



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE LICENCIATURA

**Projecto de um triturador para reciclagem de resíduos termoplásticos pós-
consumo**

Autor:

Fernando Raúl Massingue

Supervisor:

Engº Roberto David

Maputo, Abril de 2025



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE LICENCIATURA

**Projecto de um triturador para reciclagem de resíduos termoplásticos pós-
consumo**

Autor:

Fernando Raúl Massingue

Supervisor:

Engº Roberto David

Maputo, Abril de 2025



Projecto de um triturador para reciclagem de resíduos termoplásticos pós-consumo

MASSINGUE, FERNANDO RAÚL

ÍNDICE GERAL

TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA.....	IV
AGRADECIMENTOS	V
DEDICATÓRIA.....	VI
DECLARAÇÃO DE HONRA	VII
ÍNDICE DE TABELAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
LISTA DE ACRÔNIMOS E ABREVIATURAS	XIV
RESUMO	XV
ABSTRACT:.....	XVI
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Motivação.....	2
1.2 Objecto de estudo.....	3
1.3 Objectivos	3
1.3.1 Objectivo geral	3
1.3.2 Objectivo específico	3
1.4 Problemática.....	3
1.5 Problema	3
1.6 Justificação do tema/enquadramento	4
1.7 Perguntas de investigação	4
1.8 Estrutura do trabalho.....	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 Polímeros	6
2.1.1 Classificação dos Polímeros	6
2.2 Plásticos	7
2.2.1 Polímero Termorrígidos	7
2.2.2 Polímeros termoplásticos	7
2.2.2.1 Classificação dos termoplásticos	8
2.2.2.1.1 Polietileno Tereftalato (PET).....	9
2.2.2.1.2 Polietileno de Alta Densidade (PEAD).....	9
2.2.2.1.3 Policloreto de Vinila (PVC).....	9
2.2.2.1.4 Poliestireno (PS)	9
2.2.2.1.5 Polietileno de Baixa Densidade (PEBD)	10
2.2.2.1.6 Polipropileno (PP).....	10
2.2.2.1.7 Outros.....	10
2.2.2.2 Comportamento Mecânico dos Polímeros termoplásticos	11

2.2.2.2.1	Resistência a tração.....	12
2.2.2.2.2	Resistência ao cisalhamento	13
2.2.2.2.3	Resistencia a degradação	14
2.2.2.3	Reciclagem dos polímeros termoplásticos	14
2.2.2.4	Reciclagem dos plásticos em Moçambique.....	15
2.2.3	Reciclagem Mecânica.....	16
2.2.3.1	Etapas do processo da reciclagem mecânicas.....	16
2.2.3.2	Vantagens da reciclagem mecânica	17
2.2.4	Máquinas para reciclagem de plásticos: Princípios e Funcionamento	17
2.2.4.1	Moinho de Corte de Facas Rotativas	18
2.2.4.2	Triturador de plásticos (Shredder).....	19
2.2.4.2.1	Unidade de trituração	19
2.2.5	Fundamentos de Projectos de Máquinas	21
2.2.5.1.1	Fator de projecto e fator de segurança	21
2.2.5.1.2	Propriedades dos materiais	22
3	METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA	23
3.1	Projecto preliminar.....	23
4	DIMENSIONAMENTO DO EQUIPAMENTO	28
4.1	SELEÇÃO DOS MATERIAIS.....	28
4.1.1	Aço SAE 1020.....	28
4.1.2	Aço SAE 1045.....	29
4.1.3	Aço SAE 1060.....	30
4.2	Seleção do Motor redutor.....	31
4.2.1	Torque e Potência que actua no sistema.....	33
4.3	Dimensionamento dos eixos rotativos	36
4.3.1	Calculo do momento flector	37
4.3.2	Deflexão máxima do eixo.....	41
4.4	Sistema de corte	42
4.4.1	Dimensionamento de lâminas corte e separadores.....	42
4.4.2	Caixa.....	43
4.4.3	Tremonha e bocal de saída do material	43
4.4.4	Peneira	43
4.5	Estrutura de suporte	44
4.6	Pé.....	44
4.7	Dimensionamento de Rolamentos e seleção dos mancais	44
4.8	Dimensionamento de engrenagens.....	46
4.8.1	Determinação das tensões de contacto admissíveis.....	46

4.8.2	Determinação do diâmetro primitivo da engrenagem	48
4.8.3	Determinação dos parâmetros geométricas e das forças	48
4.8.4	Resistência dos dentes à fadiga por flexão	49
4.9	Dimensionamento de ligações	50
4.9.1	Ligações Enchavetadas.....	50
4.9.2	Acoplamento flexível	51
4.9.3	Ligações aparafusadas	52
4.9.3.1	Ligação aparafusada dos suportes antivibrações	53
4.9.4	Ligações soldadas	55
4.9.4.1	Ligações soldadas na chapa que suporta as antivibrações.....	55
4.10	Seleção dos apoios anti vibrações.....	57
4.11	Capacidade de trabalho da Máquina	58
4.12	Tolerânciamento.....	58
4.12.1	Tolerânciamento dimensional	58
4.12.1.1	Tolerânciamento do rolamento	58
4.12.1.2	Tolerânciamento da chaveta	58
4.12.1.3	Tolerânciamento entre o Eixo e a Engrenagens.....	59
4.13	Seleção e dimensionamento de dispositivos elétricos.....	60
4.13.1	Contactora	60
4.13.2	Relé.....	61
4.13.3	Botoeiras.....	62
5	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	63
5.1	Esquema cinemático	64
5.2	Estrutura de funções da máquina	65
5.3	Circuito de acionamento	66
5.4	Manutenção da máquina	66
5.5	Análise do custo económico do projecto	68
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	69
6.1	Conclusão.....	69
6.2	Recomendações para trabalhos futuros.....	69
7	BIBLIOGRAFIA	70
	ANEXOS	A

TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante Fernando Raúl Massingue, com o código 20192232 entregou no dia ____/____/2025 as três cópias do relatório do seu trabalho de licenciatura com a referência: _____, intitulado: **PROJECTO DE UM TRITURADOR PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS TERMOPLÁSTICOS PÓS-CONSUMO.**

Maputo, aos ____ de _____ de 2025

Chefe da Secretaria

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, Maria Fernando Melembe, pelo amor e dedicação incondicional, oferecendo-me todo o suporte para que eu chegasse até aqui. Pelo seu exemplo de caráter, certamente, influenciou profundamente minha formação pessoal, assim como sua garra e determinação, dos quais tanto me orgulho.

Estendo minha gratidão à minha namorada, Traifina Sónia Bambo, por estar sempre ao meu lado apoiando todas as minhas decisões, acreditando no meu potencial, sonhando junto comigo e, acima de tudo, dedicando um amor inigualável, sua presença foi essencial para que eu superasse todas as barreiras durante esta jornada.

Meu sincero agradecimento ao meu cunhado, Jeremias Macuacua, pelo apoio financeiro e material, cuja ajuda foi indispensável para que eu pudesse trilhar este caminho com mais segurança e alcançar meus objectivos. Sua generosidade e confiança em mim foram verdadeiros pilares em minha caminhada acadêmica.

Minha gratidão se estende aos meus irmãos, Rabeca, Zacarias, Dércio e Lorna pelo carinho e apoio que sempre me ofereceram. Eles foram fundamentais para que eu me sentisse motivado e fortalecido ao longo desta jornada

Expresso minha gratidão ao meu supervisor Engenheiro Roberto David, por sua paciência, dedicação e talento como orientador. Sua confiança no meu potencial foi fundamental para que eu pudesse concluir mais uma etapa importante na minha vida.

Aos meus amigos, Eng^o Helder Mauaie, Eng^o Riquito Simão, Eng^o Domingos Sambane, dr. Nicolau Félix, Micas Sarmento, Miguel Abrão, Marcos Uamusse, Albino Tamele, Anatólio Macário e Antônio Uele, deixo o meu mais sincero agradecimento. Sua amizade, companheirismo e palavras de encorajamento foram fundamentais nos momentos mais desafiadores desta caminhada. Sou imensamente grato por cada gesto de apoio e por fazerem parte desta conquista.

Agradeço à UEM pela oportunidade e todos os docentes do Departamento de Engenharia Mecânica, pelo conhecimento transmitido, pela dedicação e pelo compromisso com a formação de profissionais capazes e preparados para enfrentar os desafios do mundo.

Em fim a todos que contribuíram de forma directa ou indirecta, a vocês o meu muito obrigado.

DEDICATÓRIA

À minha mãe Maria Fernando Melembe

À minha namorada Traifina Sónia Bambo

À minha avó Joana Melembe

Dedico!

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Fernando Raúl Massingue, declaro por minha honra, que a presente tese é exclusivamente da minha autoria, e que nunca foi apresentado para efeitos de avaliação em nenhuma outra instituição de ensino, não constituindo uma cópia de nenhum trabalho realizado anteriormente e as fontes usadas para a realização do trabalho encontram-se referidas na bibliografia.

Assumo na qualidade de autor, total responsabilidade pública pelos conteúdos apresentados.

Maputo, Abril de 2025

(Fernando Raúl Massingue)

“Para realizarmos grandes conquistas, devemos não apenas agir, mas também sonhar, não apenas planejar, mas também acreditar.”

Anatole France

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Características e principais produtos dos termoplásticos	10
Tabela 4.1: Composição Química do aço SAE 1020	28
Tabela 4.2: Propriedades mecânicas e físicas do aço SAE 1020	28
Tabela 4.3: Composição química do aço SAE 1045	29
Tabela 4.4: Propriedades mecânicas e físicas do aço SAE 1045	29
Tabela 4.5: Composição química do aço SAE 1060	30
Tabela 4.6: Propriedades mecânicas e físicas do aço SAE 1060	30
Tabela 4.7: Perdas em componentes mecânicos	34
Tabela 4.8: Especificações principais do Motor-Redutor selecionado	35
Tabela 4.9: Parâmetros geométricos principais da transmissão.....	49
Tabela 4.10: Lista de parafusos e porcas do triturador.....	53
Tabela 5.1: Lista de Manutenção	67
Tabela 5.2: Lista de Calendarização da Manutenção	67
Tabela 5.3: Estimativa de orçamento para o projecto	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Classificação dos Polímeros. Fonte: Adaptado de (Palombrini, 2015)	6
Figura 2.2: Estrutura química dos termorrígidos. Fonte: https://www.chemistryleaner.com	7
Figura 2.3: Estrutura química dos termoplásticos. Fonte: https://www.chemistryleaner.com ...	8
Figura 2.4: Identificação de diferentes tipos de termoplásticos. Fonte: (Mancini, 2023)	8
Figura 2.5: Representação dos principais esforços mecânicos, (a) Tração, (b) Compressão e (c) Cisalhamento. Fonte: (Beer et al, 2012)	12
Figura 2.6: Pontos críticos do ensaio de tração em polímeros termoplásticos. Fonte: (Canevarolo Jr, 2002)	12
Figura 2.7: Comportamento típico dos polímeros termoplásticos em tração. Fonte: (Callister Jr, 2002).....	13
Figura 2.8: Período de degradação de plásticos e de diferentes materiais. Fonte : (Caixetas e Morais, 2022)	14
Figura 2.9: Fluxo da reciclagem mecânica para materiais termoplásticos. Fonte:(ABIPLASTIC, 2017).....	16
Figura 2.10: Diagrama estrutural de uma moimho de facas. Fonte: (Grupo NZ).....	18
Figura 2.11: Desenho Esquemático - Triturador de plástico. Fonte: (Costa, 2023).....	19
Figura 2.12: Unidade de trituração. Fonte: (Costa, 2023)	20
Figura 2.13: Unidade trituradora (a) com dois eixos e (b) com 4 eixos. Fonte: Adaptado de (Satrindtech, 2022)	20
Figura 2.14: Exemplo de facas de corte. Fonte: (Conte e Mori, 2019)	21
Figura 2.15: Diagramas tensão-real de formação e tensão de engenharia de formação de um aço de baixo carbono. Fonte: (Norton, 2023).....	22
Figura 3.1: Diagrama - PRODIP. Fonte: Adaptado de (Back et al, 2008)	23
Figura 3.2: - Diagrama da fase de Projecto Preliminar. Fonte: (Back et al, 2008).....	23

Figura 3.3: Fluxograma das actividades a serem desenvolvidas. Fonte:(Autor)	25
Figura 4.1: Linha de ação da força cortante. Fonte: (Almeida, 2019)	31
Figura 4.2: Geometria de corte em um instante de tempo. Fonte: (Almeida, 2019).....	32
Figura 4.3: Corte com facas inclinadas. Fonte: Adaptado de (Almeida, 2019).....	32
Figura 4.4: Motor-redutor selecionado para o projecto. Fonte: Adaptado de (WEG S.A., 2024)35	
Figura 4.5: Diâmetro Inscrito no sextavado. Fonte: (Autor)	36
Figura 4.6: Diagrama do corpo livre do eixo. Fonte: (Autor).....	38
Figura 4.7: Diagrama de corpo livre da trecho 1 do eixo. Fonte: (Autor).....	39
Figura 4.8: Diagrama de corpo livre da trecho 2 do eixo. Fonte: (Autor).....	39
Figura 4.9: Gráfico da força cortante e momento flector do eixo. Fonte: (Autor).....	40
Figura 4.10: Digrama de carregadamente escalão sextavado. Fonte: (Autor).....	41
Figura 4.11: Geometria das peças: (a) Lâmina, (b) Separador. Fonte: (Autor).....	42
Figura 4.12: Ligação entre os suporte antivibrações e o triturador. Fonte: (Autor).....	44
Figura 4.13: Rolamento esférico auto compensador. Fonte: Adaptado de (Cátaalogo SKF, 2016)	
.....	45
Figura 4.14: Mancal quadrado do tipo Flange. Fonte: (Cátaalogo ROLMAX, 2011).....	45
Figura 4.15: Histograma de carregamento do eixo. Fonte: (Autor).....	46
Figura 4.16: Diagrama do corpo livre do par de engrenagens. Fonte: Autor	48
Figura 4.17: Chaveta prismática selecionada da OpaC. Fonte: Adaptado de (Catálogo OpaC, 2025).....	50
Figura 4.18: Acoplamento elástico AE. Fonte: Adaptado de (Catálogo MQP - Muequipar, 2025)	
.....	52
Figura 4.19: Apoio anti vibrações cilíndrico macho. Fonte:(Catálogo Hidromarinha, 2022)..	57
Figura 4.20: Ligação entre o contactor e relé térmico. Fonte: Adaptado de (Zander, 2024) ...	61
Figura 4.21: Botoeira dupla liga desliga. Fonte: https://www.eletricawf.com.br	62
Figura 5.1: Vista à esquerda do Modelo final. Fonte: (Autor).....	63
Figura 5.2: Vista de Cima do Modelo final. Fonte: (Autor)	64
Figura 5.3: Esquema cinemático do triturador. Fonte: (Autor)	64
Figura 5.4: Estrutura de funções do triturador. Fonte: (Autor).....	65
Figura 5.5: Circuito de acionamento. Fonte: (Autor).....	66

LISTA DE SÍMBOLOS

Grandeza	Legenda	Unidade
σ	Tensão normal de tração	MPa
F	Força	N
A_0	Área inicial do corpo de prova	mm ²
ε	Deformação no escoamento	—
Δl	Variação do comprimento	mm
l_0	Comprimento inicial	mm
τ	Tensão de cisalhamento	MPa
F_c	Força de corte de cisalhamento	N
A_c	Área da borda cisalhada	mm ²
S	Resistencia de perda de função	MPa
n_d	Factor de projecto	—
E	Módulo de elasticidade	GPa
P_e	Potência de entrada no sistema	W
P_t	Potência transmitida pelo motor	W
ω	Velocidade angular	Rad/s
d_{fac}	Diâmetro da faca	mm
$\tau_{máx}$	Tensão máxima de ruptura	MPa
θ	Ângulo de corte	Rads
Z	Espessura do material	mm
δ	Comprimento do corte	mm
T	Torque da lâmina sobre o material	Nm
P_u^I	Potência útil no eixo transmissor	W
P_u^{II}	Potência útil no eixo movido	W
η_E	Rendimento de engrenagens Usinadas	—
P_u	Potência útil do sistema	W
P_d	Potência dissipada por elementos mecânicos	W
η_M	Rendimento de Mancais de Rolamentos	—
η_U	Rendimento de União flexível	—
$T_{(I)}$	Torque no eixo transmissor	Nm
$T_{(II)}$	Torque no eixo movido	Nm
$n_{(I)}$	Frequência de rotação do eixo transmissor	Rad/s
$n_{(II)}$	Frequência de rotação do eixo movido	Rad/s
T_e	Torque de entrada no sistema	Nm
d	Diâmetro mínimo do eixo	m
τ_{adm}	Tensão de corte admissível	MPa
σ_{adm}	Tensão admissível	MPa
N	Esforço axial	N
M_f	Momento flector	Nm
M_t	Momento torsor	Nm

I	Momento de inercia	mm^4
W_x	Momento de resistência axial	mm^3
ρ	Massa específica do aço	Kg/m^3
V_e	Volume da engrenagem	m^3
g	Aceleração de gravidade	m/s^2
F_{eng}	Força exercida pela engrenagem	N
V_s	Volume do separador	m^3
f_s	Fator de segurança	—
V_l	Volume da lâmina	m^3
l_t	Comprimento do escalão sextavado	mm
W	Carga exercida pelo conjunto laminas - separadores	KN/m
F_h	Força equivalente	KN
σ_{esc}	Limite do escoamento	MPa
$\lambda_{m\acute{a}x}$	Deflexão máxima	m
E	Módulo de elasticidade	GPa
P	Carga no rolamento	N
C	Capacidade de carga dinâmica do rolamento	N
L_{10h}	Vida nominal do trabalho do rolamento	h
p	Duração da vida nominal do rolamento	—
t	Tempo de trabalho da engrenagem	h
σ_{Hlim}	Limite de fadiga por contacto das superfícies dos dentes	MPa
$[\sigma_{HC}]$	Tensões de contacto admissível	MPa
Z_R	Coeficiente de rugosidade das superfícies dos dentes	—
Z_V	Coeficiente da velocidade circular ou tangencial	—
K_{xH}	Coeficiente das dimensões da roda dentada	—
Z_L	Coeficiente de lubrificação	—
S_H	Coeficiente de segurança	—
σ_{Hlimb}	Limite de fadiga por contacto básico por ciclo	MPa
K_{HL}	Coeficiente de longevidade	—
n	Frequência de rotação da roda dentada	rpm
c	Número de engrenamentos simultâneos numa roda	—
K_d	Coeficiente auxiliar	—
T_{1H}	Torque transmitido a engrenagem	Nm
$K_{H\beta}$	Coeficiente da irregularidade da distribuição da carga	—
u	Relação de transmissão das engrenagens	—
ψ_{bd}	Coeficiente de largura da roda dentada	—
m	Modulo	mm
d_b	Diâmetro da base	mm
d_a	Diâmetro externo	mm
d_f	Diâmetro do fundo da raiz	mm
h_x	Altura do dente	mm
h_a	Altura da cabeça do dente	mm

h_f	Altura do pé do dente	mm
P_{ta}	Passo tangencial	mm
b_w	Largura do dente	mm
P_b	Passo da base	mm
α	Ângulo primitivo	rads
K_F	Coeficiente de carga de cálculo	—
Y_F	Coeficiente de forma do dente	—
F_t	Força tangencial	N
F_r	Força radial	N
σ_F	Tensão de flexão da engrenagem	MPa
d_w	Diâmetro primitivo	mm
h	Altura da chaveta	mm
l	Comprimento da chaveta	mm
b	Largura da chaveta	mm
$M_{t,ac}$	Momento torsor no acoplamento	Nm
n_{ac}	Rotação do acoplamento	rpm
F_1	Fator do tipo de acionamento	—
F_2	Fator de tempo de serviço	—
F_3	Fator do tipo de máquina acionada	—
k_b	Rigidez efetiva da parte tracionada do parafuso	N/mm
k_d	Rigidez da parte roscada do parafuso	N/mm
k_t	Rigidez da parte não roscada do parafuso	N/mm
l_s	Comprimento da parte roscada	mm
A_t	Área de tensão de tração	mm ²
D	Largura da cabeça da porca	mm
φ	Ângulo de ápice da rosca	rad
d_{fu}	Diâmetro do furo de passagem do parafuso	mm
s	Espessura o pé	mm
F_p	Força absorvida pelo parafuso	N
F_a	Força aplicada em cada suporte antivibrações	N
σ_{par}	Tensão na ligação aparafusada	MPa
I_a	Momento da área da secção crítica do cordão	mm ⁴
J_u	Segundo momento da área por unidade de secção crítica	mm ³
h	Altura dos catetos dos cordões de soldadura	mm
c	Distância do plano neutro ao ponto mais afastado do cordão	mm
d_c	Distância entre os cordões de soldadura	mm
σ_{com}	Tensão de comparação	MPa
D_n & d_n	Dimensão nominal do furo & Dimensão nominal do veio	mm
$D_{m\acute{a}x}$ & $d_{m\acute{a}x}$	Dimensão máxima do furo & Dimensão máxima do veio	mm
$D_{m\acute{i}n}$ & $d_{m\acute{i}n}$	Dimensão mínima do furo & Dimensão mínima do veio	mm
ES & es	Desvio superior do furo & Desvio superior do veio	mm
EI & ei	Desvio inferior do furo & Desvio inferior do veio	mm

I_n	Corrente nominal do motor eléctrico	A
U	Tensão de linha	V
$\cos \varphi$	Factor de potência	%
P_m	Potência do motor-reductor	W
F_s	Factor de segurança	—
η	Rendimento do motor-reductor	%

LISTA DE ACRÔNIMOS E ABREVIATURAS

ACRÔNIMOS E ABREVIATURAS	
GEE	Gases de efeito estufa
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
ASW	<i>American Welding Society</i>
SEW	<i>Süddeutsche Elektromotoren Werke</i>
SKF	<i>Svenska Kullager Fabriken</i>
PRODIP	Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos
PET	Polietileno Tereftalato
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PVC	Policloreto de Vinila
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
EPS	Poliestileno Expandido
PE	Polietileno
ABS	Acrilonitrila-Butadieno-Estireno
PC	Policarbonato
SBR	Borracha de Butadieno/Estireno
RSU	Resíduos sólidos urbanos
MZM	Metical Moçambicano

MASSINGUE, Fernando Raúl. **Projecto de um Triturador para Reciclagem de Resíduos Termoplásticos Pós-consumo**. 2025. 142p. Trabalho de licenciatura, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, Moçambique.

RESUMO

O aumento exponencial na geração de resíduos plásticos, aliado à crescente conscientização sobre os impactos ambientais, exige soluções eficazes para o descarte e reciclagem desses materiais. O presente trabalho tem como Objectivo o dimensionamento de um triturador para a reciclagem mecânica de polímeros termoplásticos, contribuindo para a redução da poluição e promovendo a economia circular. O processo de reciclagem mecânica permite a recuperação de plásticos descartados, reduzindo a necessidade de novas matérias-primas e o volume de resíduos que se acumulam no meio ambiente. Este estudo foca no desenvolvimento de um equipamento capaz de triturar de forma eficiente polímeros termoplásticos, considerando parâmetros como a resistência dos materiais, a capacidade produtiva e a optimização do consumo energético. A abordagem técnica envolve o dimensionamento preciso de componentes como rotor, facas e câmara de corte, buscando maximizar a eficiência e minimizar os custos operacionais. Com base em cálculos de engenharia mecânica, o triturador é projetado para atender aos desafios da reciclagem de plásticos, oferecendo uma solução funcional e sustentável para o reaproveitamento desses materiais.

Palavras-chave: Projecto, Dimensionamento, Reciclagem mecânica, Polímeros termoplásticos, Triturador.

MASSINGUE, Fernando Raúl. **Design of a Shredder for Post-Consumer Thermoplastic Waste Recycling**. 2025. 142p. Undergraduate thesis, Eduardo Mondlane University, Maputo, Mozambique.

ABSTRACT:

The exponential increase in plastic waste generation, along with growing awareness of environmental impacts, demands effective solutions for the disposal and recycling of these materials. This work aims to size a shredder for the mechanical recycling of thermoplastic polymers, contributing to pollution reduction and promoting the circular economy. The mechanical recycling process enables the recovery of discarded plastics, reducing the need for new raw materials and the volume of waste that accumulates in the environment. This study focuses on developing equipment capable of efficiently shredding thermoplastic polymers, considering parameters such as material strength, production capacity, and energy consumption optimization. The technical approach involves the precise sizing of components such as the rotor, blades, and cutting chamber, seeking to maximize efficiency and minimize operational costs. Based on mechanical engineering calculations, the shredder is designed to meet the challenges of plastic recycling, offering a functional and sustainable solution for the reuse of these materials.

Keywords: design, sizing, mechanical recycling, thermoplastic polymers, shredder.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional aliado a um estilo de vida cada vez mais descomplicado, tem estimulado o consumo de bens duráveis e não duráveis. Indiscutivelmente, os plásticos tem sido amplamente utilizados na produção de vários itens que fazem parte da realidade diária da sociedade moderna, tais como utensílios domésticos, eletrodomésticos, eletrônicos, produtos de higiene pessoal, brinquedos e outros. A aplicação de produtos à base de plásticos, em vários setores, tem estimulado, a nível mundial, a sua produção, tendo como consequência a geração de resíduos plásticos. Em 2018, no mundo, foram gerados cerca de 250 milhões de toneladas de resíduos plásticos, sendo 70% direcionados para aterros, reciclagem ou unidade de recuperação de energia e, o restante, 30%, descartados de forma inadequada (Liwarska-Bizukojc, 2021). (Golwala *et al.* 2021) citam que aproximadamente 12 bilhões de toneladas métricas de resíduos plásticos serão lançados, anualmente, no ambiente até 2050.

A utilização do plástico trouxe diversos benefícios para a sociedade, tais como a redução do desperdício de alimentos através do uso de embalagens e a redução do consumo energético mundial, visto que, caso os plásticos fossem substituídos por materiais alternativos, como, por exemplo, o vidro e o alumínio, o gasto de energia aumentaria em 57%, e as emissões de GEE¹, em até 61% (Plasticseurope, 2019; BPF, 2019).

Apesar das suas vantagens, a revolução dos plásticos tem um preço. A maioria dos plásticos utilizados são derivados de hidrocarbonetos fósseis e não biodegradáveis e já representam 12% da composição do lixo global (World Bank Group, 2018). O acúmulo de dejetos plásticos no ambiente vem se tornando uma grande preocupação, gerando grandes consequências ao meio ambiente e afetando terra, rios e mares, sendo comprovado que quase 700 espécies de animais já foram afetadas por esses dejetos (National Geographic, 2018).

Nesse contexto, a reciclagem dessas matérias surge como uma solução eficaz para minimizar os impactos ambientais, transformando resíduos em matérias reutilizados. A reciclagem também permite a atenuação da exploração de petróleo, matéria-prima para a maioria dos polímeros termoplásticos e seus efeitos nocivos para o meio ambiente (Callister e Rethwisch, 2010). Estima-se que cada tonelada de plástico reciclado pouparia a produção de aproximadamente 16,3 barris de petróleo (Conte e Mori, 2019), e se todo o resíduo plástico sólido global fosse considerado, o potencial energético que poderia ser economizado é equivalente a 3,5 bilhões de barris por ano (Garcia & Robertson, 2017).

¹ Gases do Efeito Estufa (GEE) são substâncias gasosas, tais como CO₂ e vapor d'água, que são responsáveis por absorver parte da radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre, fazendo com que a temperatura da Terra seja favorável à existência de vida. O aumento da concentração desses gases na atmosfera intensifica o efeito estufa, elevando a temperatura média do planeta e causando mudanças climáticas (INPE).

Levando isso em consideração, define-se que o tipo de processo de reciclagem empregado com a máquina desejada é a do tipo mecânico. Com isso, os plásticos ao final de seu ciclo de vida, podem ser triados, moídos ou triturados, lavados e granulados, e dessa forma, inseridos novamente como matérias-primas para a indústria, sendo transformados novamente em produtos plásticos. Embora todas as etapas apresentadas sejam essenciais para a reciclagem mecânica, o foco do presente trabalho é a moagem ou trituração do plástico.

As máquinas que realizam a moagem são denominadas moinhos ou trituradores por executar cortes de materiais plásticos por cisalhamento, por meio de lâminas rotativas e fixas no interior da câmara de corte, até que suas dimensões tenham sido reduzidas. Além do mecanismo de cisalhamento, o que diferencia moinhos e trituradores é sua forma de acionamento: enquanto os moinhos são acionados por correias de transmissão, trituradores tipicamente são acionados por meio de um redutor de velocidade (Fraga, 2014).

No processo de desenvolvimento de um produto industrial, o dimensionamento inadequado do projecto pode causar uma sequência de definições que fará gerar uma solução para o problema diferente do requerido, ou obter-se uma solução erroneamente que não satisfaz as necessidades dos usuários. Diante do exposto, o presente trabalho têm como Objectivo dimensionar um triturador que permitirá um processamento eficiente de plásticos, facilitando a sua reciclagem e contribuir para a valorização dos resíduos.

1.1 Motivação

A crescente poluição causada por resíduos termoplásticos pós-consumo em Moçambique representa um desafio ambiental e social significativo, agravado pela ausência de equipamentos para a reciclagem mecânica no país. Essa falta de infraestruturas limita a reutilização de termoplásticos, o que resulta em um impacto negativo no meio ambiente e nas comunidades locais.

Diante disso o projecto de uma máquina específica para reciclagem desses matérias surge como solução necessária para promover a gestão sustentável desses resíduos. Como futuro engenheiro mecânico, o autor desse trabalho sente a responsabilidade de contribuir para enfrentar essa problemática, aplicando seus conhecimentos em construção mecânica para desenvolver uma solução prática e inovadora no contexto moçambicano. Além disso, o facto de não existir qualquer tipo de empresa no país que construa este tipo de equipamento, confere ao presente trabalho uma relevância adicional, destacando-se como um tema pioneiro (poucas empresas mundiais constroem equipamentos de trituração de termoplásticos) ainda mais pioneiro se torna quando levando apenas em conta Moçambique. Este projecto não apenas responde a uma

necessidade técnica do país, mas também visa a promover a economia circular, transformando resíduos em matérias reutilizáveis, reduzindo a poluição e conservando recursos naturais.

1.2 Objecto de estudo

Máquina trituradora de polímeros termoplásticos

1.3 Objectivos

1.3.1 Objectivo geral

- ✓ Dimensionar um triturador para a reciclagem mecânica de polímeros termoplásticos.

1.3.2 Objectivo específico

- ✓ Analisar o processo de reciclagem mecânica;
- ✓ Elaborar os desenhos técnicos da máquina considerando as normas técnicas;
- ✓ Dimensionar os elementos constituintes da máquina;
- ✓ Analisar o custo económico de projecto.

1.4 Problemática

Segundo UICN-EA-QUANTIS (2020), Moçambique importa quase metade de plásticos que consome sob a forma de produtos finais ou semifinais, e após o uso essas matérias são descartados sem qualquer processo de reciclagem e afetam de forma negativa o meio ambiente. Essa prática não só representa um desperdício significativo de recursos que poderiam ser reaproveitados, mas também perpetua a dependência económica do país em relação as importações. A falta de infraestrutura voltada a reciclagem mecânica limita o desenvolvimento de uma cadeia de valor para esses resíduos, que poderiam ser transformada em matéria-prima reciclada.

1.5 Problema

Como processar mecanicamente os resíduos termoplásticos após serem consumidos de modo a mitigar os impactos ambientais associados ao descarte inadequado destes e promover a sustentabilidade e a economia circular?

1.6 Justificação do tema/enquadramento

O projecto de um triturador para a reciclagem de resíduos termoplásticos pós-consumo justifica-se pela necessidade de reduzir os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado de plásticos em Moçambique, onde a reciclagem mecânica ainda não é uma prática comum. A engenharia mecânica desempenha um papel central nesse processo, permitindo o desenvolvimento de uma máquina eficiente e de baixo custo que facilite o cisalhamento dos plásticos, viabilizando sua reutilização.

O tema enquadra-se na área da construção mecânica, com foco no projecto mecânico e órgãos de máquinas. Envolve o dimensionamento de componentes, análise de forças e optimização de eficiência energética, elementos fundamentais para garantir a durabilidade e a aplicabilidade do equipamento.

1.7 Perguntas de investigação

- i Qual é a eficácia das tecnologias de reciclagem disponíveis actualmente em Moçambique?
- ii Qual é o custo de implementação de um sistema de reciclagem baseado em trituradores em comparação com os benefícios ambientais e económicos esperados?
- iii Quais são elementos que constituem um triturador de polímeros termoplásticos?
- iv Qual é a força necessária para a fragmentação dos termoplásticos mais duros?
- v Que tipo de transmissão é o mais viável para o acionamento dos eixos de corte?
- vi Como determinar as medidas da secção dos eixos de corte uma vez que é sextavado?
- vii Como detectar os elementos não desejados no processo de trituração?

1.8 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está dividido em sete capítulos onde serão apresentadas todas as decisões e considerações tomadas no decorrer do desenvolvimento do projecto, o conteúdo de cada capítulo é explicado a seguir.

Capítulo 1

É feita uma introdução do trabalho, demonstrando quais são os objectivos que se pretendem alcançar, de que forma se manifesta o problema que se pretende resolver e que relevância tem o tema em estudo para com a área de estudo.

Capítulo 2

Neste capítulo é apresentado, discutido, uma gama de conceitos teóricos que suportam a solução que se pretende implementar, quais as ferramentas essenciais para o seu desenvolvimento. Demonstrando-se desta forma os antecedentes do objecto de estudo, assim como as soluções já existentes que atendem as necessidades identificadas.

Capítulo 3

Neste capítulo é apresentado o processo metodológico adoptado para o desenvolvimento do projecto, detalhando as actividades a serem desenvolvidas no decorrer do trabalho, de modo a alcançar os objectivos previamente traçados.

Capítulo 4

Neste capítulo, são apresentados os cálculos e critérios utilizados para o dimensionamento do projecto, incluindo a seleção dos materiais, definição das forças actantes, escolha dos componentes mecânicos e eléctricos, além da justificativa para cada decisão do projecto.

Capítulo 5

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos a partir do dimensionamento do equipamento, verificando se os parâmetros projectados atendem as necessidades do processo de reciclagem. Além disso, será avaliada a viabilidade prática da implementação do projecto, considerando factores como custo e disponibilidade de materiais.

Capítulo 6

Neste capítulo são apresentadas as conclusões obtidas no final do projecto, objectivos alcançados, contribuições geradas e sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 7

Neste capítulo é referenciada a bibliografia consultada que deu suporte a consecução deste trabalho. E as últimas duas secções estão destinadas à apresentação dos anexos e apêndices, respetivamente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Polímeros

A palavra polímero origina-se do grego *poli* (muitos) e *mero* (unidade de repetição). Assim, um polímero é uma macromolécula composta por muitas (dezenas de milhares) de unidades de repetição denominadas *meros*, ligadas por ligação covalente. A matéria-prima para a produção de um polímero é o monômero, isto é, uma molécula com uma (mono) unidade de repetição. Dependendo do tipo do monômero (estrutura química), do número médio de meros por cadeia e do tipo de ligação covalente, poderemos dividir os polímeros em três grandes classes: Plásticos, Borrachas e Fibras (Canevarolo Jr, 2002).

A fonte de matéria prima dos materiais a serem processados em polímeros se dividem em três categorias: Produtos naturais como a celulose ou a borracha natural, hulha ou carvão mineral se submetido a um processo de destilação seca para produção de gases com intuito de extrair substanciais e o petróleo que representa a maior fonte de Matéria-prima (Canevarolo Jr, 2002).

2.1.1 Classificação dos Polímeros

Partindo-se do conhecimento que o polímero é uma macromolécula, gerada a partir da repetição de milhões de meros, ou monômeros individuais (Lucas et al., 2001), é possível deduzir que diferentes moléculas pequenas geram diferentes macromoléculas. A primeira forma de classificação de um polímero, neste sentido, relaciona-se com o tipo de mero do qual o material é composto. Ou mais especificamente com a sua ocorrência (Palombini, 2015) deste modo, eles podem ser obtidos através de duas grandes origens básicas: natural e sintética (Magrini et al., 2012). Neste sentido, a Figura 2.1 mostra a classificação dos materiais poliméricos, sendo dividida, primeiramente, entre polímeros naturais e os sintéticos. Em seguida parte-se para a divisão dos naturais conforme sua origem – animal ou vegetal – bem como os sintéticos no modo em que são processados, sejam eles termorrígidos ou termoplásticos – no quais o presente trabalho enfoca.

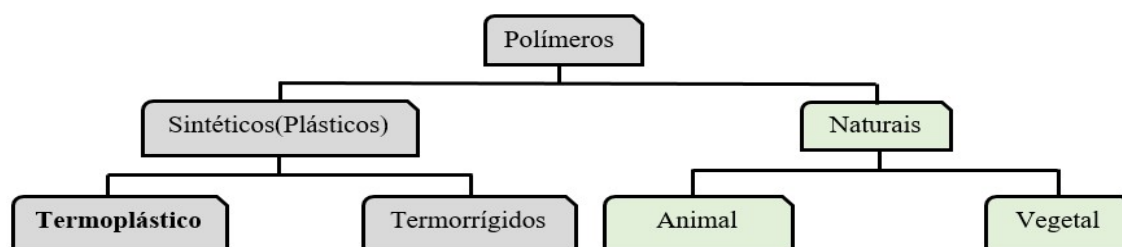


Figura 2.1: Classificação dos Polímeros. Fonte: Adaptado de (Palombrini, 2015)

2.2 Plásticos

Segundo Canevarolo jr (2002) Plástico é todo composto sintético ou natural que tem como ingrediente principal uma substância orgânica de elevado peso molecular e que em seu estado final é sólido, mas em determinada fase da fabricação pode comportar-se como fluido e adquirir outra forma.

A classificação desse tipo de material é feita de acordo com seu comportamento em relação a elevação de temperatura. Duas grandes subdivisões são feitas sendo elas os Polímeros termoplásticos (ou termoflexíveis) e polímeros termorrígidos (termofixos ou termoendurecido).

2.2.1 Polímero Termorrígidos

Termofixos ou termoendurecido - plástico que amolece uma vez com o aquecimento, sofre o processo de cura no qual se tem uma transformação química irreversível, com a formação de ligações cruzadas, tornando-se rígido. Posteriores aquecimentos não mais alteram seu estado físico, ou seja, não amolece mais, tornando-se infusível e insolúvel. Exemplos: baquelite, resina epóxi. (Canevarolo jr, 2002)

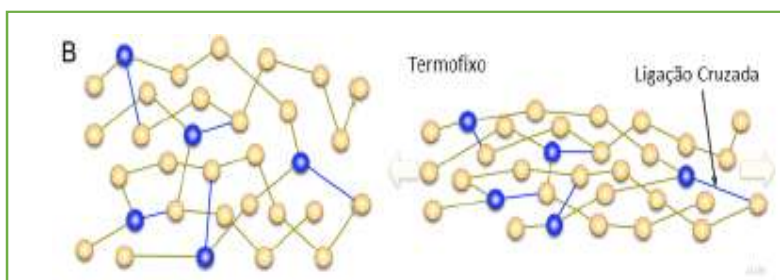


Figura 2.2: Estrutura química dos termorrígidos. Fonte: <https://www.chemistrylearner.com>

2.2.2 Polímeros termoplásticos

Termoplásticos - Os polímeros termoplásticos se caracterizam pela capacidade de amolecer e fluir quando sujeitos a um aumento de temperatura e pressão, quando ocorre o resfriamento esses materiais endurecem. Em relação a escala molecular, conforme a temperatura é elevada ocorre um aumento no movimento das moléculas e as forças de ligação secundária diminuem, nos termoplásticos as cadeias não estão conectadas por forças primárias fortes, apenas por ligações secundárias (Forças de Van der Waals). A degradação do material é irreversível quando a temperatura de um termoplástico fundido é aumentada em excesso. (Palombrini, 2015).

São exemplos de polímeros termoplásticos o polietileno, poliestireno, poli (tereftalato de etileno) e o poli (cloreto de vinila). (Canevarolo jr, 2002).

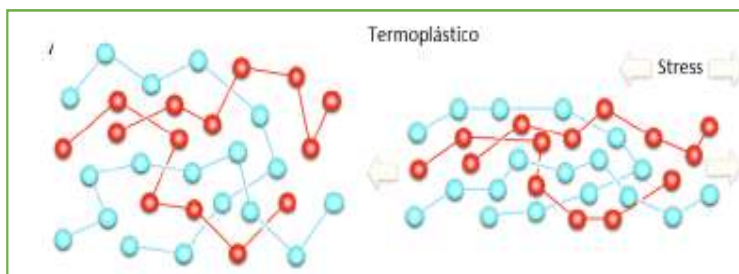


Figura 2.3: Estrutura química dos termoplásticos. Fonte: <https://www.chemistrylearner.com>

2.2.2.1 Classificação dos termoplásticos

Os polímeros termoplásticos de uso comum são classificados pela norma ABNT NBR 13230 que define um código universal para cada tipo específico de material, conforme a Figura 4. A norma apresenta os seguintes códigos:

(1) Polietileno Tereftalato (PET), embalagens de bebidas; (2) Polietileno de Alta Densidade (PEAD), recipientes de produtos de limpeza; (3) Policloreto de Vinila (PVC), embalagens de alimentos e construção civil; (4) Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), embalagens de alimentos; (5) Polipropileno (PP), tampas e recipientes; (6) Poliestireno (PS), recipientes e embalagens descartáveis; e (7) outros. Segundo a ABIPLAST (2017), as principais resinas consumidas são o PP, PEAD, PVC, PEBD e PET com porcentagens correspondentes a 21,6%, 13,6%, 13,6%, 10,4% e 8,1% respectivamente. Os polímeros mais empregados na fabricação de embalagens pós-consumo são o PET, o PEAD e o PP (Almeida, 2021).

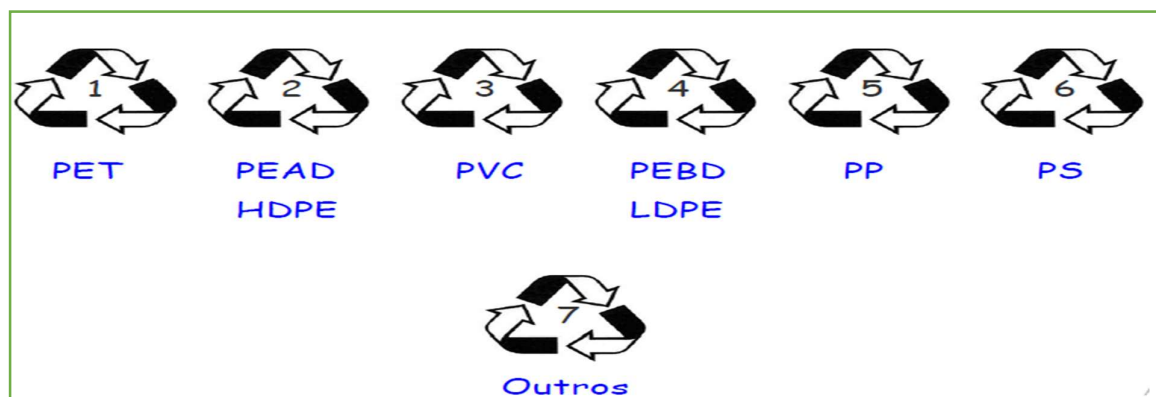


Figura 2.4: Identificação de diferentes tipos de termoplásticos. Fonte: (Mancini, 2023)

2.2.2.1.1 Polietileno Tereftalato (PET)

O PET é empregado em embalagens de alimentos, fibras (utilizadas desde roupas até tapetes) e é predominante nas embalagens de bebidas carbonatadas por sua boa permeabilidade ao gás. Este polímero apresenta uma boa relação entre rigidez e flexibilidade e pode ser processado facilmente por métodos termoplásticos, apresenta baixa resistência térmica e a solventes. (Almeida, 2021).

2.2.2.1.2 Polietileno de Alta Densidade (PEAD)

Devido as diversas propriedades físicas e químicas, baixo preço e facilidade de processamento, o PEAD tornou-se um dos plásticos mais utilizados em recipientes moldados por sopro, embalagens, brinquedos, entre outros produtos. Em geral apresentam alta expansão quando sujeitos ao calor e baixa resistência quando exposto ao meio ambiente por longos períodos (Almeida, 2021).

2.2.2.1.3 Policloreto de Vinila (PVC)

O PVC – policloreto de vinila não é um plástico como os outros, pois não é 100% originário do petróleo. O PVC contém, em peso, 57% de cloro (derivado do cloreto de sódio - sal de cozinha) e 43% de eteno (derivado do petróleo). Ele tem papel importante na indústria e na sociedade, pois está nas mais diversas aplicações, desde produtos médico-hospitalares e embalagens para alimentos até peças de alta tecnologia, como as usadas em equipamentos espaciais, passando por produtos aplicados à habitação e saneamento básico, dentre diversos outros setores. (Almeida, 2021).

O PVC pode ser rígido ou flexível, opaco ou transparente, brilhante ou fosco, colorido ou não. Estas características são obtidas com a utilização de plastificantes, estabilizantes térmicos, pigmentos, entre outros aditivos, usados na formulação do PVC (Arruda, 2020).

O PVC é atóxico, leve, sólido, resistente, impermeável, estável e não propaga chamas. Tem qualidades que o tornam adaptável a múltiplos usos, da garrafa ao painel do carro, sendo o único plástico utilizado para a fabricação de bolsas de sangue. (ICC, 2015).

2.2.2.1.4 Poliestireno (PS)

Poliestireno é um termoplástico também chamado poliestireno cristalino. Por sua alta resistência ao calor ele é utilizado em aparelhos que operam em altas temperaturas. (ICC, 2020).

2.2.2.1.5 Polietileno de Baixa Densidade (PEBD)

Polietileno de Baixa Densidade, como o próprio nome diz, é um plástico leve pois tem baixa densidade. O PEBD, geralmente, é usado em embalagens como sacos e em frascos. É resistente a solventes e a baixas temperaturas, transparente e rígido. (Arruda, 2020).

2.2.2.1.6 Polipropileno (PP)

Polipropileno é a resina de baixa densidade que mais cresce em produção no mundo. É transparente, resistente a altas temperaturas e a produtos químicos, além de não deixar proliferar colônias de fungos e bactérias nocivas ao homem. Por sua alta resistência ao calor ele é utilizado em aparelhos que operam em altas temperaturas. (Arruda, 2020).

2.2.2.1.7 Outros

São resinas plásticas diferentes das anteriores. Plásticos especiais utilizados para fazer eletrodomésticos, peças automotivas, peças de computador etc. Dessas matérias consideram – se o EPS (Poliestileno Expandido), PE (Polietileno), ABS (Acrilonitrila-butadieno-estireno), PC (Policarbonato) e SBR (Borracha de Butadieno/Estireno). (ICC, 2015).

Tabela 1: Características e principais produtos dos termoplásticos

TIPO	CARACTERÍSTICAS	PRODUTOS
PET	Leve, transparente, impermeável, inquebrável	Garrafas para uso alimentício e hospitalar, cosméticos, fibras têxteis etc.
PEAD	Resistente a baixas temperaturas, inquebrável, leve impermeável, rígido e com resistência química.	Embalagens para detergentes e óleos automotivos, sacolas de supermercado, tampas, potes etc.
PVC	Rígido, transparente, impermeável, inquebrável.	Embalagens para água mineral, maioneses, sucos, bolsas de sangue, tubos plásticos etc.
PEBD	Flexível, leve, transparente e impermeável.	Sacolas para supermercado, bolsa para soro medicinal, sacos de lixo etc.
PP	Conserva o aroma, é inquebrável, transparente, brilhante, rígido e resistente a mudanças de temperatura.	Filmes para embalagens e alimentos, tubos para água quente, caixas de bebidas, seringas descartáveis etc.

PS	Impermeável, inquebrável, rígido, transparente, leve e brilhante.	Potes para iogurtes, sorvetes, aparelhos de barbear descartáveis, brinquedos etc.
OUTROS	Flexibilidade, leveza, resistência à brasão, possibilidade de design diferenciado.	Plásticos especiais e de engenharia, eletrodomésticos etc.

Fonte: Adaptado de (Arruda, 2020)

2.2.2.2 Comportamento Mecânico dos Polímeros termoplásticos

As propriedades dos materiais são de extrema importância para o ramo da engenharia. Os projectistas baseiam-se em resultados padronizados para estabelecer os requisitos e parâmetros de projecto. Assim é de extrema importância caracterizar os materiais para obter uma compreensão do seu comportamento. (Almeida, 2021).

As propriedades mecânicas dos polímeros são caracterizadas pelo modo como estes materiais respondem às solicitações mecânicas aplicadas, podendo estas ser do tipo tensão ou deformação. A natureza desta resposta depende da estrutura química, temperatura, tempo e da história (condições) de processamento do polímero. (Canevarolo jr, 2002).

A avaliação das propriedades mecânicas pode ser realizada de forma estática ou dinâmica. Além disso, a caracterização do comportamento mecânico pode ser feita atingindo-se ou não a ruptura do material. Por exemplo: módulos elásticos, tensão e deformação no escoamento, tensão máxima, etc., são parâmetros caracterizados sem atingir a ruptura do polímero. Por outro lado, tensão e deformação na ruptura, resistência ao impacto, número de ciclos de vida sob fadiga, etc., são propriedades mecânicas determinadas no limite da resistência destrutiva do polímero. (Canevarolo jr, 2002).

Para a padronização dos dados existem os órgãos certificadores, estabelecem os padrões para os ensaios dos materiais, como a Sociedade Americana para Testes e Materiais (ASTM) e a Organização Internacional para Padronização (ISO). As propriedades mecânicas descrevem o comportamento de um material quando submetido a forças mecânicas, e podem ser classificadas em compressão, tração e cisalhamento, exemplificados na Figura 2.5. (Almeida, 2021).

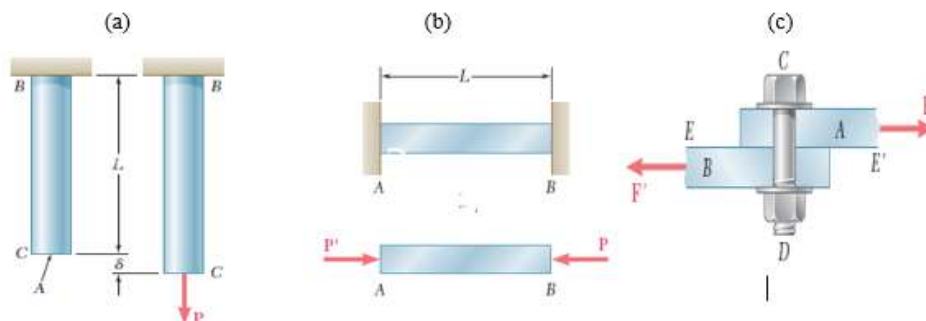


Figura 2.5: Representação dos principais esforços mecânicos, (a) Tração, (b) Compressão e (c) Cisalhamento. Fonte: (Beer et al, 2012)

2.2.2.2.1 Resistência a tração

A resistência de um material depende da sua capacidade de suportar a carga sem deformação excessiva ou ruptura. Essa propriedade é inerente ao próprio material e deve ser determinada por experimento. Um dos testes mais importante a ser realizar nesse sentido é o teste de tração e compressão. (Hibbeler, 2004).

A resistência à tração é um dos principais indicadores de resistência de um material, ela indica a capacidade do material de suportar esforços axiais. Através da norma ASTM D638 é possível mensurar a resistência à tração de polímeros onde avalia-se a variação do comprimento de um corpo de prova em função da carga aplicada. (Costa, 2023).

Existem vários modos para solicitar um polímero de forma estática, porém o ensaio de tração e o mais popular de todos. Os principais parâmetros que quantificam a resistência mecânica dos polímeros em ensaios tensão-deformação são: módulo de Young ou de elasticidade; tensão e deformação no escoamento; tensão máxima; tensão e deformação na ruptura, e tenacidade. A Figura 2.6 ilustra alguns destes parâmetros numa curva tensão-deformação. (Canevarolo jr, 2002).

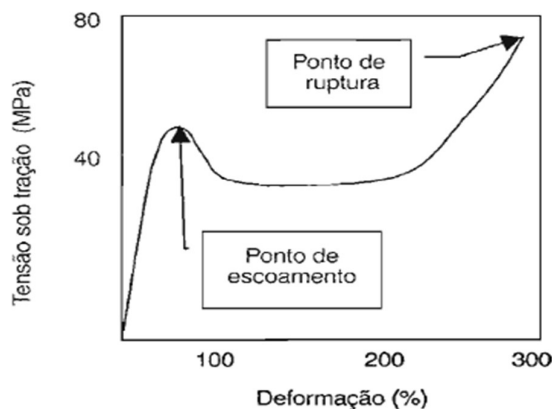


Figura 2.6: Pontos críticos do ensaio de tração em polímeros termoplásticos. Fonte: (Canevarolo Jr, 2002)

As tensões em qualquer região da curva são calculadas utilizando-se a razão entre a carga ou força (F) e a área de seção transversal do corpo de prova. A tensão é definida como nominal quando a área utilizada para o cálculo da tensão é a inicial (A_0). Por outro lado, a tensão é definida como real se a área utilizada no cálculo for a área obtida no instante do registro da carga, ou seja, instantânea (A). (Canevarolo Jr, 2002).

$$\sigma_{nominal} = \frac{F}{A_0} \quad (2.1)$$

As deformações no escoamento e na ruptura definem o poder de escoamento das moléculas poliméricas durante o estiramento. A deformação é calculada a partir da Equação (2.2) onde Δl é a variação do comprimento e l_0 é o comprimento inicial. (Canevarolo Jr, 2002).

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (2.2)$$

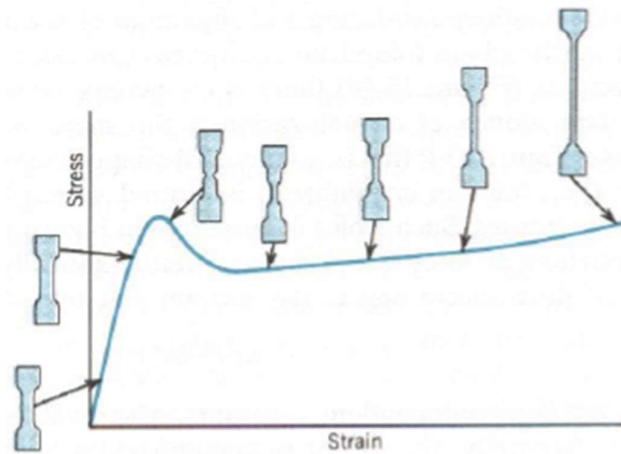


Figura 2.7: Comportamento típico dos polímeros termoplásticos em tração. Fonte: (Callister Jr, 2002)

2.2.2.2 Resistência ao cisalhamento

A resistência ao cisalhamento define onde as partes serão completamente separada por uma força cisalhante, a tensão de cisalhamento, ou tensão de corte, é um tipo de tensão gerado por forças aplicadas em sentidos iguais ou opostos, que irá causar o rompimento do material. (Costa, 2023). Um punção é forçado axialmente contra uma matriz, onde o esforço de compressão transforma-se em esforço cisalhante. A resistência pode ser mensurada pela Equação (2.3), onde F_c é a força de corte e A_c é a área da borda cisalhada. A norma ASTM D732 define parâmetros e métodos para avaliar a resistência ao cisalhamento de polímeros.

$$\tau = \frac{F_c}{A_c} \quad (2.3)$$

2.2.2.2.3 Resistencia a degradação

Uma das razões que fazem os plásticos serem materiais de uso cada vez mais difundido é a sua durabilidade, consequência de sua estabilidade estrutural, que lhes confere resistência aos diversos tipos de degradação (fotodegradação, químiodegradação,). Alguns tipos de plásticos, por exemplo, necessitam de séculos para se degradar. (Piatti e Rodrigues, 2020).

Se a durabilidade dos plásticos é uma vantagem, por outro lado, representa um sério problema ecológico, pois são muito usados na fabricação de embalagens usualmente descartadas após utilização e que vão se acumulando ao longo do tempo na natureza, provocando uma forte poluição visual além de ser difícil de degradar. Em geral, os materiais plásticos convencionais são muito resistentes a degradação quando comparados aos outros materiais, que apresentam rapidez e efetividade na degradação (Figura 2.8).

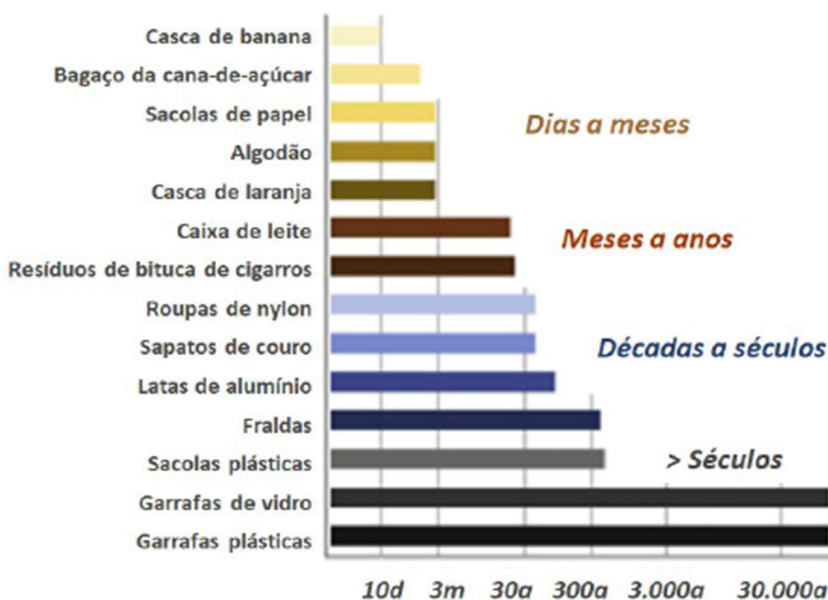


Figura 2.8: Período de degradação de plásticos e de diferentes materiais. Fonte : (Caixetas e Morais, 2022)

2.2.2.3 Reciclagem dos polímeros termoplásticos

Devido a motivos econômicos, sociais e ambientais reciclar tornou-se de grande importância para o desenvolvimento sustentável de um país. A reciclagem de polímeros tem como objetivo reaproveitar os resíduos descartados e reintegra-los novamente na cadeia produtiva. Devido a sua

resistência e longos anos para sua decomposição os polímeros acabam por degradar, de forma substancial, o meio ambiente. (Almeida, 2021).

A Sociedade Americana de Ensaio de Materiais (ASTM,) normalizou uma divisão dos tipos de reciclagem de plásticos, de que diz respeito ao processo de reciclagem que o plástico sofrerá. Daí difundiu-se a classificação da reciclagem do plástico em: mecânico, químico e energético.

2.2.2.4 Reciclagem dos plásticos em Moçambique

Em Moçambique, os resíduos e as práticas de reciclagem enfrentam perdas potenciais e reais significativas como resultado de taxas insignificantes de recuperação de material. Estas debilidades são geralmente o resultado da falta de implementação de enquadramentos legais fracos ou incompletos, de um ambiente empresarial incipiente e, por vezes, de barreiras culturais. As taxas de recolha negligenciáveis são o resultado de vários factores. Primeiro, uma indústria dependente de fluxos de resíduos e serviços de reciclagem não evoluiu muito, sendo uma das razões a fraca procura industrial de materiais reciclados. Como resultado, a maioria dos resíduos reciclados é exportada de Moçambique para mercados externos.

Em 2016, o país gerou 2.644.873 toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) ou 85kg por pessoa/ano (WBG, 2021), esperando-se que esse número aumente substancialmente nas próximas décadas². Segundo a UICN, a taxa global de recolha de resíduos é de cerca de 30 por cento. Para Maputo, a produção de resíduos é de 197kg por pessoa/ano (Sarmiento dos Muchangos et al. 2017) enquanto a taxa de recolha é de 82 por cento (WBG 2021).

Até 2017, apenas três municípios - Maputo, Beira e Vilankulos - em Moçambique tinham implementado actividades formais de reciclagem, com actividades centradas principalmente em torno de Maputo e Beira. Contudo, apesar das iniciativas positivas tomadas em cada uma delas, o volume de reciclagem formal não conseguiu ultrapassar 1 por cento do volume total de RSU. (WBG 2021). As empresas relacionadas com a reciclagem precoce na capital começaram em 2006, e a maioria dos materiais recicláveis são retirados da lixeira de Hulene³ (WBG, 2021).

As únicas empresas em Moçambique que reciclam os plásticos e outras matérias são: RECICLA (desde 2006), AMOR (desde 2009), PagaLata (desde 2006) e Ferteliza (desde 2008).

² Até 2030, Moçambique deverá gerar 4.124.044 toneladas de RSU e albergar uma população de 42,3 milhões de habitantes (ou 88kg por pessoa/ano). Até 2050, prevê-se que gere 8.750.664 toneladas de RSU e acolha uma população de 67,8 milhões de habitantes (ou 117kg por pessoa/ano). WBG, 2018.

³ De acordo com o Atlas de Resíduos de 2014, o lixão de Hulene está entre os 50 maiores lixões do mundo.

2.2.3 Reciclagem Mecânica

Consiste na conversão física dos materiais plásticos em grânulos, que serão transformados novamente em outros produtos, como sacos de lixo, solados, pisos, mangueiras, componentes de automóveis, fibras, embalagens não-alimentícias e outros. As etapas prévias à reciclagem mecânica dos plásticos pós-consumo são: a coleta, a separação por tipo de plástico e a retirada de rótulos, tampas e outras impurezas, como grampos de metal e partes componentes de outros materiais. As etapas da reciclagem mecânica são: separação, moagem, lavagem, secagem, aglutinação, extrusão e granulação. (ICC, 2015).

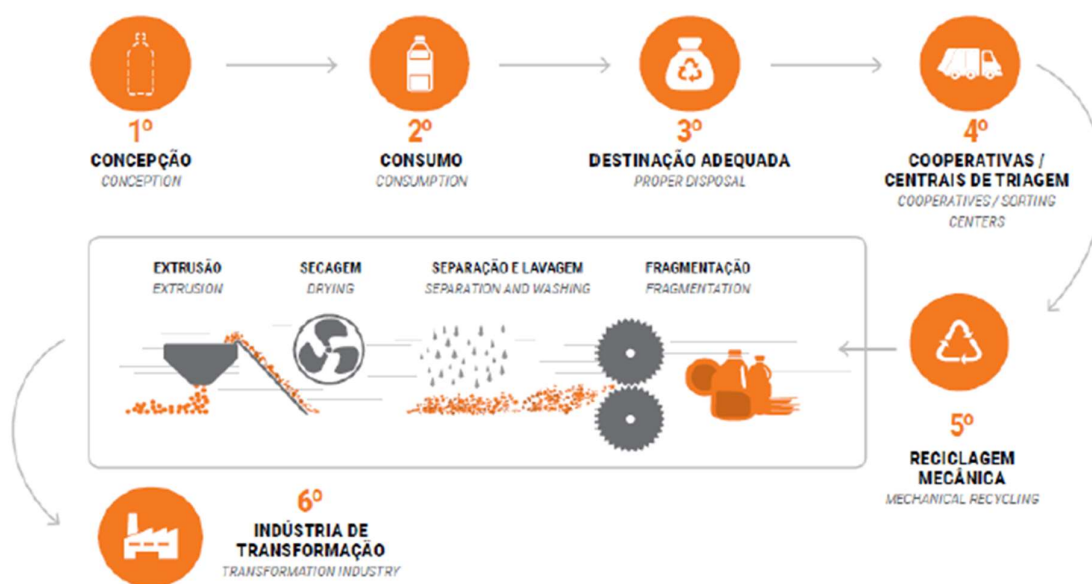


Figura 2.9: Fluxo da reciclagem mecânica para materiais termoplásticos. Fonte: (ABIPLASTIC, 2017)

2.2.3.1 Etapas do processo da reciclagem mecânicas

- **Separação:** Em uma esteira dos diferentes tipos de plásticos, de acordo com a identificação ou com o aspecto visual. Nesta etapa são separados também rótulos de diferentes materiais, tampas de garrafas e produtos compostos por mais de um tipo de plástico, embalagens metalizadas, grampos, etc. Por ser uma etapa geralmente manual, a eficiência depende diretamente da prática das pessoas que executam essa tarefa.
- **Moagem:** Após separados os diferentes tipos de plásticos, estes são triturados e fragmentados em pedaços menores para facilitar o processo subsequente, usando-se máquinas de trituração ou moinhos, que podem variar de acordo com o tipo de plástico e

o volume do material processado. Os mais comuns são os triturados (*shredder*), Moinhos de facas, de Martelos e de rolos.

- **Lavagem:** Após triturado, o plástico passa por uma etapa de lavagem com água para a retirada dos contaminantes. É necessário que a água de lavagem receba um tratamento para a sua reutilização ou emissão como efluente.
- **Aglutinação:** Além de completar a secagem, o material é compactado, reduzindo-se, assim, o volume que será enviado à extrusora. O atrito dos fragmentos contra a parede do equipamento rotativo provoca elevação da temperatura, levando à formação de uma massa plástica. O aglutinador também é utilizado para incorporação de aditivos, como cargas, pigmentos e lubrificantes.
- **Extrusão:** A extrusora funde e torna a massa plástica homogênea. Na saída da extrusora, encontra-se o cabeçote, do qual sai um “espaguete” contínuo, que é resfriado com água. Em seguida, o “espaguete” é picotado em um granulador e transformando em pellet (grãos plásticos).

2.2.3.2 Vantagens da reciclagem mecânica

- ✓ A reciclagem mecânica é um negócio acessível a pequenos e médios empresários;
- ✓ A tecnologia envolvida na reciclagem mecânica para a produção de itens de reduzido grau de exigência técnica (baldes, vassouras, sacos de lixo etc.) é facilmente absorvida;
- ✓ Como são processos físicos, os cuidados ambientais requerem investimentos menores em comparação aos outros processos, concentrando-se nas emissões gasosas, reaproveitamento de águas e controle no descarte dos resíduos;
- ✓ O sistema também permite absorver mão-de-obra não qualificada;
- ✓ A reciclagem poupa matéria-prima (petróleo), equivalente à quantidade reciclada;
- ✓ A geração de novos empregos, tanto formais quanto informais, o aumento da competitividade e a melhoria da qualidade dos produtos.

2.2.4 Máquinas para reciclagem de plásticos: Princípios e Funcionamento

Existem diferentes tipos de equipamentos utilizados na trituração de polímeros termoplásticos, sendo os mais comuns os moinhos de facas e os moinhos de rotor (Trituradores). Os moinhos de facas são compostos por um conjunto de facas rotativas que cortam os materiais em pequenos pedaços, enquanto os moinhos de rotor utilizam um rotor giratório para desfiar e tritar os resíduos plásticos. A escolha do equipamento adequado depende de vários fatores, como o tipo de

polímero a ser processado, a quantidade de resíduos plásticos a ser triturada e o tamanho desejado dos flocos. (Costa, 2023).

Segundo Almeida (2021), um tamanho razoável de flocos para a indústria da reciclagem está em torno de 1 cm de diâmetro, dimensões nessa ordem de grandeza garantem que não fiquem armazenadas impurezas em dobras, causadas por processos anteriores de compactação do material para transporte.

A moagem ocorre da seguinte forma, o material é depositado em um bocal, então cai sobre as lâminas de corte, que devido à rotação motor elétrico, em conjunto com o redutor para que a força cisalhante seja maior, forçam o material nas contra-facas que despedaçam o material, quanto mais plástico for o material mais fácil será sua moagem.

2.2.4.1 Moinho de Corte de Facas Rotativas

O moinho de facas rotativas consiste de facas fixas e móveis, que giram em um eixo, onde é possível ajustar as folgas entre si. Após o mecanismo de facas localiza-se um sistema onde uma peneira é fixada, assim os flocos menores passam entre os orifícios e os demais são novamente recortados devido ao movimento circular, até atingirem o tamanho adequado para passarem pela peneira. Na Figura 2.10 observa-se um sistema de corte de moinhos de facas rotativas. (Almeida, 2021).

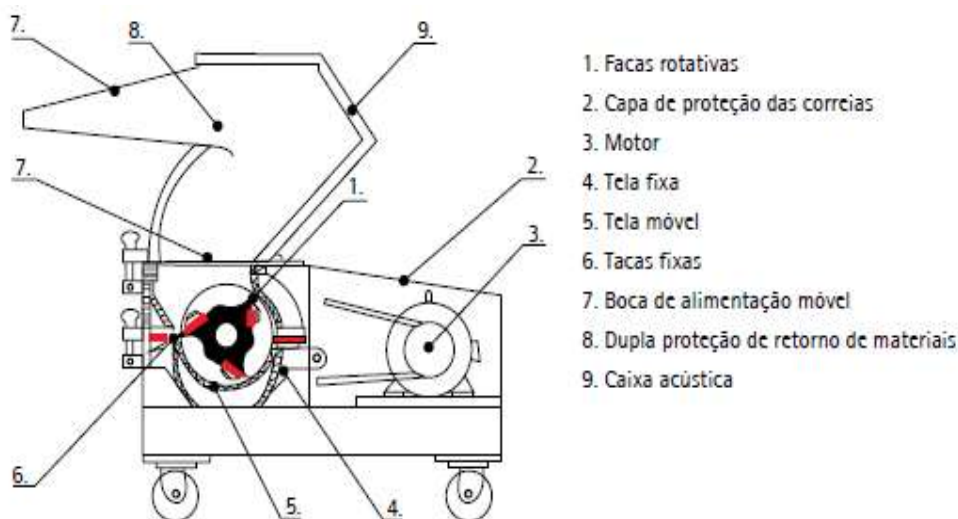


Figura 2.10: Diagrama estrutural de um moinho de facas. Fonte: (Grupo NZ)

2.2.4.2 Triturador de plásticos (*Shredder*)

Um triturador de plástico consiste basicamente em quatro componentes principais: uma unidade de alimentação, uma unidade de trituração, uma unidade de energia e uma estrutura de suporte. (Ayo *et al.*, 2017). A ação ocorre colocando as peças termoplásticas na unidade de alimentação - um funil - que as leva para a unidade de trituração. A operação de fragmentação exige as ações de cisalhamento, rasgo e quebra. Cisalhamento é o corte real do material, o rasgo é puxar o material com força suficiente para que ele se parta e a fratura acontece quando o material quebrável se rompe ou é estilhaçado. Embora todas as três ações ocorram durante a trituração, se as facas forem devidamente afiadas e as tolerâncias apertadas, a ação de redução dominante e mais eficiente deve ser o cisalhamento. (Conte e Mori, 2019).

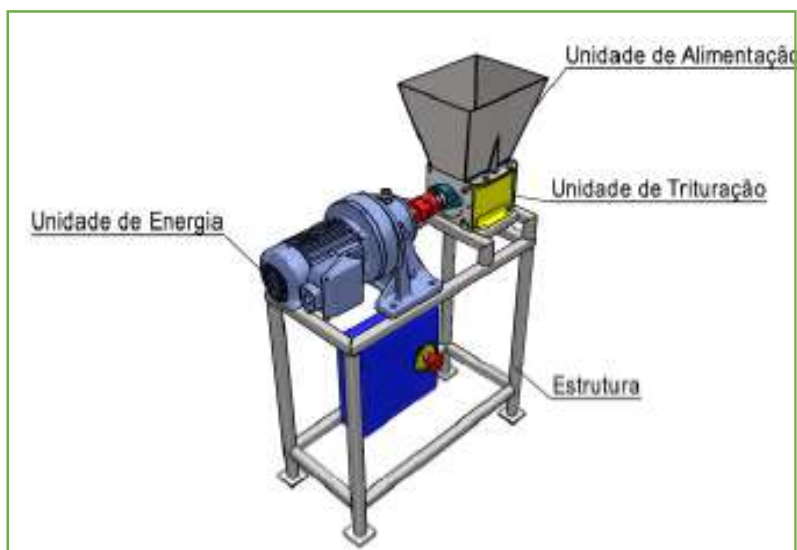


Figura 2.11: Desenho Esquemático - Triturador de plástico. Fonte: (Costa, 2023)

2.2.4.2.1 Unidade de trituração

A unidade de trituração (Figura 2.12) é componente mais destacado e com maior prioridade no dimensionamento de triturados. É onde as facas e as contra facas, bem como seus espaçadores, são posicionadas juntamente com o eixo. A posição relativa de cada faca é importante para um bom fluxo de corte. O conjunto é montado com os mancais em uma estrutura. Uma peneira posicionada na parte inferior, busca melhorar a uniformidade no tamanho das peças na saída.

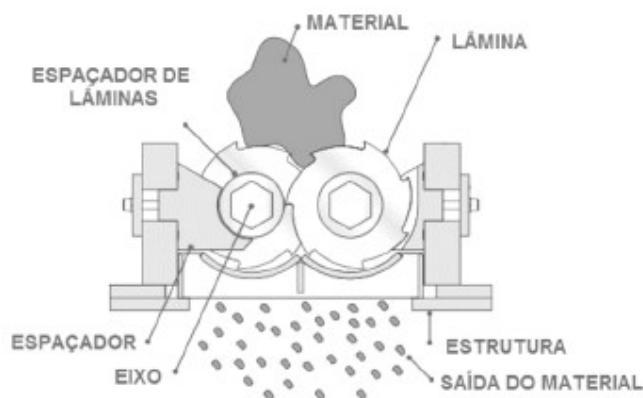


Figura 2.12: Unidade de trituração. Fonte: (Costa, 2023)

As características comuns a todos os trituradores incluem estrutura robusta, eixos geralmente hexagonais, funcionalidade de reversão automática do sentido de rotação do eixo e personalização para alterar a forma e o tamanho dos materiais. (Conte e Mori, 2019).

Os trituradores são projetados para trabalhar com uma grande variedade de termoplásticos, eles podem apresentar características diferentes, como eixos simples, duplos ou até quádruplos, sendo o número crescente de eixos proporcional à dificuldade de processamento. O aumento da quantidade de eixos eleva o número de ações de corte por ciclo e também aumenta a vazão do material da máquina (Conte e Mori, 2019). A Figura 2.13 apresenta máquinas trituradoras industriais com quatro e dois eixos, itens (a) e (b) respectivamente.

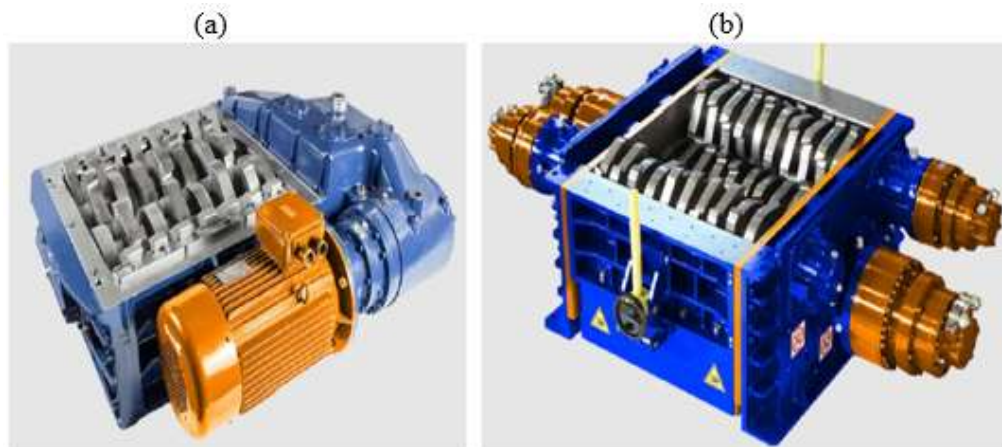


Figura 2.13: Unidade trituradora (a) com dois eixos e (b) com 4 eixos. Fonte: Adaptado de (Satrindtech, 2022)

Quanto ao design das facas, um maior número de dentes implica em uma velocidade de corte maior, porém o risco de travamento da máquina e dos eixos se apresenta com maior severidade. A espessura e o material utilizado nas facas está diretamente relacionado ao tipo de material que será triturado. (Costa, 2023).

A Figura 2.14 mostra alguns exemplos de facas. Para cada tipo de material que será triturado, é indicado um desenho diferente e uma largura das facas. Por exemplo, para cortar material leve, empregam-se facas com ganchos múltiplos, longos e inclinados para frente (Conti e Mori, 2019).



Figura 2.14: Exemplo de facas de corte. Fonte: (Conte e Mori, 2019)

2.2.5 Fundamentos de Projectos de Máquinas

Em um projecto de uma máquina, onde existem peças móveis, devemos considerar que se está projectando um conjunto de peças inter-relacionadas e deste modo é necessário aplicar os conceitos fundamentais da engenharia como estática, dinâmica, além da resistência e propriedades dos materiais. O objectivo final do projecto de máquinas é dimensionar e dar forma às peças (elementos de máquinas) e escolher os materiais e os processos de manufatura apropriados, de modo que a máquina resultante possa desempenhar a função desejada sem falhar, o que requer que uma análise de tensão e deflexão seja feita para cada peça. (Norton, 2013).

2.2.5.1.1 Fator de projecto e fator de segurança

Quando se desenvolve o projecto de um elemento mecânico é importante avaliar como os factores intrínsecos vão influenciar no desempenho da estrutura. Partindo da possível perda de função do componente, adota-se um fator de projecto mínimo que compense as incertezas. Após o término do dimensionamento, o fator de projecto muda em função dos arredondamentos pertinentes, dessa forma, define-se o coeficiente de segurança real, que é definido pela Equação (2.4), onde S é a resistência de perda de função e σ (ou τ) é a tensão admissível. (Almeida, 2021) (Budynas e Nisbett, 2011).

$$n_d = \frac{S}{\sigma(\text{ou } \tau)} \quad (2.4)$$

2.2.5.1.2 Propriedades dos materiais

A seleção de um material para uma peça da máquina ou membro estrutural é uma das decisões mais importante que o desenhador deve tomar. (Budynas e Nisbett, 2011). Compreender as propriedades mecânicas dos materiais e saber mensurá-las é de fundamental importância, pois através delas é possível determinar que não ocorram falhas. Os componentes em serviço estão sujeitos a forças, desta forma, é necessário identificar as tensões e distribuição de tensões para o dimensionamento adequado (Callister, 2002).

Para carregamentos estáticos, o comportamento mecânico pode ser caracterizado pelo ensaio de tração uniaxial. Existem três formas básicas de aplicação de uma carga: tração, compressão e cisalhamento. O resultado de um ensaio em geral é representado na forma de força em função do alongamento (Figura 2.15). As equações para cálculo das tensões, deformações e cisalhamento estão representadas nas Equações anteriores (2.1), (2.2) e (2.3) respectivamente.

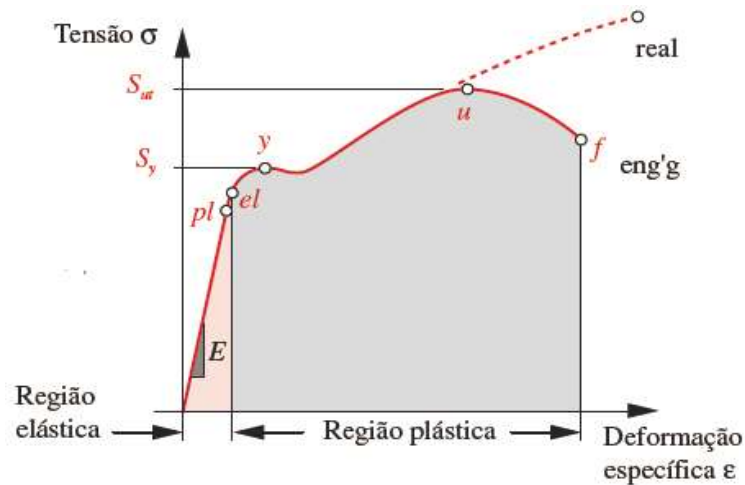


Figura 2.15: Diagramas tensão-real de formação e tensão de engenharia de formação de um aço de baixo carbono.
Fonte: (Norton, 2023)

Esse diagrama tensão-deformação de tração nos fornece vários parâmetros úteis do material. O ponto pl é o limite de proporcionalidade abaixo do qual a tensão é proporcional à deformação, conforme expressa a lei de Hooke, [Equação (2.5)].

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.5)$$

Onde σ é a tensão de Engenharia e ε é a deformação de engenharia.

3 METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foi utilizada a metodologia PRODIP - Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos. A metodologia apresenta ferramentas de maneira sistemática para o desenvolvimento de novos produtos. A metodologia divide-se em macro fases: Planificação, elaboração do projecto do produto e implementação, este trabalho tem foco a aplicação da macro fase de Elaboração do projecto do produto, que por sua vez, desdobra-se em fases: projecto preliminar, as fases projecto informal, projecto conceitual e projecto detalhado também fazem parte desta macro fase porém não serão abordada neste trabalho visto tratar-se de um trabalho acadêmico, na Figura 3.1 , é possível ver graficamente a disposição destas fases durante o projecto.

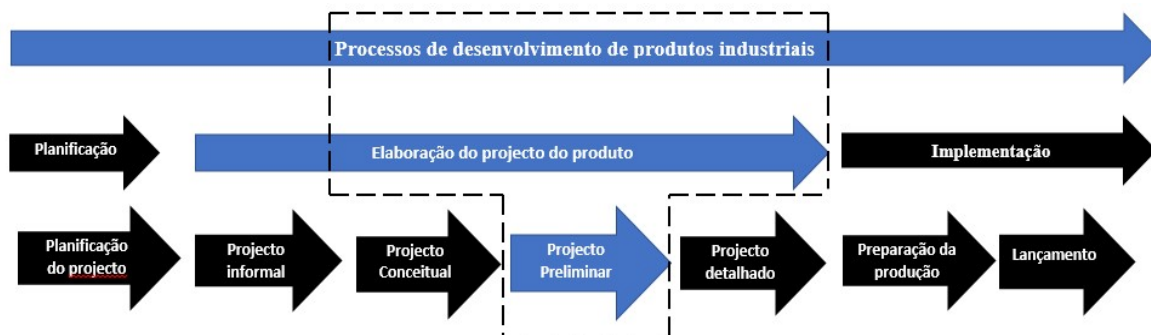


Figura 3.1: Diagrama - PRODIP. Fonte: Adaptado de (Back et al, 2008)

3.1 Projecto preliminar

Nesta fase, a solução conceitual é desenvolvida em termos de layout, arranjo, formas, geometria, materiais e processos de fabricação. Constitui-se na configuração de solução selecionada. Modelos de análise, simulação e optimização da solução são fortemente empregados nessa fase. (Ogliari, 2024).

Esta fase busca conceber a estrutura funcional do equipamento. A Figura 3.2 lustra as atividades que compõem esta fase.



Figura 3.2: - Diagrama da fase de Projecto Preliminar. Fonte: (Back et al, 2008)

➤ **Layout do produto**

O layout do produto deve atender às funções elementares determinadas na fase anterior, para sua resolução é atribuído um elemento de engenharia ou conceito para cada uma das funções. Já é possível nesta fase, descrever a posição de cada elemento e assim ilustrando o layout do produto. (Freitas, 2023).

➤ **Lista de componentes**

Esta atividade visa descrever todos os componentes do produto divididos em conjuntos, subconjuntos e peças, atribuindo códigos a todos estes segmentos e elementos. (Freitas, 2023).

➤ **Dimensionamento dos componentes**

A partir da listagem dos componentes, são realizadas análises para quantificar, qualificar e dimensionar cada componente. Esta atividade requer projecto e validação a partir de referências técnicas, descuidos ou omissões nesta fase podem gerar risco de falha em componentes e consequentemente danos ao produto ou ao operário. (Back et al, 2008) (Freitas, 2023).

➤ **Modelagem CAD**

A modelagem utilizando ferramenta de Desenho Assistido por Computador (CAD) permite nesta fase de projecto, validar a atividade anterior, identificando inconsistências de dimensionamento e montagem dos componentes. (Back et al, 2008).

➤ **Estimativa de custo**

Tendo relatado das atividades anteriores, é possível realizar a análise de cada componente, levantando seus custos de compra ou manufatura para diferentes fornecedores, como também o tempo para entrega dos componentes. O que possibilita a criação de um cronograma de recebimento dos mesmos. (Freitas, 2023).

➤ **Mocape digital**

A partir da modelagem geométrica dos componentes e montagem, é possível obter o mocape digital do produto. Esta atividade resulta (mesmo tendo uma apresentação simples durante a seleção concepções alternativas) na primeira visualização do produto final. (Freitas, 2023).

As atividades a serem desenvolvidas no projecto preliminar são representadas e detalhadas no fluxograma da Figura 3.3 com as devidas alimentações e repetições.

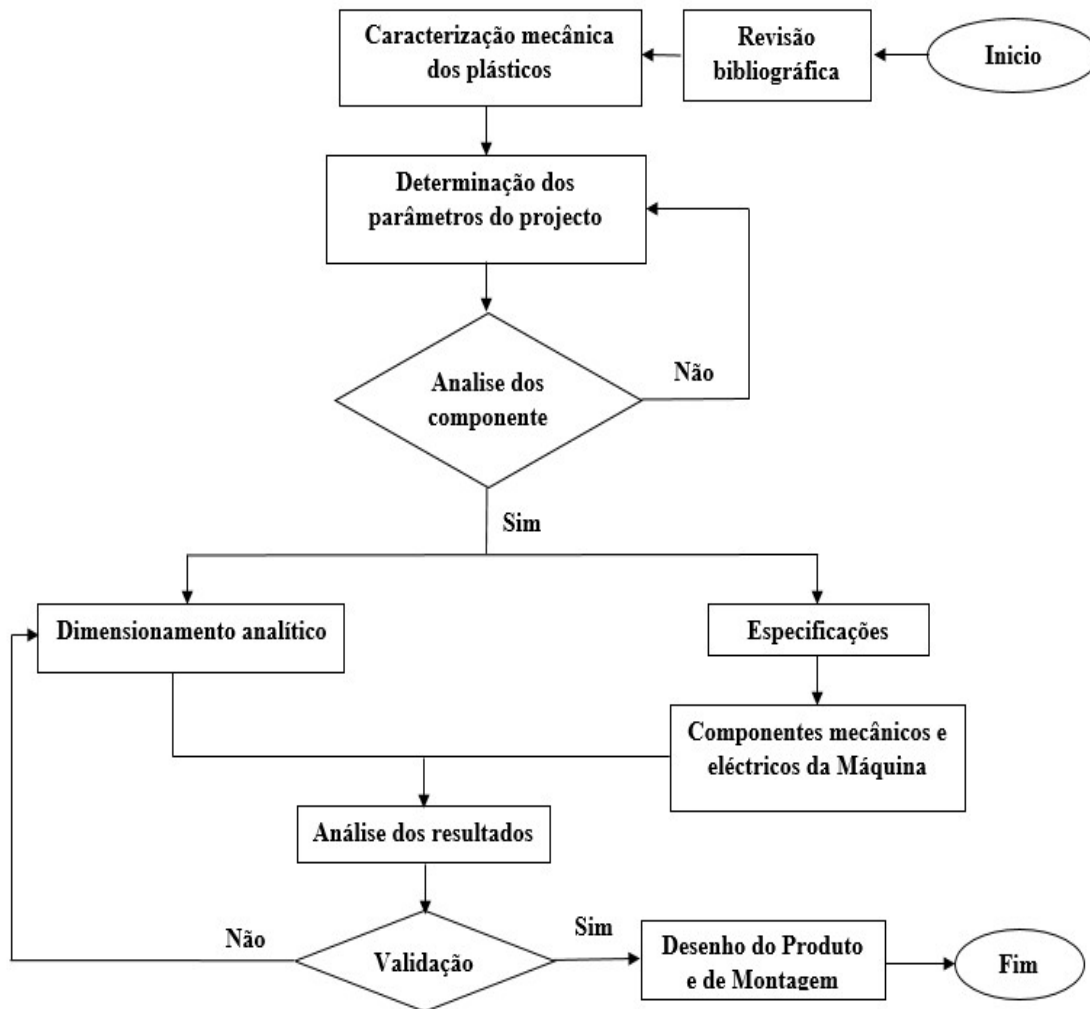


Figura 3.3: Fluxograma das actividades a serem desenvolvidas. Fonte: (Autor)

❖ Revisão Bibliográfica

Nesta etapa, foi realizada uma pesquisa aprofundada sobre temas relacionados à reciclagem de plásticos e ao desenvolvimento de máquinas trituradoras. A revisão incluiu o estudo dos tipos de plásticos recicláveis, com foco nos termoplásticos, suas propriedades mecânicas e processos de degradação. Foram analisados métodos existentes de reciclagem, destacando a reciclagem mecânica. Além disso, foram estudadas normas técnicas aplicáveis ao projecto de engenharia mecânica e exemplos de máquinas similares, com o objetivo de identificar as principais limitações e oportunidades de melhoria no projecto proposto.

❖ **Caracterização Mecânica dos Plásticos**

Nesta fase, foram caracterizadas as propriedades mecânicas dos plásticos que serão processados pela máquina, como resistência à tração, resistência ao cisalhamento, dureza, densidade e comportamento sob esforço mecânico. Essas características são fundamentais para determinar os parâmetros de operação e os materiais a serem utilizados na construção da máquina.

❖ **Determinação dos Parâmetros do Projecto**

Com base na caracterização dos plásticos e na revisão bibliográfica, foram determinados os principais parâmetros do projecto. Entre eles, destacam-se a capacidade de processamento da máquina (em kg/h), a potência necessária para operação, o torque exigido para triturar os resíduos plásticos, a velocidade de rotação das lâminas e as dimensões da abertura de alimentação.

❖ **Análise dos Componentes**

Após a concepção inicial, foi realizada a análise técnica dos componentes da máquina, a fim de verificar a viabilidade estrutural e funcional. Caso algum componente não atenda aos critérios de desempenho (“Não”), a concepção é revisada para ajustes nos parâmetros do projecto ou no desenho. Caso os componentes sejam viáveis (“Sim”), prossegue-se para o dimensionamento analítico, onde os esforços e requisitos de funcionamento são refinados.

❖ **Dimensionamento Analítico**

Nesta etapa, foram realizados os cálculos necessários para dimensionar os principais componentes da máquina, garantindo seu desempenho adequado. Os cálculos incluíram o dimensionamento das lâminas (espessura, ângulo de corte e material), a determinação do torque e da potência do motor, bem como o dimensionamento dos eixos, suportes e outros componentes estruturais.

❖ **Especificações**

Com base no dimensionamento analítico, foram definidas as especificações técnicas da máquina. Essa etapa descreve os materiais selecionados, os componentes elétricos e mecânicos escolhidos (como motores, rolamentos, engrenagens, etc.) e o desempenho esperado da máquina. As especificações visam garantir que o equipamento seja eficiente, seguro e adequado para a reciclagem de resíduos plásticos.

❖ Componentes Mecânicos e Elétricos da Máquina

Nesta seção, foram detalhados os componentes mecânicos e elétricos que compõem o projecto. Entre eles, destacam-se as lâminas de corte, o sistema de acionamento, os motores elétricos e sensores de segurança. Cada componente foi escolhido com base em critérios de resistência, durabilidade e disponibilidade no mercado local, visando reduzir os custos e facilitar a manutenção.

❖ Análise dos Resultados

Após o dimensionamento e definição dos componentes, foi realizada a análise dos resultados obtidos. Caso os resultados não atendam aos critérios estabelecidos (“Não”), são realizadas revisões e ajustes nos cálculos ou no projecto. Se os resultados forem satisfatórios (“Sim”), prossegue-se para a etapa de validação do projecto, garantindo que todos os requisitos foram atendidos.

❖ Validação

A validação tem como objetivo confirmar que a máquina projectada atende aos requisitos de eficiência, segurança e funcionalidade, garantindo seu bom desempenho no processamento de resíduos plásticos.

❖ Desenho do Produto e de Montagem

Nesta fase, foram elaborados os desenhos finais da máquina (desenho da máquina e de todos os componentes mecânicos) incluindo os detalhes técnicos necessários para a fabricação e montagem. Os desenhos apresentam as dimensões dos componentes e os detalhes das conexões. Essa documentação técnica é essencial para a construção e a implementação prática do projecto.

4 DIMENSIONAMENTO DO EQUIPAMENTO

4.1 SELEÇÃO DOS MATERIAIS

4.1.1 Aço SAE 1020

O aço SAE 1020 é um aço ao carbono mais comumente utilizado pois possui excelentes relações custo-benefício comparado com aços mais “ligados”. Ele possui excelente conformabilidade e soldabilidade. É um aço utilizado em componentes mecânicos de uso como engrenagem, eixos, cambotas, eixos-comando, pinos guias, anéis de engrenagem, catracas, capas, tubos, perfis entre outros. (Gersonluz, 2018)

❖ Composição química

São aço carbono constituído basicamente de ferro, carbono, silício e manganês. Outros elementos na composição química são resíduos de processos de fabricação.

Na tabela 4.1 está representada a composição química deste aço.

Tabela 4.1: Composição Química do aço SAE 1020

Elemento	Carbono (C)	Manganês (Mn)	Enxofre (S)	Fosforo (P)	Ferro (Fe)
Concentração[%]	0.18 a 0.23	0.30 a 0.60	0.05 (máx.)	0.04 (máx.)	Restos

Fonte: (Gersonluz, 2018)

❖ Propriedades Físicas e Mecânicas

Na Tabela 4.2 encontram-se algumas propriedades deste aço:

Tabela 4.2: Propriedades mecânicas e físicas do aço SAE 1020

Propriedades	Descrição
Físicas	
Densidade (g/cm ³)	7.87
Mecânica	
Limite de Escoamento (MPa)	350
Resistencia a Tração (MPa)	420
Tensão admissível (MPa)	210
Modulo de elasticidade (GPa)	205
Alongamento (em 50 mm) (%)	15

Fonte: Adaptado de (Gersonluz, 2018)

4.1.2 Aço SAE 1045

O aço SAE 1045 é uma liga de médio carbono com propriedades altamente vantajosas, tendo boa resistência mecânica e dureza, embora seja conhecida por sua boa usinabilidade e soldabilidade. Além disso, suas características de impacto também dão grande destaque, permitindo seu uso com maior tranquilidade.

Possui boas propriedades mecânicas adequada para ampla variedade de aplicações industriais, desde componentes de máquinas até estruturas metálicas. É largamente aplicado na fabricação de peças industriais de forma geral, como eixos, parafusos, pernos, pinos, catracas, barras de torção, bielas, engrenagens leves, aríetes, haste de guia, entre outros. (Cappermetal, 2024).

❖ Composição química

Essa liga é composta basicamente de carbono, manganês, fósforo, enxofre e ferro e pode passar por diversos processos conforme as necessidades.

Na tabela 4.3 está representada a composição química deste aço.

Tabela 4.3: Composição química do aço SAE 1045

Elemento	Carbono (C)	Manganês (Mn)	Enxofre (S)	Fósforo (P)	Silício (Si)
Concentração[%]	0.43 a 0.50	0.60 a 0.90	0.05 (máx.)	0.04 (máx.)	0.10 a 0.60

Fonte: (Souza, 2001)

❖ Propriedades Físicas e Mecânicas

Na Tabela 4.4 encontram-se algumas propriedades deste aço:

Tabela 4.4: Propriedades mecânicas e físicas do aço SAE 1045

Propriedades	Descrição
Físicas	
Densidade (g/cm ³)	7.85
Condutividade térmica(W/m·K)	~50.7
Mecânica	
Limite de Escoamento (MPa)	600
Resistência a Tração (MPa)	620
Modulo de elasticidade (GPa)	190 - 210
Dureza Brinell (HB)	210
Alongamento (em 50 mm) (%)	25

Fonte: (Souza, 2021)

4.1.3 Aço SAE 1060

O aço SAE 1060 é um aço carbono médio amplamente utilizado devido ao seu equilíbrio entre resistência mecânica e boa capacidade de usinagem. Com um teor de carbono entre 0.57% e 0.65%, ele apresenta propriedades mecânica superiores aos aços de baixo carbono, tornando-o adequado para aplicações que demandam maior resistência a tração, abrasão e deformação.

Devido ao elevado teor de carbono, sua soldabilidade é mais limitada, porém possui uma boa capacidade de borda, tornando-o uma excelente escolha para a fabricação de facas e outras ferramentas de corte. (Iguatemi, 2024).

❖ Composição química

O aço SAE 1060 apresenta teor de carbono de cerca de 0.60%, acima das ligas mais comerciais. Além disso, ele contém pequenas quantidades de outros elementos, como o manganês, o silício e fósforo.

Na tabela 4.5 está representada a composição química deste aço.

Tabela 4.5: Composição química do aço SAE 1060

Elemento	Manganês (Mn)	Carbono (C)	Enxofre (S)	Fósforo (P)
Concentração[%]	0.60 a 0.90	0.57 a 0.65	0.05 (máx.)	0.04 (máx.)

Fonte: (Iguatemi, 2024)

❖ Propriedades Físicas e Mecânicas

Na Tabela 4.6 encontram-se algumas propriedades deste aço:

Tabela 4.6: Propriedades mecânicas e físicas do aço SAE 1060

Propriedades	Descrição
Físicas	
Densidade (g/cm ³)	7.85
Condutividade térmica(W/m·K)	~50.9
Calor específico(J/g·K)	~0.46
Mecânica	
Limite de Escoamento (MPa)	350 - 600
Resistência a Tração (MPa)	650
Tensão admissível (MPa)	275
Módulo de elasticidade (GPa)	200
Alongamento (em 50 mm) (%)	15

Fonte: adaptado de (Ramada Aços, 2024) (Iguatemi, 2024)

4.2 Seleção do Motor-redutor

- **Tensão de ruptura**

Inicialmente, para determinar a potência necessária para triturar o material, utiliza-se a Equação (2.3) do cisalhamento. Conforme a Figura 2.6 a tensão máxima para a ruptura dos termoplásticos é de 80 MPa. No entanto considerando um fator de segurança de 10%, adota-se o valor de 88 MPa para o cálculo de tensão de ruptura. Assim, a tensão de ruptura (τ_{rup}) é definida como:

$$\tau_{rup} = 88 \text{ Mpa}$$

- **Área de corte**

Para o cálculo da área de corte, considera-se a força de corte F_c atuando sobre uma linha que ação que tangencia a lâmina de corte perpendicularmente ao centro das eixos (Árvore).

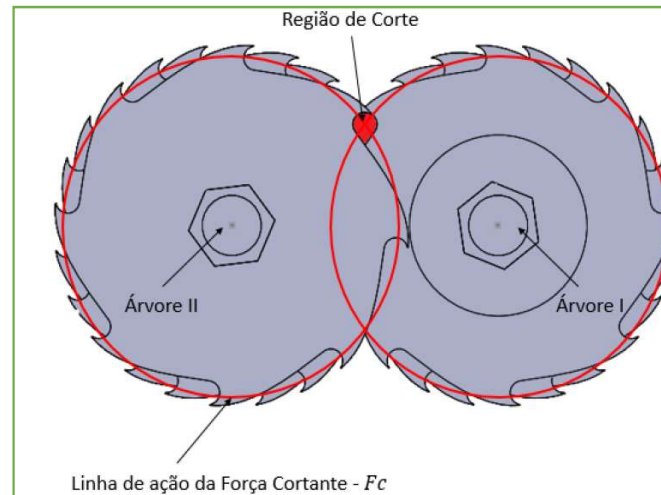


Figura 4.1: Linha de ação da força cortante. Fonte: (Almeida, 2019)

Segundo Almeida (2019), A região onde ocorrerá o corte é definida pela “geometria de uma gota” em um certo instante do corte, conforme a Figura 4.2, onde é possível determina parâmetros geométricos que definem a área de corte. O corte apresenta um comportamento progressivo, que podemos identificar como corte de arestas inclinadas.

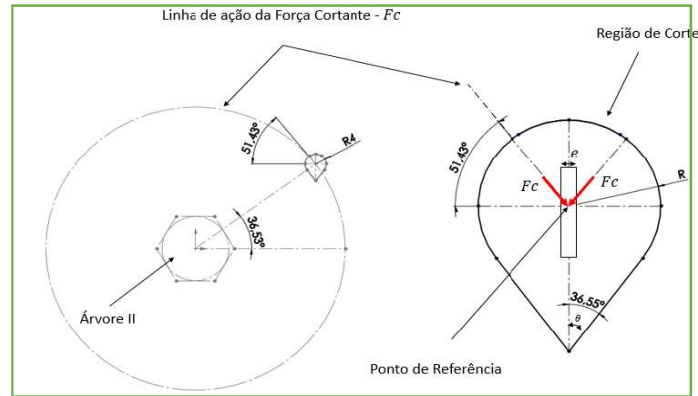


Figura 4.2: Geometria de corte em um instante de tempo. Fonte: (Almeida, 2019)

Segundo Júnior (2012) são empregadas arestas de corte inclinadas para reduzir a força de corte, possibilitando um corte progressivo. Na Figura 4.3, observa-se o conceito de corte em aresta inclinada.

Relativamente a espessura do material a cortar irá ser assumida a espessura máxima de 2 mm, no entanto será considerada uma espessura $Z = 2.5$ mm como margem de segurança. Relativamente a tensão de corte máxima admissível do material depositado será considerado o valor de 88 MPa que é superior à tensão de corte de polímeros.

O ângulo de corte entre as lâminas dos dois eixos giratórios (no momento do rasgo inicial do material) será de $\theta = 36.55^\circ$ ilustrada na Figura 4.11(a).

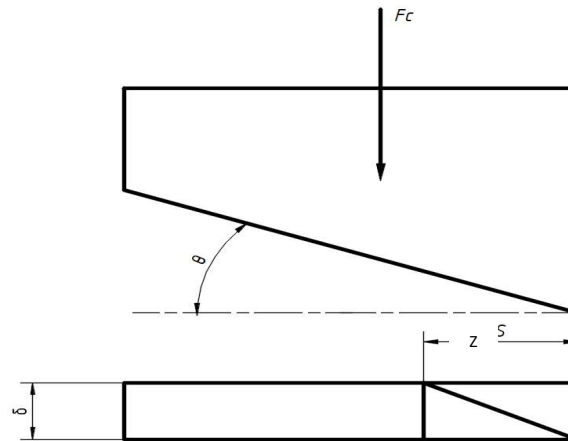


Figura 4.3: Corte com facas inclinadas. Fonte: Adaptado de (Almeida, 2019)

Onde:

$$\tan \theta = \frac{\delta}{Z} \rightarrow Z = \frac{\delta}{\tan \theta} \quad (4.1)$$

$$A_c = \frac{Z \cdot \delta}{2} = \frac{Z^2}{2 \cdot \tan \theta} = \frac{2.5^2}{2 \tan(36.55)} = 4.22 \text{ mm}^2 \quad (4.2)$$

Onde: $Z[\text{mm}]$ é a espessura do material, $\delta[\text{mm}]$ é o comprimento do corte e $\theta[\text{Rads}]$ o ângulo de corte.

- **Força de corte**

Partindo do conceito da tensão (Equação 1.1), a intensidade da força de corte pode ser aproximada por:

$$F_c = \tau_{\text{máx}} \cdot A_c = 88 \cdot 4.22 = 371.36 \text{ N} \quad (4.3)$$

4.2.1 Torque e Potência que actua no sistema

O torque é calculado na Equação (4.4), onde $F_c[\text{N}]$ é a força de corte e $d_{\text{fac}}[\text{mm}]$ é diâmetro da face de corte.

$$T = \frac{1}{2} \cdot F_c \cdot d_{\text{fac}} = \frac{1}{2} \cdot 371.36 \cdot 140 = 25.97 \text{ Nm} \quad (4.4)$$

A potência transmitida por um eixo pode ser expressa pela Equação (4.5), onde: $P_t[\text{W}]$ é a potência transmitida pelo motor, $P_e[\text{W}]$ é a potência de entrada no sistema e $\omega[\text{Rad/s}]$ é a velocidade angular.

$$P_t = P_e = T \cdot \omega \quad (4.5)$$

A potência útil do sistema é dividida nos eixos transmissor (I) e movido (II) é expressa pela Equação (4.6) onde, $P_u^I[\text{W}]$ é a potência útil no eixo transmissor e $P_u^{II}[\text{W}]$ é a potência útil no eixo movido.

$$P_u = P_u^I + P_u^{II} \quad (4.6)$$

Considerando que ocorram perdas de potência ao longo da transmissão, devido aos componentes mecânicos acoplados, segundo Melconian (2009) a potência de entrada da transmissão é definida por Equação (4.7), onde $P_u[\text{W}]$ é a potência útil de todo sistema e $P_d[\text{W}]$ é a potência dissipada por elementos mecânicos.

$$P_e = P_u + P_d \quad (4.7)$$

Segue abaixo tabelas com valores normais de potência em função do tipo de transmissão:

Tabela 4.7: Perdas em componentes mecânicos

Tipo	Rendimento (η)
Engrenagens fundidas	0.92 – 0.93
Engrenagens usinadas	0.96 – 0.98
Rosca sem fim 1 entrada	0.45 – 0.60
Rosca sem fim 2 entradas	0.70 – 0.80
Mancais - rolamentos	0.98 – 0.99
Mancais - deslizamento	0.96 – 0.98
União flexível	0.97 – 0.98

Fonte: Adaptado de (Malconian, 2009)

Para realizar o corte do material a lâmina terá dez gumes, onde devido a geometria da estrutura são realizados quatro cortes simultâneos e intercalados, assim o torque é definida na Equação (4.8), onde $T_{(I)}$ [Nm] é o torque no eixo transmissor, $T_{(II)}$ [Nm] é o torque no eixo movido e T [Nm] é o torque da lâmina sobre o material.

$$T_{(I)} = T_{(II)} = 4 \cdot T = 4 \cdot 25.97 = 103.88 \text{ Nm} \quad (4.8)$$

Segundo Almeida (2021), as rotações de trabalho dos eixos para trituradores de polímeros devem ser iguais e estar na faixa de 50 a 60 rpm. Adota-se por questões de projecto 55 rpm.

Para o cálculo da potência útil para realizar o trabalho de corte é utilizado a Equação (4.9) definida como:

$$P_u = P_u^I + P_u^{II} = \frac{T_{(I)} \cdot n_1}{9550} + \frac{T_{(II)} \cdot n_2}{9550} = 2 \times \frac{103.88 \cdot 55}{9550} = 1.20 \text{ KW} \quad (4.9)$$

A potência dissipada em cada eixo pode ser expressa pela Equação (4.10), onde η_U [Adimensional] é o rendimento da união flexível, η_E [Adimensional] é o rendimento de engrenagens fresadas e η_M [Adimensional] é o rendimento de um par de mancais de rolamento.

$$p_d = P_d^I + P_d^{II} = \left[\left(\frac{P_u^I}{\eta_U \eta_M} - P_u^I \right) + \left(\frac{P_u^{II}}{\eta_E \eta_M} - P_u^{II} \right) \right] \Leftrightarrow \quad (4.10)$$

$$\Leftrightarrow P_d = \left[\left(\frac{0.6}{0.98 \cdot 0.99} - 0.6 \right) + \left(\frac{0.6}{0.97 \cdot 0.99} - 0.6 \right) \right] = 0.043 \text{ KW}$$

Assim, a potência de entrada que deve ser fornecida ao sistema é dada pela Equação (4.7):

$$P_e = 1.20 + 0.043 = 1.243 \text{ KW}$$

O torque de entrada, levando em consideração as perdas do sistema, pode ser expresso por:

$$T_e = 9550 \times \frac{P_e}{n} = 9550 \times \frac{1.243}{55} = 215.83 \text{ Nm} \quad (4.11)$$

Uma vez que a empresa SEW tem um vasto catálogo de moto-redutores com vários tipos de configuração optou-se por escolher o modelo GC 35/2R cujas especificações estão incluídas em anexo e é ilustrado na Figura 4.4 e possui as seguintes especificações principais:

Tabela 4.8: Especificações principais do Motor-Redutor selecionado

Motor - redutor SEW GC 35/2R	
Potencia [KW]	2.2
Velocidade angular [RPM]	54.83
Torque de saída [Nm]	361.36
Rendimento [%]	94
Dimensões do veio de saída [mm]	Ø30 × 60
Fator de segurança	1.25
Relação de transmissão	31.01

Fonte: Adaptado de (Anexo A1) e (Anexo A2)



Figura 4.4: Motor-redutor selecionado para o projecto. Fonte: Adaptado de (WEG S.A., 2024)

4.3 Dimensionamento dos eixos rotativos

Uma consideração importante é que o eixo possui uma geometria sextavada. Essa configuração geométrica permite o travamento directo das lâminas na posição correcta, eliminando a necessidade de utilização de chavetas. Além disso, outra vantagem significativa é a facilidade de substituição das lâminas de corte durante a manutenção. No entanto, o dimensionamento da secção sextavada apresenta um desafio, pois as equações clássicas disponíveis são majoritariamente baseadas em eixos de secção circular.

Para o dimensionamento dos eixos do triturador será considerado que o eixo seja circular a fim de utilizar as bibliografias clássicas, onde será utilizado como diâmetro externo o círculo, que tangencia o sextavado e que também define a sua medida nominal. O dimensionamento será baseado em barras de aços laminadas, como o eixo sextavado é trefilado sua resistência será ainda mais elevada.

De modo a realizar o dimensionamento do veio, procedeu-se numa fase inicial à escolha do material do mesmo, recaindo pelo aço SAE 1045.

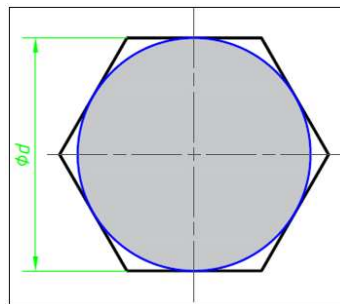


Figura 4.5: Diâmetro Inscrito no sextavado. Fonte: (Autor)

De forma a garantir o seu bom funcionamento é necessário determinar diâmetro mínimo do eixo, através da análise dos esforços a que este está sujeito. A partir da Equação (4.12) é possível calcular a tensão de corte admissível τ_{adm} [MPa], onde M_t [Nm] é o momento torsor. A Equação (4.13) possibilita o cálculo da tensão admissível, σ_{adm} [MPa], em que M_f [Nm] é o momento flector, I [mm⁴] é o momento de inercia e W_x [m³] é o momento de resistência axial.. Nas três equações, d [m] representa o diâmetro. (Lajas, 2021), (Sitoe, 2005).

Analise à torsão

$$\tau_{adm} = \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d^3} \quad (4.12)$$

Análise à flexão:

$$\sigma_{adm} = \frac{M_f}{W_x} = \frac{2 \cdot d \cdot M_f}{I} = \frac{32 \cdot M_f}{\pi \cdot d^3} \quad (4.13)$$

Na Equação (4.14) é possível calcular a tensão admissível, desprezando o esforço axial:

$$\sigma_{adm} = \frac{16}{\pi \cdot d^3} * \sqrt{4 \cdot M_f^2 + 3 \cdot M_t^2} \quad (4.14)$$

4.3.1 Cálculo do momento flector

Para calcular o momento flector é necessário conhecer primeiro as forças aplicadas no eixo, ou seja, a força axial exercida pelas engrenagens e a força total exercida pelas lâminas e o peso dos separadores. A força exercida pela engrenagem é calculada na Equação (4.15), onde $\rho[\text{Kg/m}^3]$ é a massa específica do aço, $V_e[\text{m}^3]$ é o volume da engrenagem (Anexo A3) e $g[\text{m/s}^2]$ é a aceleração de gravidade na terra.

Como a espessura das lâminas e separadores são relativamente pequena, considera-se que a carga distribui-se uniformemente ao longo do escalão sextavado. A carga é calculada na Equação (4.16), onde $F_c[\text{KN}]$ é a força do corte do material, $V_l[\text{m}^3]$ e $V_s[\text{m}^3]$ é o volume da lâmina e separador respectivamente (Anexo A4 e A5) e $l_t[\text{m}]$ é o comprimento do eixo sextavado.

Força exercida pela engrenagem:

$$F_{eng} = \rho \cdot V_e \cdot g \Leftrightarrow F_{eng} = 7850 \cdot 0.0002 \cdot 9.81 \cong 0.02 \text{ KN} \quad (4.15)$$

Carga exercida pelas lâminas e separadores:

$$W = 50 \left[\frac{F_c + (V_l + V_s) \cdot \rho \cdot g}{l_t} \right] \Leftrightarrow \quad (4.16)$$

$$\Leftrightarrow W = 50 \left[\frac{371.36 + (1.168 \times 10^{-4} + 2.22 \times 10^{-5}) \cdot 7850 \cdot 9.81}{0.500} \right] = 38.21 \text{ KN/m}$$

A força concentrada equivalente para a carga distribuída é dada pela Equação (4.17).

$$F_h = W \cdot l_t = 38.21 \cdot 0.500 = 19.12 \text{ KN} \quad (4.17)$$

Na Equação (4.16) é considerado uma força distribuída exercida pelas 25 lâminas e separadores ao longo dos 500 mm em que estes estão situados.

Na Figura 4.6 encontra-se representado o diagrama de corpo livre do veio, no qual se encontra ilustrada a força distribuída calculada anteriormente e as reações nos apoios, R1[KN] e R2[KN].

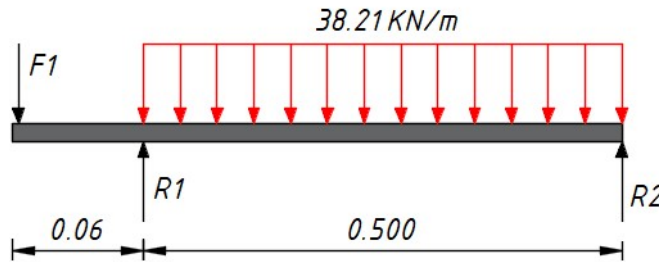


Figura 4.6: Diagrama do corpo livre do eixo. Fonte: (Autor)

Na Equação (4.18) são calculadas as reações nos apoios, utilizando o equilíbrio de forças verticais.

A F1 é a força exercida pela engrenagem calculada anteriormente na Equação (4.15).

$$\sum F_y = 0 \Leftrightarrow -F_1 + R_1 - F_h + R_2 = 0 \Leftrightarrow R_1 = F_1 + F_h - R_2 \quad (4.18)$$

Em seguida, na Equação (4.19) é calculado o ponto médio, $x_{med}[m]$, onde a carga equivalente está aplicada.

$$x_{med} = \frac{0.500}{2} = 0.250 \text{ m} \quad (4.19)$$

Na Equação (4.20) é feito o equilíbrio de momentos no primeiro apoio, M_1 , de modo a calcular a reação no segundo apoio.

$$\begin{aligned} \sum M_1 = 0 &\Leftrightarrow F_1 \cdot 0.06 - F_h \cdot 0.250 + R_2 \cdot 0.500 = 0 \\ &\Leftrightarrow 0.02 \cdot 0.06 - 19.12 \cdot 0.250 + R_2 \cdot 0.500 = 0 \Leftrightarrow R_2 = 9.56 \text{ KN} \end{aligned} \quad (4.20)$$

Resolvendo Equação (4.18) temos a reação do apoio 1.

$$R_1 = 0.02 + 19.12 - 9.56 = 9.58 \text{ KN}$$

Para calcular o momento flector e a força cortante é necessário analisar o momento e as forças que actuam em cada secção ou trecho do eixo desde os 0 até aos 0,500 metros.

- **Trecho 1 ($0 \leq x_1 \leq 0.060$)**

Na Figura 4.7 está ilustrado o diagrama de corpo livre do trecho 1 do eixo e nas Equações (4.21) e (4.22) é calculada as equações da força cortante e momento da mesma respectivamente.

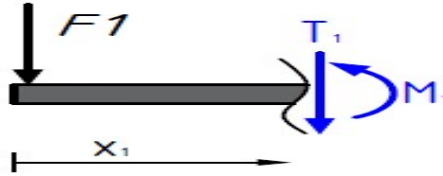


Figura 4.7: Diagrama de corpo livre da trecho 1 do eixo. Fonte: (Autor)

$$\uparrow: -F_1 - T_1 = 0 \Leftrightarrow T_1 = -F_1 = -0.02 \text{ KN} \quad (4.21)$$

$$\curvearrowleft: F_1 \cdot x_1 + M_1 = 0 \Leftrightarrow M_1 = -F_1 \cdot x_1 = -0.02x_1 \quad (4.22)$$

- **Trecho 2 ($0 \leq x_2 \leq 0.500$)**

Na Figura 4.8 está ilustrado o diagrama de corpo livre do trecho 2 do eixo e nas Equações (4.23) e (4.24) é calculada as equações da força cortante e momento da mesma respectivamente.

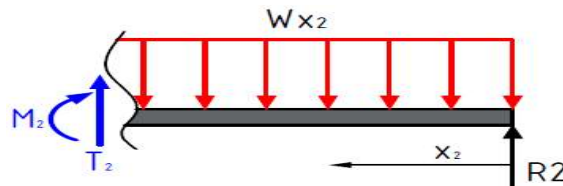


Figura 4.8: Diagrama de corpo livre da trecho 2 do eixo. Fonte: (Autor)

$$\uparrow: T_2 - Wx_2 + R_2 = 0 \Leftrightarrow T_2 = Wx_2 + R_2 = 38.21x_2 - 9.56 \quad (4.23)$$

$$\curvearrowleft: R_2x_2 - Wx_2 \cdot \frac{x_2}{2} - M_2 = 0 \Leftrightarrow M_2 = -Wx_2 \cdot \frac{x_2}{2} + R_2x_2 = -19.11x_2^2 + 9.56x \quad (4.24)$$

Com as expressões calculadas em cada trecho, foi elaborado o gráfico do momento flector e força cortante, como se pode verificar na Figura 4.9. Deste gráfico retirou-se que o momento flector máximo, M_f [Nm], tem o valor de 1195.63 Nm.

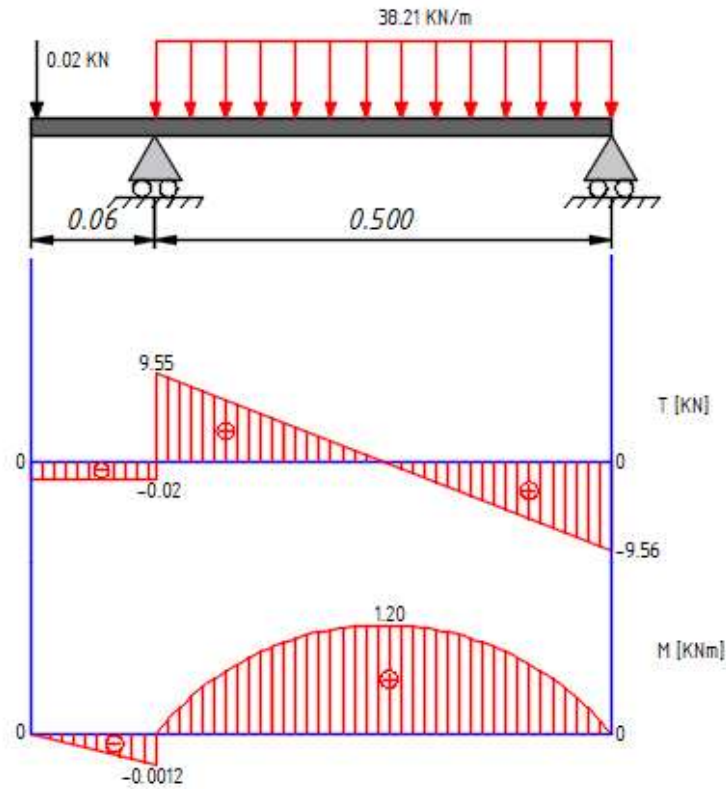


Figura 4.9: Gráfico da força cortante e momento flector do eixo. Fonte: (Autor)

O eixo será fabricado com aço SAE 1045, que possui um limite de escoamento, $\sigma_{esc} = 600$ MPa, e foi considerado um fator de segurança, $f_s = 2.5$. Na Equação (4.25) é obtida a tensão admissível, σ_{adm} [MPa]:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{esc}}{f_s} = \frac{600}{2.5} = 240 \text{ MPa} \quad (4.25)$$

Assim sendo, já são conhecidos todos os valores necessários para proceder ao cálculo do diâmetro mínimo do eixo, que será calculado através da Equação (4.14), já referida anteriormente.

$$\sigma_{adm} = \frac{16}{\pi \cdot d^3} * \sqrt{4 \cdot M_f^2 + 3 \cdot M_t^2} \Leftrightarrow d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi \cdot \sigma_{adm}} * \sqrt{4 \cdot M_f^2 + 3 \cdot M_t^2}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi \cdot 240 \cdot 10^6} * \sqrt{4 \cdot 1195.63^2 + 3 \cdot 361.36^2}} = 0.03743 \text{ m} = 37.43 \text{ mm}$$

Após os cálculos realizados observou-se que o veio tem de possuir um diâmetro superior a 37.43 mm. Devido aos vários esforços a que o eixo será sujeito, já calculados anteriormente, foi escolhido como diâmetro mínimo do eixo 40 mm para assegurar o bom funcionamento do triturador. Como será visto mais à frente, o eixo será escalonado, tendo 3 diâmetros diferentes ilustrado nos Apêndices com referência DEMA.25.01.01.TL para o eixo primário e DEMA.25.01.02.TL para o eixo movido.

4.3.2 Deflexão máxima do eixo

A deflexão máxima será calculada no escalão sextavado, visto que é a parte do eixo que suporta maiores esforços e o diâmetro externo relativamente a secção sextavada é de 65 mm. De modo a obter mais um meio de confirmação relativamente à segurança dos 65 mm de diâmetro, será calculada a deflexão do eixo da zona solicitada. Considerou-se para efeito de cálculo a mesma força distribuída exercida pelas lâminas e separadores e dois apoios encastrados como é ilustrado na Figura 4.10.

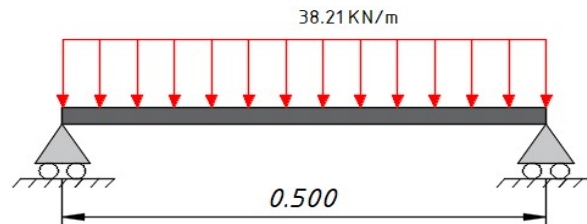


Figura 4.10: Digrama de carregadamente escalão sextavado. Fonte: (Autor)

Inicialmente, é calculado na Equação (4.26) o momento de inércia, I [m^4] do eixo com diâmetro, $d = 65$ mm.

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 65^4}{64} = 8.64 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4 \quad (4.26)$$

Sabendo o momento de inércia, é calculada através da Equação (4.27) a deflexão máxima, $\lambda_{\text{máx}}$ [m], onde l_t [m] é o comprimento da zona do eixo considerada para o cálculo.

$$\lambda_{\text{máx}} \leq \frac{l_t}{1000} = \frac{0.500}{1000} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m} \quad (4.27)$$

Segundo Beer (2012), a deflexão máxima λ [m], é dada pela Equação (4.28), onde E [Pa], é o módulo de elasticidade do aço SAE 1045.

$$\lambda = \frac{5 \cdot W \cdot l_t^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 38210 \cdot 0.500^4}{384 \cdot 200 \cdot 10^9 \cdot 8.64 \cdot 10^{-7}} = 1.8 \cdot 10^{-4} \text{ m} \leq \lambda_{\text{máx}} \quad (4.28)$$

As formulas para deflexão máximas estão ilustradas no Anexo A6.

4.4 Sistema de corte

4.4.1 Dimensionamento de lâminas corte e separadores

➤ Lâminas de corte

As lâminas de corte seguem um padrão normalizado para o seu dimensionamento, considerando a espessura e o tipo de material a ser cortado.

Para o dimensionamento das Lâminas, (Figura 4.11a), foi desenvolvido o projecto da geometria dos gumes de corte, visando obter quatro zonas de corte. A geometria do sextavado foi definida com base no diâmetro do eixo, previamente calculada utilizando a Equação (4.14) para determinar o diâmetro mínimo necessário. Com base na geometria do mecanismo de corte e nas recomendações do subcapítulo 2.2.4.2.1, a espessura da lâmina foi estabelecida em 10 mm.

➤ Separadores

A geometria do separador (Figura 4.11b), foi definida considerando as dimensões e o mecanismo de corte. Como os separadores não sofrem esforços mecânicos significativos, seu design foi projectado para facilitar o “agarre” do material, garantido um espaçamento adequado entre as lâminas. Para simplificação, os separadores possuem a mesma espessura e material das lâminas.

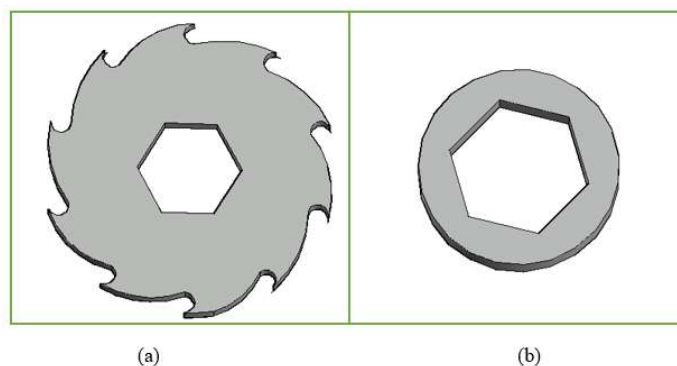


Figura 4.11: Geometria das peças: (a) Lâmina, (b) Separador. Fonte: (Autor)

Para a fabricação das lâminas e dos separadores, foi escolhido uma liga de aço SAE 1060 temperada e revenida. A geometria da lâmina e separador está detalhada nos Apêndices, com as referências DEMA.25.01.03.TL e DEMA.25.01.04.TL respectivamente.

4.4.2 Caixa

O dimensionamento da estrutura da caixa de corte teve início com a modelagem das peças, garantindo que atendessem aos requisitos geométricos necessários, como a carcaça dos mancais e a abertura da boca de alimentação de material (Tremonha).

A caixa é composta por quatro laterais, sendo que duas delas são responsáveis pela fixação dos mancais e são confeccionadas a partir de uma única chapa. A união dessas laterais é realizada por meio de parafusos, facilitando a montagem e desmontagem da caixa. Esse método permite que as lâminas e separadores sejam posicionados no eixo antes do fechamento das laterais.

Embora fosse possível soldar todas as laterais, essa opção tornaria a montagem das lâminas e separadores mais trabalhosa. O material escolhido para a estrutura da caixa são chapas de aço SAE 1020 laminadas a quente, com espessura de 1.5mm.

As dimensões das chapas frontais e laterais que formam a caixa estão detalhadas nos Apêndices sob as referências DEMA.25.01.05.TL e DEMA.25.01.06.TL.

4.4.3 Tremonha e bocal de saída do material

A tremonha direciona o material a ser triturado em direção as lâminas de corte e possui uma geometria em forma de pirâmide, com uma capacidade de 0.045m^3 . Sua concepção será feita em aço SAE 1020, e suas dimensões estão ilustradas nos desenhos técnicos dos Apêndices, com referência DEMA.25.01.07.TL e DEMA.25.01.08.TL.

Ao contrário da tremonha, não é necessário dimensionar o bocal de saída, pois a sua função é apenas conduzir o triturado. O material utilizado para a sua fabricação será o mesmo da tremonha, um aço carbono SAE 1020 laminado a quente. Suas dimensões e configurações estão ilustradas nos Apêndices, com referência DEMA.25.01.09.TL e DEMA.25.01.10.TL.

4.4.4 Peneira

A peneira será confeccionada em chapa perfurada de aço SAE 1020, com espessura de 1.5mm. Ela possui 740 furos de peneirar de 15mm de diâmetro, disposto alternadamente.

4.5 Estrutura de suporte

A estrutura de suporte será fabricado com perfis de secção quadrada de dimensões 40x40mm de aço SAE 1020 que serão unidos por soldadura de modo a obter uma estrutura robusta.

4.6 Pé

Para evitar a fixação directa dos suportes antivibrações nos perfis ocos, o que tornaria a montagem mais complexa, serão soldados pés à estrutura do triturador. Esses pés actuarão como intermediários entre a máquina e os suportes anti vibrações, conforme ilustrado na Figura 4.12.

Os pés serão confeccionados com barras forjadas de aço SAE 1045 de 7mm de espessura. Uma extremidade da barra será soldado ao perfil oco, enquanto a outra terá um furo, permitindo a fixação aparafusada entre o suporte antivibrações e a própria barra.

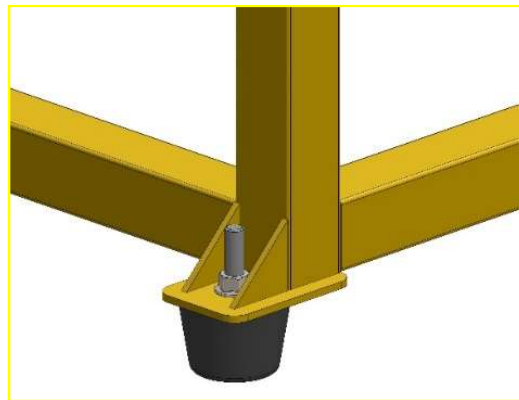


Figura 4.12: Ligação entre os suporte antivibrações e o triturador. Fonte: (Autor)

4.7 Dimensionamento de Rolamentos e seleção dos mancais

Em relação ao tipo de rolamento, foi considerado que as forças das reações nos apoios, $R_1 \cong R_2 = 6140 \text{ N}$, do eixo seriam aplicadas nos rolamentos. Sendo assim, a carga radial presente nos rolamentos será bastante considerável, de modo que, foi escolhido um rolamento auto compensador de esferas da SKF (Anexo A7). Este tipo de rolamento tem a vantagem de ter a capacidade de acomodar desalinhamentos o que leva a uma baixa manutenção e uma longa vida útil.

O cálculo normalizado (DIN 281) para os rolamentos dinamicamente solicitados tem por base a fadiga do material (formação de *pittings*), como causa da falha. Para escolher o modelo do rolamento é feita uma análise dinâmica na Equação (4.29), onde é calculado a capacidade de carga dinâmica do rolamento, $C \text{ [N]}$. Assume-se que a vida nominal de trabalho do rolamento, L_{10h} é de

5000 horas, n [rpm] é a velocidade angular do eixo e estando perante um rolamento de esferas. O expoente de duração de vida nominal p [Adimensional] é diferenciado para rolamentos de esferas ou de rolos, onde $p=3$ para rolamentos de esferas e $p=10/3$ para rolamentos de rolos.

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n} * \left(\frac{C}{P}\right)^p \Leftrightarrow C = P * \sqrt[p]{\frac{L_{10h} \cdot 60 \cdot n}{10^6}} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow C = 6140 * \sqrt[3]{\frac{5000 \cdot 60 \cdot 54.83}{10^6}} = 15615.22N \quad (4.29)$$

Em relação à análise estática, não será necessário fazer qualquer tipo de cálculo, pois as forças estáticas são bastantes insignificantes aquando comparadas com as cargas dinâmicas. Na Figura 4.13 é ilustrado o rolamento de esferas selecionado.



Figura 4.13: Rolamento esférico auto compensador. Fonte: Adaptado de (Cátalogo SKF, 2016)

Os mancais que atendem ao projecto são os do tipo flange, assim, optou-se por utilizar o mancal quadrado modelo MSF-UCR da fabricante ROLMAX (Anexo A8). A carcaça do mancal serviu de referência para iniciar o projecto geométrico da caixa de corte. A Figura 4.14 ilustra um mancal do tipo flange.



Figura 4.14: Mancal quadrado do tipo Flange. Fonte: (Cátalogo ROLMAX, 2011)

4.8 Dimensionamento de engrenagens

As rodas dentadas (Engrenagens) vão ser responsáveis pela transmissão de potência do motor-reductor aos eixos trituradores. De modo a realizar o dimensionamento das engrenagens, procedeu-se numa fase inicial à escolha do material do mesmo, recaindo pelo aço SAE 1045.

Na Figura 4.15, observa-se o histograma de carregamento do eixo na região do acoplamento da engrenagem, onde T [Nm] é o torque e t [h] é o tempo de trabalho da engrenagem.

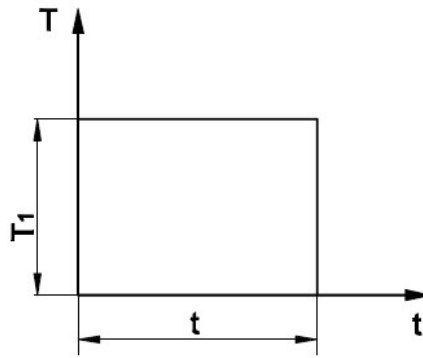


Figura 4.15: Histograma de carregamento do eixo. Fonte: (Autor)

4.8.1 Determinação das tensões de contacto admissíveis

Após a seleção do material determina-se as tensões de contacto admissíveis $[\sigma_{HC}]$ [MPa] na Equação (4.30), onde σ_{Hlim} [MPa] é limite de fadiga por contacto das superfícies dos dentes, Z_R [Adimensional] é o coeficiente de rugosidade das superfícies dos dentes conjugados, Z_V [Adimensional] é o coeficiente da velocidade circular ou tangencial, Z_L [Adimensional] é o coeficiente de lubrificação, K_{xH} [Adimensional] é o coeficiente que leva em conta as dimensões da roda dentada, e S_H [Adimensional] é o coeficiente de segurança.

$$[\sigma_{HC}] = \frac{\sigma_{Hlim} \cdot Z_R \cdot Z_V \cdot Z_L \cdot K_{xH}}{S_H} \quad (4.30)$$

Segundo (Iatsina & Siteo, 2005), o produto $Z_R \cdot Z_V \cdot Z_L \cdot K_{xH} = 0.9$.

O limite de fadiga por contacto das superfícies dos dentes é calculada na Equação (4.31), onde σ_{Hlimb} [MPa] é o limite de fadiga por contacto correspondente ao número básico de ciclos de variação das tensões e K_{HL} [Adimensional] é coeficiente de longevidade.

$$\sigma_{Hlim} = \sigma_{Hlimb} \cdot K_{HL} \quad (4.31)$$

O valor da tensão limite à fadiga por contacto das superfícies dos dentes, correspondente ao número básico de ciclos de variação das tensões, determina-se usando a Equação (4.32), onde HB [MPa] é a Dureza Brinell do material.

$$\sigma_{Hlimb} = 2 \cdot HB + 70 = 2 \cdot 200 + 70 = 470 \text{ MPa} \quad (4.32)$$

O coeficiente de longevidade, sendo a carga constante calcula-se por meio da Equação (4.33), onde N_{HO} [Adimensional] é o número básico de ciclos de variação das tensões correspondente ao limite de fadiga prolongado onde para dureza $H > \text{HRC } 56$ toma-se $N_{HO} = 120 \cdot 10^6$ e N_{HE} [Adimensional] é o número equivalente de ciclos de variação das tensões.

$$K_{HL} = \sqrt[24]{\frac{N_{HO}}{N_{HE}}} \quad (4.33)$$

O número equivalente de ciclos de variação das tensões para carregamento constante é calculada na Equação (4.34), onde n [rpm] é a frequência de rotação da roda dentada para a qual se determinam as tensões admissíveis, c [Adimensional] é o número de engrenamentos simultâneos numa roda e t [h] é o tempo de vida desejado para a transmissão ($t=10$ anos).

$$N_{HE} = 60 \cdot n \cdot c \cdot t = 60 \cdot 54.83 \cdot 1 \cdot 87600 = 288.2 \cdot 10^6 \quad (4.34)$$

Assim sendo, calcula-se o coeficiente de longevidade através da Equação (4.33).

$$K_{HL} = \sqrt[24]{\frac{120 \cdot 10^6}{288.2 \cdot 10^6}} = 0.96$$

Após a determinação do coeficiente da longevidade, calcula-se o limite de fadiga por contacto das superfícies dos dentes através da Equação (4.31) mencionada anteriormente.

$$\sigma_{Hlim} = 470 \cdot 0.96 = 451.2 \text{ MPa}$$

Assim sendo, já são conhecidos todos os valores necessários para proceder ao cálculo das tensões de contacto admissíveis, que será calculado através da Equação (4.30), já referida anteriormente.

$$[\sigma_{HC}] = \frac{451.2 \cdot 0.9}{1.1} = 369.2 \text{ MPa}$$

4.8.2 Determinação do diâmetro primitivo da engrenagem

Preliminarmente, o valor de orientação para o diâmetro primitivo é calculado através da Equação (4.35) [mm], onde K_d [MPa] é o coeficiente auxiliar, para transmissões por engrenagens com dentes rectos, $K_d = 770 \text{ MPa}^{1/3}$ (Anexo A9), T_{1H} [Nm] é o torque transmitido a engrenagem, $K_{H\beta}$ [Adimensional] é o coeficiente que leva em conta a irregularidade da distribuição da carga pela largura da coroa dentada (Anexo A10), u [Adimensional] é a relação de transmissão entre o pinhão e a coroa que é igual a 1, visto que ambas são iguais e ψ_{bd} [Adimensional] é coeficiente de largura da roda dentada (Anexo A11).

$$d_w = K_d \cdot \sqrt[3]{\frac{T_{1H} \cdot K_{H\beta}}{\psi_{bd} \cdot [\sigma_{HC}]^2} \left(\frac{u+1}{u} \right)} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow d_w = 770 \cdot \sqrt[3]{\frac{361.36 \cdot 1}{1 \cdot 369.2^2} \left(\frac{1+1}{1} \right)} = 134.13 \cong 140 \text{ mm}$$
(4.35)

De modo a obter mais um meio de confirmação relativamente à segurança o diâmetro primitivo toma – se diâmetro igual a 140 mm.

4.8.3 Determinação dos parâmetros geométricas e das forças

Na Figura 4.16, observa-se o diagrama de corpo livre das engrenagens onde observa-se a posição das forças do par engrenado.

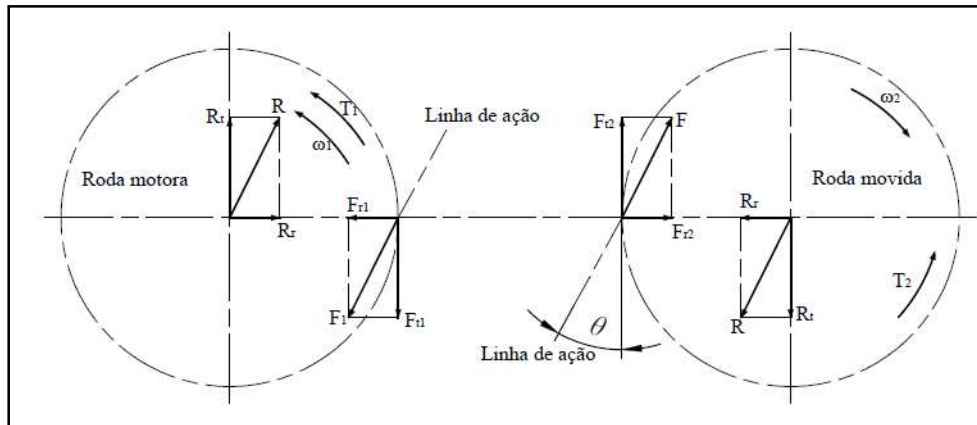


Figura 4.16: Diagrama do corpo livre do par de engrenagens. Fonte: Autor

Considerando que as engrenagens terão 32 dentes, através das Equações (4.36) - (4.45) da tabela 4.12 determinam se os principais parâmetros geométrico das engrenagens.

Tabela 4.9: Parâmetros geométricos principais da transmissão.

Parâmetro	Equação (n°)	Valor	Unidade
Modulo	$m = \frac{d_w}{z}$ (4.36)	5	mm
Diâmetro da base	$d_b = d_w \cdot \cos \alpha$ (4.37)	135.56	mm
Diâmetro externo	$d_a = d_w + 2m$ (4.38)	150	mm
Diâmetro do fundo da raiz	$d_f = d_w - 2.5m$ (4.39)	127.5	mm
Altura do dente	$h_x = 2.25m$ (4.40)	11.25	mm
Altura da cabeça do dente	$h_a = m$ (4.41)	5	mm
Altura do pé do dente	$h_f = 1.25m$ (4.42)	6.25	mm
Passo tangencial	$P_{ta} = \pi \cdot m$ (4.43)	15.71	mm
Largura do dente	$b_w = (0.2..0.6) \cdot d_w$ (4.44)	30	mm
Passo da base	$P_b = P_{ta} \cdot \cos \alpha$ (4.45)	14.76	mm

Fonte: Autor

Através da Equação (4.46) calcula se a força tangencial [N], onde T_{1H} [Nm] é o torque transmitido à engrenagem, d_w [m] é o diâmetro primitivo e na Equação (4.47) é calculada a força radial, onde α [rad] é o ângulo primitivo.

Força tangencial:

$$F_t = \frac{2 \cdot T_{1H}}{d_w} = \frac{2 \cdot 361.36}{0.140} = 5162.3 \text{ N} \quad (4.46)$$

Força radial:

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha = 5162.3 \cdot \tan 20^\circ = 1878.92 \text{ N} \quad (4.47)$$

4.8.4 Resistência dos dentes à fadiga por flexão

A tensões de flexão σ_F [MPa] para o par de engrenagens é calculado através da Equação (4.48), onde, F_t [N] é a força tangencial que actua na engrenagem, K_F [Adimensional] é coeficiente de carga de cálculo que varia entre 1 a 1.5, Y_F [Adimensional] é o coeficiente de forma do dente (Anexo A12), b_w [mm] é a largura do dente e m [mm] é o modulo.

$$\sigma_F = \frac{F_t \cdot K_F}{b_w \cdot m} \cdot Y_F = \frac{5162.3 \cdot 1.25}{30 \cdot 5} \cdot 3.78 = 162.61 \text{ MPa} \leq \sigma_{adm} \quad (4.48)$$

4.9 Dimensionamento de ligações

4.9.1 Ligações Enchavetadas

As chavetas são elementos de máquinas utilizados tanto para fixação de peças como para a transmissão de movimento entre peças. Os exemplos típicos de peças unidas por chavetas são veios e cubos de polias, engrenagens, uniões de veios, volantes e outros.

Para se proceder à ligação do eixo à engrenagem, optou-se pela utilização de uma chaveta prismática. O momento de torção aplicado no eixo $T_{1H}=361.36 \text{ Nm}$, a tensão admissível ao corte $\tau_{adm}[\text{MPa}]$ segundo Sítioe (2006) está na faixa (60..90) e a tensão admissível ao esmagamento, $\sigma_{adm}=240 \text{ MPa}$, para todos elementos que serão fabricados por aço SAE 1045, considerando um fator, $f_s=2.5$ como visto anteriormente o eixo e a engrenagem serão feitos pelo mesmo aço.

Consultou-se ainda o catálogo das chavetas da OpaC (Anexo A13), optando-se por uma chaveta prismática em aço SAE 1045.



Figura 4.17: Chaveta prismática selecionada da OpaC. Fonte: Adaptado de (Catálogo OpaC, 2025)

Tendo em conta que as chavetas da OpaC são produzidas segundo a norma DIN 6885, foi consultada a tabela “Tabela de Furo e Rasgo de Chaveta Conforme Norma DIN 6885A”, e retirou-se a largura, $b = 12 \text{ mm}$ e a altura, $h = 8 \text{ mm}$, da chaveta segundo um diâmetro do veio $d = 40 \text{ mm}$ (Anexo A13).

Para calcular o comprimento mínimo da chaveta, $l [\text{mm}]$, é utilizado o teste de critério de esmagamento e de corte da mesma como se pode verificar nas Equações (4.49) e (4.50) respectivamente.

$$l = \frac{4 \cdot T_{1H}}{h \cdot d \cdot \sigma_{adm}} = \frac{4 \cdot 361.36}{0.008 \cdot 0.04 \cdot 240 \cdot 10^6} = 0.0188 \text{ m} = 18.8 \text{ mm} \quad (4.49)$$

$$l = \frac{2 \cdot T_{1H}}{b \cdot d \cdot \tau_{adm}} = \frac{2 \cdot 361.36}{0.012 \cdot 0.04 \cdot 90 \cdot 10^6} = 0.0121 \text{ m} = 12.1 \text{ mm} \quad (4.50)$$

A partir do catálogo das chavetas da OpaC (Anexo A13) analisaram-se as chavetas com $b = 12$ mm e $h = 8$ mm, que satisfaz o requisito $l \geq 18.8$ mm. Podendo ser escolhido qualquer comprimento, optou-se pela chaveta com referência 51A-12-8-28 que possui um comprimento de 28 mm.

Ainda é de realçar que também é necessário abrir um escatel no veio com a mesma largura e comprimento da chaveta conforme recomendações do Anexo A14.

4.9.2 Acoplamento flexível

Os acoplamentos possuem a função principal de promover a transmissão de torque de um acionamento e são utilizados em diferentes tipos de equipamentos na indústria. Além de conectar sistemas maquinários unindo eixos, esses elementos são responsáveis por reduzir vibrações, absorver choques, compensar desalinhamentos (axiais, radiais e angulares), aumentar a vida útil de redutores, motoredutores e máquinas acionadas. (Catálogo MQP - Muequipar, 2025).

Para a seleção do acoplamento que permite a união do eixo de saída do redutor com o eixo de entrada do mecanismo de corte, optou-se por utilizar um acoplamento flexível. Isso permite acoplar os eixos compensando possíveis desalinhamentos, absorva possíveis vibrações, além de servir como um “fusível mecânico”, caso ocorra algum choque mecânico no mecanismo de corte, protegendo o conjunto do motor-redutor.

Consultou-se ainda o catálogo de acoplamento ACIONAC (Anexo A16), optando-se por um acoplamento da forma AE, ilustrada na Figura 4.18.



Figura 4.18: Acoplamento elástico AE. Fonte: Adaptado de (Catálogo MQP - Muequipar, 2025)

Para a seleção convencional do acoplamento, primeiro determina-se o torque $M_{t,ac}$ [Nm] que actua no acoplamento pela Equação (4.51), onde, P_m [KW] é a potência da máquina, n_{ac} [rpm] é a rotação do acoplamento, F_1 [Adimensional] é fator do tipo de acionamento, F_2 [Adimensional] é o fator de tempo de serviço e F_3 [Adimensional] é o fator do tipo de máquina acionada. Todos os fatores são foram seleccionados no Anexo A15.

$$M_{t,ac} = 9950 \cdot \frac{P_m}{n_{ac}} \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 = 9950 \cdot \frac{2.2}{54.83} \cdot 1 \cdot 1.1 \cdot 1.8 = 758.71 \text{ Nm} \quad (4.51)$$

A partir do catálogo ACIONAC (Anexo A15), selecciona-se o acoplamento com Forma AE e tamanho 168.

4.9.3 Ligações aparafusadas

Para garantir a fixação de certos componentes do triturador, foram utilizadas ligações aparafusadas, pois nestes casos é necessário estabelecer uma ligação mecânica desmontável. Ao todo serão feitas 56 ligações aparafusadas, 16 ligações M14, 4 ligações M10 e 36 ligações M8. Todos os parafusos e porcas são do catálogo da Norelem, onde os parafusos seguem a norma DIN 933/ISO 4017 (Anexo A17) e as porcas a norma DIN 934 (Anexo A18). Na Tabela 4.10 são apresentados todos os parafusos e porcas do triturador.

Tabela 4.10: Lista de parafusos e porcas do triturador

Qtd.	Parafuso	Classe do parafuso	Porca	Classe da porca	Ligação
4	M10 → 07171-08X25	8.8	M10 → 07210 – 210	8.8	Estrutura → Motor-redutor
16	M14 → 07171-14X45	8.8	M14 → 07210 – 214	8.8	Mancal → Chapa lateral da caixa
8	M8 → 07171-08X25	8.8	M8 → 07210 – 208	8.8	Tremonha → Chapa frontal e lateral
12	M8 → 07171-08X25	8.8	M8 → 07210 – 210	8.8	Chapa frontal da caixa → Chapa lateral da caixa
8	M8 → 07171-08X25	8.8	M8 → 07210 – 210	8.8	Chapa frontal → Estrutura
4	M8 → Suporte antivibrações	—	M8 → 07210 – 210	8.8	Pé → Suporte antivibrações
4	M8 → 07171-08X25	8.8	M8 → 07210 – 210	8.8	Chapa lateral → Estrutura

Fonte: (Autor)

Para todas as ligações aparafusadas vai existir uma anilha em cada. Todas as anilhas são da Fortress (Anexo A22) e para cada ligação M8, utiliza-se anilha WM8163G, para as ligações M10 são utilizadas as anilhas WM10G e para as ligações M14 são utilizadas as anilhas WM14G. Todas as anilhas seguem a norma DIN 127.

4.9.3.1 Ligação aparafusada dos suportes antivibrações

Todas as ligações aparafusadas estão sujeitas a forças mesmo sendo mínimas. Apenas em uma das ligações do triturador se justificou fazer algum tipo de cálculo no sentido de verificar se os esforços aplicados eram suportados. Esta ligação é entre os pés e os suportes antivibrações, pois suporta todo o peso do triturador. O triturador completo pesa cerca de 300 kg e possuirá 4 suportes antivibratórios, logo em cada suporte estará aplicado cerca de $75 \text{ kg} = 735.75 \text{ N}$.

Não tendo o conhecimento da classe do macho do suporte antivibratório, assumiu-se a classe de parafusos mais baixa, de 4.6, que possui um limite de escoamento, $\sigma_{esc} = 240 \text{ MPa}$ (Anexo A21)

e um módulo de elasticidade, $E = 210 \text{ GPa}$. Na Equação (4.52) é calculada a tensão admissível, $\sigma_{adm}[\text{MPa}]$:

$$\sigma_{adm} = 0.7 * \sigma_{esc} = 0.7 * 240 = 168 \text{ MPa} \quad (4.52)$$

A rigidez efetiva da parte tracionada do parafuso $k_b[\text{N/mm}]$ é calculada na Equação (4.53), onde, $k_d[\text{N/mm}]$ é a rigidez da parte roscada, $k_t[\text{N/mm}]$ é a rigidez da parte não roscada, mas como o suporte não possui parte não roscada, logo $k_t = 0 \text{ N/mm}$, $l_s[\text{mm}]$ é o comprimento da parte roscada (Anexo A31) e $A_t[\text{N/mm}]$ é a área de tensão de tração, observável no Anexo A20.

$$\frac{1}{k_b} = \frac{1}{k_d} + \frac{1}{k_t} \Leftrightarrow k_b = k_d = \frac{A_t \cdot E}{l_s} = \frac{36.6 \cdot 210 \cdot 10^3}{25} = 3.07 \cdot 10^5 \text{ N/mm} \quad (4.53)$$

Para esta ligação será utilizada a porca M8 e foi consultado o catálogo “Porcas sextavadas DIN 934” da Norelem (Anexo A18), que por sua vez foi retirada a largura da cabeça da porca utilizada, $D = 13 \text{ mm}$ e retirou-se da tabela do diâmetro dos furos de passagem de parafusos em função do diâmetro nominal (Anexo A19) o diâmetro aconselhado do furo para este tamanho de parafuso, $d = 9 \text{ mm}$. Na Equação (4.54) é calculada a rigidez do conjunto, $k_m[\text{N/mm}]$ onde $s[\text{mm}]$ é a espessura o pé e $\varphi[\text{rad}]$ é o ângulo de ápice da rosca, ($\varphi = 30^\circ$) para roscas métricas.

$$k_m = \frac{\pi \cdot E \cdot d \cdot \tan \varphi}{\ln \left[\frac{(2s \tan \varphi + D - d_{fu})(D + d_{fu})}{(2s \tan \varphi + D + d_{fu})(D - d_{fu})} \right]} = \frac{3.14 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 9 \cdot \tan 30}{\ln \left[\frac{(2 \cdot 7 \tan 30 + 13 - 9)(13 + 9)}{(2 \cdot 7 \tan 30 + 13 + 9)(13 - 9)} \right]} \quad (4.54)$$

$$\Leftrightarrow k_m = 3.66 \cdot 10^6 \text{ N/m}$$

Na Equação (4.55) é calculada a força absorvida pelo parafuso, $F_p[\text{N}]$, onde $F_a[\text{N}]$ é a força aplicada em cada suporte antivibrações.

$$F_p = \frac{k_b}{k_b + k_m} * F_a = \frac{3.07 \cdot 10^5}{3.07 \cdot 10^5 + 3.66 \cdot 10^6} * 735.75 = 56.94 \text{ N} \quad (4.55)$$

Por fim, através Equação (4.56) é obtida a tensão na ligação aparafusada, $\sigma_{par}[\text{MPa}]$ e comparada à tensão admissível.

$$\sigma_{par} = \frac{F_b}{A_t} = \frac{56.94}{36.6} = 1.56 \text{ MPa} \ll 168 \text{ MPa} \quad (4.56)$$

Após a realização dos cálculos de resistência desta ligação aparafusada, conclui-se que mesmo sendo a ligação do triturador mais solicitada, a tensão presente é cem vez menor do que a tensão admissível, cumprindo assim, os requisitos exigidos.

4.9.4 Ligações soldadas

Para conseguir ligar várias partes do triturador e até conseguir a construção de algumas peças, foram utilizadas ligações soldadas. A soldadura é uma ligação mecânica fixa (não desmontável) o que após a realização desta, não é possível desmontar os componentes soldados.

O triturador possuirá um número considerável de soldaduras e todas essas ligações estão sujeitas a esforços, mas apenas se justificou realizar cálculos na soldadura da chapa que suporta as antivibrações, pois é a mais requisitada teoricamente. Os restantes tamanhos dos cordões de soldadura estão cotados segundo a norma AWS D1.1 observável no Anexo A23, onde são apresentadas cordões mínimos de soldadura em função da espessura da chapa.

4.9.4.1 Ligações soldadas na chapa que suporta as antivibrações

Como foi estimado anteriormente o peso total do triturador (300Kg) e que o mesmo possuirá 4 suportes antivibrações, em cada suporte estará aplicado cerca de $75 \text{ kg} = 735.75 \text{ N}$. As vibrações do triturador criam um momento na extremidade da barra de suporte que é paralelo ao plano dos cordões. O momento do suporte da barra $M[\text{Nmm}]$ é obtido na Equação (4.57), onde o $x[\text{mm}]$ representa o comprimento total da barra do suporte antivibrações.

$$M = F_a \cdot x = 735.75 \cdot 80 = 58860 \text{ Nmm} \quad (4.57)$$

Para o carregamento onde o momento é paralelo ao plano dos cordões, o momento da área da secção crítica, $I_a[\text{mm}^4]$, é dado na Equação (4.58), onde $h[\text{mm}]$ é altura dos catetos dos cordões de soldadura e $J_u[\text{mm}^3]$ representa o segundo momento da área por unidade de comprimento de secção crítica.

$$I_a = J_u \cdot h \cdot \sin 45^\circ \quad (4.58)$$

Sabendo que estão presentes dois cordões de soldadura e são paralelos (Anexo A24), o valor do segundo momento de área por unidade de comprimento de secção crítica é calculado na Equação (4.59), em que d_c [mm] é a distância entre os cordões de soldadura, ou seja, a largura do perfil quadrado.

$$J_u = \frac{d_c^3}{6} = \frac{40^3}{6} = 10666.67 \text{ mm}^3 \quad (4.59)$$

Logo, já é possível calcular o segundo momento de área da secção crítica em função da altura dos catetos dos cordões, como se pode verificar na Equação (4.60).

$$I_a = 10666.67 \cdot h \cdot \sin 45^\circ = 7542.47h \text{ mm}^4 \quad (4.60)$$

Para se definir a tensão normal, σ [MPa] e a tensão de corte da secção crítica, τ [MPa] é determinado primeiro, na Equação (4.61) o valor da distância do plano neutro ao ponto mais afastado do cordão, c [mm].

$$c = \frac{d_c}{2} = \frac{40}{2} = 20 \text{ mm} \quad (4.61)$$

É possível então, calcular o valor da tensão normal e da tensão de corte provocadas pelo momento, através da Equação (4.62).

$$\sigma = \tau = \frac{M \cdot c}{I_a} = \frac{58860 \cdot 20}{7542.47h} = \frac{156.08}{h} \text{ MPa} \quad (4.62)$$

O critério de Tresca permite calcular a tensão de comparação, sendo este apresentado na Equação (4.63).

$$\begin{aligned} \sigma_{com} &= \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq \sigma_{adm} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \sqrt{\left(\frac{156.08}{h}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{156.08}{h}\right)^2} &\leq \sigma_{adm} \end{aligned} \quad (4.63)$$

$$\Leftrightarrow \frac{349.01}{h} \leq \sigma_{adm}$$

Na Equação (4.64) é calculada a tensão admissível, σ_{adm} [Mpa], onde é considerado um fator de segurança, $f_s = 2,75$ e o limite do escoamento do aço SAE 1020 laminado a frio, como já visto anteriormente é 350 MPa.

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{esc}}{f_s} = \frac{350}{2.75} = 127.27 \text{ MPa} \quad (4.64)$$

Por fim, na Equação (4.65) é obtida a altura mínima dos catetos do cordão de soldadura.

$$\frac{349.01}{h} \leq 127.27 \Leftrightarrow h \geq 2.74 \text{ mm} \quad (4.65)$$

Por questão de segurança e recomendações observáveis no Anexo A23, opta-se por realizar um cordão com $h = 5 \text{ mm}$ à volta do suporte inteiro, como indicado nos desenhos técnicos.

4.10 Seleção dos apoios anti vibrações

Os apoios anti vibração são constituídos por um bloco de borracha com dois extremos metálicos paralelos, que permitem a sua fixação através de parafusos no “modelo fêmea” e de porcas no “modelo macho”, ou até uma combinação de ambos os modelos.

O equipamento trabalha em baixa rotação, porém, apresenta certas vibrações devido ao processo de fragmentação, por isso para o projecto seleccionou-se a partir do Catálogo da Hidromarinha (Observável no Anexo A31) um apoio cilíndrico macho ilustrado na Figura 4.19 com referência AP4.04020M010, cujo a carga máxima de compressão é 160 MPa.



Figura 4.19: Apoio anti vibrações cilíndrico macho. Fonte: (Catálogo Hidromarinha, 2022)

4.11 Capacidade de trabalho da Máquina

A capacidade de trabalho da máquina, $Q[\text{Kg/h}]$, é determinada utilizando a Equação (4.66), onde $V[\text{m}^3]$ representa o volume da tremonha, $T[\text{h}]$ é o tempo necessário para esvaziar a tremonha (estimado em 6 minutos, equivalente a 0.1h) e $\rho_{pp}[\text{kg/m}^3]$ corresponde à densidade aparente do polipropileno, considerado o termoplástico mais resistente entre os analisados.

$$Q = \frac{V}{T} * \rho_{pp} = \frac{0.045}{0.1} * 600 = 270 \text{ Kg/h} \quad (4.66)$$

4.12 Tolerânciamento

4.12.1 Tolerânciamento dimensional

4.12.1.1 Tolerânciamento do rolamento

As tolerâncias dimensionais e de giro dos rolamentos são padronizadas pela norma DIN 620. O rolamento escolhido para o triturador, conforme mencionado anteriormente, possui uma tolerância dimensional do furo P6.

Dessa forma, ao consultar a tabela da página 56 do Catálogo de rolamentos da FAG (1999), observável no Anexo A25, verificou-se que, para furos com diâmetro nominal de 40 mm e tolerância P6, é indicado um veio com tolerância dimensional de $-10 \mu\text{m}$.

4.12.1.2 Tolerâncionamento da chaveta

A chaveta selecionada é do catálogo da OpaC, conforme mencionado anteriormente, e suas tolerâncias são especificadas da seguinte forma: a altura da chaveta possui tolerância h11 e a largura h9 conforme a norma DIN 6880.

Como esta chaveta segue a norma DIN 6885/1, consultou-se a tabela representada no Anexo A14, para determinar as tolerâncias do escatel do veio. Para a largura do escatel optou-se por uma tolerância N9, enquanto para a profundidade, em veios com 40 mm, a tolerância é de $+0,2 \text{ mm}$.

4.12.1.3 Tolerâncionamento entre o Eixo e a Engrenagens

Primeiramente, foi definido que o escalão mínimo do eixo será acoplado as engrenagens e que possui um diâmetro de 40 mm.

Define-se a tolerância do eixo T_x [mm] e a do furo da engrenagem, onde o eixo será montado, como T_y [mm]. Ambas as cotas possuem a mesma dimensão nominal, mas, devido às limitações do processo de fabricação, essas dimensões exatas seriam impossível de produzir. Por isso, é necessário garantir o seu toleranciamento, assegurando o bom funcionamento do conjunto.

Atribui-se então, uma folga entre 0,05 e 0,15 mm, resultando em uma tolerância de folga de $IT = 0,15$ mm.

Em seguida, aplicou-se o Método da Precisão Constante, pois o problema trata da Síntese de Tolerâncias, em que se conhece a tolerância do conjunto, mas não as tolerâncias individuais dos componentes. Na Equação (4.67) o valor é calculado com base na relação entre T_x e T_y , onde DN [mm] representa a dimensão nominal, e porque furo do engrenagem é mais complicado de maquinar do que o veio, T_y é elevado a 2.

$$\frac{T_x}{T_y} = \frac{0.45 \cdot \sqrt[3]{DN} + 0.001 \cdot DN}{(0.45 \cdot \sqrt[3]{DN} + 0.001 \cdot DN)^2} = \frac{0.45 \cdot \sqrt[3]{40} + 0.001 \cdot 40}{(0.45 \cdot \sqrt[3]{40} + 0.001 \cdot 40)^2} = 0.63 \quad (4.67)$$

Na Equação (4.68) é realizado um sistema de equações de modo a obter os valores de T_x e T_y .

$$\begin{cases} T_x + T_y = 0.15 \\ \frac{T_x}{T_y} = 0.63 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} T_x = 0.058 \text{ mm} \\ T_y = 0.092 \text{ mm} \end{cases} \quad (4.68)$$

Deste modo, pela tabela de valores das tolerâncias para as classes de qualidade observável no Anexo A26, para a dimensão nominal de 40 mm e para T_y verifica-se que está compreendido entre $IT9 = 0.062$ mm e $IT10 = 0.1$ mm. Admitindo que a dimensão Y possui IT9 e a mesma encontra-se na posição de campo H (Anexo A27), então $Y = 40H9 = 40_0^{+0.062}$ mm.

De acordo com o Anexo A29, para o processo de fabricação de fresagem, que é o processo pelo qual é produzido a peça Y (engrenagem), tem-se que o IT9 é um valor possível.

Em seguida, na Equação (4.69) são calculadas a dimensão máxima, $d_{m\acute{a}x}$ [mm] e a dimensão mínima, $d_{m\acute{i}n}$ [mm] do eixo, enquanto na Equação (4.70) são calculados o desvio superior, es [mm] e o desvio inferior, ei [mm] do mesmo.

$$\begin{cases} F_{m\acute{a}x} = Y_{m\acute{a}x} - d_{m\acute{i}n} \\ F_{m\acute{i}n} = Y_{m\acute{i}n} - d_{m\acute{a}x} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} d_{m\acute{i}n} = Y_{m\acute{a}x} - F_{m\acute{a}x} = 40.062 - 0.15 = 39.912 \text{ mm} \\ d_{m\acute{a}x} = Y_{m\acute{i}n} - F_{m\acute{i}n} = 40 - 0.05 = 39.950 \text{ mm} \end{cases} \quad (4.69)$$

$$\begin{cases} d_{m\acute{i}n} = d_n + ei \\ d_{m\acute{a}x} = d_n + es \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} ei = d_{m\acute{i}n} - d_n = 39.912 - 40 = -0.088 \text{ mm} \\ es = d_{m\acute{a}x} - d_n = 39.950 - 40 = -0.050 \text{ mm} \end{cases} \quad (4.70)$$

Assim, tem-se que $X = \varnothing 40_{-0.088}^{0.05}$ mm, que de acordo com o Anexo A26, para $T_x = 0.038$ mm, encontra-se entre $IT7 = 0.025$ e $IT8 = 0.039$. Admitindo um $IT8$, do Anexo A28 de desvios de referências dos veios o desvio superior ($es = 0.05$), corresponde ao desvio fundamental “e”, deste modo temos: $X = \varnothing 40e = \varnothing 40_{-0.088}^{0.05}$ mm.

4.13 Seleção e dimensionamento de dispositivos elétricos

4.13.1 Contactor

O contactor é um dispositivo electromecânico que permite, a partir de um circuito de comando, efectuar o controle de cargas num circuito de potência. Essas cargas podem ser de qualquer tipo, de tensão diferente do circuito de comando, e até conter múltiplas fase.

O contactor funciona a partir de uma bobina electromagnética que, quando energizada, cria um campo magnético capaz de atrair um núcleo móvel. Esse núcleo, ao se mover, fecha os contactos principais, permitindo a passagem de corrente eléctrica para o equipamento que se deseja acionar.

Para dimensionar o contactor, primeiramente, calcula-se a corrente nominal do motor utilizando a Equação (4.71). Nessa Equação, P_m [W] representa a potência do motor, U [V] é a tensão de linha, $\cos(\varphi)$ [%] corresponde ao factor de potência, η [%] é o rendimento do motor e F_s [Adimensional] é o fator de segurança.

$$I_n = \frac{P_m}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \eta} * F_s = \frac{2.2 * 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.81 \cdot 0.94} * 1.25 = 5.49 \text{ A} \quad (4.71)$$

Após determinar a corrente nominal, consulta-se o catálogo da WEG (Anexo A30) para selecionar um contactor adequado. O contactor selecionado possui as seguintes características:

- ✓ Tipo/Modelo: AC-3
- ✓ Referência: CWB9-11-30
- ✓ Máxima corrente nominal: 9A

4.13.2 Relé

Um rele térmico é um dispositivo electromecânico de proteção que serve como um interruptor para controlar o fluxo de corrente e evitar que motores eléctricos sofram danos por sobrecarga. Ele consiste em uma bobina, contatos e invólucro semelhante a um contactor. Quando a bobina é energizada, ela gera um campo magnético, ela atrai os contatos, fechando ou abrindo o circuito.

Após determinar a corrente nominal, o catálogo da WEG (Anexo A30) indica o tipo e o modelo do relé a ser acoplado directamente no contactor. O relé térmico, dimensionado para esse sistema, possui as seguintes características:

- ✓ Tipo/Modelo: Relé de sobrecarga
- ✓ Referência: RW27-203-D063
- ✓ Corrente de ajuste: 4...6.3A
- ✓ Fusível Máximo (gL/gG): 16A

Na Figura 4.20 está ilustrada a ligação directa entre o relé térmico, o contactor e a carga.

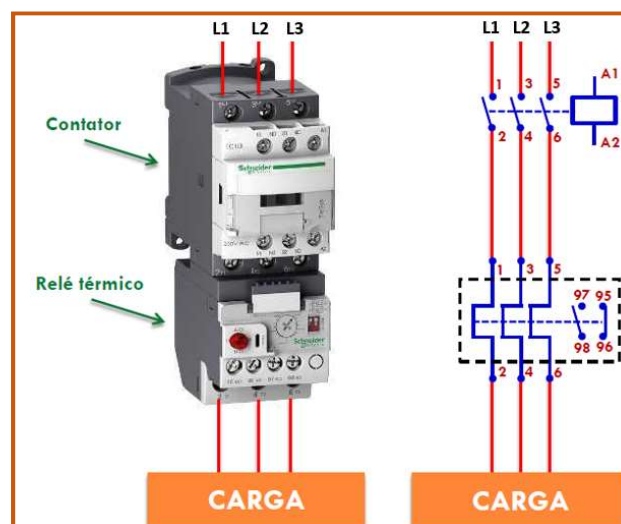


Figura 4.20: Ligação entre o contactor e relé térmico. Fonte: Adaptado de (Zander, 2024)

4.13.3 Botoeiras

Botoeiras são dispositivos de comando, que tem como função estabelecer ou interromper a carga em um circuito de comando, a partir de um acionamento manual. São constituídos por um botão normalmente aberto (NA), tipo campainha, que pressionado energiza a bobina do contactor. Para desliga-lo, emprega-se uma botoeira do tipo normalmente fechada (NF) que pressionada abre o circuito desenergizando a bobina. Os tipos de botoeira variam quanto as formatos, aplicações e cores, para esse projecto foi escolhido uma botoeira de modelo: CP2-LD ilustrado na Figura 4.21.



Figura 4.21: Botoeira dupla liga desliga. Fonte: <https://www.eletricawf.com.br>

5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Com a realização das pesquisas e do dimensionamento, juntamente com análise estrutural, foi possível verificar a o custo de fabricação do triturador para polímeros termoplásticos.

A carcaça da unidade de trituração foi modelada em chapas lisas de aço carbono SAE 1045. As lâminas de corte e separadores foram fabricados em aço carbono SAE 1060, ambos com espessura de 10mm. O bocal de alimentação tem capacidade de 0.045m^3 e foi projectado em chapas de aço SAE 1020 com espessura de 1.5mm, mesma especificação adotada também para o bocal de saída. A capacidade de trabalho do triturador é de 270 Kg/h.

O quadro de sustentação e os pés foram construídos em tubos quadrado de 40x40x1.8 mm, utilizando material SAE 1020.

O motoredutor escolhido foi o modelo GC 35/2R, da fabricante alemã SEW, que possui uma relação de transmissão de 31.01 e potência efetiva de 2.2 KW (3 CV). O motor elétrico selecionado possui quatro polos e opera na frequência da rede elétrica moçambicana de 60Hz, com uma rotação de 1700 rpm devido ao escorregamento. O rendimento informado pelo fabricante para o motor-reductor está na faixa de 94%.

Na Figura 5.1 e 5.2, é ilustrado o modelo completo do triturador em SolidWorks 3D.

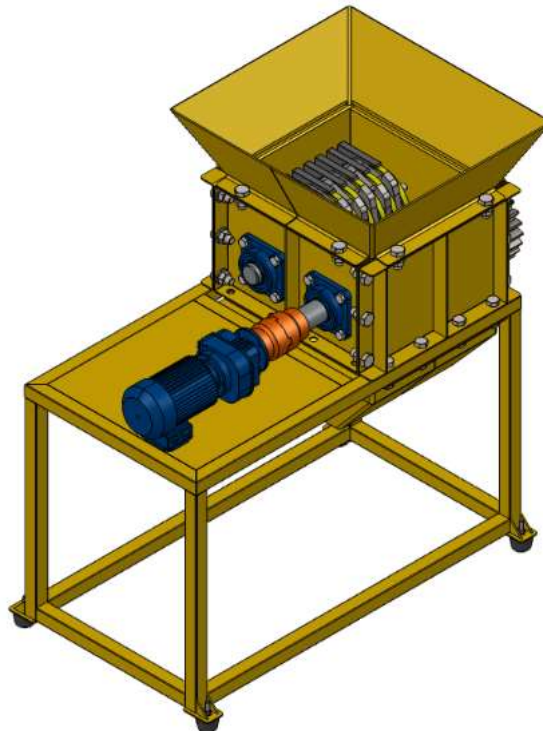


Figura 5.1: Vista à esquerda do Modelo final. Fonte: (Autor)

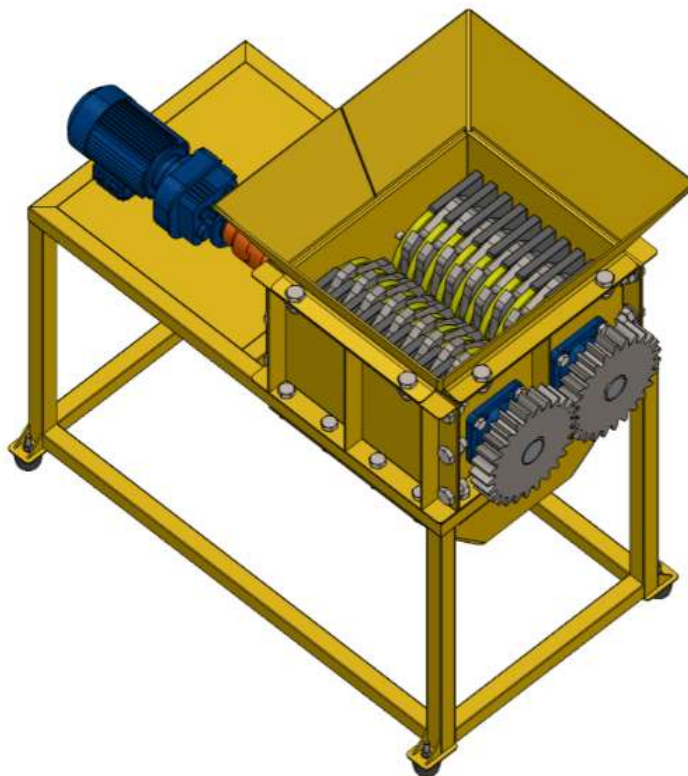


Figura 5.2: Vista de Cima do Modelo final. Fonte: (Autor)

5.1 Esquema cinemático

O esquema cinemático do projecto é ilustrado na Figura 5.3, o mesmo foi adequadamente dimensionado, garantindo um funcionamento eficiente e minimizando perdas mecânicas (Aproximadamente a 6.83% conforme a Tabela 4.7).

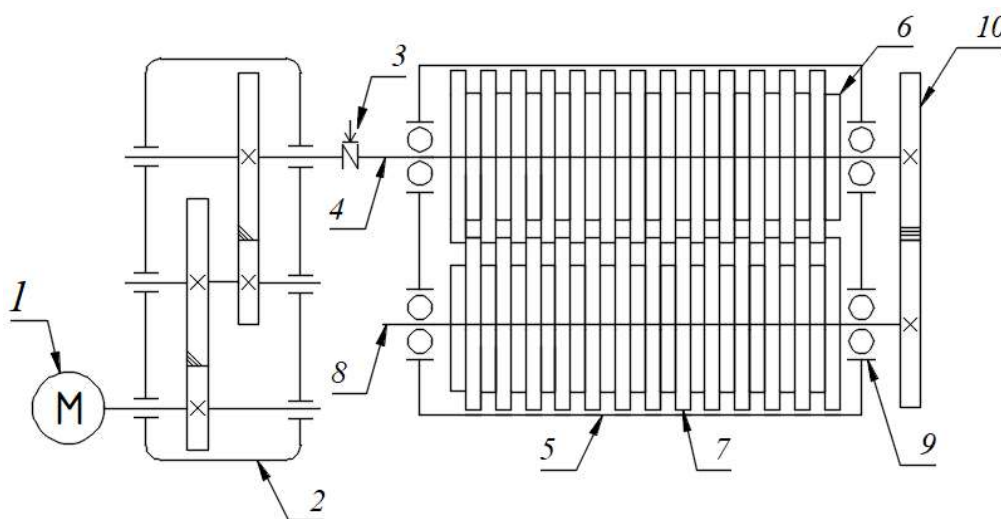


Figura 5.3: Esquema cinemático do triturador. Fonte: (Autor)

Legenda:

1. Motor elétrico
2. Redutor
3. União flexível
4. Eixo I
5. Caixa
6. Separador
7. Disco de corte
8. Eixo II
9. Mancais de rolamentos
10. Engrenagem de transmissão

5.2 Estrutura de funções da máquina

Para a melhor compreensão do funcionamento do triturador foi elaborado a estrutura de funções do mesmo, onde, os retângulos que se encontram dentro do tracejado são as funções principais do triturador. Por baixo das funções fora do tracejado estão expostos os métodos de funcionamento para cada função, por cima e também fora do tracejado estão descriminadas as acções necessárias para a execução das funções. Do lado esquerdo por fora do tracejado encontra-se o material de entrada (*input*) e do lado direito o material de saída (*output*). Entre as funções encontra-se o material de saída da função anterior e o material de entrada na função seguinte.

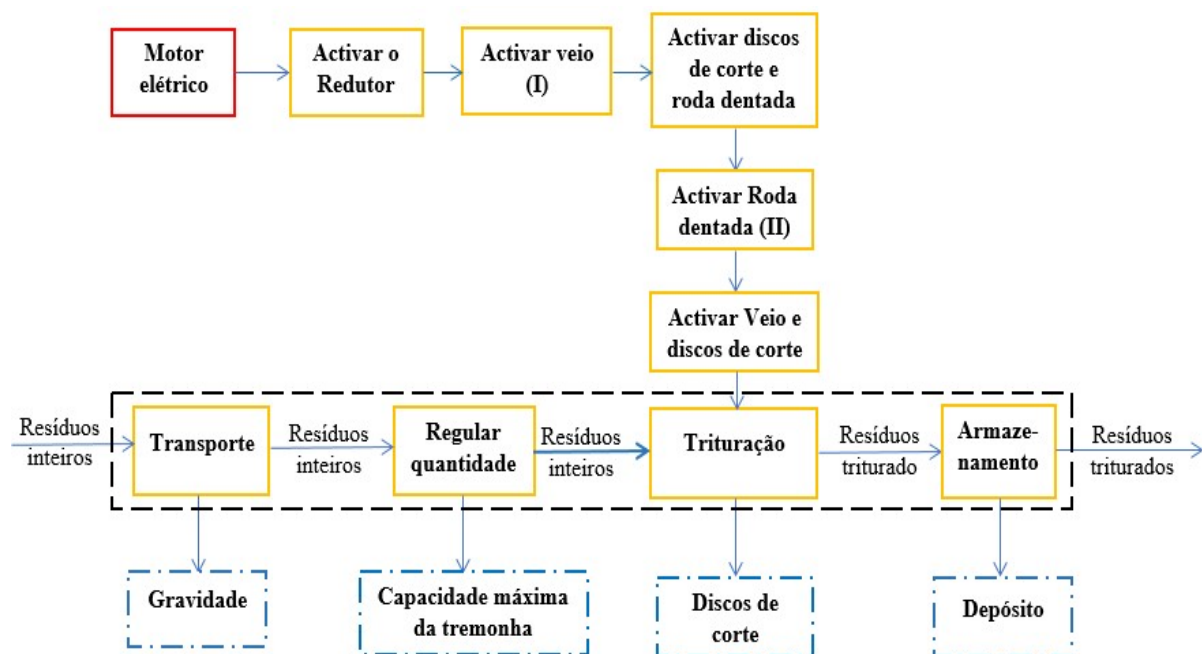


Figura 5.4: Estrutura de funções do triturador. Fonte: (Autor)

5.3 Circuito de acionamento

A análise do circuito eléctrico de acionamento do triturador permite verificar a segurança e eficiência do sistema. A configuração projectada, ilustrada na Figura 5.5, inclui um disjuntor, que protege contra sobrecorrentes, um contactor, que controla a ligação e desligamento do motor, e um relé térmico, que evita danos por sobrecarga. O motor eléctrico trifásico foi dimensionado para garantir torque suficiente na operação, com redutor ajustando a velocidade conforme necessário. O circuito atende aos requisitos operacionais, garantindo um acionamento seguro e confiável do triturador.

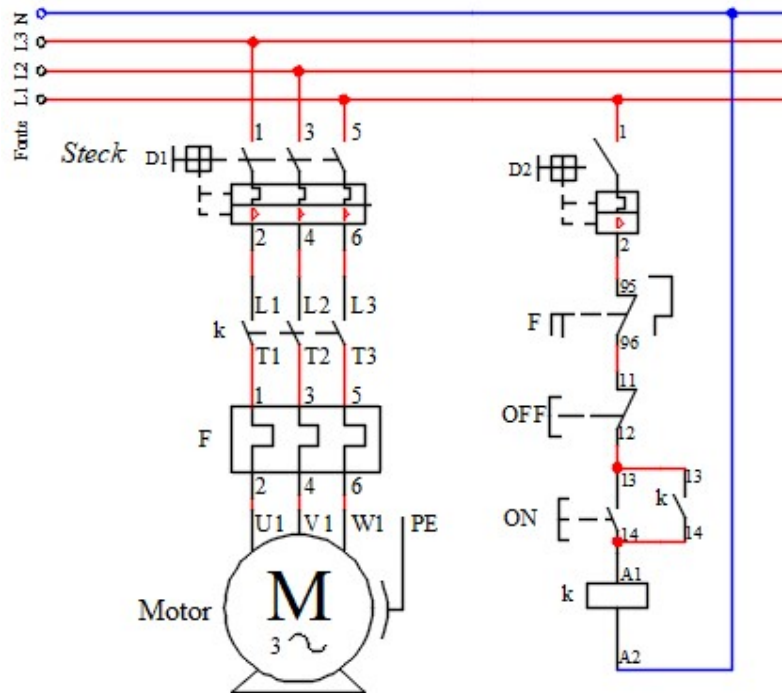


Figura 5.5: Circuito de acionamento. Fonte: (Autor)

Legenda:

- F. Relé térmico
- k. Contactor
- D1. Disjuntor motor
- D2. Disjuntor termomagnético
- OFF. Botão de paragem
- ON. Botão de partida

5.4 Manutenção da máquina

A manutenção é um conjunto de actividades essenciais para garantir o bom funcionamento e longevidade dos equipamentos e sistemas. Ela abrange procedimentos de conservação, inspeção e ajustes periódicos, visando prevenir falhas e reduzir custos com reparos inesperados.

Na Tabela 5.1 apresenta as ações específicas de manutenção e os materiais recomendados para cada componente, a fim de manter a equipamento em condições ideais de operação. A Tabela 5.2 apresenta o calendário de manutenção sugerido, especificando a frequência das intervenções para assegurar a eficiência contínua do equipamento.

Tabela 5.1: Lista de Manutenção

Partes principais	Tipo de material a usar
Eixos	Óleo e Massa
Rolamentos	Massa
Engrenagens	Óleo lubrificante
Redutor	Óleo lubrificante e Pano para Limpar
Lâminas de corte	Escova de Aço e Afiar
Caixa de corte	Pano para Limpar e Pintar
Caixa de entrada e saída	Pano para Limpar e Pintar
Peneira	Pano para Limpar
Estrutura da máquina	Pintar

Fonte:(Autor)

Tabela 5.2: Lista de Calendarização da Manutenção

No.	Peça	Manutenção	Tempo
1	Eixos	Massa	1 Vez (por mês)
		Óleo Lubrificante	1 Vez (por semana)
2	Rolamentos	Massa	1 Vez (por 3 dias)
		Trocar	1 Vez (por 4 - 5 anos)
3	Engrenagens	Óleo Lubrificante	1 Vez (por 2 semanas)
4	Redutor	Óleo Lubrificante	1 Vez (por mês)
		Limpeza	1 Vez (por semana)
5	Lâminas de corte	Escovar	1 Vez (por semana)
		Afiar	1 Vez (por 6 - 12 meses)
6	Caixa de corte	Limpeza	1 Vez (por mês)
		Pintar	1 vez (por ano)
		Apertar os parafusos	1 Vez (por 15 dias)
7	Caixa de entrada e saída	Limpeza	Todos dias de trabalho
		Pintar	1 Vez (por ano)
8	Peneira	Limpeza	1 vez (por semana)
9	Estrutura da máquina	Pintar	1 Vez (por ano)

Fonte:(Autor)

Algumas partes que não existem na tabela referida pode requerer a manutenção quando a máquina não está a funcionar. A manutenção preventiva é muito importante para que a máquina esteja sempre em condições prima e dura na sua utilização.

5.5 Análise do custo económico do projecto

A Tabela 5.3 apresenta de custo para fabricação do equipamento, o custo de cada item foi baseada em cotações actuais do mercado, garantindo que o orçamento esteja alinhado com a realidade financeira do projecto.

Tabela 5.3: Estimativa de orçamento para o projecto

Item	Matéria Prima	Qtd.	Custo Unitário (MZN)	Custo Total (MZN)
Mancal de rolamento	-	4	1,550.00	6,200.00
Acoplamento	-	1	4,045.88	4,045.88
Motor-reductor	-	1	15,505.68	15,505.68
Caixa de entrada e saída	Chapa 2000x1000x1.5	2	3,500.00	7,000.00
Peneira				
Caixa de corte				
Estrutura de suporte	Tubo 40x40x2	2	1,080.00	2,160.00
Parafusos e porcas	-	56	40.00	2,240.00
Eixos	Varão liso ø70x6000	1	8,300.00	8,300.00
Engrenagens				
Pé				
Botoeira	-	1	500.00	500.00
Relé térmico	-	1	580.00	580.00
Contactor	-	1	460.00	460.00
Anilhas	-	56	5.00	280.00
Chaveta	-	2	1,350.00	2,700.00
Antivibrações	-	4	675.00	2,700.00
Eléctrodos	-	1	240.00	240.00
Tintas	-	3	350.00	1,050.00
Diluentes	-	1	150.00	150.00
Transporte	-	1	5,000.00	5,000.00
Mão-de-obra	-	1	80,000.00	80,000.00
			Sub -Total	139,111.56
			Total (+10%)	153,022.72

Fonte: (Autor)

A estimativa do custo da implementação do projecto é de 153, 022.72 Meticais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusão

O presente trabalho teve como objectivo geral o dimensionamento de um triturador para a reciclagem mecânica de polímeros termoplásticos, com foco em atender a uma necessidade crescente de gestão de resíduos. Para alcançar este objectivo, foram definidos quatro objetivos específicos que orientaram o desenvolvimento do projecto.

Primeiramente analisou-se o processo da reciclagem mecânica, abrangendo as principais etapas, a variedade dos resíduos e a definição dos parâmetros operacionais do triturador. Além disso, foram elaborado desenhos técnicos conforme as normas vigentes.

O dimensionamento dos elementos constituintes do triturador foram realizado utilizando matérias adequados, resistência estrutural e durabilidade.

Por fim, a análise econômica indicou um custo de fabricação estimado de 153, 022.72 meticais, demonstrando viabilidade e um bom custo-benefício. Dessa forma, o projecto se mostrou tecnicamente viável e relevante a mitigar impactos ambientais.

Em suma, o desenvolvimento do triturador para a reciclagem de resíduos termoplásticos se configura como uma contribuição significativa para o avanço da sustentabilidade no país. A máquina projectada representa não apenas uma solução técnica, mas também um modelo de inovação que pode ser replicado em diversas regiões, com grande potencial para melhorar a gestão de resíduos e promover o desenvolvimento social e econômico no país.

6.2 Recomendações para trabalhos futuros

Como sugestões para trabalhos futuros:

1. Realizar um estudo e simulação de tensões em cada componente do triturador utilizando *Software* de análise de elementos finitos;
2. Elaboração de um painel de comando para o sistema elétrico, com reversão automática de sentido de giro e implementação de sensores de segurança;
3. Realizar um estudo de viabilidade econômica do projecto;
4. Realizar um estudo para implementação de alternativas energéticas de modo a ser utilizado em zonas sem cobertura da rede eléctrica;
5. Por fim, implementação de uma botoeira com botão de emergência.

7 BIBLIOGRAFIA

- [1] 2021. **Economia Circular dos Plásticos em Moçambique, Desafios e Oportunidades**. Washington, DC: World Bank.
- [2] Almeida A. F. 2012 - **Projecto de um triturador para polímeros pós-consumo**. 133f. Trabalho de conclusão do curso. Bacharel em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Pampa, Alegrete
- [3] Arruda A. M. 2020 - **Polímeros - Matérias que transformam o mundo**. Programa de mestrado profissional em química. *Magister Scientiae*. Universidade Fideral de Viçosa. Viçosa-Minas Gerais. Brasil
- [4] Ayo, A. W.; Olukunle, O. J.; Adelabu, D. J. 2017 - **Development of a Waste Plastic Shredding Machine**. International Journal of Waste Resources, v. 07, n. 02, p. 2–5
- [5] Back, N. et al. 2008 - **Projecto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Editora Manole. São Paulo
- [6] Beer, F. P. Johnston, Jr. E. R., Dewolf J. T., Mazurek D. F. 2012 - **Mechanics of materials – 6th ed.** McGraw-Hill. New York, United States
- [7] Budynas R.G.; Nisbett J.K. 2011 - **Elementos de Maquinas de Shigley – Projecto de Engenharia Mecânica – 8 ed.** McGraw-Hill, New York
- [8] Callister, W. D. 2002 - **Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução - 5^a edição LTC**
- [9] Callister, W. D.; Rethwisch, D. G. 2010 - Economic, Environmental, and Societal Issues in Materials Science and Engineering. **Materials Science and Engineering: An Introduction**. 8th ed. John Wiley & Sons, Inc.
- [10] Canevarolo Jr., Sebasuão V. 2002 - **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. Artliber Editora, São Paulo
- [11] Conte, A. C; Mori, Y. T. 2019 - **Desenvolvimento de um Triturador para Termoplásticos Recicláveis**. 89 f. Trabalho de conclusão de curso – Tcc2, Bacharelado em Engenharia Mecânica, Departamento Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba
- [12] Costa, G. H da. 2023 - **Projecto de um triturador de polímeros para a UTFPR Campus Guarapuava**. 50p. Trabalho de conclusão do curso. Bacharel em Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal de Paraná, Paraná
- [13] Farinha, J. S. B., Reis, A. C. 1993 – **Tabelas técnicas**. Edição P.O.B. – Setúbal

- [14] Fortuna, A. L. L. 2020 - **Impactos ambientais dos plásticos: estratégias para redução do acúmulo de embalagens flexíveis de Polipropileno no meio ambiente**. 124 p. Monografia, Bacharelado em Engenharia Química, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro
- [15] Fraga, S. C. L, 2014 - **Reciclagem de materiais plásticos: aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais**. São Paulo: Érica. 121 p.
- [16] Freitas, V. 2023 - **Desenvolvimento de um equipamento industrial para secagem de pintura em couro**. 145p. TCC. Graduação em Engenharia Mecânica. Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS
- [17] Garcia, J. M.; Robertson, M. L. 2017 - **The future of plastics recycling**. *Science*, v. 358, n. 6365, p. 870–872
- [18] Golwala, H.; Zhang, X.; Mdiskander, S.; Smith, A. L. Solid waste: An overlooked source of microplastics to the environment. *Science of The Total Environment*, v. 769, 2021.
- [19] Hibbeler R.C. 2004 - **Resistência dos Materiais** - 5ª edição. Pearson Prentice Hall, São Paulo
- [20] Iatsina, I. V.; Siteo, R. V. 2005 - **Órgãos de Máquinas – Cálculo De Transmissões por Engrenagens**. 2ª Edição. Universidade Eduardo Mondlane. Maputo
- [21] Júnior, I.B.; Caversan, E. G., 2012. **Apostila de Tecnologia de Estampagem 1 (Corte)**. Fatec Sorocaba. São Paulo: Centro Paula Souza,
- [22] Lajas, D. A. C., 2021 - **Projecto de um moinho de martelos para preparação de amostras de minério**. 149p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial. Universidade NOVA de Lisboa.
- [23] Liwarska-Bizukojc, E. Effect of (bio) plastics on soil environment: A review. *Science of The Total Environment*, v. 795, 2021
- [24] Lucas, E. F.; Soares B. G.; Monteiro, E. 2021 - **Caracterização de polímeros: Determinação do Peso Molecular e Analise Térmica**. E-papers. Rio de Janeiro
- [25] Magrini, A. *et al.* 2012 - **Impactos ambientais causados pelos plásticos: Uma discussão abrangente sobre os mitos e os dados científicos**. 2ª ed. E-papers. Rio de Janeiro

- [26] Mancini, S. D. 2023 - **Reciclagem de resíduos**. Programa de pós-graduação em ciências ambientais. Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba. Universidade Estadual Paulista. Sorocaba.
- [27] Melconian, S. 2009. **Elementos de máquinas**. Ed Érica, 9ª edição, São Paulo
- [28] Norton, R. L. 2013 - **Projecto de máquinas - uma abordagem integrada**. 4ª ed. Bookman, – Porto Alegre
- [29] Palombini, F. L. 2015 - **Design de equipamento híbrido para o reprocessamento de resíduos poliméricos: Aglutinador e Moinho de facas**. 256f. Trabalho de conclusão do curso. Bacharel em Design de Produto. Faculdade de arquitetura. UFRGS. Porto Alegre
- [30] Piatti T. M., Rodrigues R. A. F. 2005 - **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais**, 51p.: il. - (Conversando sobre ciências em Alagoas) Maceió: EDUFAL
- [31] Sarmento dos Muchangos et. al, 2017 - **Aplicação da análise do fluxo de materiais aos resíduos sólidos urbanos na cidade de Maputo, Moçambique, Gestão e Pesquisa de Resíduos**, Vol. 35[3] 253-266
- [32] Silva, Arlindo... [et al]. 2018 – **Desenho técnico moderno**. 4ª Edição. LTC Editora. Rio de Janeiro
- [33] Siteo, R. V. 2005 – **Manual de Órgãos de Maquinas I**. Departamento de Engenharia Mecânica. Faculdade de Engenharia. Universidade Eduardo Mondlane. Maputo.
- [34] Souza, S. A. 2001 – **Composição química dos aços**. São Paulo
- [35] UICN-EA-QUANTIS, 2020, **Orientação Nacional para Pontos de Acesso e Acções de Modelação da Poluição por Plástico: Resultados de Moçambique**
- [36] Vychnepolski. I & Vychnepolski, V. 1983 – **Desenho de Construção Mecânica**. Editora Mir. Moscovo.
- [37] WORLD BANK GROUP. 2018 - **What a waste 2.0**. Washington, DC: International Bank for Reconstruction and Development
- [38] Zander. S. 2024 - **Guia prático sobre dimensionamento e regulação de relé de proteção**. Academia do eletricitista. E-Book 01.

WEBGRÁFIA

- [39] Aços Iguatemi – **propriedades e aplicações do aço SAE 1060**. 2024. Disponível em: <https://www.acosiguatemi.com.br/blog/propriedades-e-aplicacoes-do-aco-sae-1060/>. Acesso em: 19 de Dez. 2024
- [40] Cappermetal. 2024 – **Tudo sobre o aço SAE 1045**. Disponível em: <https://www.coppermetal.com.br/blog/aco-sae-1045-/> Acesso em: 20 de Dez. 2024
- [41] Catálogo FAG - **Rolamentos de esferas · Rolamentos de rolos · Caixas · Acessórios**. Série: WL 41 520/3 PB. Edição 1999
- [42] Catálogo Hidromarinha. 2022 – **Apoios anti vibrações**. 3ª Edição. Disponível em: <https://www.hidromarinha.pt> Acesso em 27 de Fev. 2025
- [43] Catálogo MQP - Muequipar – hidráulica industrial. 2005 – **Acoplamentos**. Disponível em: <https://www.muequipar.com.br/> Acesso em: 15 de Jan. 2025
- [44] Catálogo OpaC. 2025 – **Elementos Normalizados – Chavetas**. Disponível em: <https://www.opac.net/> Acesso em: 13 de Jan. 2025
- [45] Catálogo WEG S.A – HEADQUARTERS, 2024 – Redutor GC. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Redutores-e-Multiplicadores-de-velocidade-/Motorreductores/GC/GC/p/MKT_WMO_BR_TEXT_IMAGE_WCES_GEARMOTO_RS_GC. Acesso em: 02 de Jan. 2025
- [46] Contator vs Relé: **Compreendendo as diferenças e aplicações**. Disponível em: <https://www.wevolver.com/article/contactor-vs-relay/> Acesso em: 11 de Fev. 2025
- [47] Elétrica WF: **Botões sobrepor JNG BS215B (02 Botões) liga/Desliga**. Disponível: <https://www.eletricawf.com.br> Acesso em: 12 de Fev. 2025
- [48] Gersonluz.com **aço SAE 1020 propriedades mecânicas**. 2018. Disponível em: <http://www.materiaisgersonluz.com>. Acesso em: 19 de Dez. 2024
- [49] Grupo NZ – **Divisão de Maquinas e Embalagens: Moinhos e Silos**. Disponível em: www.gruponz.com.br. Acesso em: 06 de Dez 2024
- [50] <https://www.chemistryleaner.com>. Acesso em: 23 de Nov. 2024.

- [51] Instituto Centro de Cape (ICC) - **reutilização e reciclagem de plástico**, 2015. Disponível em: www.centrocape.org.br. Acesso em: 01 de Dez. 2024
- [52] **Metodologia de Projecto em Engenharia Mecânica** – Prof. André Ogliari. Disponível em: <https://emc5302.sites.ufsc.br/artigo/modelo-prodip/>. Acesso: 16 de Dez. 2024
- [53] National Geographic. **Para os bichos, o plástico transforma o oceano em um campo minado**. 2018. Disponível em: <<https://www.nationalgeographicbrasil.com/2018/05/animais-plastico-uso-unico-oceanos-lixo>>. Acesso em: 11 Out. 2024.
- [54] Ramada Aços - **Aços de construção e ferramentas**. 2024. Disponível em: https://www.ramada.pt/pt/produtos/acos/aaos-de-construa-ao-ao-carbono/st-52_.html. Acesso em: 19 de Dez. 2024
- [55] Relé térmico: **O que é? Para que serve?** Disponível em: <https://www.automacaoindustrial.info/rele-termico/> Acesso em: 11 de Fev. 2025
- [56] Plasticseurope. **Plastics – the Facts 2019**. 2019. Disponível em: <<https://plasticseurope.org/de/wissenshub/>> Acesso em: 11 Out. 2024.
- [57] SATRINDTECH. **plasticshredder**. 2022. Disponível em: <https://satrindtech.com/>. Acesso: 06 Dez. 2024

ANEXOS

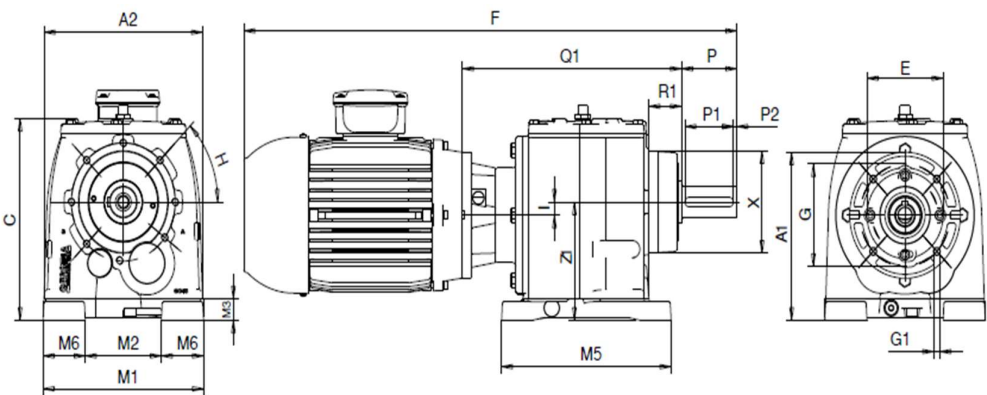
Principais característica do motor-reductor

TABELA DE POTÊNCIAS...



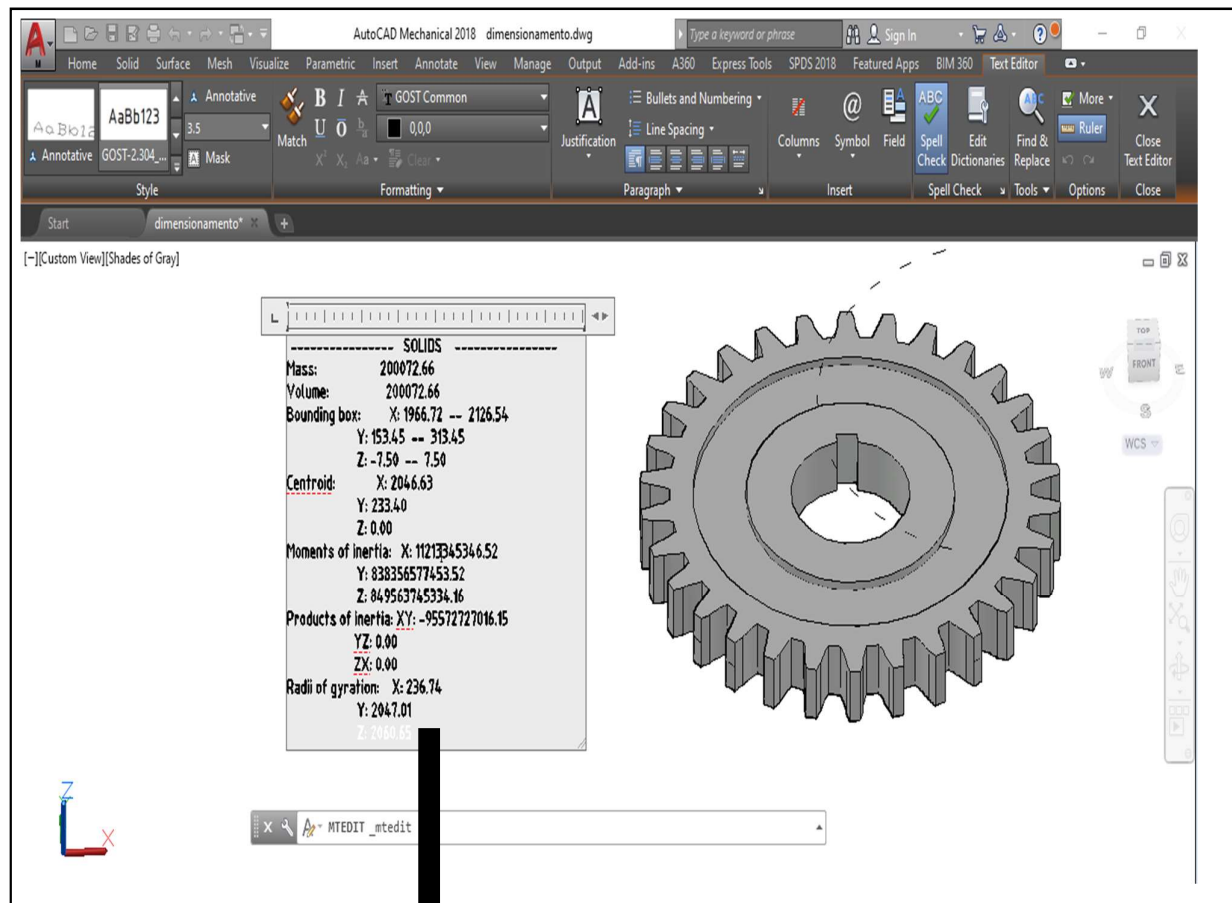

MODELO	RED	T máx. (Nm)	1700 RPM - MOTOR 4P 60 Hz					1400 RPM - MOTOR 4P 50 Hz					1150 RPM - MOTOR 6P 60 Hz					η
			Pe (cv)	Pe (KW)	MT (Nm)	RPM	Fz	Pe (cv)	Pe (KW)	MT (Nm)	RPM	Fz	Pe (cv)	Pe (KW)	MT (Nm)	RPM	Fz	
GC 35/2R	7,62	450	7,50	5,50	226,61	223,23	1,99	5,50	4,00	201,79	183,84	2,23	4,00	3,00	178,66	151,01	2,52	96%
	8,88	450	7,50	5,50	264,38	191,34	1,70	5,50	4,00	235,42	157,58	1,91	4,00	3,00	208,44	129,44	2,16	96%
	11,35	450	7,50	5,50	337,69	149,80	1,33	5,50	4,00	300,71	123,37	1,50	4,00	3,00	266,24	101,34	1,69	96%
	13,54	450	7,50	5,50	402,86	125,57	1,12	5,50	4,00	358,74	103,41	1,25	4,00	3,00	317,62	84,94	1,42	96%
	16,40	450	6,00	4,50	390,47	103,64	1,15	5,50	4,00	434,63	85,35	1,04	4,00	3,00	384,81	70,11	1,17	96%
	18,49	450	6,00	4,50	440,27	91,92	1,02	4,00	3,00	356,41	75,70	1,26	4,00	3,00	433,89	62,18	1,04	96%
	20,31	450	5,00	3,70	402,86	83,71	1,12	4,00	3,00	391,35	68,94	1,15	3,00	2,20	357,32	56,63	1,26	96%
	22,42	450	5,00	3,70	444,83	75,81	1,01	4,00	3,00	432,12	62,44	1,04	3,00	2,20	394,54	51,29	1,14	96%
	26,17	450	4,00	3,00	415,26	64,97	1,08	3,00	2,20	378,18	53,51	1,19	2,00	1,50	306,93	43,95	1,47	96%
	28,77	450	4,00	3,00	450,00	59,09	1,00	3,00	2,20	415,81	48,66	1,08	2,00	1,50	337,47	39,97	1,33	96%
GC 35/3R	31,01	450	3,00	2,20	361,36	54,83	1,25	3,00	2,20	438,80	45,15	1,03	2,00	1,50	356,12	37,09	1,26	94%
	36,17	450	3,00	2,20	421,59	47,00	1,07	2,00	1,50	341,29	38,70	1,32	2,00	1,50	415,48	31,79	1,08	94%
	46,20	450	2,00	1,50	359,00	36,79	1,25	2,00	1,50	435,93	30,30	1,03	1,50	1,10	398,02	24,89	1,13	94%
	55,12	450	2,00	1,50	428,28	30,84	1,05	1,50	1,10	390,04	25,40	1,15	1,00	0,75	316,56	20,86	1,42	94%
	66,78	450	1,50	1,10	389,16	25,46	1,16	1,00	0,75	315,03	20,96	1,43	1,00	0,75	383,52	17,22	1,17	94%
	75,30	450	1,50	1,10	438,80	22,58	1,03	1,00	0,75	355,22	18,59	1,27	1,00	0,75	432,44	15,27	1,04	94%
	82,68	450	1,00	0,75	321,21	20,56	1,40	1,00	0,75	390,04	16,93	1,15	0,75	0,55	356,12	13,91	1,26	94%
	91,29	450	1,00	0,75	354,67	18,62	1,27	1,00	0,75	430,67	15,34	1,04	0,75	0,55	393,22	12,60	1,14	94%
	106,53	450	1,00	0,75	413,87	15,96	1,09	0,75	0,55	376,91	13,14	1,19	0,75	0,55	450,00	10,79	1,00	94%
	117,13	450	1,00	0,75	450,00	14,51	1,00	0,75	0,55	414,42	11,95	1,09	0,50	0,37	336,34	9,82	1,34	94%
	129,66	450	0,75	0,55	377,79	13,11	1,19	0,75	0,55	450,00	10,80	1,00	0,50	0,37	372,31	8,87	1,21	94%
	144,69	450	0,75	0,55	421,59	11,75	1,07	0,50	0,37	341,29	9,68	1,32	0,50	0,37	415,48	7,95	1,08	94%
	167,24	450	0,50	0,37	324,86	10,16	1,39	0,50	0,37	394,47	8,37	1,14	0,33	0,25	316,95	6,88	1,42	94%
	186,03	450	0,50	0,37	361,36	9,14	1,25	0,50	0,37	438,80	7,53	1,03	0,33	0,25	352,56	6,18	1,28	94%

Dimensões e configuração do motor-redutor selecionado.



TIPO	IEC	A1	A2	C	D ^B	E	F	G	G1	H	I	M	M1	M2	M3	M4	M5	M6	N	P	P1	P2	Q1	R	R1	T	U	X	X1	Z1
GC 15	C63B14	129,45	141	162	20	60	410,8	75	5,8	*	5,55	110	154	83	14	110	135	27	90	40	30	5	178,5	58	20	22,5	6	61,5	9	90
	C71B14	136,95				70	439,5	85	6,5										105				179,5							
	C80B14	144,45				80	466	100	6,5										120				190							
	C63B14	149,2				60	456,55	75	5,8										90				214,25							
GC 25	C71B14	156,7	168	183,5	25	70	485,25	85	6,5	*	5,8	110	168	65	18	130	180	40	105	50	40	5	215,25	81	20	28	8	68	9	110
	C80B14	164,2				80	509,25	100	6,5										120				223,25							
	C90B14	174,2				95	553,75	115	8,5										140				224,25							
	C71B14	150,5				30*	514,5	85	6,5										105				234,5							
GC 35	C80B14	158	174	195	35	524,5	100	6,5	*	22	135	180	80	20	165	195	50	120	60	50	5	244,5	90,5	38,5	33	8	100	13,5	120	
	C90B14	168			30*	540,5	110	8,5										140				244,5								
	C100B14	178			30*	550,5	130	8,5										160				274,5								
	C112B14	178			35	574	115	8,5										140				244,5								
GC 45	C80B14	193,25	229,2	256	35*	602,5	100	6,5	*	16,75	170	232	110	27	205	245	61	120	70	55	7,5	296,5	105	47	43	12	130	17,5	150	
	C90B14	203,25			40	612,5	115	8,5										140				296,5								
	C100B14	213,25			35*	646	130	8,5										160				316,5								
	C112B14	213,25			40	656	130	8,5										160				316,5								

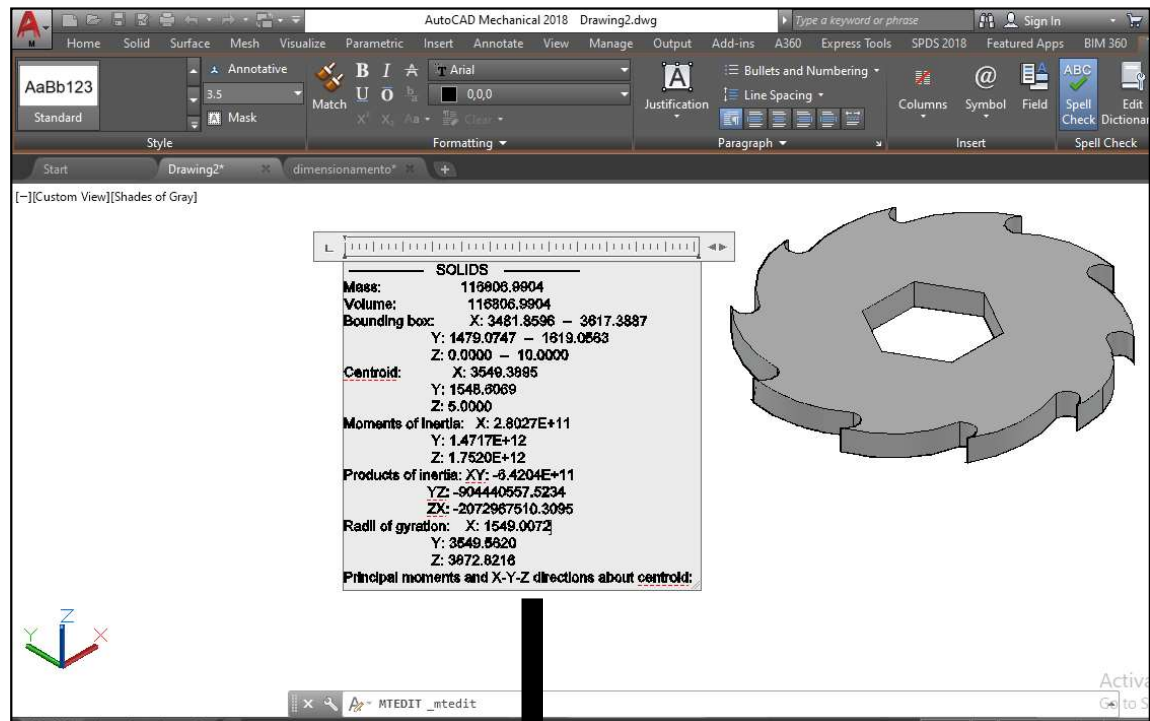
Volume e Massa da engrenagem



```

----- SOLIDS -----
Mass:                200072.66
Volume:              200072.66
Bounding box:        X: 1966.72 -- 2126.54
                     Y: 153.45 -- 313.45
                     Z: -7.50 -- 7.50
Centroid:            X: 2046.63
                     Y: 233.40
                     Z: 0.00
Moments of inertia:  X: 11213345346.52
                     Y: 838356577453.52
                     Z: 849563745334.16
Products of inertia: XY: -95572727016.15
                     YZ: 0.00
                     ZX: 0.00
Radii of gyration:   X: 236.74
                     Y: 2047.01
  
```

Volume e Massa da lâmina

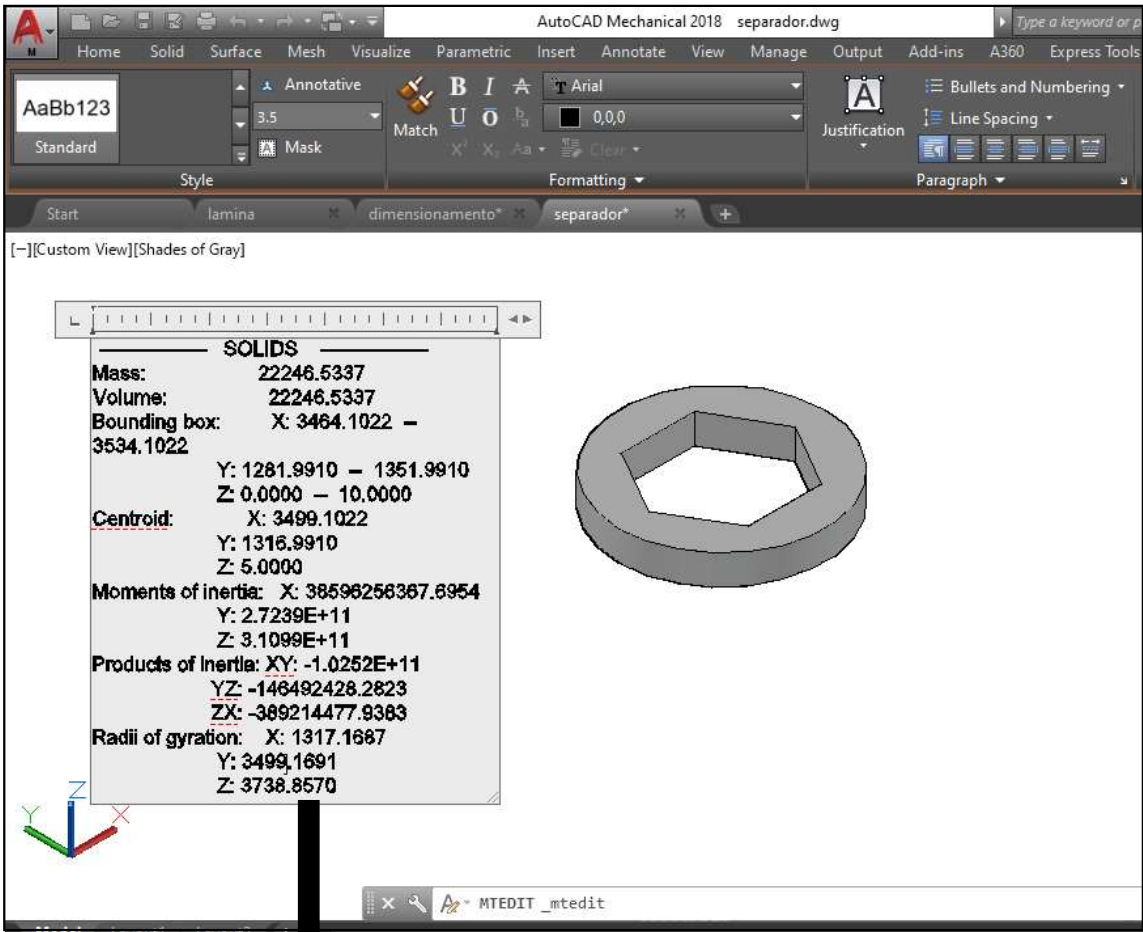


```

----- SOLIDS -----
Mass: 116806.9904
Volume: 116806.9904
Bounding box: X: 3481.8596 -- 3617.3887
Y: 1479.0747 -- 1619.0563
Z: 0.0000 -- 10.0000
Centroid: X: 3549.3895
Y: 1548.6069
Z: 5.0000
Moments of inertia: X: 2.8027E+11
Y: 1.4717E+12
Z: 1.7520E+12
Products of inertia: XY: -6.4204E+11
YZ: -904440557.5234
ZX: -2072967510.3095
Radii of gyration: X: 1549.0072
Y: 3549.5620
Z: 3872.8216
Principal moments and X-Y-Z directions about centroid:

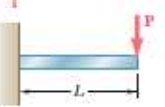
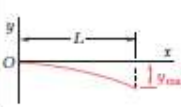
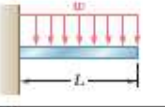
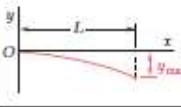
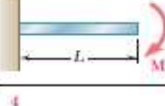
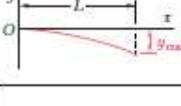
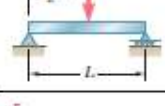
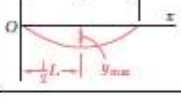
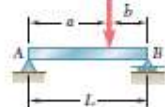
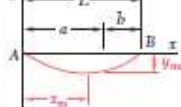
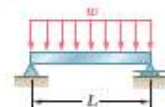
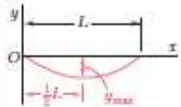
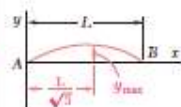
```

Volume e Massa do separador

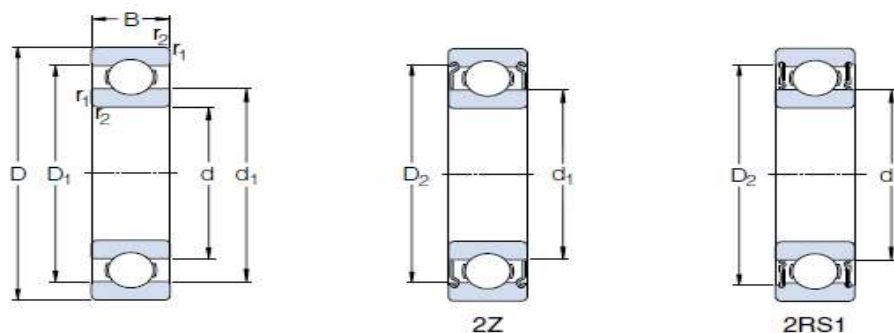


SOLIDS	
Mass:	22246.5337
Volume:	22246.5337
Bounding box:	X: 3464.1022 -- 3534.1022
	Y: 1281.9910 -- 1351.9910
	Z: 0.0000 -- 10.0000
Centroid:	X: 3499.1022
	Y: 1316.9910
	Z: 5.0000
Moments of inertia:	X: 38596256367.6954
	Y: 2.7239E+11
	Z: 3.1099E+11
Products of inertia:	XY: -1.0252E+11
	YZ: -146492428.2823
	ZX: -389214477.9383
Radii of gyration:	X: 1317.1687
	Y: 3499.1691
	Z: 3738.8570

Deslocamentos e Momentos de Engastamento Perfeito

Beam and Loading	Elastic Curve	Maximum Deflection	Slope at End	Equation of Elastic Curve
1 		$\frac{PL^3}{3EI}$	$\frac{PL^2}{2EI}$	$y = \frac{P}{6EI}(x^3 - 3Lx^2)$
2 		$\frac{wL^4}{8EI}$	$\frac{wL^3}{6EI}$	$y = -\frac{w}{24EI}(x^4 - 4Lx^3 + 6L^2x^2)$
3 		$\frac{ML^2}{2EI}$	$\frac{ML}{EI}$	$y = -\frac{M}{2EI}x^2$
4 		$\frac{PL^3}{48EI}$	$\pm \frac{PL^2}{16EI}$	For $x \leq \frac{1}{2}L$: $y = \frac{P}{48EI}(4x^3 - 3L^2x)$
5 		For $a > b$: $\frac{Pb(L^2 - b^2)^{3/2}}{9\sqrt{3}EIL}$ at $x_m = \sqrt{\frac{L^2 - b^2}{3}}$	$\theta_A = -\frac{Pb(L^2 - b^2)}{6EIL}$ $\theta_B = +\frac{Pa(L^2 - a^2)}{6EIL}$	For $x < a$: $y = \frac{Pb}{6EIL}[x^3 - (L^2 - b^2)x]$ For $x = a$: $y = \frac{Pa^2b^2}{3EIL}$
6 		$\frac{5wL^4}{384EI}$	$\pm \frac{wL^3}{24EI}$	$y = -\frac{w}{24EI}(x^4 - 2Lx^3 + L^3x)$
7 		$\frac{ML^2}{9\sqrt{3}EI}$	$\theta_A = +\frac{ML}{6EI}$ $\theta_B = -\frac{ML}{3EI}$	$y = -\frac{M}{6EIL}(x^3 - L^2x)$

Rolamentos autocompensadores de esferas da SKF



Deep groove ball bearings, single row

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit Pu	Speed ratings		Mass	Designation
d	D	B	C	C0		Reference speed	Limiting speed		
mm			kN		kN	r/min		kg	* - SKF Explorer bearing
35	72	17	31,2	17,6	0,75	20000	13000	0,27	6207 ETN9
35	72	17	27	15,3	0,655	-	6300	0,29	6207-2RS1 *
35	72	17	27	15,3	0,655	20000	10000	0,29	6207-2Z *
35	72	17	27	15,3	0,655	-	6300	0,29	6207-RS1 *
35	72	17	27	15,3	0,655	20000	13000	0,29	6207-Z *
35	72	23	25,5	15,3	0,655	-	6300	0,37	62207-2RS1
35	80	21	35,1	19	0,815	19000	12000	0,46	6307 *
35	80	21	35,1	19	0,815	-	6000	0,46	6307-2RS1 *
35	80	21	35,1	19	0,815	19000	9500	0,46	6307-2Z *
35	80	21	35,1	19	0,815	-	6000	0,46	6307-RS1 *
35	80	21	35,1	19	0,815	19000	12000	0,46	6307-Z *
35	80	31	33,2	19	0,815	-	6000	0,66	62307-2RS1
35	100	25	55,3	31	1,29	16000	10000	0,95	6407
40	52	7	4,94	3,45	0,186	26000	16000	0,034	61808
40	52	7	4,94	3,45	0,186	-	7500	0,034	61808-2RS1
40	52	7	4,94	3,45	0,186	26000	13000	0,034	61808-2RZ
40	62	12	13,8	10	0,425	24000	14000	0,12	61908
40	62	12	13,8	10	0,425	-	6700	0,12	61908-2RS1
40	62	12	13,8	10	0,425	24000	12000	0,12	61908-2RZ
40	68	9	13,8	9,15	0,44	22000	14000	0,13	16008 *
40	68	15	17,8	11,6	0,49	22000	14000	0,19	6008 *
40	68	15	17,8	11,6	0,49	-	6300	0,19	6008-2RS1 *
40	68	15	17,8	11,6	0,49	22000	11000	0,19	6008-2RZ *
40	68	15	17,8	11,6	0,49	22000	11000	0,19	6008-2Z *
40	68	15	17,8	11,6	0,49	-	6300	0,19	6008-RS1 *

Mancais quadrados do Tipo Flange MSF da ROLMAX

ROLMAX

Unidades de Rolamentos com Mancais Tipo Flange MSF

diâmetro do parafuso

MSF-UCR

MSF-G

MSF-EWR

MSF-ECG

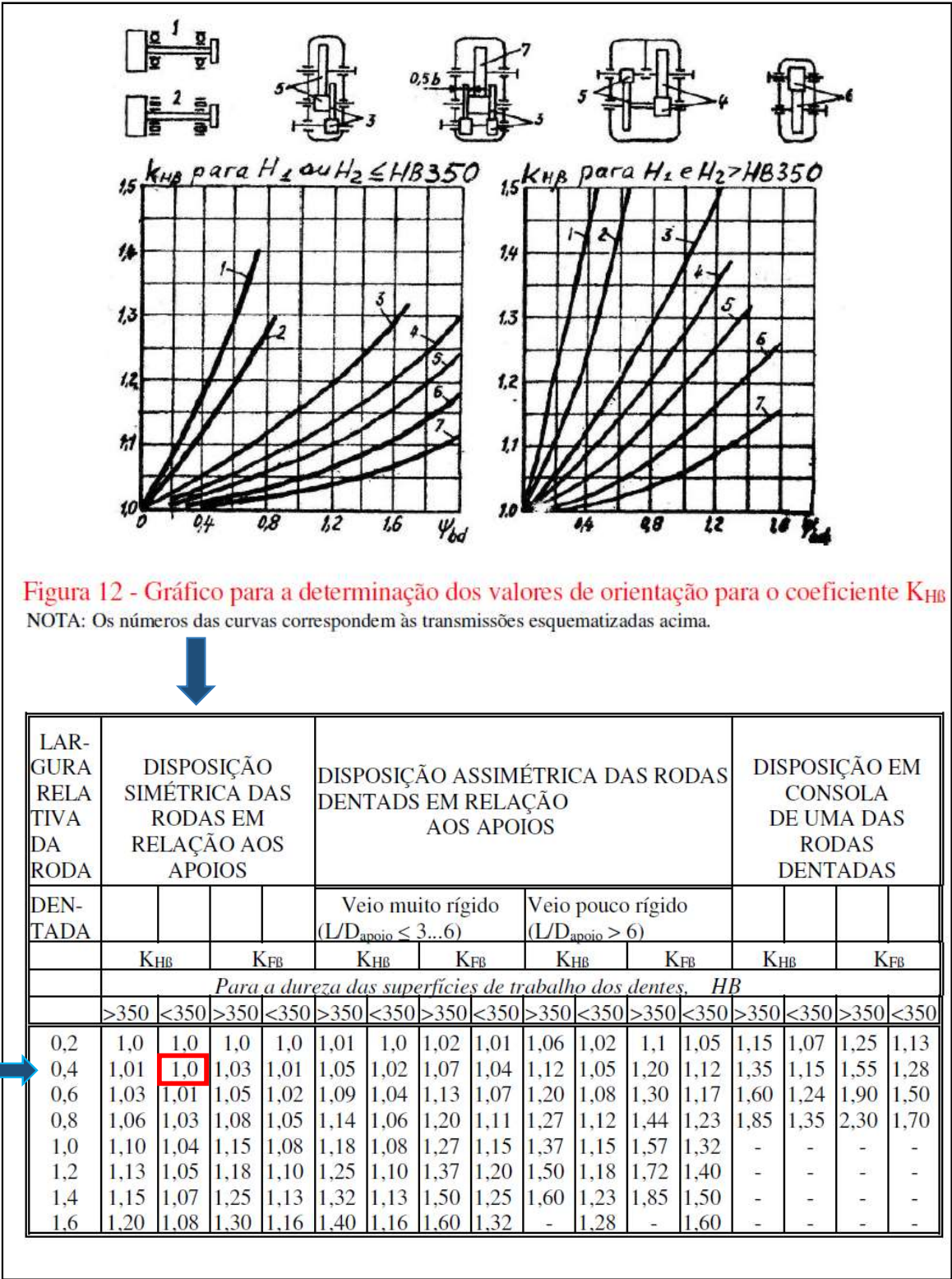
Diâmetro do eixo		Conjunto	Série do rolamento opcional pi montagem (+)				Dimensões em milímetros e polegadas												Mancal	Rolamento Base	Peso kg Médio
mm	polegada		UCR	EWR	G	ECG	L	J	H	A ₄	A	A ₂	B	S	G	bc					
25	-	MSF-25	+				108	82,50	82,50	42,22	32,80	15,70	38,10	15,88	10	20	F-4	206/1230	1,19		
-	7/8	MSF-7/8	+				4,252	3,248	3,248	1,622	1,291	0,618	1,500	0,625	3/8	0,787					
-	1	MSF-1	+																		
30	-	MSF-30	+				117,50	92	95	45,40	33	14,20	42,88	17,48	12	20	F-5	207/1235	1,51		
-	1.3/16	MSF-1.3/16	+				4,626	3,622	3,740	1,787	1,299	0,559	1,688	0,688	1/2	0,787					
-	1.1/4	MSF-1.1/4	+	+	+	+															
35	-	MSF-35	+				130	101,50	108	53,18	37,40	15,20	40,23	19,05	12	23	F-6	208/1240	2,17		
-	1.3/8	MSF-1.3/8	+				5,118	3,996	4,252	2,093	1,472	0,598	1,938	0,750	1/2	0,905					
-	1.7/16	MSF-1.7/16	+																		
40	-	MSF-40	+				136,50	105	111	53,18	36,80	15,20	40,23	19,05	16	23	F-7	209/1245	2,23		
-	1.1/2	MSF-1.1/2	+				5,374	4,134	4,370	2,093	1,448	0,622	1,938	0,750	5/8	0,905					
45	-	MSF-45	+				143	111	116	58,54	43,70	18,30	51,59	19,05	16	26	F-8	210/1250	2,78		
-	1.11/16	MSF-1.11/16	+				5,630	4,370	4,567	2,304	1,720	0,720	2,031	0,750	5/8	1,024					
-	1.3/4	MSF-1.3/4	+																		
50	-	MSF-50	+	+			162	130	133	62,33	47,70	21,50	55,55	22,22	16	29	F-9	211	4,11		
-	1.7/8	MSF-1.7/8	+				6,378	5,118	5,237	2,453	1,877	0,846	2,167	0,875	5/8	1,142					
-	1.15/16	MSF-1.15/16	+																		
-	2	MSF-2	+	+																	
55	-	MSF-55	+				174,50	143	138	68,17	48	18	65,07	25,40	16	28,50	F-10	212	4,42		
-	2.3/16	MSF-2.3/16	+				6,870	5,630	5,433	2,684	1,890	0,709	2,562	1,000	5/8	1,122					
60	-	MSF-60	+																		
65	-	MSF-65	+	+			187	149,22	155	77,87	48,10	18,50	74,63	30,23	16	33,50	F-11	214	5,96		
-	2.7/16	MSF-2.7/16	+	+			7,363	5,875	6,102	3,065	1,894	0,729	2,938	1,190	5/8	1,319					
-	2.1/2	MSF-2.1/2	+	+																	

Tabela de coeficiente auxiliar

TABELA 15 - Coeficientes K_d e Z_M

COEFICIENTES K_d , $\text{MPa}^{1/3}$ e Z_M , $\text{MPa}^{1/2}$	Tipo de rodas dentadas	MATERIAIS DO PINHAO E DA RODA DENTADA					
		Aço/ aço	Aço/ ferro fundido	Aço/ bronze	Ferro fundido/ ferro fundido	Texto- lite/ aço	Poliamida (Capro- lon)/ aço
$K_d, [\text{MPa}]^{1/3}$	Rectos	770	700	680	645	310	240
	Helicoid.	675	610	600	565	270	210
	Angulares	675	610	600	565	270	210
$Z_M, [\text{MPa}]^{1/2}$	-	275	234	225	209	69,5	47,5

Coefficiente que leva em conta a irregularidade da distribuição da carga pela largura da coroa dentada



Coeficiente de largura da roda dentada

TABELA 17 - Coeficientes ψ_{bd} para rodas dentadas

Disposição das rodas dentadas em relação aos apoios	Dureza das superfícies de trabalho dos dentes	
	$HB_2 \leq 350$ ou HB_1 e $HB_2 \leq 350$	HB_1 e $HB_2 > 350$
Simétrica	0,8...1,4	0,4...0,9
assimétrica	0,6...1,2	0,3...0,6
em consola	0,3...0,6	0,2...0,35

NOTAS: 1. Os maiores valores do coeficiente de largura das rodas dentadas são empregues em caso de cargas constantes ou aproximadamente constantes, para construções de veios e apoios rígidos.

2. Nas transmissões com dentes angulares, para b_w igual à soma das larguras das semi-rodas ($b_w = b_1 + b_2$

onde, b_1 e b_2 - larguras das semi-rodas helicoidais), é possível aumentar ψ_{bd} em 1,3...1,4 vezes.

Coeficiente da forma do dente

TABELA 27 - Valores dos coeficientes de forma do dente Y_F

Número virtual de dentes, Z_v	Coeficiente de deslocamento, x							
	0,7	0,5	0,3	0,1	0,0	-0,1	-0,3	-0,5
	Coeficiente Y_F							
14	3,12	3,42	3,78	-	-	-	-	-
16	3,15	3,40	3,72	-	-	-	-	-
17	3,16	3,40	3,67	4,03	4,26	-	-	-
18	3,17	3,39	3,64	3,97	4,28	-	-	-
19	3,18	3,39	3,62	3,92	4,11	4,32	-	-
20	3,19	3,39	3,61	3,89	4,08	4,28	-	-
21	3,20	3,39	3,60	3,85	4,02	4,22	-	-
22	3,21	3,39	3,59	3,82	4,00	4,20	-	-
24	3,23	3,39	3,58	3,79	3,92	4,10	-	-
25	3,24	3,39	3,57	3,77	3,90	4,05	4,28	-
28	3,27	3,40	3,56	3,72	3,82	3,95	4,22	-
30	3,28	3,40	3,54	3,70	3,80	3,90	4,14	-
32	3,29	3,41	3,54	3,69	3,78	3,87	4,08	4,45
37	3,32	3,42	3,53	3,64	3,71	3,80	3,96	4,20
40	3,33	3,42	3,53	3,63	3,70	3,77	3,92	4,13
45	3,36	3,43	3,52	3,62	3,68	3,72	3,86	4,02
50	3,38	3,44	3,52	3,60	3,65	3,70	3,81	3,96
60	3,41	3,47	3,53	3,59	3,62	3,67	3,74	3,84
80	3,45	3,50	3,54	3,58	3,61	3,62	3,68	3,73
100	3,49	3,52	3,55	3,58	3,60	3,61	3,65	3,68
150	-	-	-	-	3,60	3,63	3,63	3,63
cremalheira	-	-	-	-	3,63	-	-	-

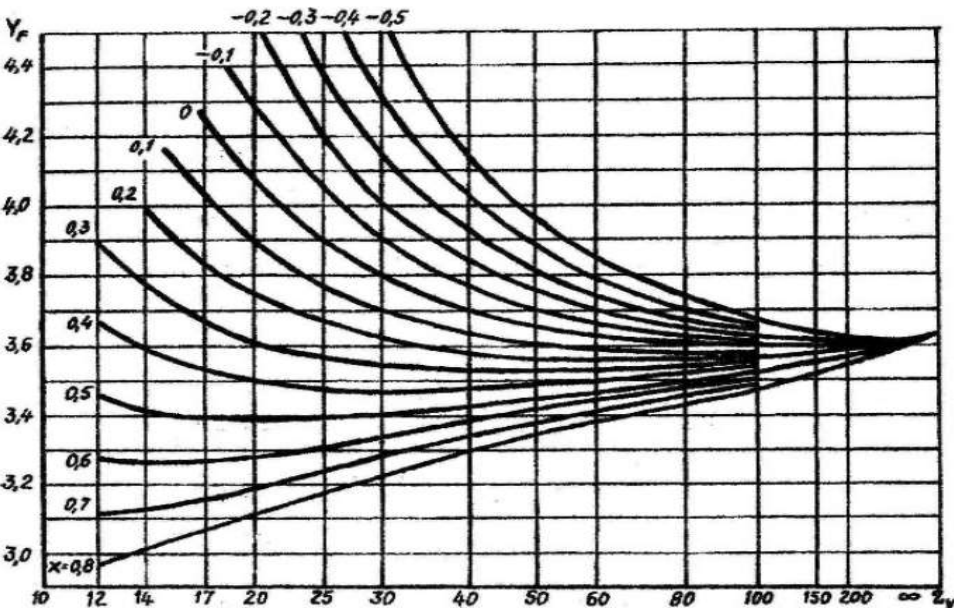


Figura 17 - Diagrama para a escolha do coeficiente de forma do dente Y_F

Catálogo de chavetas da OpaC Conforme a norma DIN 6885 A



• Medidas fuera de norma DIN.
Dimensions outside DIN standard.
Dimensions hors norme DIN.
Medidas fora da norma DIN.

Ref. ?

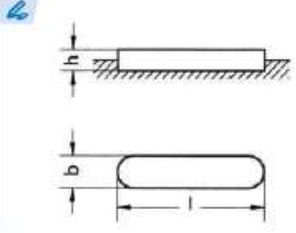
ejemplo
example
exemple
exemplo

Ref. = 51A - XX - XX - XXX

b h l

DIN 6885 A 8x7x50

Ref. = 51A-8-7-50



También disponibles en acero inoxidable.
Also available in stainless steel.
Également disponible en acier inoxydable.
Também disponíveis em aço inoxidável.

Otras medidas bajo consulta y en stock.
Other dimensions in stock and on request.
Autres dimensions sur demande et en stock.
Outras medidas, disponíveis sob consulta e em estoque.

Las longitudes en negrita son las más utilizadas.
Bold numbers represent the most commonly used lengths.
En noir les dimensions les plus utilisées.
Os comprimentos em negrito são os mais utilizados.

Chaveta paralela de ajuste
Parallel keys
Clavette parallèle d'ajustage
Chaveta paralela de ajuste

Acero C45+C (F-114)
Steel C45+C (F-114)
Acier C45+C (F-114)
Aço C45+C (F-114)

Tolerancia b: h9
b Tolerance: h9
Tolérance b: h9
Tolerância b: h9

Tolerancia h: h9 o h11 según DIN 6880
h Tolerance: h9 or h11 according DIN 6880
Tolérance h: h9 ou h11 suivant DIN 6880
Tolerância h: h9 ou h11 conforme a norma DIN 6880

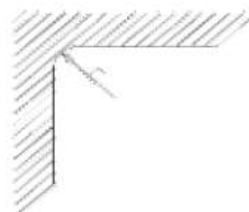
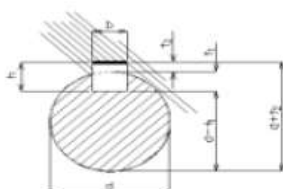
Resistencia mínima a la tracción: 600 N/mm²
Minimum tensile strength: 600 N/mm²
Résistance minimum à la rupture: 600 N/mm²
Resistência mínima à tração: 600 N/mm²

↓

b	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22
h	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22
08	08	08	12	10	14	*10	18	*12	22	*14	28	*20	36
08	08	10	14	12	16	*12	20	*14	25	*15	32	*22	40
10	10	12	16	14	18	14	22	*15	28	*16	36	*25	45
12	12	14	18	*15	20	*15	25	*16	32	*18	40	*28	50
14	14	*15	20	16	22	16	28	18	36	*20	45	*30	56
*15	*15	16	22	18	25	18	32	20	40	22	50	32	63
16	16	18	25	20	28	20	36	22	45	25	56	*35	70
18	18	20	28	22	32	22	40	25	50	28	63	36	80
20	20	22	32	25	36	25	45	28	56	*30	70	40	90
*22	22	25	36	28	40	28	50	*30	63	32	80	45	100
*25	25	28	40	*30	45	*30	56	32	70	*35	90	50	110
*28	28	*30	45	32	50	32	63	*35	80	36	100	*55	125
*30	*30	32	50	*35	56	*35	70	36	90	40	110	56	140
*32	32	*35	56	36	63	36	80	40	100	45	125	*60	160
*35	*35	36	40	70	40	90	45	110	50	140	63	70	180
*36	36	40	45	45	45	50	55	65	75	85	120	130	150
		45	50	50	55	55	56	56	70	80	90	125	160
		*50	*55	*55	*55	*56	*60	*75	*85	*95	*130	*150	*170
			56	56	*60	63	80	90	100	140	160	180	

Tabela de furo e rasgo de chaveta conforme norma DIN 6885/1

TABELA DE FURO E RASGO DE CHAVETA CONFORME NORMA DIN 6885/1



Ø do eixo d		Dimensões da chaveta Aço AISI 1045 Trefilado		Prof. Do rasgo no eixo		Prof. Do rasgo no cubo		Arredondamento no fundo do rasgo r, p/ o eixo e cubo.	
Acima de	Até	Largura b	Altura h	l_1	Tolerância Admissível	l_2	Tolerância Admissível	máximo	mínimo
6	8	2	2	1,2	+ 0,1	1	+ 0,1	0,16	0,08
8	10	3	3	1,8	+ 0,1	1,4	+ 0,1	0,16	0,08
10	12	4	4	2,5	+ 0,1	1,8	+ 0,1	0,16	0,08
12	17	5	5	3	+ 0,1	2,3	+ 0,1	0,25	0,16
17	22	6	6	3,5	+ 0,1	2,8	+ 0,1	0,25	0,16
22	30	8	7	4	+ 0,2	3,3	+ 0,2	0,25	0,16
30	38	10	8	5	+ 0,2	3,3	+ 0,2	0,4	0,25
38	44	12	8	5	+ 0,2	3,3	+ 0,2	0,4	0,25
44	50	14	9	5,5	+ 0,2	3,8	+ 0,2	0,4	0,25
50	58	16	10	6	+ 0,2	4,3	+ 0,2	0,4	0,25
58	65	18	11	7	+ 0,2	4,4	+ 0,2	0,4	0,25
65	75	20	12	7,5	+ 0,2	4,9	+ 0,2	0,6	0,4
75	85	22	14	9	+ 0,2	5,4	+ 0,2	0,6	0,4
85	95	25	14	9	+ 0,2	5,4	+ 0,2	0,6	0,4
95	110	28	16	10	+ 0,2	6,4	+ 0,2	0,6	0,4
110	130	32	18	11	+ 0,2	7,4	+ 0,2	0,6	0,4
130	150	36	20	12	+ 0,3	8,4	+ 0,3	1,0	0,7
150	170	40	22	13	+ 0,3	9,4	+ 0,3	1,0	0,7
170	200	45	25	15	+ 0,3	10,4	+ 0,3	1,0	0,7
200	230	50	28	17	+ 0,3	11,4	+ 0,3	1,0	0,7
230	260	56	32	20	+ 0,3	12,4	+ 0,3	1,6	1,2
260	290	63	32	20	+ 0,3	12,4	+ 0,3	1,6	1,2
290	330	70	36	22	+ 0,3	14,4	+ 0,3	1,6	1,2
330	380	80	40	25	+ 0,3	15,4	+ 0,3	2,5	2
380	440	90	45	28	+ 0,3	17,4	+ 0,3	2,5	2
440	500	100	50	31	+ 0,3	19,5	+ 0,3	2,5	2

Tolerância da largura da chaveta = h9

Tolerância da largura da chaveta = h9				h9	μm	Acima de	1	3	6	10	18	30	50	90
Tol. Da largura do rasgo		Interf.	*			Até	3	6	10	18	30	50	90	120
No eixo	No cubo					h9	0	0	0	0	0	0	0	0
P9	P9					-25	-30	-36	-43	-52	-62	-74	-87	
N9	JS9					+ 12,5	+15	+ 18	+ 21,5	+26	+ 31	+ 37	+ 43,5	
		Deslizante				P9	-6	-12	-15	-18	-22	-26	-32	-37
						-31	-42	-51	-61	-74	-88	-106	-124	
						N9	-4	0	0	0	0	0	0	0
						-29	-30	-38	-43	-52	-62	-74	-87	
* Conforme especificado no desenho.														

* Conforme especificado no desenho.

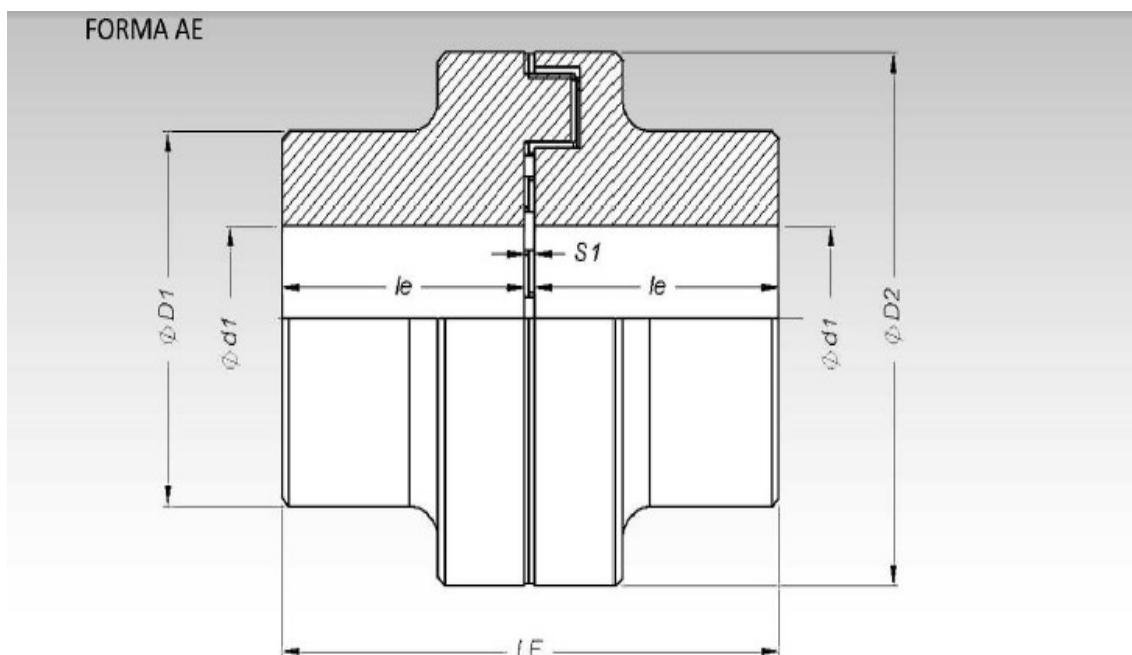
Fatores de serviço para seleção de acoplamentos

FATORES DE SERVIÇO

FATOR F1 - TIPO DE ACIONAMENTO		FATOR F2 - TEMPO DE SERVIÇO	
Motor Elétrico	1.0	Até 8 horas/dia	1.0
Motor de Combustão (4 a 6 Cilindros)	1.2	De 8 a 16 horas/dia	1.1
Motor de Combustão (1 a 3 Cilindros)	1.5	De 16 a 24 horas/dia	1.2

FATOR F3 - TIPO DE MÁQUINA ACIONADA			
Geradores Elétricos	1.2	Transportadores de Corrente	1.8
Bombas Centrífugas		Moinhos Rotativos	
Ventiladores com $N/n \leq 0,05$		Bombas de Pistão com Volante	
Elevadores de Canecas	1.4	Pontes rolantes	2.2
Ventiladores com $0,05 < N/n < 0,1$		Centrífugas	
Máquinas de Ferramentas		Trefilas	
Compressores		Vibradores	
Transportadores de Correia	1.6	Máquinas de Papel	3.0
Misturadores e Betoneiras		Britadores	
Fornos Rotativos		Laminadores / Mesas de Rolos	
Máquinas para Madeira		Bombas de Pistão sem Volante	
Guinchos / Montacargas		Marombas / Misturadores de Borracha	

Acoplamento flexível – FORMA AE da ACIONAC



Tamanho	Torque [Nm]		RPM Máx	d ₁ [mm]		D ₁ [mm]	D ₂ [mm]	le [mm]	LE [mm]	S ₁ [mm] Max	J [KGm ²]	Massa [Kg]	Tamanho
	Nominal	Máximo		Mín	Máx								
50	19	45	9000	-	22	33	50	25	52	2,0	0,0002	0,46	50
67	33	75	6500	-	30	46	67	30	62,5	2,5	0,0004	0,93	67
82	75	160	5400	-	35	53	82	40	83	3,0	0,0012	1,76	82
97	157	340	4600	-	45	68	97	50	103	3,0	0,0028	3,46	97
112	247	540	4000	-	50	79	112	60	123,5	3,5	0,0052	5,00	112
128	397	860	3500	-	60	90	128	70	143,5	3,5	0,0112	7,90	128
148	622	1350	3100	-	70	107	148	80	163,5	3,5	0,0190	12,30	148
168	1035	2250	2650	-	80	124	168	90	183,5	3,5	0,0460	18,40	168
194	1605	3630	2300	-	90	140	194	100	203,5	3,5	0,0894	26,30	194
214	2400	5400	2100	-	100	157	214	110	224	4,0	0,1506	35,70	214
240	3700	8650	1850	-	120	179	240	120	244	4,0	0,2506	46,70	240
265	5800	13500	1700	44	130	198	265	140	285,5	5,5	0,4306	66,30	265
295	7600	18000	1550	50	140	214	295	150	308	8,0	0,6856	84,80	295
330	9900	23400	1450	56	170	248	330	160	328	8,0	1,2606	121,00	330

Pesos e momentos de inércia para acoplamentos SEM furação.

Parafusos sextavado (Hexagonal) da Norelem norma DIN 933/ISO 4017

07171 Parafusos sextavados DIN 933/ISO 4017



Descrição do artigo/Imagens dos produtos



Descrição

Material:

Aço, aço inoxidável A2 ou aço inoxidável A4.

Versão:

Aço com classe de resistência 8.8, superfície sem tratamento (preto) ou eletrogalvanizado.

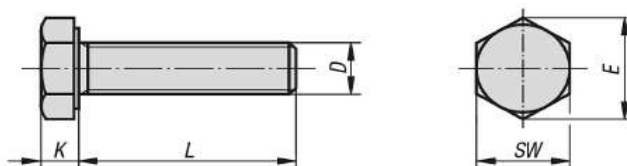
Aço com classe de resistência 10.9, superfície sem tratamento (preto) ou eletrogalvanizado.

Aço com classe de resistência 12.9, superfície sem tratamento (preto)

Aço inoxidável A2-70, superfície sem tratamento.

Aço inoxidável A4-70, superfície sem tratamento.

Desenhos



Activ

Visão geral dos artigos

Código do artigo	Material do corpo básico	Classe de resistência	Superfície Corpo básico	D	L	K	SW	E	DIN	ISO
07171-08X25	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M8	25	5,3	13	14,38	DIN 933	-
07171-08X30	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M8	30	5,3	13	14,38	DIN 933	-
07171-08X35	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M8	35	5,3	13	14,38	DIN 933	-
07171-08X40	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M8	40	5,3	13	14,38	DIN 933	-
07171-08X45	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M8	45	5,3	13	14,38	DIN 933	-
07171-08X50	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M8	50	5,3	13	14,38	DIN 933	-
07171-08X60	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M8	60	5,3	13	14,38	DIN 933	-
07171-08X70	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M8	70	5,3	13	14,38	DIN 933	-
07171-08X80	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M8	80	5,3	13	14,38	DIN 933	-
07171-08X90	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M8	90	5,3	13	14,38	DIN 933	-
07171-08X100	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M8	100	5,3	13	14,38	DIN 933	-
07171-10X16	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M10	16	6,4	17	18,9	DIN 933	-
07171-10X18	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M10	18	6,4	17	18,9	DIN 933	-
07171-10X20	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M10	20	6,4	17	18,9	DIN 933	-
07171-10X25	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M10	25	6,4	17	18,9	DIN 933	-
07171-10X30	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M10	30	6,4	17	18,9	DIN 933	-
07171-10X35	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M10	35	6,4	17	18,9	DIN 933	-
07171-10X40	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M10	40	6,4	17	18,9	DIN 933	-
07171-10X45	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M10	45	6,4	17	18,9	DIN 933	-
07171-10X50	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M10	50	6,4	17	18,9	DIN 933	-
07171-10X60	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M10	60	6,4	17	18,9	DIN 933	-
07171-10X70	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M10	70	6,4	17	18,9	DIN 933	-
07171-10X80	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M10	80	6,4	17	18,9	DIN 933	-
07171-10X90	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M10	90	6,4	17	18,9	DIN 933	-
07171-10X100	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M10	100	6,4	17	18,9	DIN 933	-
07171-12X20	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M12	20	7,5	19	21,1	DIN 933	-
07171-12X25	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M12	25	7,5	19	21,1	DIN 933	-
07171-12X30	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M12	30	7,5	19	21,1	DIN 933	-
07171-14X30	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M14	30	8,8	22	24,49	DIN 933	-
07171-14X35	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M14	35	8,8	22	24,49	DIN 933	-
07171-14X40	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M14	40	8,8	22	24,49	DIN 933	-
07171-14X45	aço	8.8	superfície sem tratamento (preto)	M14	45	8,8	22	24,49	DIN 933	-

Porcas sextavado (Hexagonal) da Norelem norma DIN 934

07210 Porcas sextavadas DIN 934



Descrição do artigo/Imagens dos produtos



Descrição

Material:

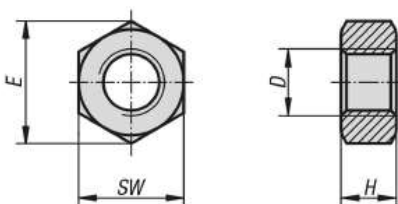
Aço, aço inoxidável A2 ou aço inoxidável A4.

Versão:

Aço com classe de resistência 8, com superfície sem tratamento ou galvanizada.

Aço com classe de resistência 10, com superfície sem tratamento ou galvanizada.

Desenhos



Código do artigo	Materiais	Superfície Corpo básico	Classe de resistência	D	E	H	SW
07210-12	Aço	superfície sem tratamento	8	M12	21,1	10	19
07210-14	Aço	superfície sem tratamento	8	M14	23,9	11	22
07210-16	Aço	superfície sem tratamento	8	M16	26,76	13	24
07210-20	Aço	superfície sem tratamento	8	M20	32,95	16	30
07210-22	Aço	superfície sem tratamento	8	M22	35	18	32
07210-24	Aço	superfície sem tratamento	8	M24	39,6	19	36
07210-27	Aço	superfície sem tratamento	8	M27	45,2	22	41
07210-30	Aço	superfície sem tratamento	8	M30	50,9	24	46
07210-33	Aço	superfície sem tratamento	8	M33	55,4	26	50
07210-36	Aço	superfície sem tratamento	8	M36	60,8	29	55
07210-203	Aço	zincada	8	M3	6,01	2,4	5,5
07210-204	Aço	zincada	8	M4	7,66	3,2	7
07210-205	Aço	zincada	8	M5	8,79	4	8
07210-206	Aço	zincada	8	M6	11,05	5	10
07210-208	Aço	zincada	8	M8	14,38	6,5	13
07210-210	Aço	zincada	8	M10	18,9	8	17
07210-212	Aço	zincada	8	M12	21,1	10	19
07210-214	Aço	zincada	8	M14	23,9	11	22
07210-216	Aço	zincada	8	M16	26,76	13	24
07210-220	Aço	zincada	8	M20	32,95	16	30
07210-222	Aço	zincada	8	M22	35	18	32

Tabela do diâmetro dos furos de passagem de parafusos em função do diâmetro nominal (ISO)

Parafusos de Rosca Métrica

Designação	d (mm)	d ₀ (mm)	A (mm ²)	A _s (mm ²)	s (mm)
M4	4	5	12,6	8,78	7
M5	5	6	19,6	14,2	8
M6	6	7	28,3	20,1	10
M7	7	8	38,5	27,8	11
M8	8	9	50,3	36,0	13
M10	10	11	78,5	58,0	17
M12	12	13	113	84,3	19
M14	14	16	154	115	22
M16	16	18	201	157	24
M18	18	20	254	192	27
M20	20	22	314	245	30
M22	22	24	380	303	32
M24	24	26	452	353	36
M27	27	30	573	451	41
M30	30	33	707	561	46
M33	33	36	855	683	50
M36	36	39	1018	817	55
M39	39	42	1195	963	60
M42	42	45	1385	1121	65
M45	45	48	1590	1291	70
M48	48	51	1810	1473	75
M52	52	55	2124	1740	80
M56	56	59	2463	2030	85
M60	60	63	2827	2342	90
M64	64	67	3217	2676	95

d – diâmetro nominal do parafuso (diâmetro do liso)

d₀ – diâmetro do furo (furos normais)

A – área nominal do parafuso (área do liso)

A_s – área do núcleo do parafuso (área da zona roscada)

s – largura da cabeça do parafuso e da porca

Diâmetro e áreas de roscas métricas de passo grosso e passo fino



Diâmetro maior nominal d mm	Passo p mm	Série de passo grosso		Série de passo fino		
		Área de tensão de tração A_t mm ²	Área de diâmetro menor A_r mm ²	Passo p mm	Área de tensão de tração A_t mm ²	Área de diâmetro menor A_r mm ²
1,6	0,35	1,27	1,7			
2	0,40	2,07	1,79			
2,5	0,45	3,39	2,98			
3	0,5	5,03	4,47			
3,5	0,6	6,78	6,00			
4	0,7	8,78	7,75			
5	0,8	14,2	12,7			
6	1	20,1	17,9			
8	1,25	36,6	32,8	1	39,2	36,0
10	1,5	58,0	52,3	1,25	61,2	56,3
12	1,75	84,3	76,3	1,25	92,1	86,0
14	2	115	104	1,5	125	116
16	2	157	144	1,5	167	157
20	2,5	245	225	1,5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3,5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4,5	1120	1050	2	1260	1230
48	5	1470	1380	2	1670	1630
56	5,5	2030	1910	2	2300	2250
64	6	2680	2520	2	3030	2980
72	6	3460	3280	2	3860	3800
80	6	4340	4140	1,5	4850	4800
90	6	5590	5360	2	6100	6020
100	6	6990	6740	2	7560	7470
110				2	9180	9080



* As equações e os dados usados para desenvolver esta tabela foram obtidos da ANSI B1.1-1974 e B18.3.1-1978. O diâmetro menor foi encontrado por meio da equação $d_r = d - 1,226\ 869p$, e o diâmetro de passo, por meio de $d_p = d - 0,64\ 9519p$. A média do diâmetro de passo e do diâmetro menor foi usada para computar a área de tensão de tração.

Tabela de propriedades mecânicas dos parafusos de aço (de porca), parafusos e prisioneiros

	Categoria de propriedade	Intervalo de tamanho inclusivo	Resistência mínima de prova, [†] MPa	Resistência mínima de tração, [†] MPa	Resistência mínima de escoamento, [†] MPa	Material	Marcação de cabeça
➔	4,6	M5-M36	225	400	240	Baixo e médio carbono	
	4,8	M1,6-M16	310	420	340	Baixo e médio carbono	
	5,8	M5-M24	380	520	420	Baixo e médio carbono	
	8,8	M16-M36	600	830	660	Médio carbono, Q&T (temperado e revenido)	
	9,8	M1,6-M16	650	900	720	Médio carbono, Q&T (temperado e revenido)	
	10,9	M5-M36	830	1040	940	Baixo carbono, martensita, Q&T (temperado e revenido)	
	12,9	M1,6-M36	970	1220	1100	Liga, Q&T (temperado e revenido)	

Anilhas da FORTRESS ROUND WASHERS norma DIN 127

FORTRESS ROUND WASHERS - GALVANISED			FORTRESS ROUND WASHERS - ZINC PLATED		
					
SIZE	PACK QTY	CODE	SIZE	PACK QTY	CODE
M6 X 19 X 3	100	WM6G	M3 X 7	200	WM37Z
M8 X 16 X 3	200	WM8163G	M3 X 9	200	WM39Z
M8 X 22 X 3	100	WM8G	M4 X 9	200	WM49Z
M10 X 21 X 1.6	200	WM102116G	M4 X 11	200	WM411Z
M10 X 25 X 3	100	WM10G	M5 X 10	200	WM510Z
M10 X 30 X 3	100	WM10303G	M5 X 12	200	WM512Z
M12 X 24 X 1.6	100	WM12416G	M5 X 19	200	WM519Z
M12 X 28 X 3	100	WM12G	M5 X 32	200	WM532Z
M12 X 39 X 6	100	WM1239G	M6 X 12.5	200	WM6125Z
M16 X 30 X 1.6	100	WM163016G	M6 X 16 X 1.2	200	WM61612Z
M16 X 34 X 3	100	WM16G	M6 X 16 X 1.6	200	WM616Z
M16 X 38 X 3	50	WM16383G	M6 X 19 X 1.2	200	WM61912Z
M20 X 39 X 3	50	WM20G	M6 X 19 X 1.6	200	WM61916Z
M24 X 44 X 3	50	WM24443G	M6 X 19 X 3	200	WM6193Z
M24 X 50 X 3	50	WM24G	M6 X 22 X 1.2	200	WM622Z
M24 X 65 X 6	50	WM24656G	M6 X 32	100	WM632Z
M27 X 60 X 3	50	WM27603G	M8 X 16 X 1.2	200	WM81612Z
M30 X 60 X 3	50	WM30G	M8 X 16 X 1.6	200	WM816Z
M33 X 67 X 3	50	WM33673G	M8 X 19 X 1.6	200	WM819Z
M33 X 67 X 6	50	WM33676G	M8 X 21 X 1.6	200	WM821Z

Tabela de cordões mínimos de soldadura em função da espessura da chapa

Tabela 16-2

Tamanho mínimo para cordões de solda*

Espessura do metal-base (T)	Tamanho mínimo da solda
<u>dimensões em polegadas</u>	
$T \leq 1/4$	1/8
$1/4 < T \leq 1/2$	3/16
$1/2 < T \leq 3/4$	1/4
$3/4 < T$	5/16
<u>dimensões em mm</u>	
$T \leq 6$	3
$6 < T \leq 12$	5
$12 < T \leq 20$	6
$20 < T$	8

* Fonte: AWS D1.1 Tabela 5.8

Tabela de propriedades de flexão de soldas de filete

Solda	Área de garganta	Localização de G	Segundo momento unitário de área
	$A = 0,707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}$
	$A = 1,414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}$
	$A = 1,414hb$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{bd^2}{2}$
	$A = 0,707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{12}(6b + d)$
	$A = 0,707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$
	$A = 1,414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 1,414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 1,414\pi hr$		$I_u = \pi r^3$

Tabela de Tolerâncias dos rolamentos radiais

Tolerâncias dos rolamentos radiais (exceto os de rolos cônicos)																		
Anel interno																		
		Medidas em mm																
Dímetro nominal do furo	de até	2,5 10	10 18	18 30	30 50	50 80	80 120	120 180	180 250	250 315	315 400	400 500	500 630	630 800	800 1000	1000 1250	1250 1600	1600 2000
Classe de tolerância PN (tolerância normal)																		
		Tolerâncias em µm																
Furo cilíndrico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Desvio	Δ_{furo}	-8	-8	-10	-12	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	-75	-100	-125	-160	-200
Varição	V_{furo}	Série de diâmetros 7 - 8 - 9	10	10	13	15	19	25	31	38	44	50	56	63				
	V_{furo}	0 - 1	8	8	10	12	19	25	31	38	44	50	56	63				
	V_{furo}	2 - 3 - 4	8	8	8	9	11	15	19	23	26	30	34	38				
Varição	V_{furo}		8	8	8	9	11	15	19	23	26	30	34	38				
Furo, conicidade 1:12		+15	+18	+21	+25	+30	+35	+40	+46	+52	+57	+63	+70	+80	+90	+105	+125	+150
Desvio	Δ_{furo}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Δ_{furo}	+15	+18	+21	+25	+30	+35	+40	+46	+52	+57	+63	+70	+80	+90	+105	+125	+150
Varição	V_{furo}	10	10	13	15	19	25	31	38	44	50	56						
Furo, conicidade 1:30					+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50	+75	+100	+125	+160	+200	
Desvio	Δ_{furo}				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Δ_{furo}				+35	+40	+50	+55	+60	+65	+75	+85	+100	+100	+115	+125	+150	
Varição	V_{furo}				19	25	31	38	44	50	56	63						
Desvio da largura	Δ_{ba}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Δ_{ba}	-120	-120	-120	-120	-150	-200	-250	-300	-350	-400	-450	-500	-750	-1000	-1250	-1600	-2000
Varição da largura	V_{ba}	15	20	20	20	25	25	30	30	35	40	50	60	70	80	100	120	140
Desvio radial K_{ra}	K_{ra}	10	10	13	15	20	25	30	40	50	60	65	70	80	90	100	120	140
Classe de tolerância P6																		
Desvio	Δ_{furo}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Δ_{furo}	-7	-7	-8	-10	-12	-15	-18	-22	-25	-30	-35	-40	-50	-65	-80	-100	-130
Varição	V_{furo}	Série de diâmetros 7 - 8 - 9	9	9	10	13	15	19	23	28	31	36	44	50				
	V_{furo}	0 - 1	7	7	8	10	15	19	23	28	31	36	44	50				
	V_{furo}	2 - 3 - 4	5	5	6	8	9	11	14	17	19	23	28	30				
Varição	V_{furo}		5	5	6	8	9	11	14	17	19	23	28	30				
Desvio da largura	Δ_{ba}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Δ_{ba}	-120	-120	-120	-120	-150	-200	-250	-300	-350	-400	-450	-500	-750	-1000	-1250	-1600	-2000
Varição da largura	V_{ba}	15	20	20	20	25	25	30	30	35	40	45	50	55	60	70	70	80
Desvio radial K_{ra}	K_{ra}	6	7	8	10	10	13	18	20	25	30	35	40	50	60	80	80	100

As tolerâncias de largura Δ_{ba} para os rolamentos de contato angular e para fusos na execução universal estão à página 181

As tolerâncias de largura Δ_{ba} para os rolamentos de contato angular e para fusos na execução universal estão à página 181

Tabela de valores das tolerâncias para as classes de qualidade mais usuais

Cota nominal (mm)		CLASSES DE QUALIDADE																	
		IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
De	Até	Tolerância																	
		μm										mm							
1	3	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1	1,4
3	6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	1,8
6	10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2
10	18	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7
18	30	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3
30	50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	3,9
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	4,6
80	120	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4
120	180	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3
180	250	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	7,2
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	8,1
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7	8,9
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,5	4	6,3	9,7
500	630	9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7	11
630	800	10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0,8	1,25	2	3,2	5	8	12,5
800	1000	11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0,9	1,4	2,3	3,6	5,6	9	14
1000	1250	13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1,05	1,65	2,6	4,2	6,6	10,5	16,5
1250	1600	15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1,25	1,95	3,1	5	7,8	12,5	19,5
1600	2000	18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1,5	2,3	3,7	6	9,2	15	23
2000	2500	22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1,75	2,8	4,4	7	11	17,5	28
2500	3150	26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5	21	33

μm -micrômetros = $1 \times 10^{-6}\text{m}$. As classes IT0 e IT01 são indicadas na norma ISO 286-1.

ANEXO-A27

Tabela dos desvios de referência dos furos

Cota Nominal (mm)		Desvio inferior EI (Valores em μm)											Desvio superior ES (μm)								Valores para Δ (μm)																			
		A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS	J	K ⁽¹⁾	M ⁽¹⁾	N ⁽¹⁾																							
De ∇	Até $\leq$	Todas as classes de qualidade											IT6	IT7	IT8	$\leq$ IT8	$>$ IT8	$\leq$ IT8	$>$ IT8	$\leq$ IT8	$>$ IT8	Classes de qualidade $>$ IT 7												IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	
—	3	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0	+2	+4	+6	0	0	-2	-2	-4	-4	-6	-10	-14	-18	-20	-25	-32	-40	-60	0	0	0	0	0	0				
3	6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0	+5	+6	+10	-1+ Δ		-4+ Δ	-4	-8+ Δ	0	-12	-15	-19	-23	-28	-35	-42	-50	-80	1	1.5	1	3	4	6				
6	10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0	+5	+8	+12	-1+ Δ		-6+ Δ	-6	-10+ Δ	0	-15	-19	-23	-28	-34	-42	-52	-67	-97	1	1.5	2	3	6	7				
10	14	+290	+150	+95		+50	+32		+16		+6	0	+6	+10	+15	-1+ Δ		-7+ Δ	-7	-12+ Δ	0	-18	-23	-28		-33	-40	-50	-64	-90	1	2	3	3	7	9				
14	18																																							
18	24	+300	+160	+110		+65	+40		+20		+7	0	+8	+12	+20	-2+ Δ		-8+ Δ	-8	-15+ Δ	0	-22	-28	-35		-41	-47	-54	-63	-73	-98	1.5	2	3	4	8	12			
24	30																																							
30	40	+310	+170	+120		+80	+50		+25		+9	0	+10	+14	+24	-2+ Δ		-9+ Δ	-9	-17+ Δ	0	-26	-34	-43		-48	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	-274	1.5	3	4	5	9	14
40	50	+320	+180	+130																																				
50	65	+340	+190	+140		+100	+60		+30		+10	0	+13	+18	+28	-2+ Δ		-11+ Δ	-11	-20+ Δ	0	-32	-41	-53		-66	-87	-102	-122	-144	-172	-226	-300	-405	2	3	5	6	11	16
65	80	+360	+200	+150																																				
80	100	+380	+220	+170		+120	+72		+36		+12	0	+16	+22	+34	-3+ Δ		-13+ Δ	-13	-23+ Δ	0	-37	-43	-59		-75	-102	-120	-146	-174	-210	-274	-360	-480	2	4	5	7	13	19
100	120	+410	+240	+180																																				
120	140	+460	+260	+200																																				
140	160	+520	+280	+210		+145	+85		+43		+14	0	+18	+26	+41	-3+ Δ		-15+ Δ	-15	-27+ Δ	0	-43	-51	-71		-91	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	-585	2	4	5	7	13	19
160	180	+580	+310	+230																																				
180	200	+660	+340	+240																																				
200	225	+740	+380	+260		+170	+100		+50		+15	0	+22	+30	+47	-4+ Δ		-17+ Δ	-17	-31+ Δ	0	-43	-63	-92		-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800	3	4	6	9	17	26
225	250	+820	+420	+280																																				
250	280	+920	+480	+300																																				
280	315	+1050	+540	+330		+190	+110		+56		+17	0	+25	+36	+55	-4+ Δ		-20+ Δ	-20	-34+ Δ	0	-43	-63	-92		-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800	3	4	6	9	17	26
315	355	+1200	+600	+360		+210	+125		+62		+18	0	+29	+39	+60	-4+ Δ		-21+ Δ	-21	-37+ Δ	0	-43	-63	-92		-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800	3	4	6	9	17	26
355	400	+1350	+680	+400																																				
400	450	+1500	+760	+440		+230	+135		+68		+20	0	+33	+43	+66	-5+ Δ		-23+ Δ	-23	-40+ Δ	0	-43	-63	-92		-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800	3	4	6	9	17	26
450	500	+1650	+840	+480																																				
500	560																																							
560	630					+260	+145		+76		+22	0				0		-26		-44		-43	-63	-92		-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800	3	4	6	9	17	26
630	710																																							
710	800					+290	+160		+80		+24	0				0		-30		-50		-43	-63	-92		-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800	3	4	6	9	17	26
800	900																																							
900	1000					+320	+170		+86		+26	0				0		-34		-56		-43	-63	-92		-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800	3	4	6	9	17	26
1000	1120																																							
1120	1250					+350	+195		+98		+28	0				0		-40		-66		-43	-63	-92		-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800	3	4	6	9	17	26

Cota nominal (mm)		Desvio superior ES (Valores em μm)												Valores para Δ (μm)											
		P a ZC	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	Classes de qualidade										
De ∇	Até $\leq$	$\leq$ IT7	Classes de qualidade $>$ IT 7												IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8					
—	3		-6	-10	-14		-18		-20		-26	-32	-40	-60	0	0	0	0	0	0					
3	6		-12	-15	-19		-23		-28		-35	-42	-50	-80	1	1.5	1	3	4	6					
6	10		-15	-19	-23		-28		-34		-42	-52	-67	-97	1	1.5	2	3	6	7					
10	14		-18	-23	-28			-33		-40		-50	-64	-90	1	2	3	3	7	9					
14	18						-39	-45		-60	-77	-108	-150												
18	24						-41	-47	-54	-63	-73	-98	-136	-188	1.5	2	3	4	8	12					
24	30						-41	-48	-55	-64	-75	-88	-118	-218											
30	40		-22	-28	-35				-48	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	-274								
40	50						54	-70	-81	-97	-114	-136	-180	-242	325										
50	65		-26	-34	-43				-48	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	-274	1.5	3	4	5	9	14		
65	80						54	-70	-81	-97	-114	-136	-180	-242	325										
80	100		-32						-41	-53	-66	-87	-102	-122	-144	-172	-226	-300	-405						
100	120								-43	-59	-75	-102	-120	-146	-174	-210	-274	-360	-480	2	3	5	6	11	16
120	140		-37						-51	-71	-91	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	-585	2	4	5	7	13	19
140	160								-54	-79	-104	-144	-172	-210	-254	-310	-400	-525	-690						
160	180								-63	-92	-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800						
180	200		-43						-65	-100	-134	-190	-228	-280	-340	-415	-535	-700	-900	3	4	6	7	15	23
200	225								-68	-108	-146	-210	-252	-310	-380	-465	-600	-780	-1000						
225	250								-77	-122	-166	-236	-284	-350	-425	-520	-670	-880	-1150						
250	280		-50						-80	-130	-180	-258	-310	-385	-470	-575	-740	-960	-1250	3	4	6	9	17	26
280	315								-84	-140	-196	-284	-340	-425	-520	-640	-820	-1060	-1350						
315	355								-94	-158	-218	-315	-385	-475	-580	-710	-920	-1200	-1550	4	4	7	9	20	29
355	400								-98	-170	-240	-350	-425	-525	-650	-790	-1000	-1300	-1700						
400	450								-108	-190	-268	-390	-475	-590	-730	-900	-1150	-1500	-1900						
450	500		-62						-114	-208	-294	-435	-530	-660	-820	-1000	-1300	-1650	-2100	4	5	7	11	21	32
500	560								-126	-232	-330	-490	-595	-740	-920	-1100	-1450	-1850	-2400						
560	630								-132	-252	-360	-540	-660	-820	-1000	-1250	-1600	-2100	-2600	5	5	7	13	23	34
630	710		-78																						

Tabela dos desvios de referência dos veios

Cota Nominal (mm)		Desvio Superior es (Valores em μm)											
		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js
De >	Até ≤	Todas as Classes de Qualidade											
-	3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	
10	14	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0	
14	18												
18	24	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0	
24	30												
30	40	-310	-170	-120		-80	-50		-25		-9	0	
40	50	-320	-180	-130									
50	65	-340	-190	-140		-100	-60		-30		-10	0	
65	80	-360	-200	-150									
80	100	-380	-220	-170		-120	-72		-36		-12	0	
100	120	-410	-240	-180									
120	140	-460	-260	-200		-145	-85		-43		-14	0	
140	160	-520	-280	-210									
160	180	-580	-310	-230		-170	-100		-50		-15	0	
180	200	-660	-340	-240									
200	225	-740	-380	-260		-190	-110		-56		-17	0	
225	250	-820	-420	-280									
250	280	-920	-480	-300		-190	-110		-56		-17	0	
280	315	-1050	-540	-330									

Desvios
simétricos:
ei = -IT/2
es = IT/2

Cota (mm)		Desvio Inferior ei (Valores em μm)																			
		j		k		m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc		
De >	Até ≤	IT5 IT6	IT7	IT8	IT4 a IT7	≤IT3 >IT7	Todas as Classes de Qualidade														
-	3	-2	-4	-6	0	0	+2	+4	+6	+10	+14		+18		+20		+26	+32	+40	+60	
3	6	-2	-4		+1	0	+4	+8	+12	+15	+19		+23		+28		+35	+42	+50	+80	
6	10	-2	-5		+1	0	+6	+10	+15	+19	+23		+28		+34		+42	+52	+67	+97	
10	14	-3	-6		+1	0	+7	+12	+18	+23	+28		+33		+40		+50	+64	+90	+130	
14	18																				
18	24	-4	-8		+2	0	+8	+15	+22	+28	+35		+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188	
24	30																				
30	40	-5	-10		+2	0	+9	+17	+26	+34	+43		+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274
40	50																				
50	65	-7	-12		+2	0	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405	
65	80																				
80	100	-9	-15		+3	0	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585	
100	120																				
120	140									+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800	
140	160	-11	-18		+3	0	+15	+27	+43	+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900	
160	180									+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000	
180	200									+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150	
200	225	-13	-21		+4	0	+17	+31	+50	+80	+130	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250	
225	250									+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350	
250	280	-16	-26		+4	0	+20	+34	+56	+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550	
280	315																				
315	355	-18	-28		+4	0	+21	+37	+62	+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900	
355	400																				
400	450	-20	-32		+5	0	+23	+40	+68	+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400	
450	500																				
500	560				0	0	+26	+44	+78	+150	+280	+400	+600								
560	630									+155	+310	+450	+660								
630	710				0	0	+30	+50	+88	+175	+340	+500	+740								
710	800									+185	+380	+560	+840								

processos tecnológicos

Diversidade	Função das superfícies	sem contacto		contacto fixo		centragem contacto móvel guiamento		estanquidade trajectória precisa						Tolerâncias Geométricas (µm)			
	Natureza das superfícies	bruta		precisão média		boa precisão		precisão elevada									
	Qualidade IT	16-15-14-13-12		11-10-9		8-7-6		5-4-3-2-1-0-01									
Razão de custo	Aspecto	mate		semi mate				brilhante			espelhado						
	Símbolos antigos	~		▽		▽▽		▽▽▽			▽▽▽▽						
	Qualidade	grosseira		média				fina			Muito fina						
	Nº classe (ISO 1302)	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1					
	Rt (µm)	120	55	27	12	5.7	2.8	1.4	0.6	0.25	0.1	0.05					
	Ra (µm)	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025	#	⊥	⊙	∠	
Fundição em areia																	
Fundição em cera perdida																	
Fundição em coquilha																	
Fundição injectada																	
Estampagem a quente																	
Extrusão a quente																	
Extrusão a frio																	
Oxicorte																	
Sinterização													20		20		
Fresagem com aço rápido													50-100	30	5-20	1	
Fres. c/ ferr. de carbonetos													20-100	20		1	
Torneamento pesado																	
Torneamento fino													20-100	20	5-10	1	
Torn. com ferr. diamantada													10	20	10	1	
Corte por arrombamento													200	100	100	10	
Mandrilamento													5	10	10	1	
Brochagem													2		2		
Rectificação de produção																	
Rectificação de precisão													1	1	2		
Honing													0.5	1	2		
Lapping																	
Polimento mecânico																	
Polimento electrolítico																	
Super acabamento													0.5	1	5		
Maquinagem electrolítica																	
		Valores económicos						Valores possíveis									

Catálogo de Contactores e Relés térmicos da WEG

www.weg.net



Partida direta

Contator CWB + relé de sobrecarga térmico RW

- Manobra remota de cargas
- Proteção contra sobrecarga
- Sensibilidade a falta de fase
- Classe de disparo 10
- Compensação de temperatura
- Permite montagem em trilho DIN mediante fixação de apenas um componente
- Permite *reset* manual/local ou automático



Corrente do motor (A)	Contator AC-3		Relé de sobrecarga		Fusível Fusível máximo (gL/gG) (coordenação tipo 1) (A)
	Referência	Máxima corrente nominal AC-3 (A)	Referência	Range de ajuste de corrente I (A)	
0,28...0,4	CWB9-11-30 ♦	9	RW27-2D3-D004	0,28...0,4	2
0,43...0,63	CWB9-11-30 ♦	9	RW27-2D3-C063	0,43...0,63	2
0,56...0,8	CWB9-11-30 ♦	9	RW27-2D3-D008	0,56...0,8	2
0,8...1,2	CWB9-11-30 ♦	9	RW27-2D3-D012	0,8...1,2	4
1,2...1,8	CWB9-11-30 ♦	9	RW27-2D3-D018	1,2...1,8	6
1,8...2,8	CWB9-11-30 ♦	9	RW27-2D3-D028	1,8...2,8	6
2,8...4	CWB9-11-30 ♦	9	RW27-2D3-U004	2,8...4	10
4...6,3	CWB9-11-30 ♦	9	RW27-2D3-D063	4...6,3	16
5,6...8	CWB9-11-30 ♦	9	RW27-2D3-U008	5,6...8	20
7...9	CWB9-11-30 ♦	9	RW27-2D3-U010	7...10	25
8...12	CWB12-11-30 ♦	12	RW27-2D3-D125	8...12,5	25
10...15	CWB18-11-30 ♦	18	RW27-2D3-U015	10...15	35
11...17	CWB18-11-30 ♦	18	RW27-2D3-U017	11...17	40
15...23	CWB25-11-30 ♦	25	RW27-2D3-U023	15...23	50
22...32	CWB32-11-30 ♦	32	RW27-2D3-U032	22...32	63
32...40	CWB38-11-30 ♦	38	RW27-2D3-U040	32...40	90
25...40	CWB40-11-30 ♦	40	RW67-5D3-U040	25...40	80
32...50	CWB50-11-30 ♦	50	RW67-5D3-U050	32...50	100
40...57	CWB65-11-30 ♦	65	RW67-5D3-U057	40...57	100
50...63	CWB65-11-30 ♦	65	RW67-5D3-U063	50...63	100
57...70	CWB80-11-30 ♦	80	RW67-5D3-U070	57...70	125
63...80	CWB80-11-30 ♦	80	RW67-5D3-U080	63...80	125
63...80	CWB95-11-30 ♦	95	RW117-3D3-U080	63...80	200
75...95	CWB95-11-30 ♦	95	RW117-3D3-U097	75...97	200
90...110	CWB110-11-30 ♦	110	RW117-3D3-U112	90...112	250
110...125	CWB125-11-30 ♦	125	RW117-3D3-U140	110...140	315

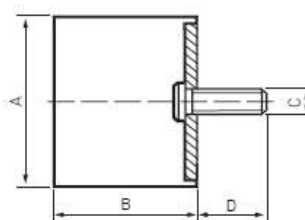
Catálogo de Apoios anti vibrações da Hidromarinha

Apoio Cilíndrico Macho

Catálogo de Apoios Anti Vibração

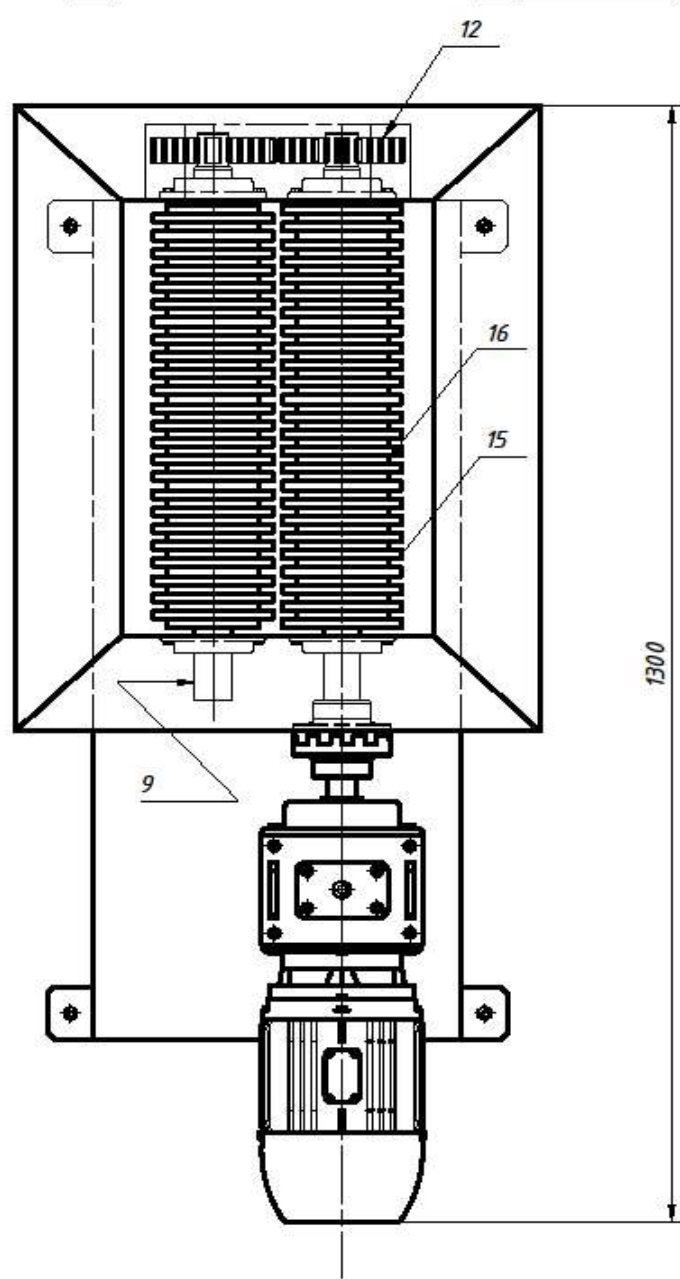
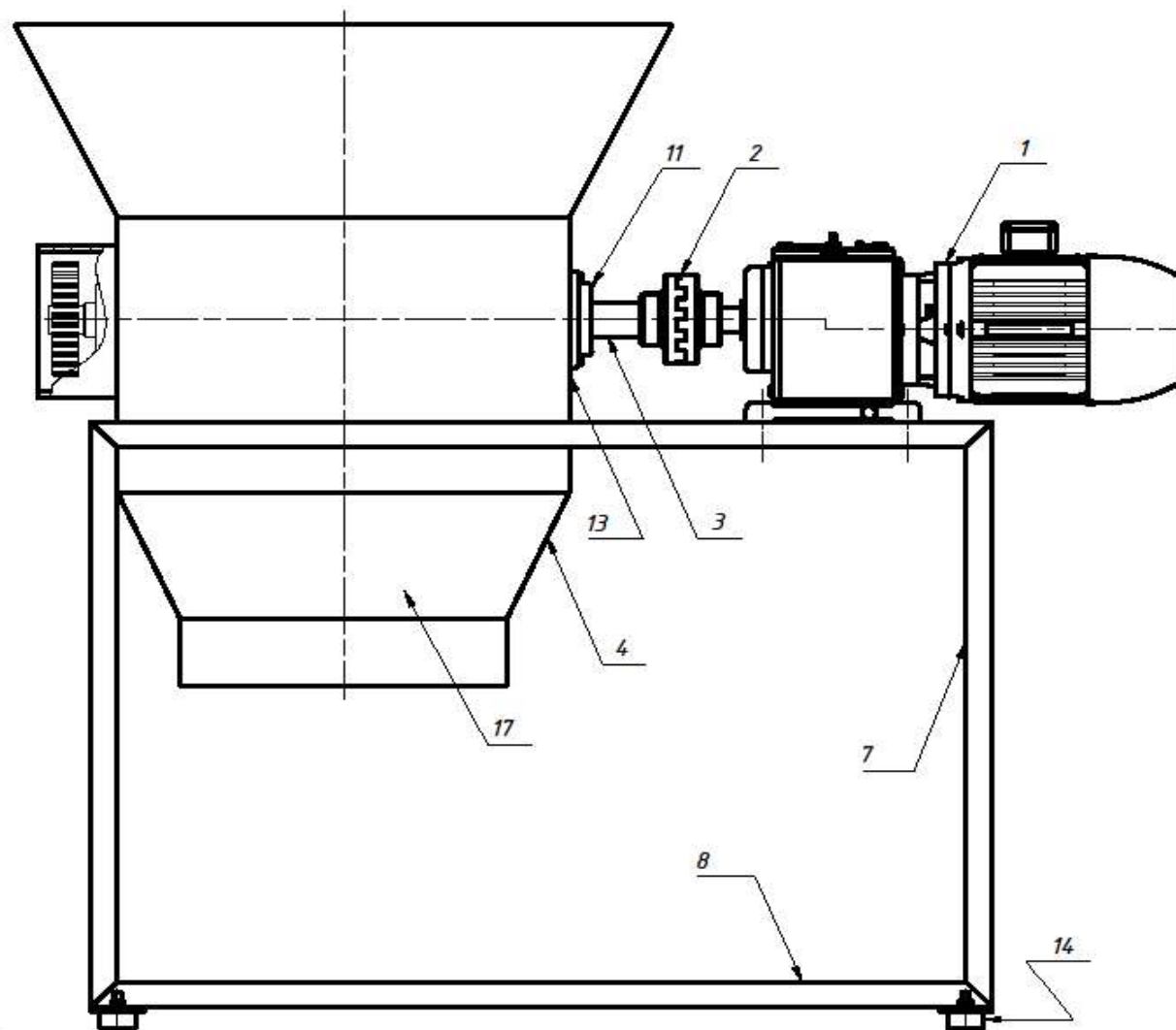
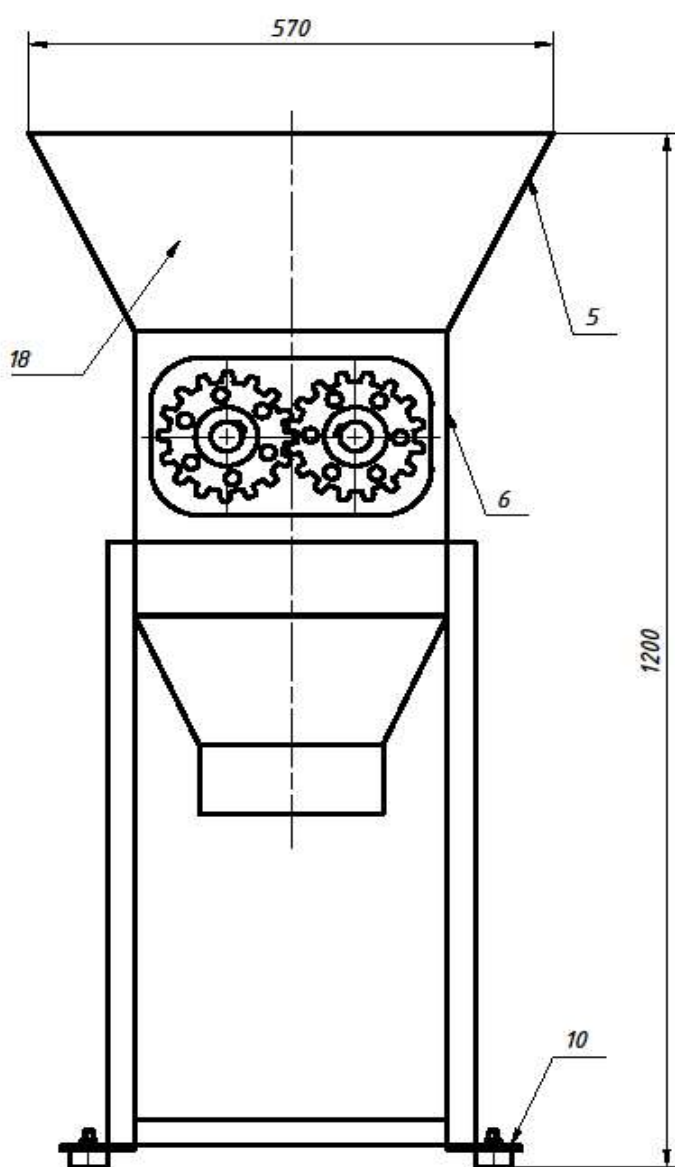
HM032 | 3ª Edição | Novembro 2022

AP4 | Apoio Cilíndrico Macho



a) A - Diâmetro exterior do Apoio | B - Altura | C - Rosca | D - Comprimento do Perne

Código	Descrição [A x B x C] ^{a)}	D ^{a)}	Compressão		Alongamento	
			Carga (Máx.)	Deform. (mm)	Carga (Máx.)	Deform. (mm)
	APOIO CILI. M 030.0 x 022.0 x M08	23,00	80,00	05,00	-	-
AP4.03025M08	APOIO CILI. M 030.0 x 025.0 x M08	23,00	75,00	06,00	-	-
AP4.03030M08	APOIO CILI. M 030.0 x 030.0 x M08	23,00	70,00	08,00	-	-
AP4.03040M08	APOIO CILI. M 030.0 x 040.0 x M08	23,00	60,00	09,00	-	-
AP4.04015M08	APOIO CILI. M 040.0 x 015.0 x M08	23,00	170,00	04,00	-	-
AP4.04020M08	APOIO CILI. M 040.0 x 020.0 x M08	23,00	160,00	05,00	-	-
AP4.04020M10	APOIO CILI. M 040.0 x 020.0 x M10	25,00	160,00	05,00	-	-
	APOIO CILI. M 040.0 x 025.0 x M08	23,00	150,00	06,00	-	-
	APOIO CILI. M 040.0 x 025.0 x M10	25,00	150,00	06,00	-	-
	APOIO CILI. M 040.0 x 028.0 x M08	23,00	150,00	06,00	-	-
	APOIO CILI. M 040.0 x 028.0 x M10	25,00	150,00	06,00	-	-
AP4.04030M08	APOIO CILI. M 040.0 x 030.0 x M08	23,00	150,00	06,00	-	-
AP4.04030M10	APOIO CILI. M 040.0 x 030.0 x M10	25,00	150,00	06,00	-	-
	APOIO CILI. M 040.0 x 035.0 x M08	23,00	120,00	08,00	-	-
AP4.04035M10	APOIO CILI. M 040.0 x 035.0 x M10	25,00	120,00	08,00	-	-
AP4.04040M08	APOIO CILI. M 040.0 x 040.0 x M08	23,00	120,00	10,00	-	-
AP4.04040M10	APOIO CILI. M 040.0 x 040.0 x M10	25,00	120,00	10,00	-	-
	APOIO CILI. M 040.0 x 045.0 x M08	23,00	120,00	11,00	-	-
	APOIO CILI. M 040.0 x 045.0 x M10	25,00	120,00	11,00	-	-



Legenda

- | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Motor redutor | 10. Pé |
| 2. Acomplamento elástico | 11. Mancal de rolamento |
| 3. Veio primário | 12. Engrenagem |
| 4. Chapa lateral do bocal de saída | 13. Chapa lateral da caixa de corte |
| 5. Chapa frontal da tremonha | 14. Apoio anti-vibrações |
| 6. Chapa frontal da caixa de corte | 15. Lâmina de corte |
| 7. Perna vertical | 16. Separador |
| 8. Perna horizontal | 17. Chapa frontal de bocal de saída |
| 9. Veio movido | 18. Chapa lateral da tremonha |

4. Rolamento	DIN 281					
4. Porca M8	DIN 934	Aço C45				
4. Porca M10	DIN 934	Aço C45				
16. Porca M14	DIN 934	Aço C45				
2. Chavefa	DIN 6885 A	Aço C45				
16. Anilha M14	DIN 127	Aço C45				
40. Anilha M10	DIN 127	Aço C45				
16. Parafuso M14	ISO 4027	Aço C45				
4. Parafuso M10	ISO 4027	Aço C45				
36. Parafuso M8	ISO 4027	Aço C45				
1. Peneira		Aço C20				
1. Chapa de suporte do redutor		Aço C20				
2. Chapa lateral da tremonha		Aço C20	18			
2. Chapa frontal do bocal de saída		Aço C20	17			
50. Separado		Aço C60	16			
50. Lâmina de corte		Aço C60	15			
4. Apoio anti-vibrações		Burracha	14			
2. Chapa lateral da caixa de corte		Aço C20	13			
2. Engrenagem		Aço C45	12			
4. Mancal de rolamento		Ferro fun	11			
4. Pé		Aço 45	10			
1. Veio movido		Aço 45	9			
4. Perna horizontal da estrutura		Aço C20	8			
4. Perna vertical da estrutura		Aço C20	7			
2. Chapa frontal da caixa de corte		Aço C20	6			
2. Chapa frontal da tremonha		Aço C20	5			
2. Chapa lateral do bocal de saída		Aço C20	4			
1. Veio primário		Aço C45	3			
1. Acomplamento elástico			2			
1. Motor redutor			1			

Nº	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA Nº DESENHO	MATERIAL	Nº REF	PRODUTO SEM-ACABADO Nº MOLDE Nº MATRIZ	PESO	OBSERVAÇÕES
----	------------	---------------------------	----------	-----------	---	------	-------------

Desenhou	Data	Apelido
Fernando	04.04.25	Messingue
Verificou	Data	Apelido
Eng. Danizão		Longo

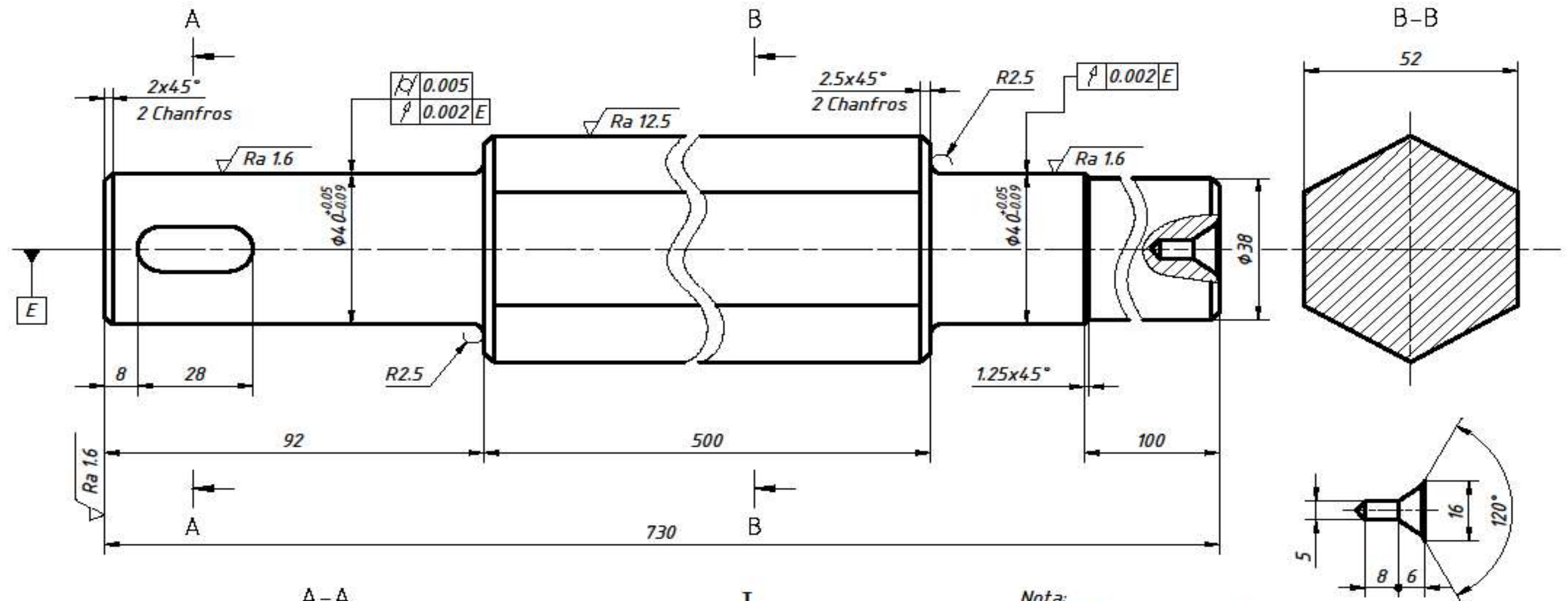
1:5

Triturador de polímeros
termoplásticos

DEMA.25.01.00.TL

UEM-FE-DEMA

$\sqrt{Ra\ 12.5}$ (✓)

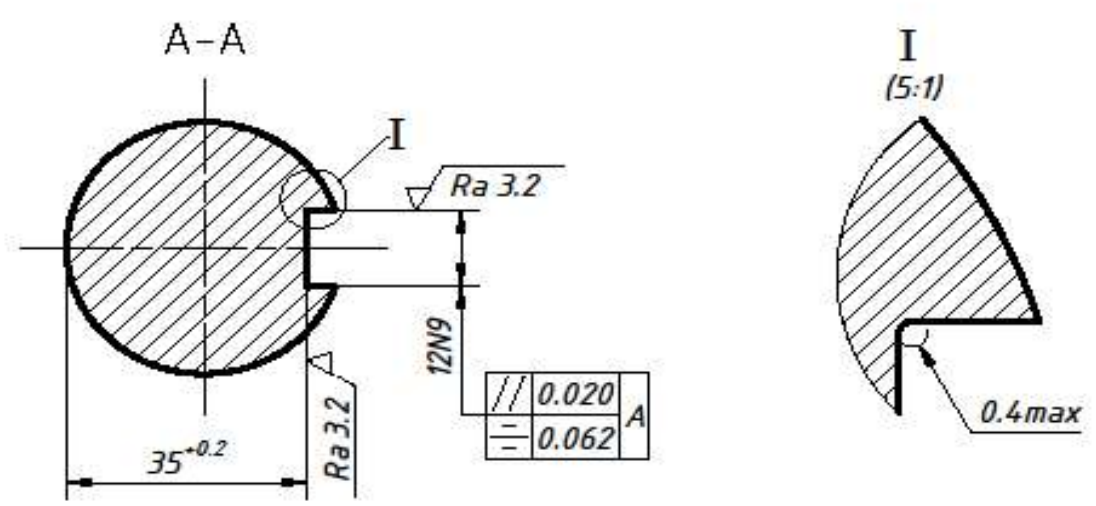
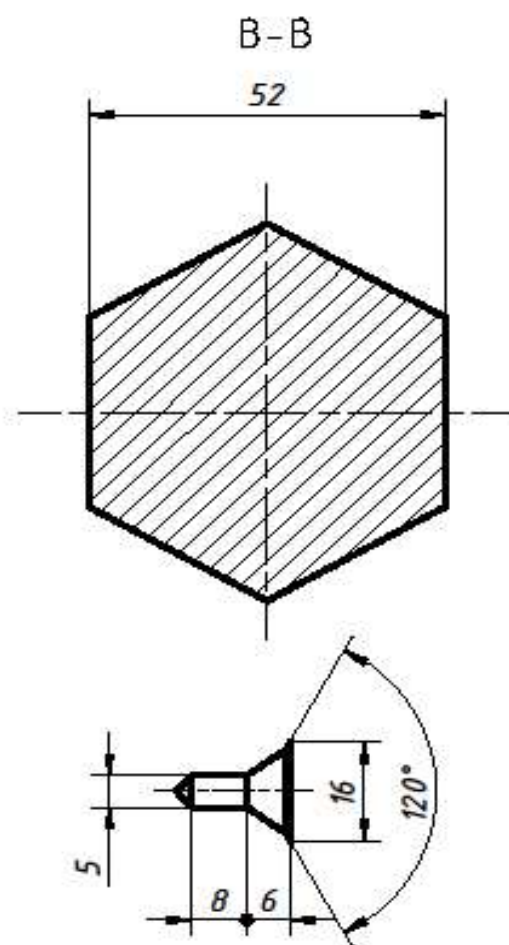
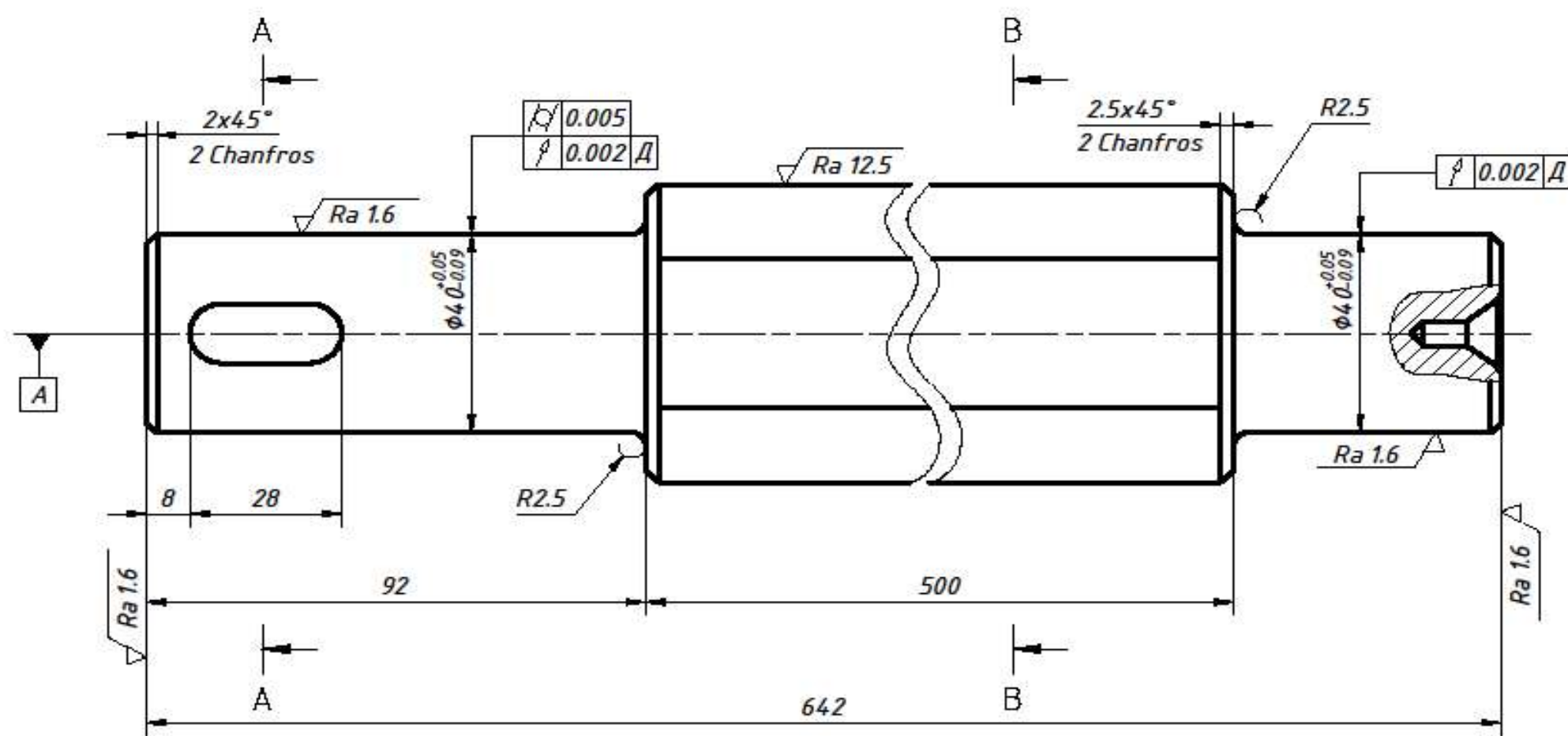


Nota:

1. Dureza 170...210 HB
2. Todos os raios transitórios 2mm
3. Dois furos de centragem
4. Desvios limites não indicados, furos : H14, veios: h4, Outros $\pm IT14/2$

Desenhou	Data	Apelido	SAE 1045	DEMA.25.01.01.TL					
Fernando	04.04.25	Messingue							
Verificou	Data	Apelido							
Eng. Danilo		Longo							
1:1	Veio Primário			UEM-FE-DEMA					

$\sqrt{Ra\ 12.5}$ (M)

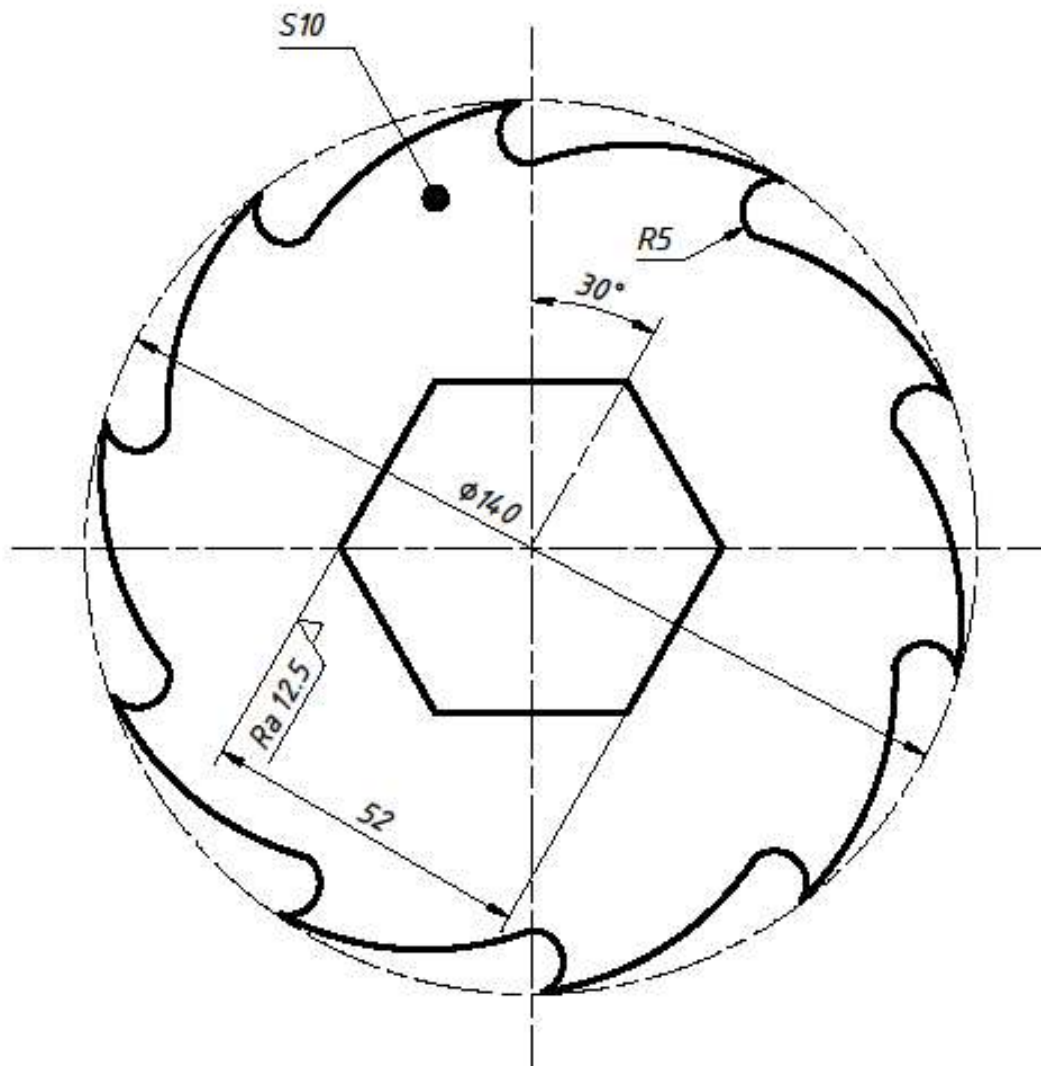


Nota:

1. Dureza 170...210 HB
2. Todos os raios transitórios 2mm
3. Dois furos de centragem
4. Desvios limites não indicados, furos : H14, veios: h14, Outros $\pm IT14/2$

Desenhou	Data	Apelido	SAE 1045	DEMA.25.01.02.TL						
Fernando	04.04.25	Messingue								
Verificou	Data	Apelido								
Eng. Danilo		Longo								
1:1	Veio movido			UEM-FE-DEMA						

✓ $Ra\ 1.6$ (✓)

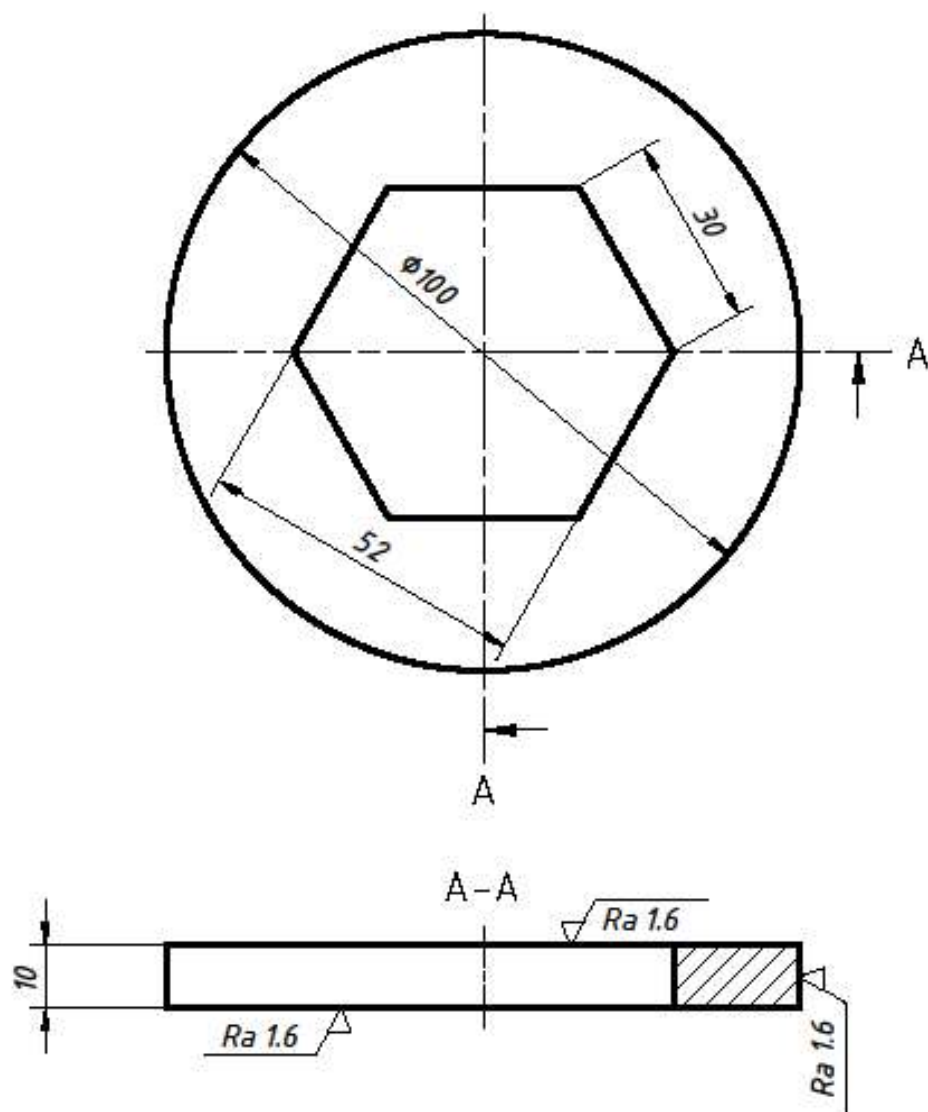


Nota:

1. Dureza 180...220 HB
2. Desvios limites não indicados, furos : H14, veios: h14, Outros $\pm IT14/2$

Desenhou	Data	Apelido	SAE 1060	DEMA.25.01.03.TL		
Fernando	04.04.25	Messingue				
Verificou	Data	Apelido				
Eng. Danizle		Lange				
1:1	lâmina de corte			UEM-FE-DEMA		

$\sqrt{Ra\ 12.5}$ (✓)

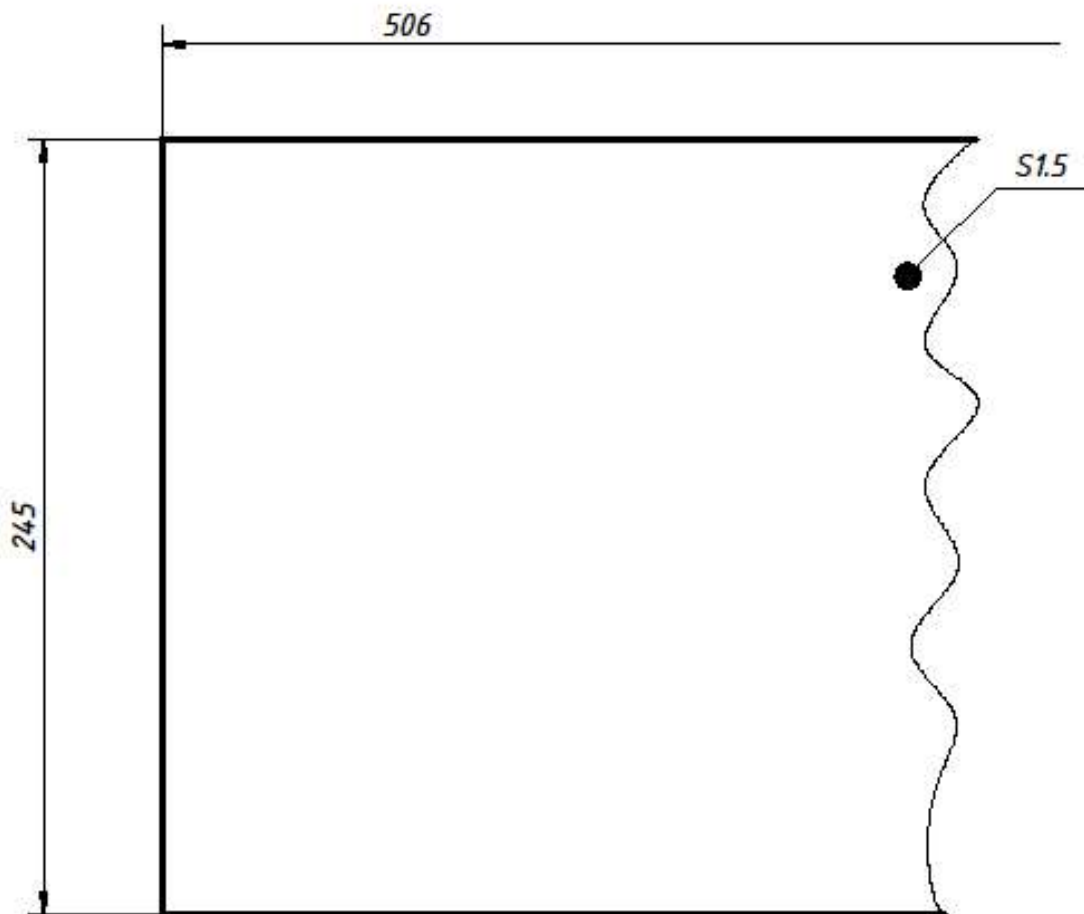


Nota:

1. Dureza 180...220 HB
2. Desvios limites não indicados, furos : H14, veios: h14, Outros $\pm IT14/2$

Desenhou	Data	Apelido	SAE 1060	DEMA.25.01.04.TL					
Fernando	04.04.25	Messinguer							
Verificou	Data	Apelido							
Eng. Dionizio		Longo							
1:1	Separador			UEM-FE-DEMA					

$\sqrt{Ra\ 12.5}$ (✓)

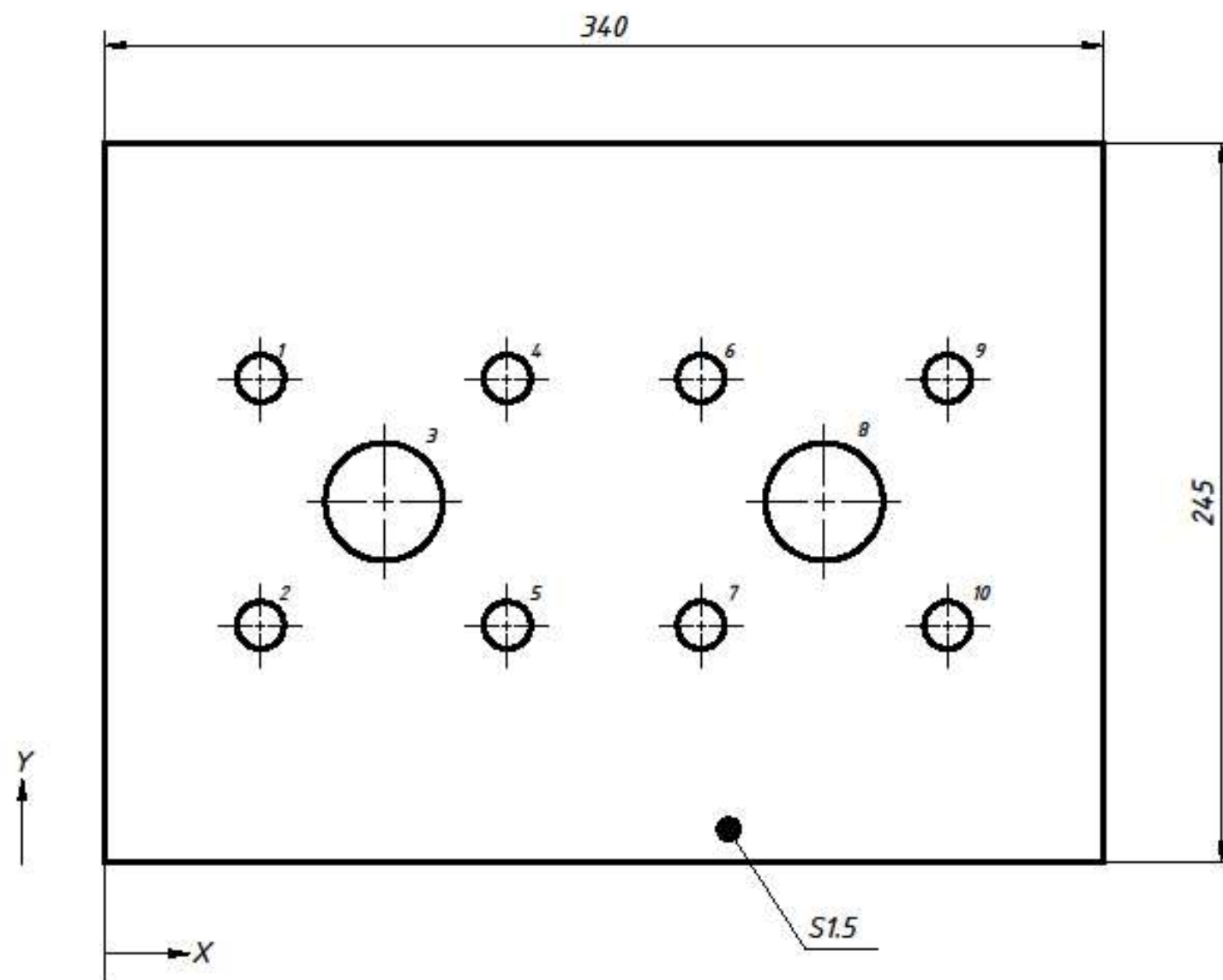


Nota:

1. Dureza 111...163 HB
2. Desvios limites não indicados, furos : H14, veios: h14, Outros $\pm IT14/2$

Desenhou	Data	Apelido	SAE 1020	DEMA.25.01.05.TL
Fernando	04.04.25	Hessingue		
Verificou	Data	Apelido		
Eng. Danizão		Longo		
1:2	Chapa frontal da caxa de corte			UEM-FE-DEMA

$\sqrt{Ra\ 12.5}$ (✓)



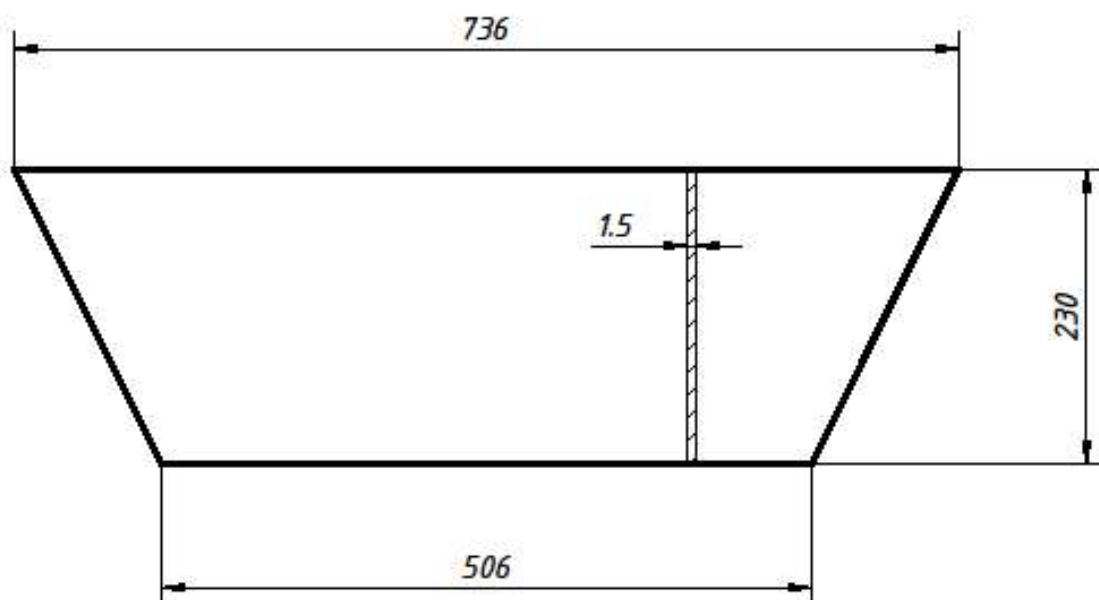
Furo Nº	X	Y	Diâmetro
1	53	164.5	16
2	53	80.5	16
3	95	122.5	40
4	137	164.5	16
5	137	80.5	16
6	203	164.5	16
7	203	80.5	16
8	245	122.5	40
9	287	164.5	16
10	287	80.5	16

Nota:

1. Dureza 111...163 HB
2. Desvios limites não indicados, furos : h14, veios: H14, Outros $\pm IT14/2$

Desenhou	Data	Apelido	SAE 1020	DEMA.25.01.06.TL
Fernando	04.04.25	Messingue		
Verificou	Data	Apelido		
Eng. Danizão		Lange		
1:2	Chapa lateral da caixa de corte			UEM-FE-DEMA

$\sqrt{Ra\ 12.5}$ (M)

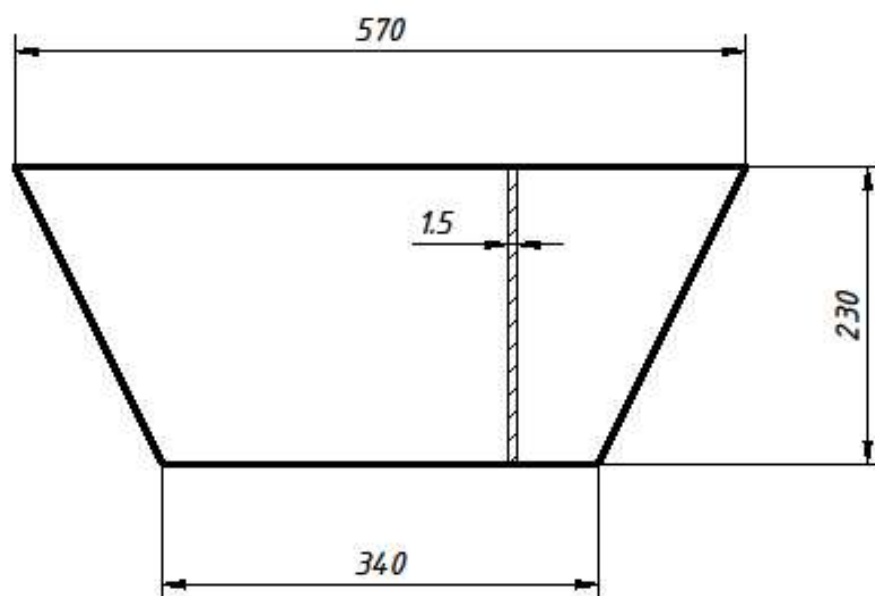


Nota:

1. Dureza 111...163 HB
2. Desvios limites não indicados, furos : H14, veios: h14, Outros $\pm IT14/2$

Desenhou	Data	Apelido	SAE 1020	DEMA.25.01.07.TL
Fernando	04.04.25	Messingue		
Verificou	Data	Apelido		
Eng. Danizale		Lange		
1:5	Chapa frontal da tremonha			UEM-FE-DEMA

$\sqrt{Ra\ 12.5}$ (✓)

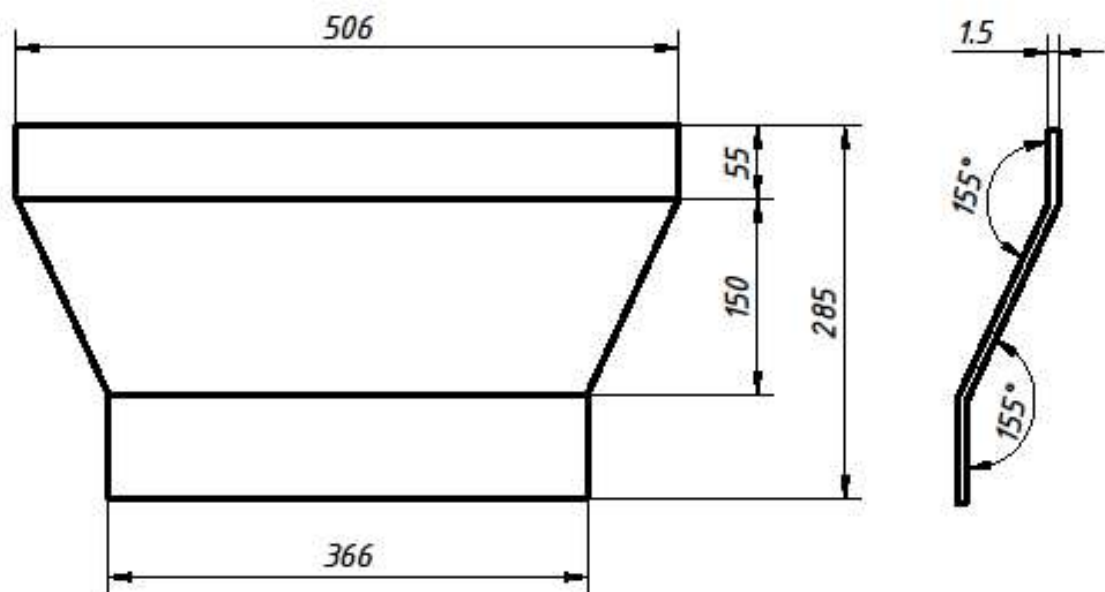


Nota:

1. Dureza 111...163 HB
2. Desvios limites não indicados, furos : H14, veios: h14, Outros $\pm IT14/2$

Desenhou	Data	Apelido	SAE 1020	DEMA.25.01.08.TL					
Fernando	04.04.25	Messingue							
Verificou	Data	Apelido							
Eng. Danizale		Lange							
1:5	Chapa lateral da tremonha			UEM-FE-DEMA					

✓ $Ra\ 12.5$ (✓)

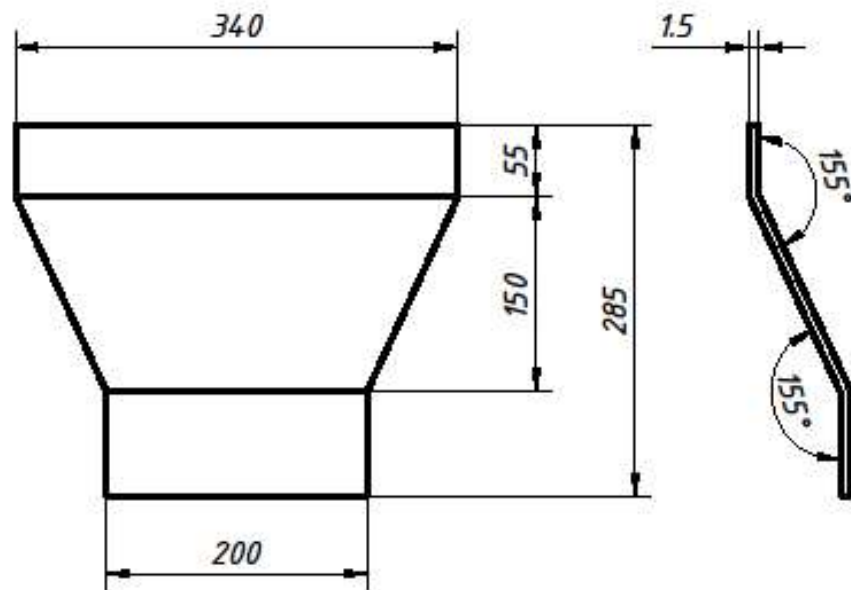


Nota:

1. Dureza 111...163 HB
2. Desvios limites não indicados, furos : H14, veios: h14, Outros $\pm IT14/2$

Desenhou	Data	Apelido	SAE 1020	DEMA.25.01.09.TL
Fernando	04.04.25	Messingue		
Verificou	Data	Apelido		
Eng. Danizete		Longe		
1:5	Chapa frontal do bocal de saída			UEM-FE-DEMA

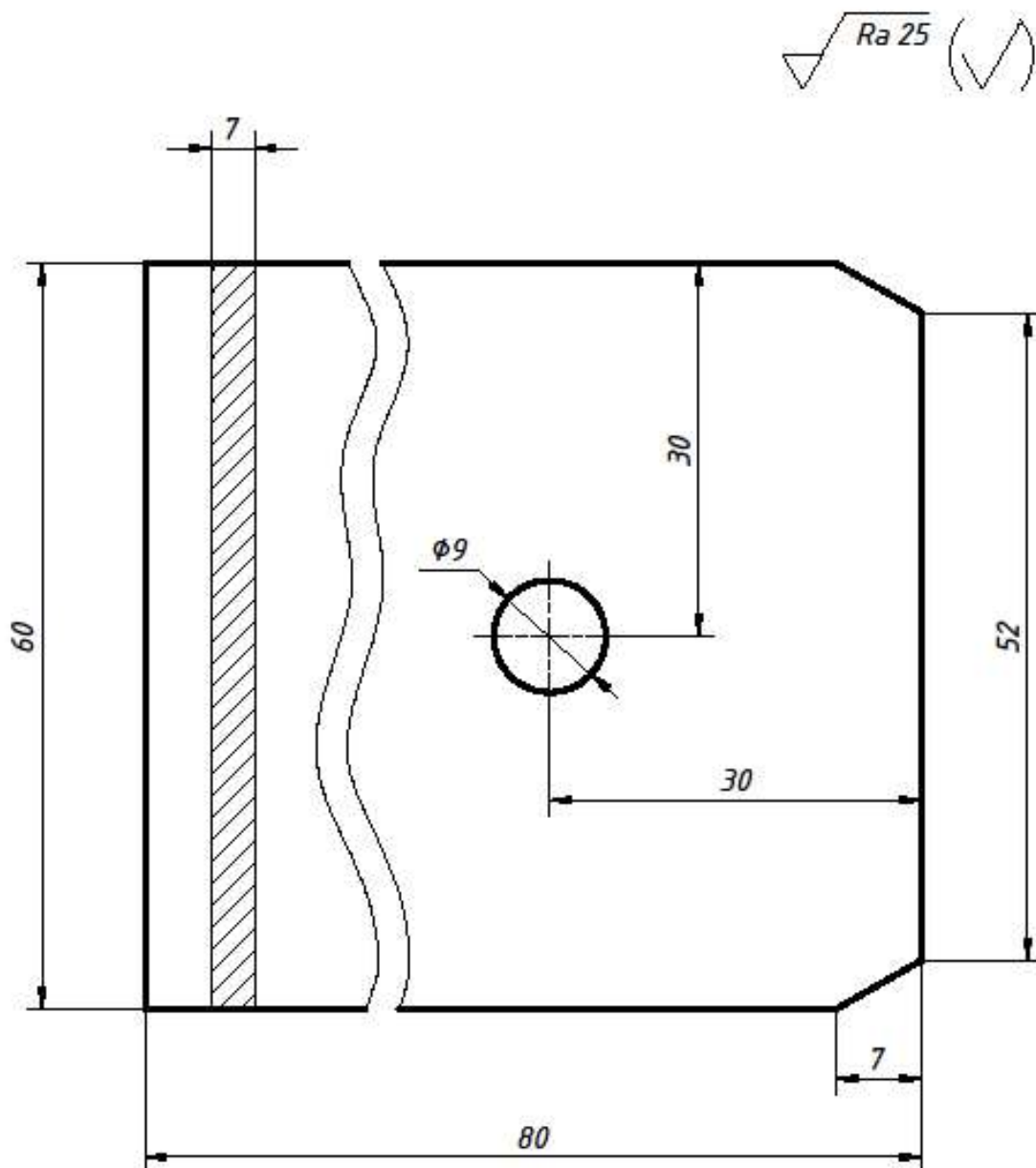
$\sqrt{Ra\ 12.5}$ (✓)



Nota:

1. Dureza 111...163 HB
2. Desvios limites não indicados, furos : H14, veios: h14, Outros $\pm IT14/2$

Desenhou	Data	Apelido	SAE 1020	DEMA.25.01.10.TL					
Fernando	04.04.25	Messingue							
Verificou	Data	Apelido							
Eng. Danizete		Lange							
1:5	Chapa lateral do bocal de saída			UEM-FE-DEMA					



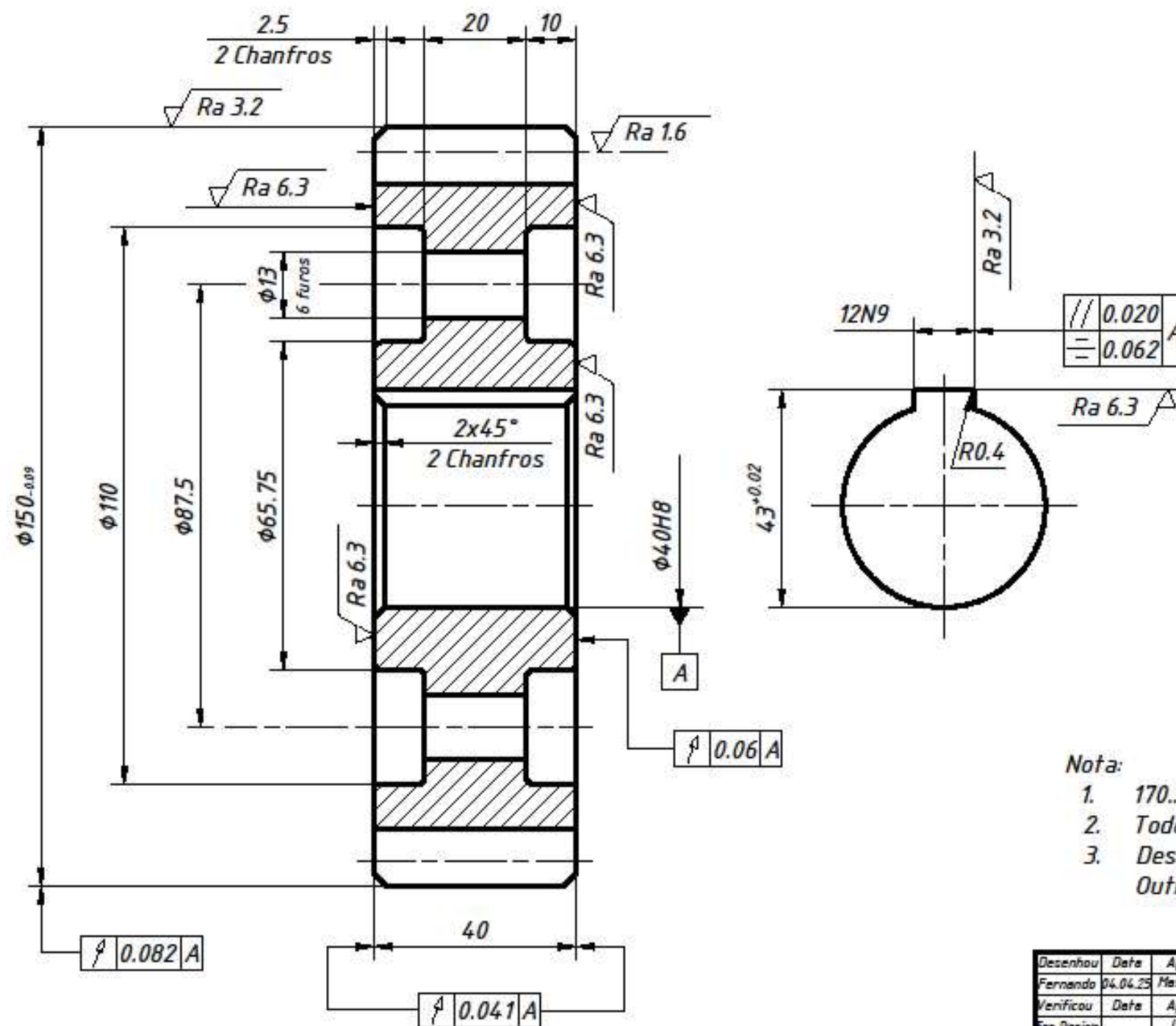
Nota:

1. Dureza 170...210 HB
2. Todos os raios transitórios 4mm
3. Desvios limites não indicados, furos : H14, veios: h4, Outros $\pm IT14/2$

Desenhou	Data	Apelido	SAE 1045	DEMA.25.01.13.TL		
Fernando	04.04.25	Messingue				
Verificou	Data	Apelido				
Eng. Danizale		Lange				
2:1	Pé			UEM-FE-DEMA		

✓ Ra 12.5 (✓)

Módulo	m	5
Número de dentes	Z	28
Cremalheira de referência	-	GOST 13755-81
Coefficiente de deslocamento	x	0
Classe de precisão	-	8-C
Diâmetro primitivo	d _w	140
Distância interaxial	a	140
Altura total do dente	h _a	11.25
Passo	P _t	15.71



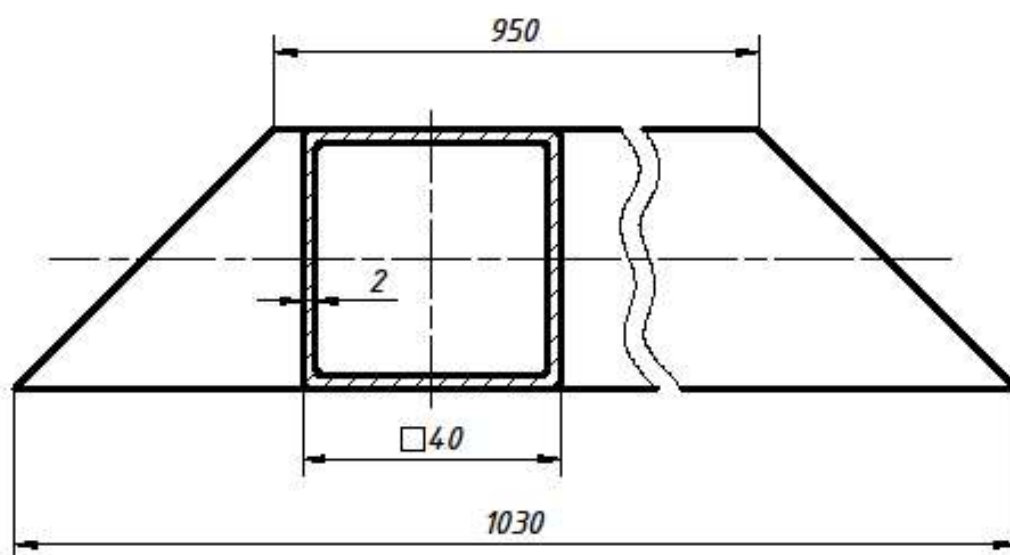
Desenhou	Data	Apelido	SAE 1045	DEMA.25.01.12.TL
Fernando	04.04.25	Messingue		
Verificou	Data	Apelido		
Eng. Danilo		Lange	1:1	Roda dentada

Technical drawing of a rectangular plate with a central square hole. The plate has a total width of 340 and a thickness of 2. The square hole has a side length of 40. The drawing shows the front view with a dashed center line and a hatched section on the right side of the hole.

1. Dureza 111...163 HB
2. Desvios limites não indicados, furos : H14, veios: h14, Outros $\pm IT14/2$

Desenho	Data	Apelido	SAE 1020	DEMA.25.01.14.TL
Fernando	04.04.25	Messingue		
Verificou	Data	Apelido		
Eng. Danizale		Lange		
1:1	Perna horizontal			UEM-FE-DEMA

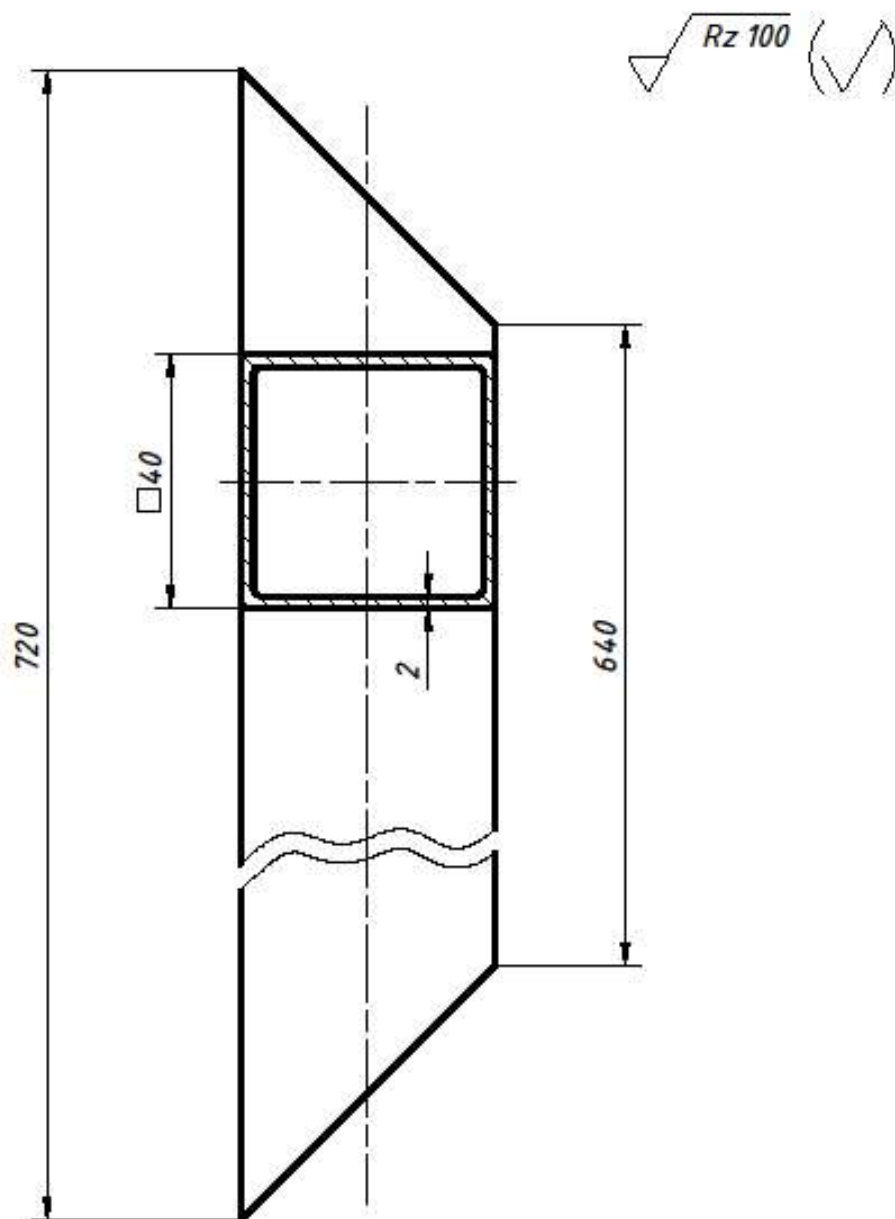
$\sqrt{Ra\ 12.5}$ (✓)



Nota:

1. Dureza 111...163 HB
2. Desvios limites não indicados, furos : H14, veios: h14, Outros $\pm IT14/2$

Desenhou	Data	Apelido	SAE 1020	DEMA.25.01.15.TL					
Fernando	04.04.25	Messingue							
Verificou	Data	Apelido							
Eng. Danizale		Lange							
1:1	Perna lateral			UEM-FE-DEMA					

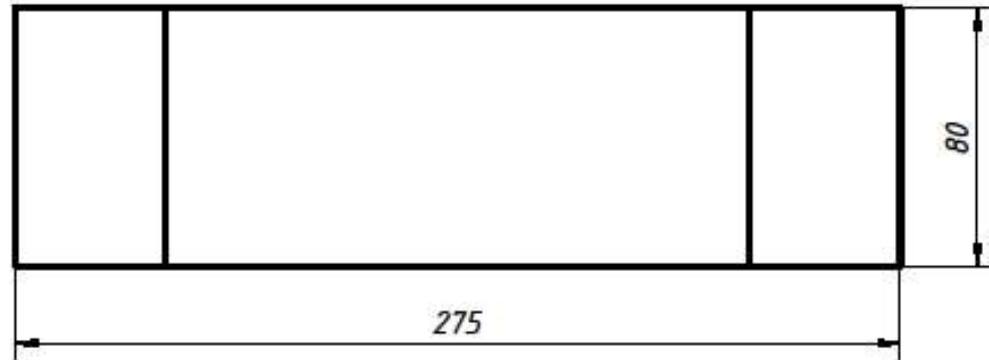
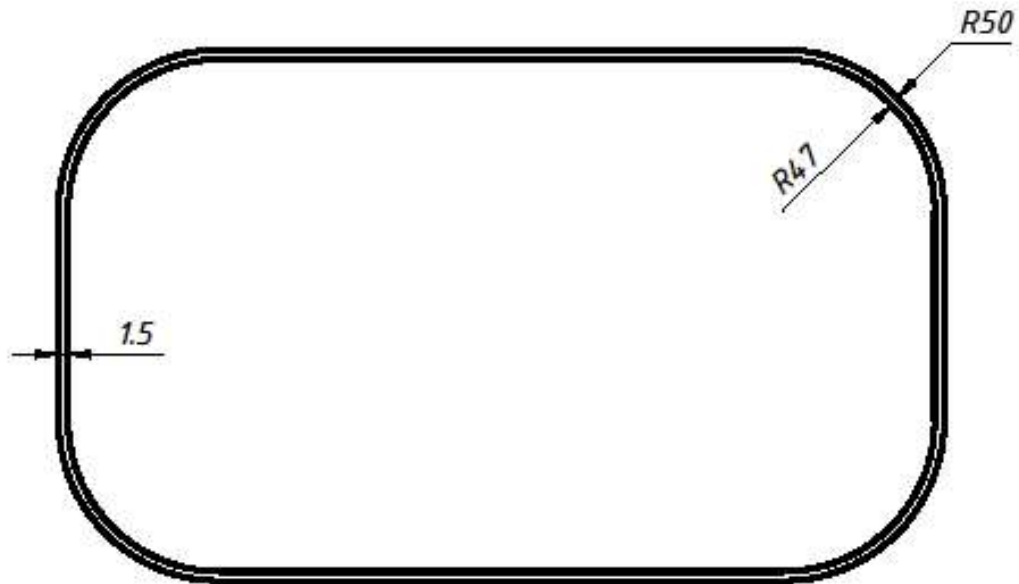


Nota:

1. Dureza 111...163 HB
2. Desvios limites não indicados, furos : H14, veios: h14, Outros $\pm IT14/2$

Desenhou	Data	Apelido	SAE 1020	DEMA.25.01.16.TL
Fernando	04.04.25	Messingue		
Verificou	Data	Apelido		
Eng. Danizle		Longo		
1:1	Perna vertical			UEM-FE-DEMA

$\sqrt{Ra\ 12.5}$ (✓)



Nota:

1. Dureza 111... 163 HB
2. Desvios limites não indicados, furos : H14, veios: h14, Outros $\pm IT14/2$

Desenhou	Data	Apelido	SAE 1020	DEMA.25.01.17.TL
Fernando	12.06.25	Messingue		
Verificou	Data	Apelido		
Eng. Dianizio		Lange		
1:2	Carcça de proteção			UEM-FE-DEMA