

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

PAULO DA SILVA SANTOS JUNIOR

**PROJETO DA MOTORIZAÇÃO DE UM PULVERIZADOR COSTAL PARA
APLICAÇÃO EM PEQUENAS ÁREAS**

PATO BRANCO

2023

PAULO DA SILVA SANTOS JUNIOR

**PROJETO DA MOTORIZAÇÃO DE UM PULVERIZADOR COSTAL PARA
APLICAÇÃO EM PEQUENAS ÁREAS**

Motorization project of a backpack spray for application in small areas

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dr. Robson Gonçalves Trentin.

PATO BRANCO

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

PAULO DA SILVA SANTOS JUNIOR

**PROJETO DA MOTORIZAÇÃO DE UM PULVERIZADOR COSTAL PARA
APLICAÇÃO EM PEQUENAS ÁREAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Mecânica da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 23/junho/2023

Robson Gonçalves Trentin
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Paulo Cezar Adamczuk
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Sérgio Luiz Ribas Pessa
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**PATO BRANCO
2023**

Dedico este trabalho à minha mãe e ao meu falecido pai, que me deram o suporte necessário para chegar nesta etapa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os meus amigos que fizeram parte da minha caminhada até aqui, que me ajudaram a superar muitos obstáculos ao longo da graduação, em especial à Tatiane Cicoszki, por abdicar de noites de sono para me auxiliar no que precisei, sempre sem pedir nada em troca.

Gratidão por todos os professores da UTFPR que me ensinaram praticamente tudo o que sei e formaram este profissional de hoje, com menção honrosa ao meu orientador Prof. Dr. Robson Gonçalves Trentin, que não desistiu de mim e foi um dos grandes responsáveis por me fazer terminar o projeto.

Por fim, um agradecimento especial ao meu companheiro Jeová Rodrigues por me apoiar e incentivar sempre a não desistir e finalizar este trabalho.

Talento é mais barato que sal. O que separa a
pessoa talentosa da bem-sucedida é muito
trabalho duro (KING, Stephen, 1981).

RESUMO

Este trabalho traz uma solução técnica para uma necessidade apresentada por uma proprietária de uma área produtora de hortaliças localizada na cidade de Chopinzinho, Paraná, onde era preciso facilitar a pulverização de defensivos agrícolas nessa área. Discute a relevância do agronegócio brasileiro, bem como a importância da mecanização e ergonomia no trabalho rural. Apresenta os conceitos de plantação e cultivo de hortaliças. Discute as técnicas de pulverização e calibragem e regulagem de pulverizadores. Traz ainda o conceito de transmissão de potência por corrente. Apresenta os cálculos, o desenho e o projeto da motorização do pulverizador, com sistema de tracionamento por meio de motor elétrico como forma de suprir a necessidade encontrada naquela horta, adaptando uma carriola de mão já existente e utilizada para pulverizar a área. Tem-se como resultado do estudo, o sucesso na fabricação do sistema de tracionamento e na realização dos testes de campo do protótipo, trazendo todos os benefícios buscados inicialmente, como: menor esforço físico na tarefa de pulverização e regulagem da pulverização dos defensivos agrícolas.

Palavras-chave: Projeto mecânico; hortaliças; pulverização; motor elétrico.

ABSTRACT

This work brings a theoretical-practical solution to a need presented by an owner of a vegetable producing area located in the city of Chopinzinho, Paraná, where it was necessary to facilitate the spraying of pesticides in that area. Discuss the sanctuary of Brazilian agribusiness, as well as the importance of mechanization and ergonomics in rural work. Presents the concepts of planting and growing vegetables. Discuss spraying techniques and sprayer calibration and regulation. This work also brings the concept of power transmission by a chain. Presents the follow-up, the design, and the sprayer motorization project, with a traction system by means of an electric motor as a way to meet the need found in that garden, adapting an existing hand cart used to spray the area. As a result of the study, the success in manufacturing the traction system and carrying out the field tests of the prototype brought all the benefits sought initially, such: as less physical effort in the spraying task and regulation of the spraying of agricultural defensives.

Keywords: Mechanic project; vegetables; pulverization; electric motor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Atual modo de manuseio do pulverizador agrícola	16
Figura 2 - Foto do sistema de irrigação da alface	21
Figura 3 – Imagem pulverizador manual	23
Figura.4 – Imagem pulverizador elétrico	23
Figura 5 – Imagem pulverizador à combustível.....	24
Figura 6 - Foto do equipamento utilizado no experimento.....	25
Figura 7 - Estrutura de um motor de corrente contínua	28
Figura 8 - Funcionamento de um motor de corrente contínua simples	29
Figura 9 - Definição de duty-cycle	30
Figura 10 - Esquemático do circuito de acionamento do motor elétrico	30
Figura 11 - Nomenclatura de correntes de roletes	31
Figura 12 - Engrazamento de uma corrente e roda dentada	33
Figura 13 - Foto com detalhe para as engrenagens existentes no equipamento	39
Figura 14 - Diagrama de corpo livre de forças no pneu.....	40
Figura 15 - Coeficiente de resistência ao rolamento μ_r em função do diâmetro dos pneus para três tipos de solo	41
Figura 16 - Diagrama de corpo livre de forças.....	42
Figura 17 - Fotografia com detalhe para o mecanismo que movimenta o pistão do pulverizador.....	43
Figura 18 - Desenho técnico do motor CC utilizado	44
Figura 19 - Especificação técnica do motor CC utilizado	45
Figura 20 - Croqui do trem composto de redução	46
Figura 21 - Detalhamento eixo de transmissão	50
Figura 22 - Imagem 3D da montagem do sistema de redução	50
Figura 23 - Imagem 3D da montagem do motor com a engrenagem.....	51
Figura 24 - Imagem 3D isométrica do equipamento.....	54
Figura 25 - Imagem 3D do equipamento com especificação dos componentes.....	54
Figura 26 - Foto de montagem do protótipo	58
Figura 27 - Foto de montagem do protótipo com detalhe para a redução	59
Figura 28 - Tabela com as características dos bicos de pulverização da marca Jacto.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de pontas Jacto	27
Tabela 2 - Representação da tabela de dimensões de correntes de roletes padronizadas americanas – fileira única.....	32
Tabela 3 - Fatores de correção de dente, K_1	35
Tabela 4 - Fatores de fileiras múltiplas, K_2	36
Tabela 5 - Capacidade designada de corrente de roletes de fileira única, passo único para uma roda dentada de 17 dentes.....	36
Tabela 6 – Medições realizadas no terreno.....	39
Tabela 7 - Velocidades linear e angular calculadas	40
Tabela 8 - Representação da tabela de dimensões de correntes de rolos Norma ISO	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição dos componentes fabricados para o projeto	55
---	-----------

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo Principal.....	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
1.2	Justificativa	15
1.3	Estrutura do trabalho	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	História do agronegócio brasileiro	18
2.2	Cultivo de hortaliças	18
2.2.1	Clima e época de plantio	18
2.2.2	Modos de plantio e escolha do local.....	19
2.2.3	Preparo do terreno	19
2.2.4	Espaçamento	20
2.2.5	Irrigações.....	20
2.2.6	Controle fitossanitário.....	21
2.3	Pulverizadores agrícolas	22
2.3.1	Tipos de pulverizadores	22
2.3.2	Calibração e regulagem de aplicação de defensivos agrícolas.....	25
2.4	Motores elétricos	27
2.4.1	Tipos de motores.....	27
2.4.2	Acionamento do motor de tração do equipamento	29
2.5	Sistema de transmissão por corrente	31
2.5.1	Razão de transmissão e velocidade da corrente.....	31
2.5.2	Potência admissível na corrente.....	34
2.5.3	Comprimento da corrente	37
3	MATERIAIS E MÉTODOS	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1	Medições e estimativas	39
4.2	Demanda de potência	40
4.2.1	Velocidades lineares e angulares.....	40
4.2.2	Cálculo do torque no pneu	40
4.2.3	Cálculo do torque devido ao pistão do pulverizador	42
4.3	Razão de transmissão	44

4.4	Cálculo da corrente de roletes	46
4.5	Dimensionamento do eixo de transmissão.....	49
4.6	Inserção da engrenagem no eixo do motor	50
4.7	Modelagem do protótipo.....	53
4.8	Fabricação dos componentes	54
5	FABRICAÇÃO E TESTES	58
5.1	Montagem e teste do protótipo	58
6	CONCLUSÃO	63
	REFERÊNCIAS.....	64
	APÊNDICE A - Memorial de cálculos.....	67
	APÊNDICE B - Desenhos técnicos	80

1 INTRODUÇÃO

O agronegócio é um dos setores mais importantes e que mais impulsiona a economia brasileira. Em 2022, o PIB do agronegócio brasileiro, calculado pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea) em parceria com a Confederação da Agricultura do Brasil (CNA), alcançou 24,8% de participação no PIB brasileiro (Cepea, 2023).

Nesse âmbito, o segmento de hortaliças ainda é pouco participativo e significativo no mercado mundial, além de ser restrito a uma variedade limitada de espécies. Segundo Vilarino (2017), em 2016 o trabalho de cultivo se concentrou nas cadeias de produção de alface, tomate, batata, alho, cenoura, beterraba, abóbora, cebola, abobrinha, pimentão, couve-flor e coentro, que corresponderam a 65% da área plantada de hortaliças em todo o país, gerando um PIB de R\$ 18,63 bilhões, enquanto o PIB do agronegócio brasileiro como um todo somou cerca de R\$ 6,3 trilhões.

A maioria da produção de hortaliças está concentrada em propriedades familiares, sendo muito utilizado o trabalho manual, exigindo uma elevada quantidade de mão-de-obra (Melo e Vilela, 2007).

A mecanização de equipamentos de pequeno porte que se adequem às condições físicas do operador é de extrema importância, principalmente no setor olerícola, onde são predominantes as pequenas áreas de cultivo intensivo e que dependem desse tipo de equipamento.

Aspectos ergonômicos estão sempre relacionados quando se fala na relação homem-máquina. Em horticultura, as máquinas de tração humana são as mais utilizadas, o que leva ao desgaste físico e conseqüente diminuição da capacidade de trabalho e produção do operador (FRANCO; ROCHA; MAROUELLI WALDIR, 1991, v. 15, n. 169, p. 10-12).

Tendo isso em vista, o desenvolvimento de adaptações de máquinas de tração humana para tração mecânica, por exemplo, se faz necessário para que o operador tenha melhor rendimento e ao mesmo tempo sua saúde preservada.

Um dos processos muito importantes no cultivo de hortaliças é a utilização de defensivos agrícolas para combater pragas, insetos e doenças, que é realizado principalmente por meio de pulverizadores que fazem a distribuição de produtos agroquímicos, nutrientes ou fertilizantes, garantindo a quantidade correta e

nos locais desejados. Essa aplicação precisa de defensivos é essencial para a segurança ambiental, humana e social, além de trazer resultados econômicos positivos (Azevedo e Freire, 2006).

Esses pulverizadores podem ser classificados quanto ao tipo de acionamento: manual, elétrico ou combustível. No caso da horta objeto desse trabalho, é utilizado o tipo manual costal. Como o próprio nome sugere, é carregado nas costas e é preciso acionar manualmente o equipamento a cada jato, com um reservatório com capacidade de 20 litros.

No presente trabalho foi projetada a motorização de um equipamento de pulverização com as adaptações necessárias que viabilize a aplicação de defensivos agrícolas no cultivo de hortaliças de maneira otimizada e que diminua a carga suportada pelo operador respeitando suas limitações físicas.

1.1 Objetivos

Neste item serão abordados o objetivo principal e os objetivos específicos do trabalho.

1.1.1 Objetivo Principal

O objetivo principal desse trabalho é projetar o sistema de tracionamento elétrico de um equipamento para a pulverização de defensivos agrícolas em plantações de hortaliças.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo principal os seguintes objetivos específicos devem ser alcançados:

- Definição dos requisitos de projeto;
- Definir um motor elétrico para acionamento do sistema de tração;
- Dimensionamento do circuito elétrico para controle de rotação do motor;
- Definir o sistema de pulverização;
- Dimensionamento do sistema motriz do equipamento;
- Projeto do sistema de transmissão;
- Calibração do pulverizador;

- Construção e teste do protótipo.

1.2 Justificativa

A ergonomia estuda a interação entre seres humanos e máquinas e como isso afeta a saúde do trabalhador.

Alguns dos riscos à saúde associados ao trabalho no campo por agentes ergonômicos são causados por: posturas inadequadas e carregamento de peso, posturas forçadas, repetitividade, flexão/rotação do tronco (Martins e Ferreira, 2015).

Geralmente a má postura e carregamento de peso estão relacionados com a atividade de pulverização e podem ocasionar em diversas doenças, como: dor nas costas, LER/DORT, tenossinovite e problemas na coluna (Health&care, 2018).

Um estudo da Organização Internacional do Trabalho (OIT) mostra que o trabalho rural está entre as atividades de maior periculosidade existentes e estima que milhões de agricultores tenham a saúde seriamente afetada (Martins e Ferreira, 2015).

Nesse contexto, é válido analisar como é realizada a pulverização de uma área destinada ao cultivo de hortaliças, em que o trabalho é feito de forma manual, no que tange ao prejuízo que isso causa a saúde do operador e o que pode ser feito para minimizar ao máximo essa condição.

No que diz respeito ao modo de se aplicar um defensivo agrícola, deve-se procurar regular a quantidade de calda expelida pelo pulverizador para cada situação, de modo a não gerar desperdício e não prejudicar o desenvolvimento da planta.

Pesquisas chegam a mostrar perdas de até 12% em produtividade, devido à aplicação de defensivos agrícolas malfeita (Silva, 2017).

Um estudo do Instituto Emater mostra que 46% das aplicações desses defensivos são desperdiçadas por erros cometidos pelo próprio agricultor (Cordeiro, 2016).

A lavoura onde se aplica o projeto desenvolvido aqui é de propriedade familiar e de pequeno porte, onde o trabalho de pulverização é realizado com um pulverizador manual costal, com capacidade para 20 litros adaptado em uma carriola de mão de tração humana, como na Figura 1, gerando um desgaste físico com o

esforço demandado na tarefa, além de não possuir uma regulagem do volume necessário ao plantio.

A Figura 1 mostra um movimento de puxar a carriola, mas devido as limitações físicas da operadora, ela o utiliza empurrando, que lhe gera menos desconforto.

Figura 1 - Atual modo de manuseio do pulverizador agrícola



Fonte: Ruralban.com (2022).

A aplicação desses defensivos é feita periodicamente, em geral a cada 15 dias em toda a extensão da área cultivada, sendo esta, apenas uma das tarefas necessárias para o bom manejo da plantação. Todos os trabalhos são realizados por um único operador.

Esse projeto tem como objetivo viabilizar a motorização desse equipamento por meio de uma adaptação mecanizada, reduzindo o desconforto e prejuízo a saúde do operador. Com isso também, otimizar o tempo e a quantidade de calda necessária para o cultivo.

O projeto também tem como principal função ser de menor custo possível para o proprietário, já que a área cultivada não é grande o suficiente para justificar um investimento em equipamentos de maior porte existentes no mercado atualmente.

1.3 Estrutura do trabalho

O Capítulo 1 introduz o presente trabalho, fazendo um apanhado geral da situação do agronegócio brasileiro. A Seção 1.1 expõe o objetivo principal e os objetivos específicos. A Seção 1.2 traz as justificativas que estimularam a realização deste projeto.

No capítulo 2 apresenta-se a revisão bibliográfica evidenciando o panorama geral dos fundamentos necessários para a realização do projeto e construção do protótipo. Na Seção 2.1 têm-se um resumo da história do agronegócio no Brasil e como ele foi e ainda é muito importante para a economia do país. Já a Seção 2.2 traz um apanhado de informações para se realizar o cultivo de hortaliças, priorizando o plantio da alface e do tomate. A Seção 2.3 detalha a forma de aplicação e a regulação do volume de defensivos agrícolas no sistema de pulverização. A Seção 2.4 apresenta alguns tipos de motores elétricos existentes no mercado e o motor selecionado para este projeto, além de detalhar o sistema de acionamento do mesmo. Uma revisão dos cálculos para dimensionamento de um sistema de transmissão por corrente está exposta na Seção 2.5.

O capítulo 3 descreve os materiais e métodos utilizados para a motorização do equipamento, bem como detalhar o circuito de acionamento do motor de tração, além de apresentar os métodos usados para o cálculo e dimensionamento dos sistemas de transmissão.

Uma discussão acerca dos resultados do trabalho, encontra-se no capítulo 4.

O capítulo 5 traz detalhes da montagem e testes realizados com o protótipo.

No capítulo 6, são apresentadas as conclusões inferidas do presente trabalho.

No Apêndice A, estão contidos o memorial de cálculos necessários, bem como catálogos e tabelas utilizados como referência, para a efetiva execução do projeto.

Por fim, no Apêndice B, estão relacionados os desenhos técnicos das peças fabricadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 História do agronegócio brasileiro

O agronegócio é definido da seguinte forma:

O agronegócio – eventualmente denominado por agribusiness – é um termo utilizado para fazer referência ao contexto socioespacial da produção agropecuária, incluindo todos os serviços, técnicas e equipamentos a ela relacionados, direta ou indiretamente (PENA, 2018).

O agronegócio brasileiro tem início no século XVI com a colonização americana. A extração do pau-brasil é a primeira atividade econômica do país e dura até o início da implantação da lavoura canavieira, que se estendeu até meados do século XVIII. O crescimento econômico brasileiro está diretamente ligado a esses ciclos agroindustriais e outros, como: a borracha; o café; e a soja (RENAI, 2007).

Como resultado da produção agropecuária, surgem, a partir do século XIX, as agroindústrias, que são responsáveis por processar e transformar a matéria-prima.

Com o desenvolvimento da Ciência e Tecnologia, principalmente entre as décadas de 1970 e 1990, a agropecuária se expande por todo o país, proporcionando um grande aumento dos produtos ofertados. Assim, o Brasil começa a se destacar no cenário mundial do agronegócio (VILARINHO, 2006).

Atualmente, o agronegócio é um dos maiores negócios brasileiro, representando cerca de 24,8% do Produto Interno Bruto (PIB) do país em 2022 (CEPEA, 2023).

2.2 Cultivo de hortaliças

Será apresentado a seguir, um resumo do processo produtivo de hortaliças em sistema não-orgânico, dando prioridade ao cultivo de alface e tomate, pois são os tipos plantados na área onde se aplica o projeto objeto de estudo deste trabalho e que são classificadas como hortaliça folhosa e hortaliça fruto, respectivamente.

2.2.1 Clima e época de plantio

O plantio de hortaliças, de modo geral, é prejudicado pelas altas ou baixas temperaturas, preferindo climas mais amenos, com algumas exceções. O

excesso de chuvas e umidade são outros fatores que influenciam negativamente seu desenvolvimento.

As hortaliças folhosas têm maior produtividade com temperaturas entre 15 e 23°C, enquanto as hortaliças frutos se saem melhor entre 18 e 25°C.

No Brasil existe uma grande diversidade climática. Cada região se difere da outra quanto a época e tipo de plantação mais viável para se obter a maior produtividade (Makishima, 1993).

Na região Sul, onde está instalada a horta estudada, o verão é quente, o inverno rigoroso e chove durante quase todo o ano. Já no outono e primavera prevalece temperaturas mais amenas, que são mais favoráveis ao plantio de hortaliças.

2.2.2 Modos de plantio e escolha do local

Existem vários tipos de modos de plantio de hortaliças. No caso da alface e do tomate, o sistema utilizado é o de semeadura indireta, que é quando a muda é produzida em semeadeira e depois realizado o transplântio. As mudas de hortaliças recebem cuidados especiais enquanto estão nas sementeiras, onde a semeadura é adensada e feita no próprio canteiro, antes de serem transplantadas.

Esse transplântio ocorre, geralmente, por volta de 25 a 35 dias após o semeio, pois é quando as folhas atingem uma quantidade de 4 a 6 folhas definitivas e altura de 8 a 10 cm (AMARO et al. 2007). A escolha da semente deve ser bem criteriosa, adquirindo apenas aquelas que são livres de doenças e pragas, além de possuírem uma boa genética (Patro, 2018).

Segundo Amaro et al. (2007), o local deve cumprir alguns requisitos para o bom plantio das hortaliças, como: solo plano ou levemente inclinado; profundo; de textura média (areno-argiloso ou argilo-arenoso); arejado; boa drenagem, porém com uma razoável capacidade de retenção de água; e rico em matéria orgânica. O local também deve ser ensolarado e possuir uma fonte de água próxima e de qualidade.

2.2.3 Preparo do terreno

Primeiro é realizada a limpeza geral do terreno, retirando pedaços de pedra, madeira, mato, entre outros obstáculos presentes. Em resumo, é realizada

uma análise criteriosa de fertilidade do solo por um profissional. A calagem e adubação do solo é feita em função dos resultados obtidos das amostras coletadas (AMARO et al. 2007).

A calagem é a correção química do solo por meio de aplicação de calcário, servindo para reduzir a acidez do solo, através do aumento do seu pH, pois a maioria das hortaliças preferem um pH entre 6,0 e 6,5. Esse procedimento deve acontecer preferencialmente 90 dias antes do plantio. Já a adubação orgânica é necessária para suprir a carência de nutrientes do solo, facilitando a aeração, a absorção de água e a conservação de umidade; e é feita próximo ao momento do plantio, quando também são preparados os canteiros (AMARO et al. 2007).

Os canteiros são os locais onde são transplantadas as mudas de semeadura indireta ou onde são plantadas as de semeadura direta e devem ter de 15 a 20 cm de altura e 1 m de largura, para que seja possível alcançar com o braço o seu centro. O espaçamento entre eles varia de 30 a 40 cm, de modo a permitir o trânsito de pessoas e/ou equipamentos (AMARO et al. 2007).

2.2.4 Espaçamento

Cada hortaliça tem um espaçamento adequado entre linhas de plantação e entre plantas na linha, para obtenção do melhor resultado possível, atendendo aos padrões exigidos.

Segundo Makishima (1993), a alface deve ser plantada no espaçamento de 30 x 30 cm e o tomate no espaçamento de 1 m entre as linhas e de 50 a 70 cm entre as plantas.

2.2.5 Irrigações

As hortaliças geralmente requerem irrigações diárias, mas a frequência de aplicação depende da espécie, das condições climáticas, do tipo de solo, da fase de desenvolvimento da planta e do tipo de irrigação. Portanto, é essencial conhecer a resposta da cultura à todas essas variáveis para possibilitar o manejo adequado da irrigação (ANDRADE; DUARTE; QUEIROZ RIBEIRO, 1992).

De modo geral, recomenda-se que sejam feitas irrigações diárias em hortaliças folhosas; sendo essa irrigação a cada 2 ou 3 dias no caso das hortaliças fruto. Também é indispensável a irrigação lenta, de modo a não causar escorrimento

superficial da água, de 3 a 5 litros de água por cova e de 4 a 10 litros por metro quadrado de canteiro. Na área plantada aqui estudada, o sistema utilizado para executar essa tarefa é por meio de uma mangueira furada que percorre toda a extensão dos canteiros, ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Foto do sistema de irrigação da alface



Fonte: Autor (2019).

Para que haja uma irrigação eficiente, é necessário seguir algumas instruções básicas. No estágio inicial do ciclo de plantio fazem-se irrigações mais frequentes e em menor volume; já do meio para o final do ciclo é interessante que se façam irrigações com menor frequência e maior volume. Também é fundamental mencionar que em dias mais ensolarados e quentes, esse procedimento deve ser executado com uma maior frequência. Entretanto, como mencionado anteriormente, seria preferível um estudo mais aprofundado das variáveis que afetam nesse procedimento (AMARO et al. 2007).

2.2.6 Controle fitossanitário

O cultivo de qualquer planta está suscetível a doenças, e no caso das hortaliças não é diferente, por isso se faz necessário um cuidado especial para evitar e combatê-las por meio de um bom controle fitossanitário.

Os principais agentes causadores de tais problemas são fungos, bactérias, vírus e nematoides.

Manejo adequado de adubações, controle de irrigações, uso de cultivares resistentes, cuidado na eliminação de cultivares contaminados, rotação de culturas, escolha de sementes certificadas e planejamento das épocas de plantio que sejam favoráveis às hortaliças são algumas técnicas essenciais para manter a plantação livre de doenças.

Aqui entra o uso de defensivos agrícolas como opção de controle fitossanitário, com aplicação de fungicidas para tratamento de doenças e inseticidas para eliminação de pragas.

A aplicação deve sempre ser feita por um profissional qualificado, com a devida utilização dos equipamentos de proteção individual (EPI's) (AMARO et al. 2007).

2.3 Pulverizadores agrícolas

O ato de distribuir uma substância líquida em pequenas partículas chama-se pulverização. Na agricultura, é geralmente utilizada para aplicar defensivos agroquímicos, fertilizantes ou nutrientes, podendo ser realizada por terra ou via aérea, sendo que esta última é mais comum em grandes propriedades (JACTO, 2021).

Normalmente utiliza-se uma mistura chamada calda, que consiste em diluir os produtos comprados em água, pois geralmente são vendidos concentrados.

Dessa maneira, o pulverizador é um equipamento que tem a função de garantir a distribuição do produto na quantidade necessária e nos locais desejados, atuando, assim, no auxílio ao combate de pragas, insetos e doenças (JACTO, 2021).

2.3.1 Tipos de pulverizadores

Os pulverizadores podem ser classificados de acordo com o acionamento do equipamento, podendo ser manual, elétrico ou à combustão, como exemplificam as Figura 3, Figura.4 e Figura 5, respectivamente.

Figura 3 – Imagem pulverizador manual



Fonte: leroymerlin.com.br (2022).

Figura.4 – Imagem pulverizador elétrico



Fonte: canalagricola.com.br (2022).

Figura 5 – Imagem pulverizador à combustível



Fonte: mercadolivre.com.br (2022)

Também podem ser classificados no que diz respeito à sua configuração e ao tipo de máquina utilizada para movimentá-lo.

Alguns tipos são: Costal; Pistola; De Barra e Atomizadores.

O tipo Costal, como sugere o nome, é geralmente carregado nas costas e composto por um reservatório com alças, podendo ter o acionamento manual, elétrico ou a combustível.

Já o tipo Pistola é normalmente utilizado com ar comprimido e podem ser acionados de forma manual ou elétrica.

O pulverizador de barra consiste de uma barra com múltiplas pontas de pulverização, que geralmente são montadas em um trator.

Quando se quer atingir longas distâncias de pulverização, o mais indicado é o Atomizador, pois com ele o produto é pulverizado por força de uma corrente de ar de grande velocidade (JACTO, 2021).

Como dito anteriormente, neste trabalho foi realizado a motorização de um pulverizador manual costal, que por sua vez, está adaptado à uma carriola de mão de tração humana. A Figura 6 mostra o equipamento mencionado.

Figura 6 - Foto do equipamento utilizado no experimento



Fonte: Autor (2023).

2.3.2 Calibração e regulagem de aplicação de defensivos agrícolas

Para uma maior eficiência na aplicação de defensivos agrícolas, é necessário realizar a calibração e regulagem do equipamento. Segundo Cordeiro, Coutinho e Motta, deve-se seguir o seguinte roteiro:

- 1º Passo: É preciso definir a taxa de aplicação (Q) que é normalmente dada pelo fabricante do defensivo em litros por hectare ($L \cdot ha^{-1}$).
- 2º Passo: Calcular a velocidade de deslocamento do pulverizador. Isto é feito cronometrando o tempo necessário (t) para percorrer uma certa distância predeterminada (d). É recomendado que o experimento seja realizado percorrendo uma distância de 50 metros. Assim, calcula-se a velocidade em km/h:

$$V = \frac{d}{t} \quad (2.1)$$

- 3º Passo: Através da seguinte fórmula, calcular a vazão necessária na ponta do bico:

$$q = \frac{QVE}{60000} \quad (2.2)$$

Onde,

q = vazão necessária da ponta [L/min];

Q = taxa de aplicação desejada [L/ha];

V = velocidade de deslocamento do pulverizador [km/h];

E = espaçamento entre os bicos [cm].

Tendo calculado a vazão necessária da ponta (q), é possível realizar a calibração do pulverizador, da seguinte forma:

- 1º Passo: É necessário ajustar a velocidade de aplicação como calculada anteriormente.
- 2º Passo: Com um copo graduado, coletar o volume de saída de água em um minuto em, no mínimo, 6 pontas.
- 3º Passo: Descobrir a taxa de aplicação utilizando a equação (2).
- 4º Passo: Verificar se a vazão média dessas pontas e a taxa de aplicação não está variando mais ou menos 5% da calculada na regulagem.

Caso ocorra essa variação, é necessário fazer alguns ajustes na pressão ou velocidade de trabalho da máquina. Também é preciso verificar se o tipo de ponta instalado é o ideal para a vazão e pressão de trabalho. Essas informações são obtidas através do uso de informações dos fabricantes de pontas de pulverização. Na Tabela 1 temos, como exemplo, a representação de uma tabela de pontas da Jacto.

Tabela 1 – Tabela de pontas Jacto

Bico Boquilla Nozzle	Malha Malla Mesh	lbf/po ² lbf/pu ² psi	L/min	DMV VMD	km/h													
					5	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	25	30	35
					l/ha													
JHS 110015 Cód - P/N 1.199.145	100	20	0,42	F	101	72	63	56	50	46	42	36	32	28	25	20	17	14
		30	0,49	F	118	84	74	65	59	53	49	42	37	33	29	24	20	17
		45	0,60	F	144	103	90	80	72	65	60	51	45	40	36	29	24	21
		60	0,69	F	166	118	104	92	83	75	69	59	52	46	41	33	28	24
JHS 11002 Cód - P/N 1.199.146	100	20	0,57	F	137	98	86	76	68	62	57	49	43	38	34	27	23	20
		30	0,66	F	158	113	99	88	79	72	66	57	50	44	40	32	26	23
		45	0,80	F	192	137	120	107	96	87	80	69	60	53	48	38	32	27
		60	0,91	F	218	156	137	121	109	99	91	78	68	61	55	44	36	31
JHS 110025 Cód - P/N 1.199.147	50	20	0,71	F	170	122	107	95	85	77	71	61	53	47	43	34	28	24
		30	0,82	F	197	141	123	109	98	89	82	70	62	55	49	39	33	28
		45	1,00	F	240	171	150	133	120	109	100	86	75	67	60	48	40	34
		60	1,15	F	276	197	173	153	138	125	115	99	86	77	69	55	46	39
JHS 11003 Cód - P/N 1.199.148	50	20	0,85	M	204	146	128	113	102	93	85	73	64	57	51	41	34	29
		30	0,98	M	235	168	147	131	118	107	98	84	74	65	59	47	39	34
		45	1,20	M	288	206	180	160	144	131	120	103	90	80	72	58	48	41
		60	1,39	F	334	238	209	185	167	152	139	119	104	93	83	67	56	48
JHS 11004 Cód - P/N 1.199.149	50	20	1,13	M	271	194	170	151	136	123	113	97	85	75	68	54	45	39
		30	1,31	M	314	225	197	175	157	143	131	112	98	87	79	63	52	45
		45	1,60	M	384	274	240	213	192	175	160	137	120	107	96	77	64	55
		60	1,85	M	444	317	278	247	222	202	185	159	139	123	111	89	74	63

Fonte: Adaptado do catálogo de bicos Jacto (2023).

2.4 Motores elétricos

Um motor elétrico tem o princípio de funcionamento baseado na indução eletromagnética. Aplicando-se uma tensão em seus terminais, ocorre a criação de um campo eletromagnético que é capaz de fazer seu rotor girar.

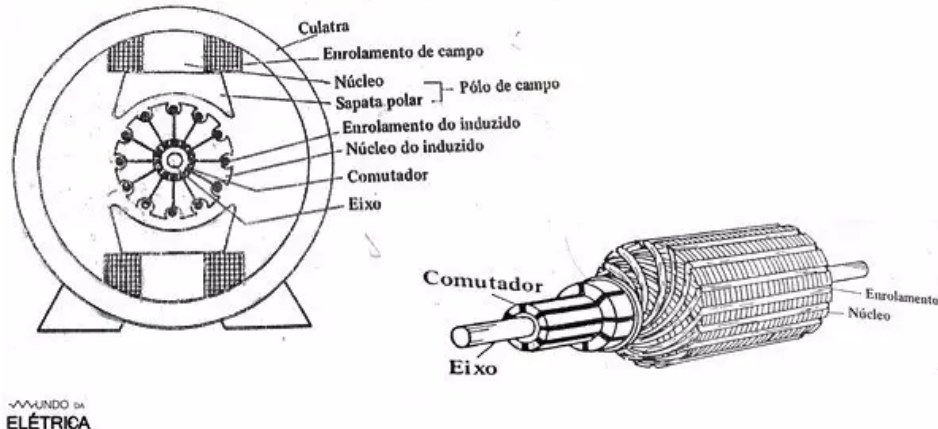
Os motores são constituídos basicamente de um estator e um rotor. O estator é parte estacionária que é responsável por conduzir o fluxo magnético, que possibilita o giro do rotor (CRAVO, 2018).

2.4.1 Tipos de motores

Os principais tipos de motores são: monofásico; trifásico; síncrono; de corrente contínua; de passo; servo motor; *brushless*. A seguir será explicado um pouco mais sobre o funcionamento e as características do motor de corrente contínua, pois foi o tipo de motor escolhido para realização do experimento.

O motor de corrente contínua (CC) é uma máquina que funciona tanto como motor quanto como gerador de energia elétrica e como o nome sugere, é acionado por uma corrente contínua.

Figura 7 - Estrutura de um motor de corrente contínua

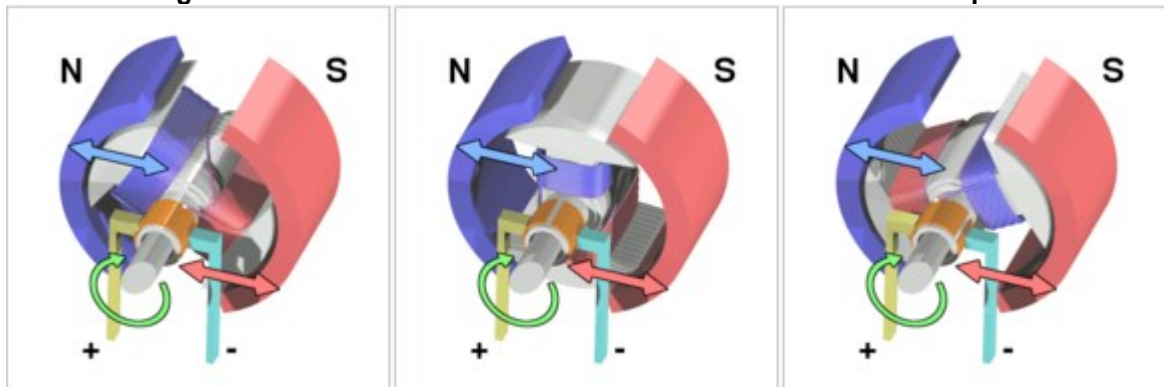


Fonte: mundodaeletrica.com.br (2022).

Como representado na Figura 7, o motor CC é constituído basicamente pelo enrolamento de armadura, enrolamento de campo, comutadores e escovas (MATTEDE).

O enrolamento de armadura se localiza no rotor e é responsável pelo por produzir o torque elétrico que o movimenta. O enrolamento de campo é o estator, onde é formado os polos magnéticos norte e sul, criando assim, um campo de excitação. O comutador funciona de maneira a manter a corrente circulando no mesmo sentido da armadura, ou seja, quando o rotor está alinhado de forma que não está produzindo torque, ele inverte a direção da corrente através da bobina, invertendo o campo magnético, como ilustrado na Figura 8. Já as escovas são encarregadas de possibilitar o contato do rotor para que se possa injetar energia elétrica no enrolamento e geralmente são feitas de carvão (MATTEDE).

Figura 8 - Funcionamento de um motor de corrente contínua simples



Fonte: mundodaeletrica.com.br (2022).

Principais vantagens do motor CC:

- Controle de velocidade para uma ampla faixa de valores abaixo e acima do valor nominal;
- É possível, de forma rápida, acelerar, frear e reverter o sentido de giro;
- Possibilidade de variar sua velocidade mantendo seu torque constante;
- Possui um alto conjugado de partida.

Principais desvantagens:

- Exceto para os motores *brushless*, precisa de uma maior manutenção devido aos desgastes das escovas com o comutador;
- Não podem atuar em ambientes explosivos, por conta da centelha gerada entre suas escovas e o comutador, com exceção dos motores *brushless*;
- Geralmente são mais caros e maiores se comparados aos motores de corrente alternada de mesma potência.

2.4.2 Acionamento do motor de tração do equipamento

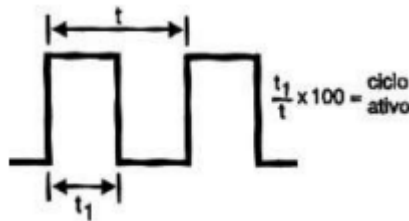
Em razão da escolha por um motor elétrico, foi necessário desenvolver um circuito de controle de potência para o acionamento desse motor. Esse circuito também deveria contar com um controle de velocidade, já que será preciso regular a velocidade do equipamento, que está diretamente ligada à vazão de pulverização.

Visando o melhor rendimento do sistema, foi utilizada a técnica do *PWM* – *Pulse Width Modulation*, que na tradução para o português é a modulação por

largura de pulso. É uma técnica que utiliza de pulsos para gerar um nível de tensão média. Seu funcionamento se baseia em variar a largura de pulso de uma onda quadrada, chamado de *duty-cycle*, que é a proporção entre o período e a largura de pulso, definida em porcentagem (BLOGLIETTI et al., 1993).

Na Figura 9, pode-se observar como é definido este valor de tensão média. Esta proporção entre t_1 e t pode variar de 0%, com tensão 0V, sendo um sinal totalmente desligado e 100%, com tensão máxima, sendo um sinal sempre ligado. A grande vantagem dessa técnica, é a possibilidade de variar a quantidade de potência entregue à carga, variando essa largura de pulso da onda, obtendo assim, uma maior eficiência, por meio de uma menor perda de energia.

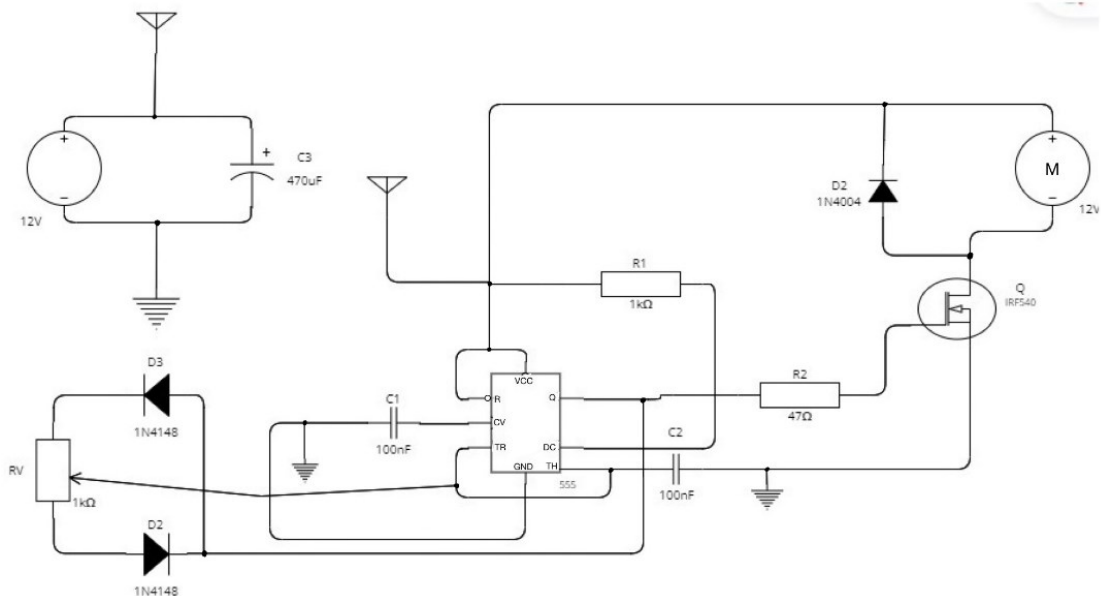
Figura 9 - Definição de duty-cycle



Fonte: BRAGA, 2003.

A Figura 10 mostra o esquemático do circuito utilizado para o acionamento e controle de velocidade do motor.

Figura 10 - Esquemático do circuito de acionamento do motor elétrico



Fonte: Autor (2023).

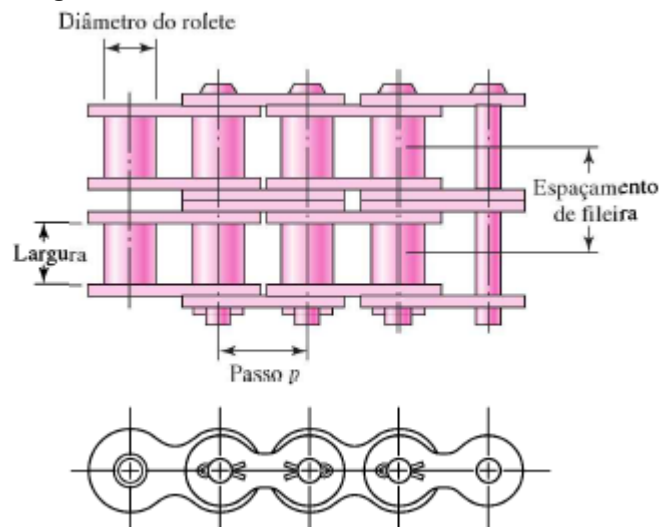
2.5 Sistema de transmissão por corrente

2.5.1 Razão de transmissão e velocidade da corrente

As principais características de transmissão por corrente, são: razão constante; vida longa; acionamento de vários eixos com uma única fonte de potência.

Para este projeto foi utilizado corrente de roletes que são padronizadas de acordo com a norma ISO. A nomenclatura pode ser vista na Figura 11.

Figura 11 - Nomenclatura de correntes de roletes



Fonte: BUDYNAS E NISBETT (2011).

O passo é a distância linear entre o centro dos roletes. A largura é o espaço entre as placas internas de elo. São fabricadas em uma, duas, três ou quatro fileiras. Para este projeto foi utilizada de uma fileira (BUDYNAS e NISBETT, 2011).

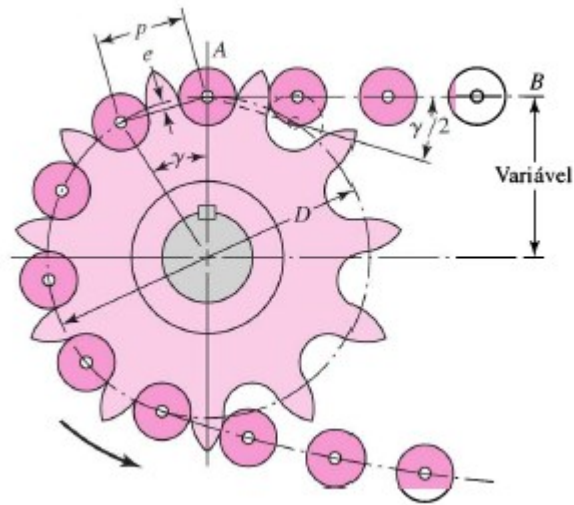
Na Tabela 2 estão listados os tamanhos padronizados.

Tabela 2 - Representação da tabela de dimensões de correntes de roletes padronizadas americanas – fileira única

Número de corrente ANSI	Passo, in (mm)	Largura, in (mm)	Resistência de tração mínima, lbf (N)	Peso médio, lbf/ft (N/m)	Diâmetro do rolete, in (mm)	Espaçamento de fileira dupla, in (mm)
25	0,250 {6,35}	0,125 {3,18}	780 {3 470}	0,09 {1,31}	0,130 {3,30}	0,252 {6,40}
35	0,375 {9,52}	0,188 {4,76}	1 760 {7 830}	0,21 {3,06}	0,200 {5,08}	0,399 {10,13}
41	0,500 {12,70}	0,25 {6,35}	1 500 {6 670}	0,25 {3,65}	0,306 {7,77}	— —
40	0,500 {12,70}	0,312 {7,94}	3 130 {13 920}	0,42 {6,13}	0,312 {7,92}	0,566 {14,38}
50	0,625 {15,88}	0,375 {9,52}	4 880 {21 700}	0,69 {10,1}	0,400 {10,16}	0,713 {18,11}
60	0,750 {19,05}	0,500 {12,7}	7 030 {31 300}	1,00 {14,6}	0,469 {11,91}	0,897 {22,78}
80	1,000 {25,40}	0,625 {15,88}	12 500 {55 600}	1,71 {25,0}	0,625 {15,87}	1,153 {29,29}
100	1,250 {31,75}	0,750 {19,05}	19 500 {86 700}	2,58 {37,7}	0,750 {19,05}	1,409 {35,76}
120	1,500 {38,10}	1,000 {25,40}	28 000 {124 500}	3,87 {56,5}	0,875 {22,22}	1,789 {45,44}
140	1,750 {44,45}	1,000 {25,40}	38 000 {169 000}	4,95 {72,2}	1,000 {25,40}	1,924 {48,87}
160	2,000 {50,80}	1,250 {31,75}	50 000 {222 000}	6,61 {96,5}	1,125 {28,57}	2,305 {58,55}
180	2,250 {57,15}	1,406 {35,71}	63 000 {280 000}	9,06 {132,2}	1,406 {35,71}	2,592 {65,84}
20	02,500 {63,50}	1,500 {38,10}	78 000 {347 000}	10,96 {159,9}	1,562 {39,67}	2,817 {71,55}
240	3,00 {76,70}	1,875 {47,63}	112 000 {498 000}	16,4 {239}	1,875 {47,62}	3,458 {87,83}

Fonte: Adaptado de BUDYAS E NISBETT (2011).

Figura 12 - Engrazamento de uma corrente e roda dentada



Fonte: BUDYNAS E NISBETT (2011).

Com base na trigonometria da Figura 12, é possível calcular o diâmetro primitivo da roda dentada (D):

$$\text{sen}\left(\frac{\gamma}{2}\right) = \frac{p/2}{D/2} \quad (2.3)$$

ou

$$D = \frac{p}{\text{sen}(\gamma/2)} \quad (2.4)$$

Onde,

- p : passo da corrente;
- γ : ângulo de passo;

Sendo $\gamma = 360^\circ/N$, onde N é o número de dentes da roda dentada, então:

$$D = \frac{p}{\text{sen}(180^\circ/N)} \quad (2.5)$$

A velocidade da corrente é calculada pela fórmula:

$$V = Npn \quad (2.6)$$

Onde,

- N : número de dentes da roda dentada;

- p : passo da corrente [m];
- n : velocidade da roda dentada [rev/s].

Assim, a velocidade máxima de saída é:

$$v_{m\acute{a}x} = \pi D n = \frac{\pi n p}{\text{sen}(\gamma/2)} \quad (2.7)$$

E a velocidade mínima:

$$v_{m\acute{i}n} = \pi * D * n = \pi n p \frac{\cos(\gamma/2)}{\text{sen}(\gamma/2)} \quad (2.8)$$

Fazendo algumas manipulações algébricas, podemos definir a variação de velocidade como sendo:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{v_{m\acute{a}x} - v_{m\acute{i}n}}{V} = \frac{\pi}{N} \left[\frac{1}{\text{sen}(180^\circ/N)} - \frac{1}{\tan(180^\circ/N)} \right] \quad (2.9)$$

É preciso dar uma atenção especial a essa variação de velocidade em casos que a transmissão por correntes é utilizada para sincronizar componentes de precisão, o que não é o caso de estudo deste trabalho (BUDYNAS e NISBETT, 2011).

2.5.2 Potência admissível na corrente

Com base na equação 2.10 proposta por BUDYNAS e NISBETT (2011), para correntes de fileira única, é determinada a potência nominal, limitada pela placa de elo:

$$H_1 = 0,003 N_1^{1,08} n_1^{0,9} \left(\frac{p}{25,4} \right)^{[3-0,07(p/25,4)]} [kW] \quad (2.10)$$

Já a potência nominal, limitada pelo rolete:

$$H_2 = \frac{746K_r N_1^{1,5} \left(\frac{p}{25,4}\right)^{0,8}}{n_1^{1,5}} [kW] \quad (2.11)$$

Onde,

- N_1 : número de dentes da roda dentada motora;
- n_1 : velocidade da roda dentada [rpm];
- p : passo da corrente [mm];
- K_r : 29 para correntes do modelo ANSI 25,35; 3,4 para corrente ANSI 41; e 17 para correntes ANSI 40-140.

A potência admissível H_a é calculada por:

$$H_a = K_1 K_2 H_{tab} \quad (2.12)$$

Sendo,

- K_1 : fator de correção para o número de dentes distinto a 17 (Tabela 3);
- K_2 : correção de fileira 9 (Tabela 4);
- H_{tab} : potência máxima para corrente ANSI (Tabela 5), sendo o menor valor entre H_1 e H_2 .

Tabela 3 - Fatores de correção de dente, K_1

Número de dentes na roda dentada motora	K_1 Potência pré-extremo	K_1 Potência pós-extremo
11	0,62	0,52
12	0,69	0,59
13	0,75	0,67
14	0,81	0,75
15	0,87	0,83
16	0,94	0,91
17	1,00	1,00
18	1,06	1,09
19	1,13	1,18
20	1,19	1,28
N	$(N_1/17)^{1,08}$	$(N_1/17)^{1,5}$

Fonte: Adaptado de BUDYNAS ENISBETT (2011).

Tabela 4 - Fatores de fileiras múltiplas, K_2

Número de fileiras	K_2
1	1,0
2	1,7
3	2,5
4	3,3
5	3,9
6	4,6
8	6,0

Fonte: Adaptado de BUDYNAS E NISBETT (2011).

Tabela 5 - Capacidade designada de corrente de roletes de fileira única, passo único para uma roda dentada de 17 dentes

Velocidade da roda dentada, rev/min	Número de corrente ANSI					
	25	35	40	41	50	60
50	0,037	0,12	0,28	0,15	0,54	0,93
100	0,067	0,21	0,51	0,28	0,99	1,72
150	0,097*	0,30*	0,74*	0,42*	1,43*	2,48
200	0,12*	0,40*	0,96	0,53	1,87	3,20
300	0,17	0,58	1,38	0,75	2,69	4,63
400	0,22*	0,75*	1,80	0,98	3,50	6,00
500	0,28	0,93	2,20	1,20	4,25	7,32
600	0,33*	1,10	2,60*	1,42*	5,01*	8,65
700	0,37	1,25	2,96	1,63	5,77	9,92
800	0,42*	1,40*	3,34*	1,84*	6,5*	11,20
900	0,46	1,56	3,72	2,04	7,23	12,50
1000	0,51*	1,72*	4,1	2,25	7,98	13,65
1200	0,60	2,04	4,81	2,45	9,40	16,11
1400	0,69*	2,33*	5,53	1,95	10,74	13,50
1600	0,78*	2,63*	6,24	1,60	9,55	11,00
1800	0,86	2,93	6,68	1,33	7,98	9,25
2000	0,95*	3,22*	5,76*	1,13*	6,89*	7,90
2500	1,16	3,94	4,11*	0,82*	4,90*	5,64
3000	1,37	4,2	3,11	0,62	3,72	4,30

Fonte: Adaptado de BUDYNAS E NISBETT (2011).

2.5.3 Comprimento da corrente

O comprimento aproximado da corrente (L), em passos, é dado por:

$$\frac{L}{P} = \frac{2C}{p} + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 C/p} \quad (2.13)$$

A distância entre centros (C) é:

$$C = \frac{p}{4} \left[-A + \sqrt{A^2 - 8 \left(\frac{N_2 - N_1}{2} \right)^2} \right] \quad (2.14)$$

Em que,

$$A = \frac{N_1 + N_2}{2} - \frac{L}{p} \quad (2.15)$$

Onde,

- N_1 : número de dentes da roda dentada menor;
- N_2 : número de dentes da roda maior;
- p : passo da corrente [m];

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar o presente trabalho seguiu-se a seguinte sequência lógica:

- Fazer as medições e estimativas necessárias do equipamento e do terreno de plantio, como: principais dimensões, grau de inclinação do terreno, aferição da velocidade de aplicação do defensivo, entre outros;
- A partir disso, calculou-se a potência necessária para tracionar o equipamento, tendo como base o somatório de torques do sistema;
- Verificar se a potência e torque do motor selecionado atende ao solicitado;
- Calcular a razão de transmissão necessária para que seja possível gerar o torque solicitado pelo sistema;
- Criar um controlador para regular a rotação do motor com um potenciômetro;
- Dimensionar o sistema de transmissão de acordo com as limitações de espaço do equipamento, calculando os esforços mecânicos no eixo de transmissão e na corrente de roletes;
- Tendo a etapa anterior de acordo com o esperado, realizar então, a modelagem no *software SolidWorks*;
- Por fim, realizar a montagem e teste de funcionamento do protótipo.

Os cálculos presentes neste tópico são apenas para o entendimento geral dos métodos utilizados. O detalhamento completo está relacionado no Apêndice A.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Medições e estimativas

Para base dos cálculos, a massa total (m) do veículo, com o reservatório do pulverizador totalmente cheio, foi estimada em 45kg e a inclinação do terreno (θ) como sendo 10° . Além disso, foram realizadas as medições necessárias no equipamento e no terreno onde será aplicado o equipamento, de acordo com a Tabela 6.

Descrição	Valor medido
Comprimento do canteiro [S]	28m
Tempo para percorrer o canteiro [t]	31,5s
Diâmetro da roda [d_r]	0,51m
Diâmetro da roda dentada maior [d_2]	0,19m
Diâmetro da roda dentada menor [d_3]	0,075m
Número de dentes da roda dentada maior [Z_1]	46
Número de dentes da roda dentada menor [Z_2]	15

Fonte: Autor (2023).

A Figura 13 mostra as engrenagens já existentes no equipamento, responsáveis por transmitir o torque aplicado na roda para a alavanca que movimenta o pistão do pulverizador.

Figura 13 - Foto com detalhe para as engrenagens existentes no equipamento



Fonte: Autor (2023)

4.2 Demanda de potência

4.2.1 Velocidades lineares e angulares

Tendo como base os dados no item anterior, foram calculadas as velocidades lineares e angulares no pneu, na roda dentada maior e menor pré-existentes no equipamento:

Descrição	Velocidade	
	linear [m.s ⁻¹]	angular [rad.s ⁻¹]
Pneu	0,889	3,486
Roda dentada maior	0,331	3,486
Roda dentada menor	0,331	8,831

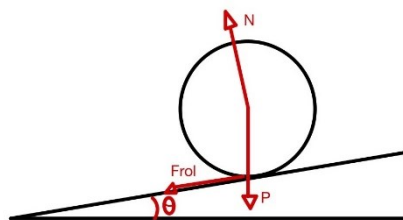
Fonte: Autor (2023).

O detalhamento dos cálculos pode ser conferido no Apêndice A, item 1.3.

4.2.2 Cálculo do torque no pneu

Foi possível calcular o torque no pneu do equipamento desenhando o diagrama de corpo livre (Figura 14 - Diagrama de corpo livre de forças no pneu) e fazendo o somatório das forças atuantes, sendo elas: a força devido ao peso, a força de resistência ao rolamento e a força de resistência do ar.

Figura 14 - Diagrama de corpo livre de forças no pneu



Fonte: Autor (2023).

Devido à baixa velocidade de operação da máquina, foi-se desconsiderada a força de resistência do ar, por ser um valor desprezível.

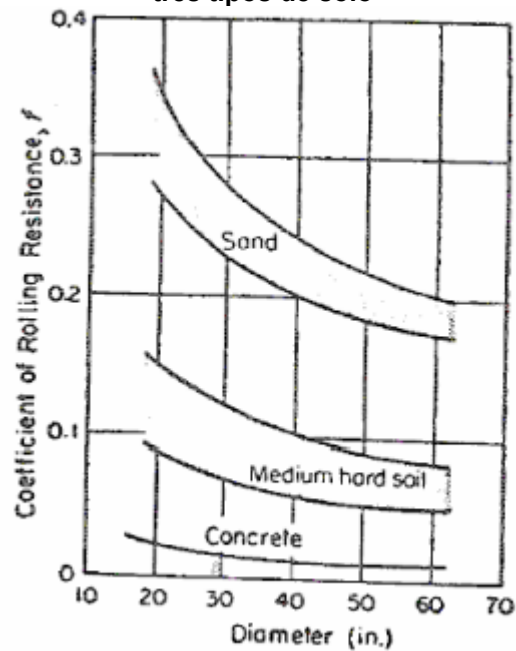
A força de resistência ao rolamento é dada pela fórmula:

$$F_{rol} = \mu_r N \quad (4.1)$$

Onde N é a força normal e μ_r é definido como sendo a representação do somatório das causas dos principais fatores que afetam a resistência ao rolamento, que são: temperatura, dimensão, material, disposição das ranhuras e velocidade de rotação dos pneus (GILLESPIE, 1992).

De acordo com Fenton (1998), têm-se faixas de valores estimados de resistência ao rolamento em diferentes solos, conforme Figura 15.

Figura 15 - Coeficiente de resistência ao rolamento μ_r em função do diâmetro dos pneus para três tipos de solo



Fonte: FENTON, p.391 (1998).

Considerando o solo objeto de estudo deste trabalho como sendo de média dureza, estima-se um valor aproximado de 0,08 para μ_r .

Assim, o somatório de forças é dado por:

$$F_{active} = mg \sin \theta = 76,63N \quad (4.2)$$

$$F_{rol} = \mu_r mg \cos \theta = 34,77N \quad (4.3)$$

$$F_{total} = F_{active} + F_{rol} = 111,4N \quad (4.4)$$

Onde,

- m : é a massa total estimada do equipamento [kg];

- g : é a aceleração da gravidade [$m.s^{-2}$];
- θ : ângulo estimado do terreno [$^\circ$].

Sendo assim, foi possível calcular o torque no pneu:

$$T_{pneu} = F_{total} * r = 28,4Nm \quad (4.5)$$

Onde r é o raio do pneu em metros.

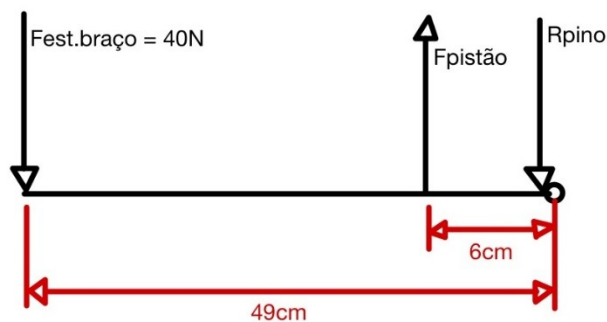
4.2.3 Cálculo do torque devido ao pistão do pulverizador

A força exercida para movimentar o pistão que aciona o pulverizador também gera um torque que deve ser considerado nos cálculos da demanda de potência do equipamento.

Na Figura 16 têm-se o diagrama de corpo livre das forças atuantes. Fazendo o somatório de momento no pino do mecanismo que gira a alavanca, que por sua vez aciona o pistão do pulverizador (Figura 17), temos a força no pistão:

$$F_{pistão} = 326,67N \quad (4.6)$$

Figura 16 - Diagrama de corpo livre de forças

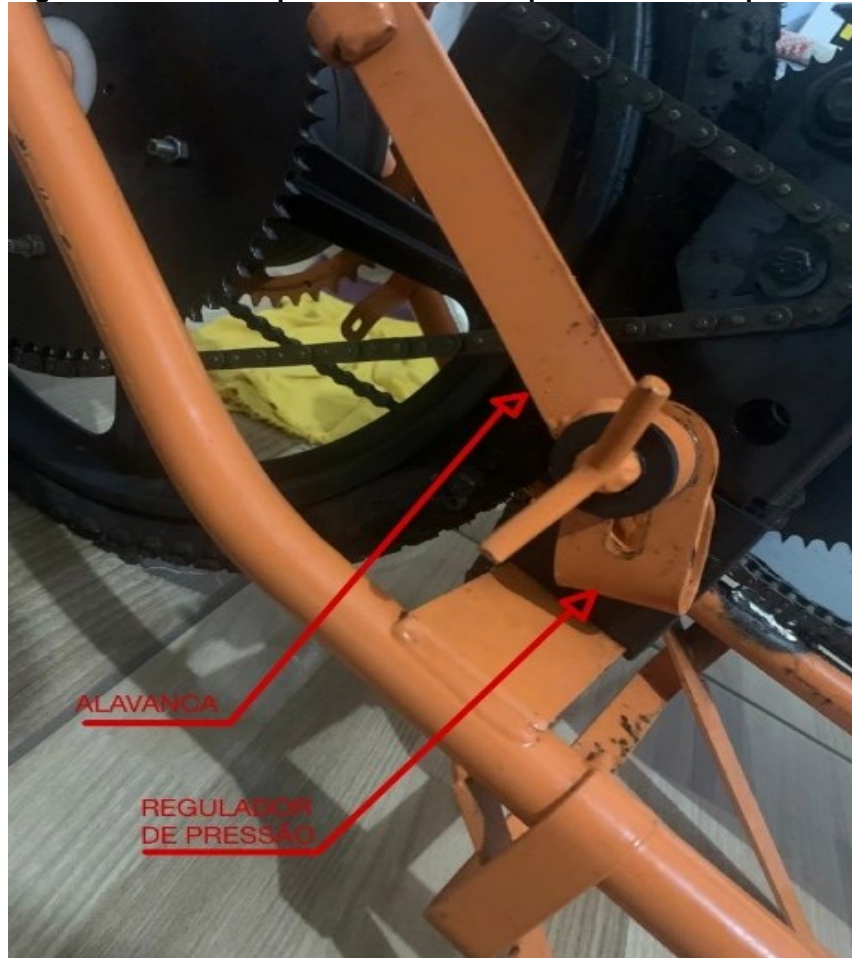


Fonte: Autor (2023).

Sendo,

- $F_{est.braço}$: a força estimada necessária para segurar o equipamento na extremidade;
- $F_{pistão}$: a força exercida no pistão do pulverizador.

Figura 17 - Fotografia com detalhe para o mecanismo que movimenta o pistão do pulverizador



Fonte: Autoria Própria (2023).

Como podemos ver na Figura 17, o equipamento possui um mecanismo para acionar o pistão do pulverizador. Por meio dele, também é possível regular a pressão nos bicos de pulverização, através do aumento do torque conforme a alavanca é afastada do centro do pino, sendo máximo na extremidade da ranhura. Essa distância máxima é de 3cm.

Assim sendo, o torque máximo exigido é:

$$T_{pistão} = F_{pistão} * 0,03m = 9,8Nm \quad (4.7)$$

Sendo a razão de transmissão das engrenagens já existentes de 3,07:1, o torque transferido para o pneu é:

$$T_{pistão_pneu} = T_{pistão} * 3,07 = 30,05Nm \quad (4.8)$$

Com a soma os torques, foi calculada a demanda de potência (P) para movimentar o equipamento, sendo:

$$T_{total} = T_{pneu} + T_{pist\tilde{a}o_pneu} = 58,46Nm \quad (4.9)$$

$$P = T_{total} * w_1 = 203,78W \quad (4.10)$$

Onde,

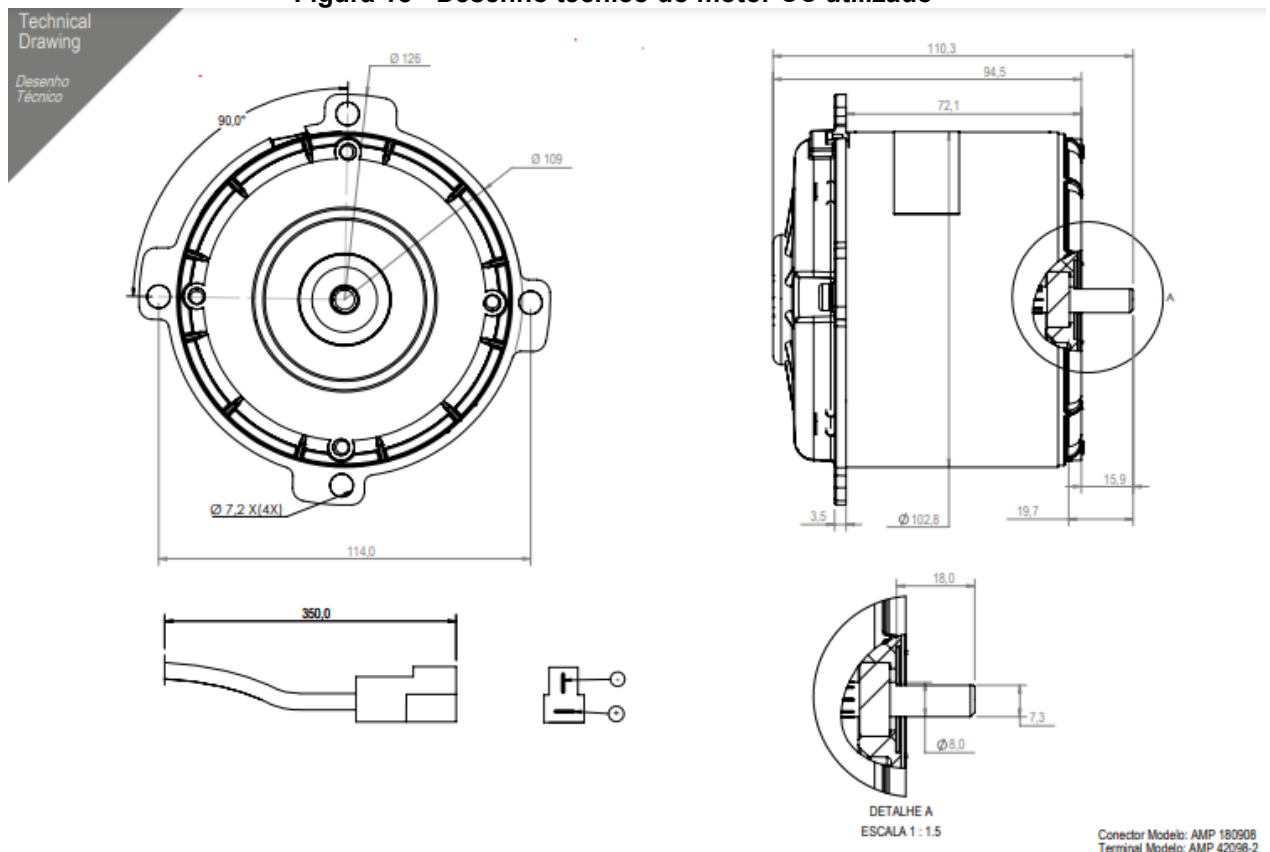
- w_1 : velocidade angular do pneu [$rad.s^{-1}$].

O cálculo detalhado pode ser conferido no Apêndice A.

4.3 Razão de transmissão

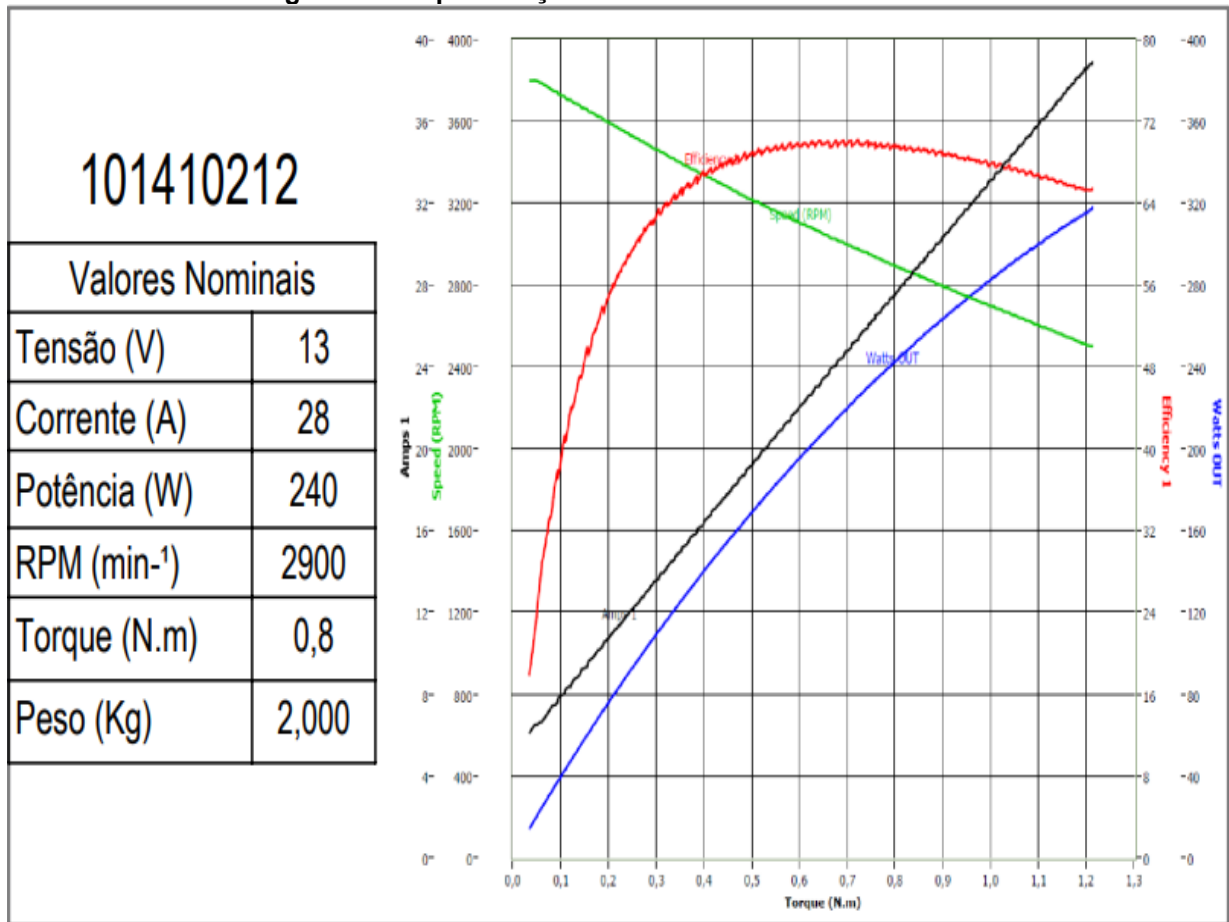
Como um dos objetivos do trabalho é manter o baixo custo, foi utilizado um motor de corrente contínua que estava disponível, portanto, reaproveitado e sem custo. O motor e suas características estão representados nas Figura 18 e Figura 19.

Figura 18 - Desenho técnico do motor CC utilizado



Fonte: Catálogo Imobras. (2020).

Figura 19 - Especificação técnica do motor CC utilizado



Fonte: Catálogo Imobras (2020).

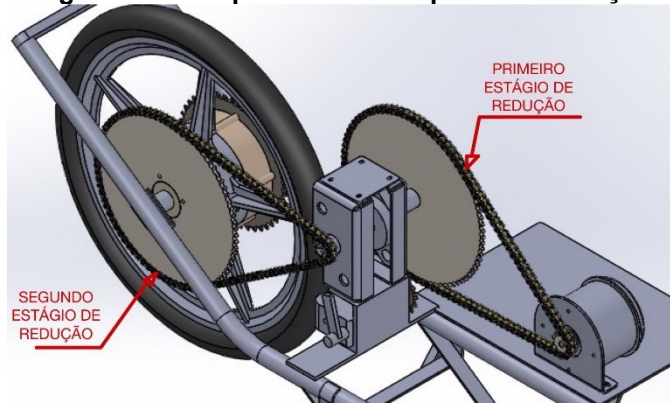
Como o motor possui um torque nominal de 0,8Nm e uma rotação nominal de 2900rpm, foi constatada a necessidade de se fazer um sistema de redução de velocidade e aumento de torque para atender a demanda de potência exigida pelo equipamento.

Pela equação 4.11, foi calculada a rotação no pneu do equipamento:

$$n_{pneu} = \frac{v * 60}{2\pi r} = 33,28rpm \quad (4.11)$$

Com isso em vista e levando em conta também as limitações de espaço, foi decidido por fazer um trem composto de redução, em 2 etapas, com razão de transmissão 8:1 cada, tendo assim, uma razão total de transmissão M_g de 64. Na Figura 20 é possível visualizar um croqui.

Figura 20 - Croqui do trem composto de redução



Fonte: Autor (2023).

Assim, a rotação no motor será:

$$n_{motor} = M_g * n_{pneu} = 2130rpm \quad (4.12)$$

E o torque no motor:

$$T_{motor} = \frac{T_{total}}{M_g} = 0,913Nm \quad (4.13)$$

4.4 Cálculo da corrente de roletes

Com base na limitação de espaço e a necessidade de razão de transmissão (M_g) relativamente alta, foi preciso que a engrenagem motora tivesse o menor diâmetro possível. O passo diametral, número de dentes e diâmetros das rodas dentadas ficaram então:

$$P_d = 9,525mm; M_g = 64; M_{g1} = M_{g2} = 8; N_1 = 10$$

Então,

$$N_2 = N_1 * M_{g1} = 80 \quad (4.14)$$

$$N_3 = N_1 = 10 \quad (4.15)$$

$$N_4 = M_{g2} = 80 \quad (4.16)$$

Sendo,

- P_d : passo diametral [mm];
- M_{g1} : razão de transmissão da primeira etapa;
- M_{g2} : razão de transmissão da segunda etapa;
- N_1 : número de dentes da roda dentada motora;
- N_2 : número de dentes da roda dentada movida na primeira etapa;
- N_3 : número de dentes da roda dentada menor na segunda etapa;
- N_4 : número de dentes da roda dentada maior na segunda etapa.

Os diâmetros primitivos são dados por:

$$D_{p1} = \frac{P_d}{\sin\left(\frac{180^\circ}{N_1}\right)} = 30,82mm \quad (4.17)$$

$$D_{p2} = \frac{P_d}{\sin\left(\frac{180^\circ}{N_2}\right)} = 242,61mm \quad (4.18)$$

$$D_{p3} = D_{p1} = 30,82mm \quad (4.19)$$

$$D_{p4} = D_{p2} = 242,61mm \quad (4.20)$$

Sendo,

- D_{p1} : diâmetro primitivo da roda dentada motora [mm];
- D_{p2} : diâmetro primitivo da roda dentada movida na primeira etapa [mm];
- D_{p3} : diâmetro primitivo da roda dentada menor na segunda etapa [mm];
- D_{p4} : diâmetro primitivo da roda dentada maior na segunda etapa [mm];

Com essas informações e usando um método iterativo foi possível calcular as distâncias entre centros das rodas dentadas e a quantidade de elos das correntes nas duas etapas de redução, sempre de forma a arranjar o sistema da melhor maneira possível, considerando as limitações de espaço e aproveitando os pontos de fixação já existentes no equipamento. Segundo Rudynas e Nisbett (2013), a quantidade de elos da corrente é dada por:

$$\gamma_1 = \frac{N_1+N_2}{2} + \frac{2*C_1}{P_d} + \left(\frac{N_2-N_1}{2*\pi}\right)^2 * \frac{P_d}{C_1} = 107,43\text{elos}; \text{ adotando } C_1 = 277\text{mm} \quad (4.21)$$

Sendo assim, será necessária uma corrente com $\gamma_1 = 108 \text{ elos}$ para a primeira etapa de redução. A distância entre centros corrigida será:

$$C_{1_corrig} = \frac{P_d}{4} \left[\gamma_1 - \frac{N_1+N_2}{2} + \sqrt{\left(\frac{(N_1+N_2)}{2} - \gamma_1\right)^2 - 8 \left(\frac{N_2-N_1}{2*\pi}\right)^2} \right] = 279,92\text{mm} \quad (4.22)$$

Para a segunda etapa de redução:

$$\gamma_2 = \frac{N_3+N_4}{2} + \frac{2*C_2}{P_d} + \left(\frac{N_4-N_3}{2*\pi}\right)^2 * \frac{P_d}{C_2} = 108,79 \text{ elos (19)}; \text{ adotando } C_2 = 284\text{mm} \quad (4.23)$$

Será necessária uma corrente com $\gamma_2 = 109 \text{ elos}$ para a esta etapa de redução. A distância entre centros corrigida será:

$$C_{2_corrig} = \frac{P_d}{4} \left[\gamma_2 - \frac{N_3+N_4}{2} + \sqrt{\left(\frac{(N_3+N_4)}{2} - \gamma_2\right)^2 - 8 \left(\frac{N_4-N_3}{2*\pi}\right)^2} \right] = 285,05\text{mm} \quad (4.24)$$

Foi selecionada uma corrente de roletes simples conforme Norma ISO 06b-1, por ser fácil de encontrar no mercado e atender aos parâmetros da tabela representada na Tabela 5. Suas dimensões podem ser verificadas na Tabela 8 abaixo:

Tabela 8 - Representação da tabela de dimensões de correntes de rolos Norma ISO

REFERÊNCIA ENCO	PASSO P		ENTRE PLACAS E	Ø DO ROLO R	ALTURA DA PLACA H	Ø DO PINO G	LARGURA TOTAL L1	ESPESSURA DA PLACA T1 T2		CARGA DE RUPTURA	PESO
	POL	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	KGF	KG/M
ISO DIN											
04B-1	.236	6,00	2,80	4,00	5,00	1,85	3,80	0,80		300	0,11
05B-1	.315	8,00	3,00	5,00	7,10 / 7,10	2,31	8,20	0,80		500	0,20
06B-1	3/8	9,52	5,72	6,35	8,20 / 8,20	3,28	13,15	1,30		900	0,41
08B-1	1/2	12,70	7,75	8,51	11,80 / 10,4	4,45	16,70	1,60		1.800	0,69
10B-1	5/8	15,87	9,65	10,16	14,70 / 13,7	5,08	19,50	1,70		2.240	0,93
12B-1	3/4	19,05	11,68	12,07	16,10 / 16,10	5,72	22,50	1,85		2.900	1,15
16B-1	1"	25,40	17,02	15,88	21,00 / 21,00	8,28	36,10	3,10	4,15	6.200	2,71
20B-1	1.1/4	31,75	19,56	19,05	26,00 / 26,00	10,19	41,30	3,50	4,50	9.500	3,70
24B-1	1.1/2	38,10	25,40	25,40	33,40 / 31,20	14,63	53,40	4,80	6,00	16.000	7,10
28B-1	1.3/4	44,45	30,99	27,94	36,40 / 36,40	15,90	65,10	6,00	7,50	20.000	8,50
32B-1	2"	50,80	30,99	29,21	42,20 / 41,60	17,81	66,00	6,00	7,00	25.000	10,25
40B-1	2.1/2	63,50	38,10	39,37	52,90 / 52,00	22,89	82,20	8,00	8,50	35.500	16,35
48B-1	3"	76,20	45,72	48,26	63,80 / 59,80	29,24	99,10	10	12	56.000	25,00
56B-1	3.1/2	88,90	53,34	53,90	77,80 / 73,00	34,32	114,10	12	13,5	85.000	35,78
64B-1	4"	101,60	60,96	63,50	90,17 / 90,17	39,40	130,00	13	15	124.000	46,00
72B-1	4.1/2	114,3	68,58	72,39	103,60 / 103,60	44,48	147,40	15	17	155.000	60,80
OPÇÕES EM:		CARBONO			INOX		NÍQUEL		DACROMETIZADO		

Fonte: Adaptado de catálogo ENCO Correntes (2022).

Pela dificuldade em encontrar rodas dentadas no mercado com as particularidades exigidas no projeto, foram modeladas conforme Norma ANSI no *software* Solidworks e fabricadas com chapas de aço ASTM A36 cortadas à laser, com espessura de 4,75mm.

4.5 Dimensionamento do eixo de transmissão

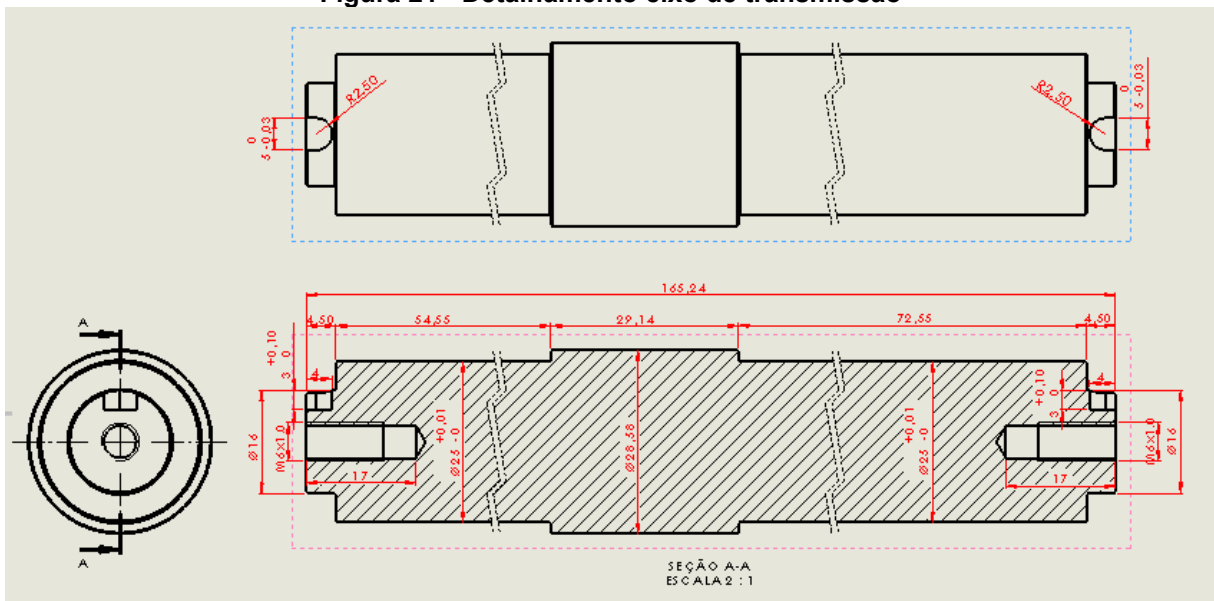
Com a razão de transmissão da primeira etapa (M_{g1}) sendo 8:1 e tendo calculado anteriormente o torque total (T_{total}) pela equação 4.9, foi então calculado o torque no eixo:

$$T_{eixo} = \frac{T_{total}}{M_{g1}} = 7,3Nm \quad (4.25)$$

O eixo de transmissão foi dimensionado com a ajuda do *software Inventor* e segundo metodologia proposta por Norton (2013) para o método da ASME Elíptico, quando o eixo possui carregamento com tensão alternada e torque fixo. O detalhamento desses cálculos pode ser conferido no Apêndice A, item 3.

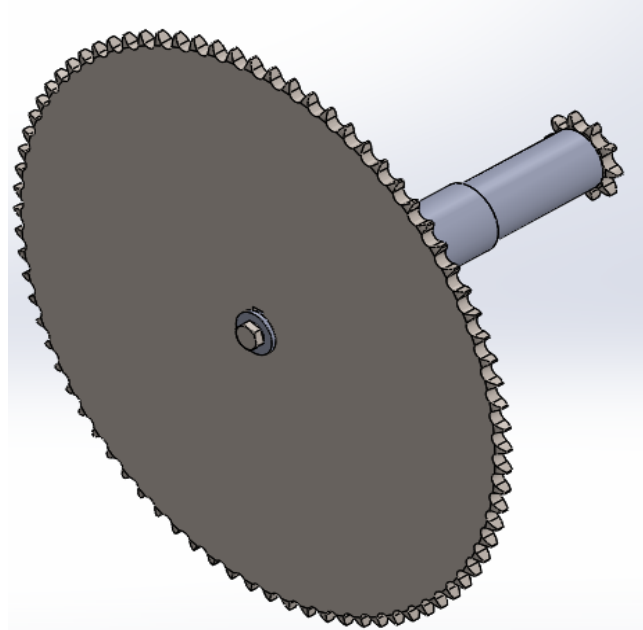
Sendo assim, a Figura 21 mostra o detalhamento do eixo para fabricação. A Figura 22, por sua vez, representa a montagem do eixo com as rodas dentadas.

Figura 21 - Detalhamento eixo de transmissão



Fonte: Autor (2023).

Figura 22 - Imagem 3D da montagem do sistema de redução



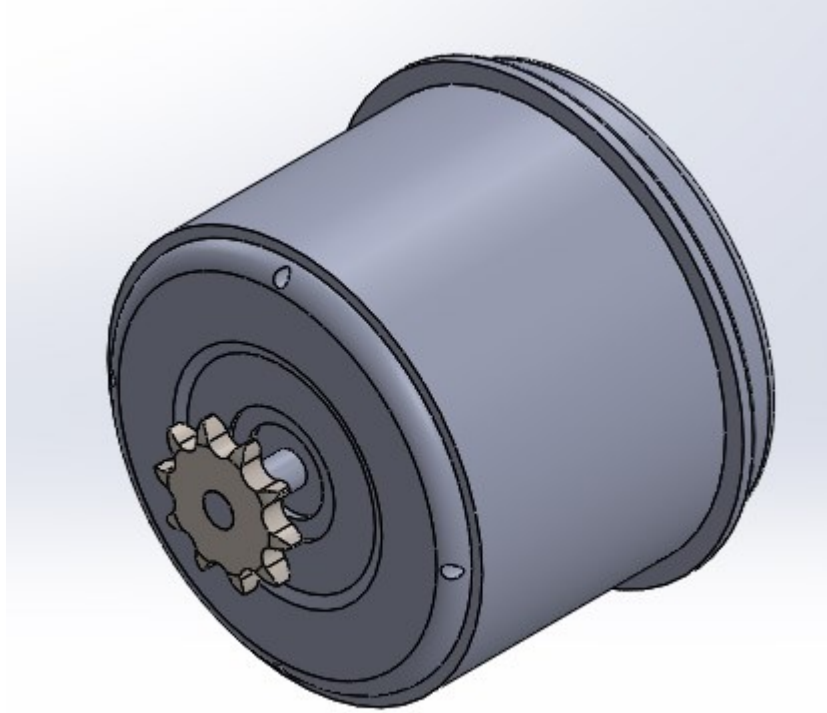
Fonte: Autor (2023).

Por sua boa relação entre resistência mecânica e resistência à fratura, foi utilizado o aço SAE 1045 para a fabricação do eixo.

4.6 Inserção da engrenagem no eixo do motor

Na Figura 23, pode-se verificar a montagem da engrenagem utilizada para transmitir o torque do motor.

Figura 23 - Imagem 3D da montagem do motor com a engrenagem



Fonte: Autor (2023).

O acoplamento da engrenagem no eixo, foi realizado por interferência à frio. Segundo Norton (2013), para diâmetros de eixo pequenos, como no caso do motor usado no projeto, é típico utilizar o valor de 0,002 unidades de interferência diametral por unidade de diâmetro do eixo para criar uma junta apertada. Como o diâmetro do eixo mede aproximadamente 8mm, então a interferência necessária deve ficar em torno de 0,016mm.

Fez-se necessário usinar o furo da engrenagem para conseguir a precisão exigida para o ajuste por interferência. Assim, foi realizada a medição do diâmetro do eixo com o auxílio de um micrômetro, aferindo-se o valor de 7,98mm. Para facilitação da usinagem, foi utilizada uma interferência diametral total de 0,01mm.

De acordo com Norton (2013), A pressão p criada pelo ajuste por interferência, é dada por:

$$p = \frac{0,5\delta}{\frac{r}{E_0} \left[\frac{r_0^2 + r^2}{r_0^2 - r^2} + \nu_0 \right] + \frac{r}{E_i} \left[\frac{r^2 + r_i^2}{r^2 - r_i^2} + \nu_i \right]} \quad (4.26)$$

Sendo,

- δ : interferência total diametral entre as duas peças;
- r : raio nominal da interface entre as peças;
- r_0 : raio externo da engrenagem;
- r_i : raio interno de um eixo vazado, caso houvesse;
- E_0 : módulo de elasticidade do material da engrenagem (ASTM A36);
- E_i : módulo de elasticidade do material do eixo (SAE 1045);
- ν_0 : coeficiente de Poisson do material da engrenagem;
- ν_i : coeficiente de Poisson do material do eixo.

Assim, para a interferência máxima de 0,01mm, temos:

$$p = 17,3ksi \quad (4.27)$$

O torque T que pode ser transferido, é definido por:

$$T = 2\pi r^2 \mu p l \quad (4.28)$$

Onde,

- μ : coeficiente de atrito entre o eixo e o cubo;
- l : comprimento da engrenagem.

Utilizando como valor de referência a padronização AGMA para μ de 0,15, temos:

$$T = 8Nm \quad (4.29)$$

Como esse torque é bem maior que o torque exigido no motor (0,879Nm), então a junção funcionará.

Norton (2013) ainda define as equações para encontrar as tensões radiais e tangenciais em cada peça. Para o eixo:

$$\sigma_{t_{eixo}} = -p \frac{r^2 + r_i^2}{r^2 - r_i^2} \quad (4.30)$$

$$\sigma_{r_{eixo}} = -p \quad (4.31)$$

Para a engrenagem:

$$\sigma_{t_{eng}} = -p \frac{r_0^2 + r^2}{r_0^2 - r^2} \quad (4.32)$$

$$\sigma_{r_{eng}} = p \quad (4.33)$$

Assim, para o valor de interferência máxima de 0,01mm:

$$\sigma_{t_{eixo}} = \sigma_{r_{eixo}} = -119,3MPa \quad (4.34)$$

$$\sigma_{t_{eng}} = 131MPa \quad (4.35)$$

$$\sigma_{r_{eng}} = 119,3MPa \quad (4.36)$$

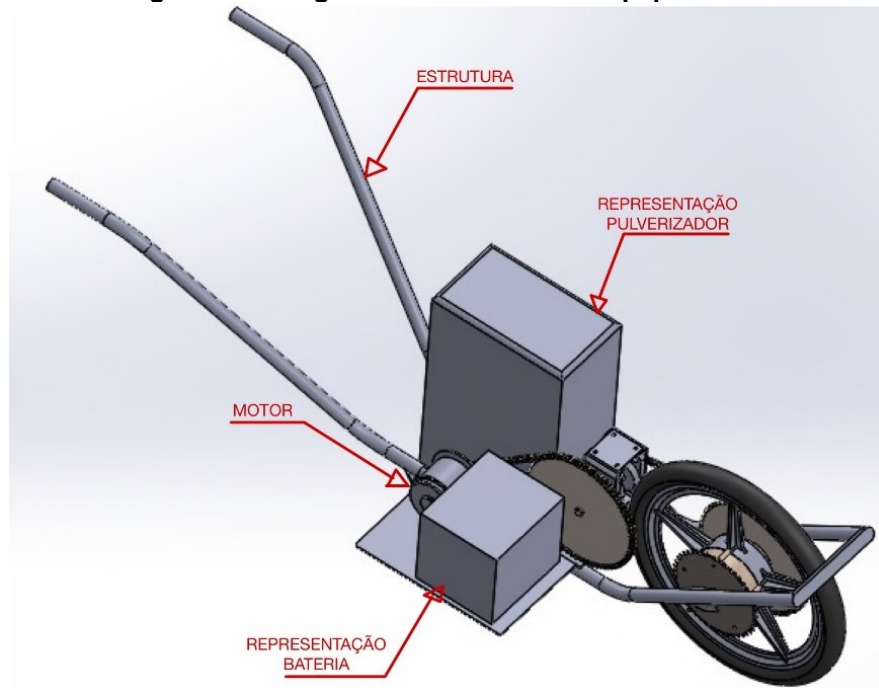
Esses valores precisam ser mantidos abaixo do limite de escoamento dos materiais para que não ocorra a falha. Como os valores de referência para os limites de escoamento da engrenagem (250MPa) e do eixo (450MPa) estão bem acima das tensões calculadas, então a engrenagem não soltará do eixo.

4.7 Modelagem do protótipo

Com todas as etapas anteriores definidas, foi realizado o modelamento do protótipo no *software* Solidworks antes da fabricação dos componentes para montagem e teste.

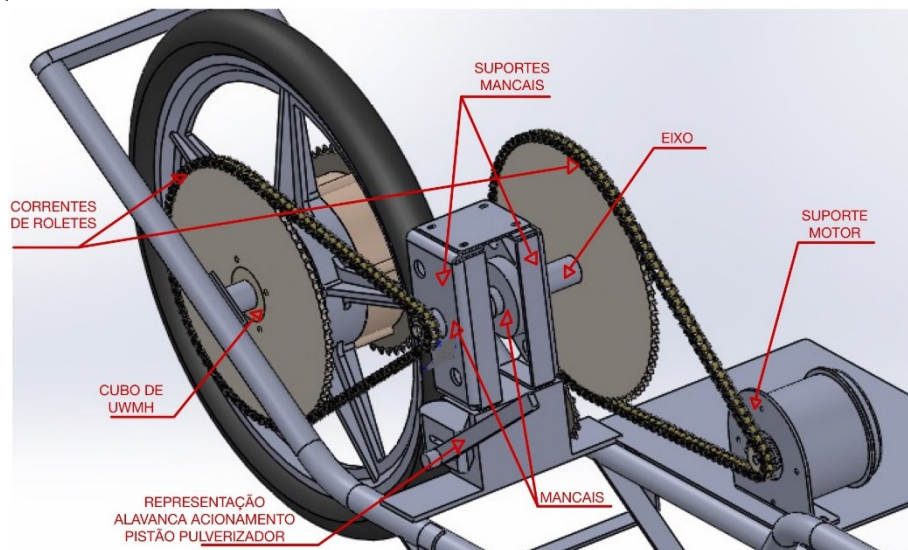
Nas Figuras 24 e 25 a seguir é possível visualizar a forma construtiva pensada.

Figura 24 - Imagem 3D isométrica do equipamento



Fonte: Autor (2023).

Figura 25 - Imagem 3D do equipamento com especificação dos componentes



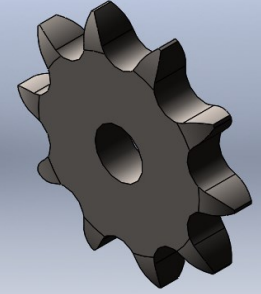
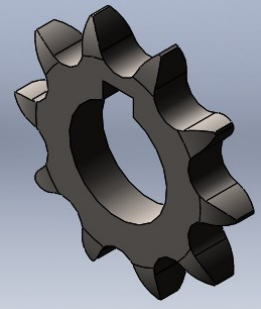
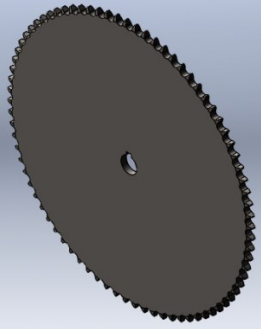
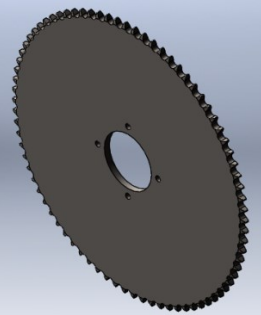
Fonte: Autor (2023).

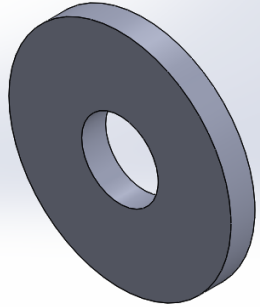
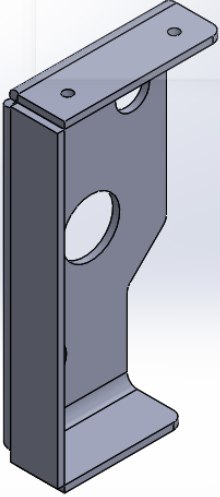
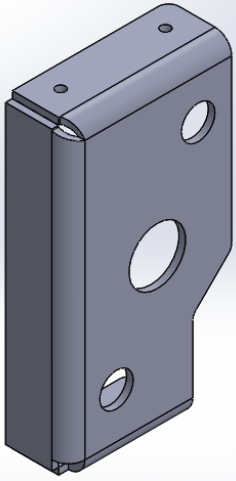
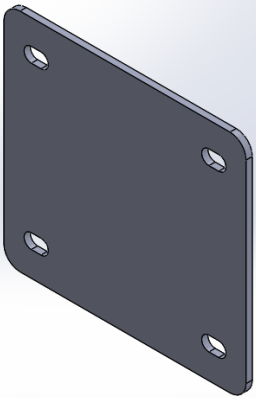
4.8 Fabricação dos componentes

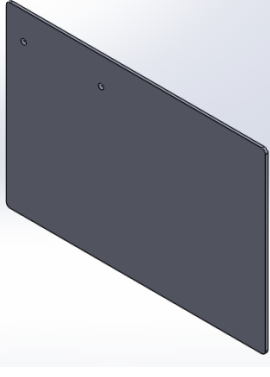
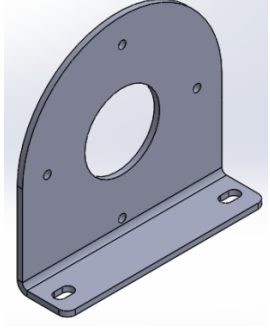
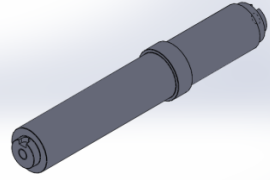
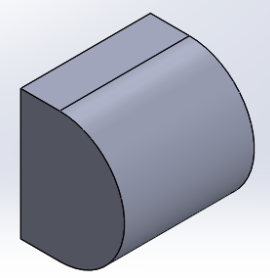
Após as etapas de definições do projeto, foi realizada a fabricação dos componentes de acordo com as especificações delimitadas, sendo que os desenhos técnicos de fabricação se encontram no Apêndice B. O Quadro 1 traz a relação de

componentes, com suas respectivas representações 3D, os materiais e processos usados na fabricação.

Quadro 1 - Descrição dos componentes fabricados para o projeto

COMPONENTE	IMAGEM	MATERIAL	PROCESSO
Engrenagem 10 dentes - motor		Chapa ASTM A36	Corte à laser e usinagem
Engrenagem 10 dentes - eixo		Chapa ASTM A36	Corte à laser
Engrenagem 80 dentes – eixo		Chapa ASTM A36	Corte à laser
Engrenagem 80 dentes - roda		Chapa ASTM A36	Corte à laser

Arruela		Chapa ASTM A36	Corte à laser
Suporte Mancal - Esquerdo		Chapa ASTM A36	Corte à laser e dobra
Suporte Mancal - Direito		Chapa ASTM A36	Corte à laser e dobra
Chapa de Reforço		Chapa ASTM A36	Corte à laser

Base Motor		Chapa ASTM A36	Corte à laser
Suporte Motor		Chapa ASTM A36	Corte à laser e dobra
Cubo UHMW		UHMW	Usinagem
Eixo		SAE 1045	Usinagem
Chaveta		SAE 1045	Usinagem

Fonte: Autor (2023).

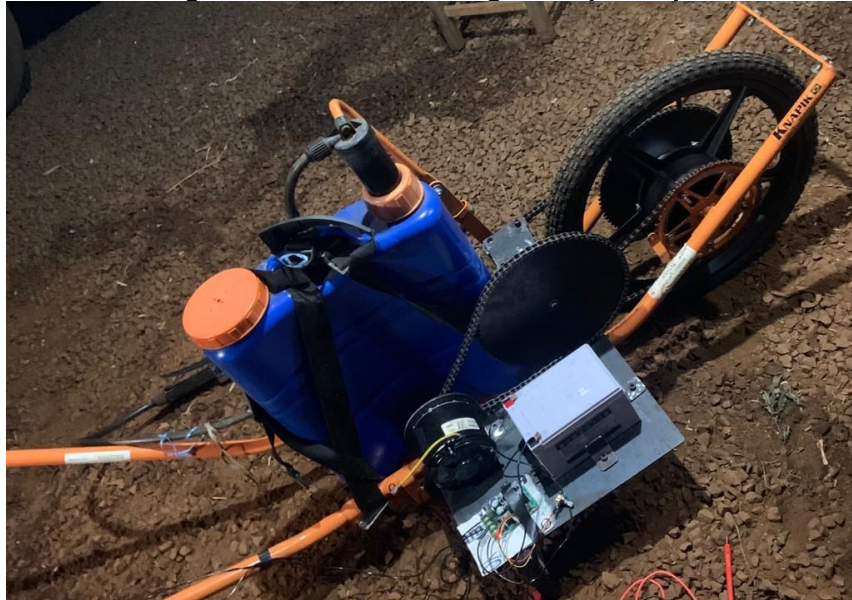
5 FABRICAÇÃO E TESTES

Neste capítulo serão abordados os resultados tanto de montagem e testes de funcionamento do protótipo, quanto da eficácia da regulação e aplicação dos defensivos agrícolas.

5.1 Montagem e teste do protótipo

Com as peças fabricadas em mãos, foi realizada a montagem e teste do protótipo. A montagem seguiu conforme o projeto, as Figuras 26 e 27 mostram algumas fotos da montagem.

Figura 26 - Foto de montagem do protótipo



Fonte: Autor (2023).

Figura 27 - Foto de montagem do protótipo com detalhe para a redução



Fonte: Autoria própria (2023).

O protótipo foi testado no solo da horta objeto de estudo deste trabalho, funcionando conforme as expectativas. Foi realizado o teste de vazão de pulverização, utilizando uma distância conhecida de 6 metros e um copo graduado, alterando a velocidade do motor até que se achasse a vazão ideal do defensivo agrícola.

A Figura 28 traz as características do bico utilizado no teste, sendo o bico da marca Jacto, modelo ADI 11003.

Figura 28 - Tabela com as características dos bicos de pulverização da marca Jacto
Espaçamento / Distancia / Spacing: 50 cm

Bico Boquilla Nozzle	Malha Malla Mesh	lbf/pol ² lbf/pol ² psi	L/min	DMV VMD	km/h													
					5	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	25	30	35
ADI 11001 Cód - P/N 457.788	100	30	0,32	M	77	55	48	43	38	35	32	27	24	21	19	15	13	11
		45	0,40	M	96	69	60	53	48	44	40	34	30	27	24	19	16	14
		60	0,46	F	110	79	69	61	55	50	46	39	35	31	28	22	18	16
		75	0,56	F	134	96	84	75	67	61	56	48	42	37	34	27	22	19
ADI 110015 Cód - P/N 457.796	100	30	0,49	M	118	84	74	65	59	53	49	42	37	33	29	24	20	17
		45	0,60	M	144	103	90	80	72	65	60	51	45	40	36	29	24	21
		60	0,69	M	166	118	104	92	83	75	69	59	52	46	41	33	28	24
		75	0,77	F	185	132	116	103	92	84	77	66	58	51	46	37	31	26
ADI 11002 Cód - P/N 457.804	100	30	0,66	M	158	113	99	88	79	72	66	57	50	44	40	32	26	23
		45	0,80	M	192	137	120	107	96	87	80	69	60	53	48	38	32	27
		60	0,91	M	218	156	137	121	109	99	91	78	68	61	55	44	36	31
		75	1,03	M	247	177	155	137	124	112	103	88	77	69	62	49	41	35
ADI 11003 Cód - P/N 457.812	50	30	0,98	C	235	168	147	131	118	107	98	84	74	65	59	47	39	34
		45	1,20	M	288	206	180	160	144	131	120	103	90	80	72	58	48	41
		60	1,39	M	334	238	209	185	167	152	139	119	104	93	83	67	56	48
		75	1,55	M	372	266	233	207	186	169	155	133	116	103	93	74	62	53

Fonte: Catálogo de bicos Jacto (2023).

No teste ideal, o tempo para percorrer a distância de 6 metros ficou em 7 segundos e um volume de 38 ml pulverizados, utilizando apenas um bico de pulverização. Assim, foram realizados alguns cálculos para averiguar se o volume de pulverização estava adequado.

Calculando a velocidade de aplicação (v_a):

$$v_a = \frac{6m}{7s} = 0,86m/s \quad (5.1)$$

Como o bico tem uma cobertura no solo de 0,5 m, a área de aplicação será:

$$A = 6m * 0,5m = 3m^2 \quad (5.2)$$

A vazão de campo (V_c) por sua vez será dada por:

$$V_c = \frac{38ml}{7s} = 5,42ml/s = 0,32L/min \quad (5.3)$$

Assim, o volume de pulverização (Q), em $L \cdot ha^{-1}$, é de:

$$Q = \frac{0,038L}{A} = 127L/ha \quad (5.4)$$

Segundo a proprietária da horta e Engenheira Agrônoma, essa seria a taxa de aplicação ideal necessária para a pulverização de sua horta. Assim, ficou fixada essa velocidade de trabalho como padrão. Lembrando que é sempre possível o ajuste da velocidade de aplicação e, conseqüentemente, do volume de pulverização.

Sendo a corrente no motor calculada por:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{203,8}{12} = 16,98A \quad (5.5)$$

Onde,

- I : corrente no motor [A];
- P : potência consumida no sistema [W];
- V : tensão do motor [V].

Então a autonomia da bateria (T) pode ser calculada por:

$$T = \frac{C}{I} \quad (5.6)$$

Para não pesar muito o lado do protótipo onde estão localizados os componentes elétricos e desequilibrar a estrutura, foi utilizada uma bateria estacionária de capacidade (C) de 12Ah, assim:

$$T = 42 \text{ min} \quad (5.7)$$

A proprietária da horta relatou precisar de aproximadamente 1 hora para pulverizar toda a área de plantio. Então, foi sugerido o uso de 2 baterias de mesma capacidade. Assim, quando uma delas descarregar, haverá a opção de utilizar a bateria reserva, enquanto a primeira estará carregando.

6 CONCLUSÃO

É possível concluir deste trabalho que o projeto mostrou-se eficaz na prática, conseguindo atingir os objetivos estabelecidos, como por exemplo: diminuir o esforço físico aplicado na tarefa de pulverização da horta e a regulação de aplicação do defensivo agrícola. Ressaltando que a diminuição do esforço físico se faz por conta do tracionamento elétrico tanto da roda para movimentar o protótipo, quanto para movimentar o pistão do pulverizador, sendo necessário assim, apenas apoiar e guiar o equipamento, não mais precisando empurrá-lo, como era realizado anteriormente.

Ao final dos testes foi realizada uma pequena entrevista informal com a dona da propriedade para averiguar se o protótipo atendeu às suas necessidades e a mesma confirmou a eficácia e utilidade do projeto.

Foram comentadas algumas sugestões de melhorias que podem ficar como futuras alterações no projeto inicial, sendo elas: construção de uma carenagem para proteção dos componentes elétricos em caso de chuvas; adicionar duas rodas traseiras ligadas à um eixo, formando um triciclo, visando melhor equilíbrio e mais conforto ao carregar o equipamento.

REFERÊNCIAS

- AMARO et al. Embrapa. **Recomendações técnicas para o cultivo de hortaliças em agricultura familiar**. Brasília, 2007.
- ANDRADE JUNIOR, A.S.; DUARTE, R.L.R.; RIBEIRO, V.Q. Embrapa. **Níveis de irrigação na cultura da alface**. Teresina, 1992.
- AZEVEDO, F.R., FREIRE, F.C.O. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. **Documentos 102**. 1ª ed. Fortaleza. 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/426350/1/Dc102.pdf>. Acesso em: 12 set. 2022.
- BOGLIETTI, A. et al. Different pwm modulation techniques indexes performance evaluation. In: **ISIE '93 - Budapest**: IEEE International Symposium on Industrial Electronics Conference Proceedings. [S.l.: s.n.], 1993. p. 193–199.
- BRAGA, N. C. **Mechatronics sourcebook**. [S.l.]: Thomson/Delmar Learning, 2003.
- BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Elementos de máquinas de Shigley**: projeto de engenharia mecânica. 8ª ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2011.
- CEPEA (Centro de estudos avançados em economia aplicada). PIB do agronegócio brasileiro. 17 mar. 2023. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 11 abr. 2023.
- CORDEIRO, C. A. M.; COUTINHO, P. O.; MOTTA, F. M. **Comam**. Regulagem e calibração de pulverizadores agrícolas. Belo Horizonte.
- CORDEIRO, Luciane. Quase metade das aplicações de agrotóxicos é desperdiçada por erros. **G1**, 15 abril 2016. Disponível em: <https://g1.globo.com/pr/parana/caminhos-do-campo/noticia/2016/04/quase-metade-das-aplicacoes-de-agrotoxicos-e-desperdicada-por-erros.html>. Acesso em: 23 ago 2022.
- CRAVO, Edilson. Tipos de Motores Elétricos: quais são eles e onde aplicá-los?. **Kalatec automação**. Disponível em: <https://blog.kalatec.com.br/tipos-motores-eletricos/>. Acesso em: 12 jun. 2022.
- ENCO. **Catálogo de correntes**. São Paulo, [S.l.]. 152 p.
- FENTON, J. **Handbook of Automotive Powertrains and Chassis Design**. Professional Engineering Publishing, London, 1998.
- FRANCO, V. P., ROCHA; F. E.C., MAROUELLI WALDIR, W. A. Aspectos ergonômicos em projetos de pequenos equipamentos agrícolas. **Inf. Agrop**. Belo Horizonte, 1991, v. 15, n. 169, p. 10-12. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/476779/1/Aspectosergonomicos.pdf>. Acesso em: 12 set. 2022.
- GILLESPIE, T. D. **Fundamentals of Vehicle Dynamics**. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992.

IMOBILIZAS. **Motores Elétricos DC 101410212**. [S.l.]. 2 p.

JACTO. **Bicos Jacto**. Pompéia, 2023. 55 p.

MAKISHIMA, Nozomu. Embrapa. **O cultivo de hortaliças**. Brasília, 1993.

MARTINS, A.J; FERREIRA, N.S. A ergonomia no trabalho rural. **Revista eletrônica Atualiza Saúde**, Salvador, v. 2, n. 2, jul./dez. 2015.

MATTEDE, Henrique. Motor de corrente contínua, características e aplicações!. **Mundo da elétrica**, Belo Horizonte. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/motor-de-corrente-continua-caracteristicas-e-aplicacoes/>. Acesso em: 12 jun. 2022.

MELO, PC; VILELA, NJ. 2007. **Importância da cadeia produtiva brasileira de hortaliças**. Disponível em <http://www.abhorticultura.com>. Acesso em: 12 set. 2022.

NORTON, R. L. **Projeto de máquinas**: uma abordagem integrada. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman Editora Ltda, 2013.

PATRO, Raquel. Como plantar sementes. **Jardineiro.net**, 24 fev. 2018. Disponível em: <https://www.jardineiro.net/como-plantar-sementes.html>. Acesso em 15 jul. 2022.

PENA, R. F. A. O que é agronegócio?. **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/geografia/o-que-e-agronegocio.htm>. Acesso em 20 de junho de 2022.

PIB do agronegócio brasileiro. **CEPEA**, São Paulo, 17 mar. 2023. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 20 abril 2023.

PULVERIZADOR agrícola: tudo o que você precisa saber. **Jacto**, 2021. Disponível em: <https://blog.jacto.com.br/pulverizador-agricola-tudo-o-que-voce-precisa-saber/>. Acesso em: 22 maio 2022.

RENAI. O Setor de Agronegócio no Brasil: Histórico e Evolução do Agronegócio Brasileiro. **A Rede Nacional de Informações sobre o Investimento**. Disponível em: <http://investimentos.desenvolvimento.gov.br/intern>. Acesso em: 29 out. 2022.

SILVA, A. F. M. 5 dicas infalíveis para uma aplicação de defensivos agrícolas mais eficaz. **Blog aegro**, 11 dez. 2017. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/dicas-aplicacao-defensivos-agricolas/>. Acesso em: 08 set. 2022.

VILARINHO, Maria Regina. Questões sanitárias e o agronegócio brasileiro. **Embrapa**. Disponível em: <http://www.embrapa.br/embrapa/>. Acesso em: 09 jan.2009.

VILARINO, Cleyton. **Cadeia de hortaliças gira US\$ 20 bi, e 32% ficam com o varejo**. 07 dez. 2017 Disponível em: <https://valor.globo.com/agronegocios/noticia/2017/12/07/cadeia-de-hortalicas-gira-us-20-bi-e-32-ficam-com-o-varejo.ghtml>. Acesso em: 11 abr.2023.

4 DOENÇAS mais comuns resultantes da má postura no ambiente trabalho. **Health&care**, Porto Alegre, 07 fev. 2018. Disponível em:

<https://nucleohealthcare.com.br/2018/02/07/4-doencas-mais-comuns-resultantes-da-ma-postura-no-ambiente-trabalho/>. Acesso em: 10 out. 2022.

APÊNDICE A - Memorial de cálculos

1 Demanda de potência:

1.1 Dados:

$$S := 28 \text{ m} \quad t := 31.5 \text{ s} \quad d_r := 51 \text{ cm} \quad d_2 := 19 \text{ cm} \quad d_3 := 7.5 \text{ cm}$$

$$v := \frac{S}{t} = 0.889 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \theta := 10^\circ \quad \alpha := 0.08 \quad m := 45 \text{ kg} \quad Z_1 := 15 \quad Z_2 := 46$$

S : comprimento do canteiro [m]

t : tempo para percorrer o canteiro [s]

d_r : diâmetro da roda [m]

d_2 : diâmetro da roda dentada maior [m]

d_3 : diâmetro da roda dentada menor [m]

v : velocidade da roda [m/s]

1.2 Rotação da roda:

$$p_r := \pi \cdot d_r \quad p_r = 1.602 \text{ m}$$

$$i := \frac{S}{p_r} \quad i = 17.476$$

$$n_r := \frac{\left(\frac{i}{t}\right)}{\frac{1}{60 \text{ s}}} \quad n_r = 33.287$$

p_r : perímetro da roda [m]

i : número de voltas da roda [voltas]

n_r : rotação da roda [rpm]

1.3 Velocidades linear e angular:

$$r_1 := \frac{d_r}{2} = 0.255 \text{ m} \quad r_2 := \frac{d_2}{2} = 0.095 \text{ m} \quad r_3 := \frac{d_3}{2} = 0.038 \text{ m} \quad v_1 := v = 0.889 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_2 := r_2 \cdot \frac{v_1}{r_1} \quad v_2 = 0.331 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_3 := v_2 \quad v_3 = 0.331 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$w_2 := \frac{v_2}{r_2} \quad w_2 = 3.486 \frac{1}{s}$$

$$w_3 := \frac{v_3}{r_3} \quad w_3 = 8.831 \frac{1}{s}$$

$$w_1 := w_2 \quad w_1 = 3.486 \frac{1}{s}$$

r_1 : raio da roda [m]

r_2 : raio da roda dentada maior [m]

r_3 : raio da roda dentada menor [m]

v_1 : velocidade linear da roda [m/s]

v_2 : velocidade linear da roda dentada maior [m/s]

v_3 : velocidade linear da roda dentada menor [m/s]

w_1 : velocidade angular da roda [rad/s]

w_2 : velocidade angular da roda dentada maior [rad/s]

w_3 : velocidade angular da roda dentada menor [rad/s]

1.4 Torque na roda:

$$F_{\text{rolamento}} := \alpha \cdot m \cdot g \cdot \cos(\theta) = 34.768 \text{ N}$$

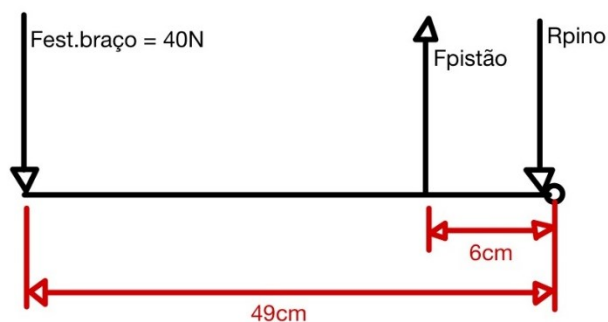
$$F_{\text{active}} := m \cdot g \cdot \sin(\theta) = 76.631 \text{ N}$$

$$F_{\text{aerodinâmica}} := 0 \quad (\text{desprezível})$$

$$F_{\text{total}} := F_{\text{rolamento}} + F_{\text{active}} + F_{\text{aerodinâmica}} = 111.398 \text{ N}$$

$$T_{\text{roda}} := F_{\text{total}} \cdot r_1 = 28.407 \text{ N} \cdot \text{m}$$

1.5 Torque no pistão do pulverizador:



$$F_{\text{est}} := 40 \text{ N}$$

$$x_{\text{alav}} := 49 \text{ cm}$$

$$x_{\text{pino}} := 6 \text{ cm}$$

Somatório de Momento em O:

$$F_{\text{pistão}} := F_{\text{est}} \cdot \frac{x_{\text{alav}}}{x_{\text{pino}}} = 326.667 \text{ N}$$

$$x_{\text{maniv}} := 3 \text{ cm} \quad (\text{comprimento estimado do braço de alavanca máximo do acoplamento})$$

$$T_{\text{pistão}} := F_{\text{pistão}} \cdot x_{\text{maniv}} = 9.8 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{g_atual} := \frac{Z_2}{Z_1} = 3.067$$

$$T_{\text{pistão_roda}} := T_{\text{pistão}} \cdot M_{g_atual} = 30.053 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T_{\text{total}} := T_{\text{roda}} + T_{\text{pistão_roda}} = 58.46 \text{ N} \cdot \text{m}$$

1.6 Demanda de potência:

$$P := T_{\text{total}} \cdot \omega_1 = 203.782 \text{ W}$$

2 Rodas dentadas e Corrente:

2.1 Razão de Transmissão:

$$T_{\text{total}} := T_{\text{roda}} + T_{\text{pistão_roda}} = 58.46 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_g := 64$$

$$RPM_{\text{motor}} := M_g \cdot n_r = 2.13 \cdot 10^3 \text{ rpm}$$

$$T_{\text{motor}} := \frac{T_{\text{total}}}{M_g} = 0.913 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{g1} := \sqrt{M_g} = 8$$

$$M_{g2} := M_{g1} = 8$$

2.2 Dados do Projeto:

$$N_1 := 10 \quad N_2 := N_1 \cdot M_{g1} = 80 \quad N_3 := N_1 = 10 \quad N_4 := N_3 \cdot M_{g2} = 80$$

$$P_d := 9.525 \text{ mm} \quad m_d := 3$$

$$D_{p1} := \frac{P_d}{\sin\left(\frac{180^\circ}{N_1}\right)} = 30.824 \text{ mm}$$

$$D_{p2} := \frac{P_d}{\sin\left(\frac{180^\circ}{N_2}\right)} = 242.614 \text{ mm}$$

$$D_{p2} := D_{p1} \cdot M_{g1} = 246.588 \text{ mm}$$

$$D_{p3} := D_{p1} = 30.824 \text{ mm}$$

$$D_{p4} := D_{p2} = 246.588 \text{ mm}$$

$$D_{g1} := 2 \cdot m_d + D_{p1} = 36.824 \text{ mm}$$

$$D_{g2} := 2 \cdot m_d + D_{p2} = 252.588 \text{ mm}$$

$$D_{g3} := D_{g1} = 36.824 \text{ mm}$$

$$D_{g4} := D_{g2} = 252.588 \text{ mm}$$

N_1 : número de dentes roda dentada menor motor

N_2 : número de dentes roda dentada maior eixo

N_3 : número de dentes roda dentada menor eixo

N_4 : número de dentes roda dentada maior roda

P_d : passo da engrenagem (ANSI 35) [mm]

D_{p1} : diâmetro primitivo da roda dentada menor motor [mm]

D_{p2} : diâmetro primitivo da roda dentada maior eixo [mm]

D_{p3} : diâmetro primitivo da roda dentada menor eixo [mm]

D_{p4} : diâmetro primitivo da roda dentada maior roda [mm]

D_{g1} : diâmetro externo da roda dentada menor motor [mm]

D_{g2} : diâmetro externo da roda dentada maior eixo [mm]

D_{g3} : diâmetro externo da roda dentada menor eixo [mm]

D_{g4} : diâmetro externo da roda dentada maior roda [mm]

2.3 Comprimento da Corrente:

$C := 277 \text{ mm}$ (comprimento estimado)

$$\gamma := \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{2 \cdot C}{P_d} + \left(\frac{N_2 - N_1}{2 \cdot \pi} \right)^2 \cdot \frac{P_d}{C} = 107.431 \quad \gamma := 108 \text{ elos}$$

$$C := \frac{P_d}{4} \cdot \left(\gamma - \frac{N_1 + N_2}{2} + \sqrt{\left(\left(\frac{N_1 + N_2}{2} - \gamma \right)^2 - 8 \left(\frac{N_2 - N_1}{2 \cdot \pi} \right)^2 \right)} \right) = 279.924 \text{ mm}$$

(comprimento corrigido)

REFERÊNCIA ENCO	PASSO P	ENTRE PLACAS E	Ø DO ROLO R	ALTURA DA PLACA H	Ø DO PINO G	LARGURA TOTAL L1	ESPESSURA DA PLACA T1 T2		CARGA DE RUPTURA	PESO
ISO DIN	POL mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	KGF	KG/M
04B-1	.236	6,00	2,80	4,00	5,00	1,85	3,80	0,80	300	0,11
05B-1	.315	8,00	3,00	5,00	7,10 / 7,10	2,31	8,20	0,80	500	0,20
06B-1	3/8	9,52	5,72	6,35	8,20 / 8,20	3,28	13,15	1,30	900	0,41
08B-1	1/2	12,70	7,75	8,51	11,80 / 10,4	4,45	16,70	1,60	1.800	0,69
10B-1	5/8	15,87	9,65	10,16	14,70 / 13,7	5,08	19,50	1,70	2.240	0,93
12B-1	3/4	19,05	11,68	12,07	16,10 / 16,10	5,72	22,50	1,85	2.900	1,15
16B-1	1"	25,40	17,02	15,88	21,00 / 21,00	8,28	36,10	3,10 4,15	6.200	2,71
20B-1	1.1/4	31,75	19,56	19,05	26,00 / 26,00	10,19	41,30	3,50 4,50	9.500	3,70
24B-1	1.1/2	38,10	25,40	25,40	33,40 / 31,20	14,63	53,40	4,80 6,00	16.000	7,10
28B-1	1.3/4	44,45	30,99	27,94	36,40 / 36,40	15,90	65,10	6,00 7,50	20.000	8,50
32B-1	2"	50,80	30,99	29,21	42,20 / 41,60	17,81	66,00	6,00 7,00	25.000	10,25
40B-1	2.1/2	63,50	38,10	39,37	52,90 / 52,00	22,89	82,20	8,00 8,50	35.500	16,35
48B-1	3"	76,20	45,72	48,26	63,80 / 59,80	29,24	99,10	10 12	56.000	25,00
56B-1	3.1/2	88,90	53,34	53,90	77,80 / 73,00	34,32	114,10	12 13,5	85.000	35,78
64B-1	4"	101,60	60,96	63,50	90,17 / 90,17	39,40	130,00	13 15	124.000	46,00
72B-1	4.1/2	114,3	68,58	72,39	103,60 / 103,60	44,48	147,40	15 17	155.000	60,80
OPÇÕES EM:		CARBONO		INOX		NÍQUEL		DACROMETIZADO		

3 Cálculo de Esforços:

3.1 Cálculo Corrente:

Número de dentes na roda dentada motora	K_1 Potência pré-extremo	K_1 Potência pós-extremo
11	0,62	0,52
12	0,69	0,59
13	0,75	0,67
14	0,81	0,75
15	0,87	0,83
16	0,94	0,91
17	1,00	1,00
18	1,06	1,09
19	1,13	1,18
20	1,19	1,28
N	$(N_1/17)^{1,08}$	$(N_1/17)^{1,5}$

Número de fileiras	K_2
1	1,0
2	1,7
3	2,5
4	3,3
5	3,9
6	4,6
8	6,0

$$K_1 := \left(\frac{N_1}{17}\right)^{1.08} = 0.564 \quad K_2 := 1$$

$$K_r := 29 \quad (\text{corrente ANSI 35})$$

Potência nominal limitada pela placa de elo:

$$H_1 := 0.003 \cdot N_1^{1.08} \cdot RPM_{motor}^{0.9} \cdot \left(\frac{9.25}{25.4}\right)^{2.9745} = 1.769 \quad \text{kW}$$

Potência nominal limitada pelo rolete:

$$H_2 := \frac{746 \cdot K_r \cdot N_1^{1.5} \cdot \left(\frac{9.25}{25.4}\right)^{0.8}}{RPM_{motor}^{1.5}} = 3.101 \quad \text{kW}$$

Potência admissível:

$$H_a := K_1 \cdot K_2 \cdot H_1 = 0.998 \quad \text{kW} \quad (\text{valor bem superior à potência de projeto, então OK})$$

3.2 Cálculo do Eixo:

$$T_{interm} := \frac{T_{total}}{M_{g2}} = 7.307 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (\text{Torque no eixo intermediário})$$

Forças Tangenciais:

$$W_{t1} := 2 \cdot \frac{T_{interm}}{D_{p1}} = 474.15 \text{ N}$$

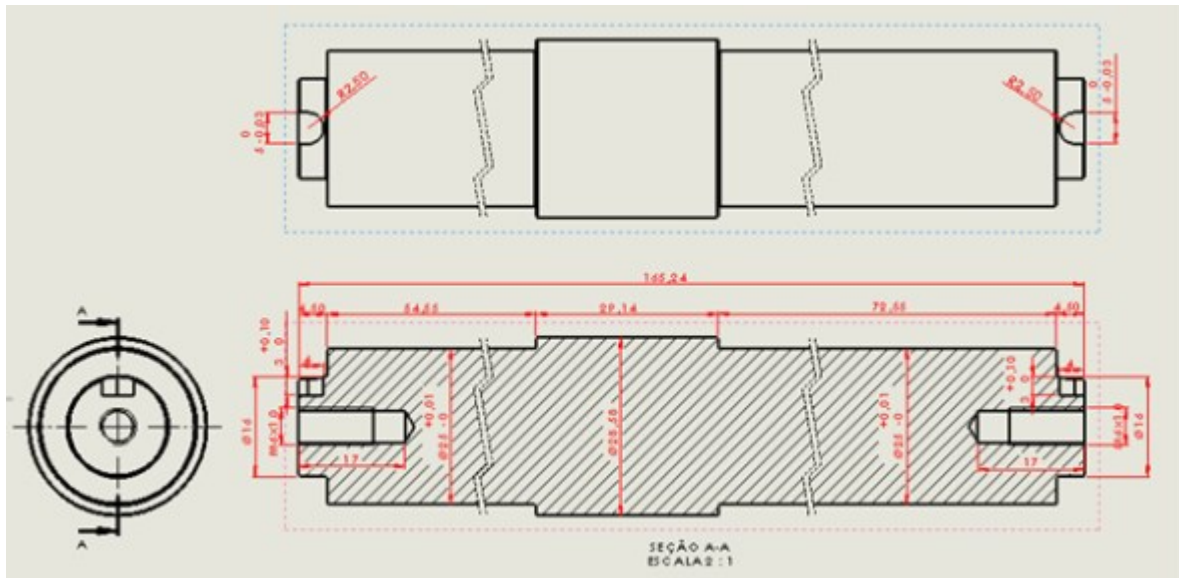
$$W_{t2} := 2 \cdot \frac{T_{interm}}{D_{p2}} = 59.269 \text{ N}$$

Forças radiais:

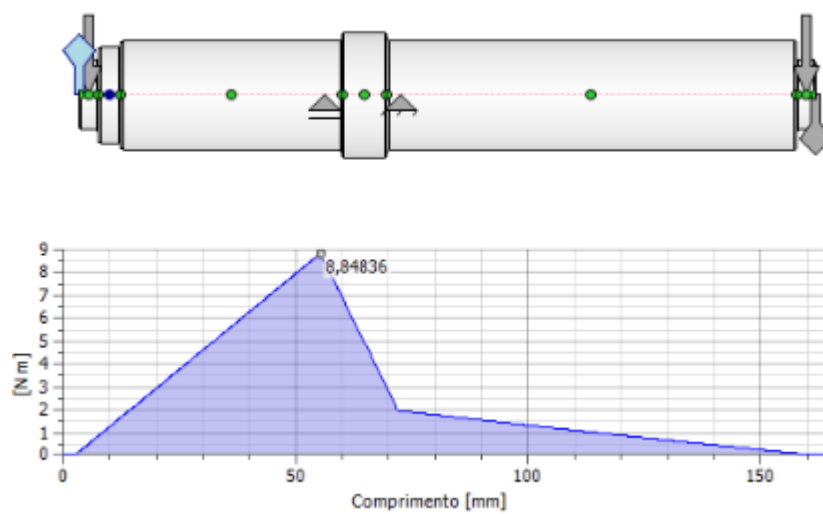
$$W_{r1} := W_{t1} \cdot \tan(20^\circ) = 172.576 \text{ N}$$

$$W_{r2} := W_{t2} \cdot \tan(20^\circ) = 21.572 \text{ N}$$

Cálculos de Esforços no Eixo:



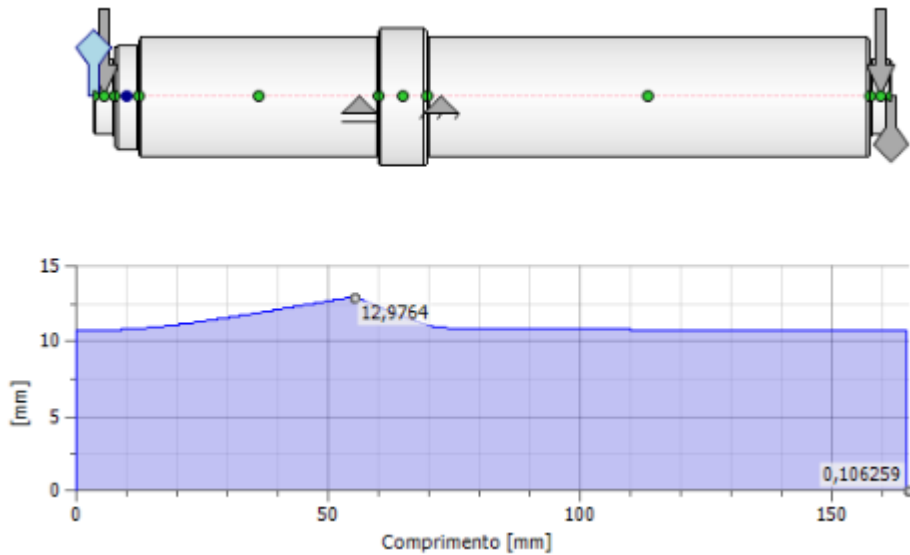
(Desenho Técnico do Eixo)



Momento Fletor Máximo:

$$M_a := 8.85 \text{ N}\cdot\text{m}$$

As forças esquematizadas na imagem acima são as forças radiais nas rodas dentadas e o torque no eixo.



Diâmetro ideal dado pelo software

Por garantia também foram feitos, a seguir, os cálculos seguindo o Norton:

$$S_{ut} := 585 \text{ MPa} = 84.847 \text{ ksi} \quad (\text{Aço SAE 1045})$$

$$S_e' := 0.5 \cdot S_{ut} = 292.5 \text{ MPa}$$

$$C_{carreg} := 1 \quad (\text{Carregamento em Flexão})$$

$$d_{eixo} := 16 \text{ mm}$$

$$C_{tamanho} := \left(1.189 \cdot \left(\frac{d_{eixo}}{\text{mm}} \right)^{-0.097} \right) = 0.909 \quad (\text{Para } 8\text{mm} < d_{eixo} < 250\text{mm})$$

Para acabamento usinado,

Tabela 6-3 Coeficientes para a equação do fator de superfície

Fonte: Shigley e Mischke, *Mechanical Engineering Design*, 5th ed., McGraw-Hill, New York, 1989, p. 283, com permissão

Acabamento superficial	Para S_{ut} em MPa, use		Para S_{ut} em kpsi (não em psi), use	
	A	b	A	b
Retificado	1,58	-0,085	1,34	-0,085
Usinado ou estirado a frio	4,51	-0,265	2,7	-0,265
Laminado a quente	57,7	-0,718	14,4	-0,718
Forjado	272	-0,995	39,9	-0,995

$$A := 4.51 \quad b := -0.265$$

$$C_{superf} := A \cdot \left(\frac{S_{ut}}{MPa} \right)^b = 0.833$$

Fator de temperatura:

Para temperatura ambiente,

$$C_{temp} := 1$$

Fator de confiabilidade:

Tabela 6-4

Fatores de confiabilidade para $S_d = 0,08\mu$

Confiabilidade %	C_{conf}
50	1,000
90	0,897
95	0,868
99	0,814
99,9	0,753
99,99	0,702
99,999	0,659
99,9999	0,620

Assumindo mesma confiabilidade de 99% como as engrenagens,

$$C_{conf} := 0.814$$

Resistência à fadiga corrigido:

$$S_e := C_{carreg} \cdot C_{tamanho} \cdot C_{superf} \cdot C_{temp} \cdot C_{conf} \cdot S_e' = 180.307 \text{ MPa}$$

Cálculo das tensões:

$$N_{fs} := 2.5 \quad (\text{Proposto pelo Norton})$$

Constante de Neuber:

S_{ut} (ksi)	\sqrt{a} (in ^{0.5})
50	0,130
55	0,118
60	0,108
70	0,093
80	0,080
90	0,070
100	0,062
110	0,055
120	0,049
130	0,044
140	0,039
160	0,031
180	0,024
200	0,018
220	0,013
240	0,009

$$a_{raiz} := 0.075 \text{ in}^{\frac{1}{2}}$$

Sensibilidade ao entalhe:

Assumindo esse raio de entalhe:

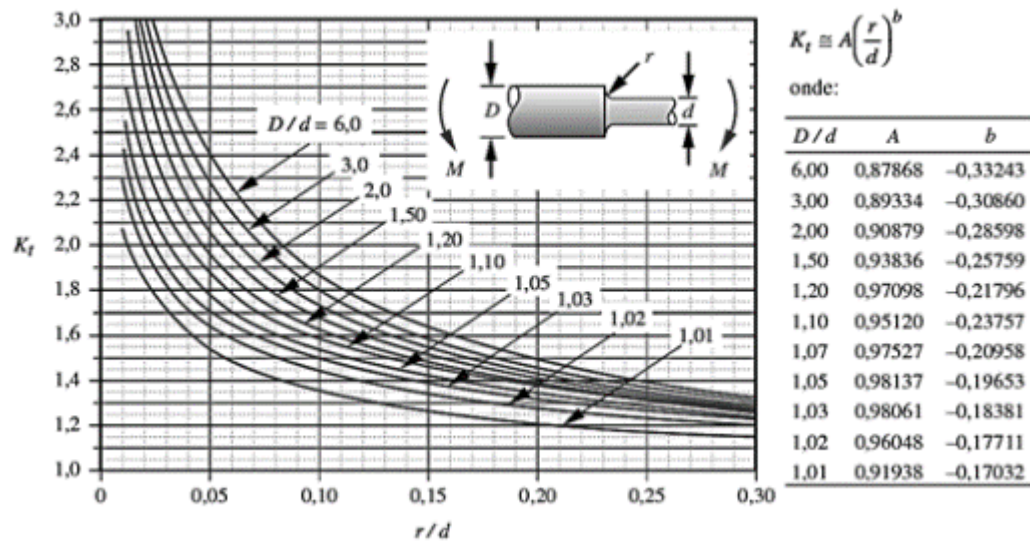
$$r_{entalhe} := 0.04 \text{ in}$$

$$q := \frac{1}{1 + \frac{a_{raiz}}{\sqrt{r_{entalhe}}}} = 0.727$$

Fator K_t :

Fazendo $D := 22 \text{ mm}$ e sabendo que $d_{eixo} = 16 \text{ mm}$

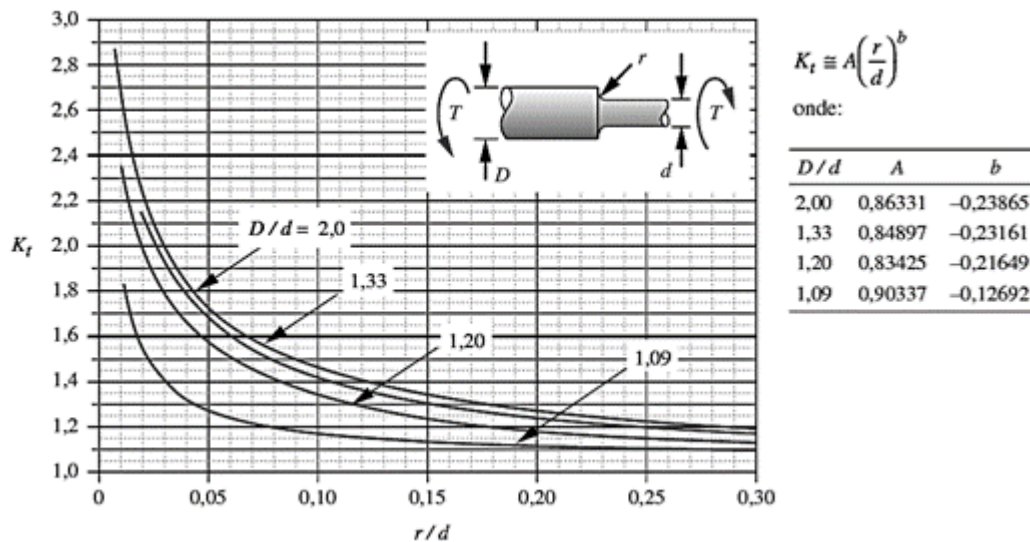
$$\frac{D}{d_{eixo}} = 1.375 \quad \frac{r_{entalhe}}{d_{eixo}} = 0.064$$



$$A := 0.95153 \quad b := -0.24109 \quad (\text{Valores interpolados})$$

$$K_t := A \cdot \left(\frac{r_{entalhe}}{d_{eixo}} \right)^b = 1.85$$

Fator K_{ts} :



$$A := 0.84897 \quad b := -0.23161$$

$$K_{ts} := A \cdot \left(\frac{r_{entalhe}}{d_{eixo}} \right)^b = 1.608$$

Fatores dinâmicos de concentração:

$$K_f := 1 + q \cdot (K_t - 1) = 1.618$$

$$K_{fs} := 1 + q \cdot (K_{ts} - 1) = 1.442$$

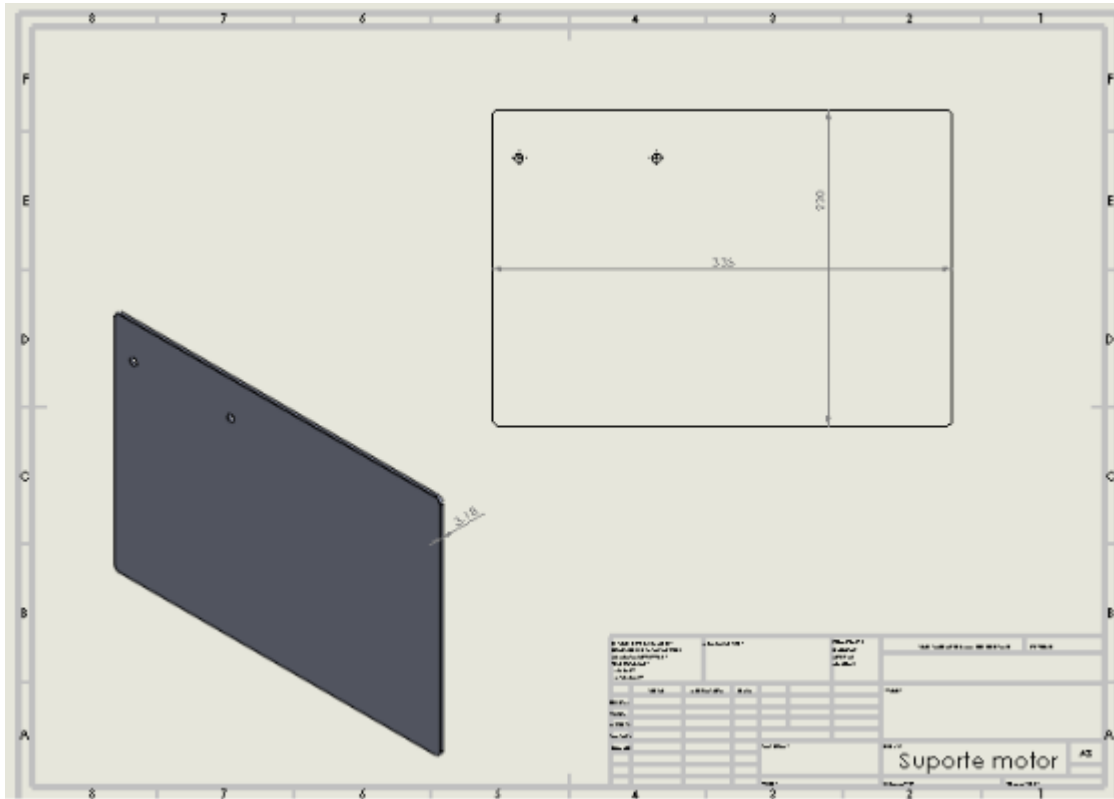
$$M_a = 8.85 \text{ N} \cdot \text{m} \quad T_m := 7 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$d := \left(\frac{32 \cdot N_{fs}}{\pi} \left(\frac{1}{S_e} (K_f \cdot M_a) + \frac{1}{S_{ut}} \left(\frac{3}{4} (K_{fs} \cdot T_m)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right)^{\frac{1}{3}}$$

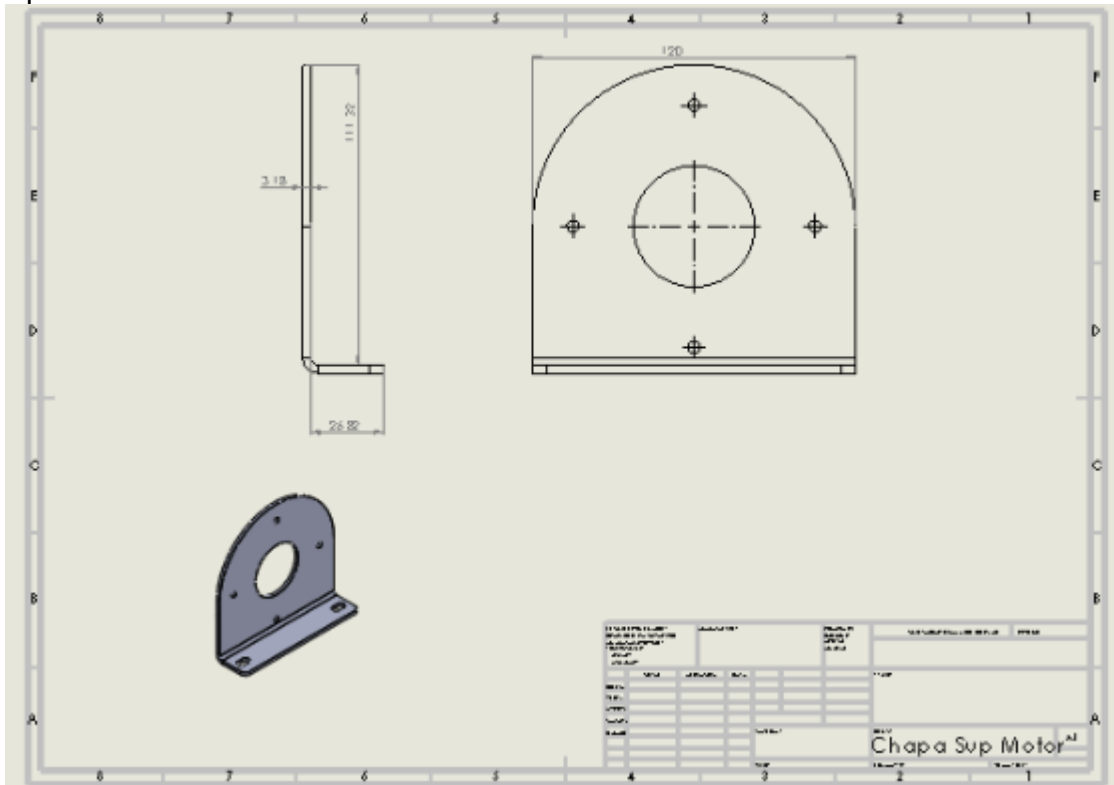
$$d = 13.394 \text{ mm} \quad (\text{diâmetro mínimo do eixo})$$

APÊNDICE B - Desenhos técnicos

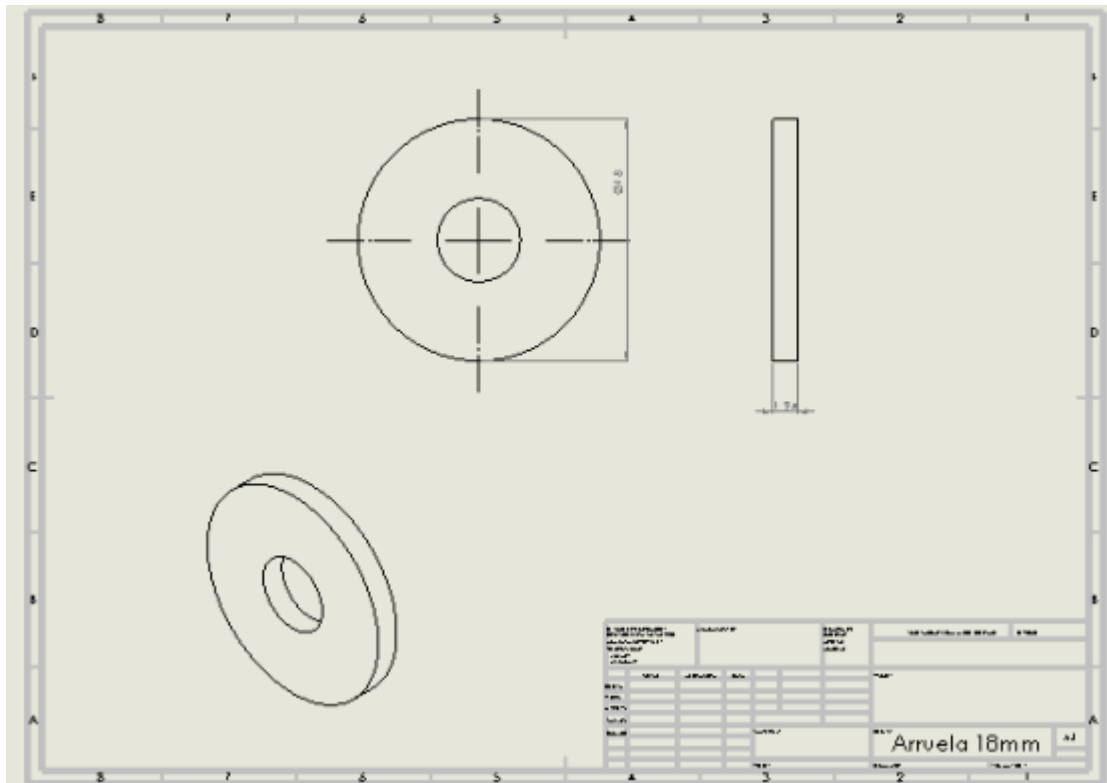
1) Base motor:



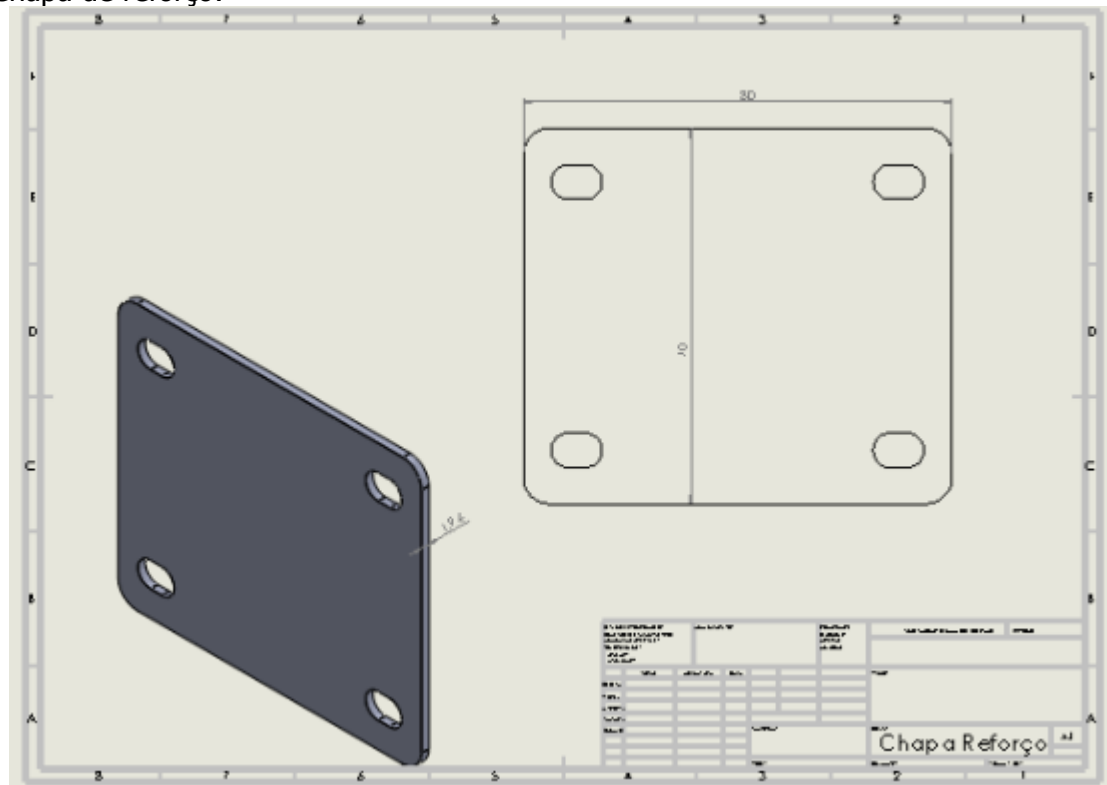
2) Suporte motor:



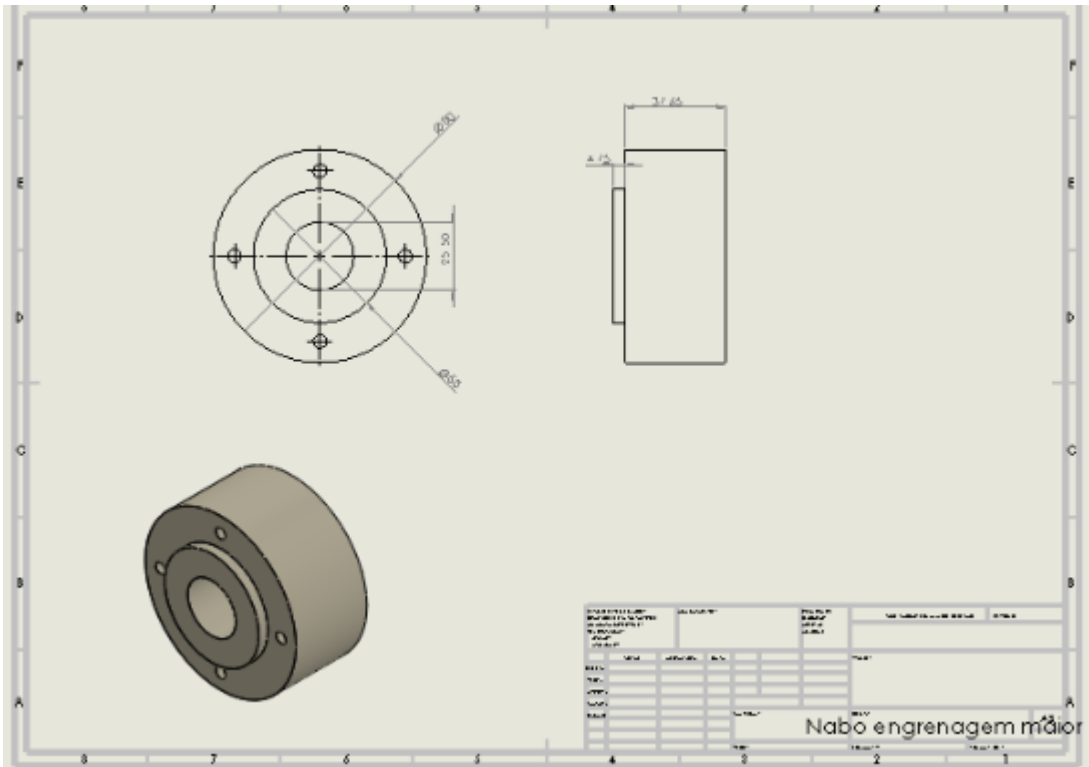
3) Arruela:



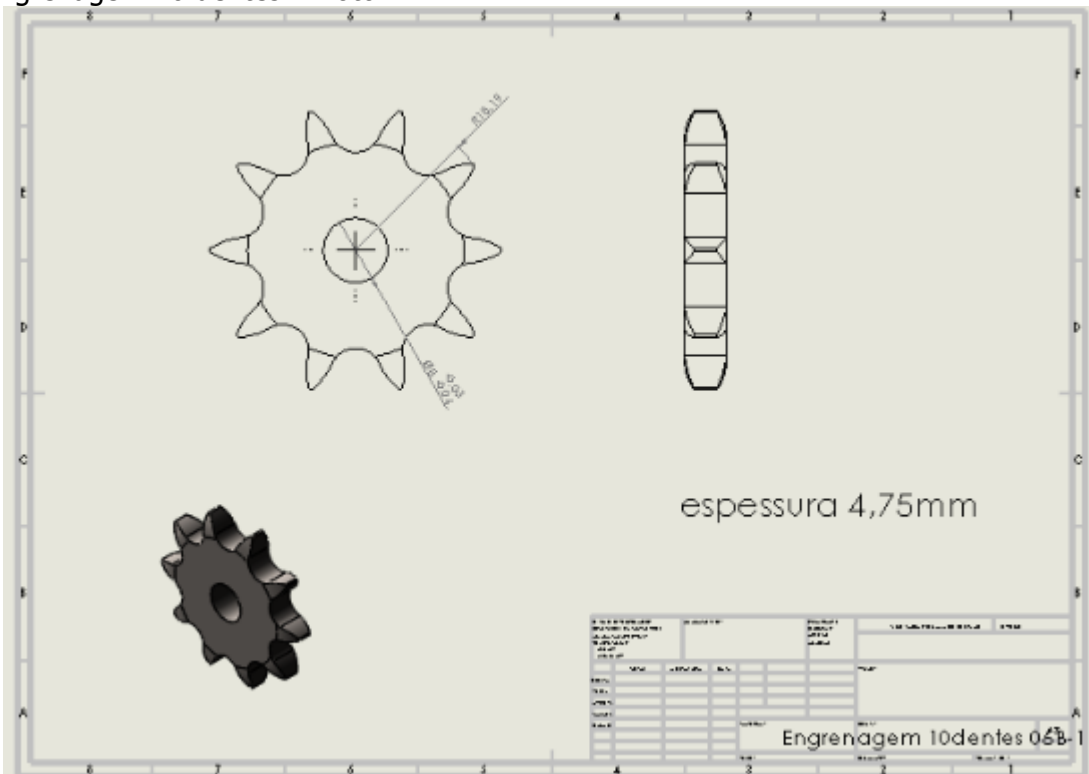
4) Chapa de reforço:



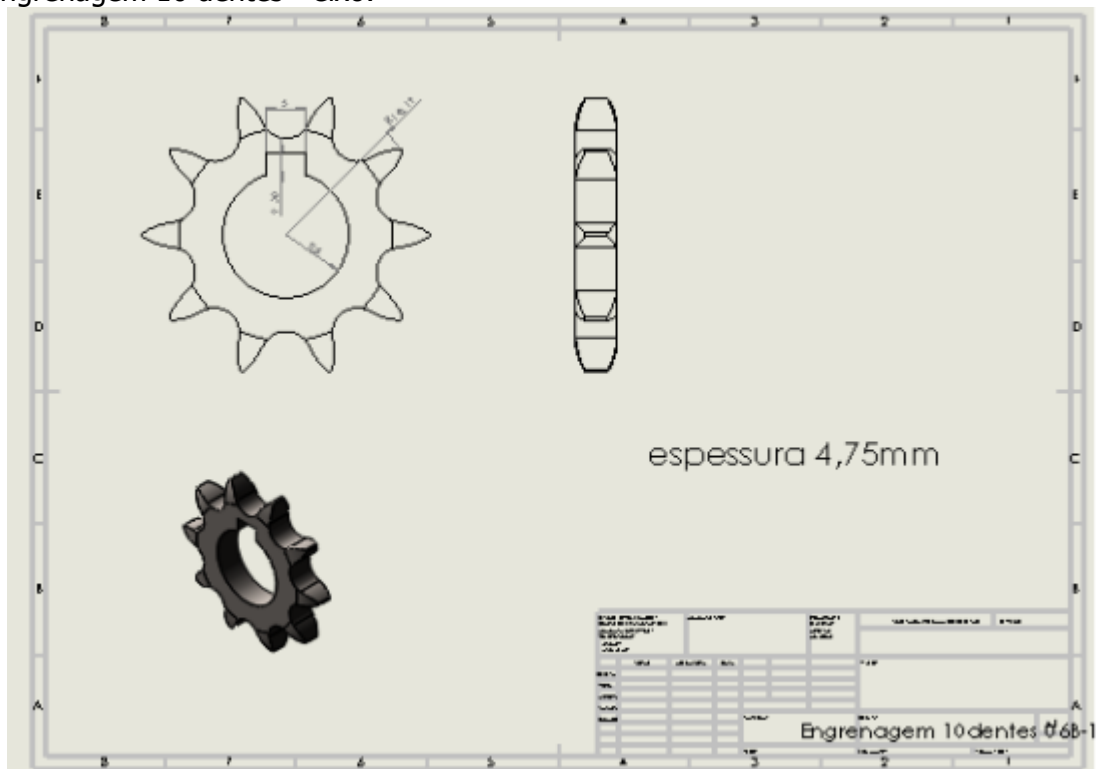
5) Cubo UHMW:



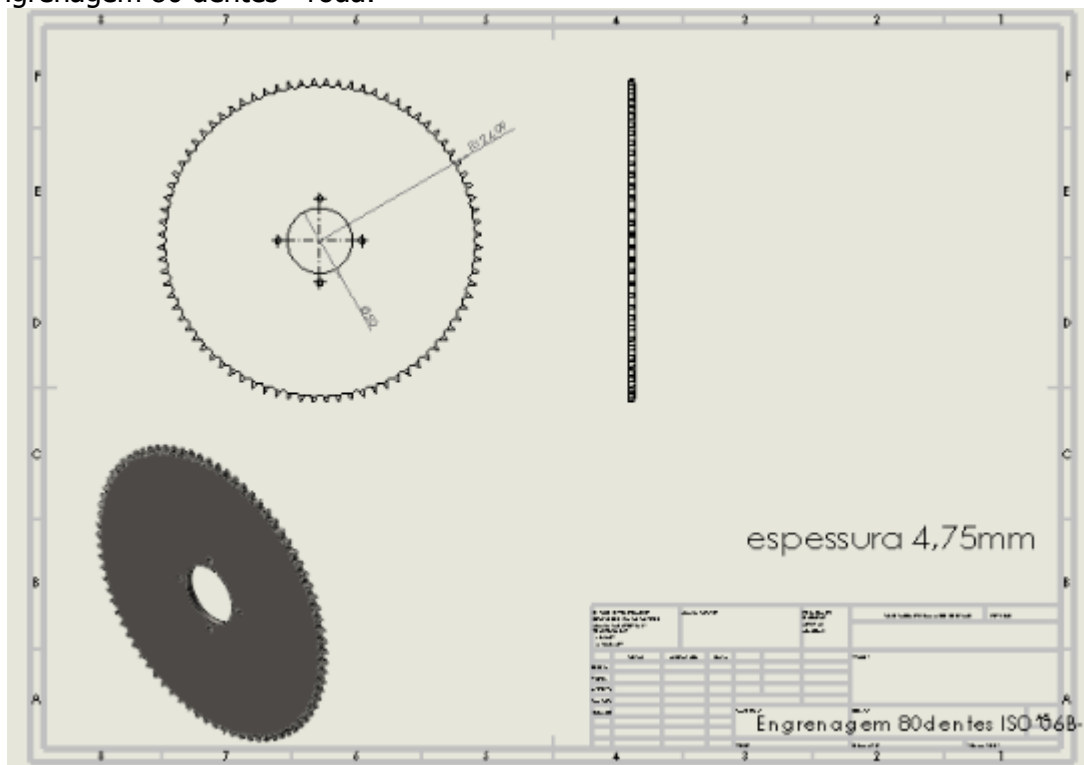
6) Engrenagem 10 dentes - motor:



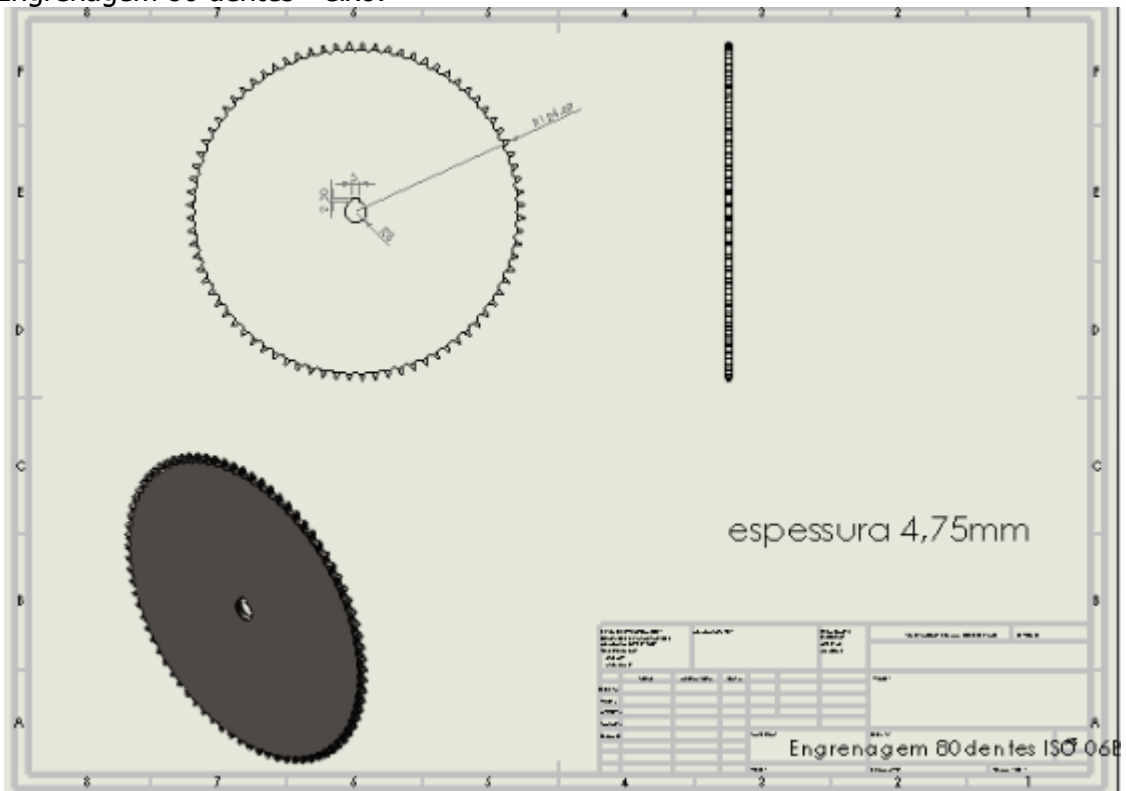
7) Engrenagem 10 dentes - eixo:



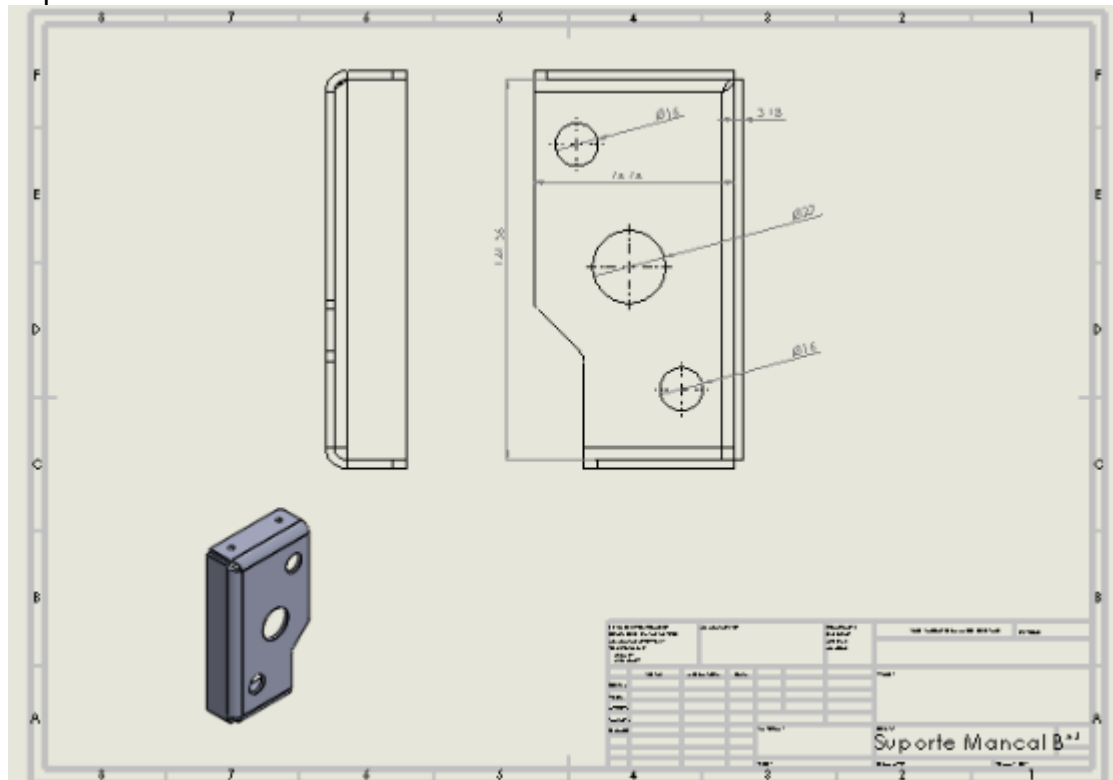
8) Engrenagem 80 dentes - roda:



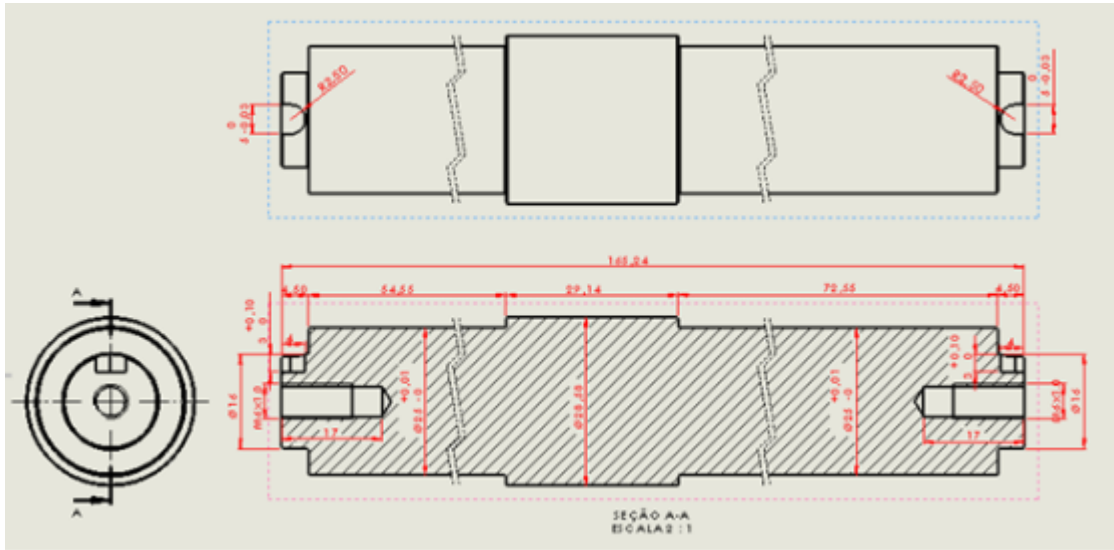
9) Engrenagem 80 dentes - eixo:



10) Suporte mancal:



11) Eixo:



11) Chaveta:

