

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL
Campus Ibirubá**

FILIPPE PEREIRA DE MELLO

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
Desenvolvimento de um sistema eletrônico conceitual para semeadoras**

Ibirubá

2023

FILIPE PEREIRA DE MELLO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Desenvolvimento de um sistema eletrônico conceitual para semeadoras

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora designada pelo Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Ibirubá, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Fabricação

Orientador: Professor Cristiano Kulman, Dr. Eng.

Ibirubá

2023


Desenvolvimento de um sistema eletrônico conceitual para semeadoras

Filipe Pereira de Mello

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora designada pelo Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Ibirubá, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Ibirubá, 14 de julho de 2023.

Banca Examinadora:

 Documento assinado digitalmente
CRISTIANO KULMAN
Data: 31/08/2023 15:15:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Cristiano Kulman, Dr. Eng.
Instituto Federal do Rio Grande do sul, campus Ibirubá.

Prof. Rafael Zanatta Scapini, Dr. Eng.
Instituto Federal do Rio Grande do sul, campus Ibirubá.

Prof. Luciano Machado Cirino, Dr. Eng.
Instituto Federal do Rio Grande do sul, campus Ibirubá.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente minha família e minha namorada pelo apoio e incentivo, durante estes anos da minha graduação.

Agradeço também aos meus amigos e primos que de alguma forma procuraram apoiar e incentivar.

Agradeço ao meu orientador Eng. Dr. Cristiano Kulman por disponibilizar do seu tempo para que fosse possível a realização deste trabalho.

Agradeço ao professor Eng. Dr. Rafael Zanatta Scapini, pois sem seus conhecimentos, este projeto não seria possível.

Agradeço aos demais professores do IFRS campus Ibirubá, por todo conhecimento adquirido, em especial gostaria de agradecer aos professores: Eng. Me. Vitor Hugo Machado da Silveira, Eng. Me. Bruno Conti Franco, Eng. Dr. Luciano Machado Cirino.

Agradeço a minha banca avaliadora por dispor do seu tempo e, contribuição para o enriquecimento deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento e teste do sistema eletrônico para dosagem e monitoramento de sementes. Visa o baixo custo e praticidade de operação do sistema e, tem como público alvo a agricultura familiar. Nos últimos anos houve uma crescente procura de equipamentos tecnológicos para implementos agrícolas, a fim de que a relação entre a semeadura e a colheita seja mais precisa e satisfatória, com o intuito de reduzir desperdícios de grãos e insumos, além de evitar falhas durante a semeadura. Na semeadura, implementos com altas tecnologias embarcadas já estão disponíveis no mercado. Entre eles, tecnologias como desligamento linha a linha e taxa variável já são realidade para os médios e grandes produtores. Entretanto, o pequeno produtor ainda utiliza máquinas com dosadores mecânicos funcionais, mas já defasado por não apresentarem uma precisão confiável na hora do plantio, dessa forma, faz com que o desperdício seja maior.

Palavras chave: Agricultura de Precisão; Vibrações Mecânicas; Eletrônica Digital, Projeto Mecânico.

ABSTRACT

The objective of this work is the development and testing of an electronic system for dosing and monitoring seeds. It aims at the low cost and practicality of operating the system, and its target audience is family farming. In recent years there has been a growing demand for technological equipment for agricultural implements, so that the relationship between seeding and harvesting is more accurate and satisfactory, in order to reduce waste of grains and inputs, in addition to avoiding failures during seeding. In sowing, implements with high embedded technologies are already available on the market. Among them, technologies such as line-by-line shutdown and variable rate are already a reality for medium and large producers. However, the small producer still uses machines with functional mechanical dosers, but they are already outdated because they do not present a reliable precision at the time of planting, thus causing greater waste.

Keywords: Precision Agriculture; Mechanical Vibrations; Digital electronics, Mechanic Project.

LISTA DE ABREVIACÕES

AP	Agricultura de precisão
GNSS	Sistema de navegação global por satélites
RTK-GPS	<i>Real-time Kinematic global positioning system</i>
RMS	Aceleração quadrática média
ECU	<i>Eletronic Control Unit</i>
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
MAG	<i>Metal Active Gas</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

v_{CM}	Velocidade no centro de massa
v	Velocidade de translação
ω	Velocidade angular
π	Constante trigonométrica
n	Rotação
r	Raio
nm	Rotação do motor CC (<i>setpoint</i>)
sm	Sementes por metro
fd	Furos disco de semente

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: SEMEADORA ADUBADORA VENCE TUDO.	2
FIGURA 2: DIAGRAMA DE TRANSMISSIBILIDADE DA VIBRAÇÃO.	3
FIGURA 3: ILUSTRAÇÃO ARADO JOHN DEERE.	7
FIGURA 4: TRATOR FROELICH.....	7
FIGURA 5: ENGATE DE TRÊS PONTOS TRATOR MF.....	8
FIGURA 6: AUMENTO DA PRODUÇÃO DE ALGODÃO.	9
FIGURA 7: SISTEMA RTK-GPS.	10
FIGURA 8: VISTA EXPLODIDA SEMEADORA.....	11
FIGURA 9: DOSADOR DISCO PERFURADO HORIZONTAL.	12
FIGURA 10: CAIXA DE TRANSMISSÃO.....	12
FIGURA 11: TABELA DE CONFIGURAÇÃO DA SEMEADORA.....	13
FIGURA 12: SISTEMA ELETRÔNICO.....	14
FIGURA 13: VIBRAÇÃO SENOIDAL E RANDÔMICA.	14
FIGURA 14: NÍVEIS DE VIBRAÇÕES DE UM TRATOR EM OPERAÇÃO.....	15
FIGURA 15: RELAÇÃO DE ENTREVISTADOS.	17
FIGURA 16: ENTREVISTA	18
FIGURA 17: RESULTADOS DA PESQUISA SOBRE REQUISITOS DO CLIENTE.....	19
FIGURA 18: REQUISITOS DE CLIENTE VS. REQUISITOS DE PROJETO.....	20
FIGURA 19: ATRIBUTOS DE PROJETO.	23
FIGURA 20: DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO GLOBAL.....	25
FIGURA 21: CONTROLADOR DE TENSÃO.....	29
FIGURA 22: SOLDA EXECUTADA NA BANCADA DE TESTE.	34
FIGURA 23: IMPRESSORA 3D.	35
FIGURA 24: PEÇAS FABRICADAS ATRAVÉS DE MANUFATURA.	36
FIGURA 25: ARDUINO MEGA.....	36
FIGURA 26: SENSOR INDUTIVO NPN.	38
FIGURA 27: SENSOR PARA ENCODER.	38
FIGURA 28: SENSOR TCRT5000.....	39
FIGURA 29: MOTOR CC.	39
FIGURA 30: PONTE H.	40
FIGURA 31: DIAGRAMA DE COMUNICAÇÃO.....	41
FIGURA 32: FLUXOGRAMA PARA CONSTRUÇÃO DO CÓDIGO DO ARDUINO.....	42

FIGURA 33: ANÁLISE DE DESEMPENHO.....	43
---------------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: REQUISITOS DE PROJETO.	21
TABELA 2: MATRIZ MORFOLÓGICA DO SISTEMA ELETRÔNICO.....	26
TABELA 3: MATRIZ MORFOLÓGICA DA BANCADA DE TESTE.....	27
TABELA 4: CONCEPÇÃO DO PRODUTO.	28
TABELA 5: COMPONENTES E PROCESSO DE FABRICAÇÃO.....	30
TABELA 6: DIMENSIONAMENTO DO CORDÃO DE SOLDA.	33
TABELA 7: COMPARAÇÃO DE INVESTIMENTO	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	2
1.1	JUSTIFICATIVA	4
1.2	OBJETIVOS	4
1.2.1	Objetivos específicos	4
2	REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.1	HISTÓRIA DA AGRICULTURA	6
2.2	MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA	8
2.3	AGRICULTURA DE PRECISÃO	9
2.4	FUNCIONAMENTO DE UMA SEMEADORA	11
2.4.1	Sistema de dosador de semente mecânico	12
2.4.2	Sistema de dosador de semente eletrônico	13
2.5	PROBLEMAS DE VIBRAÇÃO MECÂNICA EM IMPLEMENTOS	14
3	MATERIAIS E MÉTODOS	16
3.1	PROJETO INFORMACIONAL	16
3.1.1	Ciclo de vida do produto	17
3.1.2	Requisitos do cliente	17
3.1.3	Requisitos do projeto	20
3.2	PROJETO CONCEITUAL	23
3.2.1	Escopo do projeto	24
3.2.2	Estrutura funcional	24
3.2.3	Função global	25
3.2.4	Matriz morfológica	25
3.2.5	Avaliação das concepções	28
3.3	PROJETO PRELIMINAR	30
3.4	PROJETO DETALHADO	31
3.5	DIMENSIONAMENTO DA BANCADA DE TESTES	31

3.6	EQUAÇÕES PARA PROGRAMAÇÃO	31
3.7	CONSTRUÇÃO E PROGRAMAÇÃO.....	32
3.7.1	Fabricação Mecânica	33
3.7.2	Prototipagem Rápida	34
3.7.3	Dimensionamento do Circuito Eletrônico	36
3.7.4	Diagrama Elétrico.....	40
3.7.5	Código de Programação	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1	ANÁLISE DE CUSTOS.....	44
5	CONCLUSÃO.....	45
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	46

1 INTRODUÇÃO

O aprimoramento da mecanização agrícola está em crescente desenvolvimento nos últimos anos, desde a semeadura à colheita. A evolução proporcionou grandes avanços na qualidade da produção agrícola. Provando aos agricultores, que mesmo a agricultura de precisão (AP) possua uma taxa de investimento maior, está aliada ao melhor resultado de produção (DE ANDRADE et al, 2011). Desta forma é de extrema importância que surjam novos estudos na área, com a finalidade de baratear os custos desta tecnologia, a fim de ser acessível ao pequeno produtor rural.

Atualmente, a AP é adotada por grandes e médios produtores. Entretanto para a agricultura familiar, os custos de implementos agrícolas que possuam uma tecnologia mais avançada, geram custos mais significativos, o que torna, muitas vezes, inviável. Devido ao custo da tecnologia, além da mão de obra qualificada e constantemente sua localização geográfica é prejudicada. O uso da AP depende do sistema de navegação global por satélites (GNSS, *Global Navigation Satellite System*). Esse, pode ocasionar erros de sinais em locais remotos em casos de que o usuário não possua o sistema *Real Time Kinematic* (RTK, posicionamento cinemático em tempo real).

Segundo Balastreire (1987), são diversas as maneiras de classificação das semeadoras. Entre elas, a forma de distribuição das sementes, é a que se destaca, seja distribuição a linha ou a lança. No Brasil, é utilizada a semeadora a linha, que possui uma gama variada de marcas e modelos. Outro tipo de classificação das semeadoras é o tipo de acionamento, podendo ser manuais, tração animal, motorizadas e tratorizadas (montadas, semimontadas, de arrasto), na figura 1 temos um exemplo de semeadora adubadora tratorizadas montada.

Figura 1: Semeadora adubadora Vence Tudo.



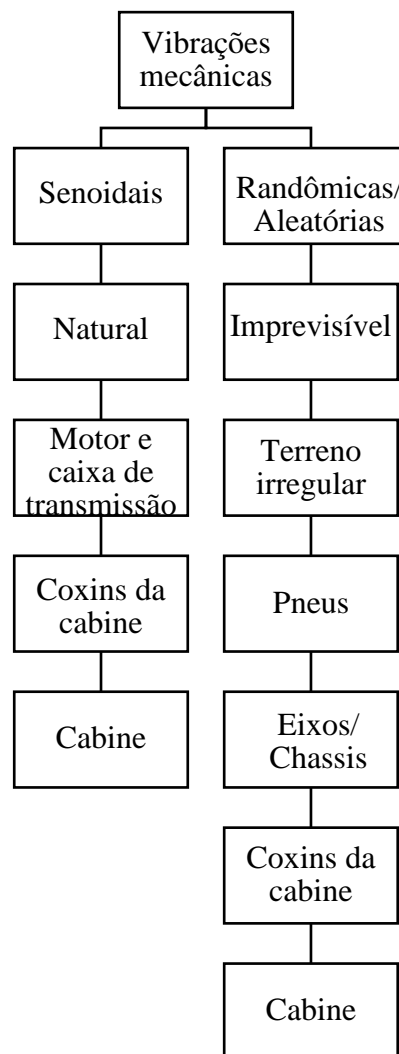
Fonte: Indústria de Implementos Agrícola Vence Tudo (2022).

Na distribuição do modelo de linha contínua ou fluxo contínuo, não há controle preciso da semente a ser distribuída no solo e, por isso é utilizada para semeadura de grão miúdo.

Já no sistema de distribuição de precisão, as sementes são dosadas de maneira uniforme com o auxílio de um disco perfurado. As semeadoras de precisão têm como opcionais dosadores mecânicos ou dosadores conduzidos por motores elétricos. Os dosadores eletrônicos melhoram a precisão e exatidão deposição da semente no solo.

Nos últimos anos, com o salto de melhorias nas ferramentas de projetos e materiais, foi possível diminuir a massa e aumentar a velocidade de avanço dos tratores. Em contrapartida, estas melhorias aumentaram expressivamente a magnitude de vibração do trator e implemento agrícola (SERVADIO et al. 2007). O diagrama (Figura 2) ilustra a origem e transmissibilidade das vibrações mecânicas para a cabine do implemento.

Figura 2: Diagrama de transmissibilidade da vibração.



Estas vibrações podem ocasionar erros de processamento e ineficiência na leitura de sensores e demais equipamentos eletrônicos, que resultará em perda considerável na eficiência do equipamento.

1.1 JUSTIFICATIVA

Sabe-se que a oferta de equipamentos de baixo custo, voltados para a agricultura familiar, é muito pequena. Na maioria das vezes, o que se tem, são equipamentos de alto custo, inacessíveis a grande parte dos pequenos agricultores.

Por exemplo os produtos da AP disponíveis no mercado dependem totalmente do sistema de navegação global por satélites, ou ainda, necessitam que o usuário utilize sinal *Real-time Kinematic global positioning system* (RTK-GPS, Posicionamento cinemático em tempo real). No caso em que o produtor não possua este recurso, a tecnologia se torna inútil.

Sendo assim é de suma importância o desenvolvimento de novos recursos tecnológicos que atendam a agricultura familiar. O desenvolvimento de um novo sistema eletrônico para implementos agrícolas, deve:

- 1º Ser acessível financeiramente a pequenos agricultores.
- 2º Necessitar do mínimo de aparato tecnológico para funcionar.
- 3º Ter o sistema eletrônico com isolamento adequado, em função das condições de serviço.

Este trabalho abrange, de certa forma, as três características, mas foca especialmente no terceiro fator, além de seu desenvolvimento propriamente dito.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem intuito de desenvolver um sistema eletrônico de dosagem de sementes, com a finalidade de diminuir o trabalho braçal do agricultor e melhorar a precisão na hora da semeadura.

1.2.1 Objetivos específicos

Objetivos específicos são:

- Definição dos requisitos de projeto, que atendam às necessidades do cliente.
- Determinar os parâmetros necessários para dimensionar o sistema eletrônico.
- Projetar e desenvolver um módulo eletrônico e demais componentes para o sistema eletrônico da semeadora.

- Projetar e desenvolver uma bancada de teste, a fim de avaliar o funcionamento do equipamento.

- Avaliar o desempenho do sistema eletrônico desenvolvido.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O aprimoramento da mecanização agrícola se deve aos estudos e testes para o aperfeiçoamento dos recursos ligados a tecnologia da agricultura de precisão.

Portanto, é importante apresentar a história da mecanização agrícola e seus componentes bem como sua evolução, e parâmetros que devem ser seguidos no desenvolvimento deste projeto.

2.1 HISTÓRIA DA AGRICULTURA

Mazoyer e Roudart (1998), relatam que não se tem certeza do período exato do início da agricultura, visto que os vestígios da agricultura são anteriores a escrita. Os primeiros sinais da agricultura são estabelecidos no período neolítico, onde os povos nômades descobriram que as sementes das frutas que colhiam geravam novos alimentos. Além disso descobriram que para melhorar a eficiência da agricultura era indispensável o uso de ferramentas como machadinhas e pás para arar a terra.

Ross (2012), complementa que a partir daí se deu o início da agricultura no mundo inteiro, onde após aprenderem as técnicas rudimentares sobre o cultivo do solo, o homem deixou de ser nômade para se estabelecer em um determinado local.

Derry e Williams (1977), descrevem que no século XVIII as ferramentas utilizadas na agricultura tinham como base ferro e madeira, com feitiço artesanal, o que tinha como resultado uma baixa produtividade. Contudo, em meados do século XIX houve um grande crescimento populacional na Europa, ligado a revolução industrial, e teve como desfecho a necessidade do aumento da produção agrícola.

Já Anziliero (2021), expõe que o surgimento das primeiras indústrias voltadas a implementos agrícolas, teve origem nos EUA no século XIX. Onde foi percebido que através das semeadoras havia uma economia no uso de insumos, e aumento na produtividade. Até o início do século XX o implemento agrícola era impulsionado com ajuda de tração animal, ou manual.

Outro fator importante para alavancar o desenvolvimento nesta época foi o solo americano propriamente dito, onde nas pradarias, os arados de madeira não deslizavam de maneira eficiente. Para resolver o problema, o ferreiro John Deere desenvolveu em 1837 arados de ferro liso (Figura 3) que funcionaram bem neste tipo de terreno (COSTA et. al, 2015).

Figura 3: Ilustração arado John Deere.



Fonte: Jornal John Deere (2022)

Nas primeiras décadas do século XX, os tratores começaram a substituir os animais de tração. Os tratores alavancaram uma economia petrolífera em crescimento para acelerar a produtividade agrícola (REID, 2011).

De acordo com Fonseca (1990), os primeiros tratores se assemelhavam a máquinas movidas a vapor do século passado. O primeiro trator a gasolina teve origem em 1892, construído por Froelich (Figura 4), o qual vendeu o projeto para Jhon Deere, servindo de base para os seus primeiros tratores. Já o primeiro trator produzido em escala industrial, e que se pode citar como sucesso de vendas foi o Fordson, montado pela Ford em 1917. Este modelo representou 70% das vendas de tratores nos EUA.

Figura 4: Trator Froelich.



Fonte: Museu Froelich (2022)

Segundo Costa et. al (2015), a partir de 1945, inovações pneumáticas e eletrônicas começaram a aparecer com maior importância neste setor. Data-se de 1947 o desenvolvimento do sistema hidráulico de engate de “três-pontos” (Figura 5), o que, além da melhoria da utilização do maquinário, possibilitou o trabalho com um número maior de implementos. Antes do desenvolvimento deste engate de “três pontos”, quando o trator estava em operação em determinados tipos de terrenos, havia a tendência de o maquinário virar por conta da resistência do solo.

Figura 5: Engate de três pontos trator MF.



Fonte: Autor (2022)

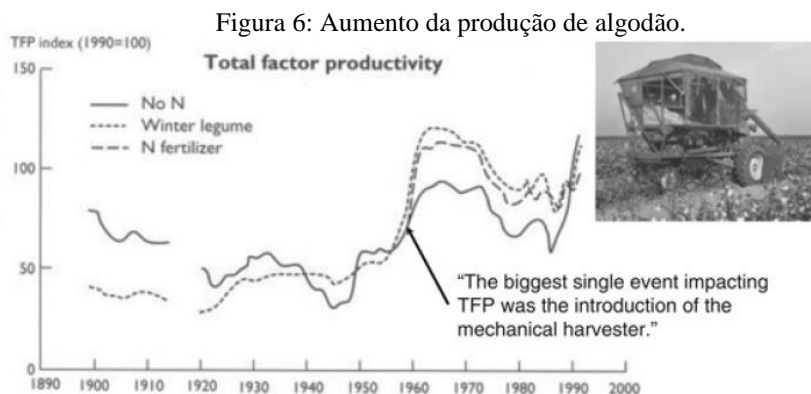
Sevila e Blackmore (2001), afirmam que o aumento do tamanho dos implementos agrícolas fora essencial para que o agricultor pudesse gerenciar áreas de terras maiores. Anteriormente, essas máquinas usavam a mesma configuração em toda sua extensão, o que não é apropriado, já que o solo pode ter diferentes características em um mesmo lote.

2.2 MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA

Nogueira-Filho e Hamann (2016), afirmam que o surgimento da indústria automobilística e a expansão do setor de autopeças foram essenciais para elevar ao máximo a produção da agricultura. Onde no início o homem era mais limitado quando pensava em expandir as áreas de cultivo.

A mecanização é um fator que teve um efeito significativo na produtividade desde o início da agricultura moderna. A colheita mecanizada, por exemplo, foi um fator chave no

aumento da produção de algodão no século passado (Figura 6). No futuro, a mecanização também deverá contribuir para uma melhor gestão dos insumos, o que será fundamental para aumentar a produção global, sistemas que variam amplamente entre os tipos de culturas e o status econômico regional (REID, 2011).



Fonte: MITCHELL et. al, (1996).

REID (2011), ainda relata que no fim do século XX, o desenvolvimento do controle eletrônico, hidráulico e os sistemas de energia foram as tecnologias responsáveis pela melhora no desempenho e produtividade da máquina, ao lado do acesso a GNSS nos meados de 1990. Durante os últimos 20 anos a mecanização foi voltada em levantar informações, automação e comunicação, a fim de avançar no controle dos sistemas da produção agrícola.

2.3 AGRICULTURA DE PRECISÃO

Segundo Reid (2011), a primeira vez que sensores foram instalados em um implemento agrícola, foi na metade da década de 60, com o intuito de monitorar o espaçamento de sementes, onde, anteriormente esta função era realizada pelo agricultor.

Conforme Shiratsuchi, et al. (2014 Apud Maia et al. 2019) diversas tecnologias têm surgido para otimizar os processos de fabricação, nesse sentido, a agricultura tem se apoderado dessas tecnologias para monitorar e auxiliar em tomadas de decisões, por exemplo os sistemas de navegação por satélite e sensores que estão apoiando os processos agrícolas.

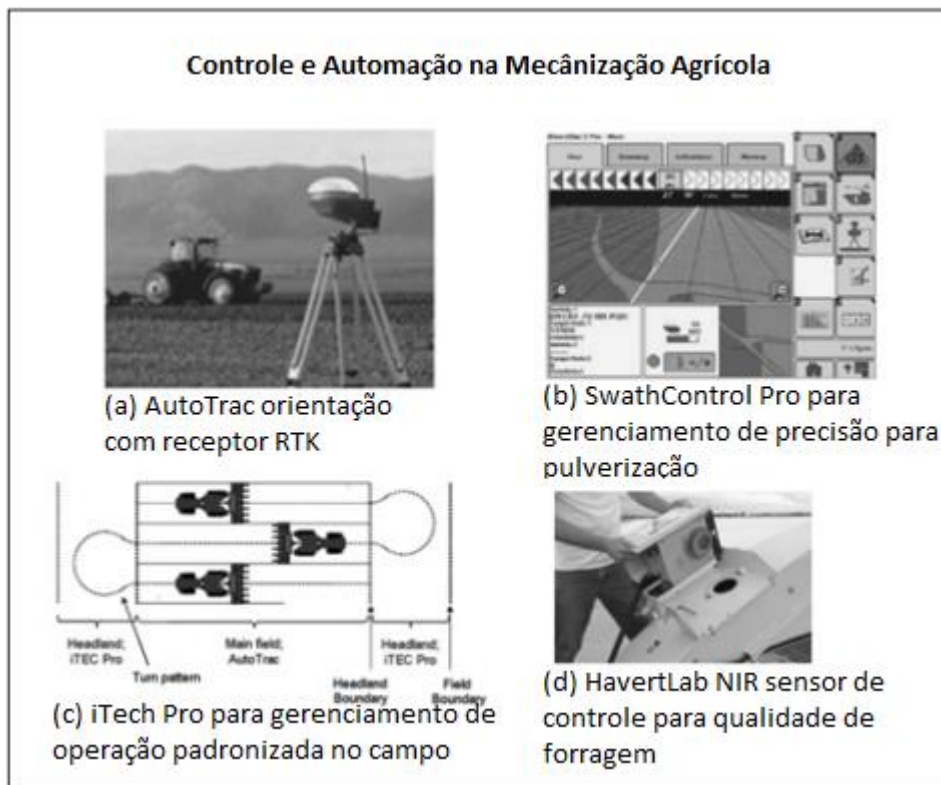
Costa et. al (2015), afirmam que com o surgimento do sistema de posicionamento global (GPS), foram realizados diversos avanços, na virada do século XXI, esta tecnologia se tornou tão precisa que fornecia o posicionamento com uma margem de erro de centímetros. Juntamente com sensores de posição e de variação angular, o GPS possibilitou o desenvolvimento de sistemas automatizados.

De acordo com Reid (2011), a disponibilização pública do GNSS em 1990, foi um facilitador de tecnologia para a agricultura de precisão. Esta tecnologia forneceu boa precisão

para mapeamento usando sinais de um ponto de referência geoespacial, mas seu sucesso é atribuído a implementos com capacidade para aplicações de taxa variável. As estratégias de controle para estes sistemas são mapas desenvolvidos pelos usuários, baseado em um sistema de informações geográficas (GIS), em culturas, paisagens e na colheita anterior.

Reid (2011) complementa que um exemplo desta tecnologia com grande qualidade é o sistema *Real-time Kinematic global positioning system* (RTK-GPS), (Figura 7), que reduz a fadiga e melhora o desempenho das operações em campo. Ou seja, a utilização do GPS melhorou muito a produção na agricultura. E a partir daí, novas tecnologias surgiram, com RTK-GPS, vários sistemas de satélite, fusão de sensores com sensores complementares e múltiplas fontes de correções.

Figura 7: Sistema RTK-GPS.



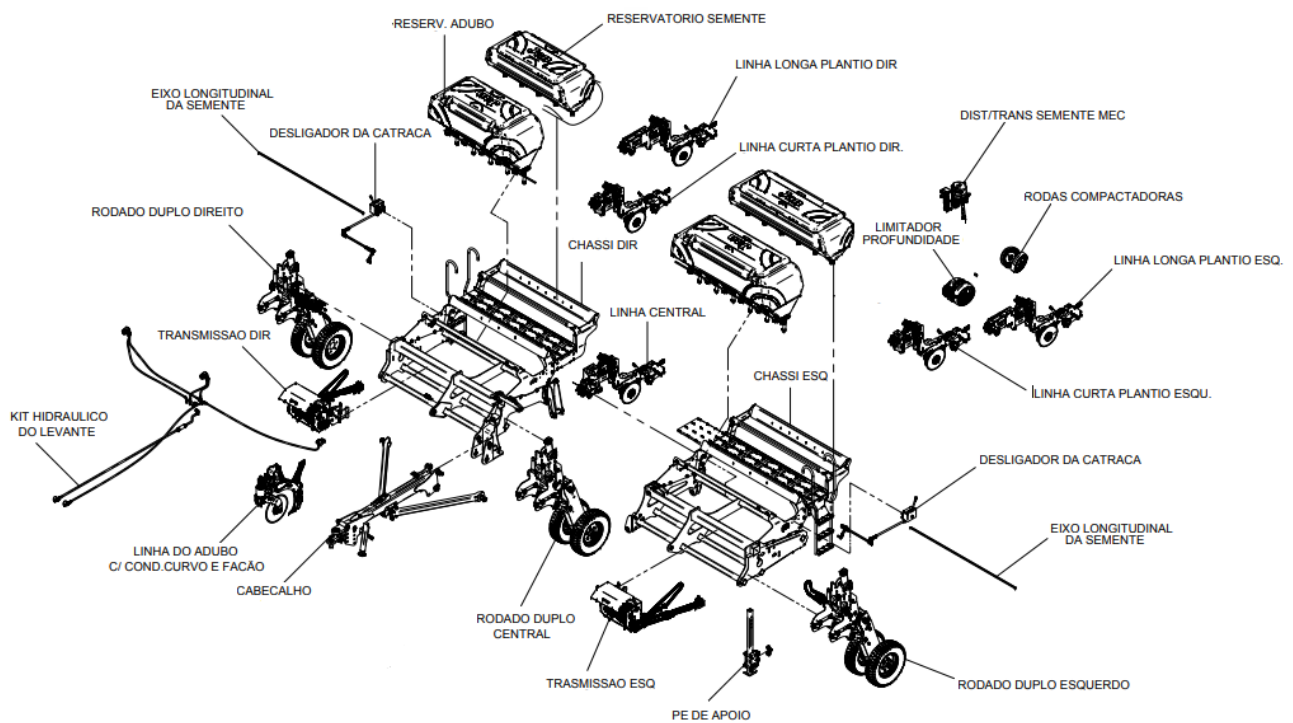
Fonte: Adaptado de REID (2011).

Segundo Bonneau et al. (2017 apud Ribeiro et al. 2018), a tecnologia é a base da agricultura 4.0, tanto é que um dos desafios do setor é a padronização tecnológica que garanta a compatibilidade dos equipamentos, requerendo capacidade dos agricultores de investimento em modernização.

2.4 FUNCIONAMENTO DE UMA SEMEADORA

Nesta obra será trabalhado com a linha de semeadoras e semeadora-adubadora de grão graúdo, tratorizadas montada e de arrasto. Estas semeadoras ainda possuem uma ampla variedade de configurações de acordo com o solo em que será utilizada, configurações que não serão consideradas neste projeto. Os componentes da semeadora do tipo tratorizadas de arrasto podem ser visualizados na figura 8.

Figura 8: Vista explodida semeadora.

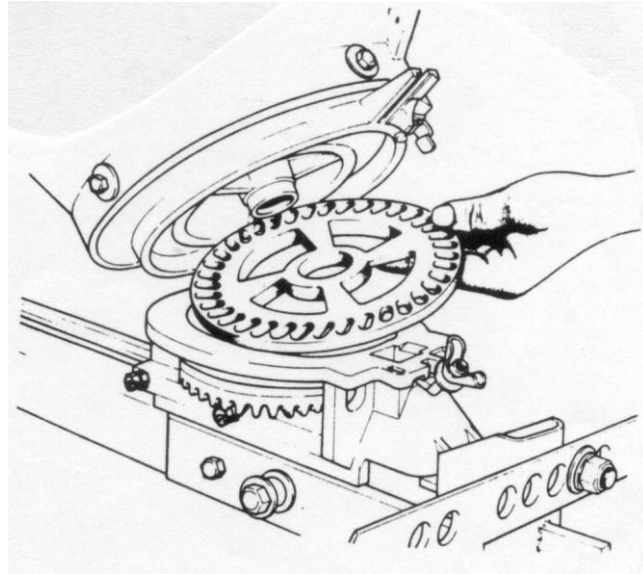


Fonte: Adaptado de manual Jan (2022)

De acordo com Balastreire (1987), semeadoras ou semeadoras-adubadoras tratorizadas são implementos que são acionados e deslocados por tratores agrícolas. As semeadoras montadas são acopladas ao trator através do sistema hidráulico de 3 pontos, enquanto a semeadora de arrasto é tracionada por apenas um ponto do trator, normalmente a barra de tração.

Balastreire (1987) afirma que, o mecanismo dosador é responsável por dosar as sementes e conduzi-las até uma abertura de saída, o qual dispõem de diversos modelos, neste caso, será utilizado como base o dosador de disco perfurado horizontal, conforme figura 9.

Figura 9: Dosador disco perfurado horizontal.



Fonte: Leandro M. Gimenez (2017)

2.4.1 Sistema de dosador de semente mecânico

O mecanismo dosador de semente mecânico, é acionado através de conjunto de rodas dentadas e eixos (Figura 10), que por sua vez é acionado pelo rodado da semeadora. Estas rodas dentadas possuem diversas combinações de acordo com a população de sementes que o agricultor deseja utilizar na sua lavoura, a qual demanda tempo para o ajuste.

Figura 10: Caixa de Transmissão.



Fonte: Autor (2022).

Esta configuração varia de acordo com o implemento e marca do mesmo, e deve ser seguido uma tabela disponibilizada pelo fabricante, abaixo (Figura 11) exemplo de tabela para configuração da transmissão dos dosadores.

Figura 11: Tabela de configuração da semeadora.

TABELA DE AUXÍLIO NA REGULAGEM PARA DISTRIBUIÇÃO DE SEMENTE - TIGER FLEX PNEUMÁTICA										
COMBINAÇÃO RODAS DENTADAS		DISCO DE MILHO - 28 FUROS			DISCO DE MILHO - 28 FUROS			DISCO DE FEIJÃO - 35 FUROS		
		SEMENTES/METRO LINEAR			SEMENTES/METRO LINEAR			SEMENTES/METRO LINEAR		
RODA DENTADA MOTRIZ	RODA, DENTADA MOVIDA	MOV.1 - Z14	MOV.2 - Z14	MOV.1 - Z14	MOV.1 - Z14	MOV.1 - Z14	MOV.1 - Z14	MOV.1 - Z14	MOV.1 - Z14	MOV.1 - Z14
Z14	Z23	2,5	4,3	15,5	2,2	6,3	10,7	4,2	12,3	21,1
Z14	Z21	3,3	9,8	16,8	2,4	6,9	11,7	4,6	13,4	23,1
Z16	Z23	2,8	10,2	17,2	2,5	7,2	12,2	4,8	14,0	24,1
Z14	Z19	3,7	10,8	18,5	2,6	7,6	12,9	5,1	14,9	25,5
Z16	Z21	4,8	11,2	19,3	2,7	7,8	13,4	5,2	15,4	26,4
Z18	Z23	3,9	11,5	19,7	2,8	8,1	13,7	5,4	15,8	27,1
Z14	Z17	4,1	12,1	20,7	2,9	8,5	14,5	5,6	16,6	28,8
Z16	Z19	4,2	12,3	21,2	3,0	8,7	14,8	5,8	17,0	29,1
Z18	Z21	4,3	12,6	21,6	3,0	8,8	15,1	5,9	17,3	29,7
Z20	Z23	4,3	12,7	21,9	3,1	8,9	15,3	6,0	17,5	30,1
Z14	Z15	4,7	13,7	23,5	3,3	9,6	16,4	6,4	18,8	32,3
Z16	Z17	4,7	13,8	23,7	3,3	9,7	16,5	6,5	19,0	32,6
Z18	Z19	4,7	13,9	23,8	3,3	9,7	16,6	6,5	19,1	32,8
Z20	Z21	4,8	14,0	24,0	3,4	9,8	16,7	6,5	19,2	33,0
Z24	Z23	5,2	15,3	26,2	3,7	10,7	18,3	7,2	21,0	36,1
Z20	Z19	5,3	15,4	26,5	3,7	10,8	18,5	7,2	21,2	36,4
Z18	Z17	5,3	15,5	26,6	3,7	10,9	18,6	7,3	21,3	36,6
Z16	Z15	5,3	15,6	26,8	3,8	11,0	18,7	7,3	21,5	36,9
Z24	Z21	5,7	16,7	28,7	4,0	11,8	20,1	7,8	23,0	39,6
Z20	Z17	5,9	17,2	29,6	4,2	12,1	20,7	8,1	23,7	40,7
Z18	Z15	6,0	17,6	30,2	4,2	12,3	21,1	8,2	24,2	41,5
Z24	Z19	6,3	18,5	31,8	4,5	13,0	22,2	8,7	25,5	43,7
Z20	Z15	6,7	19,5	33,8	4,7	13,7	23,4	9,1	26,9	46,1
Z24	Z17	7,0	20,7	35,5	5,0	14,5	24,8	9,7	28,5	48,9
Z24	Z15	8,0	23,4	40,2	5,7	16,5	28,1	11,0	32,3	55,4

Fonte: Autor (2022).

2.4.2 Sistema de dosador de semente eletrônico

O dosador de semente eletrônico é acionado por meio de motores conduzidos por módulos eletrônicos. Estes módulos eletrônicos trabalham com uma série de sensores, sendo que um destes sensores é o sensor de localização que recebe dados de satélites. Esses dados servem para obter além da velocidade na qual o implemento está trabalhando, a localização geográfica, e assim variar a velocidade do disco dosador.

A velocidade do disco dosador também varia de acordo com a configuração do módulo referente a população de grão a ser dosada no solo em determinado ponto geográfico. Essa configuração se torna mais rápida e precisa que o mecanismo de dosador mecânico, a seguir (Figura 12) temos um exemplo do sistema de dosador eletrônico.

Figura 12: Sistema eletrônico.



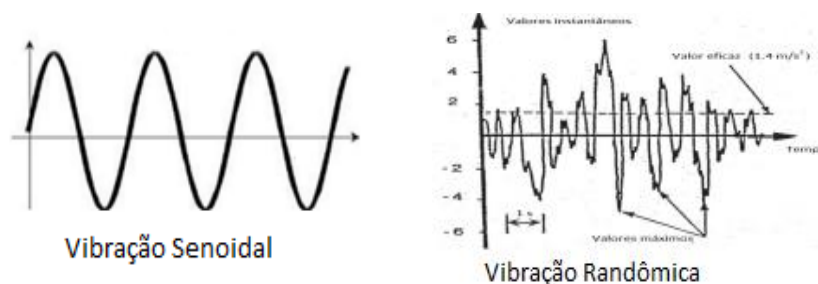
Fonte: Autor (2022).

2.5 PROBLEMAS DE VIBRAÇÃO MECÂNICA EM IMPLEMENTOS

Segundo Prasad et al. (1995), toda máquina que possui sua potência originada por motores de combustão interna, está sujeita a produzir vibração mecânica. Esta vibração tem origem devido ao movimento giratório das partes internas do motor e caixa de transmissão, chamadas de vibrações senoidais.

Roth (2010), afirma que as vibrações do tipo senoidais são de origem natural e podem ser previsíveis, apresentando frequência e amplitude constantes. (Figura 13) Já as vibrações do tipo randômica são vibrações imprevisíveis, causadas pelo terreno irregular onde o implemento agrícola é utilizado. Pode-se dizer desta forma, que o implemento agrícola está sujeito a dois tipos principais de vibrações: as retilíneas e as randômicas.

Figura 13: Vibração senoidal e randômica.

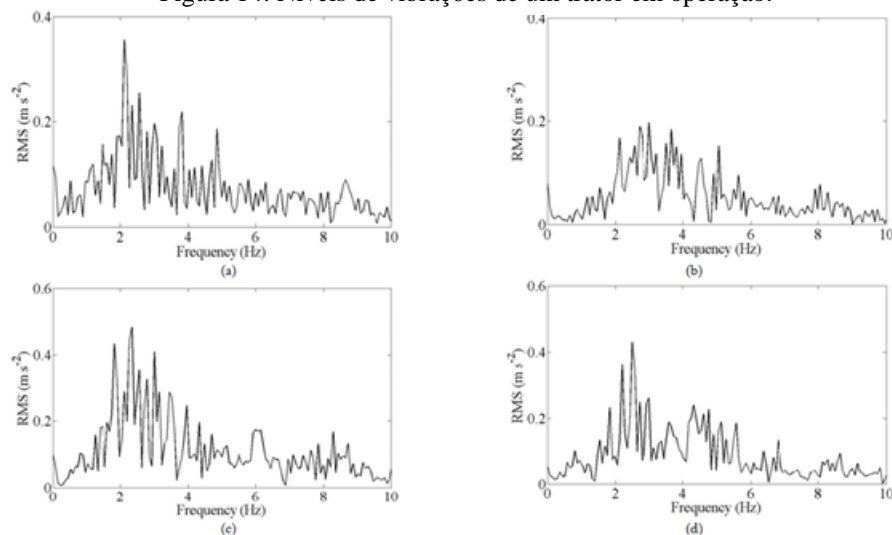


Fonte: Roth (2010).

Belinazzo (2018), relata que todo tipo de tecnologia embarcada disponível em implementos agrícolas, está instalada na cabine de operação do trator. Isso faz com que sejam realizadas pesquisas com a finalidade de amenizar estas vibrações e aumentar a confiabilidade das juntas soldadas em componentes eletrônicos.

Foram realizados estudos por Villibor et al. (2014), onde sensores foram instalados nos eixos dianteiro e traseiro além da barra de tração do trator. Os sensores utilizados nos eixos foram designados para medir a aceleração quadrática média (RMS), utilizado para caracterizar os níveis de vibração nos eixos. Já o sensor da barra de tração foi utilizado para aferir a tensão de tração. Este estudo foi realizado durante diversas operações de aragem em campo. A figura 14 mostram os resultados obtidos.

Figura 14: Níveis de vibrações de um trator em operação.



Fonte: Villibor et al. (2014).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de desenvolver um novo sistema eletrônico para semeadoras que não utilize o sinal de GNSS, e uma bancada de testes para avaliar seu funcionamento antes de ser levado aos testes de campo. O presente capítulo abordará as ferramentas de projeto responsáveis por auxiliar nas tomadas de decisões, como o desenvolvimento do projeto informacional e projeto conceitual. Neste também serão abordados os cálculos envolvidos na programação eletrônica.

3.1 PROJETO INFORMACIONAL

De acordo com Nickel et al (2010), a etapa do projeto informacional é encarregada por gerar a matéria prima principal para obter as especificações de projeto, e os atributos do produto.

Ensslin et al. (2011) afirma que para tomar conhecimento dos requisitos do novo produto é necessário responder questões do tipo: Como identificar as necessidades do consumidor? Como organizar as necessidades em classes equivalentes? Como mensurá-las? Como integrá-las? E por último, como utilizar todo este conhecimento para aperfeiçoar o produto?

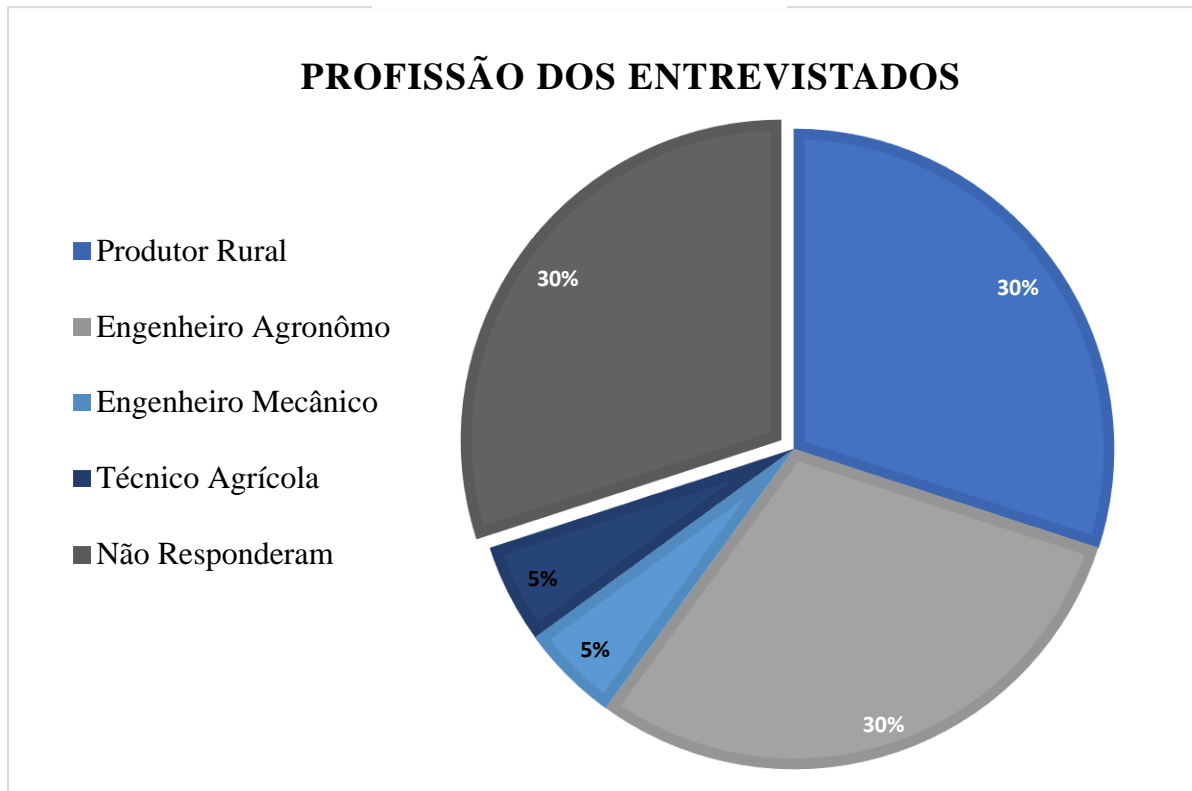
Sendo assim esta etapa do projeto é de extrema importância, pois é ela que trará todas as informações fundamentais para o trabalho do projetista. Nesta etapa é necessário estabelecer o ciclo de vida do produto, identificar as informações técnicas sobre o tema, identificar as necessidades e requisitos dos clientes, estabelecer os requisitos e especificações de projeto.

Com o intuito de buscar informações sobre produtos já existentes no mercado, e o correto funcionamento de uma semeadora, foi consultado o setor de Agricultura de Precisão de uma indústria de implementos agrícolas da região do Alto Uruguai, e também alguns especialistas da área da Agronomia e produtores rurais.

Esta pesquisa foi de suma importância para saber as exigências dos agricultores ao procurar por novas tecnologias, e os requisitos que uma semeadora necessita para efetuar uma boa semeadura. Foram entrevistados entorno de 20 profissionais que atual diretamente e

indiretamente com a área da agricultura. Conforme figura 15, está disponibilizado a relação da profissão dos entrevistados. Onde podemos analisar um elevado número de abstenções.

Figura 15: Relação de entrevistados.



Fonte: Autor (2022).

3.1.1 Ciclo de vida do produto

O ciclo de vida do produto compreende os estágios de produção, comercialização e vai até o descarte ou sucateamento do equipamento (BARBIERI et al., 2009).

No apêndice I está disponível uma tabela que descreve as etapas do ciclo de vida do produto, partindo dos recursos disponíveis para o planejamento e construção, até o descarte correto do produto.

3.1.2 Requisitos do cliente

Segundo Ensslin et al. (2011), para desenvolver um novo produto, é fundamental conhecer as necessidades assim como expectativas do público alvo, para qual o produto será desenvolvido. Como dito anteriormente, foi realizado uma entrevista, para o levantamento dos

requisitos do cliente, a figura 16 demonstra um exemplo do questionário disponibilizado, o qual foi respondido pelo professor de agronomia do instituto Prof. Dr. Marcos Paulo Ludwig.

Figura 16: Entrevista

Pesquisa sobre requisitos do cliente sobre sistema eletrônico de dosagem de sementes em semeadoras destinadas ao pequeno produtor .

Nome: Marcos Paulo Ludwig

Profissão: Professor da Área da Agronomia

Requisitos do cliente	Grau de importância***				
	1	2	3	4	5
Valor de aquisição					X
Mão de obra qualificada*				X	
Sensores para coleta de dados		X			
Funcionar em locais remotos**		X			
Visor para monitoramento da semeadura			X		
Boa confiabilidade				X	
Baixo tempo de configuração				X	
Qualidade na semeadura					X
Caso haja algum requisito importante não citado, favor relatar abaixo juntamente com seu grau de importância: Justifico algumas questões pensando na ideia de pequenos produtores alguns não tem acesso a GPS e dificuldade em usar sistemas de regulagem e configuração. Caso tenha acesso poderá ter maior importância. Quanto a necessidade de configuração é importante ser de fácil regulagem, pois não há acompanhamento de técnicos no momento do uso. Sugestão regulagem fácil.					

*Mão de obra qualificada destinada ao acerto da configuração do implemento.

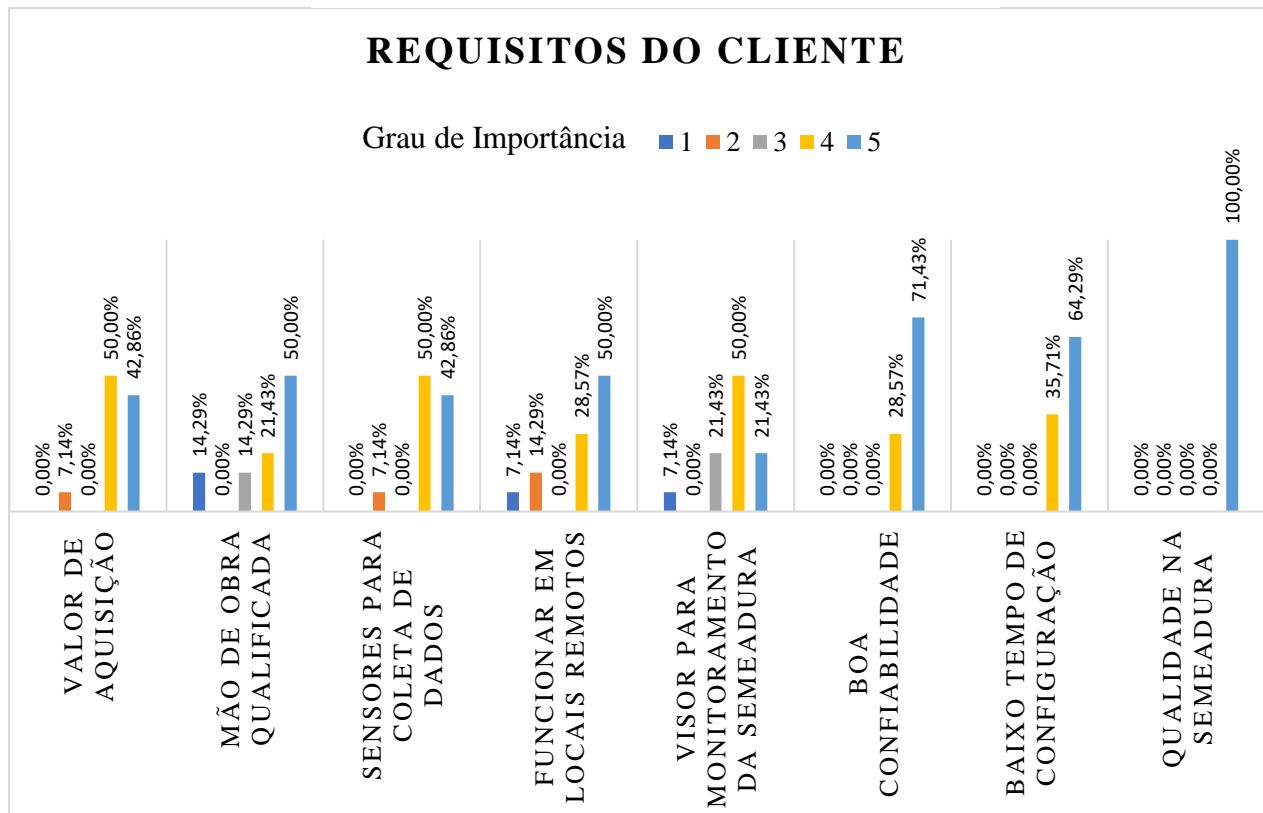
**Funcionar em locais remotos onde pode ocorrer falhas no sinal do GPS.

Fonte: Autor (2022).

O *feedback* passado pelo professor foi de suma importância para o projeto, pois coincide com a ideia inicial trabalho, onde o foco está nos pequenos agricultores que não tem acesso ao GPS e muitas vezes encontram dificuldades para usar sistemas eletrônicos.

Feito isso, foi possível mensurar graficamente (Figura 17) a importância relativa de cada item a ser levado em consideração no projeto do sistema eletrônico.

Figura 17: Resultados da pesquisa sobre requisitos do cliente.



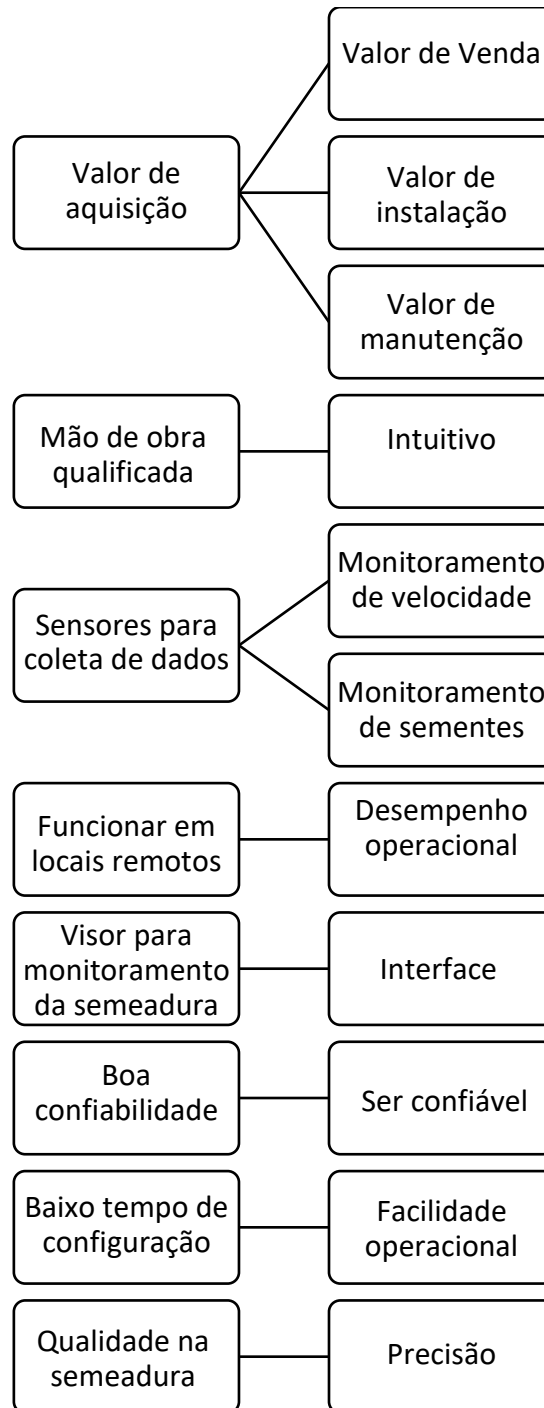
Fonte: Autor (2022).

Conforme representado no gráfico, o resultado da pesquisa obteve maior número de votos nas opções do grau de importância 4 e 5, com diferença significativa com relação as demais opção pesquisadas.

3.1.3 Requisitos do projeto

A atividade anterior foi responsável pelas principais informações de entrada para estabelecer os requisitos de projeto, no diagrama da figura 18. Contudo, foi realizado um estudo em produtos similares, afim de obter as soluções disponíveis no mercado da AP.

Figura 18: Requisitos de cliente vs. Requisitos de projeto.



.Fonte: Autor (2022).

Partindo deste ponto, construiu-se a partir deste ponto a casa da qualidade disponibilizada no apêndice II deste documento. O intuito da QFD (Desdobramento da Função Qualidade) é gerar menos alterações no projeto, reduzindo tempo no desenvolvimento do produto e, garantindo a qualidade dos produtos de acordo com o desejo dos clientes (SLACK (2009)).

Com a construção da matriz QFD, foi possível quantificar a importância relativa dos requisitos e atributos de projeto, para assim hierarquizar a importância de cada item. O quadro de especificações disponível abaixo, demonstra as metas do projeto e como estas metas serão avaliadas.

Tabela 1: Requisitos de projeto.

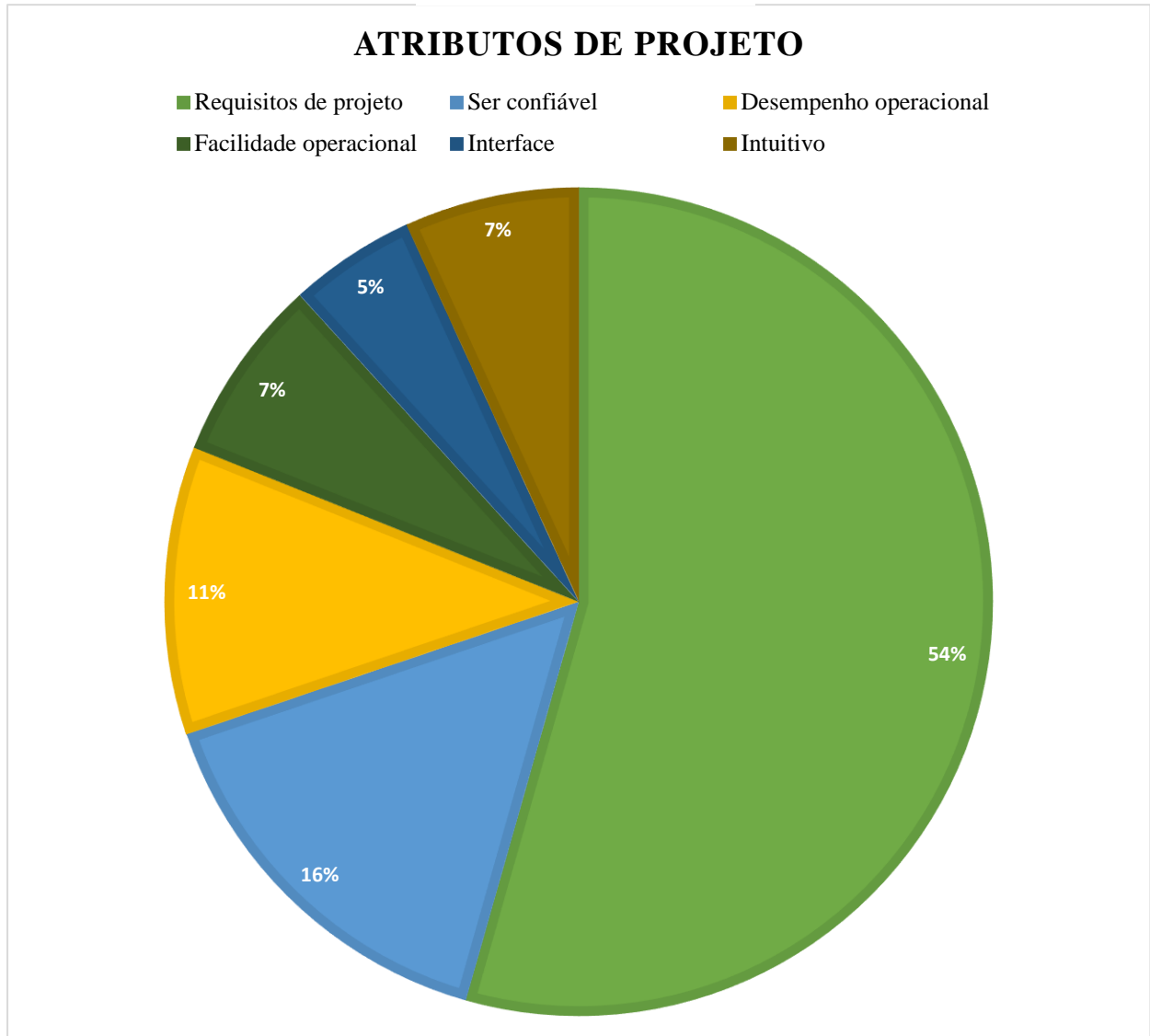
CLASSIFICAÇÃO	IMPORTÂNCIA RELATIVA	DESCRIÇÃO DO REQUISITO	MODO DE VERIFICAÇÃO	UNIDADE DE MEDIDA	POSSÍVEIS RISCOS
1° Requisito	13,59%	Precisão	Aferir a singulação da semeadura com sensores.	Semente/ m	Baixa eficiência na singulação da semeadura
2° Requisito	11,90%	Valor de venda	Realizar pesquisa para compra de materias de fácil aquisição.	R\$	Alto valor de venda não atenderá o público alvo.
3° Requisito	9,04%	Monitoramento de semente	Instalação de sensores compatíveis com a função.	Semente/ m	Erros de leitura nos sensores do condutor de semente, causa

					falhas no monitoramento da singulação da semente
4° Requisito	9,04%	Monitoramento de velocidade	Instalação de sensores compatíveis com a função.	km/h	Erros de leitura dos sensores causa falha no sistema de dosagem de sementes.
5° Requisito	5,96%	Valor de manutenção	Componentes eletrônicos devem ser dimensionados e soldados de acordo com a necessidade, para prevenir a manutenção	R\$	Quebra de componentes eletrônicos devido a vibração
6° Requisito	4,87%	Valor de instalação	Disponibilizar profissionais capacitados para a instalação do produto, reduzindo custo para o cliente	R\$	Erros de instalação, causam problemas no produto.

Fonte: Autor (2022).

Já os atributos do consumidor definidos na casa da qualidade, são requisitos não quantitativos, portanto não se enquadram no quadro de especificações do projeto. Sendo assim, foram classificados graficamente na figura 19.

Figura 19: Atributos de projeto.



Fonte: Autor (2022).

O gráfico representa que o atributo mais importante para o consumidor é a confiabilidade, pois além de evitar perda na produção, reduz custos de manutenção e consequentemente hora de máquina parada. Já em segundo lugar vem o desempenho operacional o qual mostra a importância de um novo produto que não utilize tecnologia GNSS.

3.2 PROJETO CONCEITUAL

De acordo com Ogliari (1999), o projeto conceitual visa obter concepções de produtos para solucionar problemas de projeto e assim satisfazer os requisitos dos clientes. O mesmo autor complementa que é função da equipe de desenvolvimento de projeto buscar informações

com clientes e obter concepções de produtos que atendam suas necessidades. Já Ferreira (1997), afirma que a concepção de um produto que atenda inteiramente às necessidades do cliente, está sujeita a limitações de recursos e restrições de projeto.

Este capítulo busca criar concepções através do levantamento de informações realizado no projeto informacional. As ferramentas utilizadas neste item seriam: Escopo do projeto, desdobramento da função global, matriz morfológica e síntese das concepções. Buscasse ao final desta etapa a concepção de projeto de acordo com a necessidade do cliente.

3.2.1 Escopo do projeto

O presente trabalho tem o intuito de criar um módulo eletrônico (ECU) para controlar dosadores de sementes utilizados em semeadoras destinadas a agricultura familiar, onde muitas vezes os principais problemas são, o alto valor de compra destes equipamentos e a localização destas lavouras, tornado inutilizável os produtos disponíveis no mercado. Está ECU também contará com sensores nos condutores de sementes, com finalidade de monitorar o plantio.

A construção da ECU e da bancada de testes será de acordo com as concepções obtidas por meio das ferramentas do projeto conceitual. Com o compromisso em desenvolver a bancada para realização de testes, será utilizado o auxílio de *software* para modelagem das concepções que melhor atendam a necessidade dos testes. Onde será possível verificar a singulação da sementeira, validando a eficiência do módulo. Com finalidade de proporcionar a estes agricultores uma sementeira de qualidade.

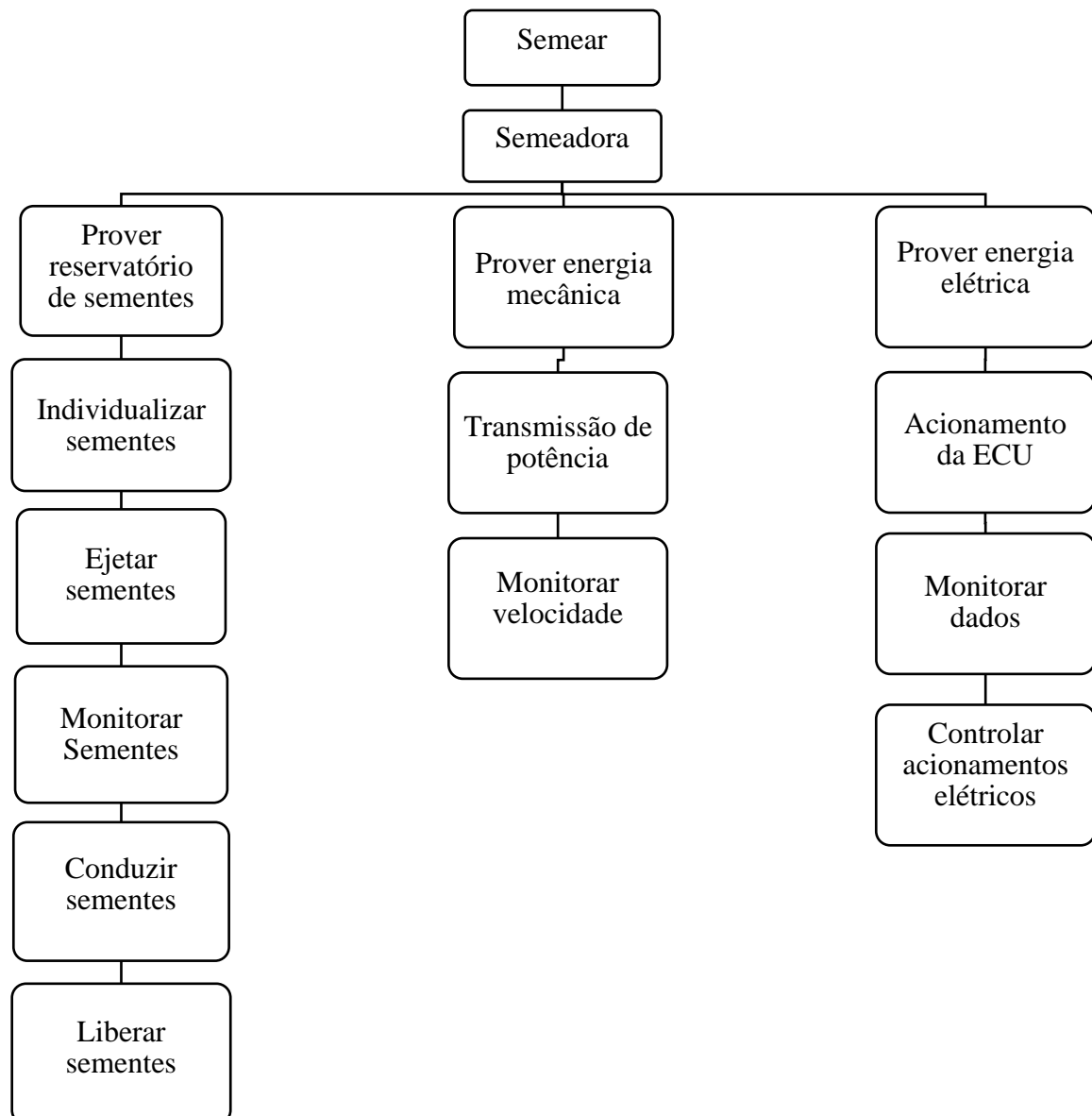
3.2.2 Estrutura funcional

Verificou-se ao analisar as etapas anteriores do projeto, que o escopo do problema consiste em proporcionar uma sementeira de qualidade com baixo tempo de *set up* do implemento, tendo custos e manutenção condizentes com a realidade do produtor. Quanto as restrições de projeto, observou-se que a localização remota destas propriedades podem ser um dos fatores limitantes para a aquisição de ferramentas que utilizem sinais de GPS.

3.2.3 Função global

O desdobramento da função global do projeto (semear) é realizado mediante o uso do diagrama de blocos, como podemos analisar a figura 20. Esta etapa é responsável por levantar informações uteis sobre a perspectiva do consumidor (necessidades e prioridades).

Figura 20: Desdobramento da função global.



Fonte: Autor (2022).

3.2.4 Matriz morfológica

Após a realização do desdobramento da função global foi possível realizar a matriz morfológica do projeto, que tem por finalidade listar todas as opções de peças e componentes disponíveis no mercado para utilização neste projeto. Esta fase é imprescindível para a

continuidade do projeto, pois é a partir dela se arquiteta a concepção do produto, sendo possível avaliar qual opção se adapta melhor na necessidade do cliente.

Esta fase constituirá duas etapas, na primeira será criada a matriz morfológica do sistema eletrônico (Tabela 2), feito isso, a segunda etapa é destinada para criação da matriz morfológica da bancada de testes (Tabela 3).

Tabela 2: Matriz Morfológica do Sistema Eletrônico.

Matriz Morfológica do Sistema Eletrônico						
		1	2	3	4	5
Módulo de sensoriamento	A – Monitorar velocidade	Radar	Sensor óptico	Sensor indutivo	Sensor capacitivo	Sensor hall
	B – Monitorar posicionamento	Chave fim de curso	Resistor resistivo linear	Sensor óptico	Sensor indutivo	
	C – Monitorar sementes	Sensor óptico	Sensor capacitivo	Sensor laser		
	D – Monitorar velocidade motor	Sensor capacitivo	Sensor velocidade encoder			
Plataforma	E – Microcontrolador de baixo custo	Arduino	Raspberry PI	MSP430	Beagle Bone	
Componentes diversos	F – Movimento do disco	Motor CA	Motor CC	Motor de passo		
	G – Transmissão de informações	Cabo	Sem fio			
	H – Tipo de operação	Centralizada	Descentralizada			
	I – Fixação dos cabos	Fita adesiva	Presilha adesiva	Bucha grampo	Cinta plástica	

Fonte: Autor (2022).

Tabela 3: Matriz Morfológica da Bancada de Teste.

Matriz Morfológica da Bancada de Teste						
		1	2	3	4	5
Módulo estrutural	A – Prover estrutura bancada	Tubos de PVC	Madeira	Tubos de aço	Perfil I	Perfil L (cantoneira)
	B – Prover união estrutural	Solda	Cola	Parafuso	Rebite	Encaixe
	C – Prover união dosador	Pino	Parafuso	Cola	Rebite	
	D – Prover estrutura esteira transportadora	Tubos de aço	Tubos de PVC	Perfil L (cantoneira)	Madeira	
Módulo de potência	E – Prover potência	Motor hidráulico	Motor CC	Motor CA		
	F – Prover acionamento do motor	Unidade hidráulica	Rede elétrica	Arduino	Inversor de frequência	Bateria
Módulo de movimento	G – Prover transmissão de potência	Engrenagem	Polia	Fuso	Roda dentada	
	H – Prover juntas de movimento	Bucha	Mancal de rolamento			
	I – Prover esteira transportadora	Tecido	Borracha	Lona		
	J – Prover rolete esteira	PVC	Aço	Nylon	Madeira	PLA

Fonte: Autor (2022).

As conclusões obtidas na tabela 2 e tabela 3 estão disponíveis no capítulo, Avaliação das concepções.

3.2.5 Avaliação das concepções

Com o auxílio da matriz morfológica disponível nas tabelas 2 e 3, que lista as opções acessíveis no mercado de acordo com a necessidade do projeto. Será possível obter neste parágrafo a concepções do produto e da bancada de testes, de acordo com os requisitos de projeto e materias disponíveis na instituição.

3.2.5.1 Concepção do produto

Foram considerados os requisitos dos clientes e requisitos de projeto na concepção do sistema eletrônico. Neste contexto, avaliando as concepções na visão construtiva e operacional, visto que o ambiente de trabalho do implemento é insalubre. Após a realização da matriz morfológica foi escolhido as opções que se adequam melhor na criação do protótipo, conforme tabela 4, citamos as vantagens e desvantagens de cada item escolhido, justificando assim sua escolha.

Tabela 4: Concepção do Produto.

Concepção do Produto			
Classe	Escolha	Vantagem	Desvantagem
Monitorar velocidade	Sensor Indutivo	Bom funcionamento em locais insalubres.	Rodado pode sofrer arrasto, prejudicando a medição de velocidade.
Monitorar posicionamento	Sensor Indutivo	Bom funcionamento em locais insalubres.	
Monitorar sementes	Sensor óptico	Bom funcionamento em pequenas distancias.	A utilização de grafite na semente pode prejudicar a leitura.
Monitorar velocidade do motor	Sensor velocidade encoder	Boa precisão de leitura de rotação.	
Microcontrolador	Arduino	Baixo custo, fácil operação.	Não permite a ligação de monitor e teclado.

Movimento do disco	Motor CC	Baixo custo, fácil instalação.	Baixa precisão de controle comparado ao motor de passo.
Transmissão de informações	Cabo	Mais robusto.	Pode ocorrer esmagamento e rompimento de cabos.
Tipo de operação	Centralizada	Baixo custo.	
Fixação dos cabos	Cinta plástica	Baixo custo, fácil aplicação.	

Fonte: Autor (2023).

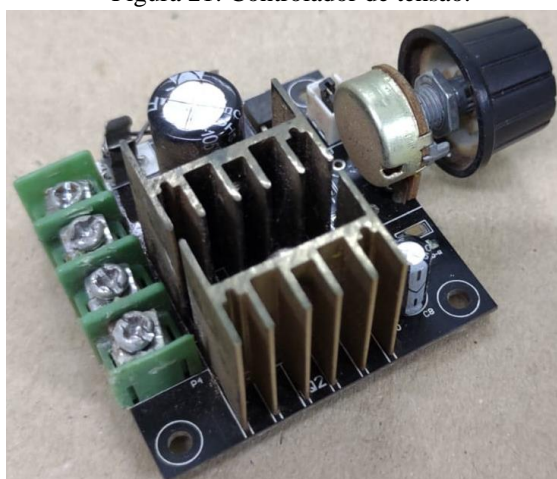
3.2.5.2 Concepções da bancada de teste

Com base na matriz morfológica da bancada de testes, foi avaliado a escolha da concepção, de acordo com o material disponível no instituto.

Sendo assim, foi escolhido para a estrutura da bancada, tubos de aço unido por solda, e para montagem dos itens foi escolhido parafusos e pinos. Para a estrutura da esteira responsável pela simulação do solo, foi escolhido tubos de aço unidos por solda, pinos para articulação e parafusos para fixação dos demais itens.

Para prover movimento será utilizado um motor de corrente contínua 12v, disponível no campus, o qual não se tem maiores informações. Uma fonte 12v e 10ah ligada a um controlador de tensão também de 10ah (Figura 21), a esteira foi fabricada de borracha e suas roldanas usinadas em nylon e também impressas em PLA, a junta de movimento foi constituída através de mancais de rolamentos e rolamentos de esfera.

Figura 21: Controlador de tensão.



Fonte: Autor (2023).

3.3 PROJETO PRELIMINAR

Com base nas concepções escolhidas para o sistema eletrônico e bancada de teste, foram definidos os componentes que seriam confeccionados no instituto e quais componentes seriam adquiridos com o próprio orçamento. A tabela 5 mostra os componentes eletrônicos e estruturais utilizados neste projeto.

Tabela 5: Componentes e processo de fabricação.

Componente	Aquisição	Processo
Tubo aço 30x20	Estoque IFRS	Corte/Furação/Usinagem/Solda
Tubo aço 80x40	Estoque IFRS	Corte/Solda
Barra Red. Aço \varnothing 35mm	Estoque IFRS	Corte/Usinagem
Barra Red. Nylon \varnothing 100mm	Estoque IFRS	Corte/Usinagem
Barra Red. Nylon \varnothing 20mm	Estoque IFRS	Corte/Usinagem
Tubo Red. Aço \varnothing 14,5mm	Comprado	Usinagem
Mancais de rolamentos	Comprado	Montagem
Rolamentos	Comprado	Montagem
Anéis elástico	Comprado	Montagem
Parafusos	Comprado	Montagem
Porcas	Comprado	Montagem
Arruelas	Comprado	Montagem
Esteira	Comprado	Vulcanização/Montagem
Dosador de semente	Estoque IFRS	Montagem
Motor CC esteira	Estoque IFRS	Montagem
Conjunto de rodas dentadas	Estoque IFRS	Montagem
Controlador de velocidade	Estoque IFRS	Montagem
Cabos elétricos	Comprado	Montagem
Fonte de alimentação	Estoque IFRS	Montagem
Arduino Mega	Comprado	Montagem/Programação
Tela LCD 16x4	Comprado	Montagem
Sensor indutivo	Comprado	Montagem
Sensor óptico	Comprado	Montagem
Sensor de velocidade óptico	Comprado	Montagem
Motor CC Dosador	Comprado	Montagem
Componentes eletrônicos diversos	Comprado	Montagem

Suporte motor/dosador	Fabricado	Impressão 3d/Montagem
Encoder motor dosador	Fabricado	Impressão 3d/Montagem
Suporte condutor semente	Fabricado	Impressão 3d/Montagem
Condutor de semente	Estoque IFRS	Montagem
Roda	Estoque IFRS	Montagem
Suporte roda	Estoque IFRS	Montagem
Roda dentada	Fabricado	Impressão 3d

Fonte: Autor (2023).

3.4 PROJETO DETALHADO

A documentação referente ao projeto como desenho técnico de fabricação da bancada, esquema elétrico e código de programação utilizado no Arduino, está disponível no apêndice deste documento.

3.5 DIMENSIONAMENTO DA BANCADA DE TESTES

Para o dimensionamento da bancada de testes, foi utilizado o *software Autodesk Inventor* para modelagem do conjunto, o qual a instituição disponibiliza uma licença para estudantes. Este *software* possui uma interface simples e educativa, além disso dispõe de recursos para simulações estáticas. No apêndice III podemos ver imagens da concepção da bancada de teste.

3.6 EQUAÇÕES PARA PROGRAMAÇÃO

Para obter a velocidade de deslocamento do implemento, se parte do ponto em que todos os pontos da roda estão com a mesma velocidade angular, sem quiques e sem deslizamento (movimento de rotação pura). De acordo com Halliday e Resnick (2012), a velocidade de translação é igual a velocidade de rotação. Dado por:

$$v = \omega r$$

Onde a velocidade angular é dada por:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

Rescrevendo a equação, a velocidade linear do implemento é:

$$v = \frac{2\pi r n}{60}$$

Onde:

$v = \text{m/s}$.

$r = \text{metros}$.

$n = \text{rpm}$

Para o cálculo de rotação desejada para o motor do dosador, foi realizado através das condições de contorno em que a rotação do disco de semente deve variar de acordo com:

- A velocidade que implemento se desloca.
- A quantidade de semente por metro (configurada no módulo eletrônico).
- A quantidade de furos que o disco de semente possui.

Partindo desse pressuposto foi definido que o cálculo para atingir a rotação desejada do motor CC é dado por:

$$nm = \frac{60 \cdot sm \cdot v}{fd}$$

Onde:

$nm = \text{rpm}$

$v = \text{m/s}$

As equações mencionadas acima serão utilizadas diretamente na programação do Arduino, e tem como objetivo controlar o motor elétrico do dosador de semente.

3.7 CONSTRUÇÃO E PROGRAMAÇÃO

O respectivo capítulo abordará os resultados das equações utilizadas na programação do Arduino, com a finalidade de verificar os parâmetros adequados para a utilização das mesmas. Além disso, contará também com a modelagem e fabricação dos itens necessários para montagem da parte eletrônica e demais componentes mecânicos necessários para realização dos testes. Feito isso será analisado o desempenho do produto de acordo com a configuração almejada.

3.7.1 Fabricação Mecânica

A fabricação mecânica dos itens referente a bancada de testes efetuou-se por meio dos equipamentos e materiais disponíveis no campus da instituição. Os materiais utilizados na construção da bancada bem como o processo de fabricação que os mesmos sofreram estão alocados no projeto preliminar do projeto conceitual.

A união dos tubos estruturais da bancada de teste ocorreu mediante a utilização da soldagem MIG/MAG, o qual estava disponível na instituição.

De acordo com Budynas e Nisbett (2011) é possível dimensionar os cordões de soldas mínimo requerido em um projeto utilizando apenas a espessura de metal base. De acordo com a tabela 6 tem-se a largura do cordão de solda com base na espessura do metal base.

Tabela 6: Dimensionamento do cordão de solda.

Espessura do material da parte unida mais espessa, mm	Tamanho de solda, mm
Até 6	3
Acima de 6 até 12	5
Acima de 12 até 20	6
Acima de 20 até 38	8
Acima de 38 até 58	10
Acima de 58 até 150	12
Acima de 150	16

Fonte: Adaptado de Budynas e Nisbett (2011).

Como citado acima esta tabela referência a largura de cordão mínimo, deve ser levado em consideração para o correto dimensionamento da largura de cordão de solda a aplicação do projeto, materiais utilizados e o tipo de solda a ser executada.

Para a execução de solda deste projeto utilizou-se a largura de cordão 6mm para tubos mais espessos e cordão 4mm para tubos com paredes mais finas, visando que a espessura máxima dos tubos não ultrapassa os 6mm tabelados acima. As especificações podem ser vistas nos desenhos técnicos. Na figura 22 apresenta a solda executada.

Figura 22: Solda executada na bancada de teste.



Fonte: Autor (2023).

Para os elementos de fixação não permanente, foram utilizados parafusos seguindo a norma DIN ISO 898 com classe de resistência 8.8. As porcas utilizadas seguiram a norma DIN EN 20898-2 com classe de resistência 8, ambos os itens são de fácil comercialização, atendendo aos requisitos de projeto.

3.7.2 Prototipagem Rápida

De acordo com GORNI (2013), o processo de prototipagem rápida refere-se à criação de um produto através da adição de material (manufatura aditiva), diferentemente da usinagem, onde a concepção de uma nova peça depende apenas da remoção de material de um bloco bruto.

Neste trabalho foi utilizado o processo de manufatura aditiva de polímero termoplástico PLA, este polímero é fabricado a partir de fontes renováveis de matéria prima vegetal, portanto

é biodegradável, compostável e reciclável. Sua extrusão transcorreu através de uma impressora 3d da marca Creality modelo Ender 3 V2 figura 23.

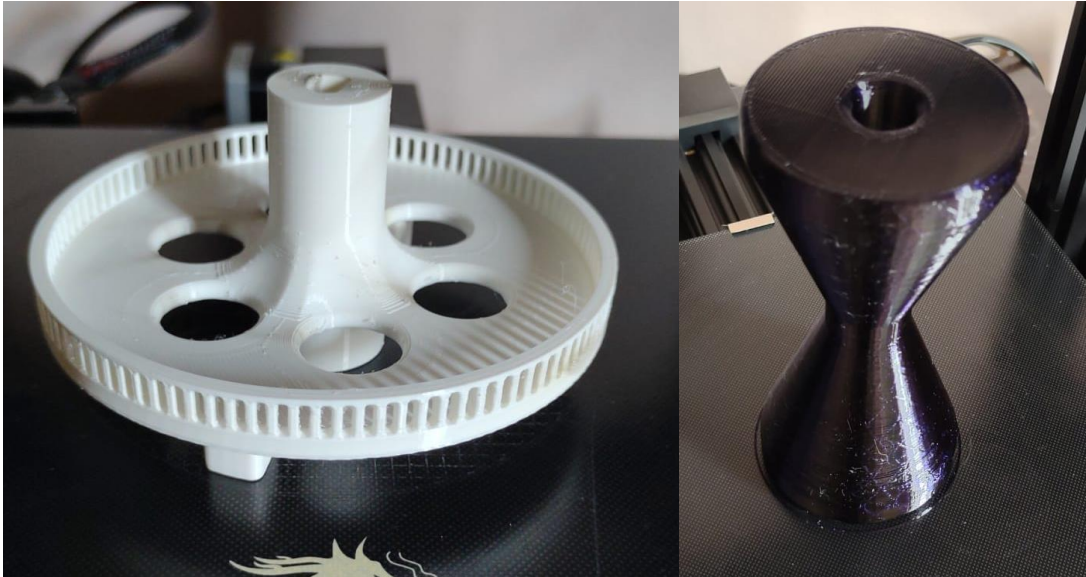
Figura 23: Impressora 3D.



Fonte: Autor (2023).

Esse processo de fabricação foi de suma importância para o projeto, pois foi através das peças fabricadas por impressão 3d que foi possível acoplar o motor CC ao dosador de semente originalmente mecânico. Na figura 24 imagens de peças fabricadas por manufatura aditiva.

Figura 24: Peças fabricadas através de Manufatura.



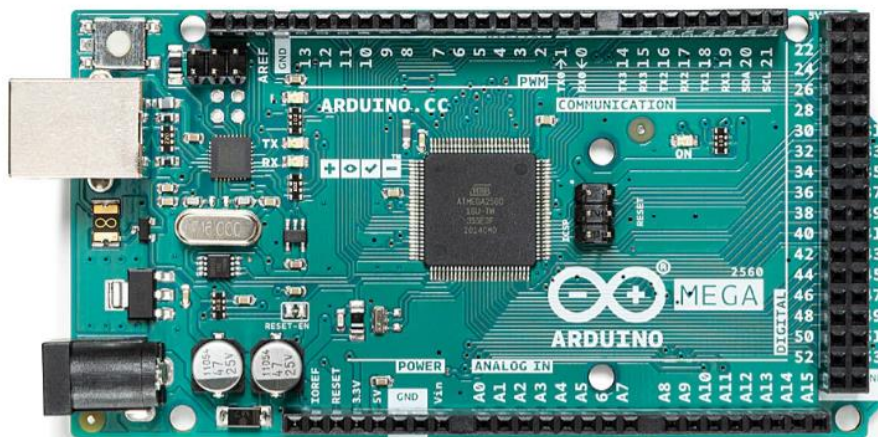
Fonte: Autor (2023).

3.7.3 Dimensionamento do Circuito Eletrônico

Para o dimensionamento do protótipo do sistema eletrônico, foi levado em consideração o custo dos componentes eletrônicos, a facilidade de aquisição e manuseio dos mesmos.

Por se tratar de um protótipo, o desenvolvimento do circuito eletrônico terá como base a plataforma de projetos Arduino Mega (figura 25). O qual possui 54 pinos de entrada e saída digital, dos quais 15 fornecem saída PWM e há também 16 entradas analógicas. Além disso possui um baixo custo de prototipagem e *software* de programação gratuito.

Figura 25: Arduino Mega.



Fonte: Arduino.cc (2023).

3.7.3.1 Sensores

Nos implementos modernos a função dos sensores inerentes é voltada para sua aplicação agrícola além da coleta de informações que auxiliam o agricultor. Alguns possuem suporte para sistema de apoio da agricultura e precisam passar seus dados para centrais e sistemas dentro da cabine (COSTA et al. 2015).

Costa et al. (2015), complementa que a AP está em constante desenvolvimento de novos dispositivos, com a finalidade de auxiliar a tomada de decisão do produtor em suas tarefas do campo, com intuito de reduzir os custos e aumentar sua produtividade.

Apesar da AP estar ligada diretamente a dados georreferenciados, consideramos a agricultura de precisão qualquer tecnologia embarcada a fim de diminuir o trabalho braçal do agricultor e facilitar o trabalho na lavoura aumentando assim a produção.

O sistema eletrônico desenvolvido neste trabalho não utilizará sensores de posicionamento global, o qual tem a função de informar a velocidade e posição geográfica do implemento para a ECU (*Electronic Control Unit*). Para prover ao sistema uma maneira de emular a capacidade de posicionamento geográfico, foi um sensor indutivo do tipo NPN e uma roda dentada. Ambos acoplados no rodado com o intuito de informar a velocidade de deslocamento.

3.7.3.1.1 Sensor indutivo

Sensor indutivo do tipo NPN é capaz de detectar materiais metálicos a 4mm de distância, possui uma tensão de operação de 6 a 36V, corrente de operação de 300mA, estado de saída normalmente aberto com dimensões de M12x62 mm e 2 cabos de alimentação e 1 cabo responsável por enviar o sinal de leitura para o Arduino.

Este protótipo conta com dois sensores indutivos, um sensor é responsável por emitir o sinal de modo semeadura (quando a semeadora estiver com as linhas de semeadura em contato com o solo) ou, modo transporte (quando a semeadora estiver com as linhas de semeadura afastadas do solo). Este sinal será responsável por ligar e desligar o motor CC acoplado ao dosador de semente.

Como mencionado acima, o segundo sensor, é responsável por ler a rotação da roda dentada acoplada no rodado do implemento, assim será possível calcular a velocidade que a mesma se desloca.

Figura 26: Sensor Indutivo NPN.

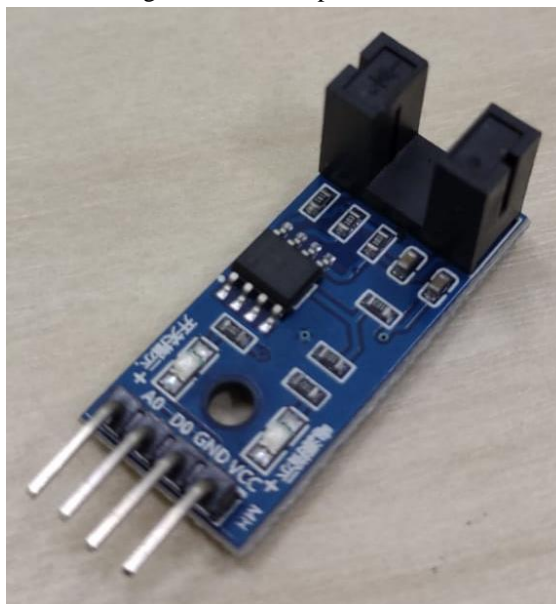


Fonte: inverterpro.com.br

3.7.3.1.2 Sensor óptico

Neste projeto foi utilizado dois sensores do tipo óptico, o primeiro será o sensor de rotação do encoder (Figura 27). O mesmo terá a função de informar a rotação do disco de semente do dosador, através do encoder instalado no motor CC do dosador. Este sensor conta com um emissor e um receptor de luz infravermelho nas suas extremidades, possui uma saída digital e analógica além dos cabos de alimentação, possui espaço de 5mm entre os leitores e tensão de funcionamento entre 3,3-5V.

Figura 27: Sensor para encoder.



Fonte: Autor (2023).

O segundo tipo de sensor óptico é o modelo TCRT5000 (Figura 28). Possui distância de detecção de 12 mm, comprimento de detecção de 950 mm, tensão de máxima 5 v e corrente máxima de 60 mA. Este sensor será responsável pelo monitoramento da semeadura, onde será instalado no condutor de semente, e toda vez que a semente passar por ele, cortará o feixe de

luz infravermelha, emitindo o sinal para um Led responsável por informar o funcionamento do dosador.

Figura 28: Sensor TCRT5000.



Fonte: Autor (2023).

3.7.3.2 Motor do dosador de semente

Com o objetivo de comandar o dosador de semente, prezando pelo baixo custo e fácil aquisição foi escolhido o motor de corrente contínua utilizado originalmente como motor de limpador de para-brisa. Este motor tem como especificações; tensão nominal de 12v, 75rpm e 9Nm de toque.

Figura 29: Motor CC.

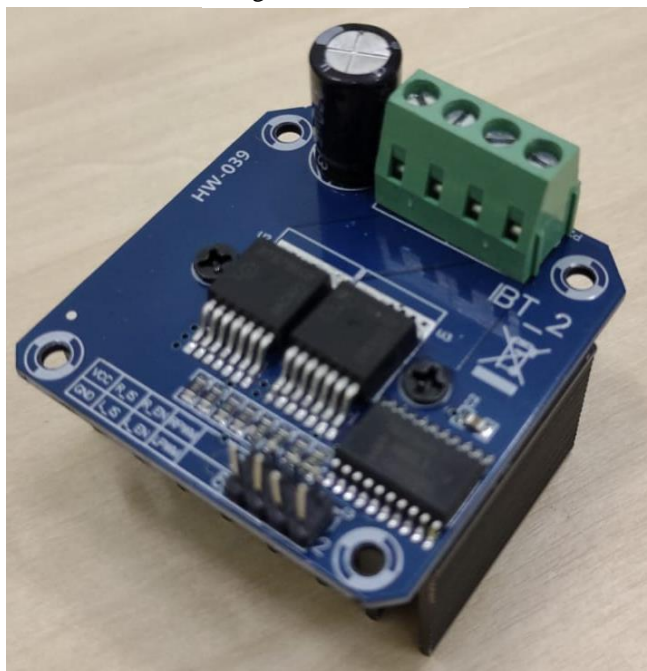


Fonte: Autor (2023).

Para controle de rotação do motor foi utilizado uma ponte H (*H-bridge*), que tem como função controlar a tensão de alimentação do motor via sinal PWM, designado pelo

microcontrolador. Foi utilizado o modelo BTS7960, sendo compatível com a utilização do Arduino Mega e o motor CC escolhido.

Figura 30: Ponte H.



Fonte: Autor (2023).

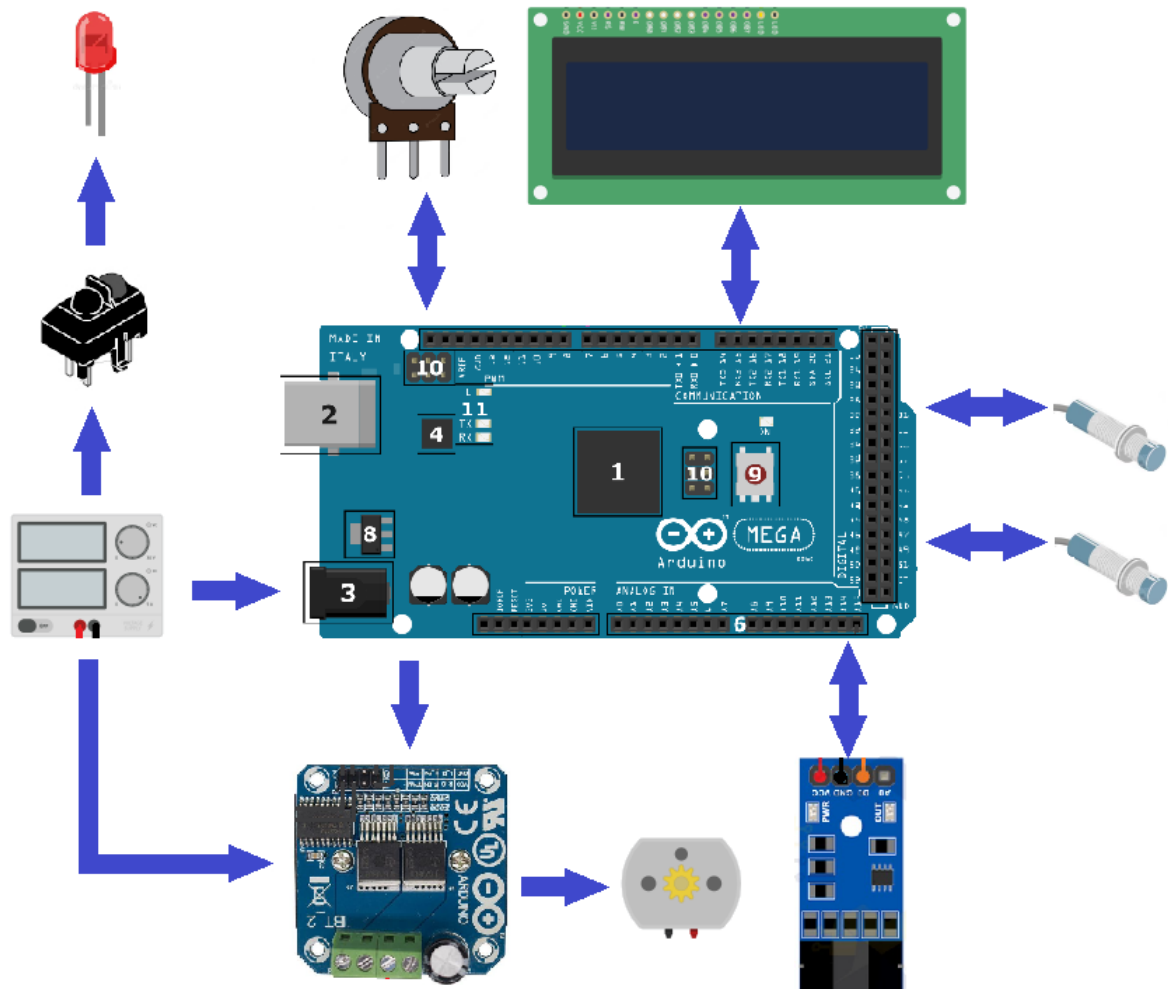
3.7.3.3 Layout de tela

Com a finalidade de desenvolver um sistema de manuseio simples e intuitivo, o presente trabalho optou por utilizar uma tela de LCD 16x4 e, apenas um potenciômetro para configurar a quantidade de semente desejada na semeadura. Configurações destinadas ao implemento, como diâmetro do rodado e número de furos do disco de semente, serão pré-programadas no código do Arduino.

3.7.4 Diagrama Elétrico

O diagrama elétrico é a representação esquemática responsável por apresentar os componentes e ligações utilizadas em um projeto. O diagrama elétrico das ligações utilizadas neste trabalho está disponível no apêndice IV, na figura 31 temos a diagrama de comunicação entre o microcontrolador e os sensores e atuadores.

Figura 31: Diagrama de comunicação.



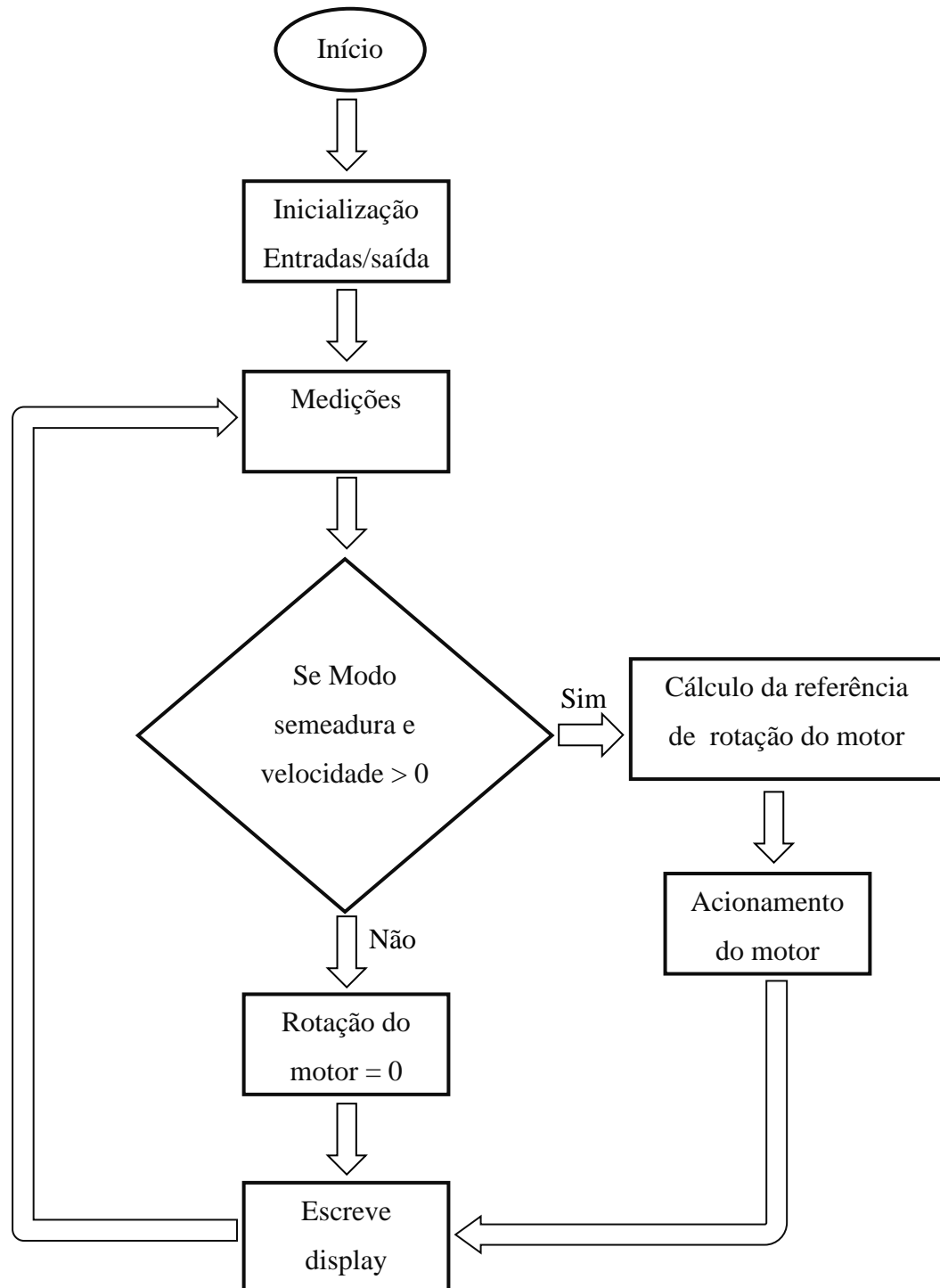
Fonte: Autor (2023).

3.7.5 Código de Programação

A linguagem de programação da plataforma Arduino é baseada na linguagem C ou C++ com pequenas modificações. Essas modificações apresentam um alto grau de abstração, além de conter diversas bibliotecas que encapsulam a complexidade do microcontrolador, deixando a programação mais intuitiva e rápida.

Com propósito de facilitar a programação do Arduino foi realizado um fluxograma das realizações das tarefas. O código de programação utilizado pode ser conferido no apêndice V.

Figura 32: Fluxograma para construção do código do Arduino.



Fonte: Autor (2023).

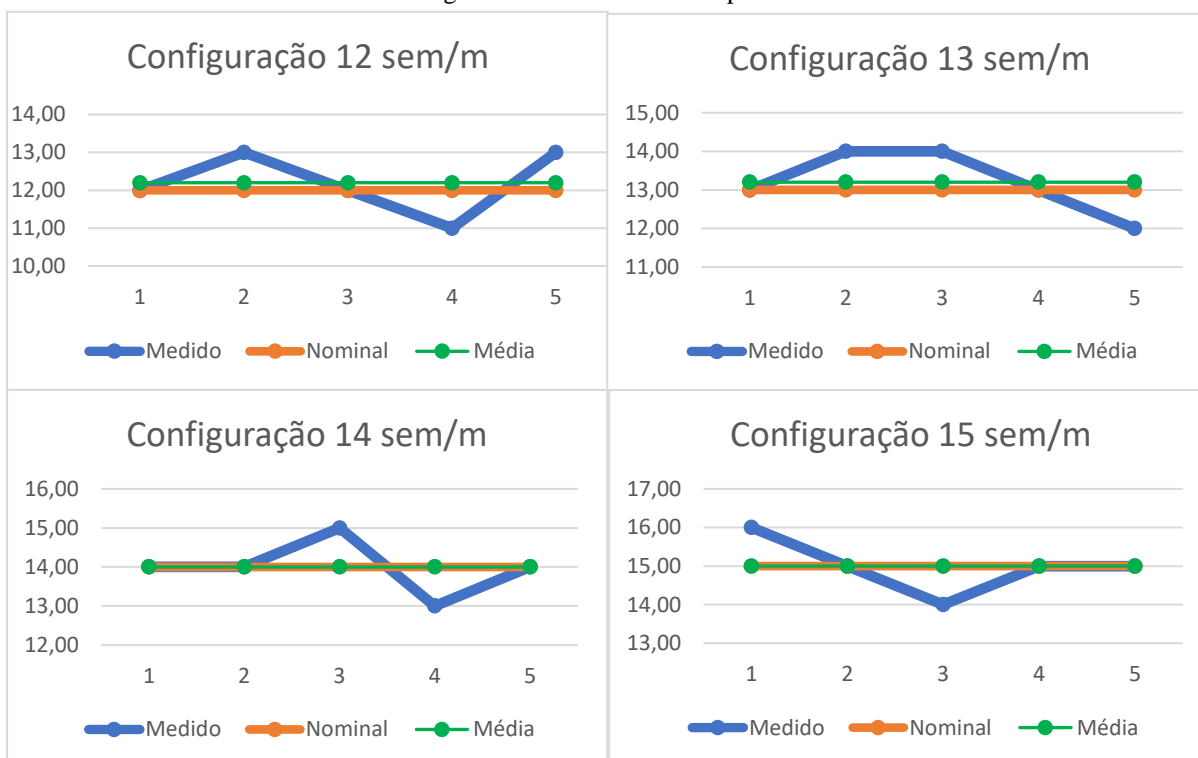
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar o desempenho do módulo responsável por controlar o dosador de sementes, foi configurado uma velocidade na esteira de 6 km.h^{-1} , que segundo estudos feitos por SANTOS et al. (2018), é a velocidade onde a semeadora com dosador mecânico oferece uma boa distribuição da semente.

Já a configuração da quantidade de semente a ser semeada no solo dependera da qualidade da semente, região que será aplicada entre outros fatores. Neste trabalho realizou-se medições com o módulo configurado para 12 sem.m^{-1} , 13 sem.m^{-1} , 14 sem.m^{-1} e 15 sem.m^{-1} onde foi avaliado a distribuição de sementes por metro, utilizando o equipamento desenvolvido.

Para cada configuração citada acima, foram realizadas cinco medições com tempo e distância distintas. Foi possível analisar o desempenho do produto a partir dos gráficos a seguir.

Figura 33: Análise de desempenho.



Fonte: Autor (2023).

Conforme visto nos gráficos acima, houve uma pequena dispersão entre as medições, estas dispersões podem ser causadas pelo dosador não ser a vácuo, o que pode ocorrer falhas ou duplo preenchimento de sementes nos orifícios do disco separador. Considerando um desempenho satisfatório para o módulo desenvolvido, visto que a média encontrada entre as medições tende a configuração desejada pelo usuário, mas não eliminando possíveis melhorias em seu *software* e *hardware*.

4.1 ANÁLISE DE CUSTOS

Durante as entrevistas realizadas com finalidade de obter as necessidades dos clientes, também foi investigado informações referentes ao custo de produtos similares disponíveis no mercado. Este custo pode variar por marca e configuração desejada. Foi criado abaixo uma tabela com objetivo de comparar uma média de valores de produtos disponíveis e uma estimativa de custo para o módulo desenvolvido (valores médios em reais referentes a linha do implemento).

Tabela 7: Comparação de investimento

	Produto disponível	Produto desenvolvido
Módulos eletrônicos e componentes.	7.000,00	4.500,00
Monitoramento de semeadura.	1.200,00	Incluso
Licença para antena de GPS (anual).	8.000,00	Não se aplica
Licença para desligamento linha a linha (anual).	3.000,00	Não possui função
Licença para taxa variável (anual).	3.000,00	Não possui função
TOTAL:	8.200,00	
(Referente aos módulos, monitoramento e licença para GPS)	+ 8.000,00 Anual	4.500,00

Fonte: Autor (2023).

5 CONCLUSÃO

O aumento da população mundial faz com que a produção por alimentos cresça de forma exponencial, e uma crescente demanda por novas tecnologias no ramo da agricultura se torne cada vez mais necessária. Agricultura de precisão está focada em produzir cada vez mais em um tempo menor, muitas vezes encarecendo a tecnologia, tendo como resultado o aumento do custo para aquisição pelo pequeno produtor rural.

Baseado na pesquisa do projeto informacional, buscou-se criar uma nova tecnologia na dosagem de sementes, destinada a agricultura familiar. Este projeto teve como foco principal o tempo de *setup* de máquina, mão de obra com pouca qualificação e semeadura em locais remotos, onde em muitos casos a tecnologia do GPS se torna inútil. Durante o projeto buscou-se também há melhoria do código de programação do Arduino, com a finalidade melhorar a precisão e exatidão da semeadura, quando comparado aos dosadores mecânicos tradicionais.

Os testes em bancada foram satisfatórios, levando em consideração o modelo de dosador utilizado na avaliação. O qual pode ocorrer falha de preenchimento de sementes em seu disco separador ou até mesmo duplicar sementes.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

É de suma importância a continuidade do projeto em parceria com o curso de Bacharelado em Agronomia, onde deverá ser instalado o módulo eletrônico em uma semeadora, para que haja continuidade no desenvolvimento desse produto no campo. Comparando resultados com dosadores mecânicos similares ao utilizados.

Além disso, é possível o desenvolvimento dos recursos de desligamento linha a linha dos dosadores de semente, através de pequenas câmeras instaladas na parte frontal de cada linha da semeadora (este recurso deverá ter seu investimento avaliado).

Para a bancada de teste, deverá ser estudado uma nova opção de fonte de potência para a esteira, visto que a opção disponível no campus para utilização neste projeto possui torque baixo, sendo inviável sua utilização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANZILIERO, Darlei; Histórico de semeadoras no Brasil: Ênfase em inovação. Rio de Janeiro; Editora Epitaya, 2021.

BALASTREIRE, Luiz Antônio. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987.

BARBIERI, José Carlos et al. Cadeia de suprimento e avaliação do ciclo de vida do produto: revisão teórica e exemplo de aplicação. **O PAPEL** vol. 70, num. 09, pp. 52 – 72, SET 2009.

BELINAZZO, W. **Aperfeiçoamento de uma bancada para testes de vida acelerada em sistemas eletrônicos embarcados em máquinas agrícolas**. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, p. 154. 2018.

BONNEAU, V.; COPIGNEAUX, B.; PROBST, L.; PEDERSEN, B. Industry 4.0 in agriculture: Focus on IoT aspects. European Commission, 2017.

BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. **Elementos de Máquinas de Shigley: Projeto de Engenharia Mecânica**. Porto Alegre: AMGH Editora LTDA, 2011.

COSTA, Felipe et al. Evolução de Sensores em Máquinas Agrícolas. In: Anais Congresso Brasileiro de Agroinformática, 10, 2015, Ponta Grossa.

DE ANDRADE, Mario Geraldo Ferreira et al. Controle de custos na agricultura: um estudo sobre a rentabilidade na cultura da soja. In: Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC. 2011.

DERRY, T.K.; WILLIAMS, T.I.; A Short History of Technology: From Earliest Times to A.D. 1900. 1977.

ENSSLIN, Leonardo et al. Identificação das necessidades do consumidor no processo de desenvolvimento de produtos: uma proposta de inovação ilustrada para o segmento automotivo. **Produção**, Florianópolis, v.21, n.4, p.555-569, out./dez. 2011.

FERREIRA, M. **Utilização de modelos para a representação de produtos no projeto conceitual**. 1997. Tese (Mestre em Engenharia) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p 141. 1997.

FONSECA, M. D. G. D.; **Concorrência e progresso técnico na indústria de máquinas para agricultura: um estudo sobre trajetórias tecnológicas.** Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, São Paulo. 2010.

FONSECA, A. J. H. **Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional.** 2000. 199 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)–UFSC, Florianópolis, 2000.

GORNI, A. A. Prototipagem rápida, a revolução 3D. **Plástico Industrial**, São Paulo, nov. 2013. Disponível em: <http://www.gorni.eng.br/Gorni_PI_Nov2013.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2023.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física.** 9.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. v.1.

MAIA, Gicelly et al. Tecnologias 4.0 no processo de mapeamento de uso e ocupação do solo: Estudo de caso da intensificação agrícola em Tomé – Açú, PA. In. Anais do Congresso Internacional das Ciências Agrárias, 4, 2019, Recife.

MAZOYER, Marcel; ROUDART, Laurence. História das agriculturas do mundo: do neolítico à crise contemporânea. Lisboa: Instituto Piaget, 1998.

NICKEL, Elton et al. Modelo multicritério para referência na fase de Projeto Informacional do Processo de Desenvolvimento de Produtos, **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 17, n. 4, p. 707-720, 2010.

NOGUEIRA-Filho H; Hamann JJ, **Mecanização agrícola.** Santa Maria, UFSM, 2016.

OGLIARI, André. Projeto Conceitual de Produtos auxiliado por computador: Sistemática, diretrizes e ferramentas computacionais. In: Anais Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 15, 1999, Águas de Lindóia.

PRASAD, N., TEWARI, V. K., YADAV, R. Tractor ride vibration: a Review. Journal of Terramechanics, Silsoe, p. 205-219. 1995.

REID, J. F.; The Impact of Mechanization on Agriculture. Journal The Bridge, Volume 41, Number 3. 2011.

RIBEIRO, Josiana et al. AGRICULTURA 4.0: DESAFIOS À PRODUÇÃO DE ALIMENTOS E INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS. In: Anais Simpósio de Engenharia de Produção, 2, 2018, Catalão.

ROSS, Alana. Agricultura: Dos povos Nomades aos complexos agroindustriais, **REGET**, Santa Maria, V. 7, N. 7, mar.-ago., 2012.

ROTH, C. W. Transmissibilidade da vibração e distribuição da pressão na interface assento-operador de tratores agrícolas em condições dinâmicas. 2010. 142 f. Tese doutorado. (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2010.

SANTOS, F. J. M. et al. Efeito da velocidade de semeadoras na densidade de plantio na cultura da soja, UNIVAG, Cuiabá, 2018.

Sevila, F., and S. Blackmore. 2001. Role of ICTs for an Appropriate World Market Development. Anais Reuniao de Socios, 12, Clube de Bolonha, Bolonha, Itália, novembro 18–19, 2001.

SERVADIO, P.; MARSILI, A.; BELFIORE, N. P. Analysis of driving seat vibrations in high forward speed tractors. **Biosystems Engineering**, v. 97, n. 1, p. 171-180, 2007.

SHIRATSUCHI, L. S.; BRANDÃO, Z. N.; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. C.; DUCATI, J. R.; OLIVEIRA, R. P.; VILELA, M. F.; Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão. Brasília, DF: EMBRAPA, 2014. 596 p.

SLACK, Nigel et al. Administração da Produção. 2 ed. São Paulo/; Atlas, 2009.

VILLIBOR, Geice Paula et al. Vibration levels on rear and front axles of a tractor in agricultural operations, Acta Scientiarum. Technology, v. 36, n. 1, jan - mar, 2014, pp. 7-14 Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil.

APÊNDICE I

Fases do ciclo de vida do produto	Entradas		Saídas	
	Planejamento estratégico	Meio ambiente e recursos	Desejadas	Indesejadas
Projeto e produção	Projeto e detalhamento do produto, construção do protótipo e de uma bancada de teste, construção do equipamento em linha de produção, prever peças de reposição.	Empresa de pequeno porte, que possui computadores, impressoras 3d, ferro de solda, mão de obra técnica.	Projeto e construção do equipamento corretamente, minimizando as não conformidades.	Não conformidades quanto ao desenvolvimento e construção do equipamento.
Distribuição	Disponibilizar ao consumidor contato via WhatsApp, terceirizar empresa de transporte.	Recursos financeiros para terceirização da empresa e colaboradores especializados para atendimento ao cliente.	Transporte adequado ao consumidor, sem causar danos ao produto.	Danos ao produto devido ao transporte inadequado.
Uso e/ ou operação	O equipamento deve ser acoplado a um trator e semeadora.	Disponibilidade de trator e semeadora para acoplamento.	Equipamento de fácil operação, sem necessidade de mão de obra especializada.	Produto com problemas de operação, problemas de instalação.

Descarte	O produto deve ser construído com base em produtos existentes.	Componentes eletrônicos, polímeros, produtos que agredem o meio ambiente.	Reciclagem correta do equipamento, a fim de reduzir danos ao meio ambiente	Danos ao meio ambiente devido ao descarte inadequado do produto.
----------	--	---	--	--

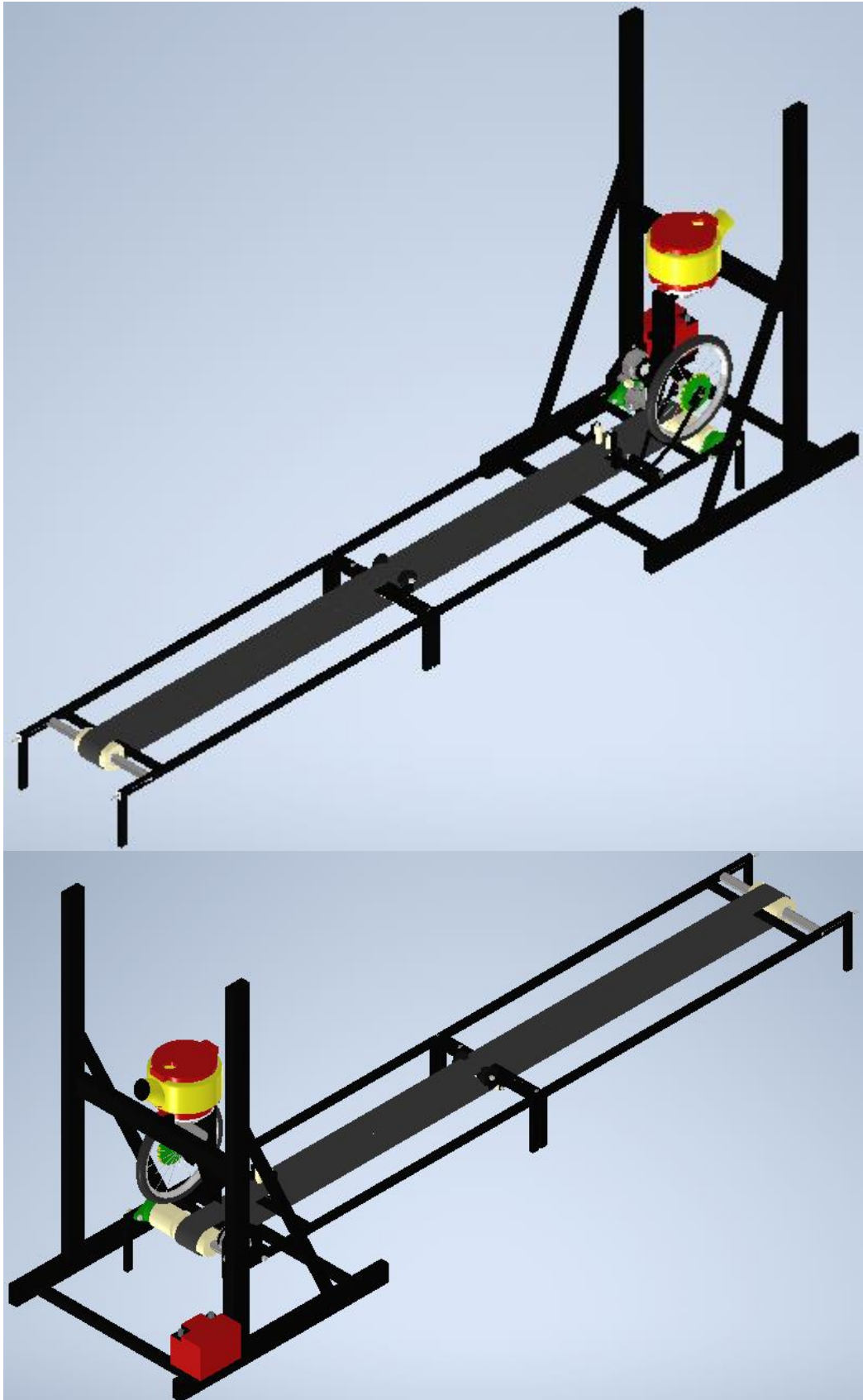
APÊNDICE II

Casa da qualidade.

Grau de relacionamento entre requisitos de cliente e projeto Forte = 9 Moderado = 3 Frac = 1	Relação entre os requisitos de projeto ● Positiva forte ⊕ Positiva ⊖ Negativa forte ⊗ Negativa																	
	Valor de venda	Valor de instalação	Valor de manutenção	Intuitivo	Monitoramento de velocidade	Monitoramento de sementes	Desempenho operacional	Interface	Ser confiável	Facilidade operacional	Precisão	Grau de importância (1 a 5)	Peso relativo (%)	Opinião dos clientes sobre os produtos da concorrência				
Requisitos de projeto													Rum	Bom				
Requisitos do cliente													1	2	3	4	5	
Valor de aquisição	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	4	12,4%	E	M	P	5	
Mão de obra qualificada	3	3	3	9				1	9	9		3,7	11,5%	E	P	M		
Sensores para coleta de dados	3	3	3		9	9	9	3	9	9		4	12,4%	M	P	E		
Funcionar em locais remotos	3				9	9	9		9	3		3,7	11,5%	M	E	P	M	
Visor para monitoramento da semeadura	1			3	9	9		9	3			3,5	10,8%	M	P	E		
Boa confiabilidade	9		3						9			4,4	13,6%		P/E	M		
Qualidade na semeadura	9			9				3	9	9		4,3	13,3%	M	E	P		
Importância absoluta	144,5	59,1	72,3	82,5	109,8	109,8	136,5	60,1	187,2	87,2	165	32	100%	Projeto = P				
Importância relativa (%)	11,90%	4,87%	5,96%	6,80%	9,04%	9,04%	11,24%	4,95%	15,42%	7,18%	13,59%			Concorrente mecânico = M				
														Concorrente eletrônico = E				

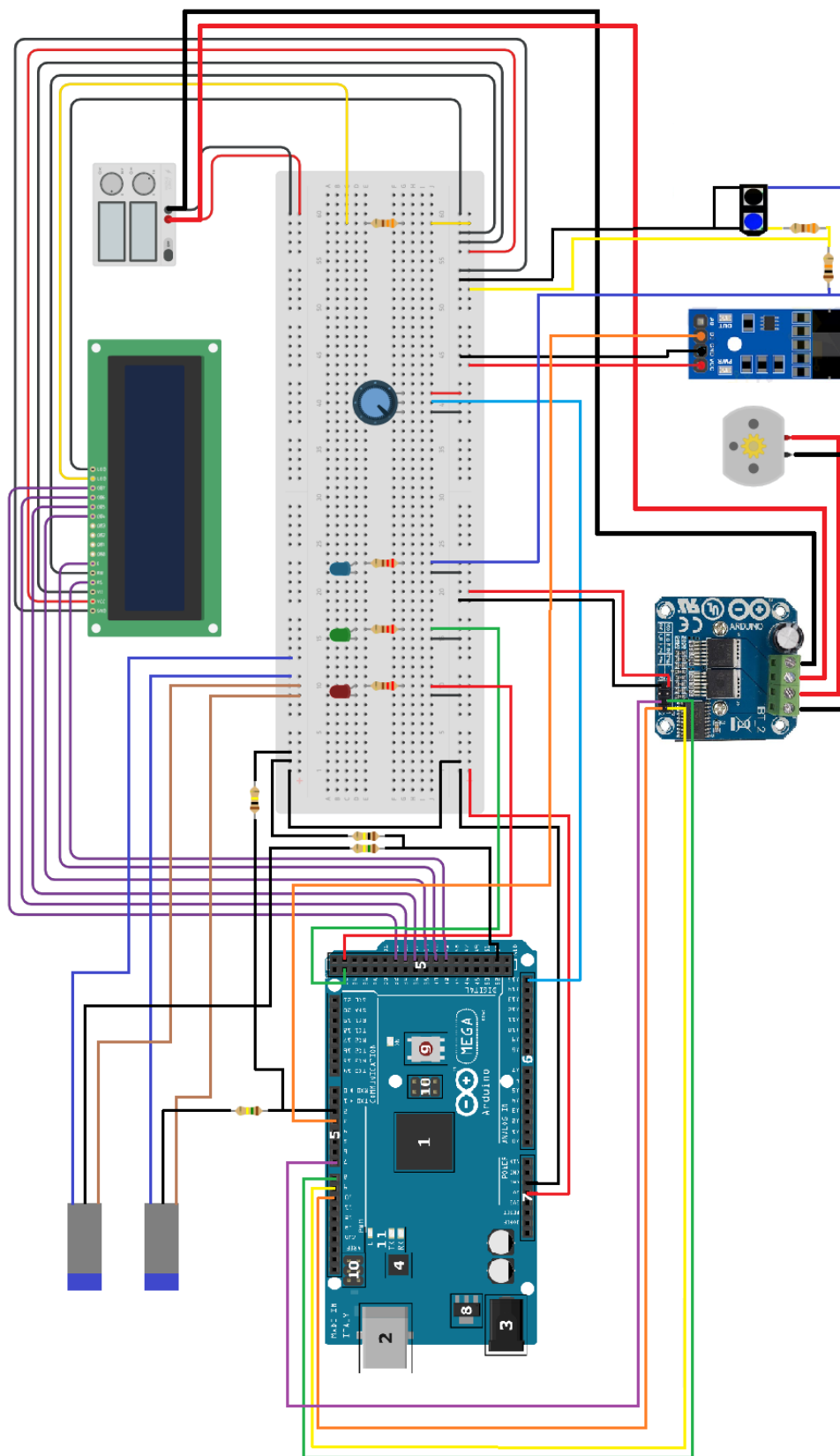
APÊNDICE III

Concepção da bancada de teste.



APÊNDICE IV

Esquema elétrico.



APÊNDICE V

Código de programação.

```
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(43, 41, 39, 37, 35, 33);

const int pin_green = 22;           // status altura modo semeadura
const int pin_red = 23;             // status altura modo transporte
const int pin_cc_enable = 8;        // acionamento motor dosador
const int pin_cc_pwm = 9;           // pwm motor dosador
const int pin_levant = 53;          // leitura sensor indutivo altura
const int pin_roda = 2;             // leitura sensor indutivo velocidade
const int pin_disco = 3;           // leitura sensor rotação disco semente
const int pin_num_seed = A15;       // potenciômetro configurar quantidade de
sementes
const int pin_cc_enable_2 = 7;
const int pin_cc_pwm_2 = 10;

// delay display modo semeadura/transporte
const unsigned long lcd_tempo_ms_update = 100;
unsigned long lcd_tempo_ant = 0;
unsigned long lcd_tempo_atual = 0;

// delay display configuração semente
const unsigned long lcd_tempo_ms_update_seed = 100;
unsigned long lcd_tempo_ant_seed = 0;
unsigned long lcd_tempo_atual_seed = 0;

// dados para cálculo da velocidade da semeadora
unsigned long time_now = 0;
unsigned long time_old = 0;
unsigned long delta_T = 0;
unsigned long dentes_roda_sensor = 20;           // número de dentes
static unsigned long num_pulsos_cont = 0;
float rpm = 0;
float vel_linear = 0;                             // velocidade da semeadora >
vel=(2*pi*r*w)/60 > r = raio em metros
float rpm_1 = 0;
float rpm_2 = 0;
float rpm_3 = 0;
float rpm_medio = 0;
int modo = 0;                                     // status sensor levante

// dados para cálculo da rotação do disco de semente
unsigned long encoder = 105;                     // número de furos do encoder
do disco
unsigned long time_now_enc = 0;
unsigned long time_old_enc = 0;
```

```

unsigned long delta_T_enc = 0;
static unsigned long num_pulsos_enc_cont = 0;
float vm = 0.0; // rotação motor dosador >
vm=(vel*n°sementes por metro)/ n° furo do disco
const float raio_rodado = 0.235; // raio da roda em metro
int seed = 0; // semente/metro número de
sementes por metro configuravel
int num_disco = 43; // quantidade de furos no
disco de semente
float rpm_disco = 0;
float vel_linear_lcd = 0;
int acao_pwm = 0;

//contador sensor rodado
void contador1() {
    num_pulsos_cont++;
}

// contador sensor disco semente
void contador2() {
    num_pulsos_enc_cont++;
}

void setup() {

    pinMode (pin_green, OUTPUT);
    pinMode (pin_red, OUTPUT);
    pinMode (pin_cc_enable, OUTPUT);
    pinMode (pin_cc_pwm, OUTPUT);
    pinMode (pin_levant, INPUT);
    pinMode (pin_num_seed, INPUT);
    pinMode (pin_cc_enable_2, OUTPUT);
    pinMode (pin_cc_pwm_2, OUTPUT);
    pinMode (pin_roda, INPUT);
    pinMode (pin_disco, INPUT);

    Serial.begin(9600);
    lcd.begin (16, 4);

    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pin_roda), contador1, FALLING);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pin_disco), contador2, FALLING);
}

void loop() {

    // acionamento do motor cc
    modo = !digitalRead(pin_levant);
    if (modo) {

```

```

digitalWrite (pin_green, HIGH);
digitalWrite (pin_red, LOW);
digitalWrite (pin_cc_enable, HIGH);
digitalWrite (pin_cc_enable_2, LOW);

lcd_tempo_atual = millis();
if ((lcd_tempo_atual - lcd_tempo_ant) >= lcd_tempo_ms_update) {
  lcd_tempo_ant = lcd_tempo_atual;
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("          ");
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("MODO SEMEADURA");
}
}
else {
  digitalWrite (pin_red, HIGH);
  digitalWrite (pin_green, LOW);
  digitalWrite (pin_cc_enable, LOW); //modo transp. > desligar motor
  digitalWrite (pin_cc_enable_2, LOW);

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("MODO TRANSPORTE");
}

//mostrar configuração semente no display
seed = map(analogRead(pin_num_seed), 0, 1023, 0, 25); //configuração quantidade
de sementes de 0 a 25 sementes/metro
lcd_tempo_atual_seed = millis ();
if ((lcd_tempo_atual_seed - lcd_tempo_ant_seed) >= lcd_tempo_ms_update_seed) {
  lcd_tempo_ant_seed = lcd_tempo_atual_seed;
  lcd.setCursor(0, 3);
  lcd.print("          ");
  lcd.setCursor(0, 3);
  lcd.print("SEM/m:");
  lcd.setCursor(7, 3);
  lcd.print(seed);
}

//calcula velocidade linear semeadora
time_now = millis ();
delta_T = time_now - time_old;
if (delta_T >= 1000) {
  rpm_3 = rpm_2;
  rpm_2 = rpm_1 ;
  rpm_1 = rpm;

  detachInterrupt(pin_rodas); //desabilita interrupção durante o
calcula

```

```

    rpm = ((float)(60000 * num_pulsos_cont)) / ((float)(dentes_roda_sensor *
delta_T)); // RPM
    num_pulsos_cont = 0;
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pin_roda), contador1, FALLING);

    rpm_medio = ((rpm * 0.4) + (rpm_1 * 0.3) + (rpm_2 * 0.2) + (rpm_3 * 0.1));

    time_old = time_now;
}

vel_linear = 0.1047197551 * raio_rodado * rpm; //(2*PI)/60 = 0.1047197551 ->
vel = m/s
vel_linear_lcd = 0.1047197551 * raio_rodado * rpm_medio;

//mostra a velocidade do implemento no display lcd
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("VEL:");
lcd.setCursor(5, 2);
lcd.print((vel_linear_lcd)*3.6); // vel * 3.6 = km/h
lcd.print("km/h");

//calculo velocidade motor (velocidade desejada do motor)(setpoint)
vm = 60.0 * 1.4 * ((float)seed) * vel_linear / ((float)num_disco); // em voltas
por segundo (Hz) -> multiplicar por 60 para transformar em RPM -> multiplicar por
1.4 para ajuste de malha fechada

//rotação disco de semente
time_now_enc = millis();
delta_T_enc = time_now_enc - time_old_enc;
if (delta_T_enc >= 1000){
    detachInterrupt(pin_disco); //desabi
lita interrupção durante o calculo
    rpm_disco = ((float) (60000 * num_pulsos_enc_cont)) / ((float) (encoder *
delta_T_enc)); // RPM
    time_old_enc = time_now_enc;
    num_pulsos_enc_cont = 0;
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pin_disco), contador2, FALLING);

//mostra rotação do disco do motor cc no display lcd
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("RPM.:");
lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print(rpm_disco);
}

//correção por malha fechada
if (rpm_disco > vm){

```

```
    acao_pwm--;          //decrementa o sinal de pwm
}
else if (rpm_disco < vm) {
    acao_pwm++;          //incrementa o sinal de pwm
}

if (rpm > 0) {
    analogWrite (pin_cc_pwm, acao_pwm/25);
    analogWrite (pin_cc_pwm_2, LOW);
}
Else {
    analogWrite (pin_cc_pwm, LOW);
    analogWrite (pin_cc_pwm_2, LOW);
}
}
```