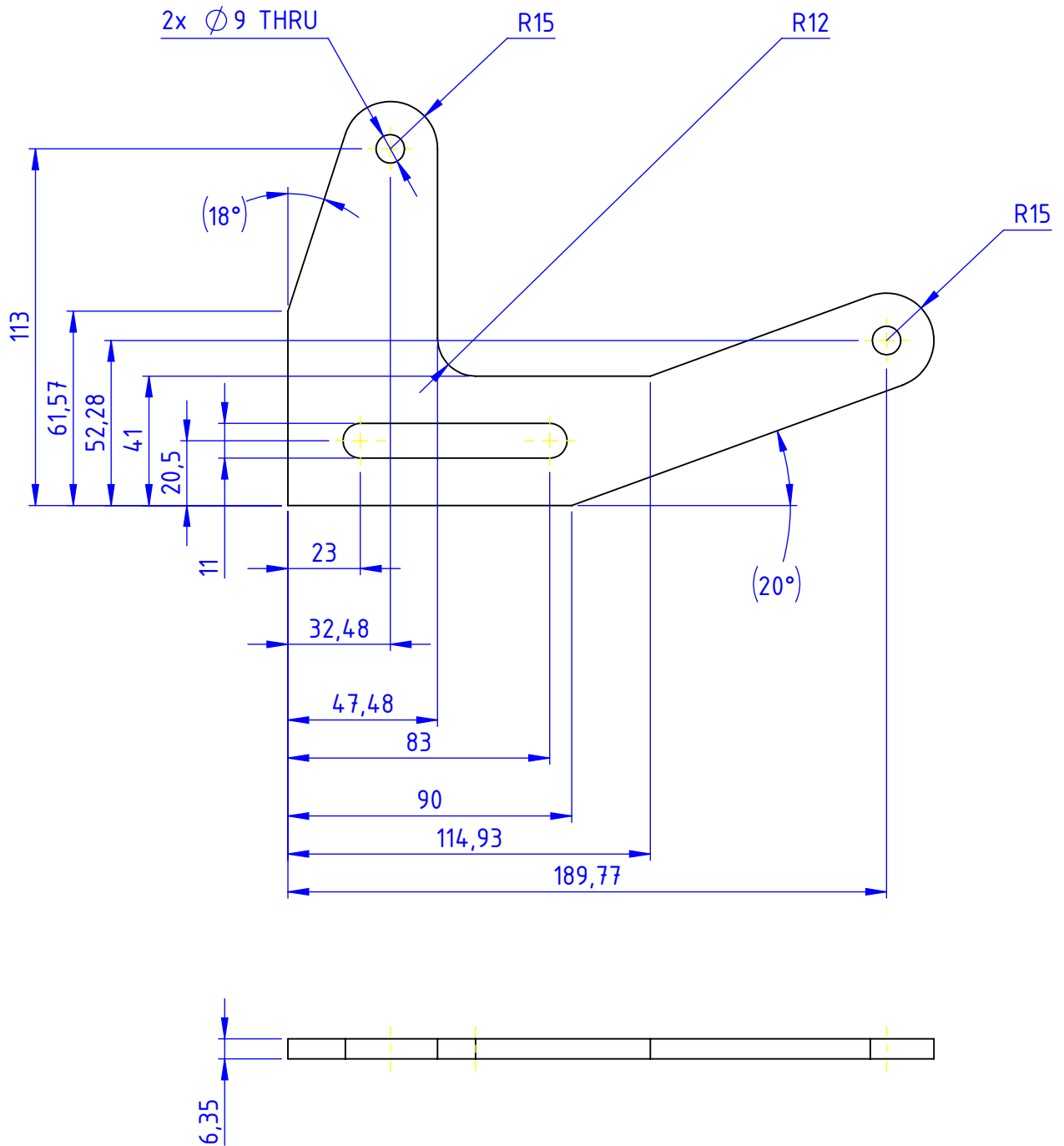
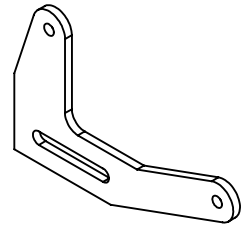
30 à 120
±0,3

120 à 315
±0,5

315 à 1000
±0,8

1000 à 2000
±1,2

> 2000
±2



Código:

LAP0015

Descrição:

Braço Anel

Matéria Prima:

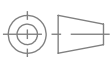
CHAPA AÇO AISI 1045 #1/4"

Peso(kg):

0.49

Desenhado por:

Áulis Soares Silva

Escala:
A4-1:2Folha:
1 de 1Unid:
mmTolerancias Gerais
NBR ISO 2768-mKaté 6
 $\pm 0,1$ 6 à 30
 $\pm 0,2$ 30 à 120
 $\pm 0,3$ 120 à 315
 $\pm 0,5$ 315 à 1000
 $\pm 0,8$ 1000 à 2000
 $\pm 1,2$ > 2000
 ± 2

F

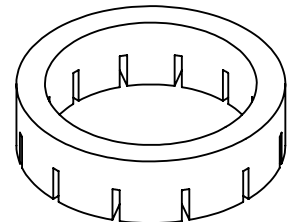
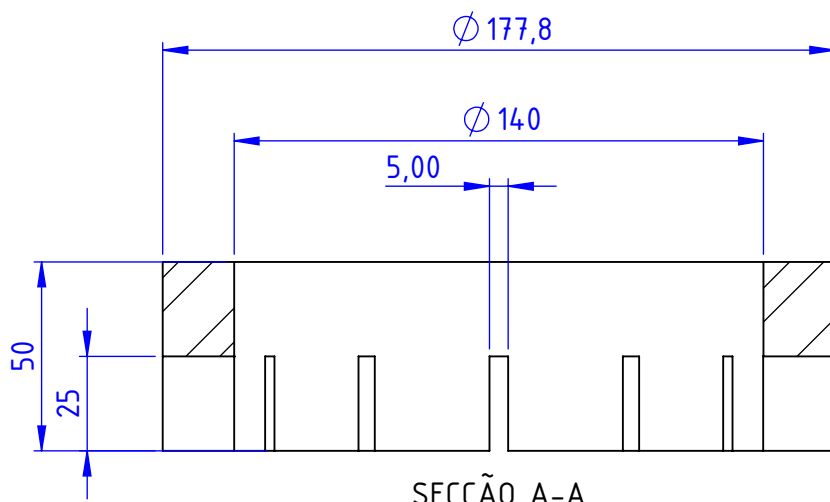
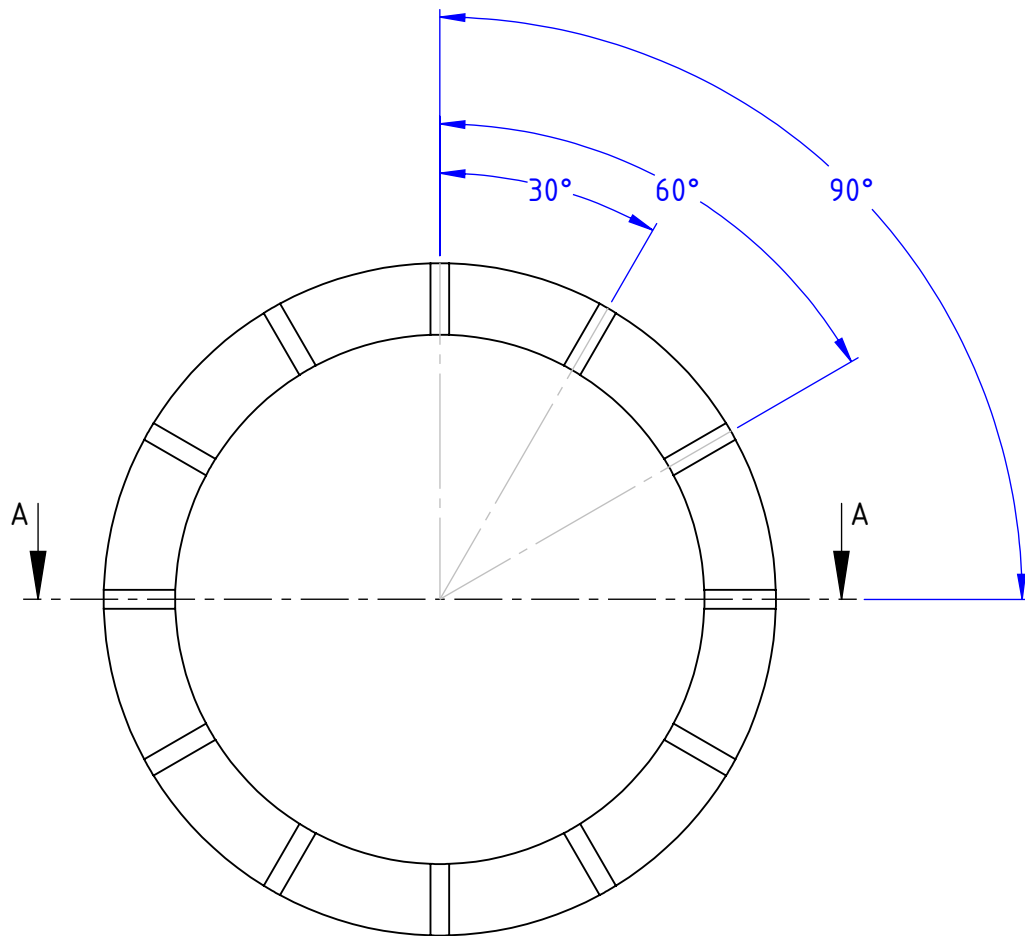
E

D

C

B

A



Código:

LAP0016

Descrição:

Anel Condicionador

Matéria Prima:

TUBO REDONDO AÇO AISI 1045 Ø7"X 130 mmX 55 mm

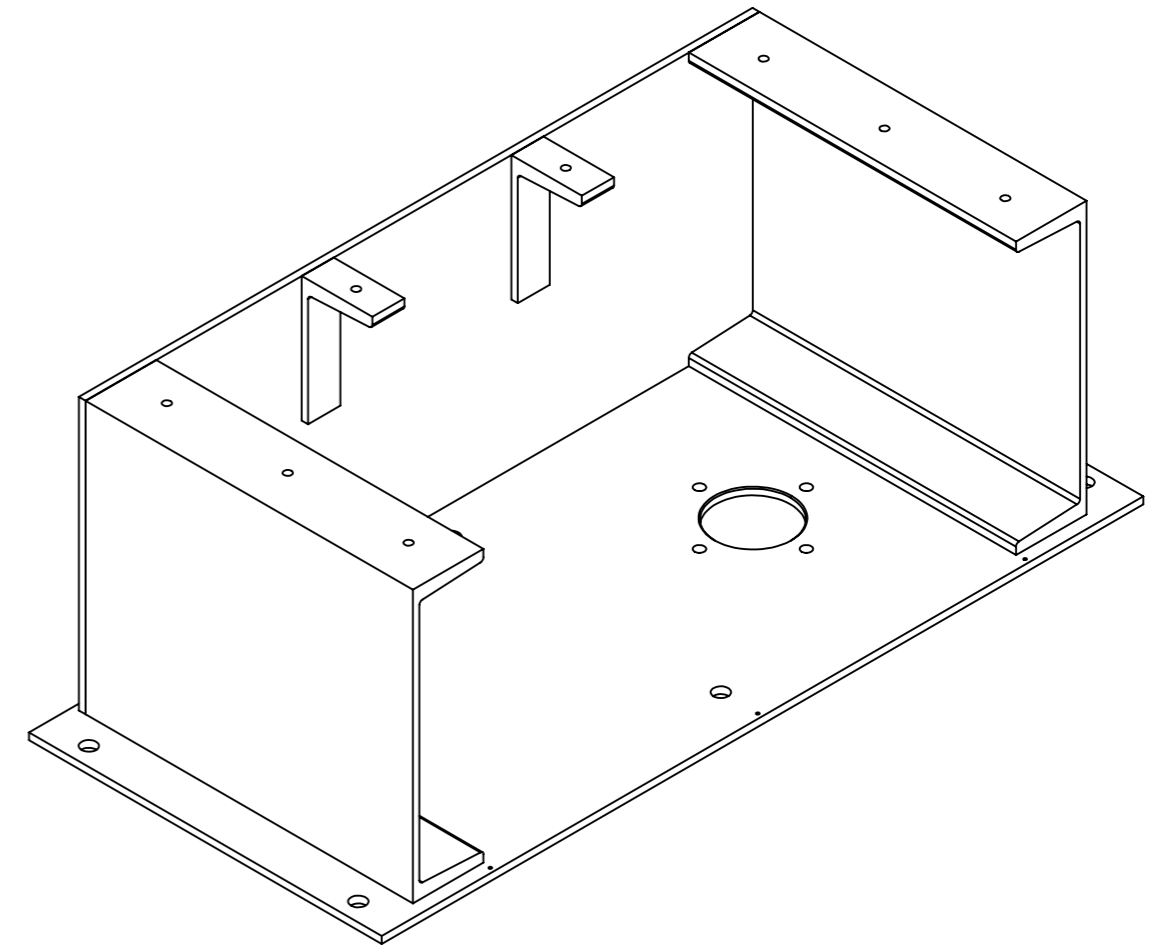
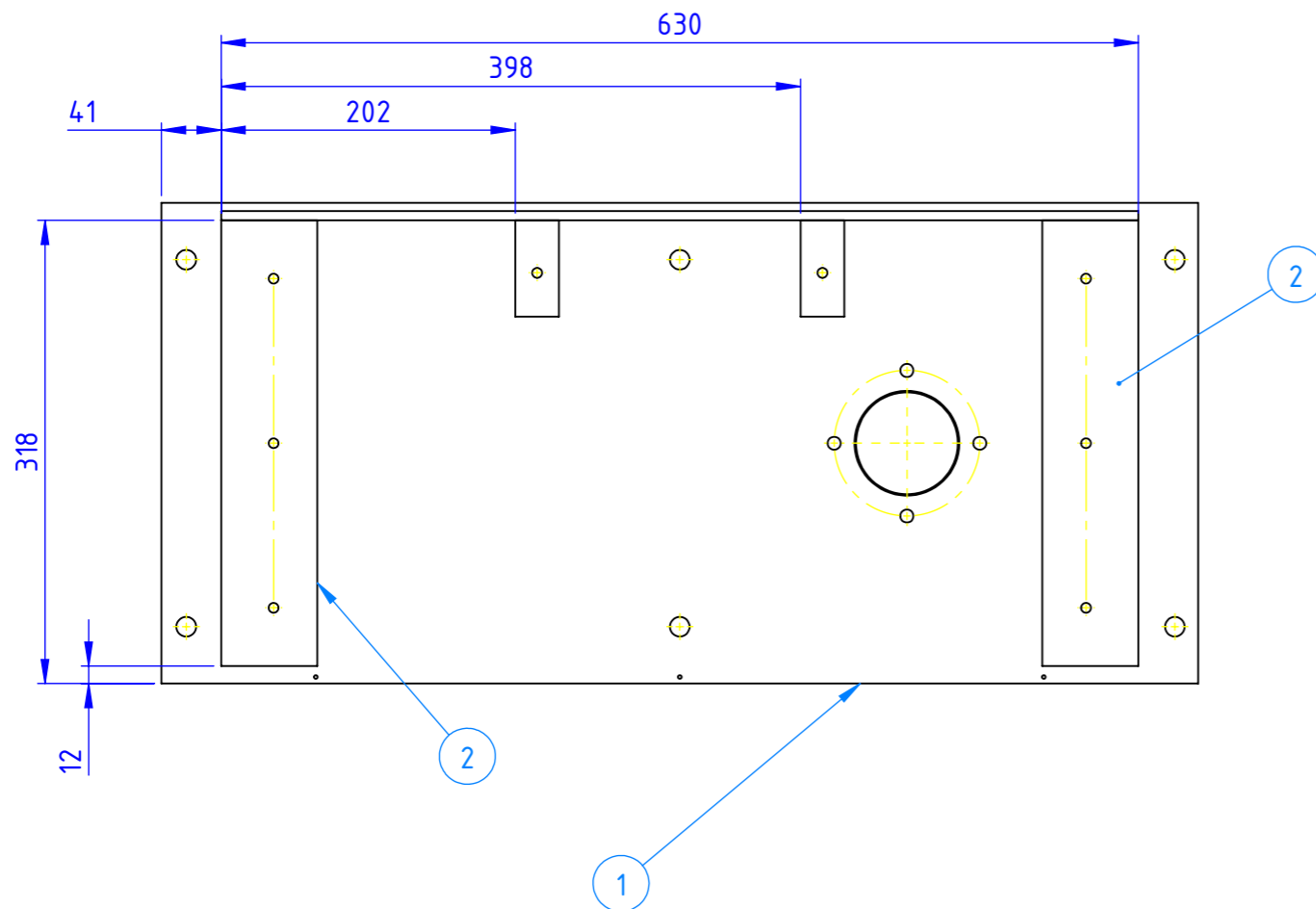
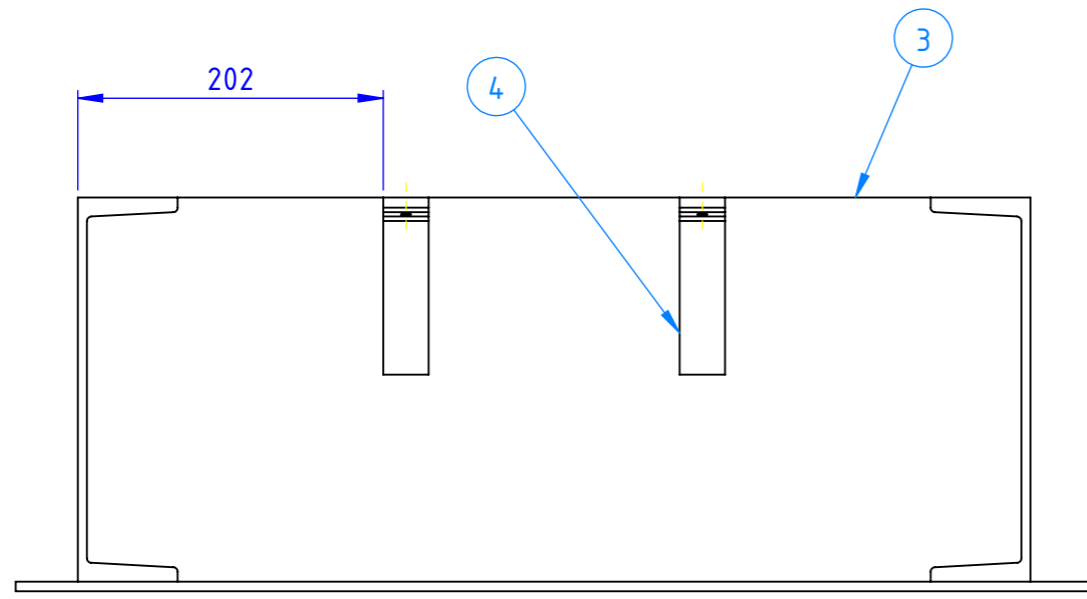
Peso(kg):

3.48


Desenhado por:

Áulis Soares Silva

Escala:
A4-1:2Folha:
1 de 1Unid:
mmTolerancias Gerais
NBR ISO 2768-mKaté 6
±0,16 à 30
±0,230 à 120
±0,3120 à 315
±0,5315 à 1000
±0,81000 à 2000
±1,2> 2000
±2



Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	MP	QTD.
1	LAP0001-ChapaInferior	CHAPA AÇO ASTM A36 #1/4" - CONFORME DESENHO	1
2	LAP0002-VIGAU	VIGA U ASTM A36 10" 1ª ALMA X 306 mm	2
3	LAP0003-CHAPATRASEIRA	CHAPA AÇO ASTM A36 #1/4" - CONFORME DESENHO	1
4	LAP0004-VigaUMeia	VIGA U ASTM A36 10" 1ª ALMA X 30 mm	2




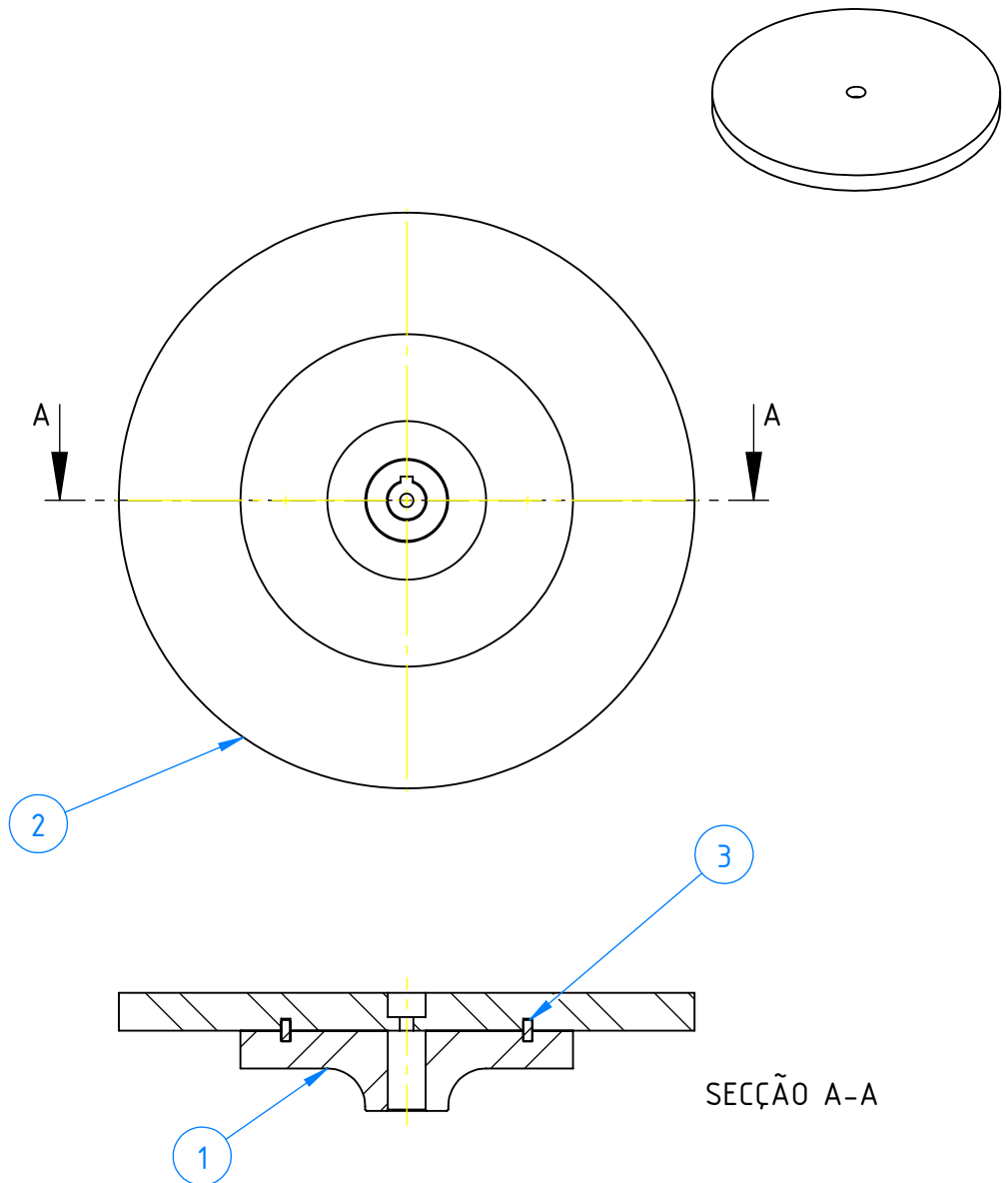
Engenharia Mecânica
UFS

Código: **LAP5001** Descrição: **Soldagem CaixaInferior**

Matéria Prima: **VER LISTA** Peso(kg): **33.9004**

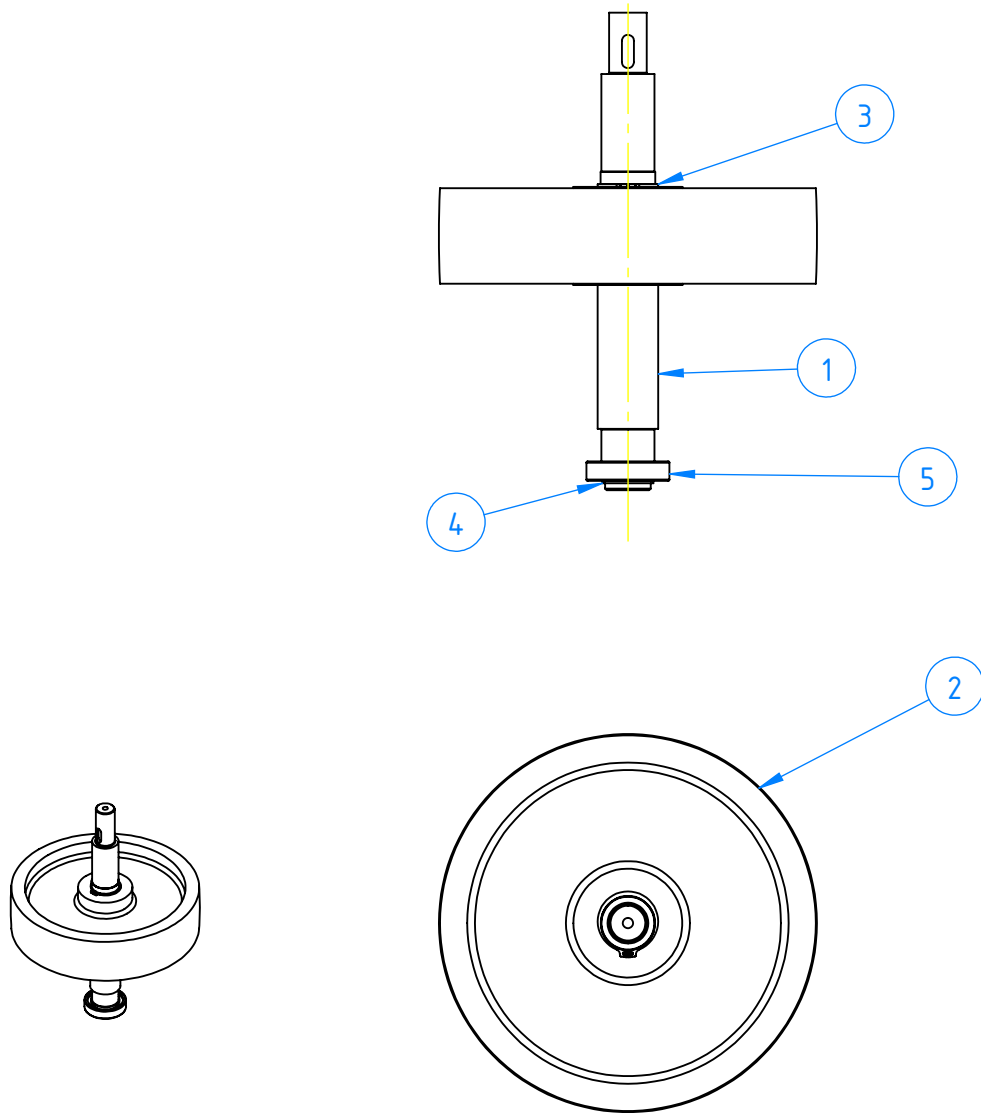
Desenhado por: **Áulis Soares Silva**

	Escala: A3-1:5	Folha: 1 de 1	Unid: mm	Tolerancias Gerais NBR ISO 2768-mK	até 6 ±0,1	6 à 30 ±0,2	30 à 120 ±0,3	120 à 315 ±0,5	315 à 1000 ±0,8	1000 à 2000 ±1,2	> 2000 ±2
---	-----------------------	----------------------	-----------------	---------------------------------------	---------------	----------------	------------------	-------------------	--------------------	---------------------	--------------





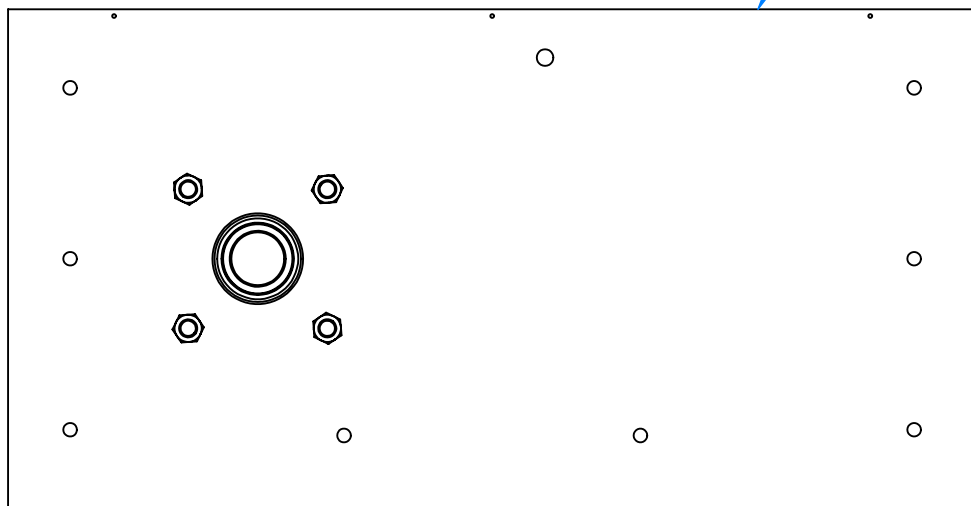
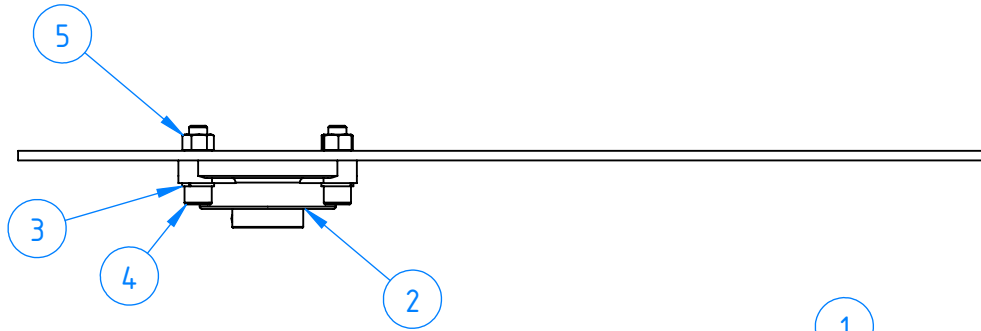
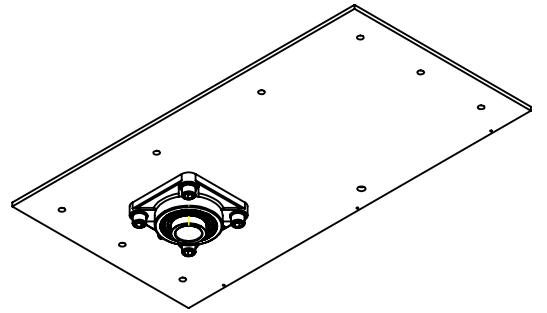
Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	MP	QTD.
1	LAP0008-SUPORTEPRATO	BARRA REDONDA AÇO AISI 1045 Ø10.1/2" X 68 mm	1
2	LAP0009-PRATO	CHAPA AÇO AISI 1020 #1.1/2" - CONFORME DESENHO	1
3	DIN EN 28734 - 6 X 14 - A - ST		2

	Código:	Descrição:									
		LAP5002	Conjunto Prato								
	Matéria Prima:	VER LISTA	Peso(kg):	30.43							
Desenhado por:				Áulis Soares Silva							
	Escala:	Folha:	Unid:	Tolerancias Gerais	até 6	6 à 30	30 à 120	120 à 315	315 à 1000	1000 à 2000	> 2000
	A4-1:5	1 de 1	mm	NBR ISO 2768-mK	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2



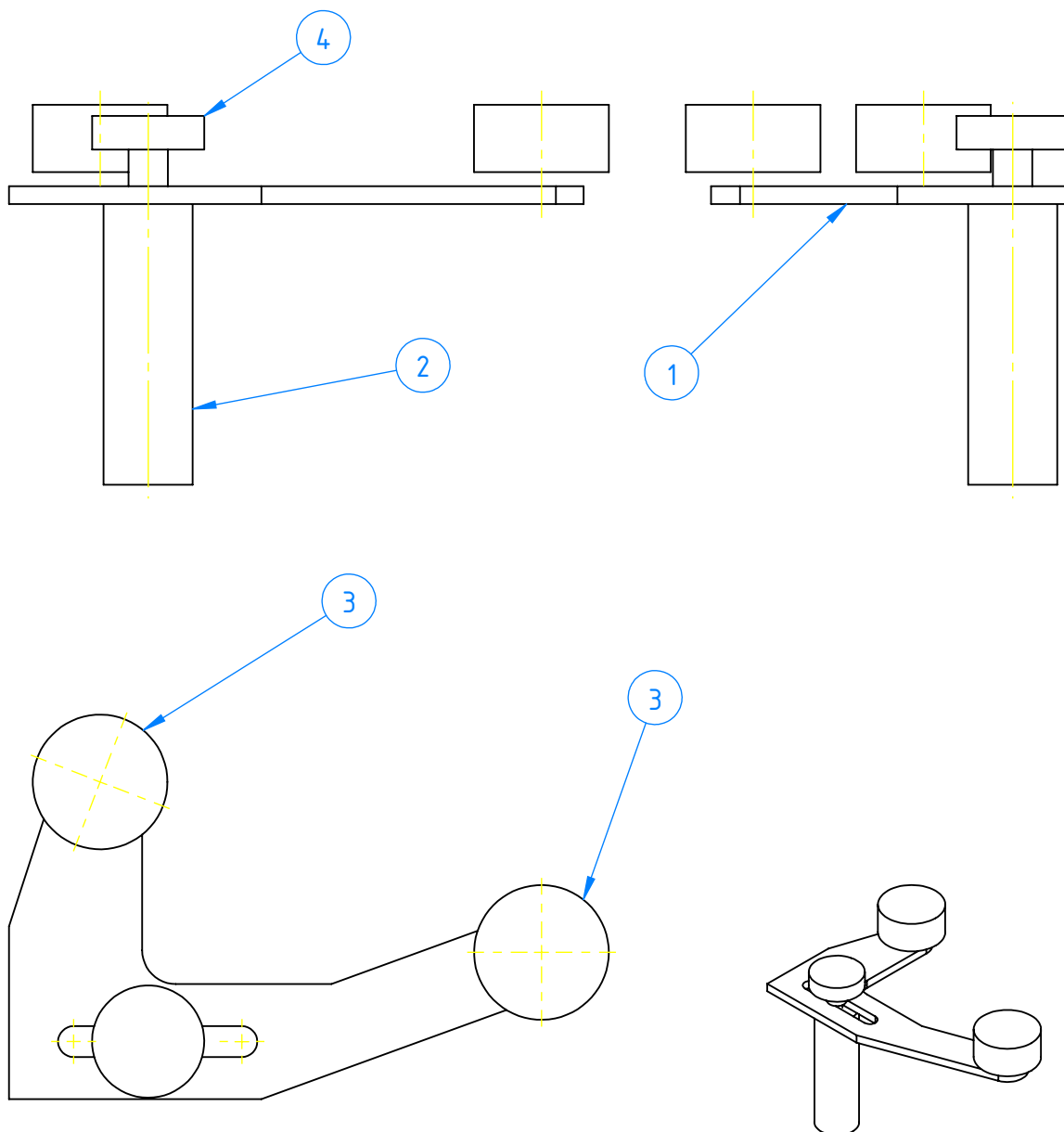
Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	MP	QTD.
1	LAP0006-EIXO	BARRA REDONDA AÇO AISI 8640 Ø2" X 343mm	1
2	LAP0011-POLIAMOVIDA	BARRA REDONDA AÇO AISI 1045 Ø10.1/2" X 70 mm	1
3	CIRCLIP DIN 471 - 36 X 1.75		1
4	CIRCLIP DIN 471 - 30 X 1.5		1
5	SKF - 6006 - 14,SI,NC,14_68		1

	Código:	Descrição:														
	LAP5003	Montagem Eixo														
	Matéria Prima:	Peso(kg):														
VER LISTA	15.67															
Desenhado por:	Áulis Soares Silva															
 Escala: A4-1:5 Folha: 1 de 1 Unid: mm	Tolerancias Gerais NBR ISO 2768-mK	<table border="1"> <tr> <td>até 6</td> <td>6 à 30</td> <td>30 à 120</td> <td>120 à 315</td> <td>315 à 1000</td> <td>1000 à 2000</td> <td>> 2000</td> </tr> <tr> <td>±0,1</td> <td>±0,2</td> <td>±0,3</td> <td>±0,5</td> <td>±0,8</td> <td>±1,2</td> <td>±2</td> </tr> </table>	até 6	6 à 30	30 à 120	120 à 315	315 à 1000	1000 à 2000	> 2000	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2
até 6	6 à 30	30 à 120	120 à 315	315 à 1000	1000 à 2000	> 2000										
±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2										


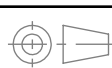


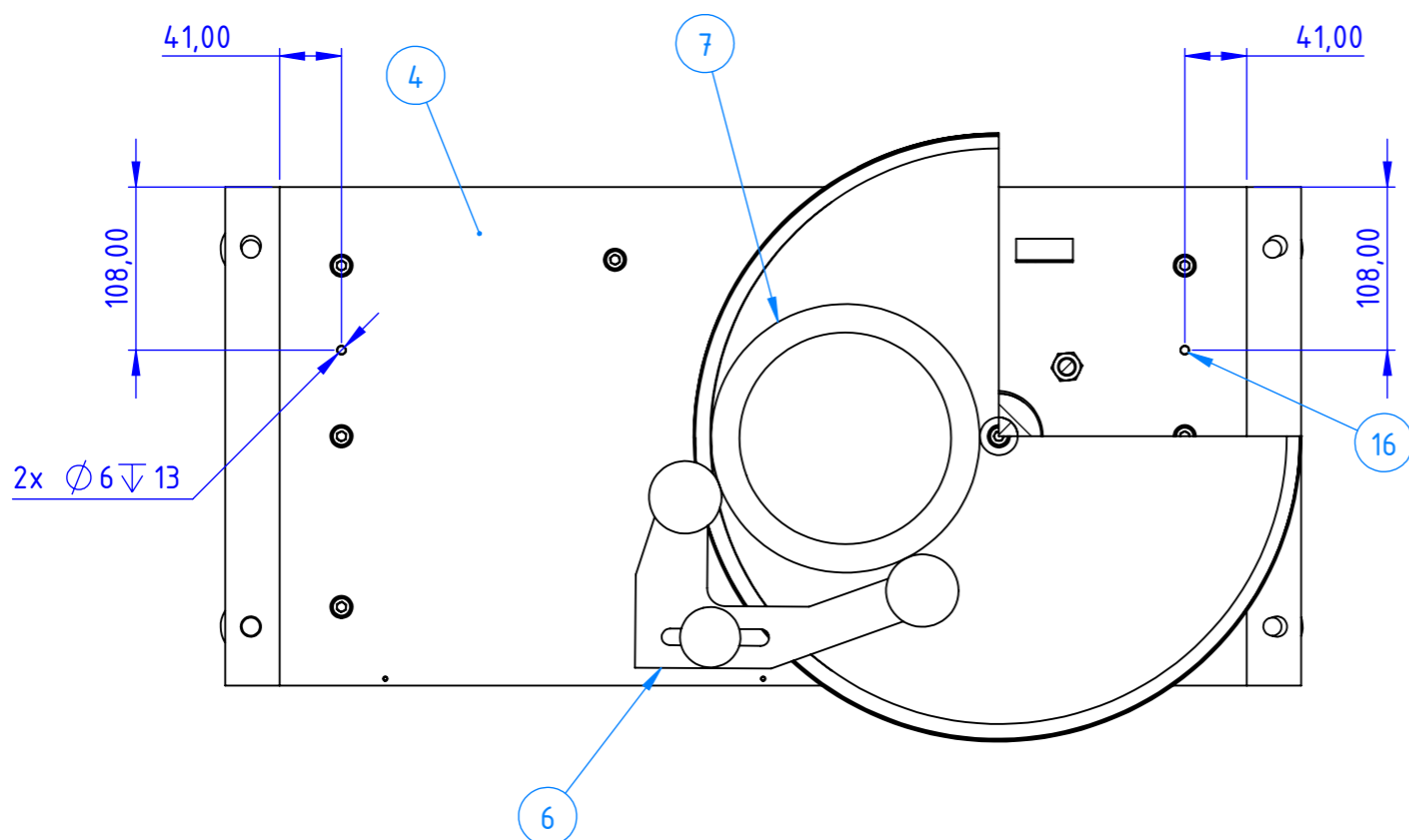
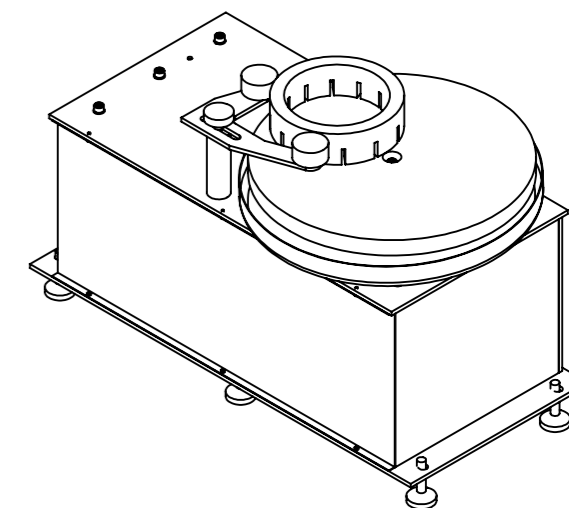
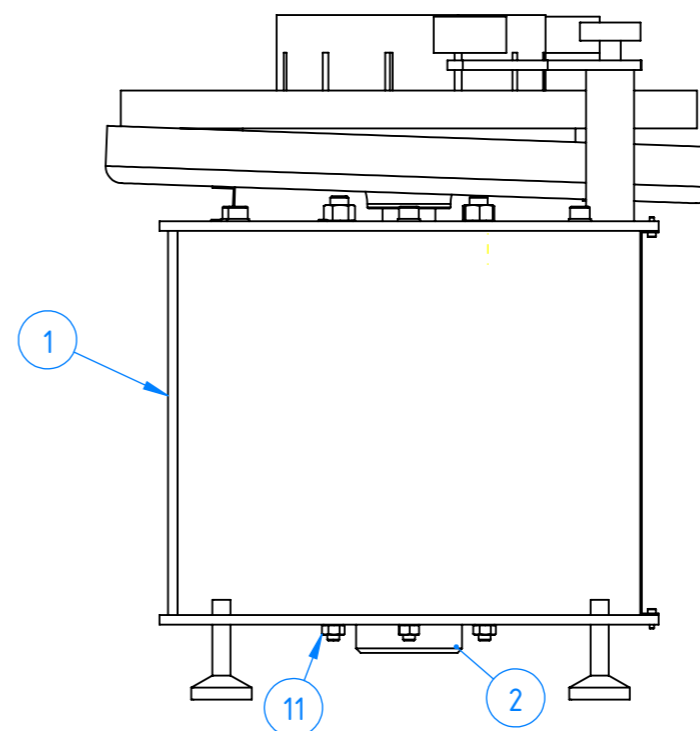
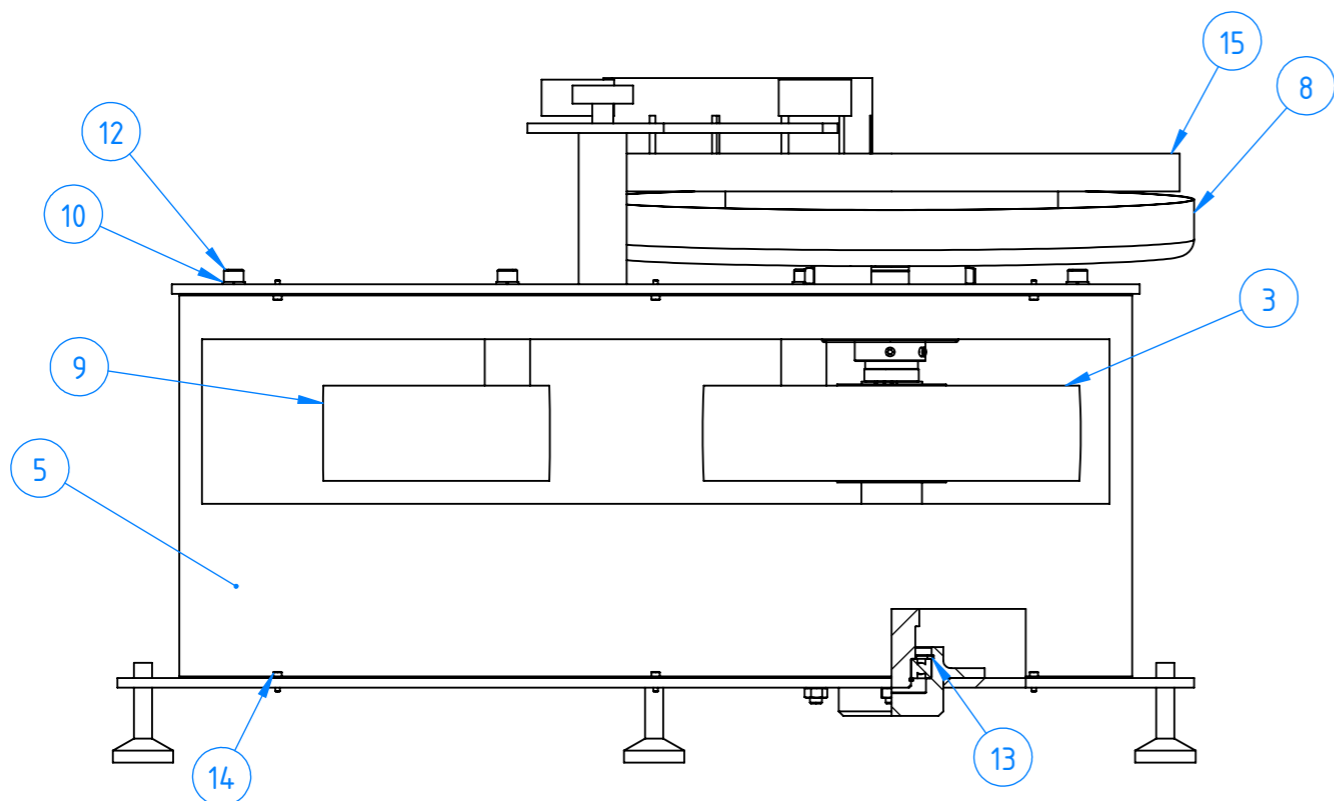
Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	MP	QTD.
1	LAP0007-CHAPASUPERIOR	CHAPA AÇO ASTM A36 #1/4" - CONFORME DESENHO	1
2	SKF_UCF 207		1
3	SPRING WASHER DIN 128 - A12		4
4	DIN 912 M12 X 40 --- 40N		4
5	HEXAGON NUT ISO 4032 - M12 - W - N		4

	Código:	Descrição:	
	LAP5004	CaixaSuperior	
	Matéria Prima:	Peso(kg):	
VER LISTA	10.55		
Desenhado por:	Áulis Soares Silva		
	Escala:	Folha:	Unid:
A4-1:5	1 de 1	mm	Tolerancias Gerais
			NBR ISO 2768-mK
			até 6
			6 à 30
			30 à 120
			120 à 315
			315 à 1000
			1000 à 2000
			> 2000
			±0,1
			±0,2
			±0,3
			±0,5
			±0,8
			±1,2
			±2

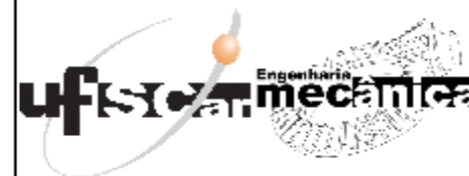


Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	MP	QTD.
1	LAP0015-BRAÇO	CHAPA AÇO AISI 1045 #1/4" - CONFORME DESENHO	1
2	LAP0014-SUPORTEBRAÇO	BARRA REDONDA AÇO AISI 1045 Ø1.1/4" X 110 mm	1
3	LAP0000-ROLETE	COMERCIAL	2
4	LAP0000-MANÍPULO	COMERCIAL M8X1,25X25	1

	Código:	Descrição:	
	LAP5005	Braço Anel Condicionador	
	Matéria Prima:	Peso(kg):	
VER LISTA	1.20		
Desenhado por:	Áulis Soares Silva		
	Escala:	Folha:	Unid:
A4-2:5	1 de 1	mm	Tolerancias Gerais
			NBR ISO 2768-mK
			até 6
			6 à 30
			30 à 120
			120 à 315
			315 à 1000
			1000 à 2000
			> 2000
			±0,1
			±0,2
			±0,3
			±0,5
			±0,8
			±1,2
			±2



Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	MP	QTD.
1	LAP5001-CAIXAINFERIOR	VER LISTA	1
2	LAP0005-MANCALINFERIOR	VER LISTA	1
3	LAP5003-MEIXO	VER LISTA	1
4	LAP5004-CAIXASUPERIOR	VER LISTA	1
5	LAP0010-TAMPA	CHAPA AÇO Galvanizado #630x280x1 mm	1
6	LAP5005-SUORTEANEL	VER LISTA	1
7	LAP0016-ANEL	TUBO REDONDO AÇO AISI 1045 Ø7" X 130 mm X 55 mm	1
8	LAP0013-BACIA	--	1
9	LAP0012-POLIAMOTORA	BARRA REDONDA AÇO AISI 1045 Ø8.1/2" X 70 mm	1
10	SPRING WASHER DIN 128 - A8		15
11	HEXAGON NUT ISO 4032 - M8 - W - N		4
12	DIN 912 M8 X 25 --- 25N		15
13	CIRCLIP DIN 472 - 55 X 2		1
14	DIN 912 M3 X 10 --- 10N		6
15	LAP5002-CONJUNTOPRATO	VER LISTA	1
16	DIN EN 28734 - 6 X 14 - A - ST		2



Código:
LAP9001

Descrição:
Montagem Geral

Matéria Prima:
VER LISTA

Peso(kg):
103.4355

Desenhado por:
Áulis Soares Silva



Escala:
A3-1:5

Folha:
1 de 1

Unid:
mm

Tolerancias Gerais
NBR ISO 2768-mK

até 6	6 à 30	30 à 120	120 à 315	315 à 1000	1000 à 2000	> 2000
±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2



Roteiro de Fabricação



Nome do processista: Áulis Soares Silva	Data: 26/03/2023
Denominação da peça: Chapa Inferior	Código da peça: LAP0001
Denominação do conjunto: Soldagem CaixaInferior	Código do conjunto: LAP5001
Matéria Prima: Chapa de aço ASTM A36 1/4" (Conforme desenho 716x334 mm)	

Nº	Descrição da Operação	Máquina
10	Esquadreamento da borda do material	Centro de Usinagem
10.1	Fixação da chapa no centro de usinagem pelas bordas longas	Grampos
10.2	Retirada de material da borda curta até a dimensão do desenho	Fresa de topo
10.3	Fixação da chapa no centro de usinagem pelas bordas curtas	Grampos
10.4	Retirada da fixação da operação 10.1	-
10.5	Retirada de material da borda longa até a dimensão do desenho	Fresa de topo
20	Usinagem furos	Centro de Usinagem
20.1	Furação do furo 70H7	Fresa de topo
20.2	Furação dos 4 furos de 9mm nas posições do desenho em um círculo de 100mm centrado no furo da operação 20.1	Fresa de topo
20.3	Furação dos 6 furos de 13,5mm nas posições do desenho	Fresa de topo
20.4	Furação dos 3 furos para rosca M3x0,5 nas posições do desenho	Broca
30	Chanframento	Centro de Usinagem
30.1	Chanframento de 1 mm a 45° no furo da operação 20.1	Fresa de topo
40	Roscamento furo	Bancada
40.1	Roscamento M3x0,5 dos furos feitos na operação 20.4	Macho M3x0,5



Roteiro de Fabricação



Nome do processista:		Data:
Áulis Soares Silva		26/03/2023
Denominação da peça:		Código da peça:
Viga U Estrutural		LAP0002
Denominação do conjunto:		Código do conjunto:
Soldagem CaixaInferior		LAP5001
Matéria Prima:		
Viga U de ASTM A36 10" 1ª ALMA x 306 mm		
Nº	Descrição da Operação	Máquina
10	Furação	Centro de Usinagem
10.1	Fixação da matéria prima no centro de usinagem utilizando as referências indicadas	Morsa
10.2	Furação dos 3 furos para rosca M8x1,25	Furadeira
10.3	Roscamento M8x1,25 dos furos feitos na operação 10.2	Broca para M8x1,25



Roteiro de Fabricação



Nome do processista: Áulis Soares Silva	Data: 26/03/2023
Denominação da peça: Chapa Traseira	Código da peça: LAP0003
Denominação do conjunto: Soldagem CaixaInferior	Código do conjunto: LAP5001
Matéria Prima: Chapa de aço ASTM A36 1/4" (Conforme desenho 634x258 mm)	

Nº	Descrição da Operação	Máquina
10	Esquadreamento borda do material	Centro de Usinagem
10.1	Fixação da chapa no centro de usinagem pelas bordas longas	Grampos
10.2	Retirada de material da borda curta até a dimensão do desenho	Fresa de topo
10.3	Fixação da chapa no centro de usinagem pelas bordas curtas	Grampos
10.4	Retirada da fixação da operação 10.1	-
10.5	Retirada de material da borda longa até a dimensão do desenho	Fresa de topo



Roteiro de Fabricação



Nome do processista:	Áulis Soares Silva	Data:	26/03/2023
Denominação da peça:	Viga U Fechamento	Código da peça:	LAP0004
Denominação do conjunto:	Soldagem CaixaInferior	Código do conjunto:	LAP5001
Matéria Prima:	Viga U de ASTM A36 10" 1ª ALMA x 30 mm		
Nº	Descrição da Operação	Máquina	
10	Corte matéria prima	Serra	
10.1	Fixação na serra	Morsa	
10.2	Corte da matéria prima em duas partes de 117mm conforme o desenho	Serra	
20	Furação	Furadeira bancada	
20.1	Fixação da matéria prima no centro de usinagem utilizando as referências indicadas	Morsa	
20.2	Furação dos 3 furos para rosca M8x1,25	Furadeira	
20.3	Roscamento M8x1,25 dos furos feitos na operação 20.2	Broca para M8x1,25	



Roteiro de Fabricação



Nome do processista: Áulis Soares Silva	Data: 26/03/2023
Denominação da peça: Mancal Inferior	Código da peça: LAP0005
Denominação do conjunto: Montagem Geral	Código do conjunto: LAP9001
Matéria Prima: Barra redonda de aço AISI 1045 Ø5.1/4" x 50 mm	

Nº	Descrição da Operação	Máquina
10	Usinagem Perfil	Torno CNC
10.1	Fixação da matéria prima no torno	Três castanhas
10.2	Faceamento	Torno
10.3	Usinagem diâmetro 70h6 por 25mm com raio de 2mm na concordância com a base da matéria prima	Torno
10.4	Usinagem diâmetro 124mm por 6,5mm	Torno
10.5	Chanframento de 3mm a 45° da ponta do material	Torno
20	Usinagem Perfil	Torno CNC
20.1	Fixação no diâmetro de 70mm utilizando as referências indicadas, ajustar perpendicularismo para atender a tolerância	Três castanhas
20.2	Faceamento até dimensões do desenho	Torno
20.3	Usinagem diâmetro 70mm por 13,9mm com raio de 5mm na concordância	Torno
20.4	Usinagem do diâmetro de 46mm com uma profundidade de 30,4mm e raio de 0,5mm de concordância	Torno
20.5	Usinagem do diâmetro de 55H8 com uma profundidade de 26,65mm e raio de 0,5mm de concordância	Torno
20.6	Usinagem rasgo do anel elástico	Torno
20.7	Chanframento de 0,5 mm a 45° da ponta do material	Torno
30	Furação	Centro de usinagem
30.1	Fixação no centro de usinagem utilizando as referências indicadas	Grampo

30.2

Furação dos 4 furos de 9mm nas posições do desenho em um círculo de 100mm centrado no diâmetro da operação 10.3

Fresa de topo



Roteiro de Fabricação



Nome do processista: Áulis Soares Silva	Data: 26/03/2023
Denominação da peça: Eixo	Código da peça: LAP0006
Denominação do conjunto: Montagem Eixo	Código do conjunto: LAP5003
Matéria Prima: Barra redonda de aço AISI 8640 Ø2" x 343 mm	

Nº	Descrição da Operação	Máquina
10	Usinagem1	Torno CNC
10.1	Fixação da matéria prima no torno	Três Castanhas
10.2	Faceamento	Torno
10.3	Usinagem do perfil do diâmetro 30k6 de até o fim do ressalto de 40mm	Torno
10.4	Chanframento de 1mm a 45° da ponta do material	Torno
10.5	Usinagem rasgo do anel elástico	Torno
20	Usinagem Perfil	Torno CNC
20.1	Fixação da matéria prima com o perfil usinado na operação 10.3 para dentro do suporte de fixação e próximo a ponta do material	Três Castanhas
20.2	Faceamento	Torno
20.3	Furação para contraponto	Furadeira
20.4	Fixação no diâmetro de 40mm utilizando as referências indicadas, ajustar concentricidade para atender a tolerância	Três Castanhas
20.5	Fixação do contraponto	Contraponto
20.6	Usinagem do perfil restante	Torno
20.7	Chanframento de 1mm a 45° da ponta do material	Torno
20.8	Usinagem rasgo do anel elástico	Torno
20.9	Retirada do contraponto e furação do furo para rosca M8x1,25 seguindo as dimensões do desenho	Furadeira
20.10	Roscamento M8x1,25 dos furos feitos na operação 20.9 seguindo as dimensões do desenho	Broca

30	Rasgos de chaveta	Centro de Usinagem
30.1	Fixação do eixo no centro de usinagem	Morsa
30.2	Usinagem do rasgo de chaveta de 10mm	Fresa de topo
30.3	Usinagem do rasgo de chaveta de 8mm	Fresa de topo
40	Retificação	Retífica
40.1	Fixação do eixo	Retífica
40.2	Retificação do diâmetro 55k6	Retífica
40.3	Retificação do diâmetro 35js6	Retífica



Roteiro de Fabricação



Nome do processista:	Áulis Soares Silva	Data:	26/03/2023
Denominação da peça:	Chapa Superior	Código da peça:	LAP0007
Denominação do conjunto:	Caixa Superior	Código do conjunto:	LAP5004
Matéria Prima:	Chapa de aço ASTM A36 1/4" (Conforme desenho 644x334 mm)		
Nº	Descrição da Operação	Máquina	
10	Esquadreamento da borda do material	Centro de Usinagem	
10.1	Fixação da chapa no centro de usinagem pelas bordas longas	Grampos	
10.2	Retirada de material da borda curta até a dimensão do desenho	Fresa de topo	
10.3	Fixação da chapa no centro de usinagem pelas bordas curtas	Grampos	
10.4	Retirada da fixação da operação 10.1	-	
10.5	Retirada de material da borda longa até a dimensão do desenho	Fresa de topo	
20	Usinagem furos	Centro de Usinagem	
20.1	Furação do furo 60mm	Fresa de topo	
20.2	Furação dos 4 furos de 13,5mm nas posições do desenho em um quadrado de 92mm centrado no furo da operação 20.1	Fresa de topo	
20.3	Furação dos 8 furos de 9mm nas posições do desenho	Fresa de topo	
20.4	Furação dos 3 furos para rosca M3x0,5 nas posições do desenho	Broca	
30	Roscamento furo	Bancada	
30.1	Roscamento M3x0,5 dos furos feitos na operação 20.4	Macho M3x0,5	



Roteiro de Fabricação



Nome do processista: Áulis Soares Silva	Data: 26/03/2023
Denominação da peça: Suporte do Prato	Código da peça: LAP0008
Denominação do conjunto: Conjunto Prato	Código do conjunto: LAP0002
Matéria Prima: Barra redonda de aço AISI 1045 Ø10.1/2" x 68 mm	

Nº	Descrição da Operação	Máquina
10	Usinagem borda do material	Centro de Usinagem
10.1	Fixação da matéria prima no centro de usinagem	Morsa
10.2	Faceamento	Fresa de topo
10.3	Retirada de borda com diâmetro de 220mm e profundidade de 25mm	Fresa de topo
20	Usinagem furos	Centro de Usinagem
20.1	Furação do furo 25H7 central	Fresa de topo
20.2	Furação dos 2 furos de 6H7 nas posições do desenho em um círculo de 160mm centrado no furo da operação 20.1, com uma profundidade de 7mm	Fresa de topo
30	Usinagem perfil	Torno CNC
30.1	Fixação no diâmetro de 220mm	Três castanhas
30.2	Usinagem diâmetro de 55mm com raio de 25mm de concordância	Torno
40	Chanframento	Torno CNC
40.1	Chanframento de 0,8mm a 45° na ponta do material	Torno
50	Plainamento chaveta	Plaina
50.1	Fixação no diâmetro de 220mm	Três castanhas
50.2	Plainamento rasgo de chaveta do furo da operação 20.1	Plaina



Roteiro de Fabricação



Nome do processista:	Áulis Soares Silva	Data:	26/03/2023
Denominação da peça:	Prato	Código da peça:	LAP0009
Denominação do conjunto:	Conjunto Prato	Código do conjunto:	LAP5002
Matéria Prima:	Chapa de aço AISI 1020 1.1/2" (Conforme desenho Ø405 mm)		
Nº	Descrição da Operação	Máquina	
10	Usinagem borda do material	Centro de Usinagem	
10.1	Fixação da chapa no centro de usinagem	Morsa	
10.2	Faceamento	Fresa de topo	
10.3	Retirada de borda com diâmetro de 381mm e profundidade de 25mm	Fresa de topo	
20	Usinagem furos	Centro de Usinagem	
20.1	Furação dos 2 furos de 6mm nas posições do desenho em um círculo de 160mm centrado no diâmetro da operação 10.3, com uma profundidade de 8mm	Fresa de topo	
20.2	Furação do furo de 9mm central com 25mm de profundidade	Fresa de topo	
30	Usinagem outra face	Centro de Usinagem	
30.1	Fixação da chapa no centro de usinagem pelo diâmetro de 381mm da operação 10.3	Fixador?	
30.2	Faceamento até dimensões do desenho	Fresa de topo	
30.3	Furação do furo de 25mm central com 16mm de profundidade	Fresa de topo	
40	Usinagem Padrão*	Fresa horizontal	
40.1	Fixação da peça na fresa	Morsa	
40.2	Usinagem padrão quadriculado	Fresa horizontal	

*Somente em um prato



Roteiro de Fabricação



Nome do processista:		Data:
Áulis Soares Silva		26/03/2023
Denominação da peça:		Código da peça:
Tampa Fechamento		LAP0010
Denominação do conjunto:		Código do conjunto:
Montagem Geral		LAP9001
Matéria Prima:		
Chapa de aço Galvanizado 1mm (630x280 mm)		
Nº	Descrição da Operação	Máquina
10	Dobramento	Dobradeira
10.1	Dobragem das abas para atingir a geometria especificada no desenho	Dobradeira
20	Furação	Bancada
20.1	Furação dos 6 furos de 3,4mm nas posições do desenho	Furadeira



Roteiro de Fabricação



Nome do processista: Áulis Soares Silva	Data: 26/03/2023
Denominação da peça: Suporte Braço	Código da peça: LAP0014
Denominação do conjunto: Suporte Anel Condicionador	Código do conjunto: LAP5005
Matéria Prima: Barra redonda de aço AISI 1045 Ø1.1/2" x 110 mm	

Nº	Descrição da Operação	Máquina
10	Usinagem 1	Torno
10.1	Fixação da matéria prima no torno	Três castanhas
10.2	Faceamento	Torno
10.3	Furação do furo para rosca M8x1,25 no centro da matéria prima	Furadeira
10.4	Roscamento M8x1,25 dos furos feitos na operação 10.3	Broca
20	Usinagem 2	Torno
20.1	Fixação do outro lado da matéria prima no torno	Três castanhas
20.2	Faceamento até dimensão do desenho	Torno
20.3	Furação do furo para rosca M8x1,25 no centro da matéria prima	Furadeira
20.4	Roscamento M8x1,25 dos furos feitos na operação 20.3	Broca



Roteiro de Fabricação



Nome do processista: Áulis Soares Silva	Data: 26/03/2023
Denominação da peça: Braço Anel	Código da peça: LAP0015
Denominação do conjunto: Suporte Anel Condicionador	Código do conjunto: LAP5005
Matéria Prima: Chapa de aço AISI 1045 1/4" (220x135 mm)	

Nº	Descrição da Operação	Máquina
0	Preparação da matéria prima	Bancada
0.1	Colar uma referência impressa do perfil chapa	-
10	Furação	Furadeira bancada
10.1	Fixação da chapa na furadeira	Grampos
10.2	Furação dos 2 furos de 9mm	Furadeira
10.3	Furação dos 2 furos de 11mm do oblongo	Furadeira
20	Corte perfil	Serra vertical
20.1	Corte do perfil externo seguindo a referência da operação 0.1	Serrar fita
30	Corte oblongo	Policorte
30.1	Fixação da chapa no centro de usinagem	Grampos
30.2	Corte do oblongo	Policorte

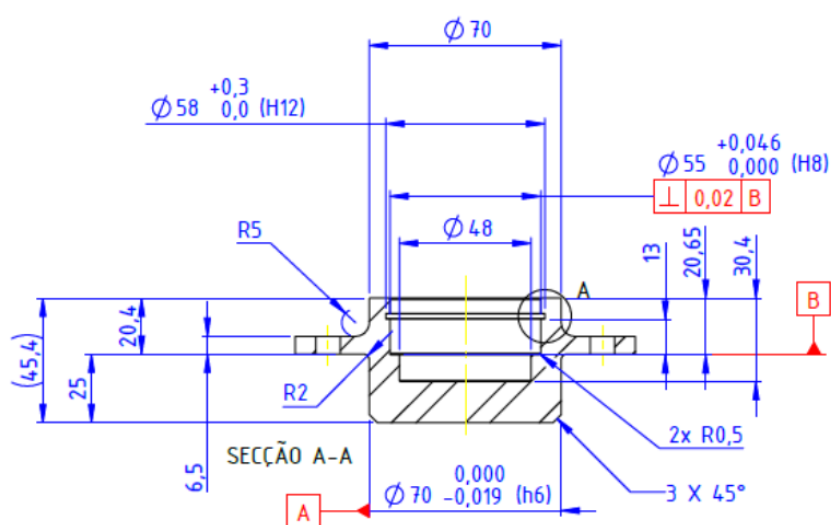


Roteiro de Fabricação



Nome do processista:		Data:
Áulis Soares Silva		26/03/2023
Denominação da peça:		Código da peça:
Anel Condicionador		LAP0016
Denominação do conjunto:		Código do conjunto:
Montagem Geral		LAP9001
Matéria Prima:		
Tubo redondo de aço AISI 1045 Ø7"x5"x 5 mm		
Nº	Descrição da Operação	Máquina
10	Usinagem1	Centro de usinagem
10.1	Fixação da matéria prima no centro de usinagem	Morsa
10.2	Faceamento	Fresa de topo
20	Usinagem2	Centro de usinagem
20.1	Fixação do outro lado da matéria prima no centro de usinagem	Morsa
20.2	Faceamento	Fresa de topo
20.3	Usinagem do furo interno de 140mm	Fresa de topo
20.4	Usinagem dos rasgos de mm	Fresa de topo

Nome do processista:		Data:	
Áulis Soares Silva		28/03/2023	
Denominação da peça:	Código da peça:	Denominação do conjunto:	Código do conjunto:
Eixo	LAP0006	Montagem Eixo	LAP5004
		Instruções:	
		<p>Medir a concentricidade indicada em uma máquina de medir concentricidade</p> <p>Apoiar os diâmetros de referência em prismas em V sobre o desempenho, utilizando blocos-padrão para ajustar o desnível de 5mm entre os diâmetros do eixo</p> <p>Medir o erro de batida do giro do eixo em pelo menos 3 posições do escalonamento de 36mm utilizando um relógio comparador</p> <p>Medir a rugosidade superficial das posições indicadas com rugosímetro</p>	
		Ferramentas/dispositivos	
		<p>Máquina de medir concentricidade</p> <p>Relógio comparador 0,01 mm</p> <p>Base para relógio comparador</p> <p>Desempeno</p> <p>Prisma em V magnético</p> <p>Caixa de blocos-padrão</p> <p>Rugosímetro;</p>	

Nome do processista:		Data:	
Áulis Soares Silva		28/03/2023	
Denominação da peça:	Código da peça:	Denominação do conjunto:	Código do conjunto:
Mancal Inferior	LAP0005	Montagem geral	LAP9001
		<p>Instruções:</p> <p>Apoiar o diâmetro de 70h6 que é a referência A no prisma em V sobre o desempenho, deixando a linha de centro do furo a ser inspecionado paralela à superfície do desempenho</p> <p>Encostar a referência B no prisma em V</p> <p>Medir o perpendicularismo indicado através da medida do paralelismo do furo de 55H8 com a montagem descrita</p>	
		<p>Ferramentas/dispositivos</p> <p>Relógio comparador 0,01 mm</p> <p>Base para relógio comparador</p> <p>Desempeno</p> <p>Prisma em V magnético</p> <p>Caixa de blocos-padrão</p>	



Plano de Montagem



Nome do processista:	Data:
Áulis Soares Silva	26/03/2023
Denominação do conjunto:	Código do conjunto:
Soldagem CaixaInferior	LAP5001
<ul style="list-style-type: none">• Fixação das peças LAP0001, LAP0002, LAP0003, LAP0004 com grampos nas posições do desenho LAP5001	



Plano de Montagem



Nome do processista:	Data:
Áulis Soares Silva	26/03/2023
Denominação do conjunto:	Código do conjunto:
Conjunto prato	LAP5002
<ul style="list-style-type: none">• Junção das peças LAP0008 e LAP0009 através de 2 pinos DIN 28734 6x14	



Plano de Montagem



Nome do processista:	Data:
Áulis Soares Silva	26/03/2023
Denominação do conjunto:	Código do conjunto:
Montagem Eixo	LAP5003
<ul style="list-style-type: none">• Fixação do rolamento 6006 no colo do rolamento na peça LAP0006• Instalação do anel elástico DIN 471 30x1,5• Fixação da peça LAP0011 no colo da polia na peça LAP0006 com uma chaveta paralela DIN 6885 A 10 x 8 x 55• Instalação do anel elástico DIN 471 36x1,75	



Plano de Montagem



Nome do processista:	Data:
Áulis Soares Silva	26/03/2023
Denominação do conjunto:	Código do conjunto:
Caixa Superior	LAP5004
<ul style="list-style-type: none">• Fixação do rolamento UFC 207 com 4x parafusos M12x1,75x40, 4x porcas ISO 4032 M12x1,75 e 4x arruela DIN 128 A12, na peça LAP0007, aplicar torque de aperto de 4N.m em cada parafuso	



Plano de Montagem



Nome do processista:	Data:
Áulis Soares Silva	26/03/2023
Denominação do conjunto:	Código do conjunto:
Braço Anel Condicionador	LAP5005
<ul style="list-style-type: none">• Fixação dos roletes na peça LAP0015, através de parafusos M8x1,25 e porcas M12x1,25*• Fixação da peça LAP0015 na peça LAP0014, através do manípulo M8x1,25x25	

* Parafuso não está na lista de componentes comerciais e depende do rolete selecionado



Plano de Montagem



Nome do processista:	Data:
Áulis Soares Silva	26/03/2023
Denominação do conjunto:	Código do conjunto:
Montagem Geral	LAP9001
<ul style="list-style-type: none">• Montagem da peça LAP0005 na Montagem LAP5001, através de parafusos M8x1,25x25, porcas ISO 4032 M8x1,25 e arruela DIN 128 A8• Montagem do rolamento da Montagem LAP5003 no diâmetro interno da peça LAP0005• Instalação do anel elástico DIN 472 55x2 na peça LAP0005, assegurando a posição do rolamento 6006• Montagem do rolamento da Montagem LAP5004 no diâmetro de 35js6 da peça LAP0006 da Montagem LAP5003,• Fixação da Montagem LAP5001 com a Montagem LAP5004 com parafusos M8x1,25 e arruela DIN 128 A8• Montagem da Montagem LAP5002 no diâmetro de 25mm da peça LAP0006 da montagem LAP5003, fixada com um parafuso M8x1,25 e arruela DIN 128 A8• Ajustes da posição da Montagem LAP5004 até que o eixo esteja suficientemente vertical e o prato suficientemente horizontal• Soldagem das peças da Montagem LAP5001, aplicar práticas que evitem grandes empenamentos, realizar alívios de tensões• Soltar os parafusos que unem a Montagem LAP5001 com a Montagem LAP5004• Ajustes da posição da Montagem LAP5004 até que o eixo esteja suficientemente vertical e o prato suficientemente horizontal• Aperto dos parafusos• Retirada da Montagem LAP5002• Furação dos pinos de cisalhamento na interface da Montagem LAP5001 com a Montagem LAP5004, utilizando o desenho da Montagem LAP9001• Instalação dos pinos DIN 28734 6x14• Instalação da peça LAP0013, furação nas posições ajustadas e fixação com porcas e parafusos selecionados, dependente do projeto da peça• Montagem da Montagem LAP5002 no diâmetro de 25mm da peça LAP0006, fixada com um parafuso M8x1,25 e arruela DIN 128 A8 e uma chaveta paralela DIN 6885 A 8 x 7 x 22• Montagem da Montagem LAP5005 no furo de 8mm da montagem LAP5004• Instalação do tracionador de correia no interior da caixa• Instalação da correia e tracionamento na força de tração inicial na primeira aplicação	



Plano de uso/manutenção



Nome do processista:

Áulis Soares Silva

Data:

28/03/2023

Uso

- Ao fim da montagem da máquina, a correia precisa funcionar por pelo menos 100 000 ciclos para relaxação das fibras e é recomendado utilizar uma velocidade superior à de operação para que essa etapa não tome muito tempo. Após o relaxamento da correia, deve-se tracioná-la para a pré-carga de trabalho.
- O tracionamento da correia deve ser avaliado através do alongamento da correia, medindo a variação da distância entre dois pontos pré-marcados na correia.
- O eixo e o suporte do prato devem ser cobertos por uma fina cama de vaselina para reduzir da oxidação do aço.
- Deveram ser fabricados 2 pratos de lapidação, preferencialmente um deles com um padrão quadriculado. Um prato deve ser utilizado para lapidar o outro, fixando um prato na máquina e utilizando o outro como a peça a ser lapidada.
- A máquina deve começar a rotacionar o prato sem nenhuma carga para evitar carregamento desnecessário do torque de partida do motor.
- A máquina suporta até 22 kg em lapidação livre, evitar utilizar cargas superiores e evitar aplicar força durante a operação, o operador deve apenas movimentar a peça sobre o prato.

Manutenção

- Deverão ser avaliados periodicamente, o estado da correia, onde deve-se procurar indícios de desgaste, o pré-torque dos parafusos o mancal superior da máquina e a lubrificação do rolamento superior.
- A bacia coletora deve ser lavada sempre que começar a aparentar acúmulo de material, para isso deve-se retirar o prato e seu suporte.