



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

FRANCISCO JOELITON DE LIMA OLIVEIRA

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE REDUTOR MECÂNICO DE VELOCIDADES
PARA FINS DIDÁTICOS

RUSSAS

2026

FRANCISCO JOELITON DE LIMA OLIVEIRA

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE REDUTOR MECÂNICO DE VELOCIDADES PARA
FINS DIDÁTICOS.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Mecânica da
Universidade Federal do Ceará - *Campus*
Russas para obtenção do grau de bacharel em
Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Helton Magalhães
Pinheiro.

RUSSAS

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

O47p Oliveira, Francisco Joeliton de Lima.
Projeto e construção de redutor mecânico de velocidades para fins didáticos. / Francisco Joeliton de Lima Oliveira. – 2026.
124 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Engenharia Mecânica, Russas, 2026.
Orientação: Prof. Dr. Pedro Helton Magalhães Pinheiro..

1. Redutor. 2. Didático. 3. Projeto mecânico. I. Título.

CDD 620.1

FRANCISCO JOELITON DE LIMA OLIVEIRA

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE REDUTOR MECÂNICO DE VELOCIDADES PARA
FINS DIDÁTICOS.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Mecânica da
Universidade Federal do Ceará - *Campus*
Russas para obtenção do grau de bacharel em
Engenharia Mecânica.
Orientador: Prof. Dr. Pedro Helton Magalhães
Pinheiro.

Aprovada em: 21/01/2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Pedro Helton Magalhães Pinheiro. (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Edvan Cordeiro de Miranda
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. George Luiz Gomes de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Do Carmo e Luis.

AGRADECIMENTOS

À Instituição: Universidade Federal do Ceará, pelo apoio, suporte e por todo o conhecimento transmitido ao autor deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Pedro Helton Magalhães Pinheiro, pela excelente orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora Dr. Edvan Cordeiro de Miranda e Dr. George Luiz Gomes de Oliveira pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Ao monitor de desenho mecânico, Dácio Marcelo, pelas dicas, pelos conhecimentos e sugestões transmitidos, na construção deste trabalho.

“Nada se cria, tudo é engenharia reversa.”(Martin Pfeiffer, 2025).

RESUMO

O presente trabalho traz de forma detalhada a fabricação e projeto de um redutor de velocidades (rotações) didático, que possui pelo menos nove combinações de engrenagens, e conseqüentemente vários fatores de redução ou multiplicação, pois também age como multiplicador de velocidades em algumas dessas combinações. Combinações essas que servem justamente, no dispositivo, de estudo e de demonstração prática do funcionamento de redutores mecânicos, cruciais para indústria, praticamente em todos os setores. Nesse dispositivo foi utilizado a maioria das peças principais como engrenagens, pinhões e chapas de aço 1020 para estrutura, reutilizadas, sem finalidade ou gastas, obsoletas, para seus sistemas ou peças originais. Foi desenvolvido todo o projeto em desenhos mecânicos em 3d no software solid Edge, de uso livre para estudantes e professores de engenharia, de todas as peças, e feitas simulações e montagens, em software e reais, mostrando, muito bem, o funcionamento do dispositivo, o que era um dos objetivos do projeto. Foi apresentada uma fundamentação teórica robusta em termos de variedades de elementos de transmissão, porém simples de entender, como por exemplo as equações bastante simplificadas e enxutas, que fazem parte de conceitos bem explorados em sala de aula sobre relações de engrenagens. Foi possível ver como processos tradicionais de fabricação podem, perfeitamente, serem combinados com novos processos como a impressão 3d, para fabricar sistemas mecânicos bem precisos e simétricos.

Palavras-chave: redutor; didático; projeto mecânico.

ABSTRACT

This work details the fabrication and design of a didactic speed reducer (rotations), which has at least nine gear combinations, and consequently several reduction or multiplication factors, as it also acts as a speed multiplier in some of these combinations. These combinations serve precisely, in the device, as a study and practical demonstration of the operation of mechanical reducers, crucial for industry in virtually all sectors. In this device, most of the main parts such as gears, pinions, and 1020 steel sheets for the structure were reused, either obsolete or worn out for their original systems or parts. The entire project was developed in 3D mechanical drawings using Solid Edge software, freely available for engineering students and professors, and simulations and assemblies were performed, both in software and in real-world applications, clearly demonstrating the operation of the device, which was one of the project's objectives. A robust theoretical foundation was presented in terms of varieties and transmission elements, yet simple to understand, such as the simplified and concise equations, which are part of concepts well explored in the classroom regarding gear ratios. It was possible to see how traditional manufacturing processes can be perfectly combined with new processes such as 3D printing to manufacture highly precise and symmetrical mechanical systems.

Keywords: gearbox; didactic; mechanical design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Redutor industrial de eixos paralelos.	18
Figura 2 – Redutor com engrenagens cônicas espirais.	19
Figura 3 – Redutor em corte com engrenagem sem-fim.	20
Figura 4 – Redutor planetário em corte e desenho esquemático mostrando funcionamento básico desse tipo de redutor.	21
Figura 5 – Desenho esquemático de aerogerador mostrando sua caixa multiplicadora de velocidades e ao lado direito um redutor do tipo coroa/sem-fim com o motor e carretel para cabo de aço de elevador.	22
Figura 6 – Exemplo clássico de acoplamento usado para acoplar eixo de motor elétrico a uma bomba de água.	23
Figura 7 – Diversos tipos de acoplamentos encontrados comercialmente.	23
Figura 8 – Exemplos de engrenagens no lado esquerdo e par de engrenagens coroa e pinhão no lado direito.	24
Figura 9 – Partes básicas de uma engrenagem e suas respectivas descrições.	25
Figura 10– Definição do ângulo de pressão de uma engrenagem.	26
Figura 11– Alguns exemplos de engrenagens e algumas de suas características.	26
Figura 12– Alguns outros exemplos de engrenagens e algumas de suas características.	27
Figura 13– Mais exemplos de engrenagens e algumas de suas características.	27
Figura 14– Engrenagem de dentes internos em cima e sistema planetário de engrenagens logo embaixo.	28
Figura 15– Arranjos mostrando engrenagens motoras e movidas e sua relação com maior ou menor RPM	29
Figura 16– Tabela com fórmulas para cálculos de engrenagens de dentes retos e helicoidais.	30
Figura 17– Em cima está a área de contato da esfera, em baixo esta a área de contato do rolo.	31

Figura 18– O rolamento da esquerda suporta somente carga radial, o rolamento da direita suporta carga radial e axial	32
Figura 19– O rolamento axial da esquerda suporta somente carga axial pura, o rolamento axial para carga combinada da direita suporta carga radial e axial	32
Figura 20– Oito tipos diferentes de rolamentos	33
Figura 21– Seis tipos diferentes de rolamentos.	33
Figura 22– Configuração básica de polias.	34
Figura 23– Polia trapezoidal e estruturas básicas (braço ou disco) de uma polia.	34
Figura 24– Material de correia trapezoidal e seus diversos perfis padronizados.	35
Figura 25– Sentidos de transmissão de rotações.	35
Figura 26– Tipos de polias.	36
Figura 27– Tipos de correias.	37
Figura 28– Oito tipos de eixos diversos	38
Figura 29– Outros oito tipos de eixos diversos.	38
Figura 30– Eixos-árvore da caixa de engrenagens principal de um torno mecânico da marca Romi.	39
Figura 31– Exemplos de aplicações de cabos de aço.	39
Figura 32– Componentes dos cabos de aço.	40
Figura 33– Construção de um uma perna de um cabo 6x19.	40
Figura 34– Diversas configurações de distribuições de cabos de aço.	41
Figura 35– Disposição básica de corrente em roda dentada.	42
Figura 36– Do lado direito detalhe de como se dá a transmissão de uma corrente em uma roda dentada, do lado esquerdo o detalhe de um esticador de corrente.	42

Figura 37–	Diversos tipos de correntes industriais.	43
Figura 38–	Mais tipos de correntes e alguns de seus acessórios.	44
Figura 39–	Mais alguns tipos de correntes e alguns de seus acessórios.	45
Figura 40–	Mancal bipartido e as partes que o compõe.	46
Figura 41–	Seis tipos de mancais de rolamentos.	46
Figura 42–	À esquerda eixo (1) de 13 dentes e à direita engrenagem (2) de 39 dentes.	48
Figura 43–	À esquerda superior eixos (3) e (5), na parte inferior eixo (7), e à direita as engrenagens (4) e (6), todos ainda por serem usinados de forma correta.	49
Figura 44–	Em cima rolamento, parafusos, porcas, arruelas e em baixo material da manivela de acionamento.	50
Figura 45–	Chapa de aço 1020, os pés e o furo quadrado necessário cortado, da base de montagem do redutor.	51
Figura 46–	Configuração dos pares de engrenagens escolhida para o maior fator de redução de rotações possível.	54
Figura 47–	Definição das seções de encaixe de cada rolamento (marcações de azul) à serem usinadas nos eixos e localização das engrenagens de forma geral (numa base de teste feita inicialmente em madeira)	56
Figura 48–	Esboço com as medidas da base do redutor.	57
Figura 49–	Algumas fotos mostrando a fabricação da base do redutor.	58
Figura 50–	Processo de usinagem de preparação das duas engrenagens de 67 dentes.	59
Figura 51–	Fabricação e encaixe das buchas de fixação nas engrenagens.	60
Figura 52–	Em cima usinagem de encaixe de rolamento de um dos eixos, em torno mecânico, e embaixo exemplo de superfície recartilhada do encaixe de cada rolamento.	61
Figura 53–	Manivela já pronta.	62

Figura 54–	Desenhos em Solid Edge do mancal de rolamento com suas medidas detalhadas.	63
Figura 55–	Equipamento de impressão 3d e os oito mancais impressos dos rolamentos prontos.	64
Figura 56–	Desenho em 3d da base do redutor feito no Solid Edge.	65
Figura 57–	Eixo-pinhão (1) em Solid Edge.	66
Figura 58–	As duas faces da engrenagem (2) em Solid Edge.	66
Figura 59–	Eixo-pinhão (3) em Solid Edge	67
Figura 60–	As duas faces da engrenagem (4) em Solid Edge.	67
Figura 61–	Eixo-pinhão (5) em Solid Edge.	68
Figura 62–	Em cima, as duas faces da engrenagem (6) em Solid Edge, abaixo o eixo liso (7).	68
Figura 63–	Na esquerda a configuração original, na direita a mudança feita nos parâmetros de desenho.	69
Figura 64–	Mancal e rolamento 6002 da SKF, desenhados em Solid Edge.	70
Figura 65–	Parafuso sem cabeça M6.	70
Figura 66–	Parafuso e porca M5, e arruela 5,5 mm que fixam os mancais na base.	71
Figura 67–	Montagem da manivela.	71
Figura 68–	Desenho do dispositivo com a maioria das peças com seus nomes destacados.	72
Figura 69–	Montagem 3d do redutor, vista no sentido do final pro começo.	73
Figura 70–	Montagem 3d do redutor, vista no sentido do começo pro final.	73
Figura 71–	Montagem 3d do redutor, vista da parte de baixo.	74
Figura 72–	Configuração 1.	75
Figura 73–	Configuração 2.	76

Figura 74–	Configuração 3	77
Figura 75–	Configuração 4.	78
Figura 76–	Configuração 5.	79
Figura 77–	Configuração 6.	80
Figura 78–	Configuração 7.	81
Figura 79–	Configuração 8.	82
Figura 80–	Configuração 9.	83
Figura 81–	Simulação de rotações da configuração 1 do dispositivo, elaborada em solid edge.	85
Figura 82–	Processo de lixamento manual dos mancais de rolamento.	86
Figura 83–	Em cima o alinhamento inicial do primeiro eixo-pinhão (1), em baixo o processo de furação dos furos dos mancais na base com a broca de 6 mm, usando a furadeira de bancada.	87
Figura 84–	Processo de montagem final do dispositivo.	88
Figura 85–	Resultado final da montagem do dispositivo	89
Figura 86–	Configuração real 1.	90
Figura 87–	Configurações reais 2 e 3.	91
Figura 88–	Configurações reais 4 e 5.	92
Figura 89–	Configurações reais 6 e7.	93
Figura 90	Configurações reais 8 e 9.	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados dos cálculos para encontrar módulos, diâmetros e raios primitivos (R_p) das seis peças dentadas.	53
Tabela 2 – Resultados dos cálculos dos fatores de redução de rotações de cada par, e fator de redução geral.	55
Tabela 3 – As nove configurações do dispositivo e seus fatores de redução/multiplicação.	84

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	OBJETIVO GERAL	15
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	REDUTORES MECÂNICOS.....	16
2.1.1	APLICAÇÃO DE REDUTORES.....	19
2.2	ELEMENTOS DE TRANSMISSÃO	20
2.2.1	ACOPLAMENTOS.....	20
2.2.2	ENGRENAGENS.....	22
2.2.3	ROLAMENTOS.....	28
2.2.4	POLIAS E CORREIAS.....	32
2.2.5	EIXOS.....	35
2.2.6	CABOS DE AÇO.....	37
2.2.7	CORRENTES.....	39
2.2.8	MANCAIS DE ROLAMENTOS.....	43
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	70
5	CONCLUSÃO.....	93
6	REFERÊNCIAS.....	94
7	SUGESTÃO DE TRABALHO FUTURO.....	97
8	APÊNDICE.....	98

1 INTRODUÇÃO

O que um relógio suíço, um aerogerador e uma máquina manual de moer cana tem em comum? A resposta: todos são dotados de sistemas mecânicos que usam engrenagens e eixos para aumentar ou reduzir rotações transmitindo potência, em diferentes torques, para os fins desejados de cada sistema, seja mover ponteiros minúsculos, girar grandes geradores em alta rotação ou simplesmente ter força o suficiente para triturar a cana e extrair seu suco. Seja onde forem usados, redutores ou multiplicadores de velocidades mecânicos, sempre foram, são e sempre serão uma das bases cruciais para transferência de potência entre partes de sistemas mecânicos.

Onde é preciso aumento ou diminuição de torque, polias, engrenagens, rolamentos e eixos, (esses quatro principalmente), estarão lá nos sistemas mecânicos. Entender isso e conhecer detalhadamente tais sistemas, é crucial para um engenheiro mecânico que deseja trabalhar com máquinas rotativas e de transferência de potência. Mas muitos alunos e profissionais da área, acabam deixando para trás ou se desinteressando de certos “detalhes minuciosos”, conhecimentos específicos da engenharia estrutural, palpável, prática, de muitos mecanismos que compõe os diversos sistemas mecânicos existentes.

Perante um mundo altamente tecnológico, de softwares, aplicativos, telas e inteligência artificial, que tecem as soluções de qualquer problema, seja físico ou teórico, chega um momento em que o próprio engenheiro deve se impor em seu papel principal que é o de “engenharia”, tornar possível, tirar do papel, tirar da tela, resolver o problema. E ter o cuidado sempre de reformular, adaptar antigos conhecimentos, antigas práticas eficientes, e com isso aprender constantemente, e assim criar novos aparatos, dispositivos, enfim, novos sistemas mecânicos.

Foi com esse intuito de montar algo prático, um dispositivo útil à compreensão de conceitos simples, como os de relações de engrenagens, mas de uma relevância gigante para engenharia mecânica, como tantos outros, que esse projeto vai mostrar como é possível aliar métodos de fabricação tradicionais com novas tecnologias de fabricação, softwares de desenho mecânico, reaproveitamento de peças de sucata e um pouco de engenharia reversa. Tendo, com isso, como resultado a fabricação de um dispositivo didático, funcional e fácil de operar, dispensando, inclusive, o uso de eletricidade, mas que pode ser melhorado, e pode, assim como devem ser os fundamentos e práticas da mecânica, ser adaptável e flexível a novos conceitos e técnicas sem perder a funcionalidade real, mecânica, de sua operação e demonstração.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Projetar e fabricar um redutor de velocidades didático, utilizando parte do material reutilizado.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Selecionar engrenagens adequadas em boas condições de uso, além do material da estrutura do redutor.
- Utilizar o conhecimento adquirido, para analisar as relações de engrenagens, determinando a adequação e melhor engrenamento possível das engrenagens selecionadas, de modo a se obter o maior fator de redução de rotações.
- Elaborar a melhor estrutura mecânica de suporte e movimentação de modo a permitir, além de robustez e segurança na movimentação dos elementos rotativos, a melhor visualização possível desses elementos para total fim didático.
- Utilizar um software de desenho mecânico para, desenvolver e simular graficamente a elaboração do dispositivo, e fazer correções necessárias do projeto.
- Depois de cumprido todo o processo de elaboração e desenho mecânico simulado, executar a fabricação propriamente dita do redutor de velocidade, utilizando-se de diversos métodos de fabricação mecânica.
- Depois de construído o redutor, utilizá-lo em aulas específicas de mecânica onde se possa aplicar todos os conceitos relacionados às relações de engrenagens, e além de outros conceitos mecânicos possíveis de serem mostrados e exemplificados na estrutura como um todo do dispositivo.

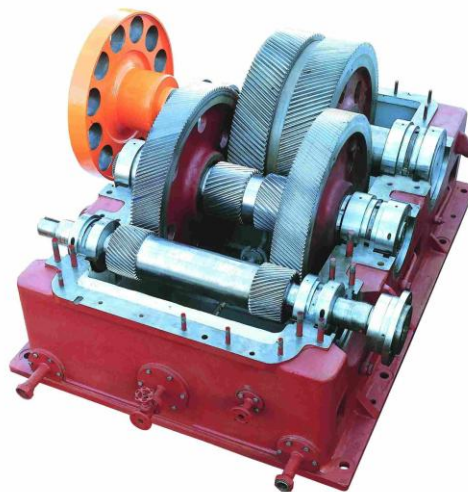
2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 REDUTORES MECÂNICOS

Um redutor mecânico de velocidades é um mecanismo que permite trocas de velocidades, por meio, basicamente, de engrenagens e eixos, e que geralmente aumentam o torque do motor ao qual está acoplado em sua entrada, quando reduz a velocidade (reduz a rotação), e aumentam a força na saída. Se categorizando segundo os tipos de engrenagens usadas e seus arranjos, e posições relativas de seus eixos, podemos citar como exemplos quatro tipos largamente utilizados.

- Redutores com eixos paralelos ou de trem de engrenagens: utilizam engrenagens cilíndricas de dentes retos, helicoidais ou espinha de peixe, sendo seus eixos dispostos de forma paralela entre si. Apresentam relações de redução para eixos de um estágio entre 1/1 à 1/7, para eixos de dois estágios de 1/10 à 1/30, e para três estágios ou mais de 1/5 à 1/200. São mais baratos e apresentam uma boa eficiência se forem bem mantidos. São muito usados como multiplicadores de velocidades, mas geralmente são maiores com relação à outros tipos de redutores e possui mais peças. Suas relações de redução são relativamente menores que os redutores sem-fim, se compararmos um único estágio de eixo (somente dois eixos com as engrenagens engrenadas).

Figura 1 – Redutor industrial de eixos paralelos.



Fonte: ADDN, Tecnologia em Acionamentos (2025)

- Redutores com engrenagens cônicas: também conhecidos como redutores com

eixos ortogonais, que são perpendiculares entre si. As engrenagens utilizadas são cônicas retas, engrenagens cônicas helicoidais, engrenagens cônicas espirais, engrenagens cônicas de zero, engrenagens frontais e engrenagens de coroa. Devido ao pinhão ser apoiado somente numa extremidade ele pode vir à ser desviado de alguma forma, o que lhe conferirá uma menor eficiência de transmissão causada pelo mau contato dos dentes. Para rotações abaixo de 1000 rpm, são utilizados redutores com engrenagens cônicas de dentes retos com relações de redução padronizadas de 1/1 e 1/2, mas para altas rotações e cargas maiores, com relação aos de cônicas retas, os com engrenagens cônicas helicoidais e espirais apresentam um desempenho muito melhor devido á sua relação de engrenamento ser grande, alcançando até 1/6 de relação de redução.

Figura 2 – Redutor com engrenagens cônicas espirais.



Fonte: Multengrenagens-fabricação e reforma de redutores e peças. (2025)

- Redutores com engrenagens sem-fim: redutores com uma defasagem ortogonal entre os eixos de entrada e saída, e usam engrenagens conhecidas como coroa e sem-fim na entrada. O sem-fim possui os dentes em forma de parafuso ao longo do eixo de entrada, que é engrenado na engrenagem maior (coroa) da saída cujo os dentes estão paralelos ao seu próprio eixo, dessa forma ficando os dois eixos

ortogonais entre si. Possui altas taxas de redução que chegam a ser 1/100 num único estágio de eixos. Possuem a vantagem de baixo ruído e vibração e uma característica de auto travamento, quando em taxas de redução mais altas, onde é quase impossível girar o eixo de saída. Sua eficiência de transmissão é baixa e há aumento de temperatura mais rápido, isso devido ao atrito do deslizamento entre os dentes do pinhão e da coroa, próprios de sua configuração.

Figura 3 – Redutor em corte com engrenagem sem-fim.

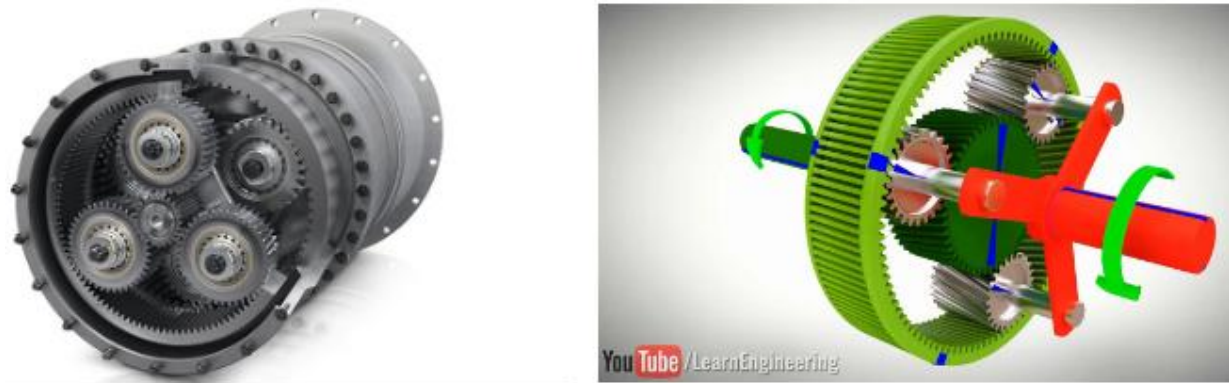


Fonte: sdt
tech (2025)

- Redutores com engrenagens planetárias: também conhecidos como redutores de engrenagens com eixos coaxiais, podem ser montados com engrenagens planetárias diferenciais, simples, excêntricas, ou elásticas. São dotados basicamente de uma engrenagem dita solar, que gira em torno de um eixo fixo, no centro do redutor, e as engrenagens ditas planetárias engrenadas na solar que orbitam (giram) em torno dela, que por sua vez estão engrenadas na parte interna de uma engrenagem maior de dentes internos que geralmente fica fixa, (ou gira no sentido oposto à engrenagem solar) chamada anelar, e em cada centro das engrenagens planetárias estão eixos que ficam acoplados em um suporte que sustentam as planetárias e ao mesmo tempo giram o eixo central de saída no redutor na medida em que as planetárias giram. Se bem projetados os redutores planetários fornecem alto torque

e eficiência.

Figura 4– Redutor planetário em corte e desenho esquemático mostrando funcionamento básico desse tipo de redutor.



Fonte: Medias schaeffler e Jaes – Lesics (adaptado do you tube) (2025)

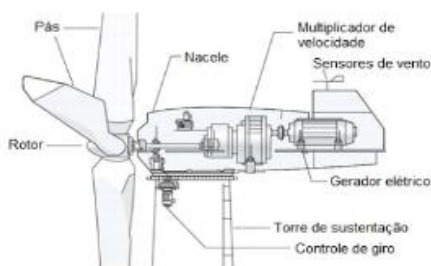
2.1.1 APLICAÇÕES DE REDUTORES

Os redutores podem ser usados em diversos setores industriais como linhas de montagem de fábricas para controle de rotações de máquinas de corte, prensas, esteiras transportadoras e muitos outros, Também em veículos automotores nas caixas de transmissão para ajustes de velocidades. Nos aerogeradores os redutores são usados de forma oposta para aumentar a rotação relativamente lenta das hélices para rotações altíssimas nos geradores para produzir energia elétrica.

Diversos sistemas de elevação e transporte de cargas como elevadores, guias, guindastes usam redutores para regulagem de rotações e torque necessários. Em robótica, redutores planetários, por sua precisão e força, são amplamente utilizados em braços robóticos e articulações industriais ,como em braços de soldagem e braços de montagem em linhas de produção.

No setor de alimentos temos seu uso aplicado em misturadores, moinhos, transportadores e máquinas de embalagens, por exemplo. E em setores cruciais como no agrícola são utilizados em sistemas de moagem e irrigação, tratores, colheitadeiras, maquinário agrícola em geral para adaptando a saída de potência de motores de acordo com os diversos fins. Enfim, os redutores são utilizados de incontáveis maneiras em diferentes setores e ramos.

Figura 5– Desenho esquemático de aerogerador mostrando sua caixa multiplicadora de velocidades e ao lado direito um redutor do tipo coroa/sem-fim com o motor e carretel para cabo de aço de elevador.



Fonte: Telub lubrificantes e Transmaq motorreductores (2025)

2.2 ELEMENTOS DE TRANSMISSÃO

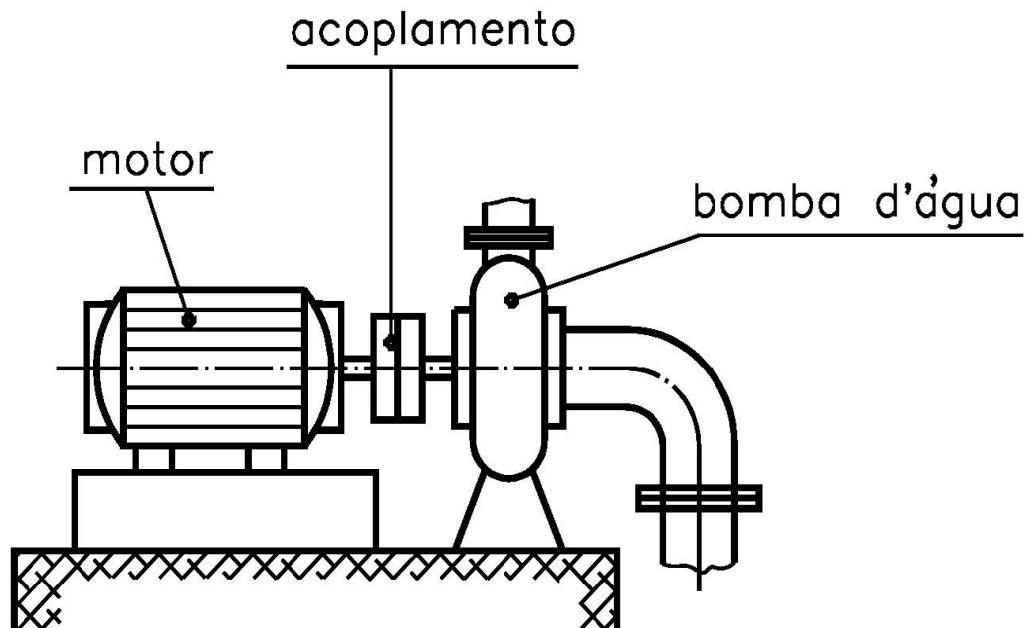
Elementos de transmissão são um conjunto de componentes cruciais nas máquinas industriais, efetuando funções fundamentais na estabilidade de movimentos e funcionamento de tais equipamentos, não tendo como haver a operação do maquinário se não houverem tais componentes nas máquinas. Esses componentes garantem a conversão e adequação da energia mecânica, realizando ajustes de velocidade, direção e intensidade da transmissão de movimento de um ponto ao outro dos equipamentos.

Praticamente falando são responsáveis por receber e transmitir os movimentos da máquina de seguintes formas: direta como em eixos e engrenagens; por ligação flexível como cabos, correias e correntes; e por ligação rígida direta como biela e manivela, por exemplo. As ações de transmissão transformam e transferem força em outros sinais, que modificam, segundo uma determinada necessidade, as características de um certo sistema mecânico como potência, torque e rotação. A seguir apresentaremos alguns exemplos de elementos de transmissão.

2.2.1 ACOPLAMENTOS

Segundo o professor João Paulo Barbosa do IFES, acoplamentos são conjuntos mecânicos formados por elementos de máquinas, empregados na transmissão de rotação entre eixos ou eixos-árvores, possuindo as funções de unir eixos, absorver choques e vibrações, compensar desalinhamentos, atuar como fusível e transmitir torque. São encontrados de inúmeras formas e tipos e podem ser classificados como rígidos/fixos, elástico/flexíveis, móveis e hidráulicos.

Figura 6– Exemplo clássico de acoplamento usado para acoplar eixo de motor elétrico a uma bomba de água.



Fonte: Elementos de Máquinas – IFES – *Campus* São Mateus – Prof. João Paulo Barbosa, M.Sc. (2011)

Figura 7– Diversos tipos de acoplamentos encontrados comercialmente.

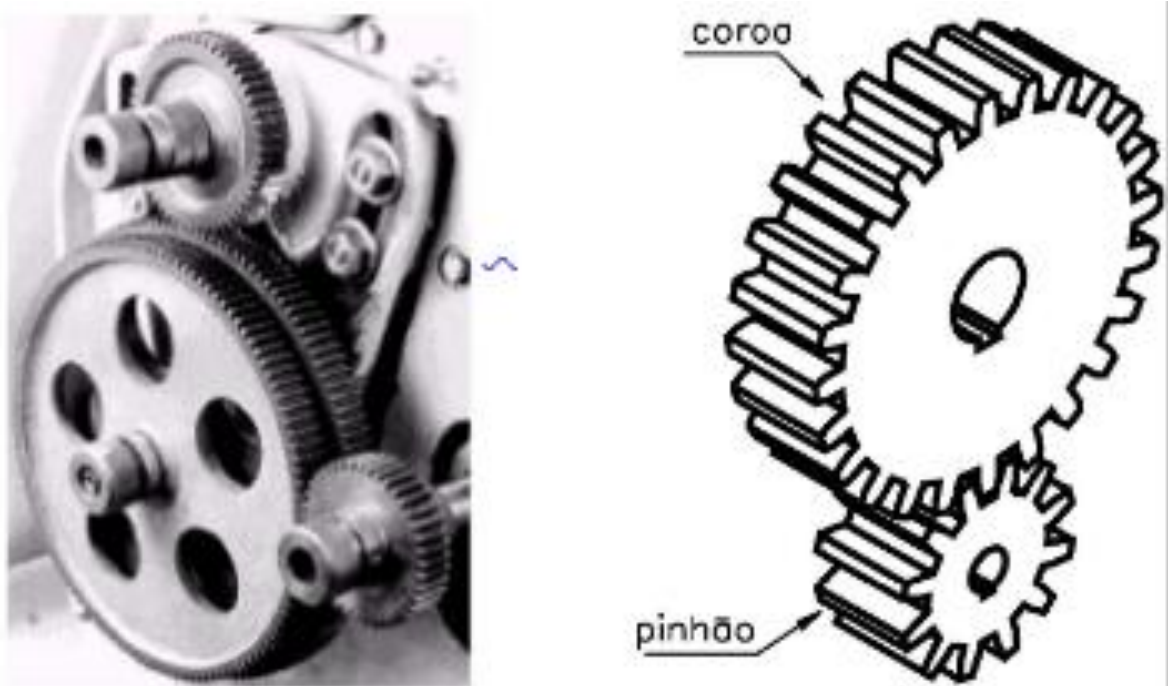


Fonte: Result Comercial-Manutenção Industrial (2025)

2.2.2 ENGRENAGENS

As engrenagens são peças dotadas de dentes que se encaixam de forma precisa a outros dentes de outras engrenagens, transmitindo potência entre seus respectivos eixos. Quando são produzidas em aço, são tratadas termicamente, mas também são produzidas em materiais diversos. Permitem reduções ou aumento do torque, e também aumento ou dedução de velocidades, tudo com uma mísera perda de energia. À medida que se altera o diâmetro primitivo (diâmetro medido no contato entre os dentes e utilizado nos cálculos), altera-se as velocidades e torque, ou seja, num par de engrenagens, quanto maior uma engrenagem, maior o torque e menor a rotação, e quanto menor a engrenagem maior a rotação e menor o torque. Nos pontos do diâmetro primitivo dos dentes, não existe deslizamento, mas no restante do dente há deslizamento e rolamento. Isso mostra que as velocidades tangenciais dos círculos primitivos são iguais no par de engrenagens.

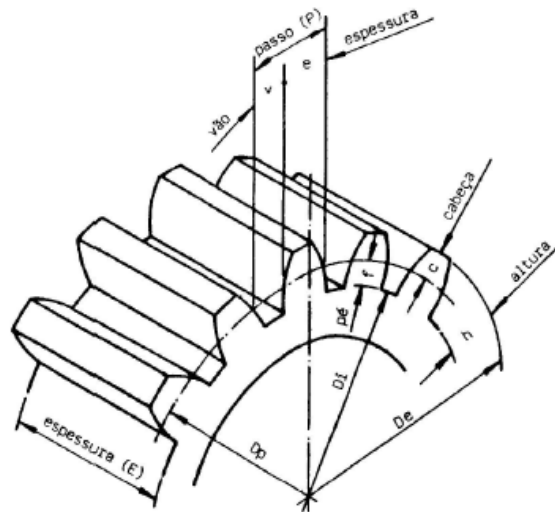
Figura 8: Exemplos de engrenagens no lado esquerdo e par de engrenagens coroa e pinhão no lado direito.



Fonte: Elementos de Máquinas – IFES – *Campus* São Mateus – Prof. João Paulo Barbosa, M.Sc. (2011)

Suas partes básicas podem ser observadas na seguinte figura.

Figura 9: Partes básicas de uma engrenagem e suas respectivas descrições.



(De) Diâmetro externo

É o diâmetro máximo da engrenagem $De = m(z + 2)$.

(Di) Diâmetro interno

É o diâmetro menor da engrenagem.

(Dp) Diâmetro primitivo

É o diâmetro intermediário entre De e Di . Seu cálculo exato é $Dp = De - 2m$.

(C) Cabeça do dente

É a parte do dente que fica entre Dp e De .

(f) Pé do dente

É a parte do dente que fica entre Dp e Di .

(h) Altura do dente

É a altura total do dente $De - Di - 2$ ou $h = 2,166 \cdot m$

(e) Espessura de dente

É a distância entre os dois pontos extremos de um dente, medida à altura do Dp .

(V) Vão do dente

É o espaço entre dois dentes consecutivos. Não é a mesma medida de e .

(P) Passo

Medida que corresponde a distância entre dois dentes consecutivos, medida à altura do Dp .

(M) Módulo

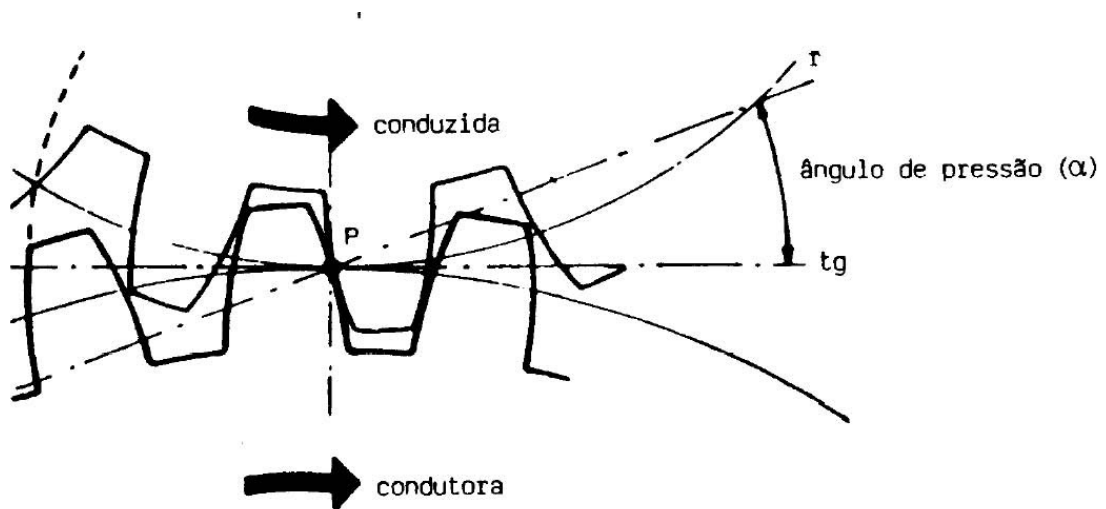
Dividindo-se o Dp pelo número de dentes (z), ou o passo (P) por p , teremos um número que se chama módulo (M). Esse número é que caracteriza a engrenagem e se constitui em sua unidade de medida. O módulo é o número que serve de base para calcular a dimensão dos dentes.

Fonte: Elementos de Máquinas – IFES – Campus São Mateus – Prof. João Paulo Barbosa,

(2011)

O ângulo de pressão é outra definição importante no que diz respeito às engrenagens e ele basicamente é a medida do ângulo entre a linha de ação de força entre os dentes e a tangente ao círculo primitivo. Na próxima figura vemos a descrição prática do chamado ângulo de pressão, comercialmente adotado como 20° ou 15° .

Figura 10: Definição do ângulo de pressão de uma engrenagem.



Fonte: Elementos de Máquinas – IFES – *Campus* São Mateus – Prof. João Paulo Barbosa, M.Sc. (2011)

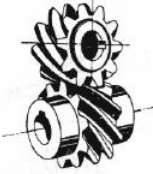
Existem diversos tipos de engrenagens e na próxima imagem serão apresentadas alguns exemplos mais comumente usadas.

Figura 11: Alguns exemplos de engrenagens e algumas de suas características.

DESIGNAÇÃO	DESENHO	POSIÇÃO DE EIXO	OBSERVAÇÕES
ENGRENAGENS CILÍNDRICAS	DENTES RETOS	PARALELOS	<p>Podem ser montadas com um ou mais pares engrenados. A relação de transmissão máxima por par não deve exceder a 1 : 8.</p> <p>Podem transmitir potências da ordem de 20 000 – 25 000 CV com velocidades tangenciais de até 150–200 m/s. Apresentam alto rendimento 95–99%.</p>
	DENTES INCLINADOS (HELICOIDAL)	PARALELOS	
	CREMALHEIRA	PARALELOS	

Fonte: Elementos de Máquinas – IFES – *Campus São Mateus* – Prof. João Paulo Barbosa, M.Sc. (2011)

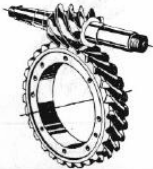
Figura 12: Alguns outros exemplos de engrenagens e algumas de suas características.

DESIGNAÇÃO	DESENHO	POSIÇÃO DE EIXO	OBSERVAÇÕES
ENGRANAGENS CILÍNDRICAS DENTES HELICOIDAIS		CRUZADOS	Utilizada para transmitir pequenas potências e pequenas distâncias de centro a centro. Apresentam rendimentos próximos das engrenagens cilíndricas helicoidais e aplicam-se para relação de multiplicação de até 1 : 5.
ENGRANAGENS CÔNICAS	DENTES RETOS	CORTAM-SE	São empregadas nos casos de necessidade de cruzamento de eixos. Atingem relações de multiplicação até 1 : 6. Às vezes são montados no sistema engrenado com outros pares de engrenagens cilíndricas retas. Para melhorar a capacidade de carga e ainda o rendimento, atenuando o problema de ruído, utilizam-se de dentes espirais ou hipoidais (com deslocamento). O seu rendimento é comparável às engrenagens cilíndricas.
	DENTES INCLINADOS	CORTAM-SE	

Fonte:

Elementos de Máquinas – IFES – *Campus São Mateus* – Prof. João Paulo Barbosa, M.Sc. (2011)

Figura 13: Mais exemplos de engrenagens e algumas de suas características.

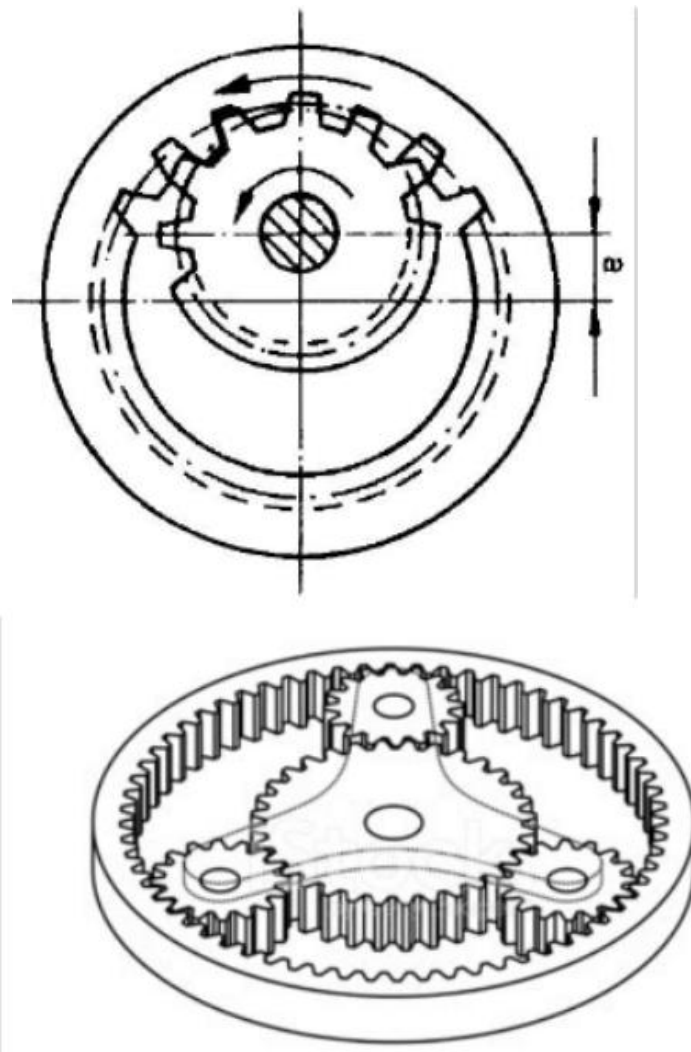
DESIGNAÇÃO	DESENHO	POSIÇÃO DE EIXO	OBSERVAÇÕES
ENGRANAGENS CÔNICAS	DENTES ESPIRAIS	CORTAM-SE	São empregados nos casos de necessidade de cruzamento de eixo. Atingem relações de multiplicação até 1 : 6. Às vezes são montadas em sistemas engrenados com outros pares de engrenagens cilíndricas retas. Para melhorar a capacidade de carga e ainda o rendimento, atenuando o problema de ruído, utilizam-se de dentes espirais ou hipoidais (com deslocamento). O seu rendimento é comparável às engrenagens cilíndricas.
	DENTES HIPOIDAIS	REVERSOS ou COM DESLOCAMENTO	
ENGRANAGENS COROA / SEM FIM		CRUZADOS	Empregam-se para relações de transmissões, em um só par, variando de 1 : 10 até 1 : 100. Apresentam baixos rendimentos variando de 45% até 95%. Podem transmitir potências até 1000 CV com velocidades tangenciais máximas de 60 – 70 m/s aproximadamente.

Fonte: Elementos de Máquinas – IFES – *Campus São Mateus* – Prof. João Paulo Barbosa, M.Sc.

(2011)

Existe ainda um tipo de engrenagem bem utilizado em comandos finais de máquinas pesadas e transmissões planetárias, são **as engrenagens cilíndricas de dentes internos**, que economizam espaço e proporcionam uniformidade de força. Uma característica única é que as duas engrenagens do par giram no mesmo sentido. E um sistema que usa esse tipo de engrenagem é o sistema conhecido como **planetário**, dotado de uma engrenagem central chamada **solar** e ao seu redor estão engrenadas as **engrenagens satélites**, que por sua vez estão engrenadas numa engrenagem maior de dentes internos, que comporta todas as outras engrenagens do sistema, chamada **anelar** como podemos ver nas figuras seguintes.

Figura 14: Engrenagem de dentes internos em cima e sistema planetário de engrenagens logo embaixo.



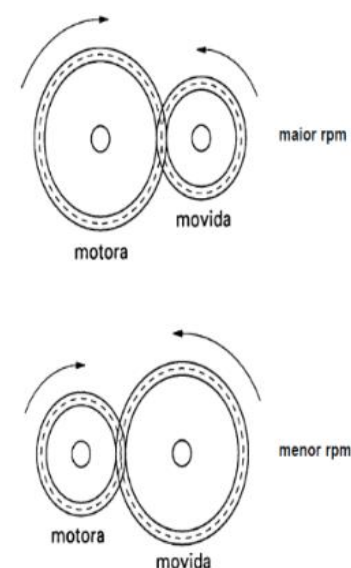
Fonte: Elementos de Máquinas – IFES – *Campus* São Mateus – Prof. João Paulo Barbosa, M.Sc.
(2011)

Para se calcular tanto as reduções ou multiplicações de rotações (velocidades angulares) nos eixos aos quais estão acopladas as engrenagens utiliza-se a fórmula (1) retirada de Telecurso 2000 - Cálculo técnico – Cálculos de RPM (2012), apresentada acima da figura 15 logo a baixo, onde a velocidade é dada comumente em RPM, e diâmetro é dado em milímetros. Tal fórmula é aplicada para cada par de engrenagens e quando existe um sistema com vários pares (reductor de velocidades mecânico por exemplo) e é dada uma velocidade inicial para uma primeira engrenagem (1), utiliza-se a velocidade encontrada da segunda engrenagem (2) do primeiro par como velocidade inicial do segundo par (uma vez que a primeira engrenagem do segundo par geralmente esta acoplada no eixo da segunda engrenagem do primeiro par) e assim sucessivamente com os demais pares de engrenagens.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (1)$$

Nesta relação n_1 e n_2 são as rpm das engrenagens motora e movida, respectivamente. Z_2 e Z_1 são o número de dentes das engrenagens movida e motora, respectivamente

Figura 15: Arranjos mostrando engrenagens motoras e movidas e sua relação com maior ou menor RPM



Fonte: Telecurso 2000 - Cálculo técnico – Cálculos de RPM (2012)

Agora será mostrada uma figura com uma tabela de cálculos para projetar e identificar melhor as características de engrenagens, disponível no site de uma empresa especializada em usinagem de precisão, a Euroaktion situada em São Bernardo do Campo, São Paulo.

Figura 16: Tabela com fórmulas para cálculos de engrenagens de dentes retos e helicoidais.

FÓRMULAS PARA CÁLCULO DE ENGRENAGENS			
DENTES RETOS			
ENCONTRAR	SÍMBOLO	CONHECENDO	FÓRMULA
MÓDULO	M	O Passo	$M = P / \pi$
		O Diâmetro Primitivo (Dp) e o Nr. de Dentes (Z)	$M = Dp / Z$
		O Diâmetro Externo (DE) e o Nr. de Dentes (Z)	$M = DE / (Z+2)$
DIÂMETRO PRIMITIVO	Dp	O Módulo (M) e o Nr. de Dentes (Z)	$Dp = M * Z$
		O Módulo (M) e o Diâmetro Externo (DE)	$Dp = DE - (2 * M)$
PASSO	Pr	O Módulo (M)	$Pr = M * \pi$
		A Espessura (S)	$Pr = 2 * S$
DIÂMETRO EXTERNO	DE	O Módulo (M) e o Diâmetro Primitivo (Dp)	$DE = Dp + (2 * M)$
		O Módulo (M) e o Nr. de Dentes (Z)	$DE = M * (Z+2)$
DIÂMETRO INTERNO	DI	O Diâmetro Primitivo (Dp) e o Módulo (M)	$DI = Dp - (2,166 * M)$
NR. DENTES	Z	O Diâmetro Primitivo (Dp) e o Módulo (M)	$Z = Dp / M$
ALTURA*	h	O Módulo (M)	$h = 2,166 * M$
ESPESSURA DO DENTE	S	O Passo (Pr)	$S = Pr / 2$
		O Módulo (M)	$S = 1,57 * M$
DISTÂNCIA ENTRE OS FLANCOS	C	O Módulo (M) e o Nr. de Dentes (Z)	$C = [M * (Z+2)] / 2$
		O Diâmetro Primitivo (Dp)	$C = (Dp1 + Dp2) / 2$
ESPESSURA DA ENGRENAGEM	b	O Módulo (M)	$b = de \text{ de } 6 a 10 * M$
CABEÇA	c	O Módulo (M)	$c = M$
FUNDO	f	O Módulo (M)	$f = 1,166 * M$

* A altura (h) total dos vãos dos dentes das frezas módulo com $\beta = 20^\circ$ de ângulo de pressão é determinada da seguinte maneira:

1. Através da ABNT e DIN: $h = 2,166 * M$
2. Através da ASA (USA): $h = 2,157 * M$
3. Através da ISO (UNE 10.016): $20^\circ : h = 2,25 * M$
 $15^\circ : h = 2,166 * M$

DENTES HELICOIDAIS	
$Ma = M / \cos \alpha = Dp / Z$	$DE = Dp + (2 * M)$
$Pa = Pr / \cos \alpha = (Dp * \pi) / Z$	$Z = Dp / Ma$
$Pr = Pa * \cos \alpha = \pi * M$	$h = 2,167 * M$
$M = Ma * \cos \alpha$	$ZF = Z / \cos^3 \alpha = Dp / (M * \cos^2 \alpha)$
$Dp = Z * Ma = (Z * Pa) / \pi$	$P = Dp * \pi * \cotan \alpha$

Onde:	
M = Módulo Normal ou Real	
Ma = Módulo Aparente ou Circunferencial	
Pr = Passo Normal ou Real	
Pa = Passo Aparente	
Dp = Diâmetro Primitivo	
DE = Diâmetro Externo	
h = Altura do Dente	
P = Passo da Hélice	
Z = Número de Dentes	
ZF = Número de Dentes fictício para escolher a freza (se o corte se faz em frezadora universal)	

Ângulo usual para engrenagens helicoidais de eixos paralelos	
1. $\alpha = 10^\circ$ para rodas de pequena velocidade	
2. $\alpha = 30^\circ$ para rodas de média velocidade	
3. $\alpha = 45^\circ$ para rodas de grande velocidade	

Ângulo usual para engrenagens helicoidais de eixos perpendiculares		
RELAÇÃO	ÂNGULO DA HÉLICE	
	CONDUTORA	CONDUZIDA
1:1	45°	45°
1:1,5	$56^\circ 19'$	$33^\circ 41'$
1:2	$63^\circ 26'$	$26^\circ 34'$
1:2,5	$68^\circ 12'$	$21^\circ 48'$
1:3	$71^\circ 34'$	$18^\circ 26'$
1:3,5	$74^\circ 03'$	$15^\circ 57'$
1:4	$75^\circ 58'$	$14^\circ 02'$
1:4,5	$77^\circ 28'$	$12^\circ 32'$
1:5	$78^\circ 41'$	$11^\circ 19'$

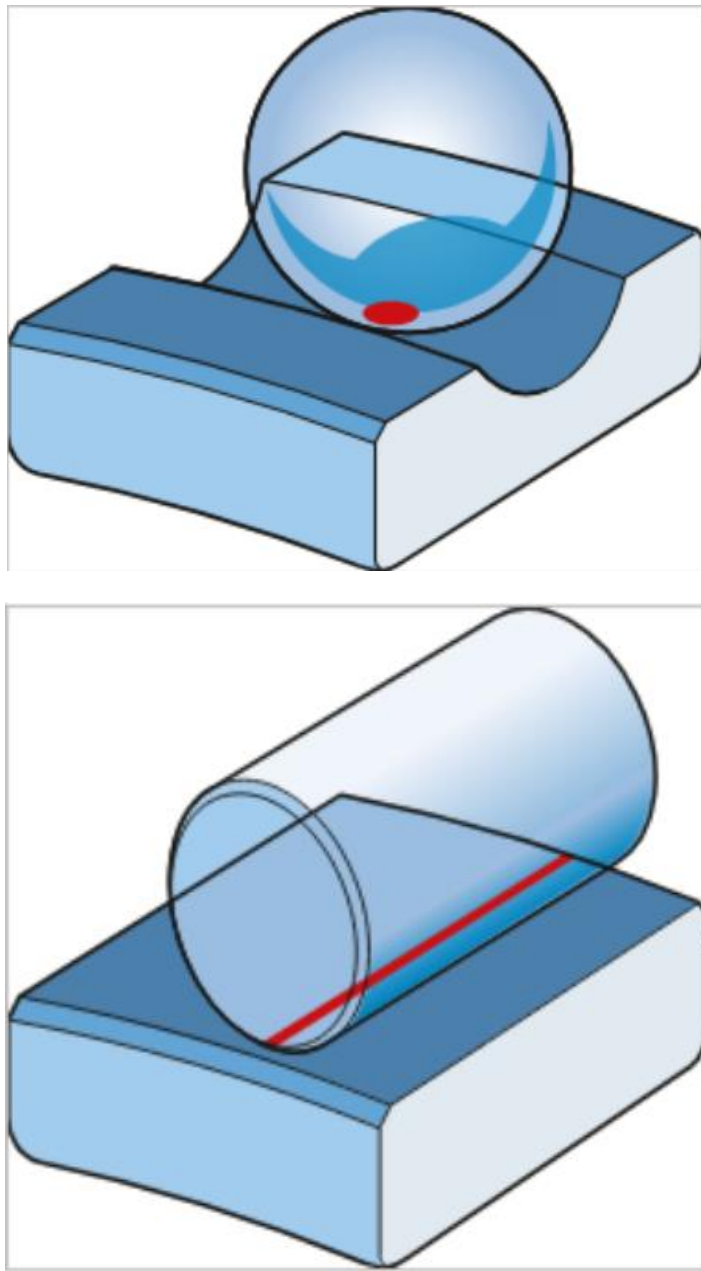
Fonte: EK BRAID / EuroAKTION, (2025).

2.2.3 ROLAMENTOS

Rolamentos são dispositivos mecânicos produzidos em aço tratado termicamente, que guiam e suportam elementos oscilantes e rotativos (eixos, rodas, semieixos,...) das máquinas, com atrito quase zero. Transmitindo cargas entre os componentes da máquina, com alta precisão e muito baixo atrito, daí proporcionam velocidades altas, mas com redução do ruído, calor, desgaste e consumo de energia. São econômicos, facilmente substituíveis e padronizados em suas dimensões.

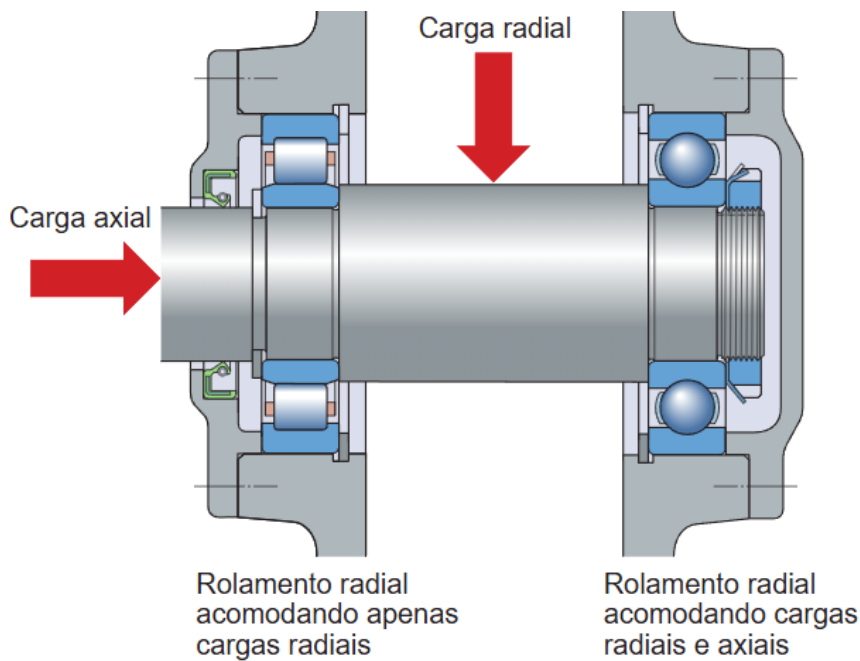
Existem dois elementos rolantes básicos que compõem os rolamentos, são as **esferas** que possuem contato **pontual** com as pistas, exercendo baixo atrito rolante mas limitada capacidade de carga. E existem os **rolos** que fazem contato em com as pistas em **linha**, o que proporciona maior capacidade de carga, mas devido à maior área de contato o atrito é maior o que acarreta menores velocidades suportadas relativamente ao rolamento de esferas. Na próxima figura veremos tais áreas de contato das esferas e dos rolos.

Figura 17: Em cima está a área de contato da esfera, em baixo esta a área de contato do rolo.



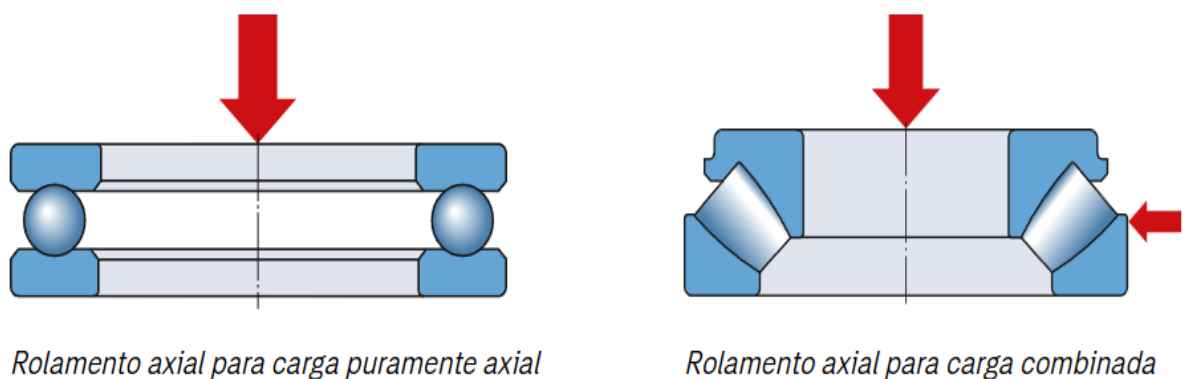
Existem dois tipos de rolamentos classificados quanto à direção da carga que suportam. Os **radiais**, que suportam cargas perpendiculares em relação ao eixo e os **axiais** que suportam cargas ao longo do eixo. E existem rolamentos que tanto sendo radiais quanto sendo axiais podem suportar cargas combinadas. O rolamento rígido de esferas, o mais utilizado em diversos projetos, é também apropriado para uso combinado de cargas.

Figura 18: O rolamento da esquerda suporta somente carga radial, o rolamento da direita suporta carga radial e axial.



Fonte: SKF.com. (2025)

Figura 19: O rolamento axial da esquerda suporta somente carga axial pura, o rolamento axial para carga combinada da direita suporta carga radial e axial.



Fonte: SKF.com. (2025)

As próximas duas figuras mostram diversos tipos de rolamentos.

Figura 20: Oito tipos diferentes de rolamentos.

Fonte:
Ferroil



Rolamentos. (2025)

Figura 21: Seis tipos diferentes de rolamentos.

Fonte:

Ferroil

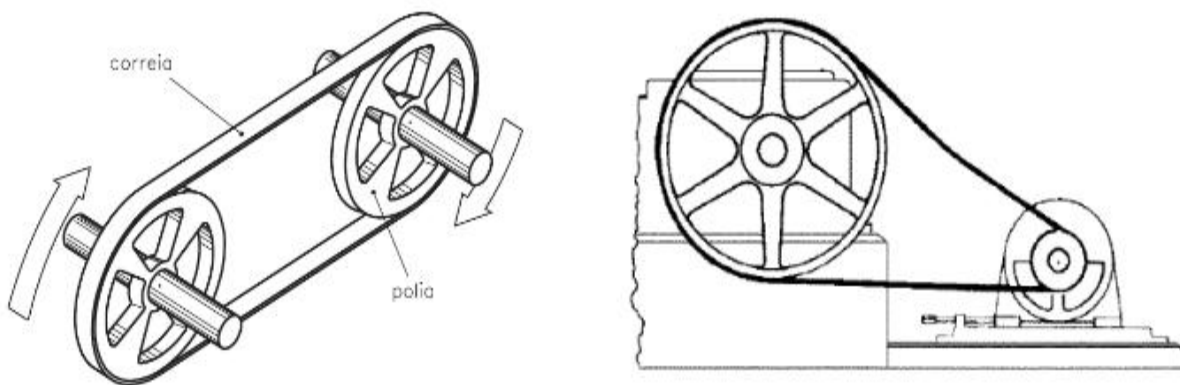


Rolamentos. (2025)

2.2.4 POLIAS E CORREIAS

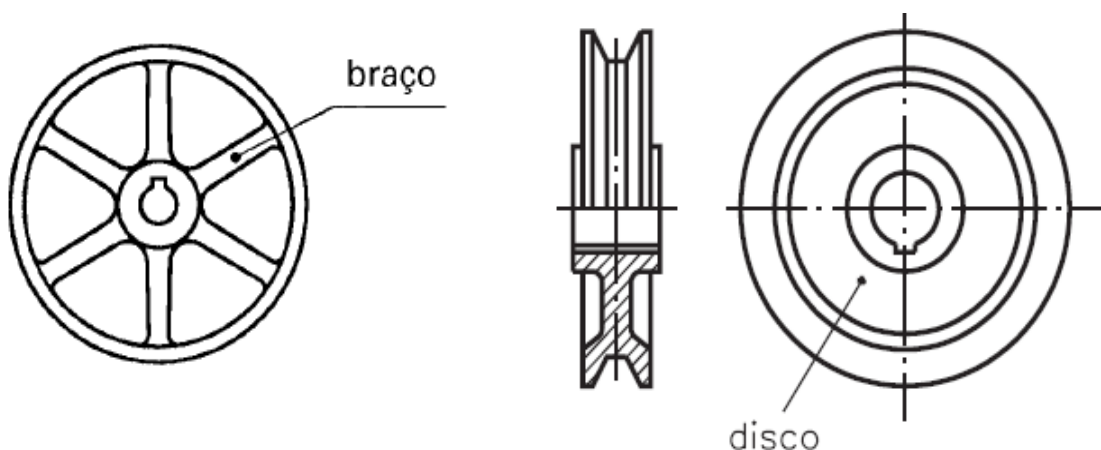
Basicamente polias são dispositivos mecânicos, cilíndricos, que transmitem rotações do eixo motor para outra polia por meio de uma correia. É dotada de uma face ligada a um cubo de roda por meio de disco ou braços. Uma das polias mais comum hoje é a polia trapezoidal, a conhecida “polia de gorne em V”. Polias e correias em “V” apresentam deslizamento quase zero, permitem usar polias bem próximas e eliminam ruídos e choques, por isso são muito utilizadas. As próximas figuras mostram algumas características das polias.

Figura 22: Configuração básica de polias.



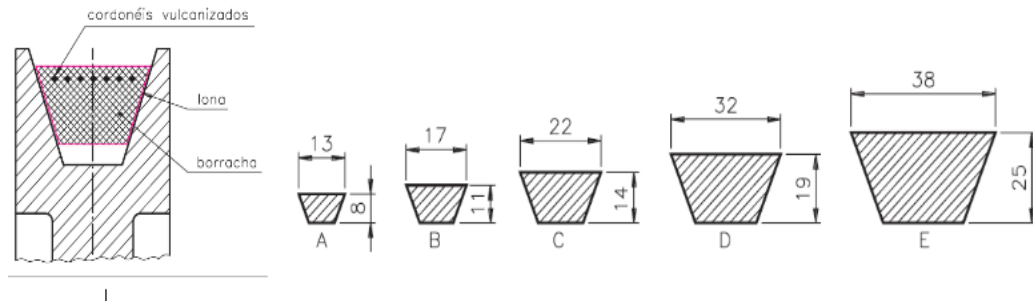
Fonte: Telecurso 2000- Elementos de máquinas – Polias e correias (2012)

Figura 23: Polia trapezoidal e estruturas básicas (braço ou disco) de uma polia.



Fonte: Telecurso 2000 - Elementos de máquinas – Polias e correias (2012).

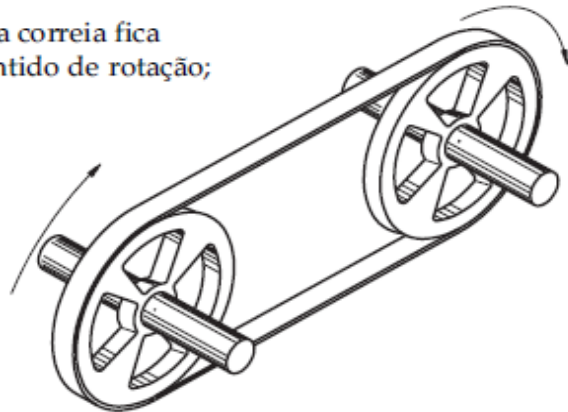
Figura 24: Material de correia trapezoidal e seus diversos perfis padronizados.



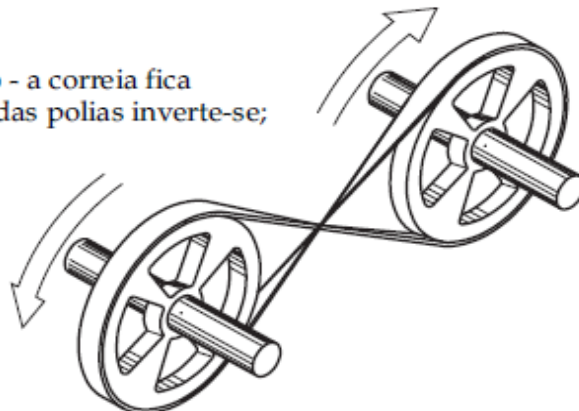
Fonte: Telecurso 2000 - Elementos de máquinas – Polias e correias (2012).

Figura 25: Sentidos de transmissão de rotações.

- **sentido direto de rotação** - a correia fica reta e as polias têm o mesmo sentido de rotação;



- **sentido de rotação inverso** - a correia fica cruzada e o sentido de rotação das polias inverte-se;



Fonte: Telecurso 2000 - Elementos de máquinas – Polias e correias (2012).

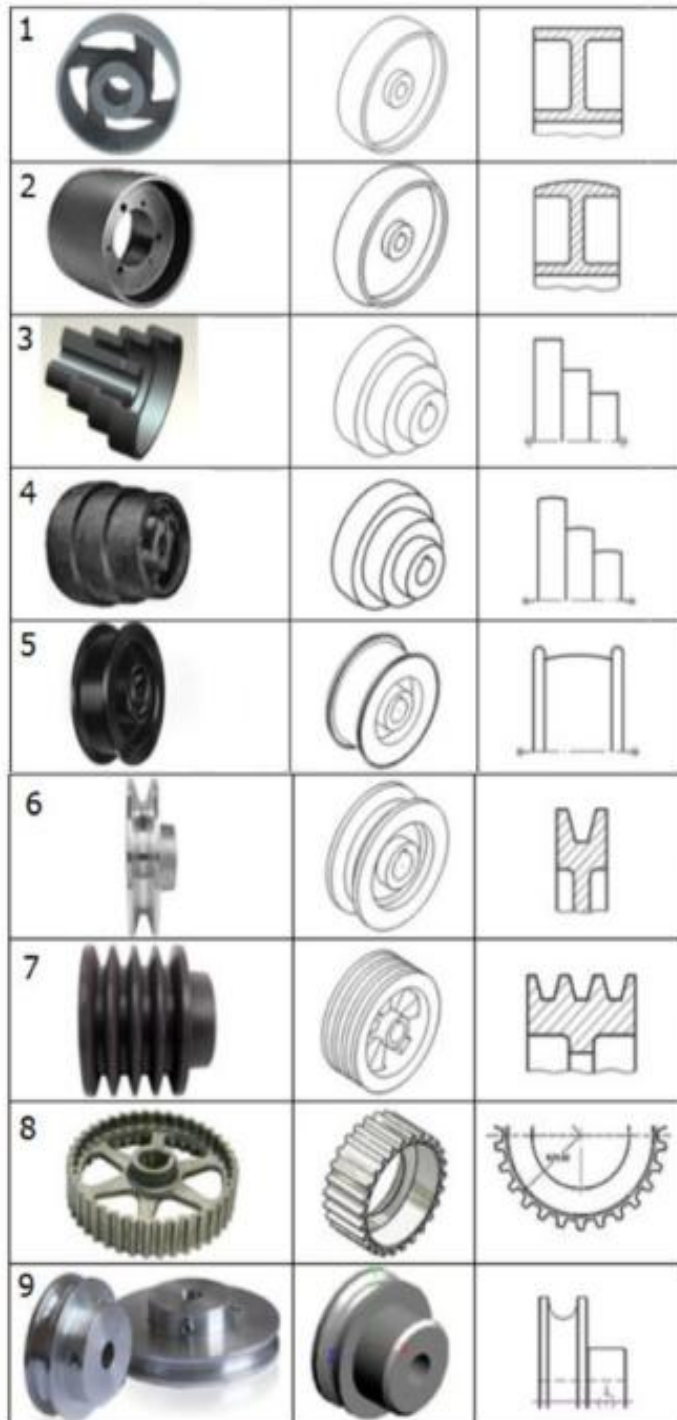
A relação de transmissão de rotações de um par de polias é mostrada na fórmula (2) logo abaixo retirada de Telecurso 2000 - Elementos e máquinas – Polias e correias (2012), e os tipos de polias e tipos de correias são mostradas nas próximas figuras.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} \quad (2)$$

Onde D_1 é o diâmetro da polia menor, D_2 é o diâmetro da polia maior, e n_1 é o

numero de rotações por minuto (RPM) da polia menor e n_2 da polia maior.

Figura 26: Tipos de polias.

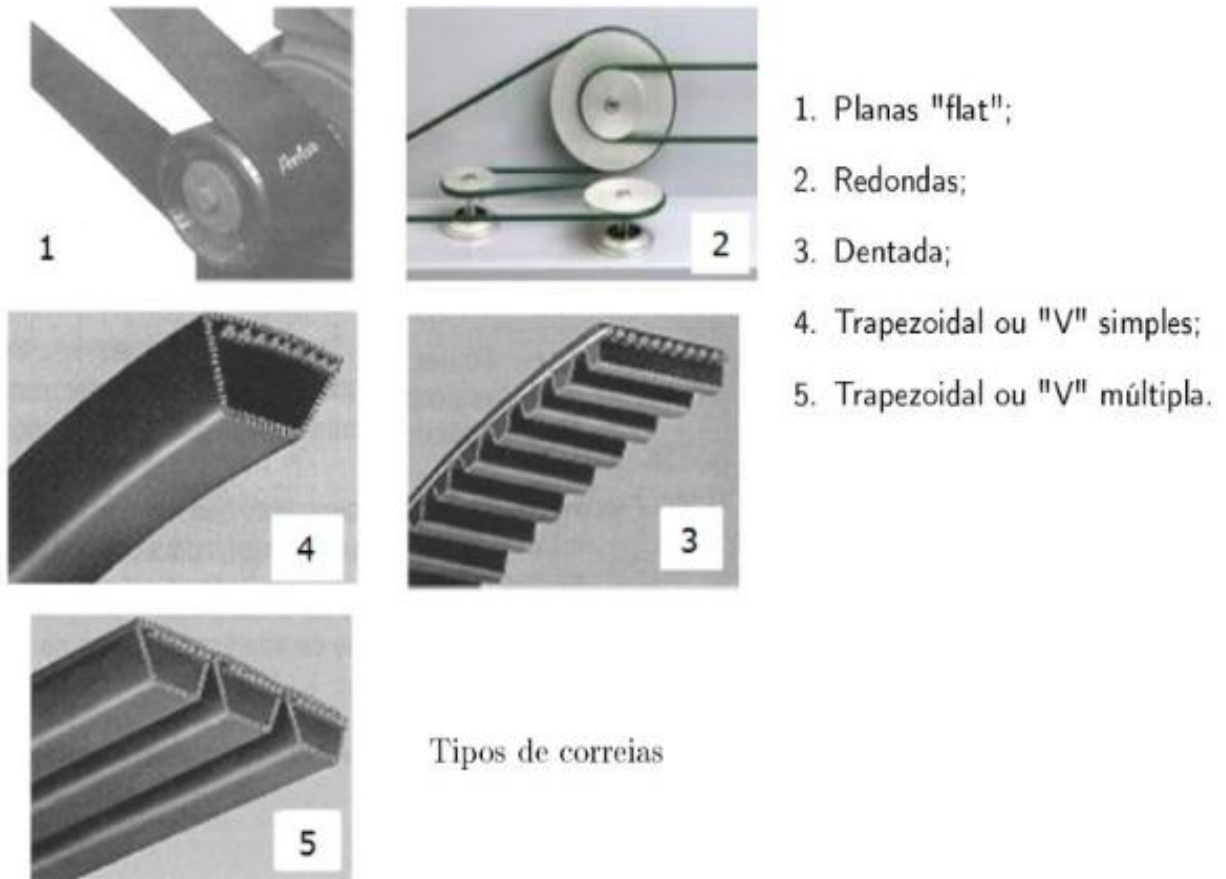


1. Polia de aro plano;
2. Polia de aro abaulado;
3. Polia escalonada de aro plano;
4. Polia escalonada de aro abaulado;
5. Polia com guia;
6. Polia em "V" simples;
7. Polia em "V" múltipla;
8. Polia para correia dentada;
9. Polia para correia redonda.

Tipos de polias

Fonte: [linkedin.com/posts/engenharia_tipos-de-polias-e-correias](https://www.linkedin.com/posts/engenharia_tipos-de-polias-e-correias). (2025)

Figura 27: Tipos de correias.



Fonte: [linkedin.com/posts/engenharia_tipos-de-polias-e-correias](https://www.linkedin.com/posts/engenharia_tipos-de-polias-e-correias). (2025)

2.2.5. EIXOS

O termo “eixo” será aqui entendido de forma geral para também incluir o eixo - árvore nesse mesmo conceito. Sendo assim eixo é um elemento estacionário ou rotativo, na maioria das vezes de seção transversal circular, e que possui montados sobre si elementos de transmissão de potência como engrenagens, polias, acoplamentos, rolamentos, rodas dentadas, volantes, manivelas e outros mais; podendo ser submetidos a esforços de torção, tração, flexão e compressão, e são considerados os principais elementos da estrutura física das máquinas.

Quando são rotativos eles girão junto com seus elementos de transmissão ou independentemente deles, como eixos acoplados em rolamentos, eixos de afiadores ou de trilhos, e também máquinas-ferramentas. E quando são fixos os elementos de transmissão, como polias sobre rolamentos, volantes, engrenagens com buchas, etc, é que rotacionam. Em âmbito

industrial, são geralmente produzidos em aço ou ligas de aço, conforme alguns critérios como: para pequenas solicitações fabricados em aço-carbono; eixos de máquinas e automóveis fabricados em aço-níquel; para altas rotações ou bombas e turbinas são fabricados em aço cromo-níquel; eixos para vagões são produzidos em aço-maganês; enfim, o material de fabricação depende muito da funcionalidade do eixo. Vários tipos de eixos podem ser vistos nas próximas duas imagens.

Figura 28: Oito tipos de eixos diversos.



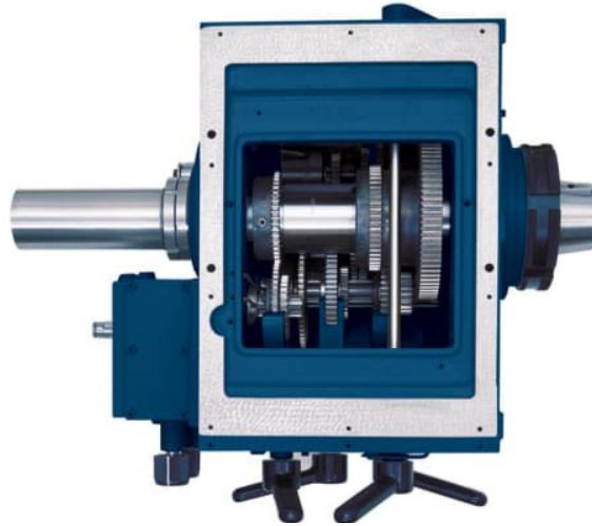
Fonte: KDM FABRICATION (2025)

Figura 29: Outros oito tipos de eixos diversos.



Fonte: KDM FABRICATION (2025)

Figura 30: Eixos-árvore da caixa de engrenagens principal de um torno mecânico da marca Romi.



Fonte: ROMI (2025)

2.2.6 CABOS DE AÇO

Cabos de aço são elementos de transmissão que basicamente servem pra suportar forças de tração, tanto nas direções verticais, horizontais e inclinadas. São utilizados para transportes e elevação ou sustentação de cargas, como em elevadores, guindastes, pontes, escavadeiras, freios e sistemas veiculares , pontes rolantes, etc. Como mostra a figura à seguir.

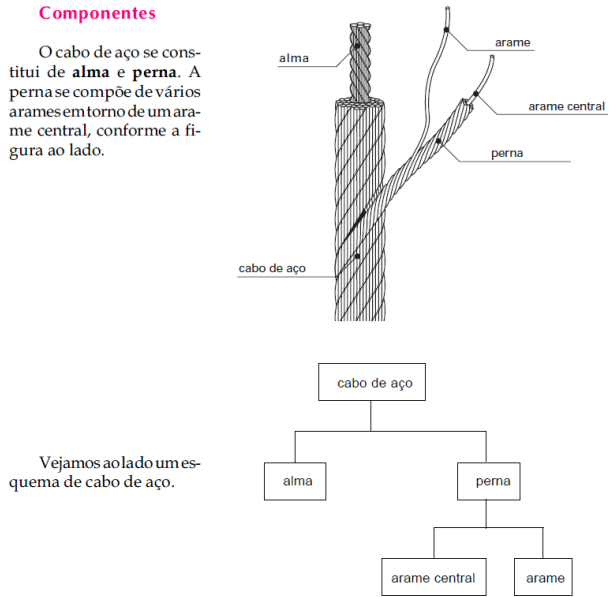
Figura 31: Exemplos de aplicações de cabos de aço.



Fonte:Da esquerda para direita temos Acro cabos, São Paulo secreto, (2025)

Os cabos de aço são constituídos e construídos por fios de aço e a alma, basicamente, segunda explicam as próximas figuras.

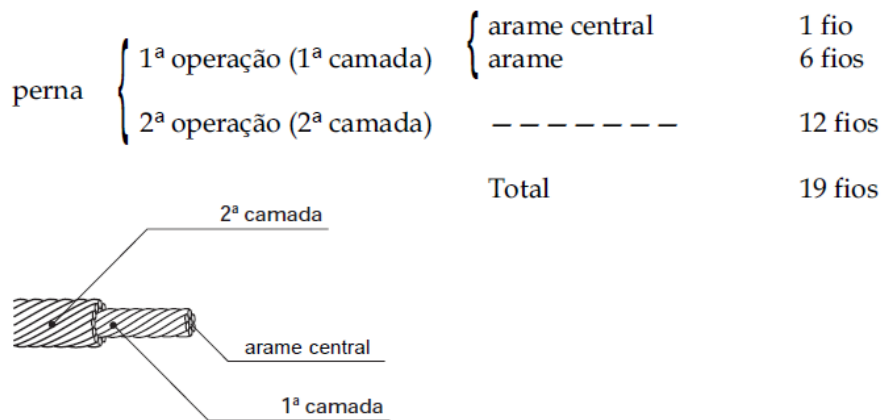
Figura 32: Componentes dos cabos de aço.



Fonte: Telecurso 2000 - Elementos de máquinas – Cabos. (2012)

Um cabo pode ser construído em uma ou mais operações de enrolamento como o exemplo a seguir de um cabo 6x19 onde uma perna com 6 fios ao redor de um fio como alma é enrolada por 12 fios, isso em duas operações como poderemos ver na figura seguinte.

Figura 33: Construção de uma perna de um cabo 6x19.



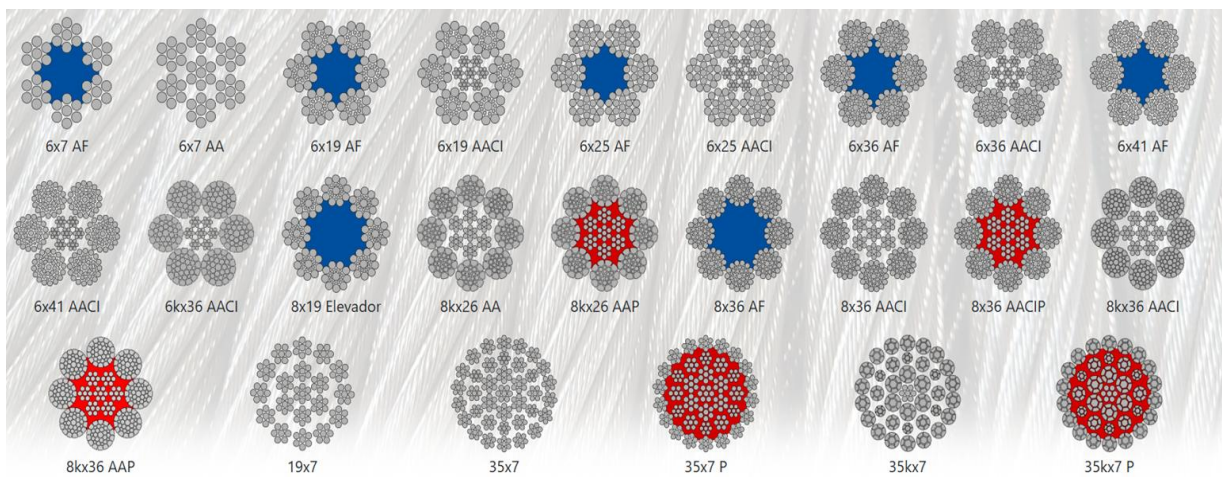
Fonte: Telecurso 2000 - Elementos de máquinas – Cabos. (2012)

Os cabos possuem distribuições diferentes de fios nas camadas de cada perna. As principais são a **normal** onde os diâmetros dos fios são todos os mesmos; a **seale** onde as

camadas são alternadas em fios finos e grossos; a **filler** em que fios mais finos preenchem os espaços vazios entre os fios mais grossos e a **warrington** onde, numa mesma camada, os fios tem diâmetros diferentes.

A **alma** é constituída de **fibra natural (AF)** ou **fibra artificial (AFA)**, de **algodão**, de **asbesto** e do próprio **aço** como uma perna de cabo (AA) ou um cabo de aço independente. Os cabos sofrem esforços de tração descritos nos catálogos dos fabricantes, levando-se em consideração a resistência do material de fabricação. À seguir uma figura que mostra diversas configurações existentes de cabos de aço.

Figura 34: Diversas configurações de distribuições de cabos de aço.



Fonte: Cabopec Cabos de Aço e Peças Ltda. (2025)

2.2.7 CORRENTES

Correntes industriais são elementos mecânicos de transmissão constituídos por elos metálicos interligados e articulados, que transmitem força de movimentos e sua potência, entre polias, engrenagens ou rodas dentadas. Suportando ambientes agressivos e cargas muito altas, com eficiência, são semelhantes às correias em termos de movimentos, mas são geralmente metálicas, sendo muito mais resistentes. O sentido de rotação do eixo tanto pode ser horário como anti-horário, e os elementos de transmissão, como as rodas dentadas, ficam no mesmo plano e os seus respectivos eixos ficam à 90° desse plano.

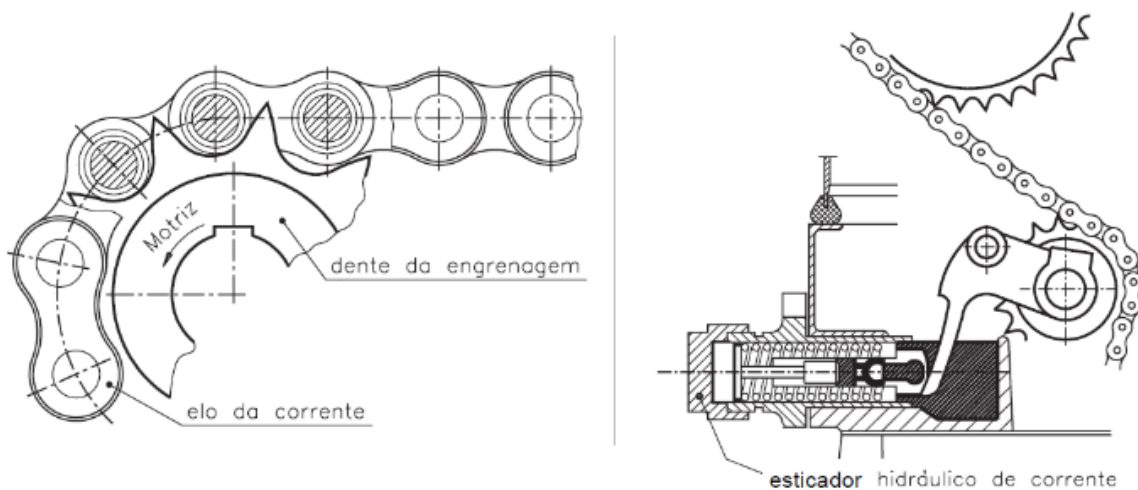
Figura 35: Disposição básica de corrente em roda dentada.



Fonte: Telecurso 2000–Elementos de máquinas–Correntes (2012), e Bassotto Suprimentos industriais (2024).

A transmissão, basicamente, ocorre quando os elos da corrente se acoplam aos dentes da roda dentada, o que muitas vezes pode gerar oscilações na corrente devido aos choques mecânicos periódicos, à grandes distâncias entre as rodas dentadas do par, ou grandes folgas na corrente, mas isso pode ser resolvido com amortecedores especiais, guias ou apoios, ou esticadores.

Figura 36: Do lado direito detalhe de como se dá a transmissão de uma corrente em uma roda dentada, do lado esquerdo o detalhe de um esticador de corrente.



Fonte: Telecurso 2000 - Elementos de máquinas – Correntes (2012).

Existem diversos tipos de correntes e é o que mostra as figuras seguintes retirada de um catálogo de um fabricante.

Figura 37: Diversos tipos de correntes industriais.

	CORRENTES DE TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA SÉRIES SIMPLES, DUPLAS E TRIPLAS (ANSI / ASA / ISO ABNT)	5 ATÉ 7		CORRENTE PASSO LONGO ROLOS PEQUENOS E PINOS SOLIDOS	28
	ADICIONAIS PARA CORRENTE DE TRANSMISSÃO	8 ATÉ 16		CORRENTE PASSO LONGO ROLOS GRANDES E PINOS SOLIDOS	28
	CORRENTE DE TRANSMISSÃO SÉRIE SPR ROLO DE APOIO LATERAL	17		CORRENTE PASSO LONGO ROLOS PEQUENOS E PINOS OCOS	29
	CORRENTE DE TRANSMISSÃO SÉRIE RTC ROLO TRANSPORTADOR CENTRAL	17		CORRENTE PASSO LONGO ROLOS GRANDES E PINOS OCOS	29
	CORRENTE DE TRANSMISSÃO SÉRIE BS ROLO TRANSPORTADOR CENTRAL	18		ADICIONAIS PARA CORRENTE DE PASSO LONGO	30 & 31
	CORRENTE DE TRANSMISSÃO SÉRIE GR ROLO GUIA LATERAL	18		CORRENTE PARA FABRICA DE ALIMENTICIO SÉRIE TKC (MACARRÃO)	32
	CORRENTE DE TRANSMISSÃO SÉRIE TR ROLO TRANSPORTADOR AÉREO	19		CORRENTE PARA MESA DE MONTAGEM SÉRIE VPR	32
	CORRENTE DE TRANSMISSÃO SÉRIE RT ROLO TRANSPORTADOR AÉREO	19		CORRENTE AGRICOLA SÉRIE S E SEUS ADITAMENTOS	33
	CORRENTE DE TRANSMISSÃO SÉRIES TA & TK ESPINHO UNILATERAL E BILATERAL	20		CORRENTE AGRICOLA SÉRIE C E SEUS ADITAMENTOS	33
	CORRENTE DE TRANSMISSÃO SÉRIES TRA & TRK TRIANGULO TRANSPORTADOR UNILATERAL E BILATERAL	20		CORRENTE AGRICOLA SÉRIE HP PINOS OCOS	34
	CORRENTE DE TRANSMISSÃO SÉRIES A1NM & K1NM ADICIONAL COM PORCA SOLDADA	21		CORRENTE MANIVELADA PARA ESCAVADEIRAS	35
	CORRENTE DE TRANSMISSÃO SÉRIE TN TALISCA PLASTICA	21		CORRENTE DE PESO PARA EMPILHADEIRAS SÉRIES AL (LEVE) & BL (PESADA)	36 & 37
	CORRENTE DE TRANSMISSÃO SÉRIES EPA & EPK – PINO PROLOGADO UNILATERAL E BILATERAL	22		CORRENTE DE TRANSMISSÃO TIPO GALL SÉRIES GL / GP / GT & GC	38
	CORRENTE DE TRANSMISSÃO SÉRIES PES & PED PLATAFORMAS EMBORRACHADAS	23		CORRENTE PARA CHAVE DE GRIFO (JACARÉ) SÉRIE GJ	39











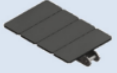

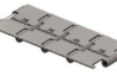





Fonte: Catálogo da Induscor - correntes e engrenagens (2024).

Figura 38: Mais tipos de correntes e alguns de seus acessórios.

	CORRENTE DE TRANSMISSÃO SÉRIE SB CURVA LATERAL	23		CORRENTE DE BLOCO SÉRIE BC	39
	CORRENTES DE TRANSMISSÃO SÉRIE H & HRF REFORÇADAS	24		EXTRATORES, PUXADORES E PULSIONADORES	40
	CORRENTES DE TRANSMISSÃO COM DUPLA CAPACIDADE SÉRIE DC	24		CORRENTE TRANSPORTADORA SÉRIES 212 & 232 (MÉTRICA E IMPERIAL) ROLOS PEQUENOS E PINOS SOLIDOS	48
	CORRENTE DE TRANSMISSÃO SÉRIE HP PINOS OCOS	25		CORRENTE TRANSPORTADORA SÉRIE 252 (MÉTRICA E IMPERIAL) ROLOS PEQUENOS E PINOS OCOS	49
	CORRENTE DE TRANSMISSÃO SÉRIE BF PLACAS RETAS	25		CORRENTE TRANSPORTADORA SÉRIES 612 & 632 (MÉTRICA E IMPERIAL) ROLOS PEQUENOS E PLACAS ALTAS	50
	CORRENTES PARA ESTUFAS LITOGRAFICAS	26		CORRENTE TRANSPORTADORA SÉRIES 214 & 234 (MÉTRICA E IMPERIAL) ROLOS GRANDES E PINOS SOLIDOS	51
	CORRENTE EMBALADORA	27		CORRENTE TRANSPORTADORA SÉRIE 254 (MÉTRICA E IMPERIAL) ROLOS GRANDES E PINOS OCOS	52
	ESTEIRA DE CORRENTE DE TRANSMISSÃO SÉRIES EST & ERT	27		CORRENTE TRANSPORTADORA SÉRIES 274 & 294 (MÉTRICA E IMPERIAL) ROLOS GRANDES E FLAGEADOS	53
	CORRENTE TRANSPORTADORA SÉRIES 614 & 634 (IMPERIAL) ROLOS GRANDES E PLACAS ALTAS	54		ENGRENAGENS PARA CORRENTE SIMPLES NORMAS ASA E ANSI PADRÃO AMERICANO DIN 8188-1	93 ATÉ 105
	CORRENTE TRANSPORTADORA SÉRIES 707 & 737 (MÉTRICA E IMPERIAL) ARRASTE TIPO REDLER	55 ATÉ 56		ENGRENAGENS PARA CORRENTE DUPLA NORMAS ASA E ANSI PADRÃO AMERICANO DIN 8188-1	106 ATÉ 116
	ADICIONAIS PARA CORRENTE TRANSPORTADORA (MÉTRICA E IMPERIAL)	57 ATÉ 61		ENGRENAGENS PARA CORRENTE TRIPLA NORMAS ASA E ANSI PADRÃO AMERICANO DIN 8188-1	117 ATÉ 127
	CORRENTE TRANSPORTADORA SÉRIES M / MC & ME (BASEADAS NAS NORMAS ISO 1977 / DIN 8167)	63 ATÉ 66		ENGRENAGENS PARA CORRENTE SIMPLES NORMAS ISO E ABNT PADRÃO EUROPEU DIN 8187-1	128 ATÉ 140
	CORRENTE TRANSPORTADORA SÉRIES C / CC & CE (BASEADAS NA NORMA DIN 8165)	67 ATÉ 70		ENGRENAGENS PARA CORRENTE DUPLA NORMAS ISO E ABNT PADRÃO EUROPEU DIN 8187-1	141 ATÉ 151
	CORRENTE TRANSPORTADORA SÉRIES Z / ZC & ZE (BASEADAS NA NORMA BS 4116)	71 ATÉ 74		ENGRENAGENS PARA CORRENTE TRIPLA NORMAS ISO E ABNT PADRÃO EUROPEU DIN 8187-1	152 ATÉ 162
	CORRENTE PARA ELEVADOR DE CANECAS SÉRIE SBS & SBR E SEUS ADITAMENTOS	75 ATÉ 77		ENGRENAGENS BI-SIMPLEX PARA DUAS CORRENTES NORMA ASA ASA E ANSI PADRÃO AMERICANO DIN 8188-1	163 ATÉ 165
	CORRENTE P/ USINA DE ACUÇAR E ALCOOL SÉRIE EB ADITAMENTO TIPO VA ASA VOADORA.	78		ENGRENAGENS SÉRIE 815K PARA CORRENTE TRANSPORTADORA DE GARRAFAS	165
	CORRENTE P/ USINA DE ACUÇAR E ALCOOL SÉRIE EC E SEUS ADITAMENTOS K2 E K3	79		ENGRENAGENS PARA CORRENTE DE PASSO LONGO (DIN 8188 / ISO 1275)	166 ATÉ 167
	CORRENTE P/ USINA DE ACUÇAR E ALCOOL SÉRIE MA E SEUS ADITAMENTOS E1	80		ENGRENAGEM PARA CORRENTE TRANSPORTADORA (IMPERIAL)	168 ATÉ 170
	CORRENTE P/ USINA DE ACUÇAR E ALCOOL SÉRIE WH E SEUS ADITAMENTOS	81 ATÉ 82		ENGRENAGEM PARA CORRENTE TRANSPORTADORA (MÉTRICA)	171 ATÉ 173

Fonte: Catálogo da Induscor - correntes e engrenagens (2024).

Figura 39: Mais alguns tipos de correntes e alguns de seus acessórios.

	CORRENTE BI-DIRECIONAL SÉRIE DC TRANSPORTADOR AÉREO	83		ENGRENAGEM PARA CORRENTE TRANSPORTADORA PADRÃO EUROPEU SÉRIES M / MC / ME (MÉTRICA)	174 ATÉ 175
	CORRENTE TRI-DIRECIONAL SÉRIE DF TRANSPORTADOR AEREO	83		ENGRENAGEM PARA CORRENTE TRANSPORTADORA PADRÃO EUROPEU SÉRIES C / CC / CE (MÉTRICA)	176 ATÉ 177
	CORRENTE FORJADA SÉRIE X TRANSPORTADOR AEREO	83		ENGRENAGEM PARA CORRENTE TRANSPORTADORA PADRÃO EUROPEU SÉRIE Z / ZC / ZE (IMPERIAL)	178 ATÉ 179
	CORRENTE DE ACIONAMENTO SÉRIE 160X COM DOG TIPO CATERPILLAR	84		ENGRENAGENS PARA CORRENTES FORJADAS DE ARRASTE TIPO FORKY	180
	CORRENTE TIPO RELIANCE SM1200 TRANSPORTADOR DE ARRASTE	84		ENGRENAGENS PARA CORRENTES TIPO RELIANCE PARA TRANSPORTADOR DE ARRASTE (GLP) SM-1200	180
	CORRENTE PLATAFORMA SÉRIE 866K TRANSPORTADOR DE GARRAFAS	85		RODAS DENTAS CILINDRICAS (MÓDULO)	181 ATÉ 184
	CORRENTE DOBRADIÇA SÉRIES S815K E SS815K TRANSPORTADOR DE GARRAFAS	85		BUCHAS CÔNICAS PARA APERTO DE EIXOS	185
	CORRENTE TRANSPORTADORA DE BLOCOS SÉRIE NF	86		ANEIS ESPANSORES PARA APERTO DE EIXOS	186 & 187
	CORRENTE FORJADA TIPO FORKY SÉRIE F142 ARRASTE TIPO REDLER	87		ACOPLAMENTOS DE CORRENTE	188 A 191

Fonte: Catálogo da Induscor - correntes e engrenagens (2024).

2.2.8 MANCAIS DE ROLAMENTOS

Mancal de rolamento é basicamente um suporte fixo em que o rolamento é introduzido, montado, suportando rolamentos de esferas, rolos ou agulhas, servindo de apoio, sustentação, para o eixo de uma máquina. Ele garante que as partes rotativas do rolamento girem junto com eixo dentro do mancal, e a parte fixa do rolamento fique fixa, parada no alojamento do mancal.

No geral os mancais são fabricados em ferro fundido. Eles podem ser fabricados inteiros ou bipartidos, para se ter melhor facilidade de montagem e maior diversidade de aplicações. Práticos e versáteis, demandam menos manutenção corretiva.

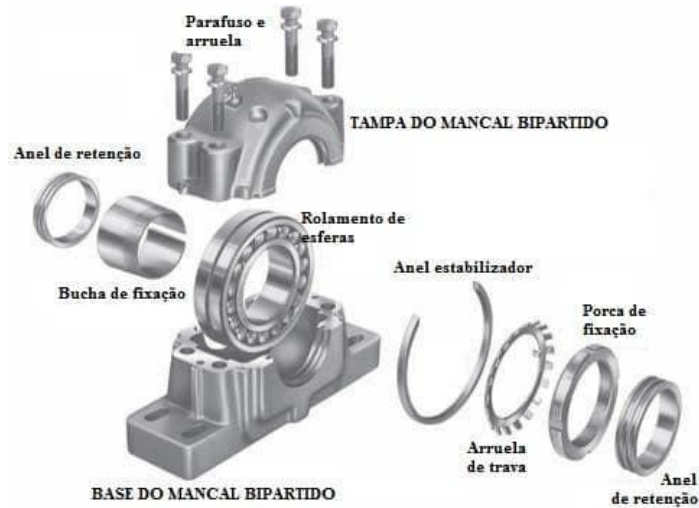
Existem diversos modelos entre os quais podemos citar:

- Mancal de rolamento rígido de esferas;
- Mancal de rolamento de esferas de contato angular;
- Mancal de rolamento de rolos cilíndricos;
- Mancal de rolamento de rolos cônicos;
- Mancal de rolamento axial de esferas;
- Mancal de rolamento de agulhas;

- Mancal de rolamento autocompensador de rolos/esferas.

As figuras abaixo mostram exemplos de alguns tipos de mancais, e as partes que os compõe, no caso de um macal bipartido.

Figura 40: Mancal bipartido e as partes que o compõe.



Fonte: Abecom (2022).

Figura 41: Seis tipos de mancais de rolamentos.



Mancal tipo Apoio



Mancal tipo Apoio Bipartido



Mancal tipo Flange



Mancal tipo Flange 2 furos de fixação



Mancal tipo Flange 4 furos de fixação



Mancal tipo Tensor

Fonte: Aço Villaça- Suprimentos Industriais (2025).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto e fabricação em si do redutor didático seguiu as seguintes etapas apresentadas no seguinte fluxograma:

Etapa 1: Seleção dos componentes: engrenagens, eixos, rolamentos, parafusos e material da base e da manivela.



Etapa 2: Cálculos dos parâmetros dos eixos, engrenagens, medidas da base e dos encaixes de rolamentos nos eixos.



Etapa 3: Fabricação da base e adequação metalúrgica dos eixos, engrenagens e fabricação da manivela.



Etapa 4: Projeto, desenho em solid edge e fabricação dos mancais usando impressão 3D.



Etapa 5: Desenho de todos os componentes, montagem e Simulação em 3D, tudo em solid edge.

Etapa 1

Para fabricar esse protótipo de redutor didático, tinha-se em mente selecionar os pinhões com menor número de dentes possível, e as engrenagens com maior número de dentes possível, mas que fossem “engrenáveis”, ou seja, com o valor dos módulos iguais em pares de peças dentadas (pinhão/engrenagem), e se possível fossem de um mesmo tipo de sistema mecânico, o que aumentaria e muito as chances de se ter o mesmo módulo entre esses pares, e dessa forma obter o maior fator de redução possível. É de extrema importância ressaltar que esse projeto não tem o intuito de fazer análise de esforços, concentrando-se apenas na fabricação e operação didática do dispositivo.

Assim foram selecionadas três engrenagens e três eixos pinhões com dentes usinados em seus próprios eixos. Tanto os pinhões, como as engrenagens são de aço tratado termicamente, de sucata da caixa de transmissão de motos honda, adquiridas em pequenas oficinas de concerto de moto. Tanto o material da base, como o da manivela, foram também reaproveitados de sucata metálica de uma pequena metalúrgica de propriedade do próprio aluno autor desse trabalho. Parafusos e rolamentos, tiveram que ser adquiridos no comércio local em lojas próprias do ramo metalmeccânico.

Ao todo são seis peças dentadas, e começando com um eixo-pinhão, com menor número de dentes, até o eixo da última engrenagem que possui maior número de dentes, iremos enumerá-las de 1 até 7, para melhor identificá-las. A primeira peça (1) é um eixo-pinhão com diâmetro externo de 27 mm (nos dentes), e de 13 dentes usinados no próprio eixo que será o primeiro eixo do redutor. Engrenado nesse primeiro pinhão ficará a primeira engrenagem que é de 39 dentes e diâmetro externo de 73,7 mm, como mostram as figuras à seguir.

Figura 42: À esquerda eixo (1) de 13 dentes e à direita engrenagem (2) de 39 dentes.



Fonte:
Acervo
próprio
(2025).

O segundo eixo-pinhão (3) é dotado de 14 dentes usinados no próprio eixo e diâmetro externo de 28,6 mm, nos dentes, e ele é o eixo onde também estará acoplada engrenagem (2), e seus dentes (do pinhão (3)) engrenados na engrenagem (4), que por sua vez

possui diâmetro externo de 122,4 mm e 67 dentes que é acoplada no eixo-pinhão (5) que também é dotado de 14 dentes usinados no próprio eixo e diâmetro externo de 28,6 mm, nos seus dentes. Este último, (5), será engrenado na última engrenagem (6), idêntica à engrenagem (4) com diâmetro externo de 122,4 mm e 67 dentes, e nessa engrenagem será acoplado o último eixo (7), liso e que servirá de apoio e transmissão de velocidade da engrenagem (6). A próxima figura mostra os detalhes dos dois eixos (3) e (5), das engrenagens (4) e (6) e o eixo liso (7).

Figura 43: À esquerda superior eixos (3) e (5), na parte inferior eixo (7), e à direita as engrenagens (4) e (6), todos ainda por serem usinados de forma correta.



Fonte: Acervo próprio (2025).

Serão utilizados 8 rolamentos rígidos de esferas 6002, uma vez que seu diâmetro interno permite uma usinagem adequada nos eixos pro seu perfeito encaixe por interferência no momento da montagem final. Serão 16 parafusos M5x0.8, de 25 mm, de cabeça alem, 16 porcas M5 sextavadas, 16 arruelas de 5,5 mm, isso para fixar os mancais de rolamento na base. Serão utilizados 4 parafusos M6x1, três com 8mm e um com 6 mm de comprimento, sem cabeça, para fixar as engrenagens e a manivela de acionamento, respectivamente, nos seus respectivos eixos.

Para a fabricação da manivela de acionamento foram utilizadas um bucha de aço 1020 medido 29 mm de comprimento com 19 mm de diâmetro externo e 14,2 mm diâmetro interno, um pedaço de barra chata de aço 1020 de 5mm x 12mm x 37mm , uma bucha de alumínio de 40 mm de comprimento (para o cabo girante da manivela) com 8 mm de diâmetro

externo e 7 mm de diâmetro interno, um parafuso de cabeça alem M6x1 de 65 mm, duas arruelas de 7 mm e uma porca sextavada M6, conforme a figura abaixo mostra.

Figura 44: Em cima rolamento, parafusos, porcas, arruelas e em baixo material da manivela de acionamento.



Fonte: Acervo próprio (2025).

Para sustentar todo o aparato a base foi fabricada com um pedaço de chapa de aço 1020 de medidas 6 mm x 29 mm x 35 mm, e os pés de metalon 30 mm x 20 mm medindo 80 mm de altura, medidas essas estimadas levando em consideração o as medidas de eixos e engrenagens disponíveis e pensando em ter espaço lateral para instalações de maneiras futuras automatizadas (motor) de acionamento.

A figura abaixo mostra esses detalhes da base.

Figura 45: Chapa de aço 1020, os pés e o furo quadrado necessário cortado, da base de montagem do redutor.



Fonte: Acervo próprio (2025).

Etapa 2

Tendo todas as peças dentadas (engrenagens e eixos) já selecionadas é feita então a medição do diâmetro externo (dos dentes) em milímetros de cada peça dentada com paquímetro analógico. Tendo essa medida e o número de dentes de cada peça, calculamos inicialmente o **módulo**, de cada peça dos pares que irão se engrenar, para verificar se são iguais, pois sabemos

que é preciso que sejam iguais para que haja o engrenamento perfeito entre os dentes de cada peça dentada de cada par durante a rotação. Para isso usamos a fórmula (3) da Figura 16, retirada de EK BRAID / EuroAKTION, (2025), que é a seguinte:

$$M = DE / (Z + 2) \quad (3)$$

Onde M é o módulo, DE é o diâmetro externo e Z é o número de dentes.

Com esse valor do módulo é possível verificar se o engrenamento entre cada peça dentada de cada par é possível, e com esse valor calcular o **diâmetro primitivo** que é crucial para outros diversos cálculos, e também obter a **medida entre os dois centros dos pares de engrenagens** (peças dentadas) que é a **soma dos raios primitivos** dessas engrenagens, crucial para os desenhos em 3d do software (solid edge) utilizado para gerar as engrenagens e também para a montagem do dispositivo. E para calcular esse parâmetro utilizamos também da Figura 16, retirada de EK BRAID / EuroAKTION, (2025), a seguinte fórmula (4)

$$Dp = M * Z \quad (4)$$

Onde Dp é o diâmetro primitivo, M é o módulo e Z é o número de dentes.

Os resultados dessas medições e cálculos podem ser conferidos na tabela seguinte.

Tabela 1: Resultados dos cálculos para encontrar módulos, diâmetros e raios primitivos (Rp) das seis peças dentadas.

Peça dentada	DE	Z	M	Dp	Rp
eixo-pinhão (1)	27 mm	13	1,8 mm	23,4 mm	11,7 mm
Engrenagem	73,7 mm	39	1,797 mm	70,08 mm	35,04 mm

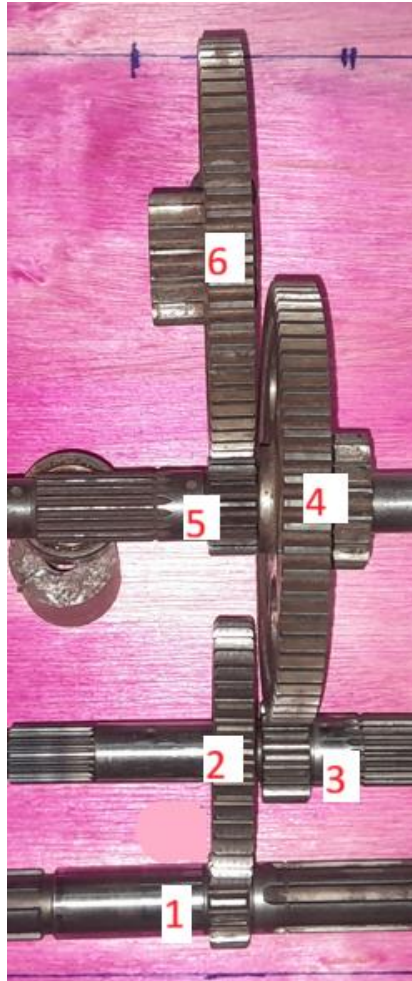
(2)					
eixo-pinhão (3)	28,6 mm	14	1,78 mm	24,92 mm	12,46 mm
Engrenagem (4)	122,4 mm	67	1,77 mm	118,6 mm	59,3 mm
eixo-pinhão (5)	28,6 mm	14	1,78 mm	24,92 mm	12,46 mm
Engrenagem (6)	122,4 mm	67	1,77 mm	118,6 mm	59,3 mm

Fonte: Cálculos dos estudos desse projeto (2025).

Analisando os dados da tabela vemos que os módulos de todas as engrenagens e eixos pinhões são praticamente os mesmos, havendo alguma variação, talvez devido ao desgaste dos dentes, já que são peças dentadas reaproveitadas. Levando em conta, de forma geral, num sistema de engrenagens, que o maior fator de redução de rotações possível, no último eixo conduzido, é obtido quando se tem a primeira engrenagem, condutora, com o menor número de dentes possível e as demais engrenagens intermediárias conduzidas de cada par, tendo o maior número de dentes possível; podemos notar que a configuração, posicionamento que obtém o maior fator de redução possível é o seguinte: a primeira peça é o eixo-pinhão (1) de 13 dentes, engrenado na primeira engrenagem (2) de 39 dentes, acoplada e presa por um parafuso sem cabeça no eixo-pinhão (3) de 14 dentes, que por sua vez é engrenado na engrenagem (4) de 67 dentes, sendo esta acoplada e presa por um parafuso sem cabeça no eixo-pinhão (5) de 14 dentes, que é engrenado na outra engrenagem (6) de 67 dentes, e esta última é acoplada e presa por um parafuso sem cabeça ao eixo liso (7) que aqui serve como último eixo de transmissão de potência.

Na figura abaixo esta a configuração escolhida para se obter o maior fator de redução, ou seja, obter a menor rotação possível. Aqui nessa figura as engrenagens ainda não foram usinadas em seus centros e nem modificadas para se acoplarem nos eixos pinhões, e o eixo liso (7) ainda não aparece na figura.

Figura 46: Configuração dos pares de engrenagens escolhida para o maior fator de redução de rotações possível.



Fonte: Acervo próprio (2025)

Usando a fórmula (5) logo abaixo, que é a fórmula (1), retirada de Telecurso 2000 - Cálculo técnico – Cálculos de RPM (2012), que relaciona o número de dentes ao número de rotações, e calculando, para cada par de engrenagens engrenadas da configuração acima, o fator de redução e o fator de redução geral, obtemos uma rotação no último eixo (7) **68,54 vezes menor** que a rotação de entrada, ou seja, $n_t = x/68,54$, onde n_t é a **rotação final** no redutor e x é a **rotação de entrada** (nesse caso em (1)) no redutor. Vejamos a fórmula mencionada.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (5)$$

Onde n_1 e n_2 são o número de rotações de um par qualquer de engrenagens e Z_1 e Z_2 são o número de dentes deste par.

Para cada par de engrenagens dessa configuração, também foi calculado o fator de redução, usando também a fórmula (3), e arbitrando-se uma rotação de entrada qualquer, o que pode ser conferido na tabela seguinte.

Tabela 2: Resultados dos cálculos dos fatores de redução de rotações de cada par, e fator de redução geral.

Par de engrenagens	Relação de dentes	Fator de redução
(1)-(2)	13/39	1/3
(3)-(4)	14/67	1/ 4,78
(5)-(6)	14/67	1/ 4,78
Acoplamento entre os pares	13/39-14/67-14/67	Fator geral: 1/68,54*

Fonte: Cálculos dos estudos desse projeto (2025).

* valor aproximado depois da vírgula da esquerda para direita, calculado de acordo com os resultados da própria tabela acima.

Observe que na última linha dessa tabela o fator geral de redução é obtido de forma simples, apenas multiplicando os fatores de cada um dos três pares.

Depois desses cálculos, é feita a medição dos diâmetros das seções dos eixos e também a medida dos comprimentos dessas seções, para avaliar, qual será a medida e localização da seção de encaixe do rolamento escolhido, que nesse caso foi o modelo 6002, rígido de esferas com 15 mm na parte interna e 32 mm na parte externa e 9 mm na largura.

Foram definidas as medidas das buchas que serão usinadas e soldadas nas três engrenagens. Buchas essas que serviram para o ajuste fino, acoplamento, deslizamento e travamento, por parafusos, dessas engrenagens nos seus respectivos eixos; levando-se em conta tanto o encaixe externo da manivela e localização dos mancais, como também a movimentação paralela de desengrenamento dessas três engrenagens nos seus respectivos eixos de forma que não haja nenhum tipo travamento das engrenagens com relação ao rasgo de lados retos, feito na base do dispositivo.

A figura abaixo mostra os locais onde se usina para encaixar os rolamentos em cada eixo.

Figura 47: Definição das seções de encaixe de cada rolamento (marcações de azul) à serem usinadas nos eixos e localização das engrenagens de forma geral (numa base de teste feita inicialmente em madeira)



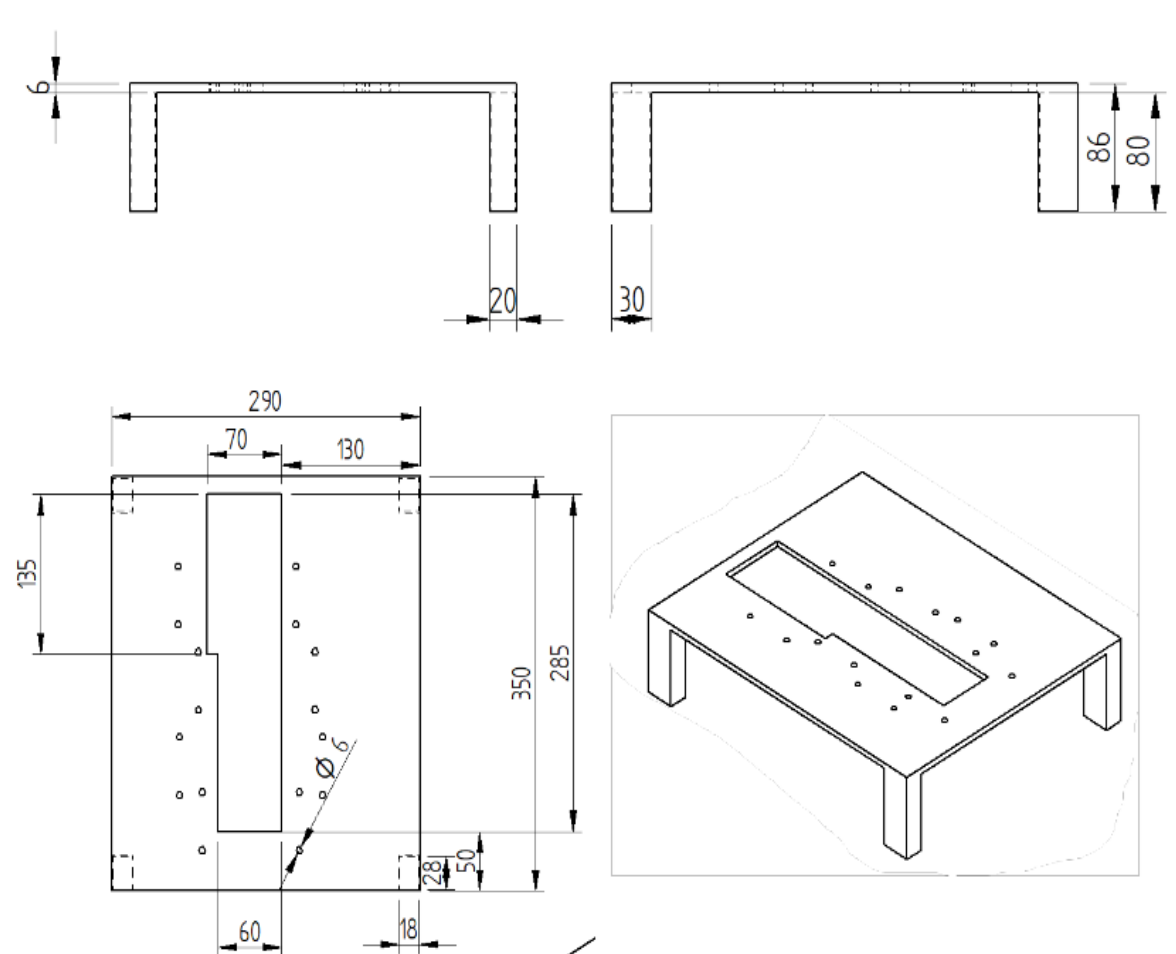
Fonte: Acervo próprio (2025)

Depois de definidas tais medidas são definidas as medidas da base, feita com uma chapa em aço-carbono 1020, de sucata, mas em bom estado, do redutor. como largura de 290 mm, comprimento de 350 mm, espessura de chapa de 6 mm e altura de 86 mm, onde os quatro pés são de metalon 30 mm x 20 mm e possuem altura de 80 mm.

É preciso fazer um rasgo de lados retos aproximadamente no centro da base para que as duas grandes engrenagens de 67 dentes possam ficar posicionadas e livres para o giro, pois a escolha da altura dos eixos com relação à base foi definida de forma à se ter a mesma altura de todos os mancais, e dessa forma se ter também melhor estabilidade de rotação, além de uma padronização dos mancais.

Logo abaixo será mostrado um esboço com as medidas da base vistas de cima e um desenho 3d da mesma.

Figura 48: Esboço com as medidas da base do redutor.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Etapa 3

Depois de definidas as medidas da base é começada sua manufatura, como dito antes uma chapa de sucata de aço 1020 foi selecionada na pequena metalúrgica do autor, sendo as medidas já mostradas antes logo acima. Então foram cortados pedaços de metalon 30 mm x 20 mm para fabricar os pés, e com altura total de 86 mm, logo em seguida foi cortado, com esmerilhadeira, um grande rasgo de lados retos para melhor acomodar as engrenagens maiores aproximadamente no centro da base.

Em seguida, quando os mancais, engrenagens e os eixos já estavam prontos, já na parte final da fabricação de todas as peças do redutor, foram montados os rolamentos e os mancais nos eixos e dessa forma pôde-se marcar e fazer os furos dos parafusos M5x0.8 para fixação dos mancais na base, sendo respeitadas as folgas necessárias para os ajustes de engrenamento, no total de 16 furos de 6 mm. A seguir algumas fotos da fabricação da base do redutor.

Figura 49: Algumas fotos mostrando a fabricação da base do redutor.



Fonte: Acervo próprio (2025).

Depois da base feita, foram executadas a usinagem, em torno mecânico universal, de buchas em aço-carbono 1020, para o centro de cada uma das três engrenagens, que servirão para acoplamento e travamento por parafusos sem cabeça, e também para ajuste fino e deslizamento paralelo dessas engrenagens em seus respectivos eixos pinhões a fim de desengrenamento necessário destas.

Mas antes da soldagem dessas buchas nas engrenagens, é preciso fazer uma usinagem, no torno mecânico, de acabamento na parte de fora dos centros das engrenagens de 67 dentes, visando a retirada de dentes menores existentes nessas engrenagens que não serão de utilidade para o redutor didático.

E o resultado pode ser visto na próxima figura abaixo.

Figura 50: Processo de usinagem de preparação das duas engrenagens de 67 dentes.



Fonte: Acervo próprio (2025).

É usinada também a bucha para engrenagem (2) de 39 dentes. Logo depois essas três buchas são encaixadas em cada um dos centros das engrenagens, por interferência (mas nada que interfira na medida interna destas buchas) em prensa hidráulica de 30 toneladas, e soldadas com processo de eletrodo revestido 6013 de 2,5 mm de espessura, numa máquina de solda de 250 A monofásica.

Em seguida, em cada uma das buchas, é feito um furo de 5 mm e feita a rosca M6 com macho manual M6, que servirá para enroscar os parafusos sem cabeça que travam as engrenagens nos eixos. As engrenagens acabam se encaixando nos eixos pinhões sem interferência, com uma folga de 1 décimo de milímetro (0,1 mm de diferença).

O centro das engrenagens fica com um diâmetro interno final de 17,1 mm e os eixos com diâmetro de 17 mm, na seção de encaixe da engrenagem, o que é necessário para o deslizamento mencionado mais acima, que serve para o desengrenamento das engrenagens que são necessários para as variações de configurações de redução ou aumento de rotação do redutor didático.

Etapas vistas nas próximas figuras.

Figura 51: Fabricação e encaixe das buchas de fixação nas engrenagens.



Fonte: Acervo próprio (2025).

Definidas as medidas para usinagem dos eixos, vistas na figura 51, é executada a usinagem das seções de encaixe dos rolamentos em cada eixo, duas seções de encaixe em cada eixo com 15 mm de medida nominal no diâmetro. Na seção dessa medida nominal, é feito um acabamento com lima manual, um polimento com a peça em movimento, isso diminui o diâmetro cerca de 0,2 mm, logo após é feito um recartilhamento o que volta a aumentar o diâmetro para 15 mm, mas a superfície recartilhada com medida nominal faz com fique mais fácil para que haja um melhor encaixe do rolamento no eixo por uma leve interferência em prensa hidráulica. Na figura abaixo vemos um exemplo de um dos eixos sendo usinado e como é superfície usinada com recartilhador.

Figura 52: Encima usinagem de encaixe de rolamento de um dos eixos, em torno mecânico, e embaixo exemplo de superfície recartilhada do encaixe de cada rolamento.



Fonte: Acervo próprio (2025).

Usinadas eixos e engrenagens, e feita a base do redutor, é executada a fabricação da manivela de acionamento. Vale enfatizar que a escolha do acionamento ser por parte de uma manivela deu-se por levar em consideração que é um redutor didático, e uma manivela proporcionará um melhor controle de demonstração do funcionamento do equipamento.

Inicialmente é usinada uma bucha de 29 mm de comprimento com diâmetro externo de 19 mm e interno de 14,2 mm. Nela é feito um furo rosqueado M6 para travamento da mesma em cada eixo com parafuso sem cabeça, conforme o uso, que faz esse travamento quando é apertado sobre um chanfro usinado na ponta de cada eixo pinhão. Soldado a ela fica uma barra chata de 5 mm de espessura, 37 mm de comprimento e 12 de largura.

Também nela é feito um furo rosqueado M6 para o enroscamento de um parafuso

M6x1 de 65 mm de comprimento, que junto com uma bucha de alumínio de 40 mm de comprimento, 2 arruelas de 7 mm (medida interna) e uma porca M6 formam o cabo da manivela. Essa bucha de alumínio e as arruelas são girantes para facilitar sua movimentação; o parafuso fica fixo na barra chata, a porca e a rosca dessa barra servem para fazer o travamento desse parafuso. Esses detalhes podem ser conferidos na figura a baixo.

Figura 53: Manivela já pronta.



Fonte: Acervo próprio (2025).

Etapa 4

Os mancais são pensados de uma forma, que fossem fabricados por impressão 3d, de um material chamado ABS, bem resistente com relação a outros materiais usados em impressão 3d. Para isso eles precisam possuir dimensões robustas, já que são fabricados para suportar peças de aço que são os eixos, engrenagens e os rolamentos 6002 (mais adequado às dimensões das peças). O uso da impressão 3d só foi possível graças a um projeto de impressão 3d, da Universidade Federal do Ceará, campus Russas (onde este trabalho será defendido) de responsabilidade do também orientador deste trabalho, professor Dr. Pedro Helton Magalhães Pinheiro.

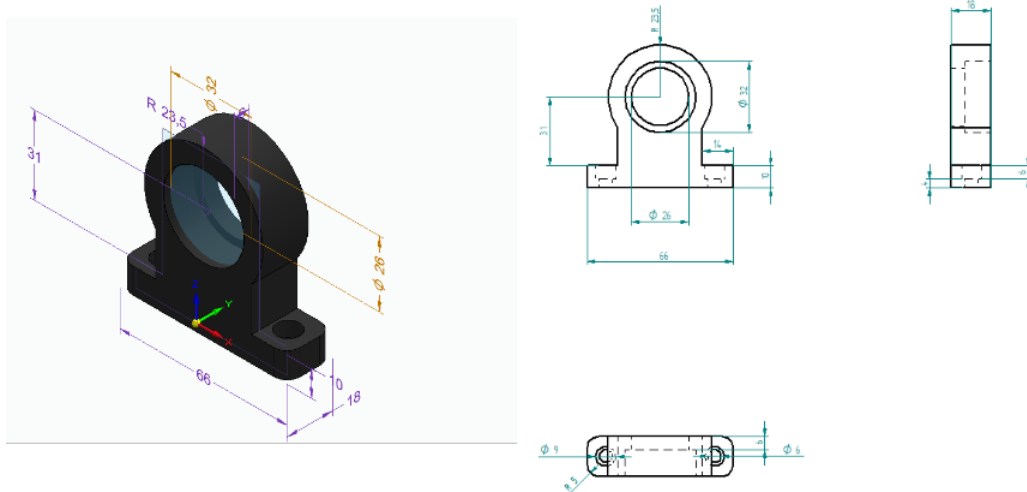
Sem a impressão 3d a manufatura dos oito mancais seria muito difícil, e requeria provavelmente usinagem mais complexa e demorada, como fresamento por exemplo, e a geometria do mancal acabou sendo a mais complexa de todas as peças do projeto que foram fabricadas do zero, já que para eixos e engrenagens foram preciso apenas usinagem de

adaptação das peças ao projeto.

Inicialmente foi preciso medir, na base do redutor, onde cada eixo ficaria localizado, então depois foi definido a altura, formato, largura e comprimento dos mancais, de forma que os oito mancais fossem totalmente iguais e que não interferissem no posicionamento um do outro e nem na movimentação do dispositivo.

Depois dessa etapa foi preciso desenhar o mancal, no software Solid Edge, com todas suas medidas e geometria já definidas em esboço manual. O resultado do desenho do mancal pode ser visto na figura abaixo.

Figura 54: Desenhos em Solid Edge do mancal de rolamento com suas medidas detalhadas.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Bom, assim que o mancal foi projetado e desenhado, deu-se início à impressão do mesmo no equipamento do laboratório de impressão 3d da universidade federal. Tal é dotado de um computador central para onde vão os desenhos em 3d, e então um programa específico do equipamento opera todo o processo de impressão. Tal equipamento é mostrado na figura abaixo e também o resultado final de como ficaram os mancais que servem para alojar os rolamentos do redutor didático.

Figura 55: Equipamento de impressão 3d e os oito mancais impressos dos rolamentos prontos.



Fonte: Acervo próprio (2025).

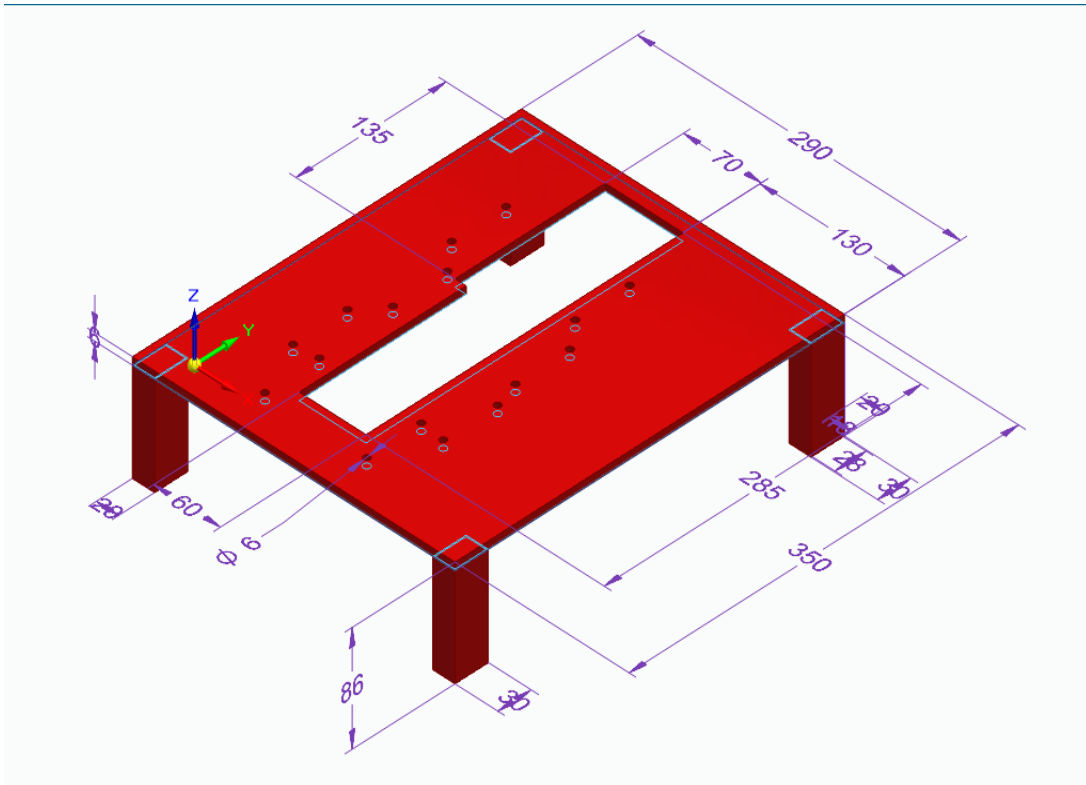
Etapa 5

Esse projeto seguiu uma lógica meio que inversa de projetos tradicionais, no sentido da ordem de primeiro se desenhar depois executar a fabricação. Aqui primeiro se projetou e fabricou-se todas as peças para depois se desenhar em 3d cada uma delas. A exceção foi somente o mancal de rolamento. O software de desenho mecânico escolhido é o Solid Edge, que possui licença liberada para estudantes.

O autor deste trabalho teve dificuldades no início do projeto quanto a esses desenhos, por ainda não ser familiarizado com tais softwares. Mas isso foi uma oportunidade única, bem aproveitada, pelo autor para aprender e consolidar esse aprendizado de desenho mecânico em tais softwares, tão importantes para engenharia mecânica nos dias atuais.

Depois de todos os componentes fabricados, inicia-se o desenho de peça por peça, montagem em 3d no software e simulações, e só então é feita a montagem física do redutor didático. No final desse trabalho existe um apêndice onde é mostrado o desenho mecânico em 2d de todas as peças e suas respectivas medidas. Começando pela base do redutor onde tudo será montado, como podemos ver na figura abaixo.

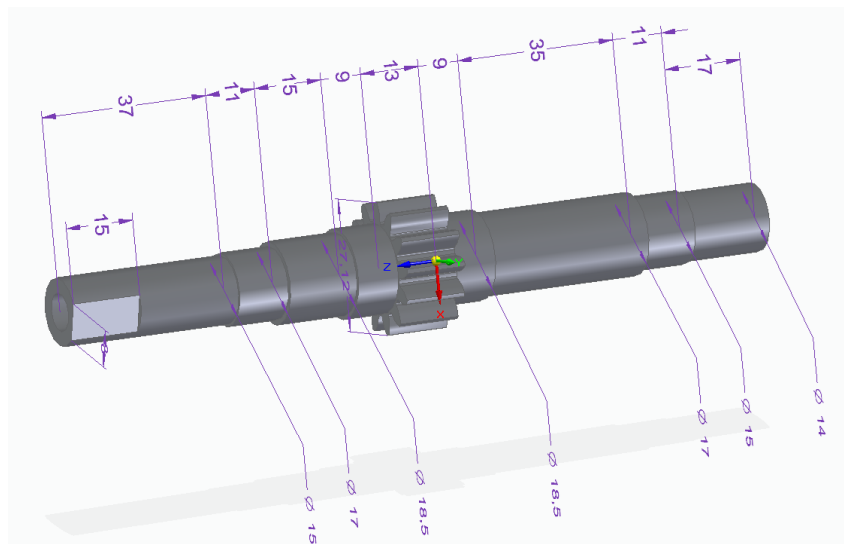
Figura 56: Desenho em 3d da base do redutor feito no Solid Edge.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Na próxima figura vemos o eixo-pinhão (1), que é dotado de 13 dentes é a peça de entrada da configuração de maior fator de redução.

Figura 57: Eixo-pinhão (1) em Solid Edge.

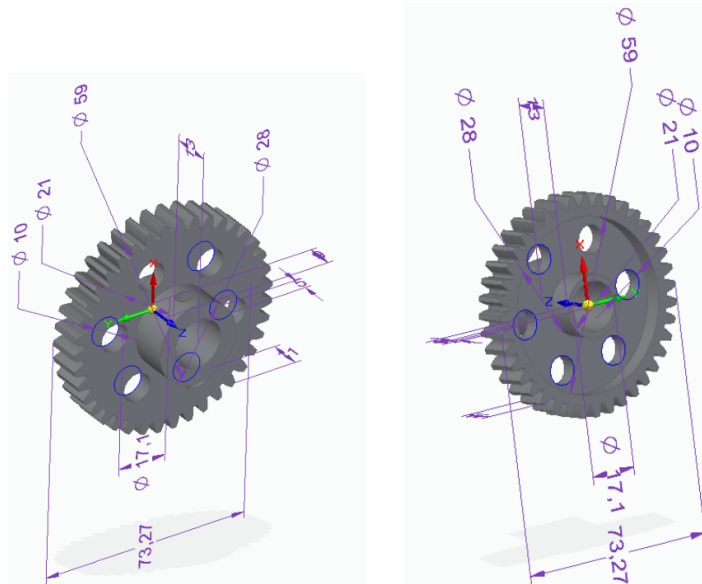


Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

A próxima imagem mostra a engrenagem (2), engrenada no eixo-pinhão (1), a primeira das três engrenagens ((2), (4) e (6)) que possui a possibilidade de deslocamento ao

longo do seu eixo, no caso dela o eixo-pinhão (3), para desengrenamento e engrenamento, com travamento por parafuso sem sem cabeça.

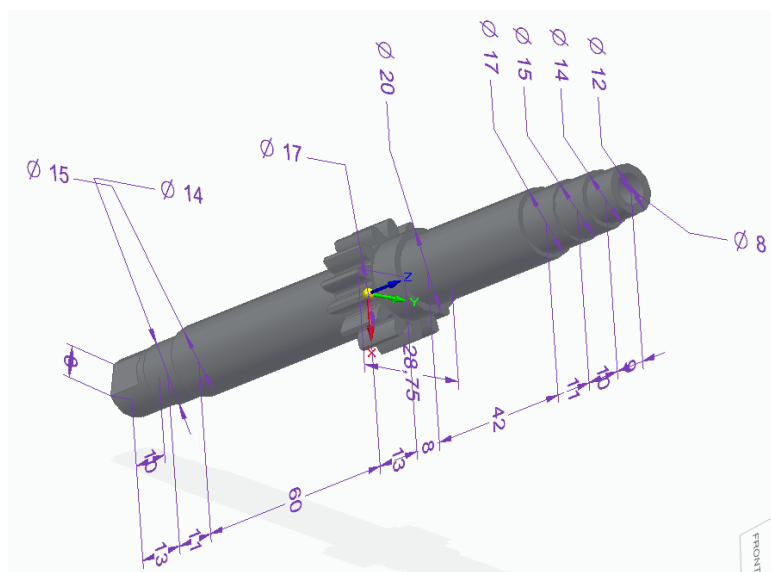
Figura 58: As duas faces da engrenagem (2) em Solid Edge.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

A seguir será mostrada a figura do eixo-pinhão (3), de 14 dentes, que é acoplado na engrenagem (2) e engrenado na engrenagem (4).

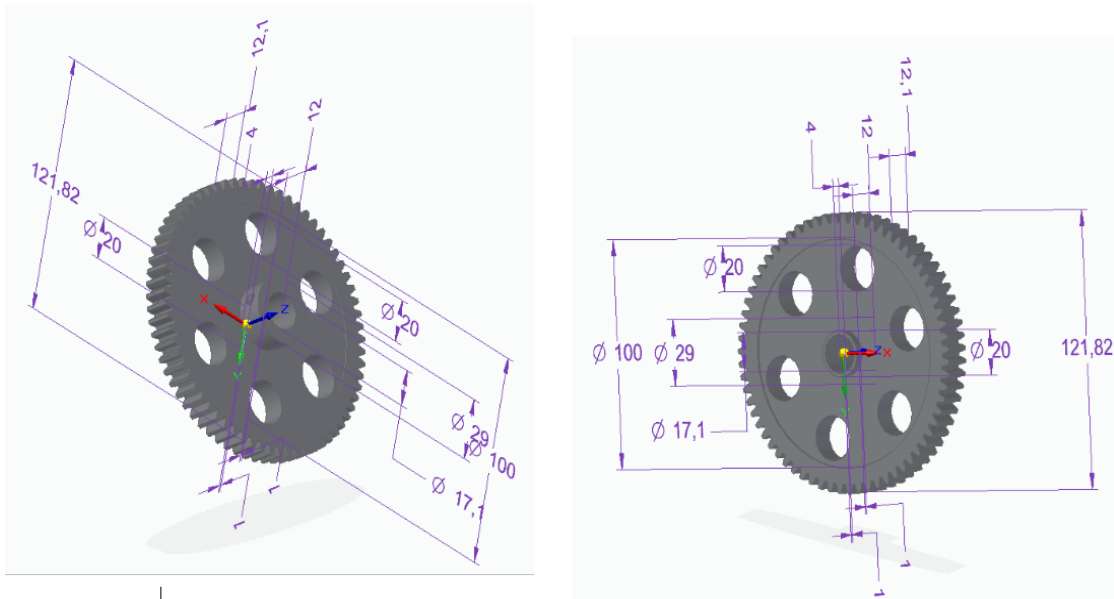
Figura 59: Eixo-pinhão (3) em Solid Edge.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Aqui vemos as duas faces da primeira engrenagem de 67 dentes, a engrenagem (4), que é acoplada no eixo-pinhão (5).

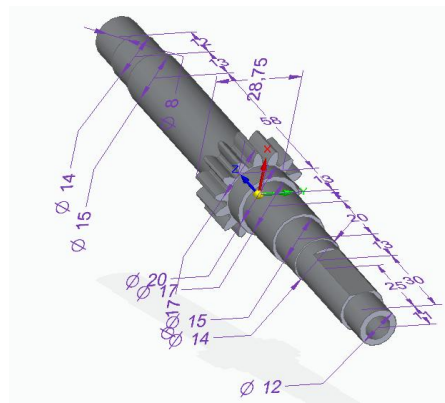
Figura 60: As duas faces da engrenagem (4) em Solid Edge.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Na próxima figura aparece o eixo-pinhão (5) também de 14 dentes, que é engrenado na engrenagem (6).

Figura 61: Eixo-pinhão (5) em Solid Edge.

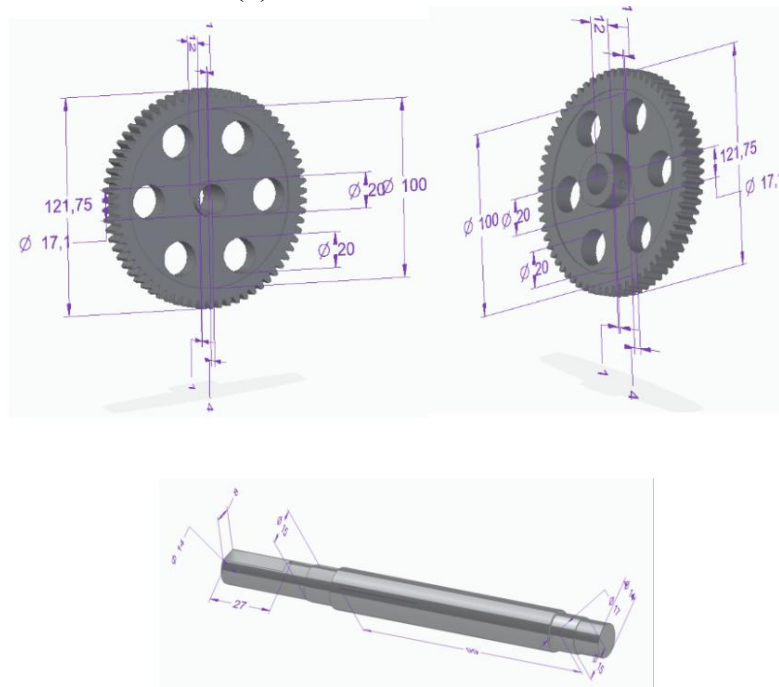


Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

E aqui a última das peças dentadas, a engrenagem (6), de também 67 dentes e idêntica à engrenagem (4), acoplada ao último eixo, o eixo liso (7), que, na configuração de maior fator de redução de rotações, apresenta a menor rotação de todo sistema e também aparece na parte de baixo da próxima figura.

Figura 62: Em cima, as duas faces da engrenagem (6) em Solid Edge

abaixo o eixo liso (7).

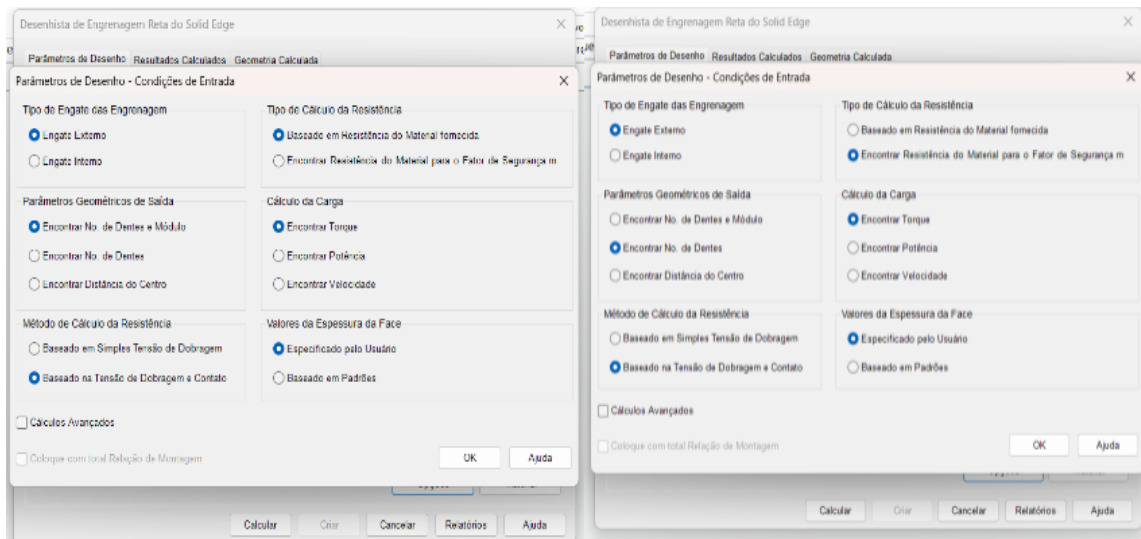


Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Vale ressaltar algo importante, o fato de que já se tendo peças dentadas prontas, quando se começa a gerar estas peças no Solid Edge. É preciso se atentar para a mudança das opções de “Parâmetros de Desenho – Condições de Entrada”, nas configurações de geração de engrenagens, pois a configuração automática leva em conta que será gerado um par de engrenagens com os números de dentes e o módulo que o próprio software calcula, sendo que ele pede a relação de engrenagens desejada e a distância entre centros, mas como já temos peças dentadas já com número de dentes, módulo e todos os parâmetros bem definidos, fazemos a mudança nessas configurações nas opções destas.

Em vez de deixarmos marcado “Encontrar número de Dentes e Módulo”, e “Baseado em Resistência do Material fornecida”, marcamos as opções “Encontrar No. de Dentes” e “Encontrar Resistência do Material para o Fator de Segurança m”. Isso faz com que na caixa anterior de “Parâmetros de Desenho” o software peça para preencher o módulo, a relação de engrenagens e a distância do centro, além diâmetro do furo e largura da face, e o restante dos parâmetros continua como está na configuração, como por exemplo o ângulo de pressão que permanece 20°. Isso resultará num número de dentes, diâmetros primitivos e externos quase idênticos aos reais, com variações mínimas referentes somente, talvez, aos desgastes nas peças originais, ou ainda aproximações consideradas nos cálculos das diversas medidas e parâmetros. Podemos ver o que foi alterado na figura abaixo.

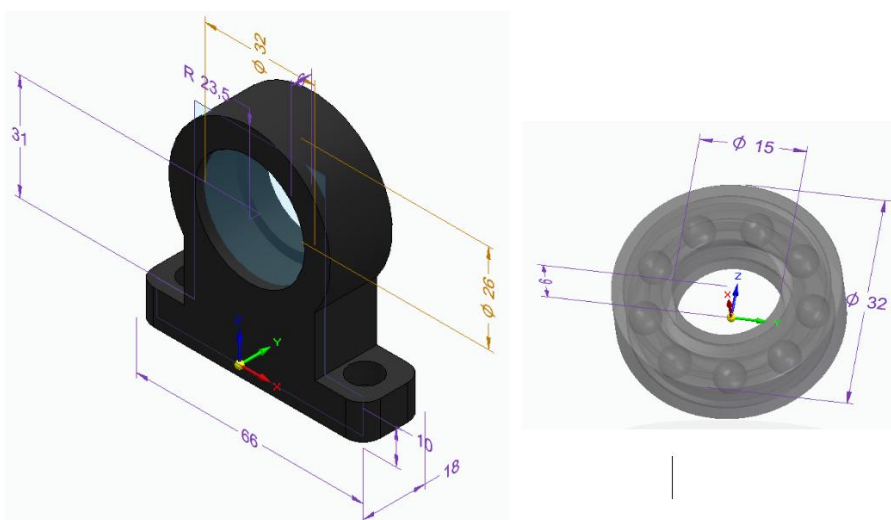
Figura 63: Na esquerda a configuração original, na direita a mudança feita nos parâmetros de desenho.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Logo abaixo estão o desenho do projeto dos mancais, que serão oito ao todo, e dos rolamentos, que também serão oito ao todo. Mas o rolamento não foi desenhado pelo autor deste trabalho, o desenho em Solid Edge foi exportado direto do site da SKF, fornecido gratuitamente ao público em geral, justamente para projetos como esse.

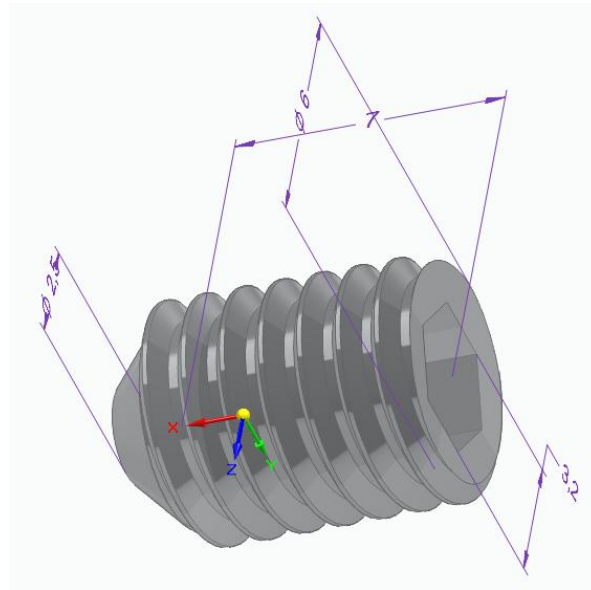
Figura 64: Mancal e rolamento 6002 da SKF, desenhados em Solid Edge.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

A seguir veremos o desenho do parafuso M6 sem cabeça, são quatro ao todo, que travam as engrenagens e a manivela nos eixos-pinhões.

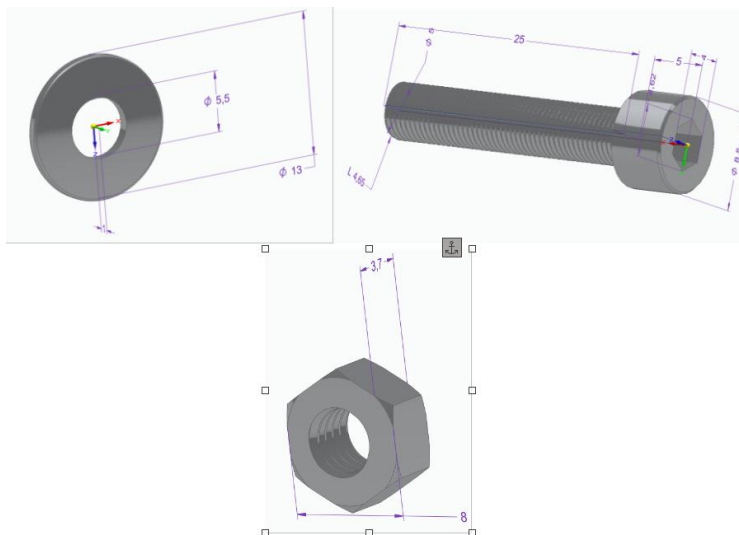
Figura 65: Parafuso sem cabeça M6.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Aqui vemos os desenhos do parafuso M5, porca M5 e arruela 5,5 mm, que servem para fixar os mancais na base do redutor.

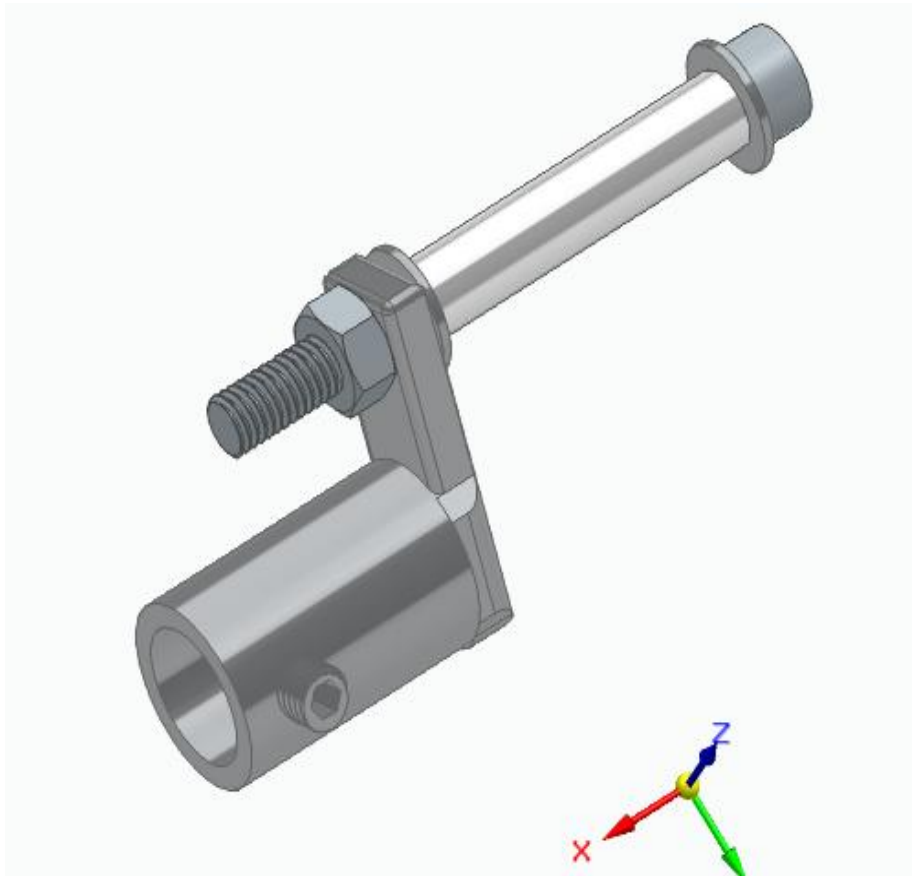
Figura 66: Parafuso e porca M5, e arruela 5,5 mm que fixam os mancais na base.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

E por último temos o desenho do projeto de manivela, aqui apresentado como a montagem dela.

Figura 67: Montagem da manivela.

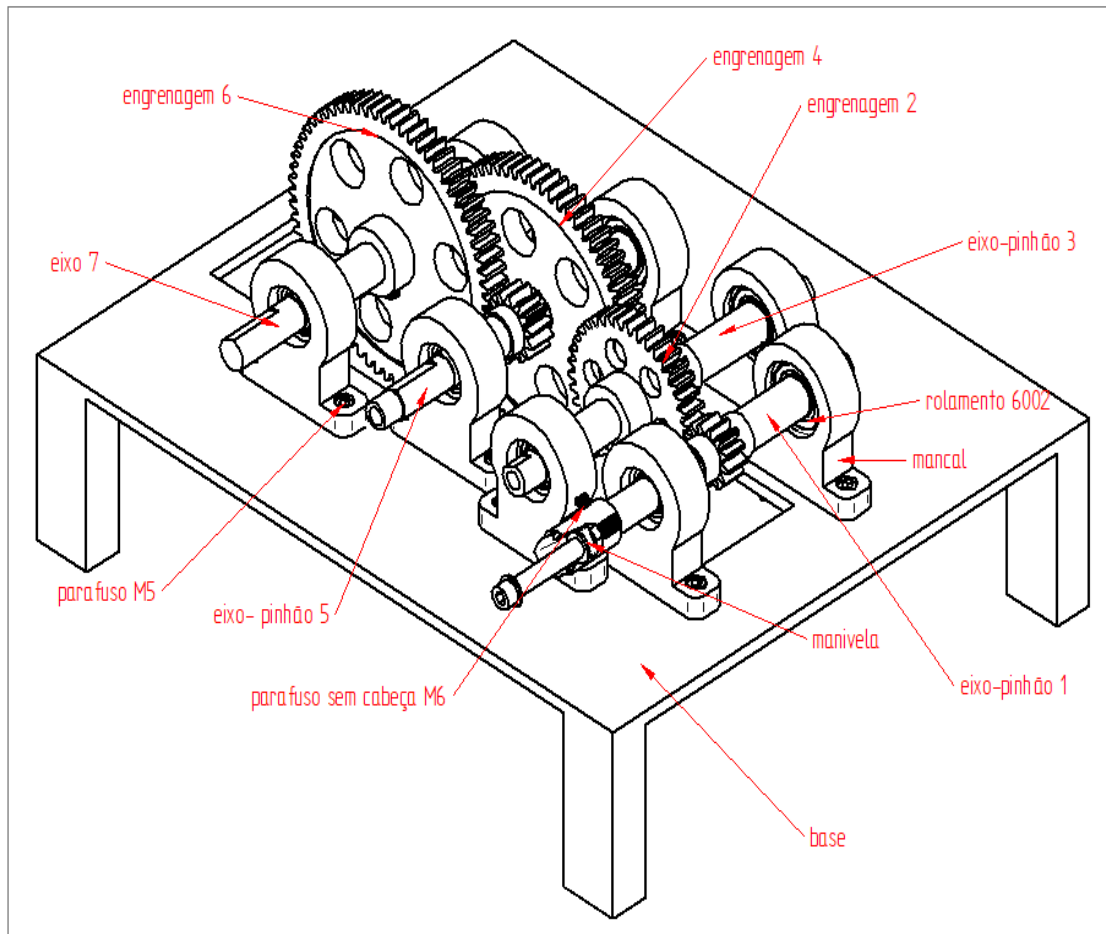


Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

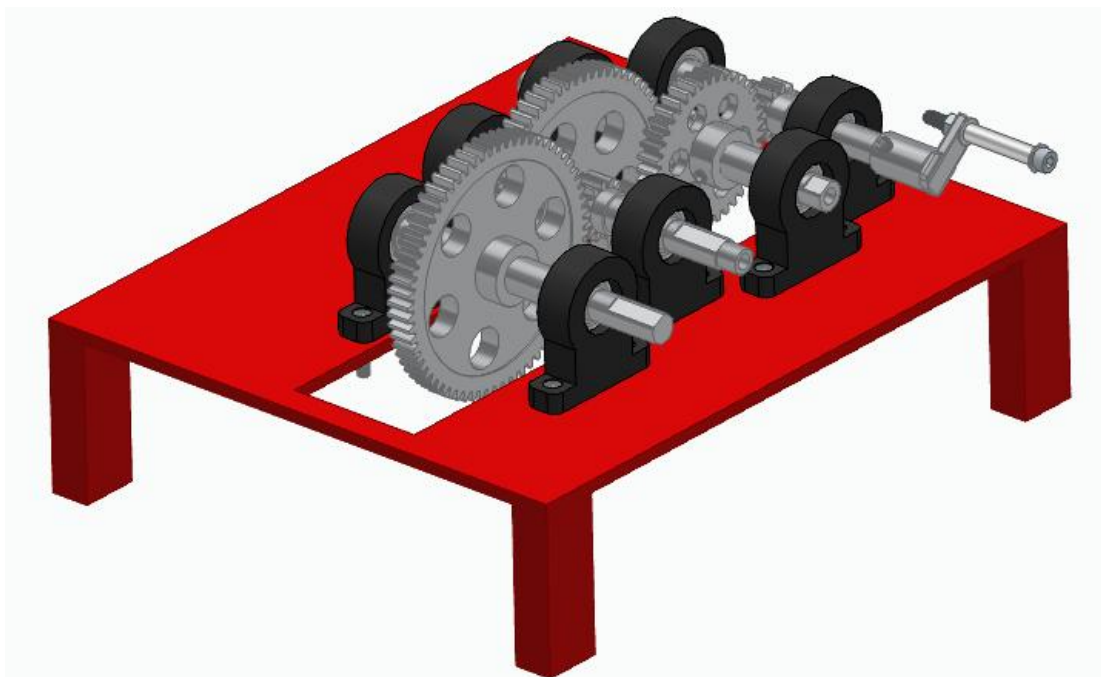
Agora veremos o resultado obtido depois de todas as peças montadas, no Solid Edge, formando o redutor didático. Para essa montagem no software, o autor deste trabalho contou com a ajuda do monitor de desenho mecânico, chamado Dácio Marcelo, também aluno do curso de engenharia mecânica da UFC-Russas, que instruiu sobre como proceder para montar cada peça em seu devido lugar no dispositivo. E dessa forma foi possível montar nove configurações. Vemos os detalhes nas figuras abaixo.

Figura 68: Desenho do dispositivo com a maioria das peças com seus nomes destacados.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Figura 69: Montagem 3d do redutor, vista no sentido do final pro começo.

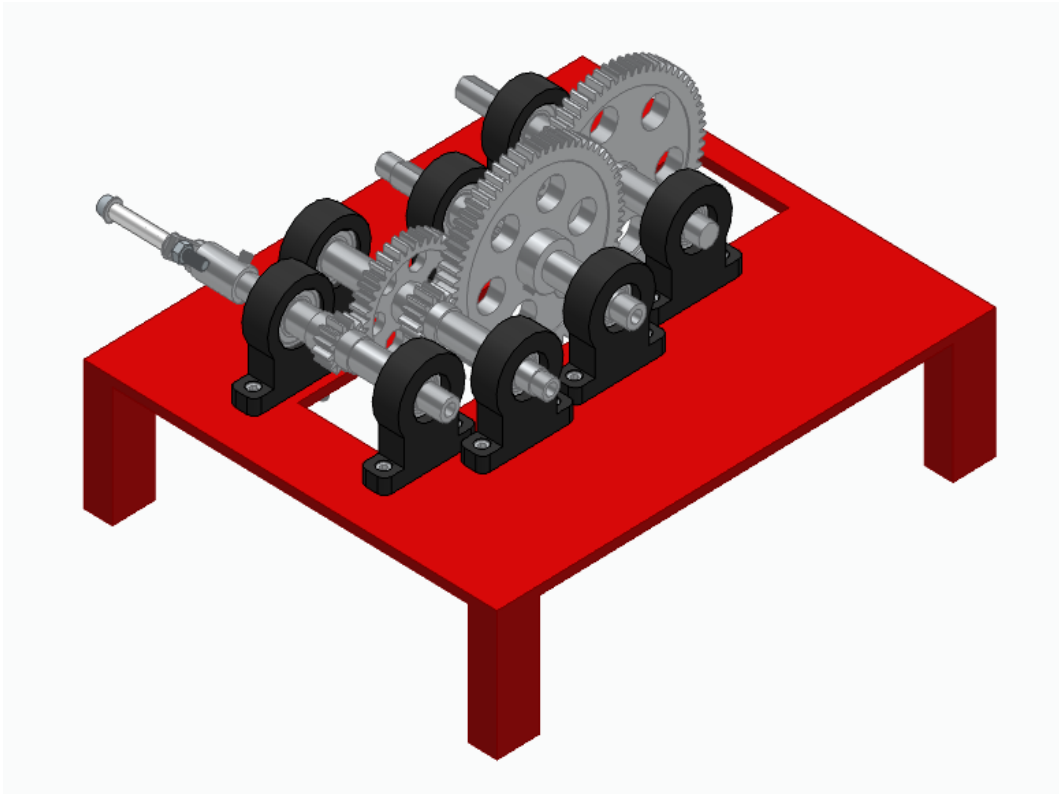


Fonte:

Elaborado pelo próprio autor (2025).

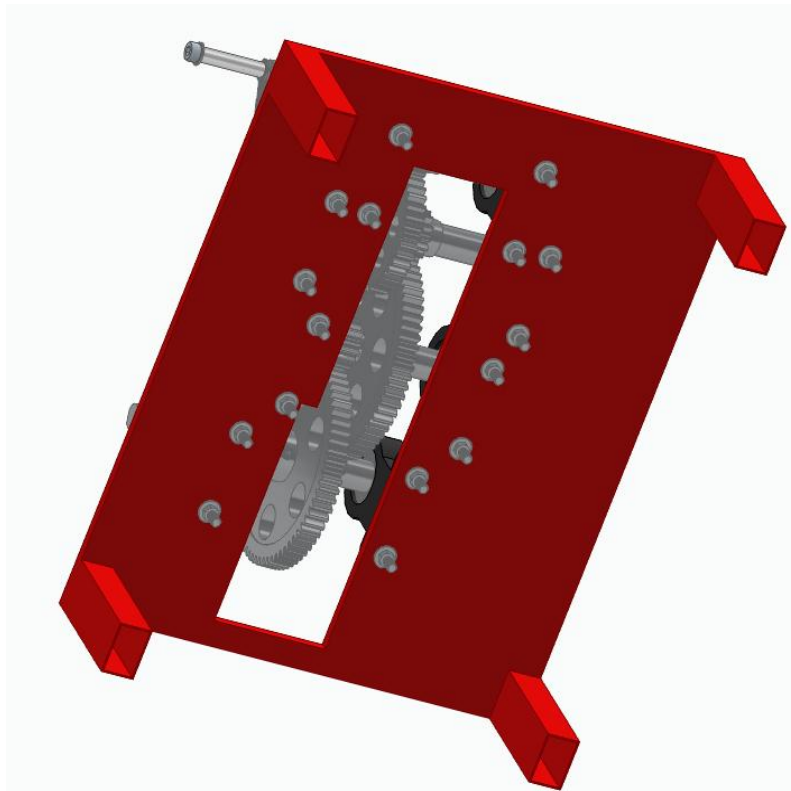
Figura 70: Montagem 3d do redutor, vista no sentido do começo pro final.

Fonte:



Elaborado pelo próprio autor (2025).

Figura 71: Montagem 3d do redutor, vista da parte de baixo.



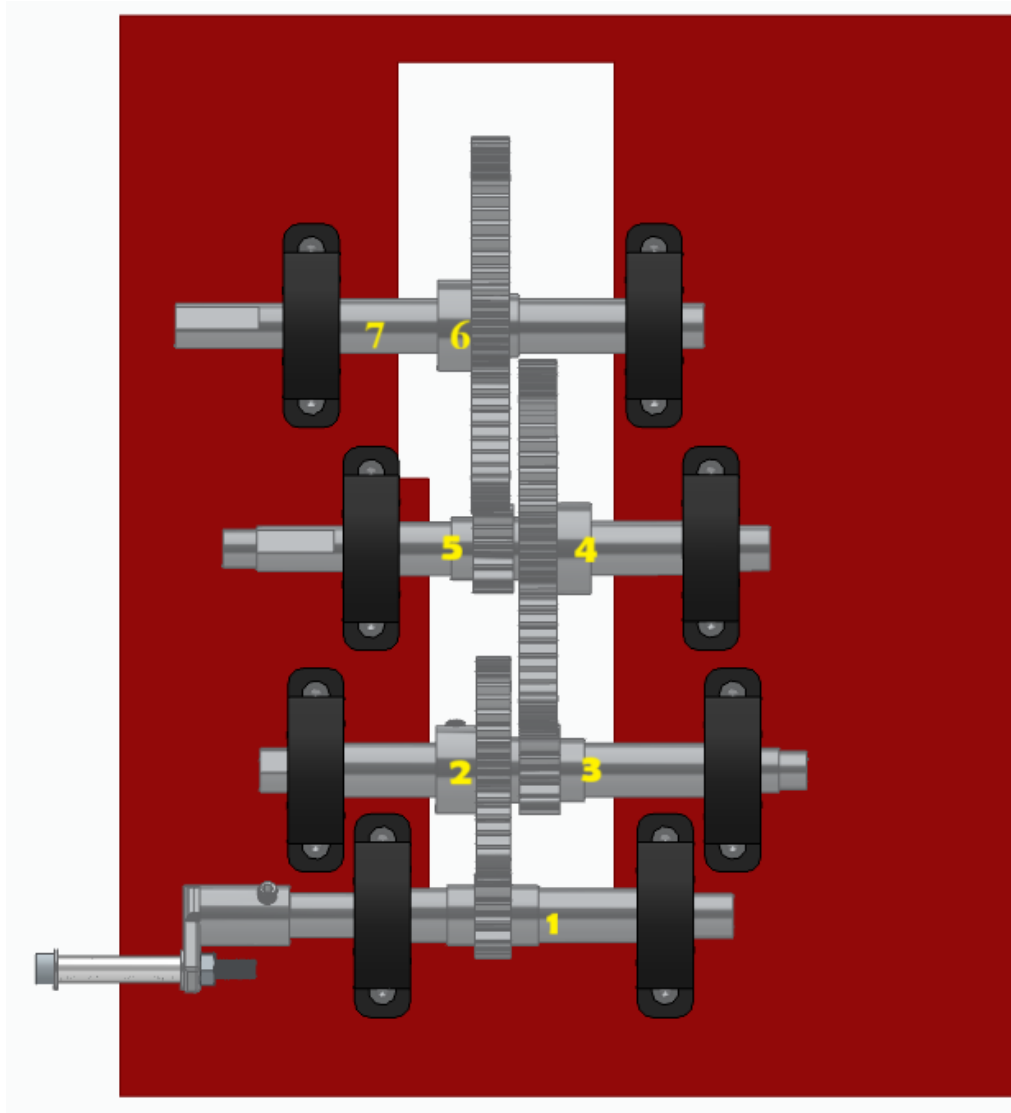
Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Depois de feita a montagem geral, foram elaborada as nove possíveis configurações,

alternando as posições das engrenagens (2), (4) e (6) em um movimento paralelo ao longo de cada respectivo eixo, depois de afrouxados os parafusos sem fim de travamento de cada, engrenando e desengrenando cada uma delas em seu respectivo par, e alternando também a posição da manivela entre os quatro eixos-pinhões, fazendo com que algumas configurações tornassem-se multiplicadores de velocidade em vez de redutores. Logo abaixo veremos cada configuração com as figuras e as vistas de cima de cada uma e seus fatores de redução ou multiplicação de velocidades.

Configuração 1: a que apresenta o engrenamento total de todas as engrenagens, com entrada de movimento em (1) e saídas com fatores de redução de $1/3$ em (3), de $1/14,34$ em (5) e $1/68,54$ em (7).

Figura 72: Configuração 1.

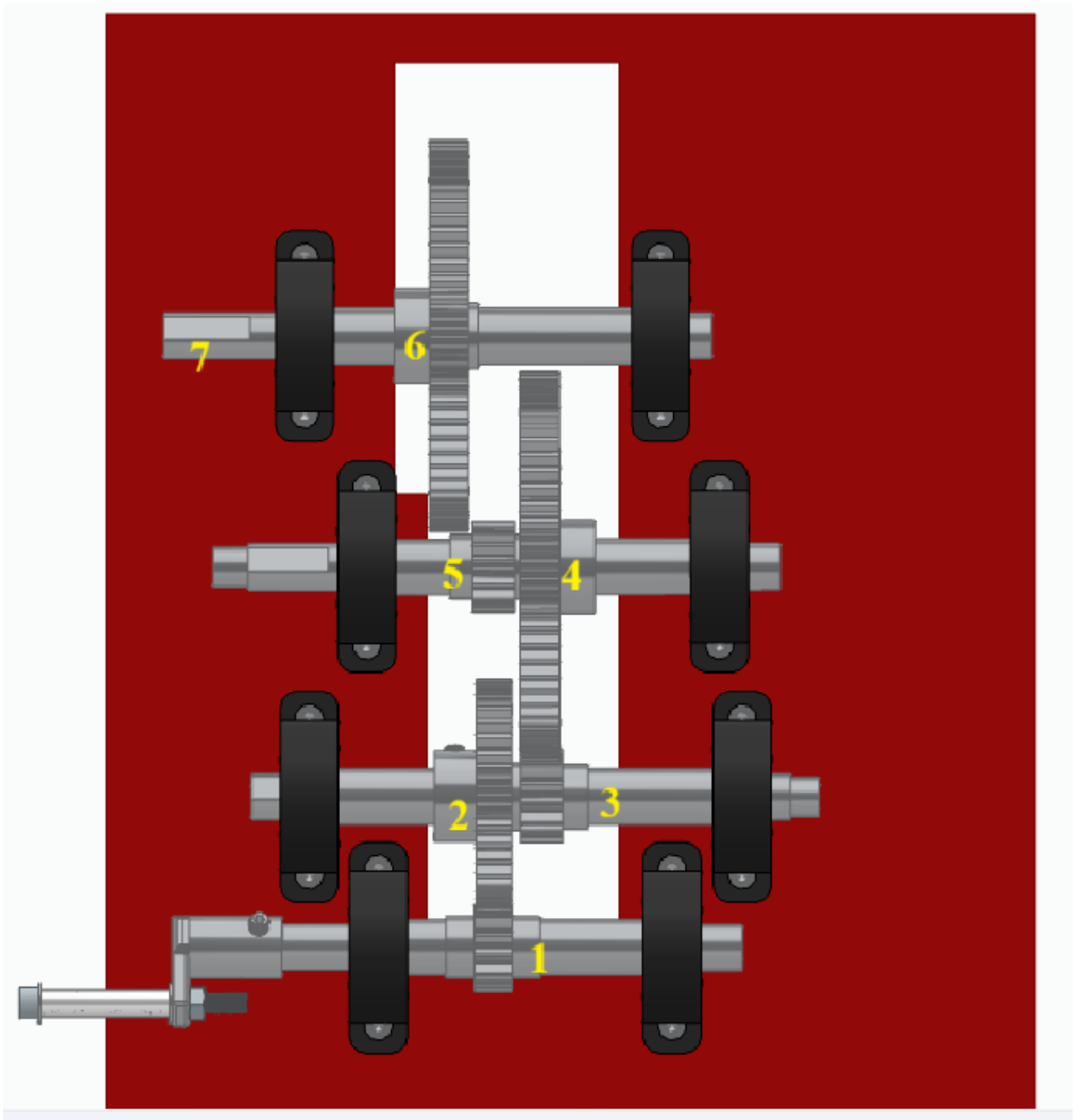


Fonte:
Elaborado
pelo próprio
autor (2025).

Configuração 2, a que apresenta o engrenamento de (1) até (4) com entrada de movimento em (1) e saídas com fatores de redução de $1/3$ em (3), e de $1/14,34$ em (5). Observe

que (6) esta desengrenada de (5).

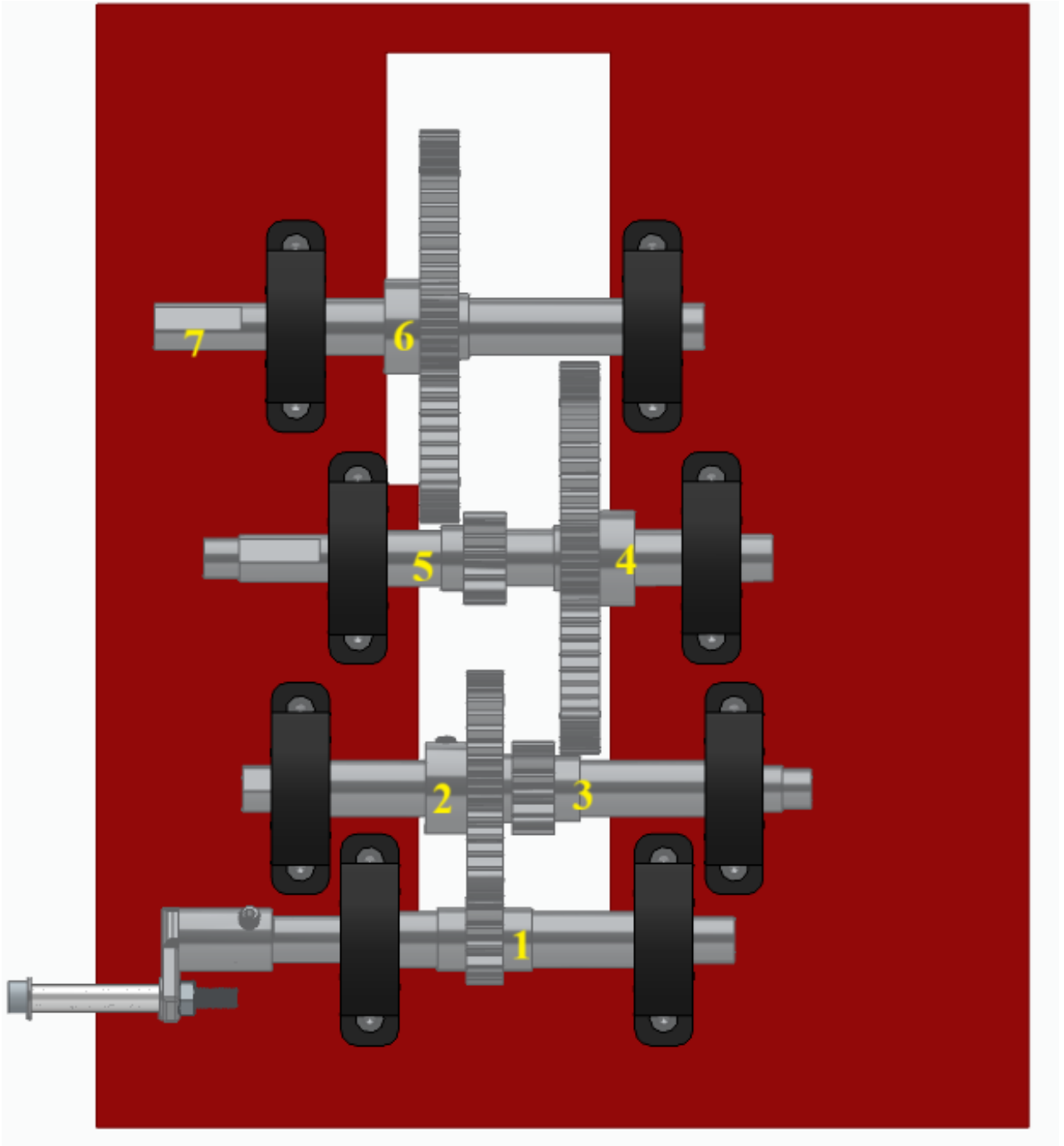
Figura 73: Configuração 2



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Configuração 3: a que apresenta o engrenamento de (1) em (2) com entrada de movimento em (1) e saída em (3) com fator de redução de $1/3$. Observe que (6) está desengrenada de (5) e (4) esta desengrenada de (3).

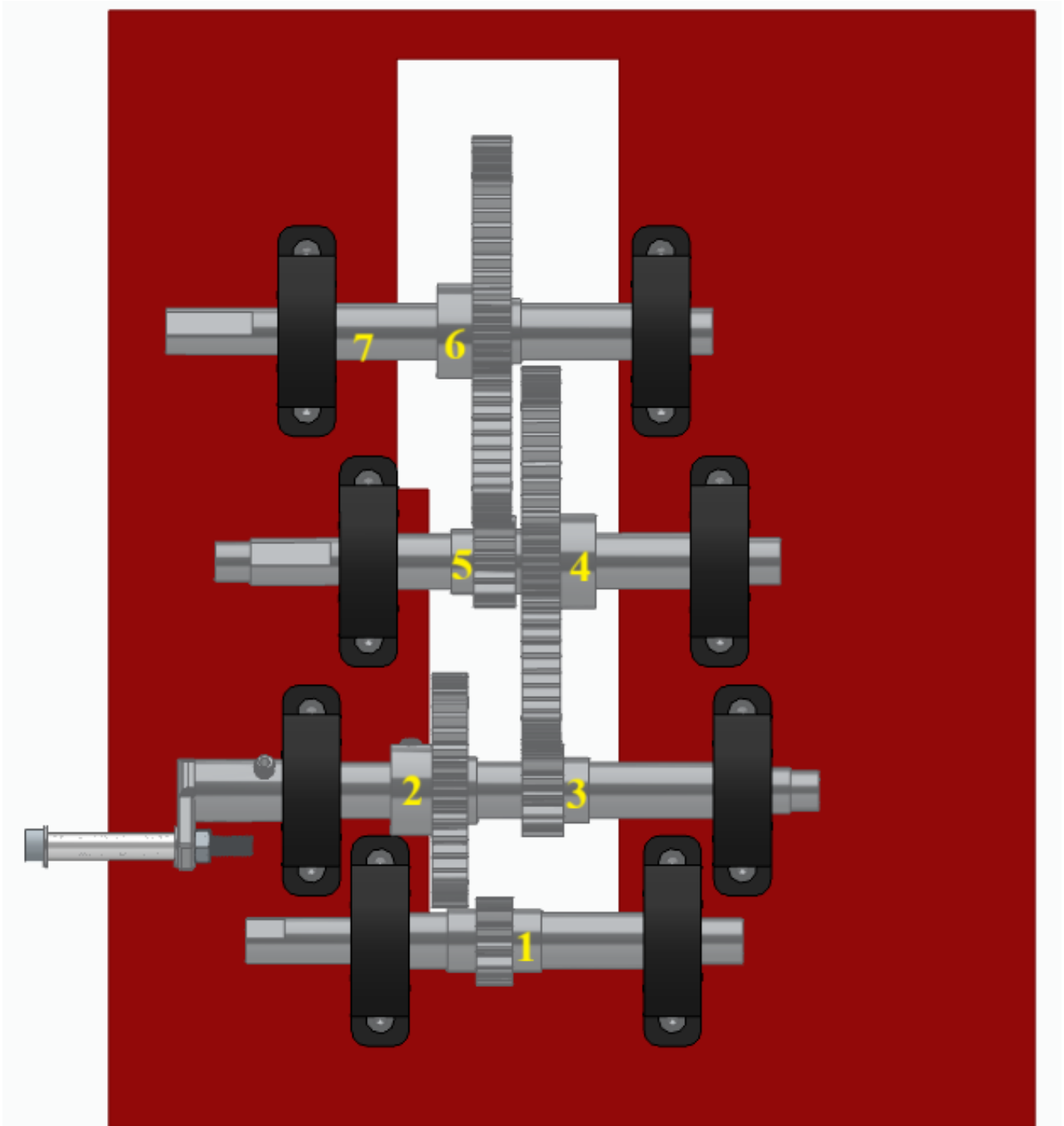
Figura 74: Configuração 3



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Configuração 4: aqui se apresenta o engrenamento de (3) em (4) e de (5) em (6), mas (2) está desengrenada de (1), agora com entrada de movimento (manivela) em (3) e saídas com fatores de redução de $1/4,78$ em (5), e de $1/22,84$ em (7).

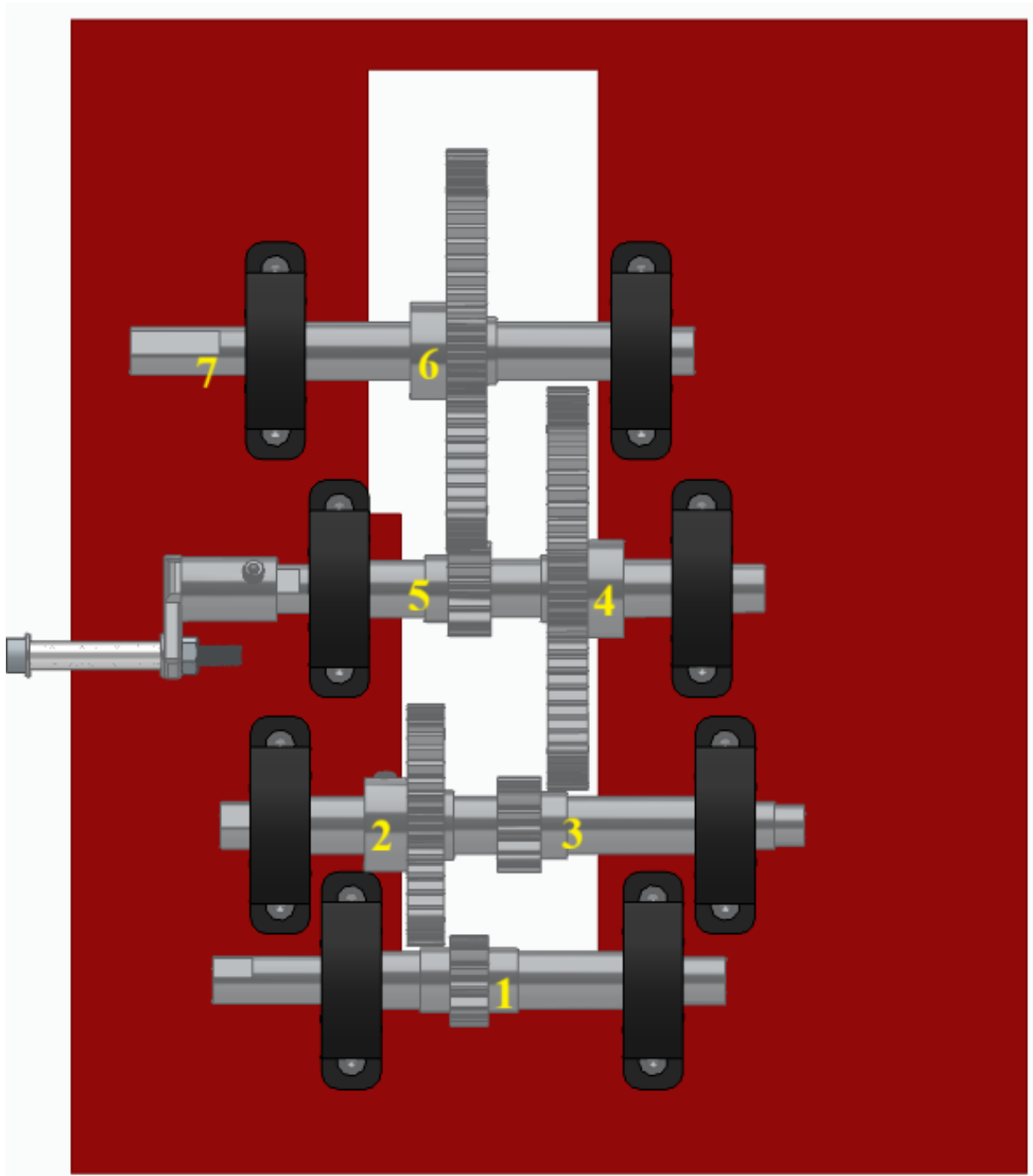
Figura 75: Configuração 4.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Configuração 5: aqui se apresenta o engrenamento de (6) em (5), mas (2) esta desengrenada de (1) e (4) esta desengrenada de (3), com entrada de movimento (manivela) em (5) e saída com fator de redução de $1/4,78$ em (7).

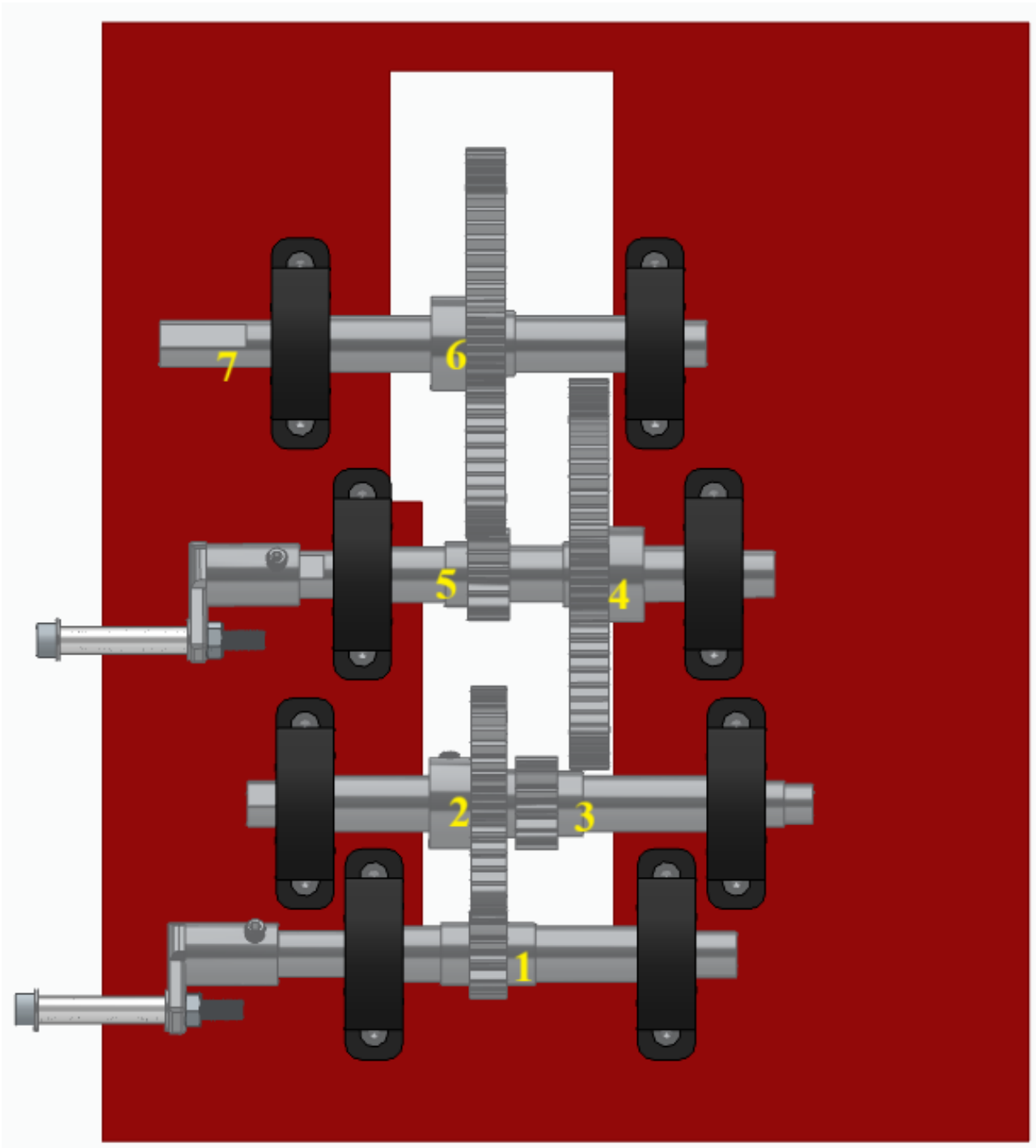
Figura 76: Configuração 5.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Configuração 6: aqui se apresenta o engrenamento de (2) em (1) e de (5) em (6), mas (4) esta desengrenada de (3), existe agora duas entradas de movimento (manivela) em (1) e (5), ou seja dois redutores diferentes, e saídas com fatores de redução de $1/3$ em (3), e de $1/4,78$ em (7). Observe as duas manivelas que representam os dois redutores.

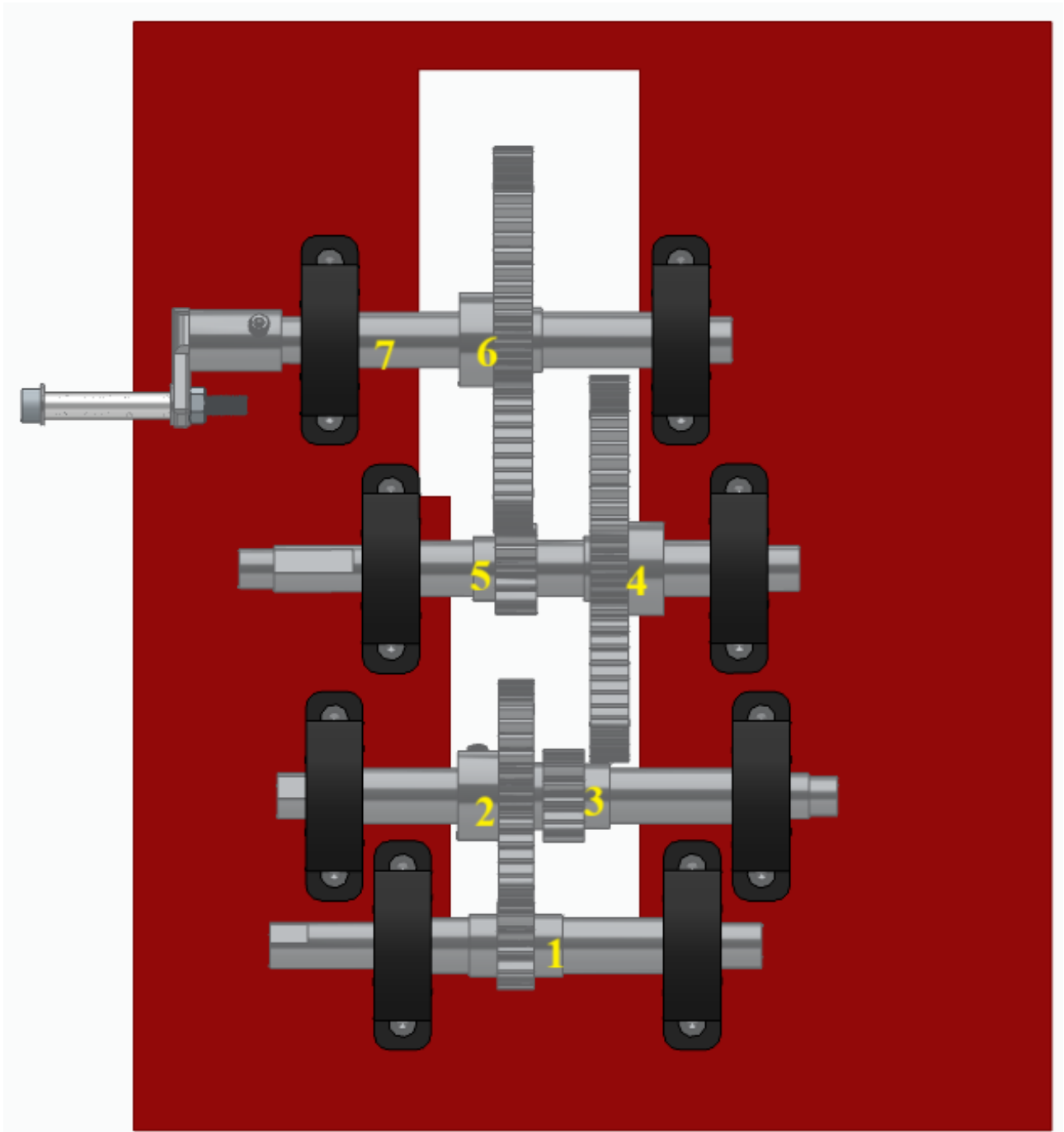
Figura 77: Configuração 6.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Configuração 7: essa configuração apresenta a entrada de movimento em (7), (6) é engrenada em (5), sendo agora um multiplicador de velocidades com fator multiplicador de $4,78/1$ e saída de movimento em (5), sendo que (4) é desengrenada de (3) isolando o multiplicador do restante do dispositivo.

Figura 78: Configuração 7.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Configuração 8: essa configuração apresenta dois multiplicadores de velocidade independentes. O primeiro com o engrenamento de (2) em (1) com entrada (manivela) de movimento em (3) e saída em (1) e com fator de multiplicação $3/1$, e o segundo com engrenamento de (6) em (5) com entrada (manivela) em (7) e saída em (5) com fator de multiplicação $4,78/1$. Observe que (4) está desengrenada de (3).

em (7) ou (5) mas com todas as engrenagens e eixos-pinhões engrenados, portanto não se faz necessário apresentar o desenho dessas combinações aqui. Em seguida veremos uma tabela resumo listando as nove configurações disponíveis e seus respectivos fatores de redução/multiplicação.

Tabela 3: As nove configurações do dispositivo e seus fatores de redução/multiplicação.

CONFIGURAÇÃO	FATOR DE REDUÇÃO/MULTIPLICAÇÃO
Configuração 1	
Entrada (1): Saída (3)	1/3
Saída (5)	1/14,34
Saída (7)	1/68,54
Configuração 2	
Entrada (1): Saída (3)	1/3
Saída (5)	1/14,34
Configuração 3	
Entrada (1): Saída (3)	1/3
Configuração 4	
Entrada (3): Saída (5)	1/4,78
Saída (7)	1/22,84
Configuração 5	
Entrada (5): Saída (7)	1/ 4,78
Configuração 6	
Entrada (1): Saída (3)	1/3
Entrada (5): Saída (7)	1/ 4,78
Configuração 7	
Entrada (7): Saída (5)	4,78/1
Configuração 8	
Entrada (3): Saída (1)	3/1
Entrada (7): Saída (5)	4,78/1
Configuração 9	
Entrada (3): Saída (5)	1/ 4,78

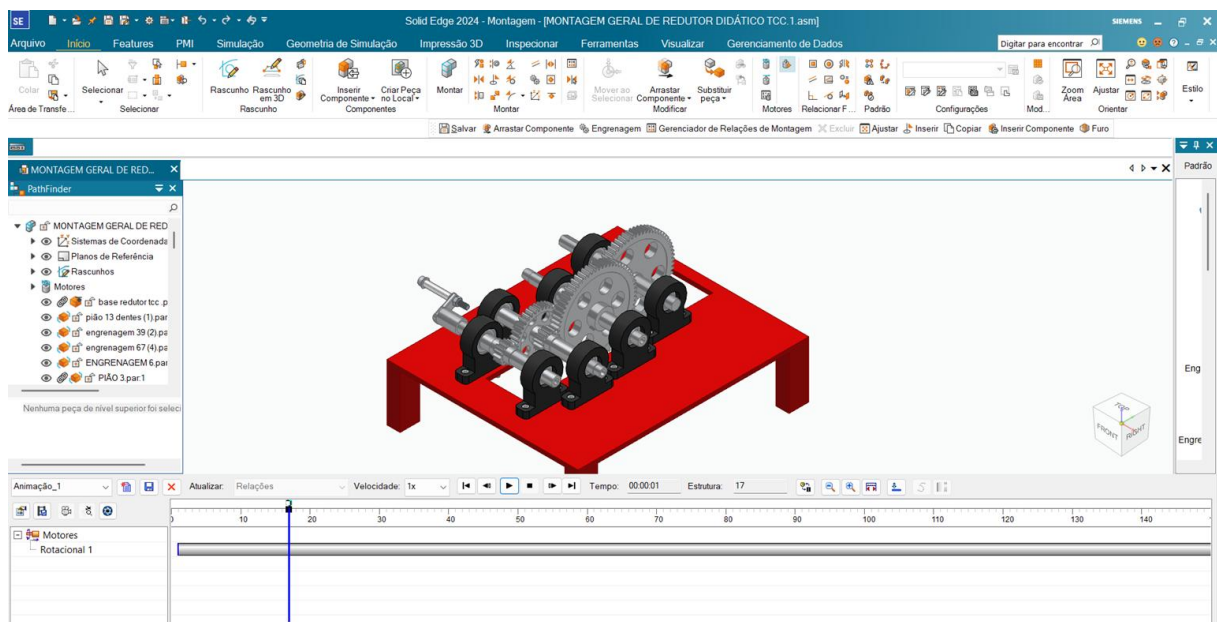
Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Foi feita uma simulação geral em solid edge da configuração 1, para se mostrar,

principalmente, que foi possível obter um fator de redução relativamente alto para um redutor didático de engrenagens de dentes retos, e para mostrar o comportamento geral rotativo das engrenagens e eixos. Não foram feitas simulações de cargas ou esforços no dispositivo, já que o intuito aqui é unicamente mostrar as relações de engrenagens, as diferentes rotações nas diferentes configurações possíveis, e como é a estrutura interna de engrenamento e acoplamento de diferentes engrenagens, eixos, encaixes de rolamentos nos mancais e em seus respectivos eixos. E dessa forma não é necessário a simulação em solid edge das outras configurações, já que o intuito maior é mostrar o funcionamento dessas configurações no próprio dispositivo, ou seja, simulações reais, como veremos mais na frente.

Logo abaixo veremos uma figura da simulação feita no software, onde é preciso determinar uma relação de rotação entre as peças dentadas de cada par. Sendo que para cada engrenagem acoplada e travada num eixo-pinhão, a relação é 1/1 e é definido o mesmo sentido de rotação, e para os pares eixo-pinhão/engrenagem é definido a relação de engrenagens (fator de redução/multiplicação) segundo os cálculos feitos anteriormente para os pares, e é definido o sentido contrário de rotação entre eles.

Figura 81: Simulação de rotações da configuração 1 do dispositivo, elaborada em solid edge.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Depois da simulação no software, foi executada a montagem final real do dispositivo. Iniciando tudo pelo encaixe dos rolamentos nos eixos e esses por sua vez encaixados nos mancais. Foi preciso executar um lixamento manual na parte interna de

alojamento dos rolamentos em cada mancal, pois é característica do processo de impressão 3d apresentar uma pequena dilatação das dimensões do material, devido a um aumento de temperatura necessário para o derretimento e formação da peça impressa.

Esse lixamento foi feito enrolando uma fita de lixa d'água em algumas peças cilíndricas que possuíam um diâmetro ligeiramente menor que a parte do encaixe do rolamento, e em movimentos circulares, foi executado o lixamento até que o rolamento encaixasse no mancal com uma interferência leve manualmente, o suficiente para prender a parte externa do rolamento e deixar livre o giro da parte interna, como pode ser visto na figura á seguir.

Figura 82: Processo de lixamento manual dos mancais de rolamento.



Fonte:

Elaborado pelo próprio autor (2025).

Logo após, com todos os rolamentos encaixados nos eixos-pinhões, encaixados nos mancais e as engrenagens acopladas em seus devidos eixos, são marcados um a um os furos dos mancais na base, para serem feitas as furações para o encaixe dos parafusos de fixação dos mancais. Isso foi feito fazendo o engrenamento de todas as peças dentadas, observando-se os alinhamentos e as folgas entre os dentes, necessárias para a movimentação precisa, mas sem travamentos ou dificuldades para essa movimentação (rotações). Para isso o primeiro eixo-pinhão foi posicionado paralelamente ao lado menor do rasgo de lados retos da base do dispositivo, sendo vistos de cima, e o lado esquerdo dos dentes desse eixo foi posicionado a uma distância de 15 mm do lado esquerdo desse rasgo de lados retos, conforme veremos nas figuras abaixo, sendo esta a melhor posição deste primeiro eixo para que se tenha a melhor disposição das peças permitindo a movimentação paralela aos eixos de engrenamento e

desengrenamento das engrenagens, sem que elas se choquem com as laterais do rasgo de lados retos antes de se desengrenarem, quando se mudar as configurações do dispositivo. Determinados esses ajustes, marcados os furos, estes são perfurados com uma broca para aço de diâmetro de 6 mm, numa furadeira de bancada de pequeno porte.

Figura 83: Em cima o alinhamento inicial do primeiro eixo-pinhão (1), em baixo o processo de furação dos furos dos mancais na base com a broca de 6 mm, usando a furadeira de bancada.



Fonte:
Elaborado
pelo próprio
autor (2025).

Depois de todos os furos feitos na base, foram montadas (e engrenadas) nesta todas as peças, obedecendo aos ajustes iniciais e às folgas necessárias, a título de teste, onde se notou que os furos de 6 mm serviram muito bem para receber os parafusos de 5 mm, servindo para ajustar as folgas entre os dentes das engrenagens e os eixos-pinhões, corrigindo pequenos

desalinhamentos inerentes dos processos de fabricação aos quais foram submetidas todas as peças, como por exemplo, usinagem de superfícies tratadas termicamente nos eixos-pinhões, e soldagem de pequenas buchas das engrenagens, além de um pequeníssimo desalinhamento nas engrenagens devido ao travamento destas nos eixos-pinhões, por parafuso sem cabeça, mas nada que esse ajuste de folgas não compense. O teste de movimentação de giro também foi bem sucedido, sem interferências, sem travamentos entre os dentes de todas as peças dentadas.

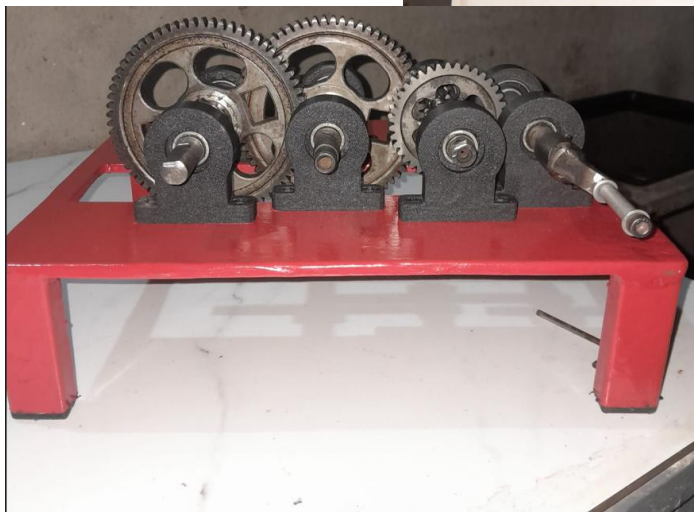
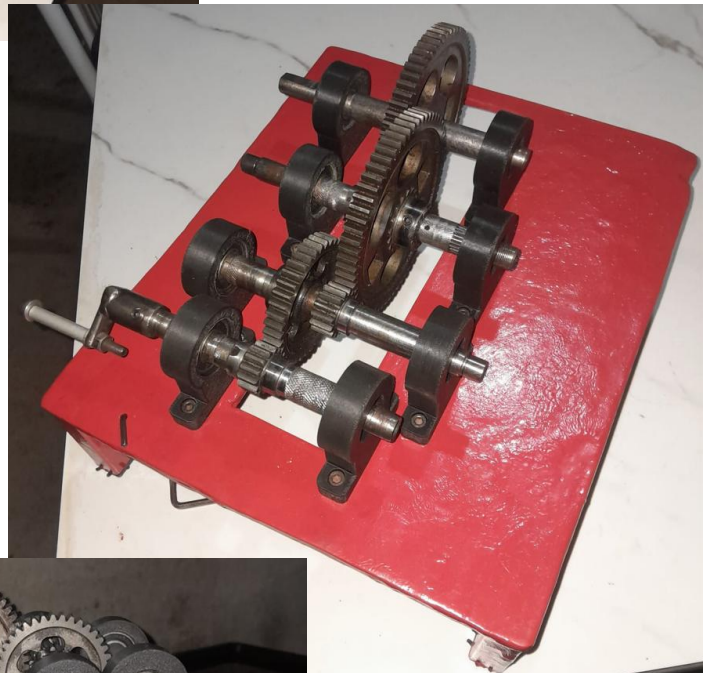
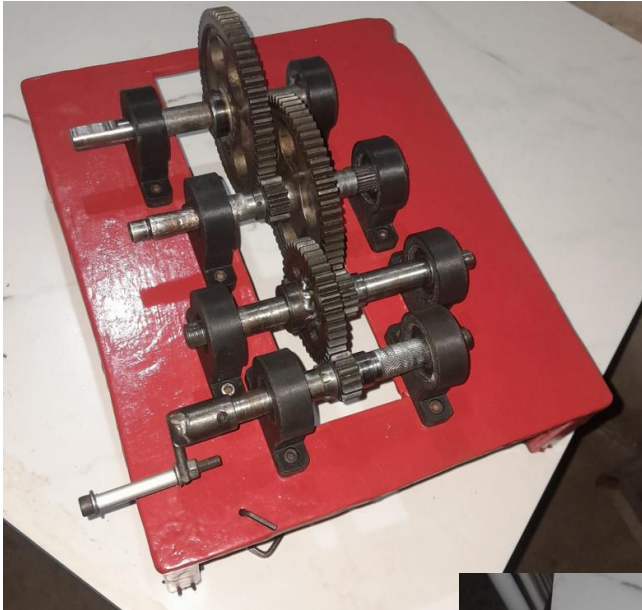
Feitos esses testes, que foram bem sucedidos, do ajuste e de giro, com todas as peças engrenadas, todo o dispositivo foi desmontado para que fosse feita a pintura, com pincel e tinta para metal e madeira, da base, escolhendo-se a cor vermelho sangue para que houvesse um destaque para mancais e peças dentadas. Após a pintura e secagem tudo foi montado novamente obedecendo aos mesmos ajustes e os resultados podem ser visto nas figuras abaixo.

Figura 84: Processo de montagem final do dispositivo.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

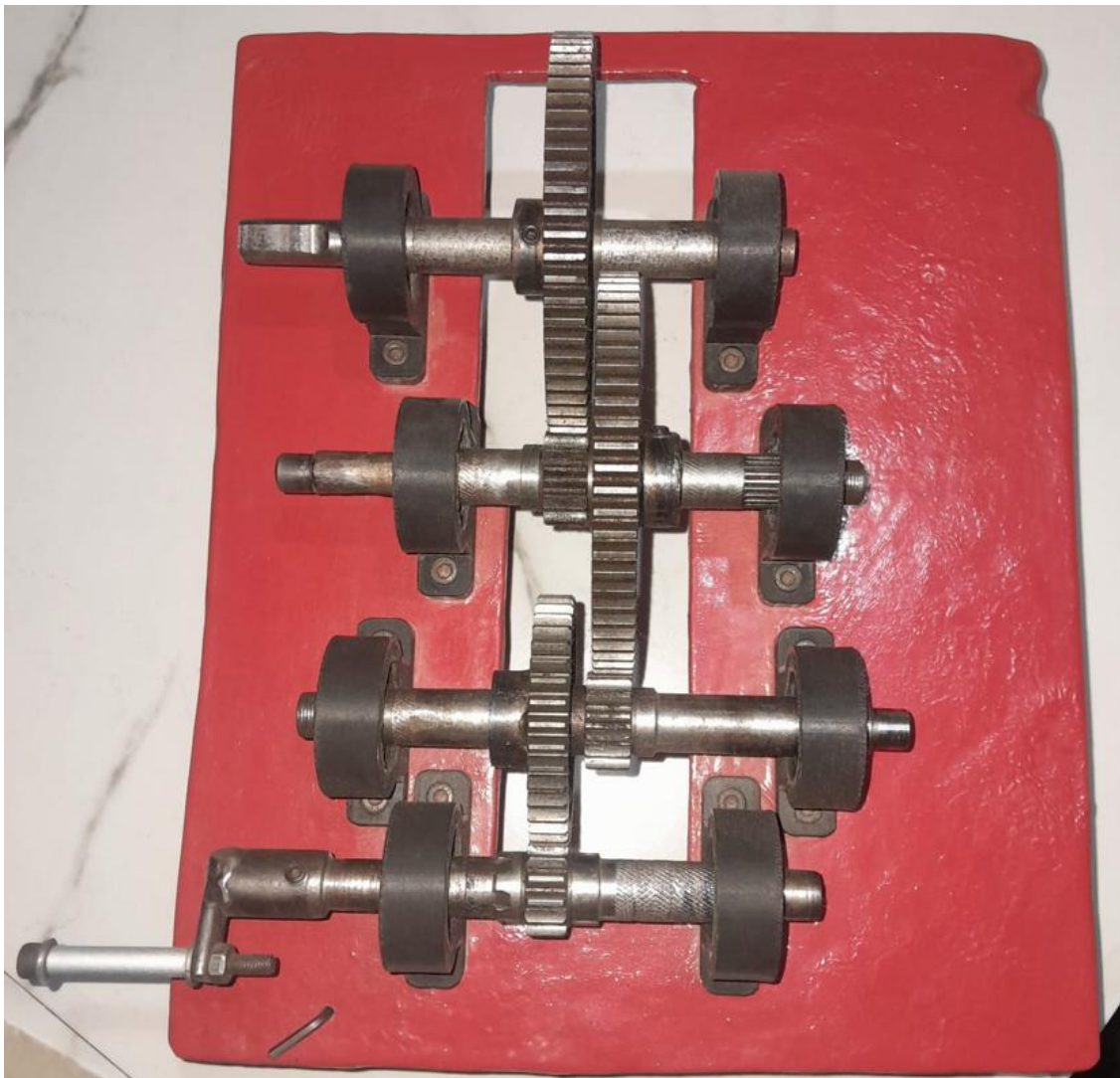
Figura 85: Resultado final da montagem do dispositivo.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Foram executados os testes das nove configurações das combinações das peças dentadas, usando para isso os deslocamentos paralelos e travamentos por parafuso sem cabeça das três engrenagens nos seus respectivos eixos e a mudança da manivela por cada um dos quatro eixos. Cada um dos testes das configurações também tiveram excelentes resultados, sendo que apresentaram rotações executadas sem travamentos, e apresentaram as proporções de rotações, em cada eixo, de acordo com todos os fatores de redução e multiplicação teóricos. Ha combinações que apresentam duas entradas de movimento, e como foi produzida uma única manivela, a outra entrada é representada, na figura, pela mão do autor nos testes das combinações. Podemos ver as configurações reais nas próximas figuras.

Figura 86: Configuração real 1.



Fonte:

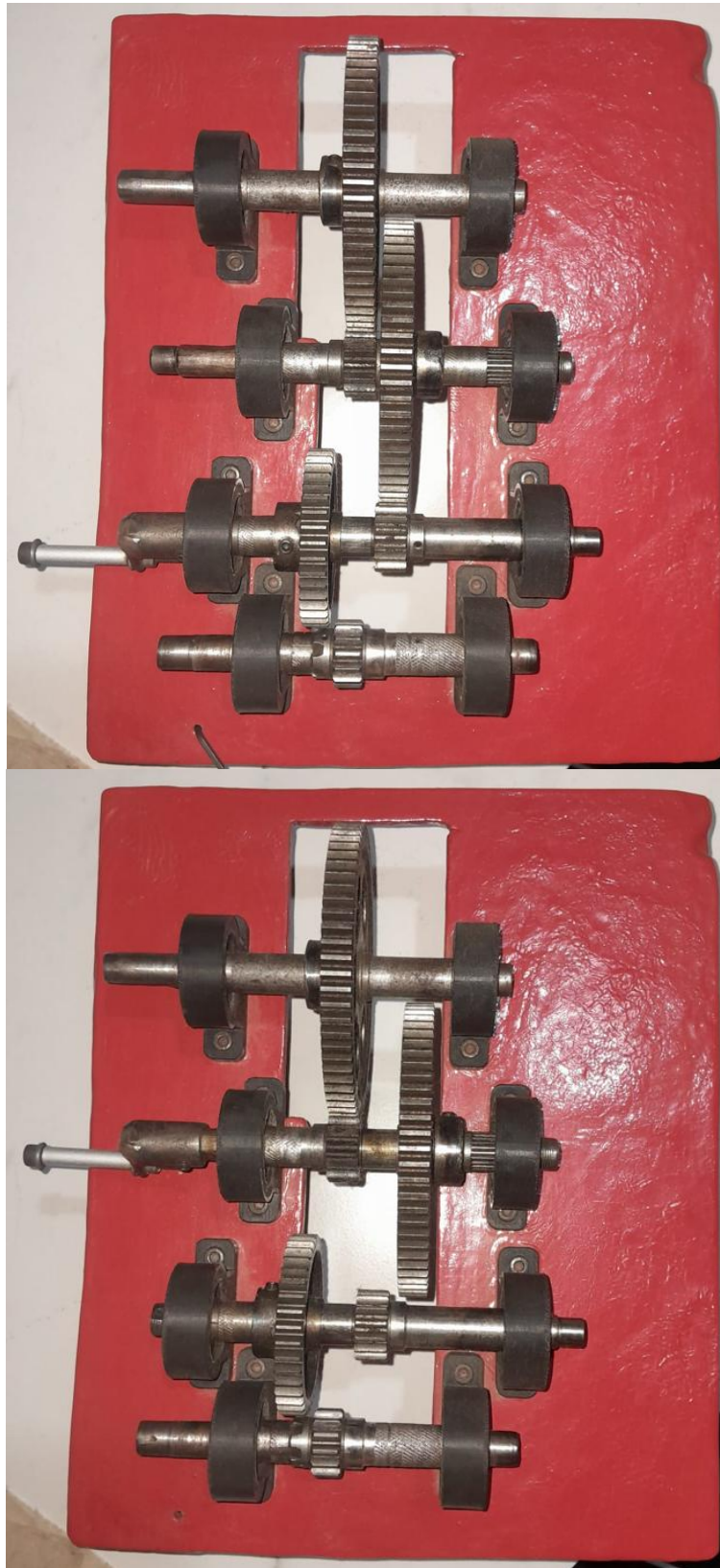
Elaborado pelo próprio autor (2025).

Figura 87: Configurações reais 2 e 3.



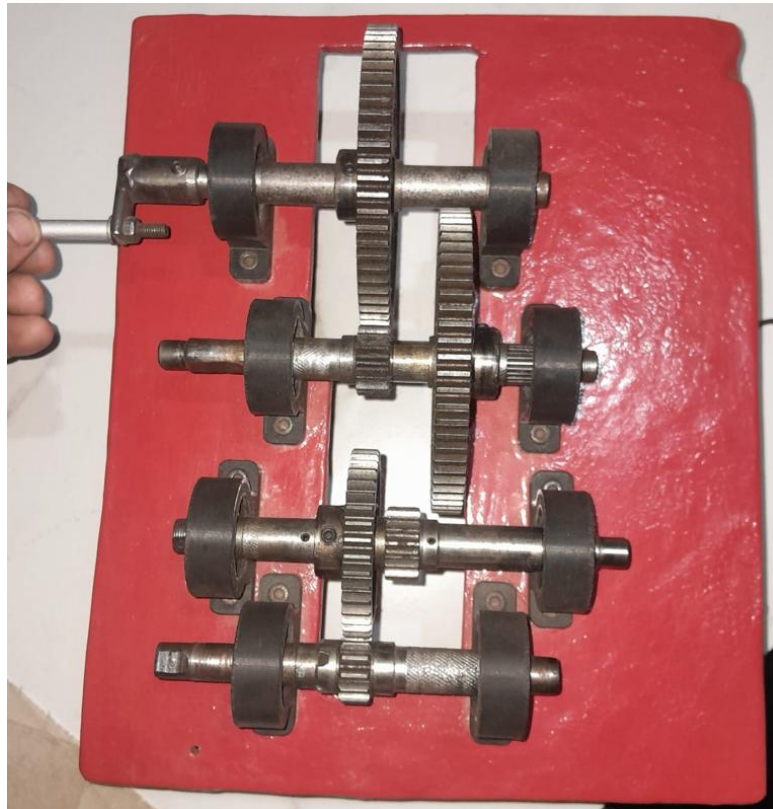
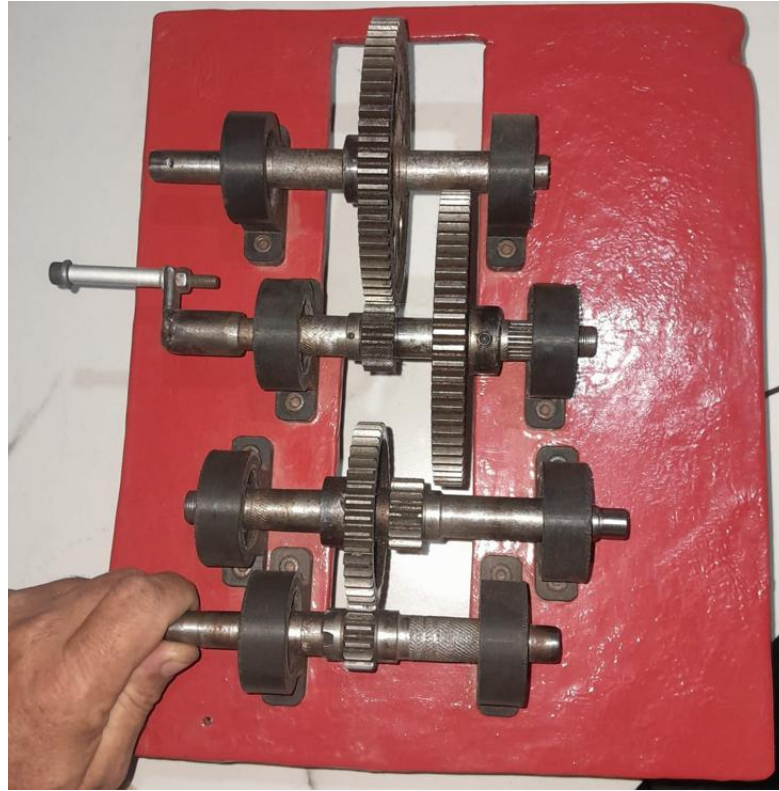
Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Figura 88: Configurações reais 4 e 5.



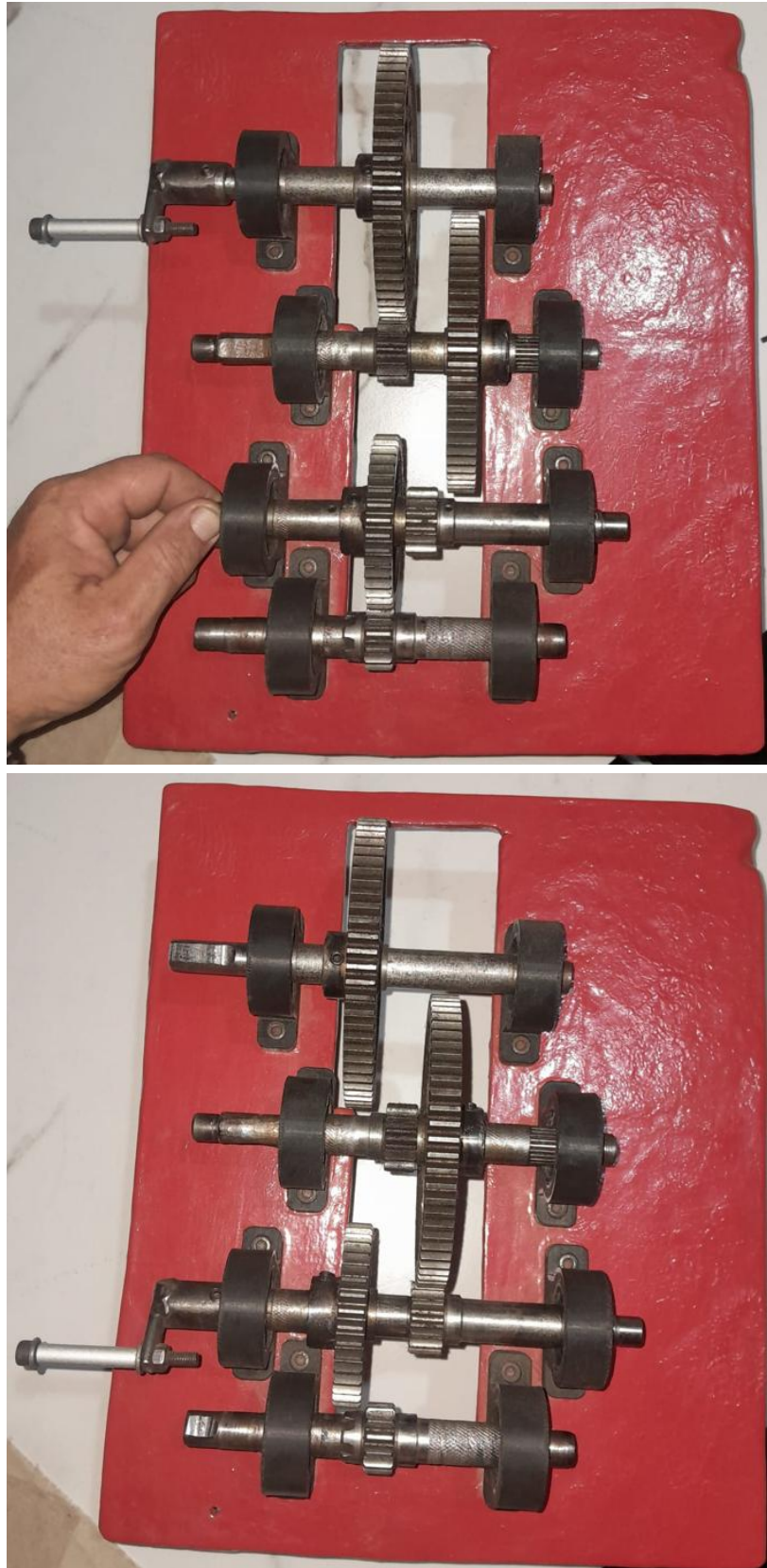
Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Figura 89: Configurações reais 6 e 7.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Figura 90: Configurações reais 8 e 9.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

5. CONCLUSÃO

Além de todos os detalhes técnicos aqui apresentados, e todos os conceitos mecânicos que podem ser explorados com todo o projeto, desde a elaboração mecânica do dispositivo, passando pelos desenhos em 3d, os processos de fabricação até o estudo prático dos conceitos de relações de engrenagens, ainda se pode evidenciar que é possível o uso de peças reaproveitadas em projetos didáticos, claro que, sendo observadas as condições de conservação para o uso em tal projeto.

Como exemplo temos as engrenagens usadas nesse trabalho, que apresentam desgastes, mesmo que mínimos, em dentes, ou partes dos eixos que apresentam defeitos devido ao uso, e isso, com certeza, inviabilizou seu funcionamento correto nos sistemas mecânicos originais nos quais eram usados. Também podemos citar as chapas e pedaços de aço 1020 de diversos tipos utilizados, que foram retirados de sucata metalúrgica, de sobra de material e que não tinha mais uso em seus sistemas ou peças originais.

Mas, nesse projeto, esse material reutilizado apresentou resultados de uso, até melhores que os esperados pelo próprio autor, mostrando a viabilidade de tal aproveitamento, abrindo caminho e perspectivas para novas ideias, como a mesclagem de processos tradicionais, como usinagem, soldagem, corte com abrasivos, com processos inovadores, como a impressão 3d. Impressão essa que foi essencial para a precisão da fabricação dos mancais, o que seria praticamente impossível de conseguir só com solda e esmerilhadeira. Outra ideia que pode ser muito bem explorada é a engenharia reversa, que foi importante no desenvolvimento desse projeto, que é crucial, na opinião do autor desse trabalho, para esse reaproveitamento de materiais usados, no que se refere ao entendimento do funcionamento, a recriação desse funcionamento e melhoramento de sistemas mecânicos.

Além de tudo isso, nesse trabalho, no dispositivo, foi possível mostrar como ocorre o engrenamento de dentes de engrenagens, como interpretar os fatores de redução aqui apresentados para as diferentes rotações de cada eixo, e como as diferentes quantidades de dentes, de mesmo módulo, de cada engrenagem são as responsáveis por essa diversificação de rotações. Algo palpável, em que é possível confirmar e exemplificar os conceitos teóricos vistos em sala de aula nas disciplinas de engenharia mecânica.

REFERÊNCIAS

FRANCIELE. Transmissão mecânica: conheça os principais elementos e entenda a importância de cada um deles. Disponível em: <<https://transmaq.com.br/transmissao-mecanica-conheca-os-principais-elementos-e-entenda-a-importancia-de-cada-um-deles/>>. Acesso em: 2 mar. 2025b.

CAMARGO, Micelli. **Engecia - Postagem: Tipos de Redutores de Velocidades. Engenharia e Cia**, 31 maio 2024. Disponível em: <<https://www.engenhariaecia.eng.br/post/tipos-de-redutores-de-velocidades>>. Acesso em: 2 mar. 2025

3EM. **Quais os tipos de redutores industriais?** Disponível em: <<https://fimma.com.br/post/139/quais-os-tipos-de-redutores-industriais>>. Acesso em: 2 mar. 2025.

ADDN. **Reforma de redutores de velocidade.** Disponível em: <<https://www.addn.com.br/reforma-redutores-velocidade>>. Acesso em: 3 mar. 2025

AROELEVEN MARKETING DIGITAL. **Fabricação engrenagem cônica.** Disponível em: <<https://www.multengrenagens.com.br/pt/fabricacao-engrenagem-conica>>. Acesso em: 4 mar. 2025.

Disponível em: <<https://www.sdtgear.com/worm-gearbox-efficiency/>>. Acesso em: 4 mar. 2025a.

Industrial Transmission. Disponível em: <<https://medias.schaeffler.com.br/pt/power-transmission/industrial-transmission>>. Acesso em: 5 mar. 202

JAES COMPANY PORTUGUÊS. **Conjunto DE engrenagem planetária.** Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=4PkRAAx4dgo>>. Acesso em: 7 mar. 2025.

Redutor de velocidade: funcionamento e aplicações. Disponível em: <<https://zaninirenk.com.br/redutor-de-velocidade-industrial-funcionamento-e-aplicacoes>>. Acesso em: 7 mar. 2025.

TURBINAS EÓLICAS. Disponível em: <<https://www.telub.com.br/blog/artigos-tecnicos/turbinas-eolicas>>. Acesso em: 7 mar. 20

FRANCIELE. **Saiba quais são os modelos de elevadores e conheça o Redutor Transmaq ideal para seu projeto.** Disponível em: <<https://transmaq.com.br/saiba-quais-sao-os-modelos-de-elevadores-e-conheca-o-redutor-transmaq-ideal-para-seu-projeto/>>. Acesso em: 7 mar. 2025a.

Elementos de transmissão: conheça o que são e as aplicações! Disponível em: <<https://blog.rolatel.com.br/elementos-de-transmissao/>>. Acesso em: 8 mar. 2025.

Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC038/Prof.Jorge_Erthal/Referencia%20complementar/apostilas/Apostila%20Elementos%20de%20Maquinas%20IFES.pdf>. Acesso em: 9 mar. 2025.

Acoplamentos. Disponível em: <<https://www.resultcomercial.com.br/acoplamentos>>. Acesso em: 9 mar. 2025.

RETOS, Dentes. **FÓRMULAS PARA CÁLCULO DE ENGRENAGENS**. Disponível em: <<http://euroaktion.com.br/F%C3%B3rmulas%20para%20C%C3%A1lculos%20de%20Engrenagens.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2025.

Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC038/Prof.Jorge_ErthalReferencia%20complementar/apostilas/Apostila%20Elementos%20de%20M%E1quinas%20UFSM.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2025.

Disponível em: <https://web.facebook.com/ferroilrolamentosltda/photos/os-mais-diversos-tipos-de-rolamentostel-11-4195-7133-11-4191-6755ferroiluolcombr/1234705866606002/?locale=pt_BR&_rdc=1&_rdr>. Acesso em: 10 mar. 2025d.

SKF. Disponível em: <<https://www.skf.com/br/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/general-bearing-knowledge/bearing-basics>>. Acesso em: 10 mar. 2025.

SEGUIDORES, 132 563. **TIPOS DE POLIAS E CORREIAS Uma das formas para transmissão de potência é através de polias e correias. Confira nas imagens os principais tipos**. Disponível em: <https://www.linkedin.com/posts/engenhariaecia_tipos-de-polias-e-correias-uma-das-formas-activity-6932650873483321344-95xO/?originalSubdomain=pt>. Acesso em: 11 mar. 2025.

KDMFAB. 9 tipos comuns de eixos de transmissão: aplicações, características e composição. Disponível em: <<https://kdmfab.com/pt/tipos-de-eixo-de-transmissao/>>. Acesso em: 11 mar. 2025.

Linha ROMI ES-40. Disponível em: <<https://www.romi.com/produtos/tornos-universais-romi-es-40/>>. Acesso em: 14 mar. 2025.

CABOPEC CABOS, de Aço e. Peças Ltda. **Cabos de aço**. Disponível em: <https://cabopec.com.br/cabo-de-aco-tipos?gad_source=1&gad_campaignid=843224520&gbraid=0AAAAAD_CemeY8VqpmkM4PHxFrPlbB3b0k&gclid=CjwKCAjwlOrFBhBaEiwAw4bYDYcXlr8Q6MFeVbfCtTR_tcIQE9So5sMsTcNpCKecxb0AYkd_cNXssBoCCn0QAvD_BwE>. Acesso em: 19 mar. 2025.

Saiba quais os cabos de aço mais indicados para Elevadores. Blog, 6 dez. 2022. Disponível em: <<https://www.acrocabo.com.br/blog/saiba-quais-os-cabos-de-aco-mais-indicados-para-elevadores/>>. Acesso em: 19 mar. 2025

PRATES, Mariana. **Teleférico em São Paulo? Confira o projeto da prefeitura que pode instalar bondinhos na capital**. Disponível em: <<https://saopaulosecreto.com/teleferico-em-sao-paulo/>>. Acesso em: 19 mar. 2025.

Disponível em: <<https://www.induscor.ind.br/docs/catalogo-induscor.pdf>>. Acesso em: 19 mar. 2025.

Correntes Industriais: O que são, tipos e como escolher a ideal para o seu projeto – Minas Correntes. Disponível em: <<https://www.minascorrentes.com.br/correntes-industriais-o-que-sao-tipos-e-como-escolher-a-ideal-para-o-seu-projeto/>>. Acesso em: 18 jun . 2025.

TECNOLOGIA, Tray. **Engrenagem Dentada Para Corrente Simples ASA60 Z13 T2**. Disponível em: <<https://www.bassottosuprimentos.com.br/engrenagem-dentada-para-corrente-simples-asa60-z13->

t2?srsId=AfmBOorqmOYmS2rebUjMgL9Hu12q2SFO12NPgDpZ8_1Z1nh18WYJ3OtS>. Acesso em: 22 jun. 2025.

Mancais de Rolamento: entenda a funcionalidade e relevância para a Indústria.

Disponível em: <<https://acoplatec.com.br/mancais-de-rolamento/>>. Acesso em: 25 jun. 2025.

Disponível em: <https://www.acovillaca.com.br/ucp-209--mancal-p-e-rolamento-uc-209-peixo-45mm/up/MLBU1715081410pdp_filters=category%3AAMLB63829%7Cseller_id%3A27555898%7Citem_id%3AAMLB1652262304>. Acesso em: 25 jun. 2025f.

LUCIANO-ABECOM, Bruno. **Mancal bipartido: confirma os principais tipos e suas**

vantagens. Disponível em: <<https://www.abecom.com.br/mancal-bipartido-tipos/>>. Acesso em: 28 jun. 2025.

SHIGLEY et. al., Elementos de Máquinas - Projeto de Engenharia Mecânica, Mc Graw Hill, 10ª edição, São Paulo, 2016.

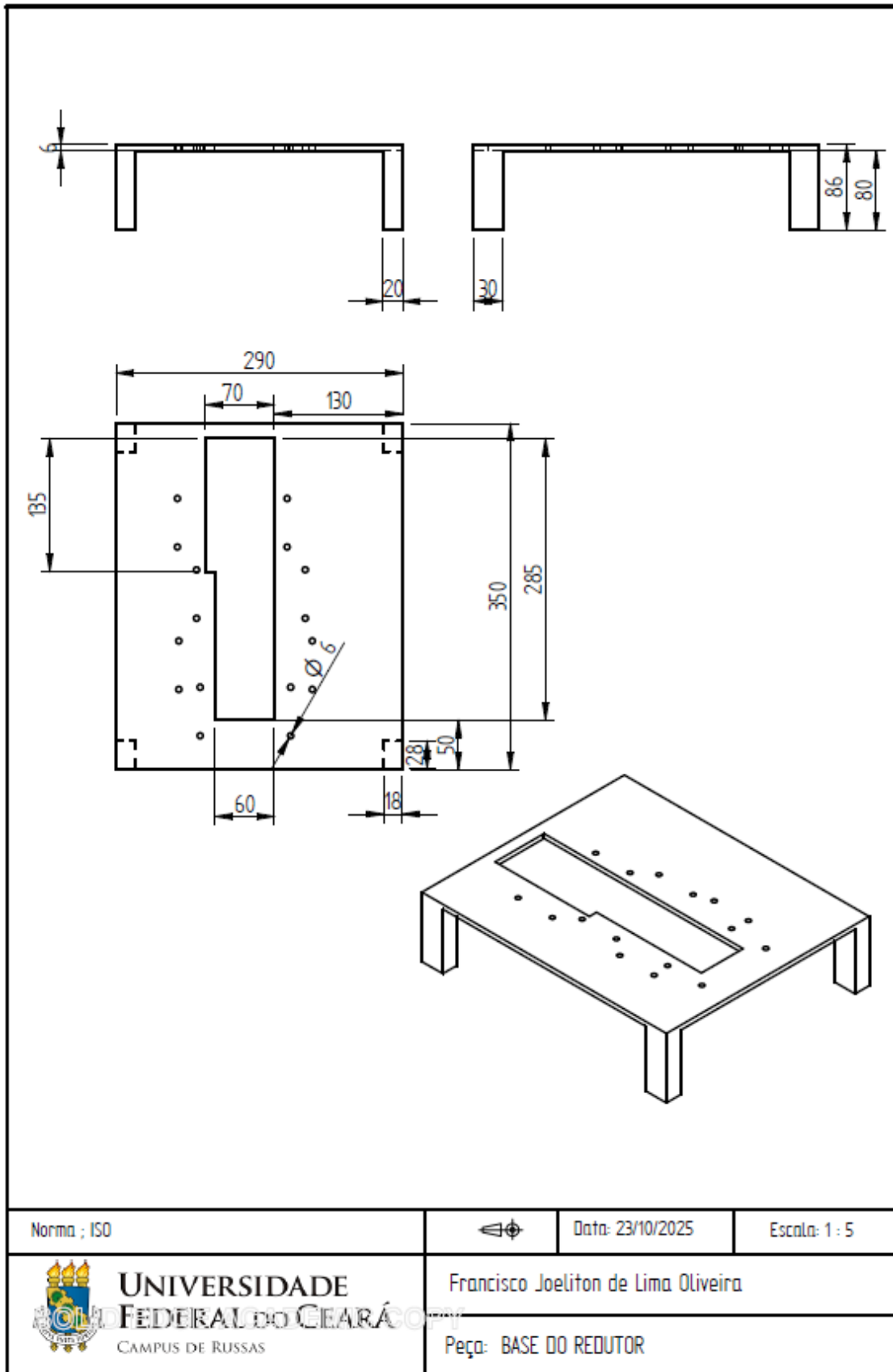
MAZZO, Norberto. Engrenagens Cilíndricas: Da concepção à fabricação. 2. ed. São Paulo: Blucher. v. 838, 2013.

NORTON, Robert L. Projeto de máquinas: uma abordagem integrada. 4. In: **Porto Alegre: Bookman, 2013. 1055 p. Tradução: Konstantinos Dimitriou Stavropoulos. [S.l.: S.n.].**

SUGESTÃO DE TRABALHO FUTURO

Esse trabalho tem o intuito de apresentar a parte de processos de fabricação, reaproveitamento de materiais, projeto em software cad, e mostrar, na prática com o dispositivo, conceitos de relações de engrenagens. Os esforços suportados em cada peça, as inúmeras melhorias e cálculos mais aprofundados nesse sistema mecânico de redução ou multiplicação de rotações, ou ainda a elaboração de um procedimento didático para demonstrações de uso do protótipo seguindo a aplicação prática de teorias das disciplinas ministradas no próprio curso de engenharia mecânica, fica como **sugestão** para futuros trabalhos, usando esse mesmo dispositivo, que será doado à universidade, como protótipo de testes.

APÊNDICE



Norma ; ISO



Data: 23/10/2025

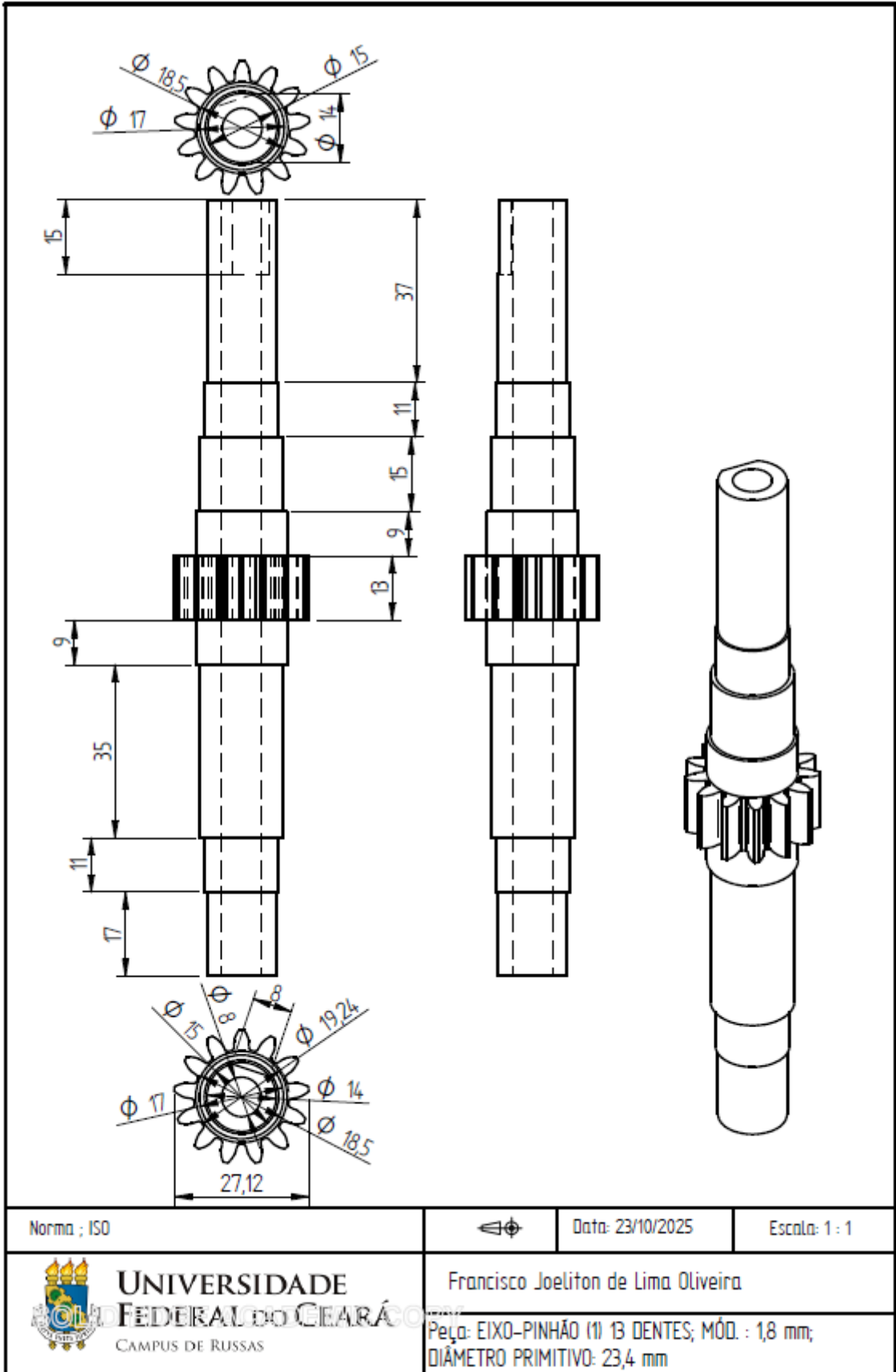
Escala: 1 : 5



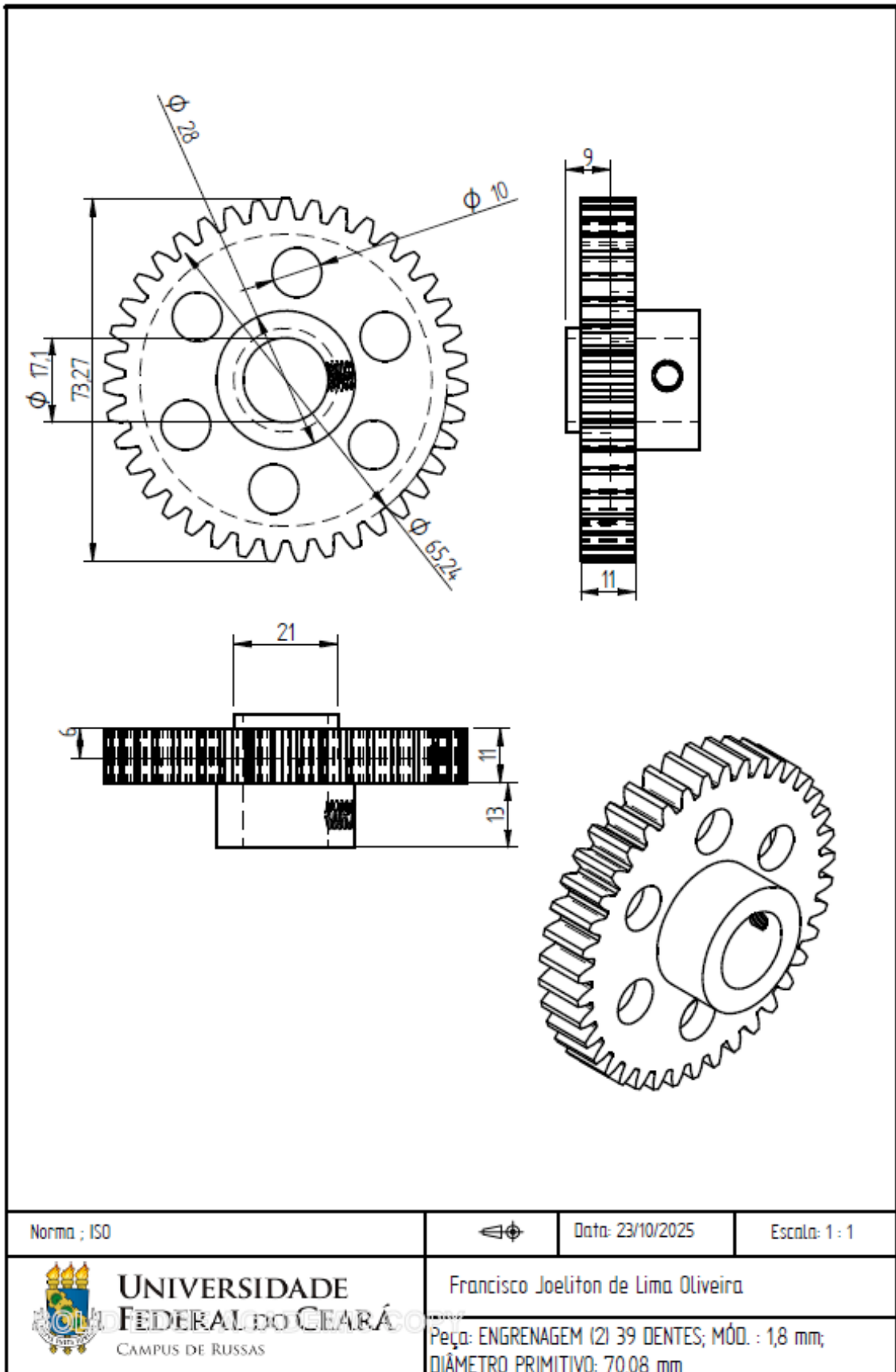
UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE RUSSAS

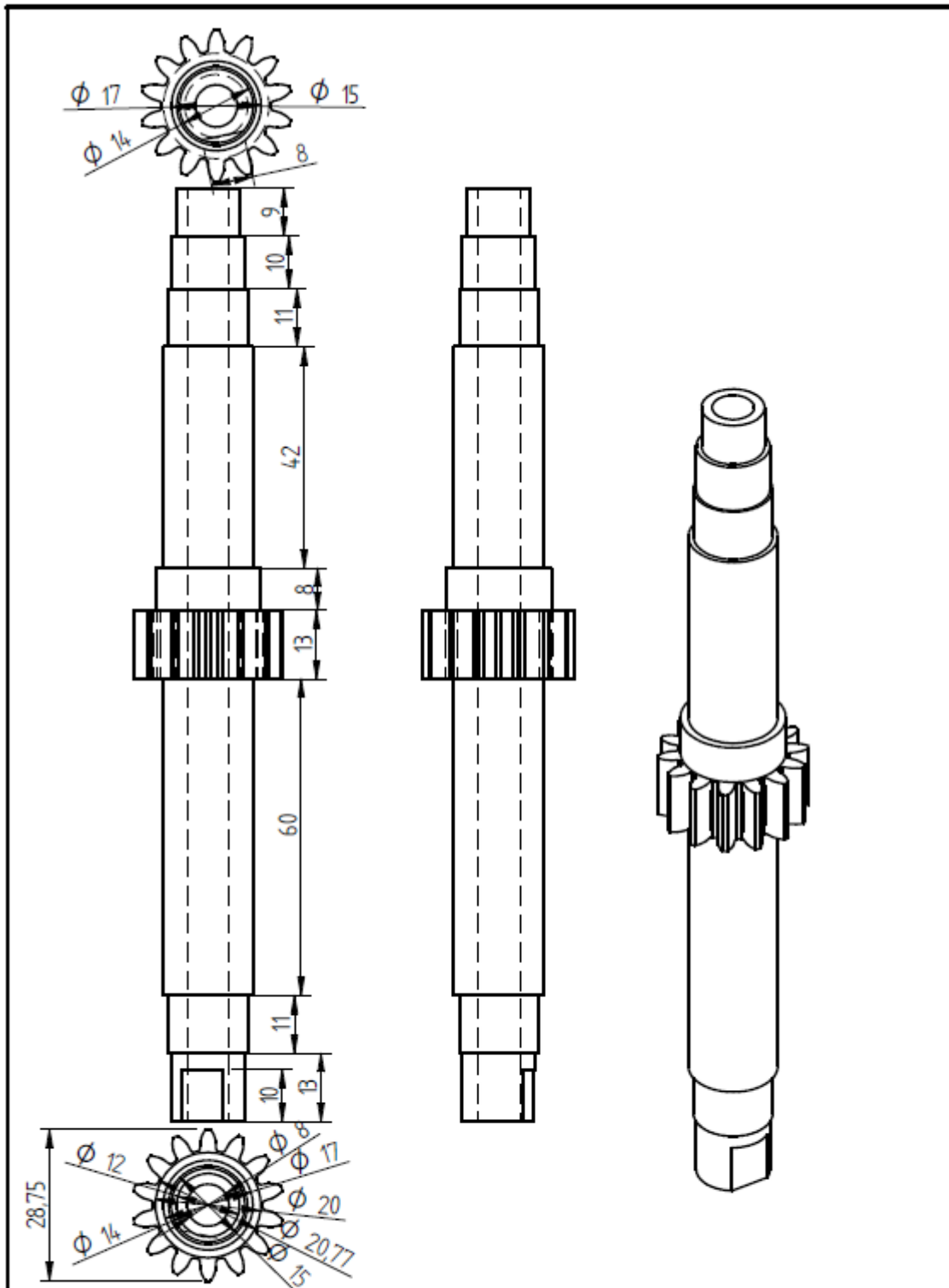
Francisco Joeliton de Lima Oliveira

Peça: BASE DO REDUTOR

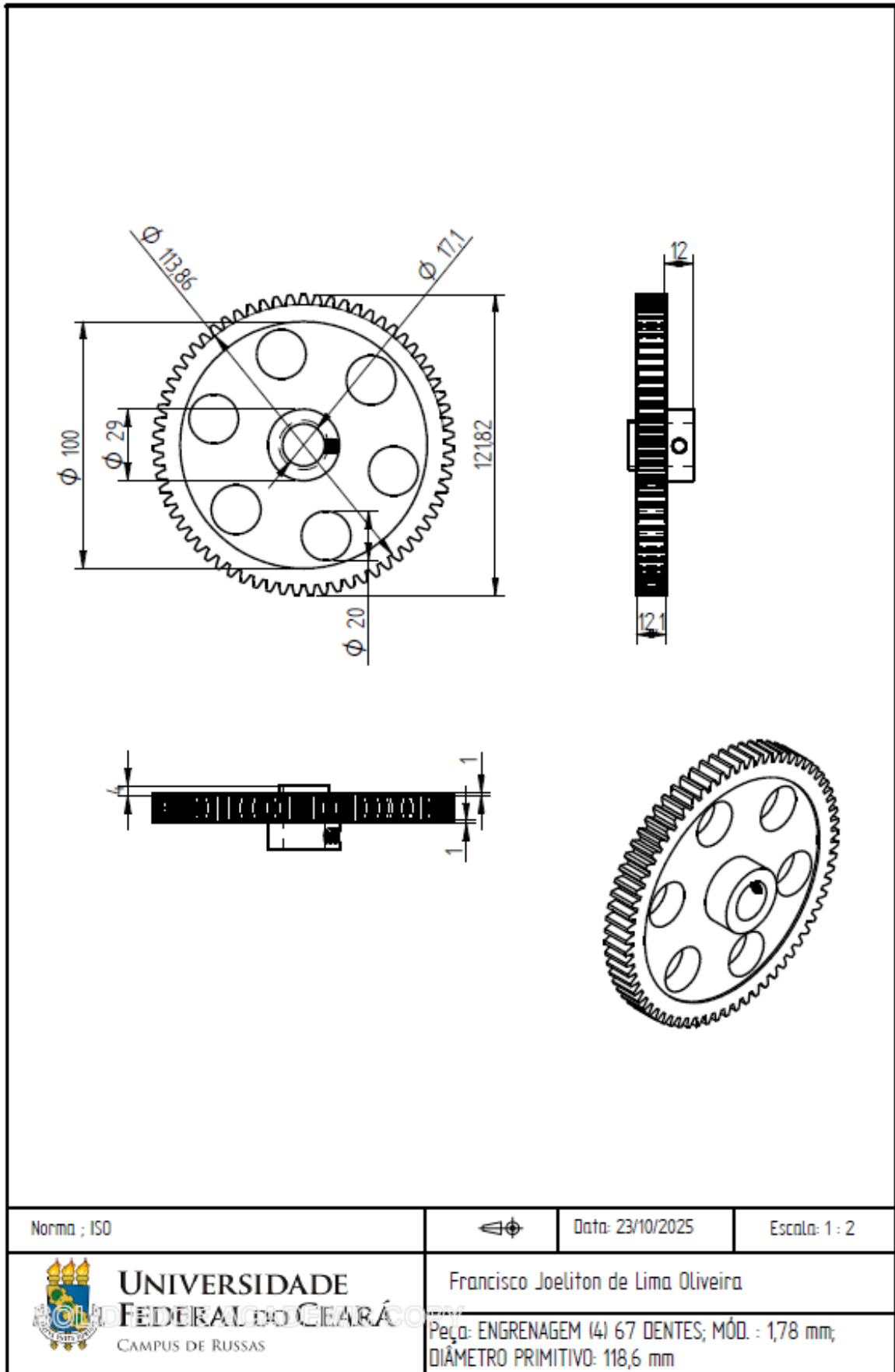


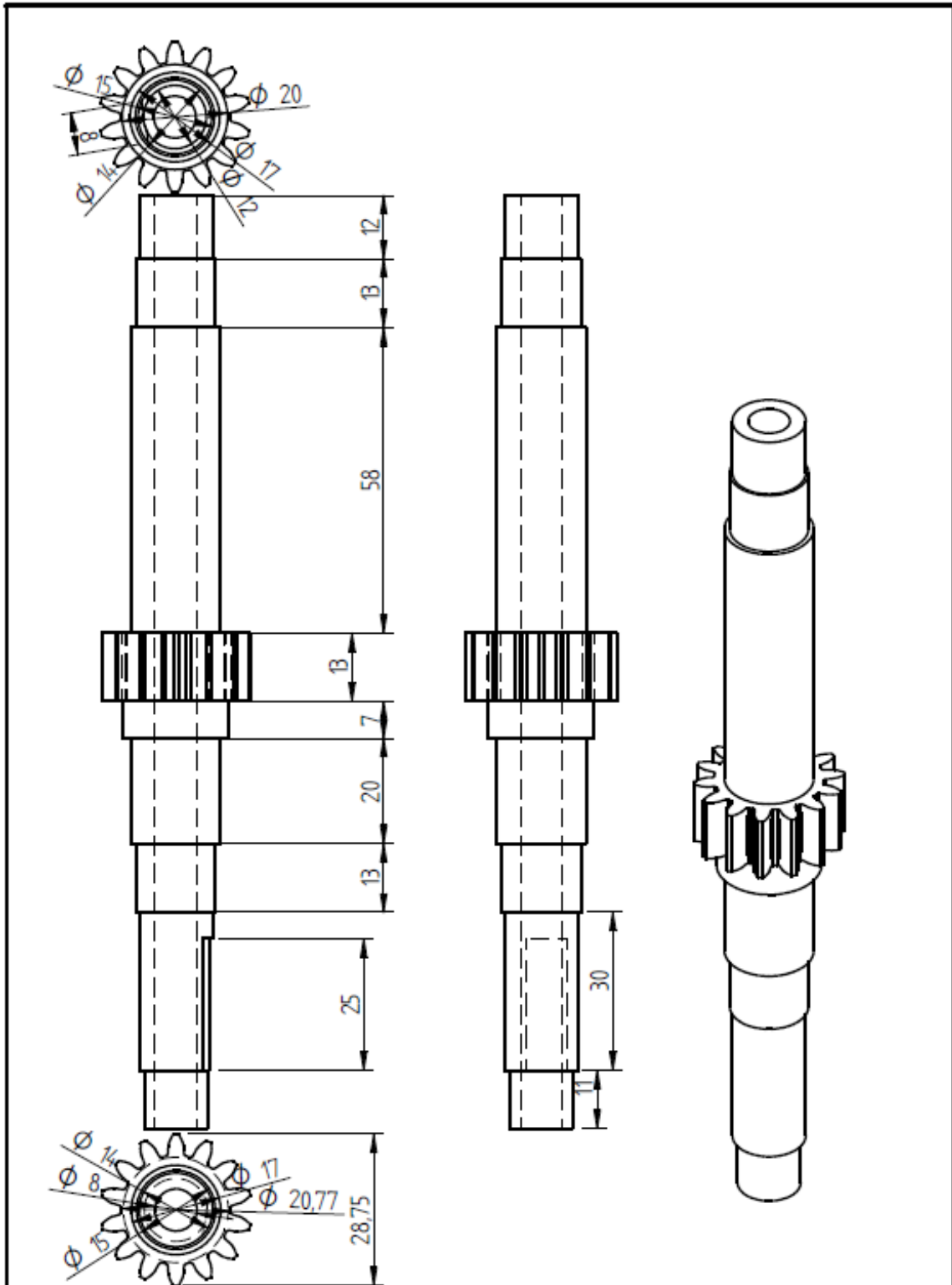
Norma ; ISO		Data- 23/10/2025	Escala: 1 : 1
<p>UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CAMPUS DE RUSSAS</p>	Francisco Joeliton de Lima Oliveira Peça- EIXO-PINHÃO (1) 13 DENTES; MÓD. : 1,8 mm; DIÂMETRO PRIMITIVO- 23,4 mm		





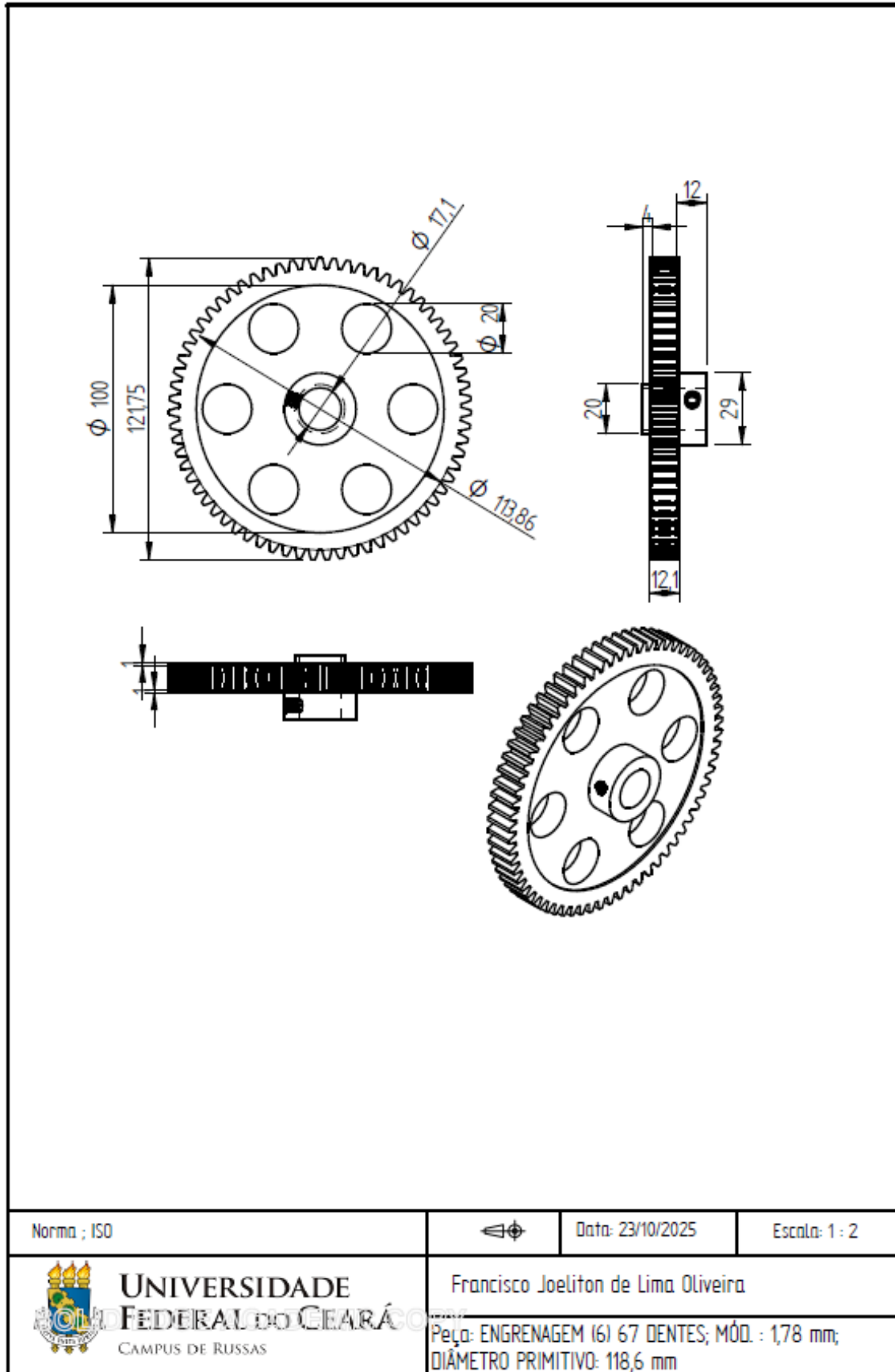


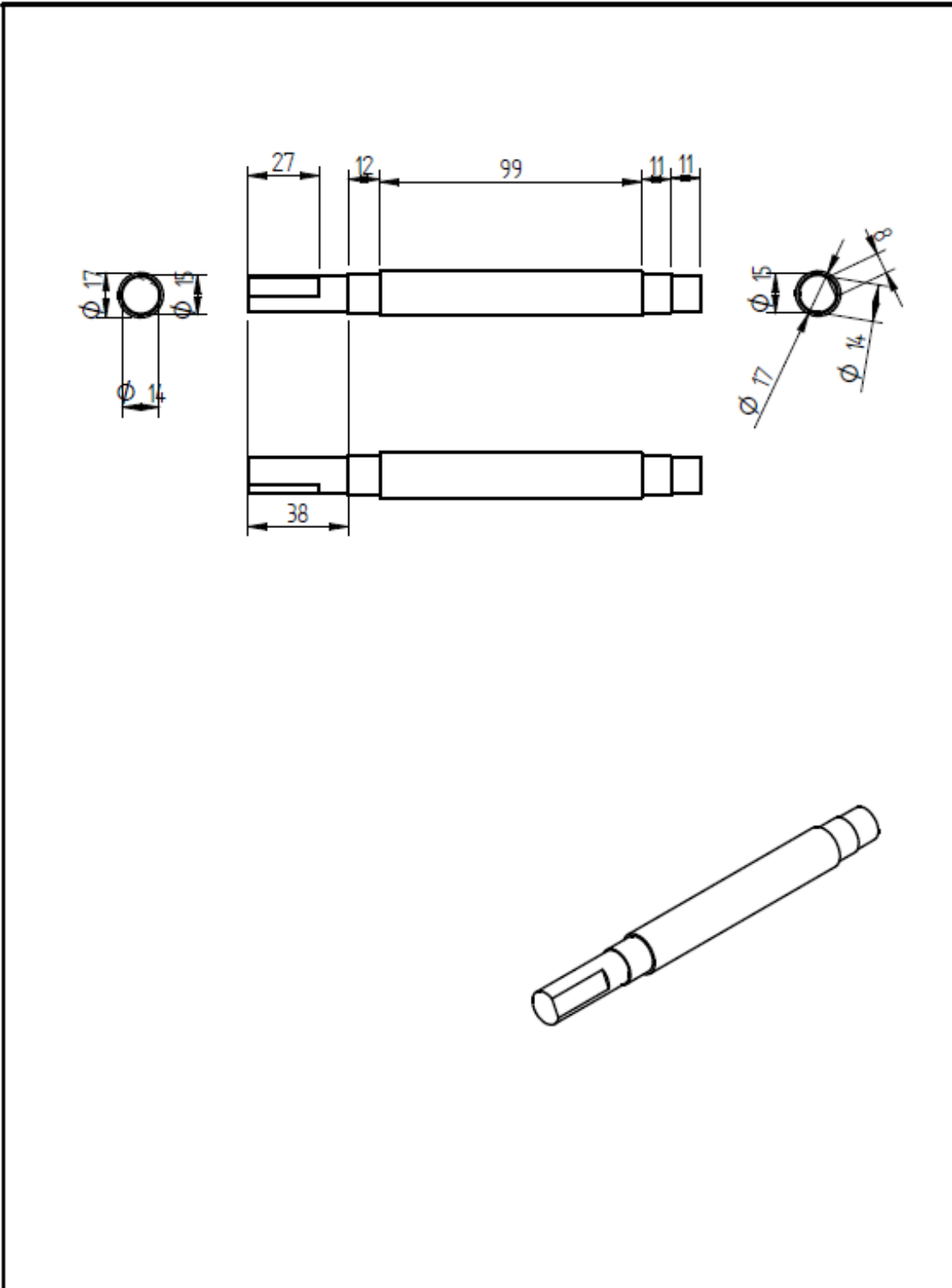
Norma : ISO		Data: 23/10/2025	Escala: 1 : 1
<p>UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CAMPUS DE RUSSAS</p>	Francisco Joeliton de Lima Oliveira Peça: EIXO-PINHÃO (3) 14 DENTES; MÓD. : 1,78 mm; DIÂMETRO PRIMITIVO: 24,92 mm		




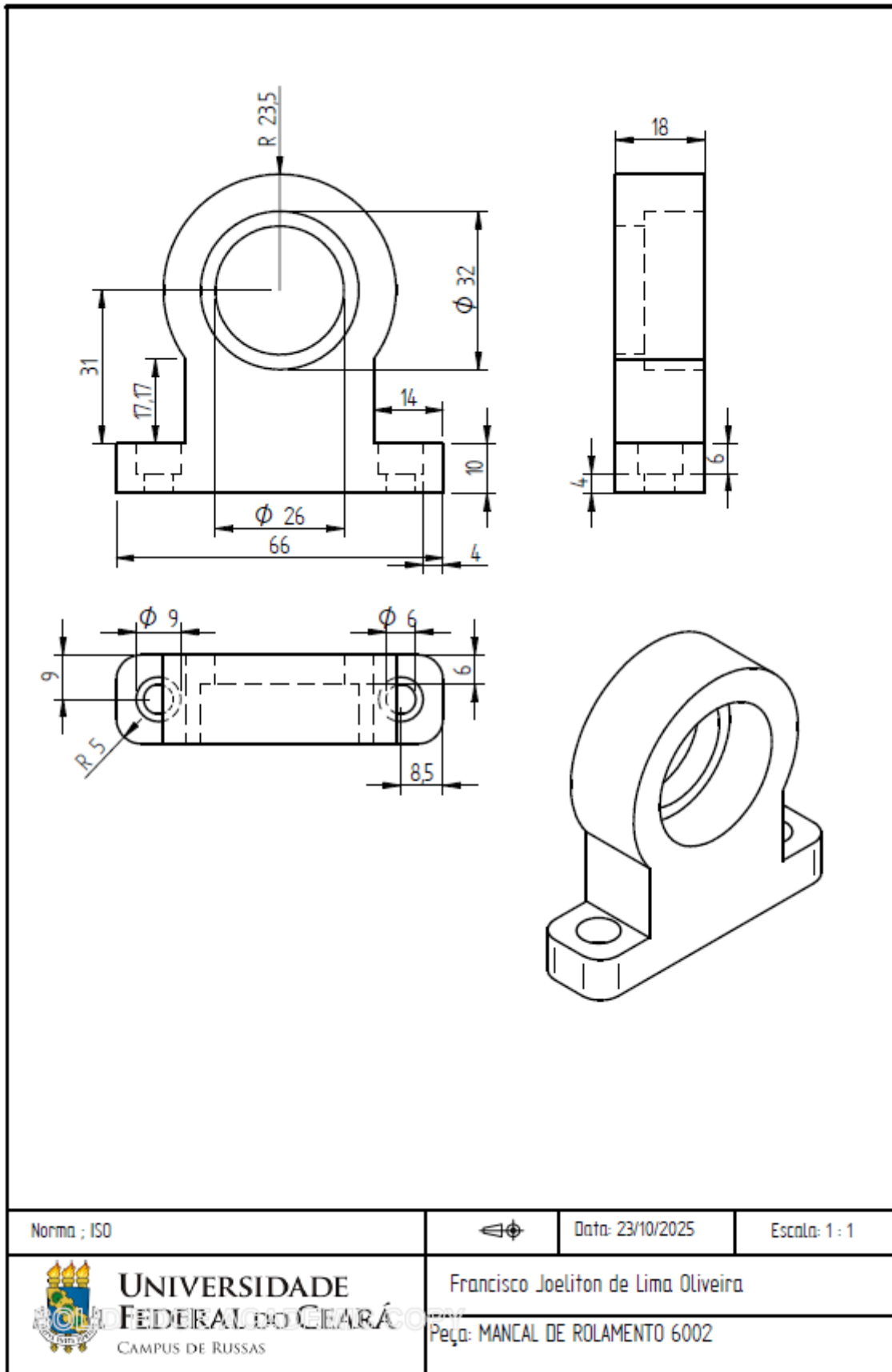


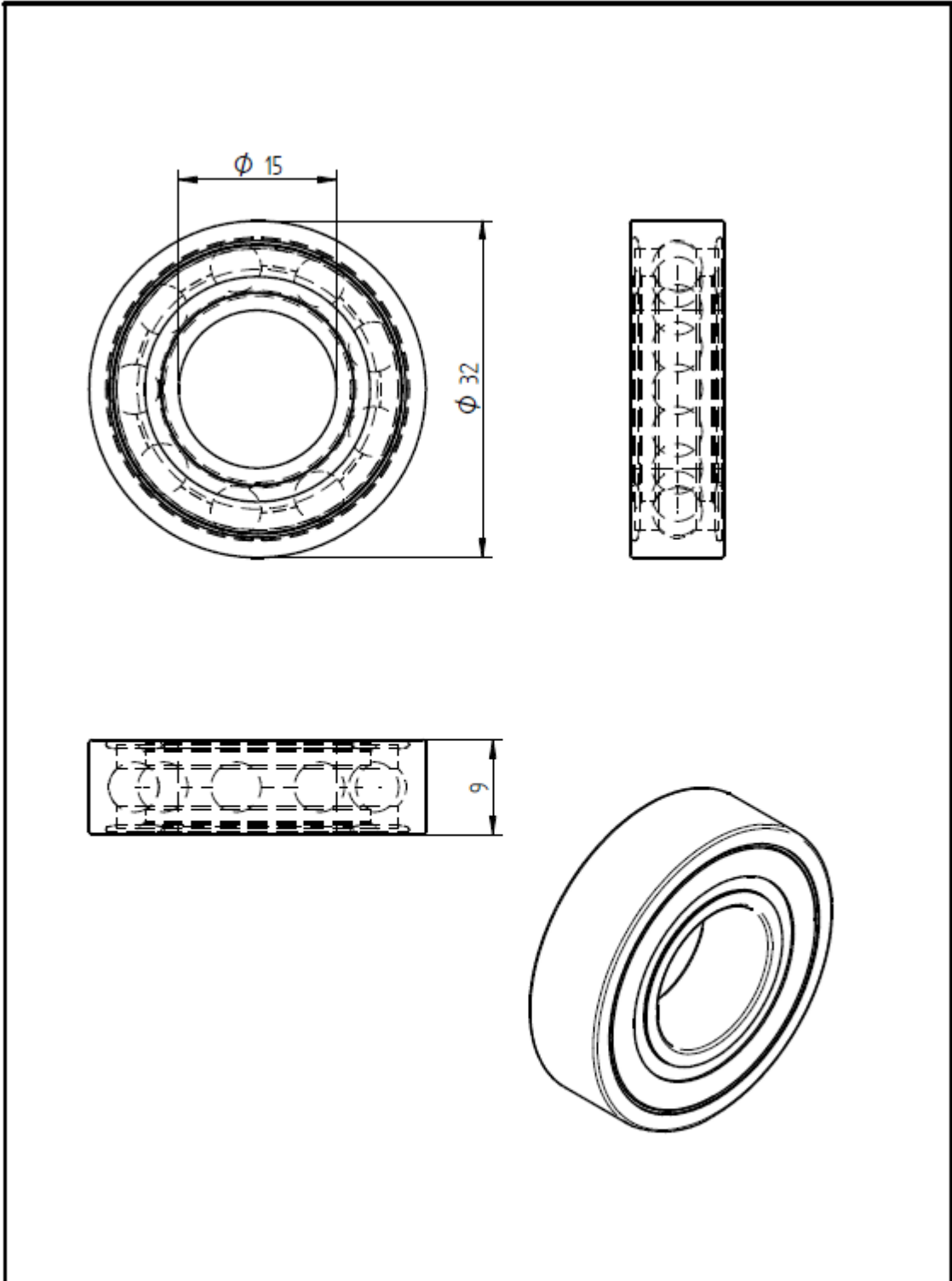
Norma : ISO		Data: 23/10/2025	Escala: 1 : 1
 UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CAMPUS DE RUSSAS	Francisco Joeliton de Lima Oliveira Peça: EIXO-PINHÃO (S) 14 DENTES; MÓD. : 1,78 mm; DIÂMETRO PRIMITIVO: 24,92 mm		





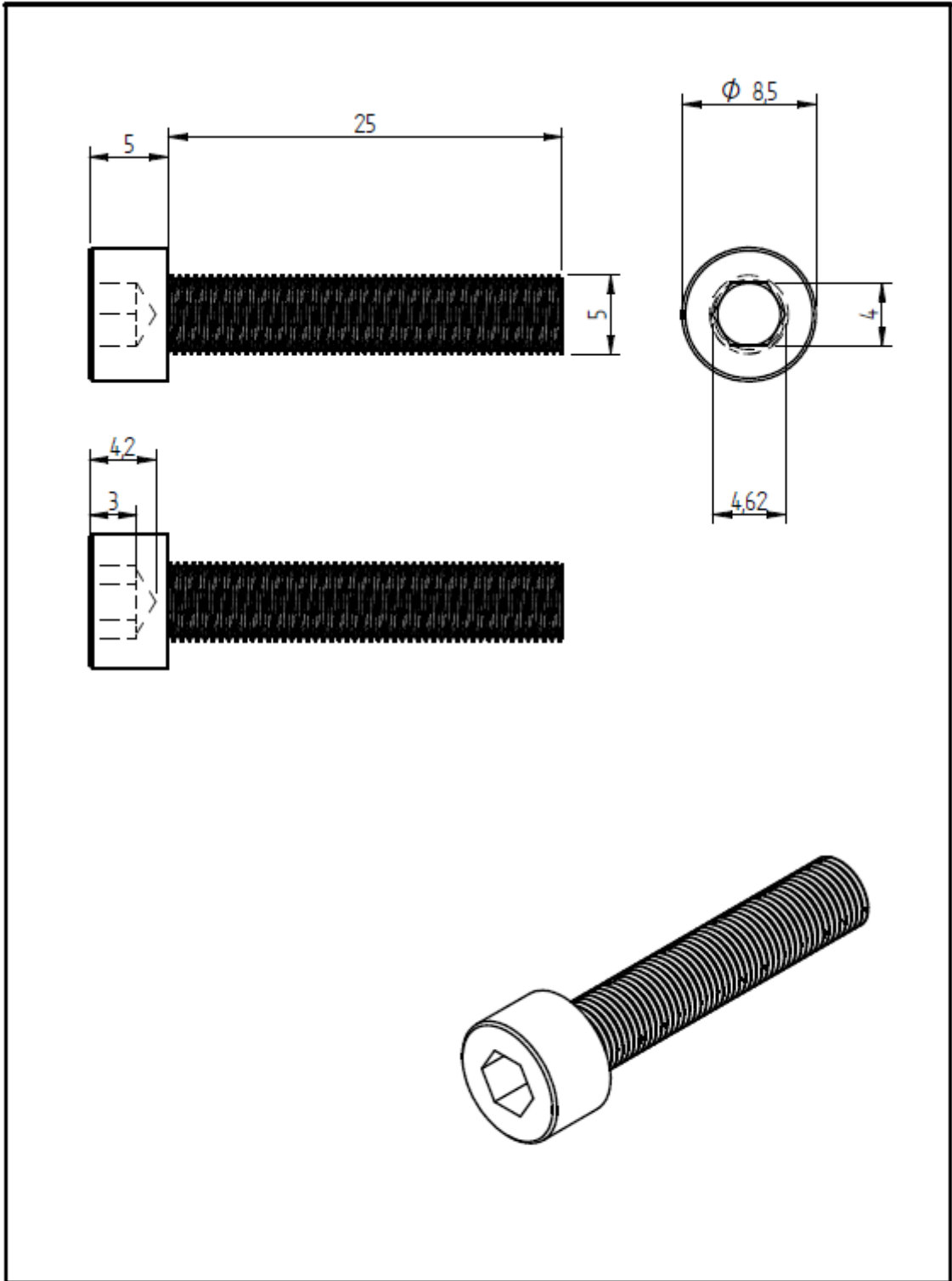




Norma ; ISO		Data: 23/10/2025	Escala: 1 : 2
 UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CAMPUS DE RUSSAS	Francisco Joeliton de Lima Oliveira Peça: EIXO LISO (7)		

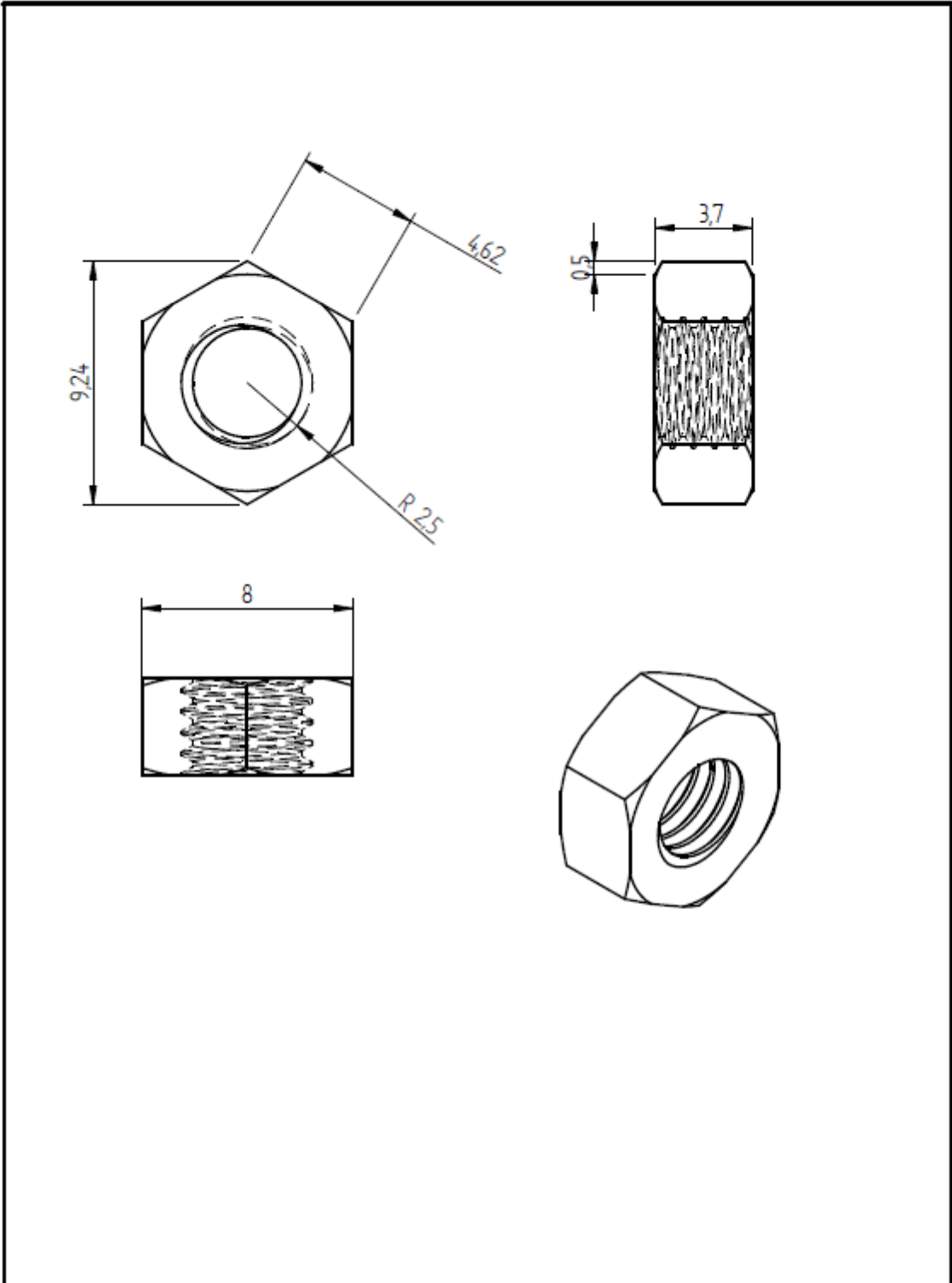




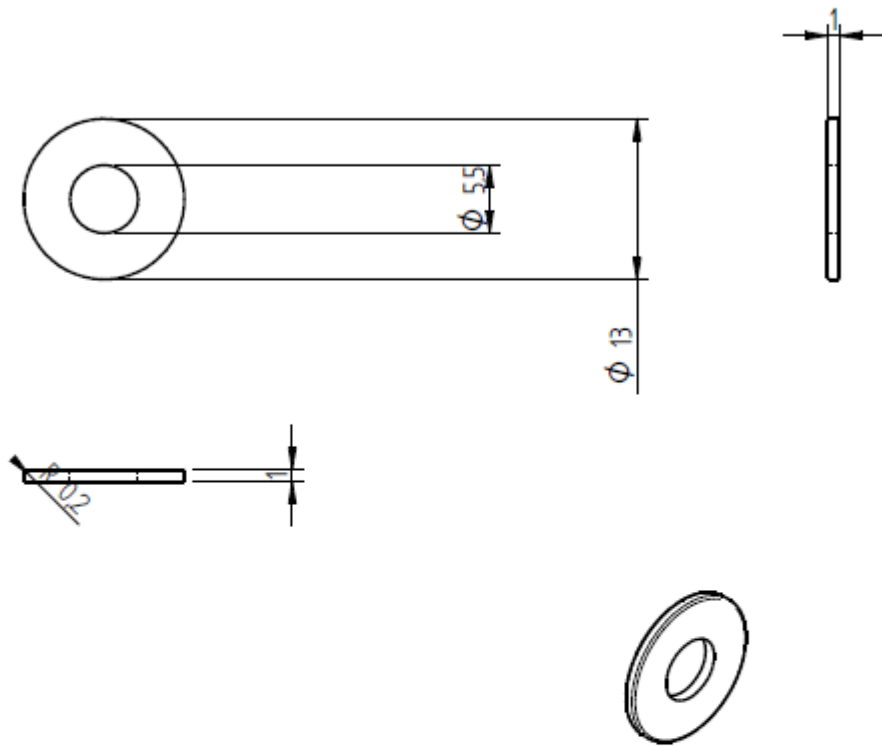
Norma ; ISO		Data: 23/10/2025	Escala: 2 : 1
 UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CAMPUS DE RUSSAS	Francisco Joeliton de Lima Oliveira Peça: ROLAMENTO 6002 RÍGIDO DE ESFERAS		




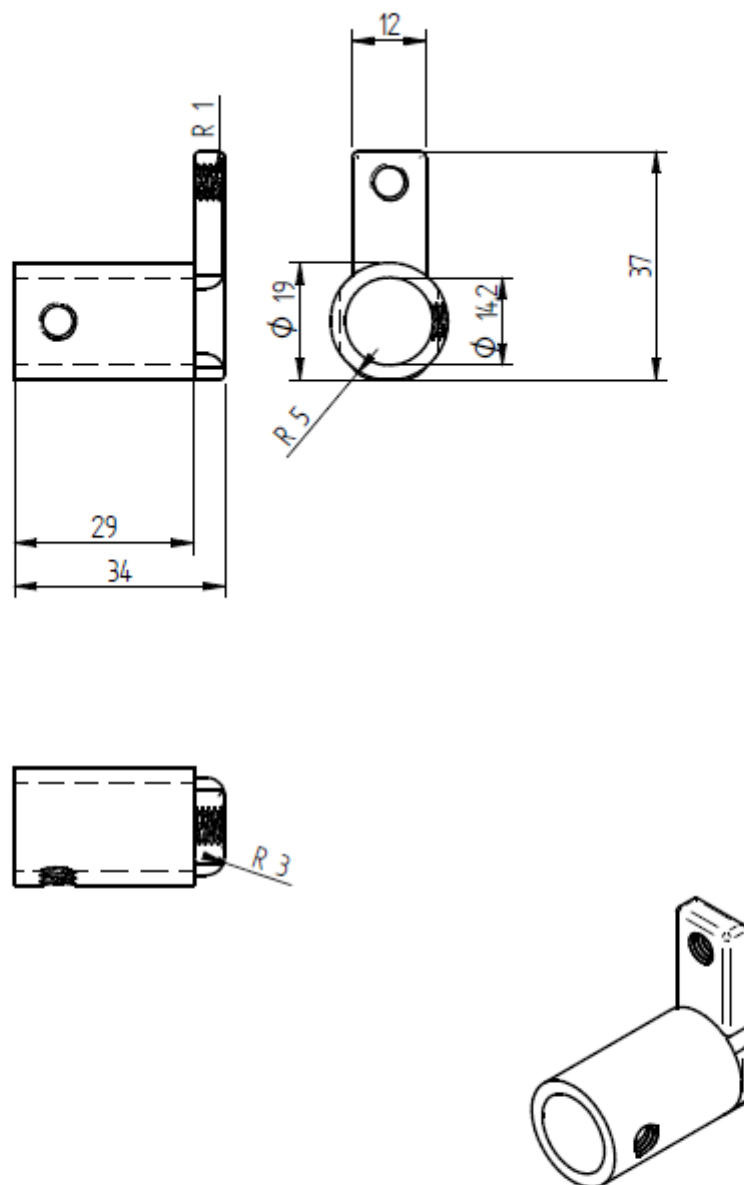
Norma : ISO		Data: 23/10/2025	Escala: 3 : 1
 UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CAMPUS DE RUSSAS	Francisco Joeliton de Lima Oliveira Peça: PARAFUSO ALEM M5 MANCAL		



<p>Norma ; ISO</p>		<p>Data: 23/10/2025</p>	<p>Escala: 5 : 1</p>
 <p>UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CAMPUS DE RUSSAS</p>	<p>Francisco Joeliton de Lima Oliveira Peça: PORCA M5 MANCAL</p>		



Norma ; ISO		Data: 23/10/2025	Escala: 2 : 1
 UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CAMPUS DE RUSSAS	Francisco Joeliton de Lima Oliveira		
	Peça: ARRUELA 5.5 MM MANCAL		



Norma ; ISO



Data: 23/10/2025

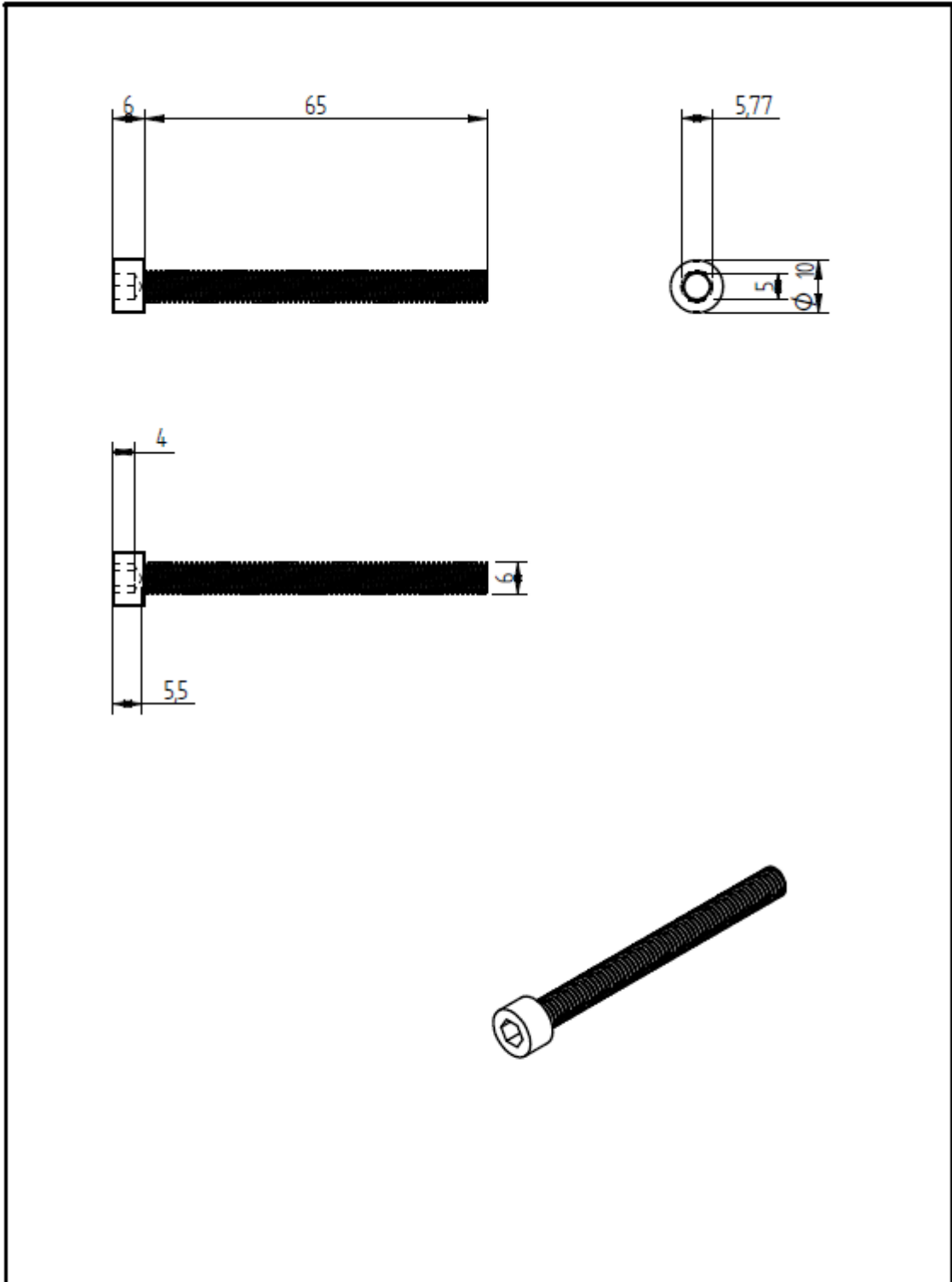
Escala: 1 : 1





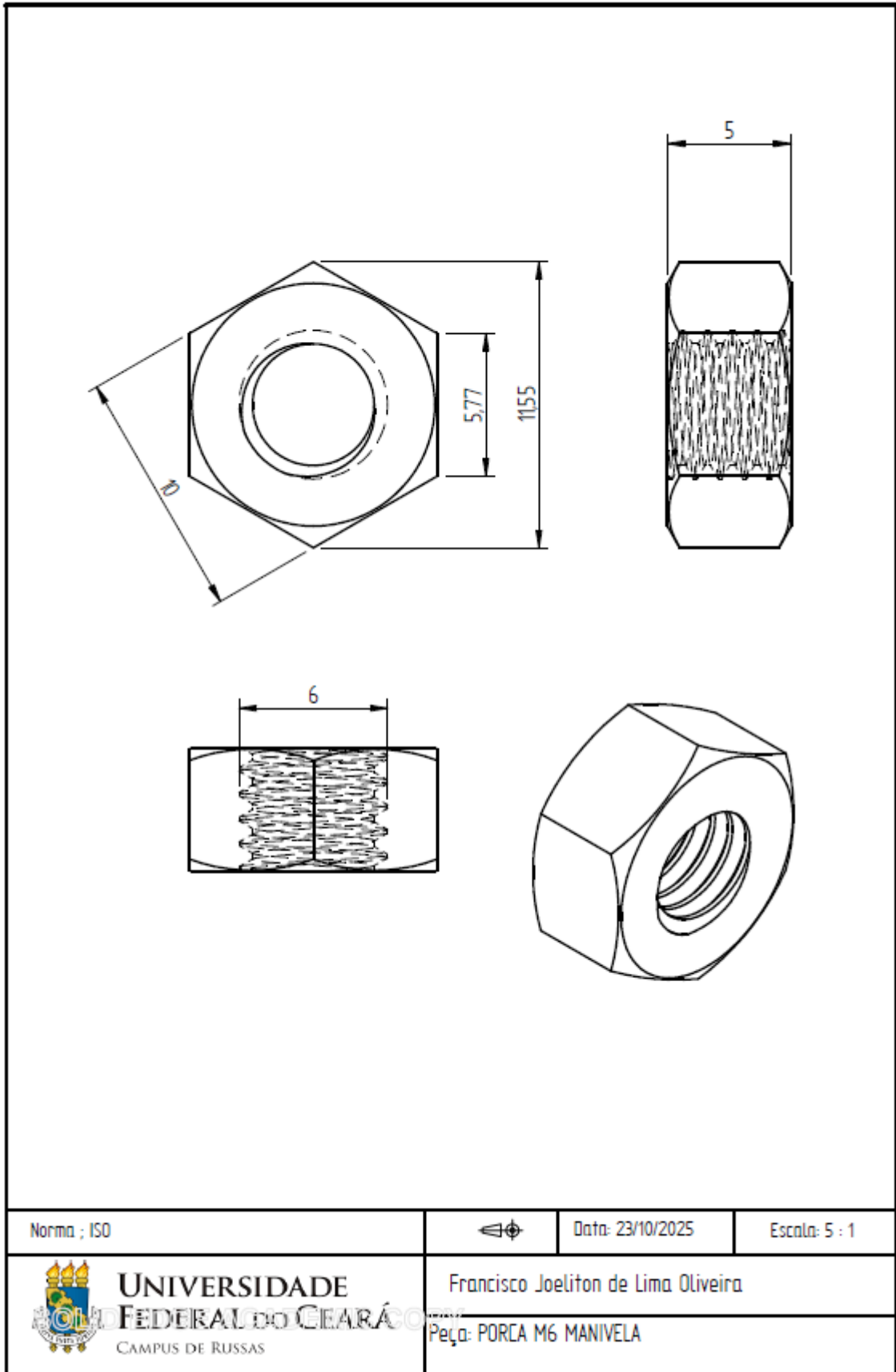
UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE RUSSAS

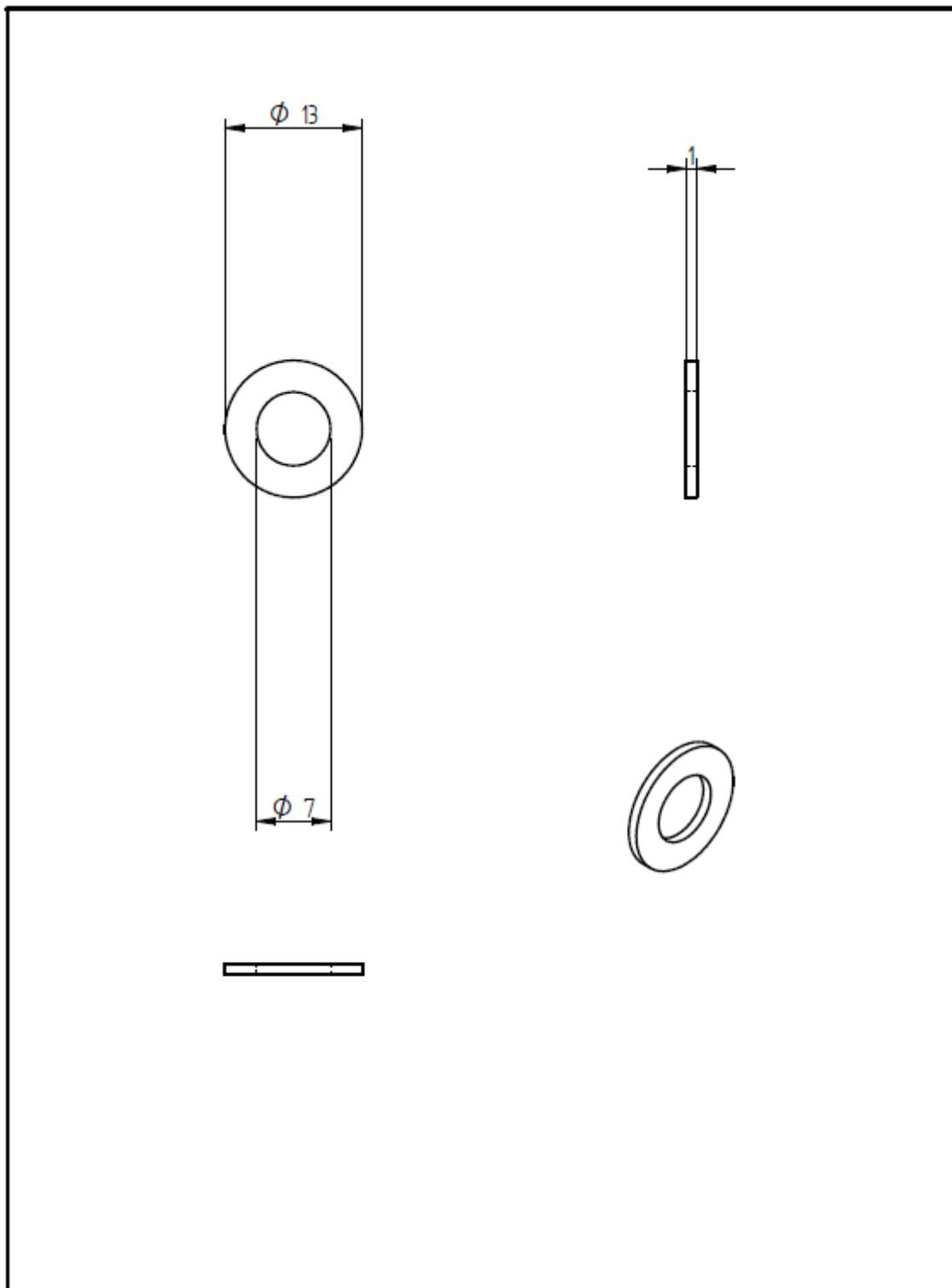
Francisco Joeliton de Lima Oliveira



Peça: CORPO DE MANIVELA

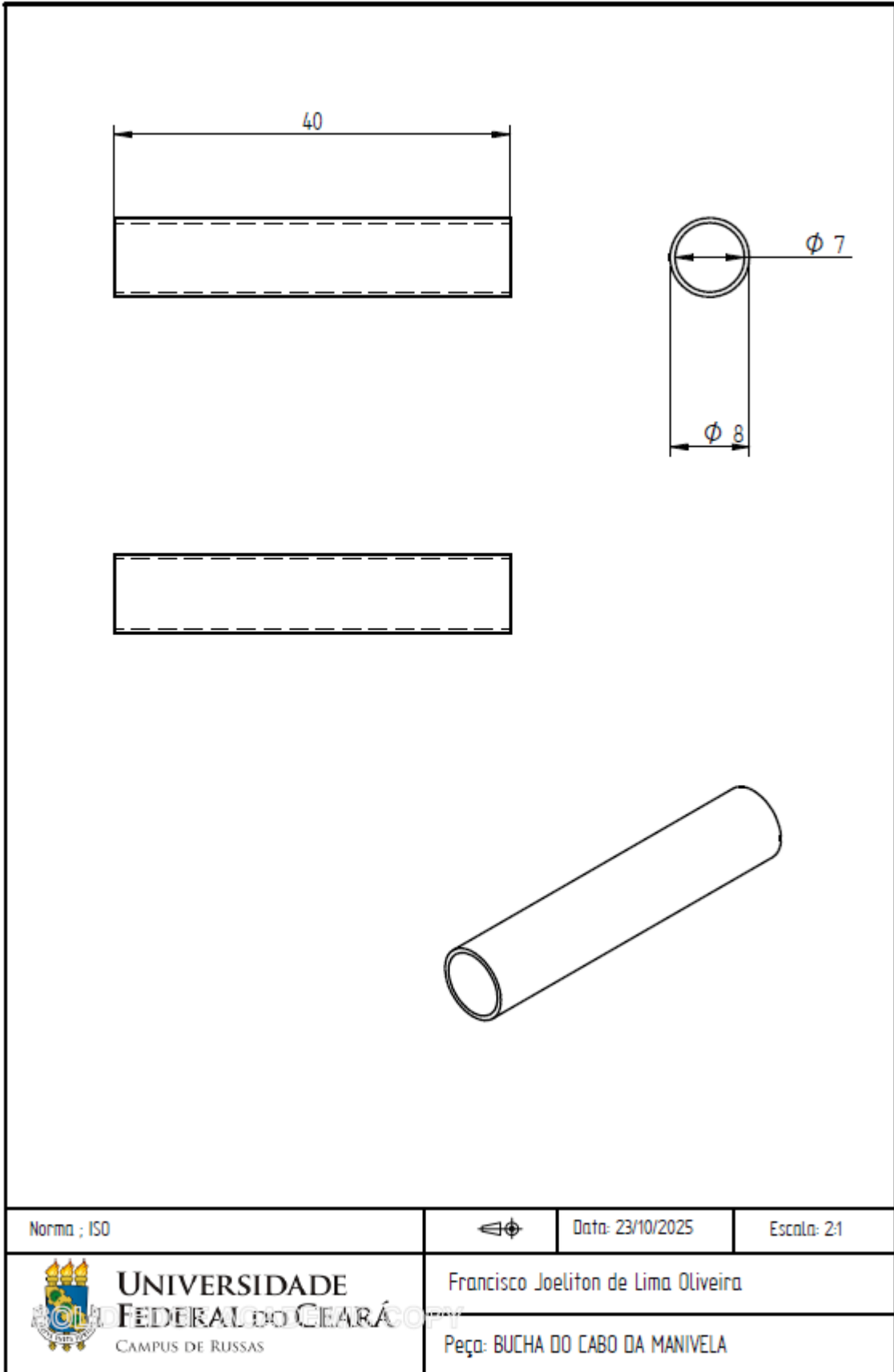


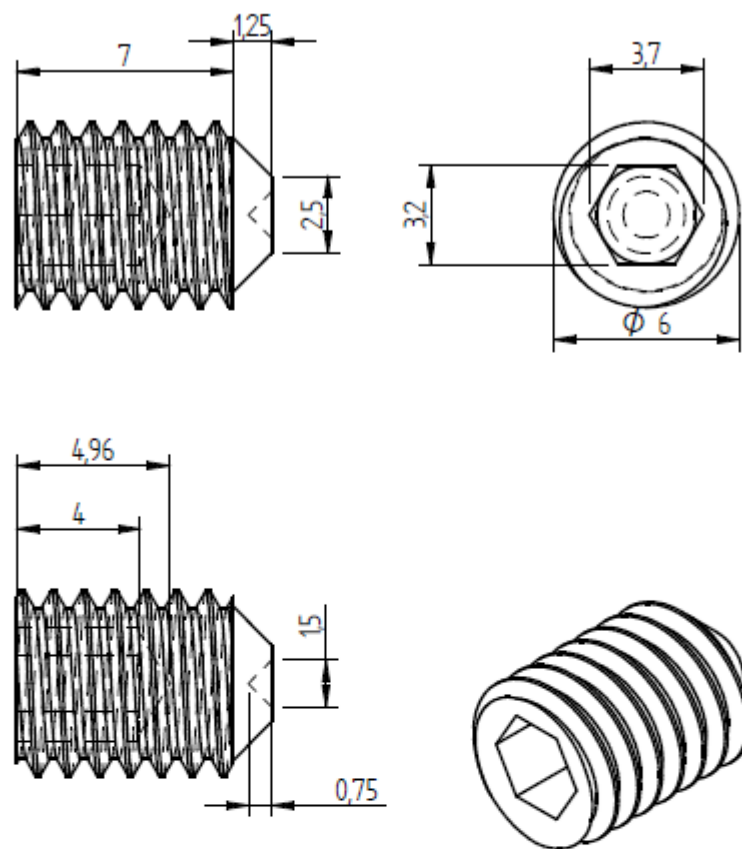
Norma : ISO		Data: 23/10/2025	Escala: 1 : 1
 UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CAMPUS DE RUSSAS	Francisco Joeliton de Lima Oliveira Peça: PARAFUSO ALEM M6 MANIVELA		





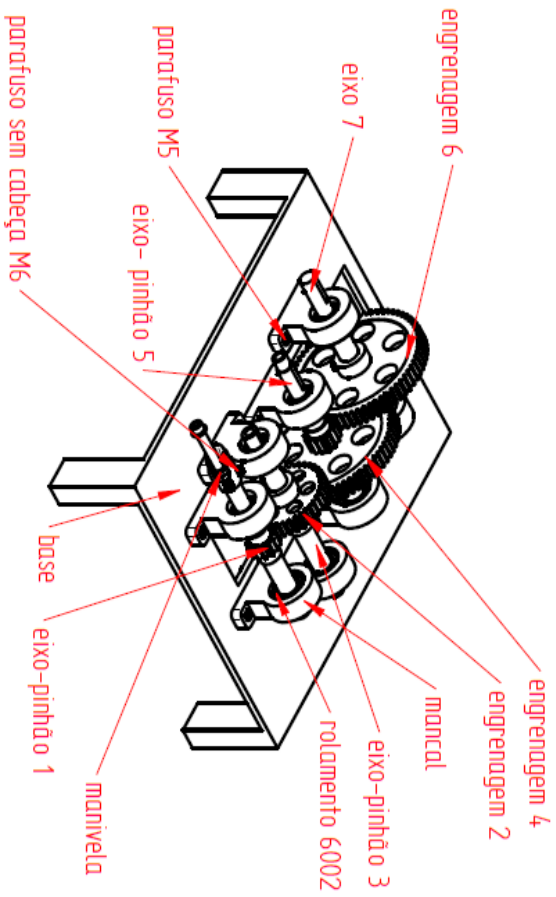
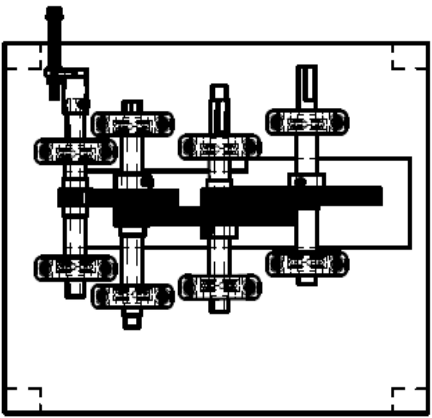
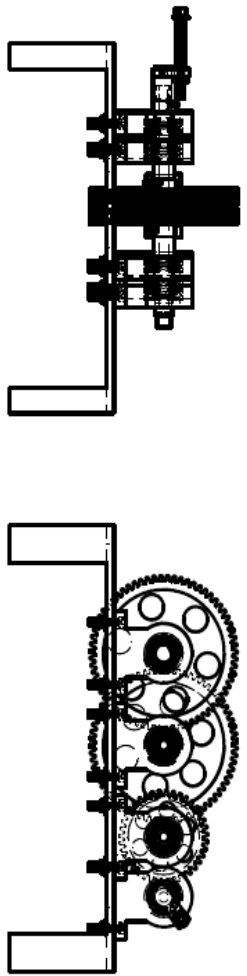




Norma : ISO		Data: 23/10/2025	Escala: 2 : 1
 UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CAMPUS DE RUSSAS	Francisco Joeliton de Lima Oliveira		
Peça: ARRUELA MANIVELA 7 MM			





Norma : ISO		Data- 23/10/2025	Escala: 5 : 1
 UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CAMPUS DE RUSSAS	Francisco Joeliton de Lima Oliveira Peça- PARAFUSO SEM CABEÇA M6		



 <p>UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CAMPUS DE RUSSAS</p>		<p>Francisco Joeliton de Lima Oliveira</p> <p>Peça: REDUTOR JA MONTADO</p>	
<p>Norma : ISO</p>			
		<p>Data: 26 / 02 / 2024</p>	<p>Escala: 1 : 5</p>

SOLID EDGE ACADEMY