



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

JOÃO BATISTA DA SILVA

DESENVOLVIMENTO DE UMA SEMEADORA CONTROLADA
REMOTAMENTE

FORTALEZA – CE

2023

JOÃO BATISTA DA SILVA

DESENVOLVIMENTO DE UMA SEMEADORA CONTROLADA REMOTAMENTE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito para à obtenção do grau de bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Danilo Roberto Loureiro

FORTALEZA – CE

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S58d Silva, João Batista da.
Desenvolvimento de uma semeadora controlada remotamente / João Batista da Silva. – 2023.
57 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Danilo Roberto Loureiro.
1. Automação. 2. Agricultura de precisão. 3. Sensores. 4. Semeadora automatizada. 5. Impressão 3D. I.
Título.

CDD 630

JOÃO BATISTA DA SILVA

DESENVOLVIMENTO DE UMA SEMEADORA CONTROLADA REMOTAMENTE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito para à obtenção do grau de bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Danilo Roberto Loureiro

Aprovado em: 07/07/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Danilo Roberto Loureiro (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Doutoranda Isabela Oliveira Lima

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Carlos Alberto Viliotti

Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Telma e João.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, por toda força que me foi dada para seguir adiante, por todo apoio nos momentos de fraquezas e incertezas, e por me proporcionar a honra de celebrar esse momento.

Aos meus pais, Regina Telma e João Batista que fizeram todos os sacrifícios possíveis para eu realizar esse objetivo, onde sem o apoio deles eu não teria conseguido.

As minhas irmãs, Maria de Fátima, Cristina, Margarida, Patrícia, Francielma e Cristiane, que sempre demonstraram confiança na minha capacidade, o que por vezes foi o apoio para eu continuar.

A minha namorada e amiga, Juliane Marques, por todo apoio dado, por toda paciência em momentos que precisei estudar mais. Sua compressão e total apoio foi de grande importância para minha formação.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Danilo Roberto Loureiro, por todo apoio, suporte e confiança a mim depositada, pelas suas correções e incentivos.

Aos professores participantes da banca examinadora pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

A todos os professores que contribuíram para minha formação ao longo dos anos, o meu muito obrigado.

Aos meus amigos de curso, Darlan Loiola, Fabrício Vasconcelos, Francisco Assis e Natália que por muitas vezes foram as pessoas responsáveis por minha permanência no curso, bem como toda a colaboração em momentos de estudo.

Meus agradecimentos ao meu amigo, Guilherme que contribuiu de forma expressiva no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus companheiros de residência universitária N° 148, Alisson, Caio, Estácio, Marcelo e Natanael.

Aos amigos que conheci durante essa jornada de estudos, Dr. Luiz Carlos, Roberto Monteiro (in memoriam) e Cícero Jerônimo pelos exemplos e experiências.

Ao grupo de pesquisa do Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas – LIMA, professor Dr. Leonardo de Almeida Monteiro, Doutoranda Mayara e aos funcionários Antônio e Sandoval.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, e da Coordenação, pela disponibilidade e suporte.

A ciência atua na fronteira entre o conhecimento e a ignorância sem medo de admitir que não sabemos. Não há nenhuma vergonha nisso. A única vergonha é fingir que temos todas as respostas (TYSON, 2014).

RESUMO

A mecanização da agricultura vem contribuindo para o aumento e eficiência da produção agrícola mundial. Há várias operações agrícolas durante o ciclo de uma cultura, dentre elas podemos destacar a semeadura sendo umas das mais importantes etapas, pois dela depende o desenvolvimento das plantas que está ligado diretamente a produção de alimentos. A automação na agricultura tem como objetivos aumentar a eficiência, a produtividade e a sustentabilidade das atividades agrícolas abrangendo várias áreas e processos. A automação está no centro da agricultura de precisão, que combina dados e tecnologia para otimização do manejo e tomada de decisão. Os benefícios incluem uma maior eficiência operacional, redução de custos, uso eficiente de insumos, aumento da produtividade e qualidade dos produtos. Os veículos agrícolas autônomos, estão cada vez mais comuns, utilizando sensores, câmeras, GPS para realização de diversas atividades. A semeadura é uma área de grande interesse para pesquisas agrícolas e o ponto de partida para diversas inovações. O presente trabalho tem como objetivo geral projetar e construir uma semeadora automatizada de baixo custo e de fácil operação. Na elaboração do projeto foram desenvolvidos desenhos detalhados que permitiram a simulação de funcionamento dos mecanismos para verificação de possíveis interferências. Após as simulações foi realizada a construção de um protótipo e em seguida com a montagem dos mecanismos e do sistema eletrônico, foram realizados testes em laboratório para determinação da velocidade máxima de deslocamento, dosagem de sementes e consumo energético. O protótipo da semeadora obteve resultados positivos com dosador de sementes na distribuição de até 150 sementes por minuto, velocidade máxima de deslocamento de 0,37 m.s⁻¹ e uma potência de 30,72 W.

Palavras-chaves: automação; agricultura de precisão; sensores; semeadora automatizada; impressora 3D.

ABSTRACT

The mechanization of agriculture has contributed to the increase and efficiency of world agricultural production. There are several agricultural operations during the cycle of a crop, among them we can highlight sowing as one of the most important stages, as the development of plants depends on it, which is directly linked to food production. Automation in agriculture aims to increase the efficiency, productivity and sustainability of agricultural activities covering several areas and processes. Automation is at the heart of precision agriculture, which combines data and technology to optimize management and decision making. Benefits include greater operational efficiency, cost reduction, efficient use of inputs, increased productivity and product quality. Autonomous agricultural vehicles are increasingly common, using sensors, cameras, GPS to carry out various activities. Sowing is an area of great interest for agricultural research and the starting point for several innovations. The present work has the general objective of designing and building a low-cost and easy-to-operate automated seeder. In the preparation of the project, detailed drawings were developed that allowed the simulation of the functioning of the mechanisms to verify possible interferences. After the simulations, a prototype was built and then, with the mechanisms and electronic system assembled, tests were carried out in the laboratory to determine the maximum displacement speed, seed dosage and energy consumption. The seeder prototype obtained positive results with seed doser in the distribution of up to 150 seeds per minute, maximum displacement speed of 0.37 m.s^{-1} and a power of 30.72 W.

Keywords: automation; precision agriculture; sensors; automated seeder; 3D printer.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 — Semeadora de James Cook.....	21
Figura 2 — Componentes de um microcontrolador	27
Figura 3 — Equipamentos utilizados para a manufatura do chassi do protótipo	34
Figura 4 — Impressora 3D utilizada para construção das peças do protótipo	34
Figura 5 — Motor de passo utilizado para acionamento do protótipo	36
Figura 6 — Placa Arduino Uno R3 e Shield CNC V3	36
Figura 7 — Driver modelo DM 556 utilizado para o controle dos motores de passo....	37
Figura 8 — Bateria estacionária utilizada no protótipo.....	37
Figura 9 — Computador portátil utilizado no protótipo	38
Figura 10 — Interface do software UGS utilizado para a comunicação do protótipo com o dispositivo móvel.....	39
Figura 11 — Roda utilizada na semeadora.....	39
Figura 12 — Sementes utilizadas no mecanismo dosador	40
Figura 13 — Sensor de corrente utilizado para medir o consumo energético.....	41
Figura 14 — Detalhamento do sistema de transmissão de potência do mecanismo de tração	45
Figura 15 — Detalhamento do mecanismo dosador de sementes	46
Figura 16 — Detalhamento do protótipo montado.....	46
Figura 17 — Confecção do chassi da semeadora, corte, soldagem e usinagem.....	47
Figura 18 — Realização da pintura	47
Figura 19 — Colocação do assoalho no chassi	48
Figura 20 — Processo de impressão	48
Figura 21 — Montagem dos mecanismos	49
Figura 22 — Ligação do computador com a placa microcontroladora	50
Figura 23 — Placa controladora e placa Shield CNC V3	50
Figura 24 — Ligação entre o adaptador e o driver.....	51
Figura 25 — Ligação entre o driver e o motor de passo	51
Figura 26 — Ligação das baterias	52
Figura 27 — Esquema de ligação do Sensor de corrente	52
Figura 28 — Interface do UGS e os comandos Código G	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Principais propriedades dos filamentos mais utilizados na impressão 3D .	26
Tabela 2 — Configuração utilizada no software de impressão	35
Tabela 3 — Lista de requisitos do protótipo de semeadora automatizada	42
Tabela 4 — Matriz morfológica contendo as soluções e subfunções do mecanismo.....	43
Tabela 5 — Critérios de avaliação utilizados para a escolha da melhor solução	44
Tabela 6 — Solução selecionada no projeto conceitual	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. JUSTIFICATIVA	16
3. OBJETIVOS	16
3.1 Objetivo Geral	16
3.2 Objetivos Específicos	16
4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	17
4.1 Mecanização na Agricultura	17
4.2 Automação Agrícola	19
4.3 Semeadoras	21
4.4 Mecanismos Dosadores de Sementes	23
4.5 Impressão 3D	25
4.6 Microcontroladores e Sensores	27
4.7 Comando Numérico Computadorizado (CNC) e o Código G	30
5. MATERIAL E MÉTODOS	32
5.1 Desenvolvimento do Projeto	32
5.1.1 Planejamento e esclarecimento da tarefa	32
5.1.2 Projeto Conceitual	32
5.1.3 Projeto Detalhado	33
5.2 Construção e Montagem do Protótipo	33
5.2.1 Processamento de Corte, Soldagem e Usinagem	33
5.2.2 Manufatura das peças impressas	34
5.2.3 Instalação do sistema de automatização e comunicação	35
5.3 Avaliação do Protótipo	38
5.3.1 Verificação da comunicação entre o protótipo e o dispositivo móvel	38
5.3.2 Velocidade máxima de deslocamento	39
5.3.3 Dosagem de sementes	40

<i>5.3.4 Consumo energético</i>	41
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
6.1 Desenvolvimento do Projeto	42
<i>6.1.1 Projeto Informativo</i>	42
<i>6.1.2 Projeto Conceitual</i>	43
<i>6.1.3 Projeto Detalhado</i>	45
6.2 Construção e Montagem do Protótipo	47
<i>6.2.1 Construção do chassi</i>	47
<i>6.2.2 Impressão e montagem dos mecanismos fabricados na impressora 3D</i>	48
<i>6.2.3 Montagem do sistema eletrônico</i>	49
<i>6.2.4 Funcionamento do sistema eletrônico</i>	53
6.3 Avaliação do Protótipo	54
<i>6.3.1 Velocidade máxima de deslocamento</i>	54
<i>6.3.2 Dosador de sementes</i>	54
<i>6.3.3 Consumo energético</i>	54
7. CONCLUSÃO	55
8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	55
REFERÊNCIAS	56
ANEXOS	59

1. INTRODUÇÃO

A história da mecanização agrícola inicia-se por volta do final do século XVIII e do século XIX, durante o período da Revolução Industrial na Europa e Estados Unidos. A Revolução Industrial trouxe vários avanços tecnológicos que transformaram a agricultura, conseqüentemente passou a substituir o trabalho braçal por máquinas e equipamentos.

No final do século XVIII, com a invenção da máquina a vapor, pelo inventor James Watt, ocorreu a impulsão da mecanização agrícola através dessa conversão de energia utilizada para o acionamento de máquinas e equipamentos agrícolas. Essas máquinas a vapor eram mais eficientes do que as ferramentas e implementos movidos pela tração animal, e a preparação das atividades se tornou mais rápida e com menos esforços.

Durante o século XX, a mecanização das atividades agrícolas continuou avançando rapidamente, foram introduzidos aprimoramentos nos tratores agrícolas, que permitiram uma maior eficiência na realização das tarefas agrícolas como o preparo do solo, semeadura e colheita. A partir da metade do século, a mecanização ganhou mais força com o uso da automação, da tecnologia da informação, sistemas de georreferenciamento, que permitem um controle muito preciso das operações agrícolas, como irrigação, aplicação de fertilizantes e corretivos, plantio e colheita.

Atualmente, a mecanização na agricultura continua a evoluir, com o desenvolvimento da robótica, inteligência artificial (IA), automação avançada e com introdução da internet das coisas/Internet of Things (IoT). Essas tecnologias visam aumentar a produtividade, eficiência, distribuição racional dos recursos disponíveis, como água, fertilizantes, corretivos, defensivos entre outros, com o objetivo de tornar a agricultura mais sustentável.

A IA, a automação e a IoT são fundamentais para agricultura moderna que visa o desperdício mínimo dos recursos, já que essas tecnologias oferecem oportunidades significativas para otimização das práticas agrícolas, com aumento da produtividade, aumento da eficiência e sustentabilidade.

A IA pode ser utilizada no processamento de grandes volumes de dados agrícolas, com informações sobre doenças, pragas, clima, solo, trazendo percepções valiosas para os produtores rurais. Com uso de algoritmos a IA pode identificar padrões, prever tendências e auxilia na tomada de decisões em tempo real. Isso proporciona a otimização das atividades agrícolas, como gerenciamento de sistemas de irrigação, detecção de doenças nas plantações,

recomendação localizada de fertilizantes e previsão de colheita. Podendo também ser utilizada na robótica agrícola, auxiliando na colheita, semeadura, manejo e monitoramento.

A automação envolve o uso de máquinas e sistemas robóticos realizando as tarefas agrícolas de forma autônoma reduzindo a dependência da mão de obra e aumento da eficiência operacional.

A IoT refere-se a conexão entre os dispositivos à internet, facilitando a coleta e o compartilhamento de dados simultaneamente entre si. Na agricultura, desempenha um papel fundamental na coleta de informações sobre as condições do campo, permitindo uma tomada de decisão com agilidade. Sensores instalados podem fazer essa coleta de dados sobre umidade, temperatura, pH entre outros. E esses dados são transmitidos para locais de gerenciamento, onde serão analisados e interpretados com objetivo de resolução dos problemas com a quantidade de recursos necessários sem desperdício.

As semeadoras hoje contam com inúmeros sensores e softwares que auxiliam e maximizam a produção, desde o uso de softwares para demarcação dos limites dos talhões e distribuição otimizadas das linhas de semeadura, sensores ópticos para contagem de sementes, depósitos de fertilizantes com aplicação na dose certa de acordo com a necessidade da cultura, ligamento e desligamento individual das linhas de plantio, ajustes ao relevo do solo dentre outras tecnologias.

2. JUSTIFICATIVA

O processo de semeadura é uma etapa essencial no cultivo agrícola, essa operação é muito importante na formação do estande de plantas, que definirá o aproveitamento mais eficiente dos recursos disponíveis na lavoura.

Durante a realização da semeadura, é importante considerar alguns fatores cruciais para se obter uma semeadura eficiente. Isso inclui a seleção de sementes, ajuste correto dos equipamentos, ajuste na profundidade, distribuição, o clima, solo etc. Essa operação é fundamental para garantir um ótimo desenvolvimento das plantas, produtividade da cultura e no manejo de pragas e doenças.

O presente trabalho tem o objetivo de projetar, construir e avaliar um protótipo de semeadora automatizada, que possa ser operada por meio de dispositivos móveis com acesso a rede Wi-Fi, utilizando como fonte de potência energia renovável, baixo custo de manutenção e fácil operação.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Projetar, Construir e Avaliar um protótipo de semeadora automatizada conectada à rede de internet.

3.2 Objetivos Específicos

- Desenvolvimento do projeto Informativo, Projeto Conceitual e o Projeto Detalhado;
- Construção e montagem do protótipo;
- Verificação da comunicação entre o protótipo e um dispositivo móvel;
- Determinação da velocidade máxima de deslocamento;
- Determinação da dosagem máxima de sementes;
- Determinação do consumo energético.

4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

4.1 Mecanização na Agricultura

Mecânica e Mecanização são ramos da engenharia Agrícola que, embora estreitamente vinculados, diferenciam-se por seus objetivos básicos. A Mecânica Agrícola, através da aplicação dos princípios da Mecânica, preocupa-se com a concepção, o projeto, a construção, os ensaios e o desenvolvimento de máquinas e implementos para fins agrícolas. A Mecanização Agrícola tem por objetivo fundamental racionalizar a utilização das máquinas, estudando-as de maneira aplicada (MIALHE, 1974).

Mecanizar, racionalmente, as operações agrícolas constitui o objetivo básico do estudo da Mecanização Agrícola. Entende-se por mecanização racional o emprego de um conjunto ou sistema de máquinas, inclusive de tração animal e as ferramentas operadas manualmente, de forma técnica e economicamente organizada, na execução das tarefas exigidas pela produção agrícola, visando obter o máximo de rendimento útil com um mínimo de dispêndio de energia, tempo e dinheiro (MIALHE, 1974).

A mecanização teve início durante a revolução industrial, que foi uma transição para novos processos de manufatura no período entre 1760 a algum momento entre 1820 e 1840, em que o homem passou a deixar de utilizar métodos de produção artesanais e começou a se importar com métodos de produção por máquinas. Mas, antes deste evento, até o século XVIII, os instrumentos agrícolas ainda eram rudimentares. Com a população mundial aumentando, e cada vez mais demandando mais alimento, foi visto que era necessário aumentar a produtividade agrícola para suprir a necessidade de subsistência mundial, desta e das futuras gerações (CARPANEZZI *et al.*, 2017).

A agricultura brasileira era rudimentar em meados do século passado. A soja era uma curiosidade no Brasil, sem expressão para o mercado doméstico, menos ainda para o comércio internacional do país. Prevalencia o trabalho braçal na produção agropecuária. Naquela época, menos de 2% das propriedades rurais contavam com máquinas agrícolas (EMBRAPA, 2018).

Pode-se afirmar, assim, que a mecanização agrícola se iniciou no país com a instalação da indústria de tratores no ano de 1959, quando foi instituído o Plano Nacional da Indústria de Tratores de Rodas, sendo que as primeiras unidades começaram a ser produzidas em 1960. Anteriormente a esse fato, várias tentativas governamentais foram realizadas no sentido de uma maior independência em relação à importação dessas máquinas, visto que, até então, nosso mercado era suprido por uma diversidade enorme de máquinas de todo tipo e de

todas as nacionalidades. Em decorrência disso, havia uma série de problemas que variavam desde a falta de um mínimo de assistência técnica às máquinas importadas, passando pela inexistência de qualquer plano de dimensionamento e de controle de estoques de peças de reposição e de componentes básicos, chegando até o (natural) desconhecimento, por parte dos operadores, do manejo e da manutenção dessas máquinas (em particular dadas as péssimas traduções de catálogos e instruções da época).

Um dos fatores que mais contribuíram para viabilizar o surgimento da indústria de tratores agrícolas no Brasil foi a implantação da indústria automobilística, ocorrida nos anos 50, e também a conseqüente expansão do setor de autopeças, que, em uma primeira fase, apresentou-se com uma considerável capacidade ociosa e, portanto, em condições de atender às novas demandas (NETO, 1985).

Para Srivastava (2006), “Diversos foram os fatores que contribuíram para a mecanização da agricultura. A redução do desgaste do trabalhador, a elevação de sua produtividade, da qualidade com que as operações são realizadas e a necessidade de completar tarefas em curto período podem ser considerados determinantes para o processo”.

O trabalho no meio rural é fisicamente exigente e as condições de trabalho adversas.

O uso das máquinas reduz o desgaste e esgotamento dos trabalhadores é menos cansativo operar um trator do que trabalhar com ferramentas manuais durante um dia todo. Um trator realizando o preparo de solo cultiva uma área bastante superior àquela que um trabalhador faria manualmente e desta maneira oferece a condição de realizar as operações nos períodos mais adequados, ou seja, com pontualidade. A pontualidade é fator decisivo na produção agrícola. Completar operações como a semeadura e a colheita no período adequado eleva expressivamente a produtividade das culturas e assegura a rentabilidade da atividade (SRIVASTAVA, 2006).

O processo de mecanização no campo trouxe diversas melhorias para os agricultores e demais envolvidos na cadeia de produção. A atividade agropecuária, que sempre teve como característica o trabalho pesado, se tornou menos árdua, sem contar o aumento de produtividade e qualidade. Aliás, dificilmente seria possível suprir a demanda mundial de alimentos da população atual com os moldes antigos de produção.

- Ganhos em termos de produtividade;
- Maior facilidade de manutenção da lavoura;
- Ajuda o produtor a preparar o solo para plantação;
- Revolucionou o plantio e a colheita com operações rápidas e eficientes.

O principal objetivo da mecanização é o emprego e uso adequado de máquinas e equipamentos agrícolas. Realizar a otimização de seu uso e principalmente proporcionar ganhos na produtividade do setor. Tudo isso aliado à preservação dos recursos naturais e do meio ambiente. Nos últimos anos a mecanização agrícola teve um aumento significativo, porém, exige cada vez mais conhecimento e capacitação por parte dos envolvidos (REVISTA AGROPECUÁRIA, 2019).

4.2 Automação Agrícola

Atualmente, a inovação é o grande motor do desenvolvimento econômico e dos ganhos de produtividade e sustentabilidade. A capacidade de inovar é decisiva para a obtenção e manutenção da competitividade em um mercado global. Isso é particularmente verdade no setor agropecuário, no qual novas tecnologias têm proporcionado aumentos significativos de produtividade com sustentabilidade (BASSOI, *et al* 2019).

Outra evolução que surge é a da comunicação entre a máquina e o sistema gestor. Na medida em que a quantidade de conjuntos mecanizados cresce nas propriedades agrícolas, pela extensão destas propriedades ou pela sofisticação da sua mecanização, a necessidade da correta gestão destes como fatores de produção se torna mais evidente. Sistemas que conectam as máquinas e que transmitem dados destas a uma central de controle e desta a elas, permitem uma série de ações que facilitam em muito a atuação do gestor e dos operadores.

Essa técnica, também conhecida como telemetria, está chegando ao campo e traz consigo a perspectiva de transmitir dados em tempo real ou bem próximo disso entre as duas partes. Sensores instalados na máquina e que coletam dados de aspectos de funcionamento do motor, transmissão e operação, podem ao mesmo tempo encaminhar os dados a um computador de bordo ou a uma unidade remota. Da mesma forma, dados ou informação gerados no escritório e que necessitam chegar à máquina, podem ser enviados, facilitando e agilizando os processos (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Ainda que processos associados à produção de commodities agrícolas já disponham de algumas tecnologias, várias demandas específicas, com especificidades regionais ou que demandam processos de agregação de valor, precisam ainda ser atendidas, inclusive aquelas tipicamente associadas à agricultura familiar, que até o momento, pouco assimilou dos processos de automação (EMBRAPA, 2018).

Uma das tendências atuais para superação das carências apontadas é a aplicação de sistemas de automação em áreas como, por exemplo, máquinas e implementos agrícolas, irrigação, criadouros, processamento, armazenamento e transporte de produtos agrícolas,

construções rurais e ambiência. Também, junto a essa evolução tecnológica, surgem novos conceitos ou práticas que procuram maximizar os seus benefícios. Entre os conceitos atuais que buscam a automação como suporte para as práticas agropecuárias destaca-se a Agricultura de Precisão (SOUSA; LOPES; INAMASU, 2014).

A eletrificação e a robótica caminham juntas para formar uma alternativa com uma série de vantagens em relação ao modelo à combustão convencional e encarar obstáculos estruturais que já vem sendo superados em alguns países.

Ou seja, o futuro das fazendas, certamente, será de maquinários elétricos, o que vai variar é o ritmo de adoção nos diferentes países e entre os produtores para efetivar conceitos de sustentabilidade, agricultura de ultra-precisão, autonomia e autossuficiência energética das fazendas, entre outras (DUARTE, 2020).

O Brasil é hoje um gigante no cenário agrícola mundial. A cada ano a agricultura brasileira vem batendo recordes de produção, com grande representatividade na balança comercial e exportação de produtos agrícolas. Todo esse avanço é graças ao esforço e dedicação diária dos produtores e trabalhadores rurais e aos avanços tecnológicos que estão sendo disponibilizados nas atividades agropecuárias (SENAR, 2022).

A automação no meio rural é uma realidade. Ela ocorre em todas as etapas dos sistemas de produção (preparo e plantio, colheita, tratos culturais, processamento etc.) visando o aumento da produtividade; otimização do uso do tempo, insumos e capital; redução de perdas na produção; aumento da qualidade dos produtos e melhoria da qualidade de vida do trabalhador rural (BASSOI, *et al.*, 2019).

Uma das técnicas para intensificar a produção de alimentos é a robótica. Nos últimos anos, diversos avanços foram feitos no setor. A velocidade de operação dos robôs ultrapassou a de humanos e eles estão alcançando outras habilidades, podendo trabalhar continuamente e de forma consistente com o mínimo de manutenção (TANKE *et al.*, 2011).

É uma área em constante evolução que se baseia no uso de tecnologias para automatizar e aperfeiçoar as operações agrícolas, envolvendo a aplicação de diversos sistemas e dispositivos eletrônicos para otimização dos processos e tornando a agricultura bastante precisa. Abrangendo uma variada gama de tecnologias e aplicações, que inclui o sensoriamento remoto, geoprocessamento, robótica, sensores, sistemas de controle automatizados e inteligência artificial. Essas tecnologias auxiliam a tomada de decisões e o uso eficiente dos recursos, diminuindo a mão de obra.

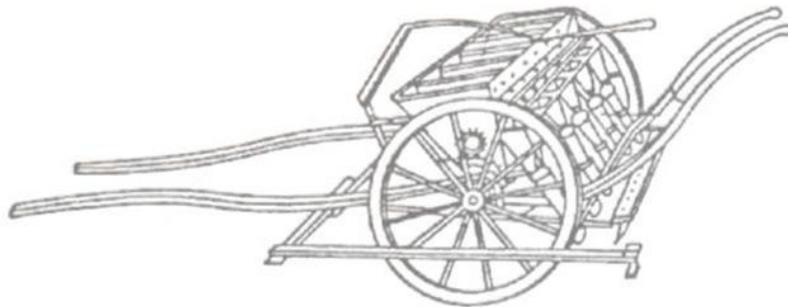
4.3 Semeadoras

As semeadoras parecem ter uma origem muito antiga, pois já eram conhecidas dos chineses em tempos remotos. Na Europa, apareceram pela primeira vez no norte da Espanha no século XVI e posteriormente na Inglaterra, no século XVIII. No início eram manuais e depois passaram a ser tracionadas por animais. Ainda hoje a semeadora manual, conhecida como “matraca”, é muito usada no Brasil (SILVEIRA, 1989).

A primeira semeadora europeia foi desenvolvida em 1636 por Locatelli de Corinto, recebendo o nome de “sembradore”. Esta máquina se constituía basicamente de um depósito de cilíndrico de madeira, contendo um eixo rotativo de conchas, as quais jogavam as sementes no interior do solo, mas em fileiras na sua superfície.

No final do século XVII, a semeadora de Locatelli foi aperfeiçoada pelo inglês Jethro Tull, o qual reconheceu as vantagens de semeadura mecânica em um solo preparado convenientemente. Em 1785 James Cook projetou uma semeadora, cujo princípio chegou até os dias atuais, e foi extensivamente utilizada na época, principalmente na Inglaterra (BALASTREIRE, 1987).

Figura 1 — Semeadora de James Cook



Fonte: Bernackiet al., (1972).

O desenvolvimento das semeadoras foi lento, pois de início não apresentavam uma redução da mão-de-obra na realização do plantio. Em vez de um só homem, e empregavam-se duas ou mais pessoas para tracionar a máquina. Porém, mesmo antes do aparecimento do trator, as semeadoras de tração animal tiveram um desenvolvimento razoável e sua utilização se mostrou vantajosa, por se conseguir economia de sementes por área plantada e regularidade no plantio (SILVEIRA, 1989).

Segundo Silveira (1989), “As semeadoras acopladas a adubadoras surgiram em 1900. Em 1923, com a introdução dos tratores triciclos no mercado, as semeadoras montadas foram fabricadas.”

Segundo a ABNT (1994), as semeadoras são classificadas de acordo com a forma de distribuição de sementes, sendo classificadas como semeadoras de precisão e de fluxo contínuo. Semeadoras de precisão em linha são caracterizadas como máquinas que distribuem a semente no sulco, uma a uma ou em grupos, em linhas e em intervalos regulares, conforme a densidade de semeadura determinada, já as semeadoras de fluxo contínuo distribuem as sementes em linha, porém sem precisão na sua deposição no solo.

Em linha - contínua

- de precisão
- em quadrado
- em grupos

A Lanço - aéreas

- terrestres

Na distribuição em linha contínua, as sementes são distribuídas em linha, porém não existe uma precisão na colocação das sementes, de forma que existe variação do número e posição das sementes na linha.

Na distribuição de precisão as sementes são dosadas, de preferência uma a uma, e o espaçamento entre as sementes é bastante uniforme, sendo a variação do número e a posição das sementes na linha muito pequenas.

A distribuição de sementes em grupos é uma variação da semeadura em covas utilizada, quando a semeadura era feita manualmente. Este tipo de semeadura pode ser utilizado quando se requer uma maior profundidade de semeadura, ou quando o poder germinativo das sementes é muito baixo (BALASTREIRE, 1987).

Segundo Balastreire (2005), os fatores que podem afetar o processo de semeadura quando estão relacionados com a semente são: o solo, a máquina e o clima. Já quando se leva em consideração o material de propagação deve-se estar atento a quantidade de sementes, a uniformidade de distribuição, a profundidade e a cobertura da semente. Com relação à máquina leva-se em consideração o tipo de mecanismo dosador, a forma de acionamento desde mecanismo, o tipo de sulcador e o tipo de mecanismo de cobertura da semente.

4.4 Mecanismos Dosadores de Sementes

Segundo Silva *et al.*, (2000) afirma que as semeadoras adubadoras possuem diferentes mecanismo dosadores de sementes, sendo os mais utilizados: disco perfurado, rotor acanalado, dedo prensor, copo distribuidor e dosador pneumático. De acordo com os autores, estes mecanismos ficam posicionados na máquina em uma distância do solo fazendo com que as sementes dosadas percorram uma grande distância em queda livre, dentro de um tubo condutor, até o solo.

O elemento principal dos mecanismos dosadores de sementes é o disco de sementes. Trata-se de uma peça móvel, com células cujo tamanho permite acomodar as sementes individualmente ou em grupos. Existem diversos tipos de mecanismos dosadores de sementes:

Mecanismo dosador de disco horizontal. É o mais comum, sendo utilizado pela maioria das semeadoras de precisão. Os locais onde se alojam as sementes ou células são simples orifícios abertos na periferia do disco (redondo, oval etc.) ou então encaixes “abertos” abertos em suas bordas. Nesse caso, um anel localizado no fundo do reservatório, onde o disco é montado, ajuda a conter lateralmente as sementes dentro das células.

À medida que o disco gira, as sementes localizadas dentro das células são forçadas a sair por um mecanismo ejetor. Este é constituído de um martetele, rolete propulsor ou outro mecanismo, que, pressionado por uma mola, atinge as sementes em sua passagem pelo orifício de saída do reservatório, desalojando-as e impulsionando-as para o tubo condutor (SILVEIRA, 1989).

Os mecanismos dosadores de disco alveolados inclinados são muitos semelhantes ao anteriores e se caracterizam pela inclinação do disco, do qual apenas a parte inferior se encontra mergulhada na massa de sementes do depósito, diminuindo dessa forma a altura da coluna de sementes sobre o disco e, portanto, a quebra de sementes ou os danos produzidos nestas (PORTELLA, 1997).

A transferência das sementes para o dispositivo de deposição é feita sem o auxílio de dispositivos mecânicos. As sementes são presas nos furos dos discos e elevadas à medida que o disco gira. Chegando à parte superior, um derrubador de sementes força sua saída através da mangueira condutora. A eliminação é feita por gravidade, sem quebrar a semente, permitindo distribuição uniforme e precisa. Devido sua inclinação, o excesso de sementes, que poderiam se alojar num mesmo furo, escorre, conseguindo-se assim maior regularidade de semeadura. Este sistema não utiliza o interruptor e o martetele, não provocando atrito com a semente (SILVEIRA, 1989).

Mecanismo dosador de disco vertical. Possui em sua periferia várias células, cujo tamanho é compatível com o da semente utilizada. O disco gira dentro de um depósito, em contato com as sementes. Apenas uma semente se aloja em cada célula, conseguindo-se com isso um espaçamento uniforme entre as sementes no solo.

Este tipo de mecanismo dosador pode apresentar duas variações denominadas mecanismo dosador de sementes para milho, tipo dedos captadores, e mecanismo distribuidor de sementes para soja, tipo copo alimentador. Os dois selecionam e encaminham as sementes para os condutores na proporção escolhida.

O mecanismo dosador de sementes para milho caracteriza-se por um conjunto de dedos captadores de sementes, que opera na posição vertical. O prato carregador comporta diversos dedos, que operam através de cames, para abrir e fechar à medida que giram. Com a gravidade, as sementes caem da caixa até o prato carregador giratório, onde os dedos se fecham e prendem-nas. Uma pequena escova especial de náilon e duas reentrâncias no prato fixo possibilitam velocidades mais rápidas no campo, além de evitar que duas sementes caiam juntas no sulco. O mecanismo dosador libera a semente para esteira transportadora, localizada na parte de trás. A esteira conduz suavemente a semente até o tubo, de onde cai por gravidade (SILVEIRA, 1989).

Dosadores mecânicos operam por meio de discos perfurados, onde cada alvéolo (furo) deve ser preenchido com uma semente. Assim, a dosagem se dá semente a semente. No entanto, são mais sujeitos a falhas, tanto com o posicionamento de duas sementes por alvéolo como pelo não preenchimento dos mesmos. Sua eficiência operacional tende a diminuir com o a elevação da velocidade de operação. Por essa razão, a velocidade de semeadura não deveria ultrapassar 6 km/h (EMBRAPA, 2019).

Já os mecanismos pneumáticos são alimentados por turbinas que geram uma pressão negativa, que atua na singularização da dosagem de sementes. Cada semente é mantida aderida ao furo do disco, à medida que este roda até alcançar o local de liberação. Dessa forma, o mecanismo pneumático é mais eficiente na dosagem de semente a semente, e permite operar em maiores velocidades (8 km/h) que o dosador mecânico. Obtém-se maior precisão, dosagem unitária de semente e diminuição de danos mecânicos às sementes (EMBRAPA, 2019).

Mecanismo dosador de correia sem-fim. Uma correia com diversificado número de orifícios, cujo diâmetro varia com a semente, desloca-se recolhendo, no interior do reservatório, apenas uma semente em cada orifício. Um sistema apropriado retira o excesso, que eventualmente poderia se alojar-se no mesmo orifício. Devido ao fato de as sementes serem

liberadas do sistema dosador bem próximas ao solo, obtêm-se boa precisão e distribuição, pois a altura de queda livre das sementes é pequena (SILVEIRA, 1989).

4.5 Impressão 3D

A impressão 3D, também chamada de fabricação aditiva (inglês), é uma família de processos que produz objetos ao adicionar material em camadas que correspondem a seções transversais sucessivas de um modelo 3D. O plástico e as ligas de metal são os materiais mais comumente usados para impressão 3D, mas quase tudo pode ser usado de concreto a tecido vivo (AUTODESK, 2023).

Diferente dos meios de fabricação tradicionais que envolvem a retirada de material (como no processo de usinagem), a impressão 3D adiciona o material camada por camada para construção do objeto desejado.

O processo que constitui a impressão 3D segue algumas etapas como, a Modelagem (criação dos objetos por meio dos softwares de modelagem 3D), Preparação do Arquivo (o arquivo é convertido geralmente para Standard Triangle Language – STL e o fatiamento da peça) e a Impressão (o arquivo processado é enviado para impressora e interpreta as instruções para construção).

As impressoras 3D estão ganhando cada vez mais espaço no ambiente doméstico ao redor de todo o mundo. Com elas, é possível materializar quase qualquer objeto, sendo necessário apenas o projeto e as ferramentas para produzi-lo. Com o surgimento dessas máquinas, espera-se que o compartilhamento de ideias, como já é possível perceber no cenário atual, aumente ainda mais (PINHEIRO, 2018).

O efeito que a popularização das impressoras 3D irá trazer ainda é incerto, mas já são feitas algumas suposições baseadas nas primeiras revoluções industriais e na forma como essas máquinas estão sendo utilizadas hoje. A transformação provocada pelo maior acesso a computadores estende a produção de objetos, abrangendo não só os atuais fabricantes, mas também pessoas comuns que estão virando empreendedores. Apesar do aumento significativo da economia criativa e dos bens intangíveis na forma de propriedade intelectual, essa nova revolução está apenas começando (PINHEIRO, 2018).

A impressão 3D na agricultura oferece várias aplicações, com o objetivo de aumentar a eficiência, produtividade e a sustentabilidade do setor. Na agricultura já temos exemplos práticos do uso das impressoras 3D, como na impressão de peças para reposição e reparo, impressão de estruturas para cultivos hidropônicos e agricultura vertical, criação de ferramentas para agricultores e indústria de alimentos.

Os filamentos para impressão 3D são compostos de polímeros termoplásticos (plásticos que atingem um estado pastoso quando aquecidos) e são produzidos na forma de um fio contínuo que é enrolado em um carretel para venda. Esse fio de plástico contínuo alimenta a impressora 3D e depois é derretido e expelido pelo extrusor, vindo a formar o objeto final (WISHBOX TECHNOLOGIES, 2016).

Quando se trata de filamentos para impressoras 3D, os materiais mais utilizados são PLA, ABS, PETG (PET, PTT), Nylon, os flexíveis TPE, TPN e TPC e o PC, porém as características técnicas difundidas se resumem apenas sobre resistências, durabilidade e custos, mas as características ambientais como toxicidade e consumo de energia emitidas na fabricação das peças durante o processo de impressão ou reciclabilidade não são muito levadas em conta pelos usuários na sua grande maioria. Por isso é de suma importância fazer um levantamento destes aspectos para que estas informações possam ser multiplicadas (BESKO *et al.*, 2017).

A (Tabela 1) foi elaborada contendo as principais propriedades que um filamento de impressão 3D possui, e para cada item levantado, foi classificado um nível, dividido em: baixo, médio e alto.

Tabela 1 — Principais propriedades dos filamentos mais utilizados na impressão 3D

Propriedades	PLA	ABS	PETG(P ET,PTT)	NYLON	TPE,TPU eTPC	PC
Ecológico	alto	baixo	alto	baixo	alto	alto
Brilho	médio	baixo	alto	médio	médio	alto
Transparência	médio	baixo	alto	baixo	médio	alto
Rigidez/Dureza	médio	alto	alto	alto	baixo	alto
ResistênciaImpactos	baixo	médio	alto	alto	alto	alto
Flexibilidade	baixo	médio	médio	médio	alto	médio
Contração/WARP	baixo	alto	médio	baixo	médio	baixo
Precisão/Detalhes	alto	baixo	médio	alto	médio	alto
QualidadeSuperfície	alto	baixo	alto	alto	médio	alto
Resistência/Atritos	baixo	médio	alto	alto	baixo	alto
ResistênciaQuímica	médio	baixo	alto	alto	alto	alto
ResistênciaTemp.	baixo	alto	médio	alto	médio	alto
Usinabilidade	baixo	alto	baixo	alto	baixo	médio
Densidade	baixo	médio	baixo	baixo	médio	alto
Temp.delImpressão	médio	alto	alto	alto	alto	alto
Temp.MesaAquecida	baixo	alto	médio	alto	baixo	alto
Preçoporm3/grama/hora	baixo	médio	médio	baixo	baixo	alto

Fonte: Besko *et al.*, (2017).

Conforme demonstrado (Tabela 1), o PLA se mostra no quesito ecológico tendo alto desempenho, juntamente com PETG e seus derivados assim como TPE, TPU e TPC e o PC, porém este último foi avaliado com nível alto nas propriedades de temperatura de impressão e de temperatura de mesa aquecida, portanto ambientalmente falando, podemos defini-lo como não tão sustentável apesar de seu alto desempenho no que se refere a suas propriedades mecânicas.

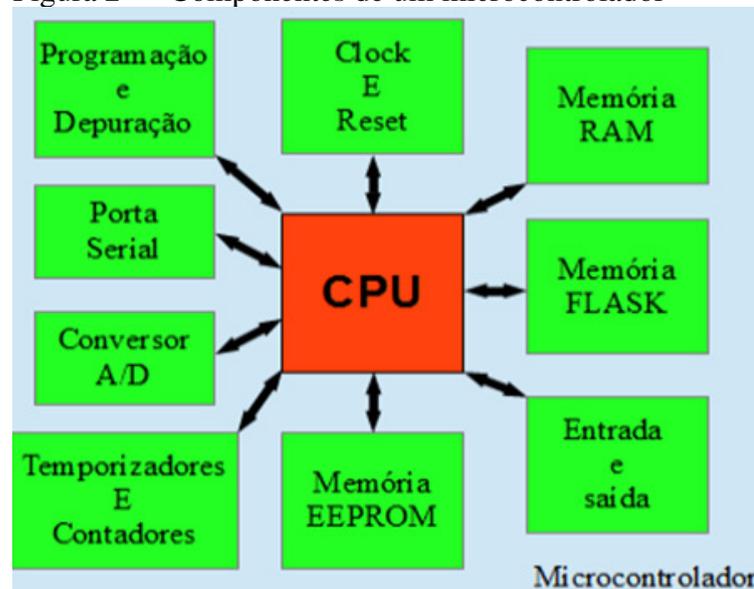
O filamento de PETG (PET, PTT) está em uma posição intermediária, com nível alto quanto a temperatura de impressão e o não uso de mesa aquecida, já o TPE, TPU e TPC se faz necessário o uso de mesa aquecida mesmo que com uma temperatura inferior em relação ao PC, porém durante o processo de impressão a temperatura de extrusão é alta.

É importante ressaltar que mesmo que os filamentos de ABS e Nylon não sejam tão sustentáveis, devemos considerar que se tratando de peças que requerem resistência mecânica e maior durabilidade, ambos os filamentos se destacam, pois não é sustentável utilizar um material de propriedades com nível baixo ou médio pois terão que constantemente serem substituídos, e tal ação demanda energia e matéria prima, mesmo que recicláveis (BESKO *et al.*, 2017).

4.6 Microcontroladores e Sensores

Segundo Kerschbaumer (2018) “Microcontroladores são circuitos integrados que possuem em seu interior todos os componentes necessário ao seu funcionamento dependendo unicamente da fonte de alimentação externa. Pode-se dizer que os microcontroladores são computadores de um único chip.” A (Figura 2) ilustra os componentes de um microcontrolador típico.

Figura 2 — Componentes de um microcontrolador



Fonte: Kerschbaumer (2018).

O primeiro microcontrolador foi lançado pela empresa Intel em 1977 e recebeu a sigla “8048”. Com a sua posterior evolução, deu origem à família “8051”. Esse chip é programado em linguagem Assembly e possui um poderoso conjunto de instruções. Por ser um

dos precursores, é utilizado em muitas aplicações de automação em diversas áreas do mundo. O microcontrolador possui internamente os seguintes dispositivos:

- a) uma CPU (Central Processor Unit ou Unidade de Processamento Central), cuja finalidade é interpretar as instruções de programa;
- b) uma memória PROM (Programmable Read Only Memory ou Memória Programável Somente de Leitura) na qual são gravadas as instruções do programa;
- c) uma memória RAM (Random Access Memory ou Memória de Acesso Aleatório) utilizada para memorizar as variáveis utilizadas pelo programa;
- d) um conjunto de LINHAS de I/O para controlar dispositivos externos ou receber impulsos de sensores, interruptores etc;
- e) um conjunto de dispositivos auxiliares ao funcionamento, ou seja, gerador de clock, contadores, UASART para comunicação etc. (PENIDO; TRINDADE, 2013).

Os microcontroladores surgiram como uma evolução natural dos circuitos digitais devido ao aumento da complexidade dos mesmos. Chega um ponto em que é mais simples, mais barato e mais compacto, substituir a lógica das portas digitais por um conjunto de processador e software (PENIDO; TRINDADE, 2013).

Os microcontroladores diferem dos sistemas tradicionais por já integrarem os seus periféricos dentro do próprio componente.

Esta integração é uma das principais vantagens dos microcontroladores, pois contendo todos os periféricos no mesmo componente faz com que sua utilização seja mais fácil e mais barata.

Sistemas microcontrolados não necessitam de muitos componentes, o que torna mais simples a construção das placas de circuito e diminui o custo dos componentes e da produção.

Os microcontroladores são muito utilizados pela sua versatilidade, pois seu comportamento depende principalmente do software que nele é gravado. Assim um mesmo microcontrolador pode ser utilizado para uma infinidade de aplicações bastando apenas mudar o seu software.

Outra vantagem é a possibilidade de atualização de um produto através da atualização do software do microcontrolador, o que não é possível com circuitos analógicos ou digitais tradicionais.

Os microcontroladores são utilizados em praticamente todos os dispositivos eletrônicos digitais que nos cercam, como por exemplo, centrais de alarme, teclados do computador, monitores, discos rígidos de computador, relógio de pulso, máquinas de lavar, forno de micro-ondas, telefones, rádios, televisores, automóveis, aviões, impressoras, marca passos, calculadores etc. Microcontroladores também são muito utilizados na indústria, como por exemplo nos controladores de processos, sensores inteligentes, inversores, softstarters, interfaces homem máquina, controladores lógicos programáveis, balanças, indicadores digitais etc.

Devido a sua grande versatilidade e ao seu baixo custo, praticamente qualquer dispositivo eletrônico pode fazer uso dos microcontroladores (KERSCHBAUMER, 2018).

De acordo com Thomazini e Albuquerque (2020) “No estudo da automação em sistemas industriais, comerciais, automobilísticos, domésticos etc., é preciso determinar as condições (ou variáveis) do sistema. É necessário obter os valores das variáveis físicas do ambiente a ser monitorado, e este é o trabalho dos sensores.”

Termo “sensor” é empregado para designar dispositivos sensíveis a alguma forma de energia, que pode ser luminosa, térmica ou cinética. O objetivo é relacionar informações sobre uma grandeza que precisa ser medida, como temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, entre outras.

Um sensor nem sempre tem as características elétricas necessárias para ser utilizado em um sistema de controle. Normalmente o sinal de saída deve ser manipulado antes da sua leitura no sistema de controle. Isso geralmente é realizado com um circuito de interface para produção de um sinal que possa ser lido pelo controlador.

Supondo que a saída de um sensor, ao ser sensibilizado por uma energia externa, é dado por um nível de tensão muito baixo, torna-se necessária à sua amplificação. Essa interface seria então um amplificador capaz de elevar o nível do sinal para sua efetiva utilização.

Além disso, várias das grandezas físicas podem assumir qualquer valor ao longo do tempo (pressão, temperatura, velocidade, umidade, vazão, força, ângulo, distância, torque, luminosidade). Essas variáveis são mensuradas por elementos sensíveis associados a circuitos eletrônicos com saídas não digitais.

Um sensor digital pode assumir apenas dois valores no seu sinal de saída ao longo do tempo, que podem ser interpretados como zero ou um: desligado – OFF ou ligado – ON. Não existem grandezas físicas que assumam esses valores, mas eles são assim mostrados ao sistema de controle após serem convertidos pelo circuito eletrônico dos sensores (pressostato, termostato, chave de nível) ou transdutores (*encoders* para determinação da posição ou

velocidade), em que a saída se apresenta por meio de pulsos (*encoder* incremental) ou códigos binários (BCD, Gray etc.), no caso de *encoders* absolutos (THOMASINI; ALBUQUERQUE, 2020).

4.7 Comando Numérico Computadorizado (CNC) e o Código G

O crescimento industrial, juntamente com a expansão do mercado consumidor, tornou essencial o estudo de métodos a fim de aperfeiçoar processos de fabricação, o CNC (comando numérico computadorizado) nasce no fim do século XX com o objetivo de suprir as necessidades ascendentes do mercado, como qualidade, velocidade de produção e quantidade de peças produzidas (BARCELOS; CERQUEIRA, 2014).

O CNC é uma evolução do controle numérico, trocando o controle de hardware por controle de software, sendo criados dois tipos de sistemas: o direto e o computadorizado. O direto possui um único computador central para controlar várias máquinas e o computadorizado possui seu próprio processador. O controle numérico distribuído (CND) tem um computador central que controla várias máquinas equipadas com computador, com mais flexibilidade e capacidade de memória e processamento.

As máquinas com CNC apresentam as seguintes vantagens em relação à convencional: retorno financeiro maior, flexibilidade de operação realizando formas complexas com precisão e repetibilidade com alta produtividade, diminuição do uso de ferramentas sem utilização de gabaritos, calibração da máquina facilitada por dispositivos eletrônicos, execução de um número maior de operações a cada setup, programas preparados, armazenados eletronicamente e recuperados rapidamente, usados para prototipagem instantânea, não depende de habilidade do operador.

As desvantagens da CNC em relação à convencional seriam: maior custo inicial custo e tempo de programação, maior custo de manutenção (PAZOS, 2002 *apud* SOUZA, 2018).

A linguagem G foi adotada pelo sistema como padrão como um padrão a ser usado pelos fabricantes de comandos, com algumas normas rígidas, dando a eles liberdade para a criação de recursos próprios, mantendo as funções básicas universais, funções que não podem ser definidas de maneiras diferentes e que tenham a mesma finalidade em todos os comandos. A possibilidade de serem diferentes dentro de um mesmo sistema aumentou a criatividade dos fabricantes. Desta forma, alguns comandos oferecem mais recursos que outros (SILVA, 2008).

O programa CN é uma maneira que o homem criou para se comunicar com a máquina por meio de códigos, a transformação de um desenho ou peça em números e letras e que não são nada mais nada menos que pura matemática.

Esse programa caracteriza-se por uma sequência de sentenças memorizadas pelo comando e executadas na usinagem, uma após a outra.

Vamos conhecer a estrutura do programa:

- **Bloco de dados ou sentenças:** constituídos de caracteres, ou seja, letras de endereçamento e algarismos, palavras que juntas têm o objetivo de informar ao comando as operações que devem ser executadas.
- **Caracteres:** número, letra, espaço, ponto ou qualquer outro símbolo que signifique algo para o comando.
Exemplo: A, T, Z, - etc.
- **Letras de endereçamento:** são instruções alfabéticas passadas para o comando que podem executar um movimento ou, simplesmente, assumir uma nova função.
Exemplo: G, X, O, B, I, K etc.
- **Palavra:** é constituída de uma letra seguida por um valor numérico. Dependendo da letra, o valor numérico deve ser específico.
Exemplo: G00, G01, G66, Z55, X20, K.5 etc (SILVA, 2008).

5. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Robótica Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará (UFC), estabelecido no município de Fortaleza, CE e foi constituído de três etapas; desenvolvimento, construção e avaliação do protótipo.

5.1 Desenvolvimento do Projeto

Na primeira etapa foi desenvolvido o projeto informacional, conceitual e detalhado de um mecanismo de uma semeadora autopropelida com capacidade de se deslocar através da comunicação via rede de internet com dispositivos móveis de telecomunicação. A metodologia utilizada nesta etapa seguiu a metodologia para elaboração de projetos proposta por Pahl e Beitz (2005), como descrita a seguir:

5.1.1 Planejamento e esclarecimento da tarefa

A primeira fase do projeto envolveu o planejamento e esclarecimento da tarefa realizada. Este esclarecimento da formulação da tarefa destinou-se a coleta de informações sobre os requisitos necessários para o funcionamento do sistema a ser desenvolvido, bem como sobre as condicionantes existentes e sua relevância. O resultado dessa fase foi a definição informativa numa lista de requisitos que o produto deverá atender. As afirmações e determinações da lista de requisitos foram ajustadas e sintonizadas as necessidades do desenvolvimento do projeto e as etapas de trabalho subsequentes.

5.1.2 Projeto Conceitual

Com base nos requisitos da máquina a ser desenvolvida determinou-se a função que representa a interação geral objetivada entre entrada e saída de um sistema. Portanto, a função global pode ser indicada, a qual aponta, mediante utilização de um diagrama de blocos, a inter-relação entre variáveis de entrada e de saída com referência a conversão de energia, material e/ou sinal, de forma neutra com relação a solução. As variantes de soluções elaboradas foram avaliadas e as que não atenderam as exigências da lista de requisitos foram eliminadas. Com base na avaliação decidiu-se pelo conceito cujo desenvolvimento foi continuado.

O método empregado para a determinação das soluções foi o da matriz morfológica que consiste em uma tabela onde são listadas as funções necessárias no produto a ser projetado e ao lado dessas funções são citadas em forma de esboço as soluções possíveis para que seja suprida aquela função. As soluções foram colocadas num diagrama morfológico ou matriz de projeto de um modo que as diversas combinações fossem facilmente analisadas. O método

permitiu ainda a visualização das diversas possibilidades em estudo, oportunizando o surgimento de concepções inovadoras obtidas, por exemplo, através da interação entre dois ou mais princípios.

5.1.3 Projeto Detalhado

Essa é a fase do projeto que complementa a estrutura de criação do sistema desenvolvido por meio de prescrições definitivas sobre a forma do mecanismo, dimensionamento e acabamento superficial de todas as peças, definição de todos os materiais e verificação das possibilidades de produção. O resultado do detalhamento foi a definição da tecnologia de produção da solução. Nesta fase ocorreu a elaboração da documentação para a produção, especialmente dos desenhos de componentes individuais para a fabricação, dos desenhos de conjuntos, até onde necessário, e do desenho completo até as listas das peças. Esta fase da etapa de detalhamento foi auxiliada e automatizada por meio de processamento gráfico, utilizando-se o software Autodesk Inventor, o qual possui compatibilidade com máquinas de comando numérico. Os desenhos de detalhamento foram elaborados da seguinte forma: peças individuais apresentam informações sobre o material utilizado, processo de fabricação e tolerância nas dimensões. Conjuntos soldados contém as peças individuais que compõe o conjunto, o processo de soldagem e as tolerâncias do conjunto soldado. Dessa forma, ao acessar a montagem final da semeadora foi possível identificar todas as partes constituintes sabendo como foi seu processo de fabricação e qual material foi utilizado.

5.2 Construção e Montagem do Protótipo

Após o desenvolvimento do mecanismo, deu-se início à segunda etapa do projeto com a construção de um protótipo e verificação em laboratório da capacidade de simular a operação de semeadora trabalhando de maneira remota, controlada por um aparelho de telecomunicação móvel, conectado em uma rede de internet via Wi-Fi.

Para a construção do protótipo, foram utilizados os materiais definidos no projeto detalhado.

5.2.1 Processamento de Corte, Soldagem e Usinagem

Para a construção do chassi do protótipo, foi selecionado a utilização de um perfil retangular de aço carbono 1020, nas dimensões de 50 x 30 com espessura de 1 mm. Para realização do corte e conformidade das peças, foi utilizado uma esmerilhadeira angular 4.1/2 Pol. 650W elétrica da marca Skill, apresentada na (Figura 3). A manufatura dos conjuntos soldados, foi utilizado uma máquina inversora de solda da marca Arcweld 200i-ST apresentada

na (Figura 3) para fazer a união entre peças que compõe a estrutura do chassi da semeadora. Para a manufatura dos eixos que sustentam o mecanismo de tração foi utilizado uma barra rosqueada de 1 polegada de diâmetro, a qual foi submetida ao processo de usinagem utilizando um torno mecânico da marca Sanches Blanes S.A modelo TM-280 apresentado na (Figura 3).

Figura 3 — Equipamentos utilizados para a manufatura do chassi do protótipo

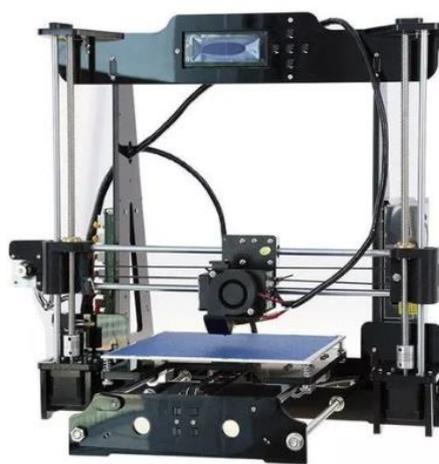


Fonte: Elaborada pelo autor.

5.2.2 Manufatura das peças impressas

As peças que compõe o mecanismo dosador de sementes e o sistema de transmissão de potência do protótipo foram confeccionadas utilizando uma impressora 3D da marca Tronxy modelo p902 apresentada na (Figura 4). O material escolhido para ser utilizado foi um polímero termoplástico feito com ácido láctico conhecido como PLA.

Figura 4 — Impressora 3D utilizada para construção das peças do protótipo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a utilização da impressora 3D, foi necessário utilizar o software *Repetier-Host* para converter os arquivos de desenhos gerados na etapa de projeto em arquivos compatíveis com máquinas CNC e definir os parâmetros do processo de impressão como temperatura da impressão, densidade do material impresso, velocidade de impressão entre outros.

A (Tabela 2) apresenta os principais parâmetros configurados no software *Repetier-Host* para a realização das impressões.

Tabela 2 — Configuração utilizada no software de impressão

<i>Parâmetro</i>	<i>Valor atribuído</i>
Material	PLA
Altura de camada	0,3 mm
Largura de extrusão	0,4 mm
Temperatura de impressão	210 °C
Temperatura da mesa de impressão	60 °C
Velocidade de impressão	45 mm/s

Fonte: Elaborada pelo autor.

5.2.3 Instalação do sistema de automatização e comunicação

O sistema de propulsão e direção do protótipo foi projetado para trabalhar com o acionamento de duas rodas de tração independentes e um par de rodas de apoio, unidas que fazem a articulação do chassi e permitem a realização de manobras.

O acionamento dessas rodas de tração é feito através de um mecanismo de transmissão de potência tipo engrenagem sem fim conectado em um motor de passo. Quando as rodas de tração girar com a mesma velocidade, o protótipo se deslocará em linha reta. Quando a rotação das rodas se diferenciarem, o protótipo realizará uma curva.

O dosador de sementes utilizado é um dosador do tipo disco perfurado horizontal, adaptado para trabalhar com sementes de soja. O disco perfurado permite que a semente existente dentro de um reservatório preencha os furos do disco, fazendo assim sua individualização. Quando o disco gira, a semente dentro dos furos do disco é encaminhada até um ponto onde ocorrerá sua ejeção e condução até o solo. O acionamento do disco dosador de sementes é realizado com outro motor de passo.

Portanto, o protótipo da semeadora utiliza três motores de passo, responsáveis pela propulsão e direcionamento e acionamento do dosador de sementes. A (Figura 5) apresenta o modelo dos motores utilizados no protótipo e suas características.

Figura 5 — Motor de passo utilizado para acionamento do protótipo

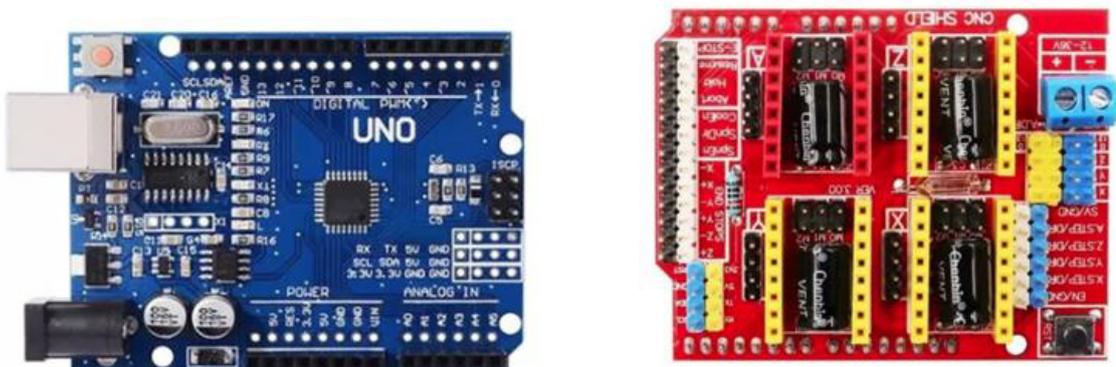


- MOTOR DE PASSO NEMA 23 marca FORTEK
- Torque: 28 kgf.cm (30KGF DE PICO)
 - Tensão: 4,8 Vdc
 - Corrente: 3 A
 - Resistência: 1,6 OHMS
 - Indutância: 7,5 mH
 - Peso: 1,500 kg
 - Número de Fios: 4
 - Precisão do ângulo do passo $\pm 5\%$
 - Precisão de resistência $\pm 10\%$
 - Precisão de indutância $\pm 20\%$
 - Ângulo do passo: 1.8°
 - Temperatura máxima de trabalho: 80 graus Celsius
 - Temperatura ambiente -20 à + 50 graus Celsius
 - Resistência de isolamento 100MO Min.500VDC
 - Força Dielétrica: 500 VAC por um minuto
 - Eixo: 8mm

Fonte: AutoCore Robótica (2023).

Os motores de passo foram controlados por uma placa Arduino UNO utilizando um Shield CNC V3 com capacidade para trabalhar com até quatro motores de passo de maneira independentes. Esse controle da posição do eixo dos motores de passo ocorre através de um driver que convertem os sinais de pulso do controlador em movimento do motor para conseguir um posicionamento preciso. A (Figura 6) apresenta o microcontrolador e o Shield para controle dos motores.

Figura 6 — Placa Arduino Uno R3 e Shield CNC V3



Fonte: AutoCore Robótica (2023).

O driver utilizado para o controle de motor de passo é o modelo DM 556 que foi configurado para trabalhar com uma corrente de 3,2 A, tensão de alimentação de 20 – 50 Volts

e com uma precisão de 1600 pulsos/revolução. A (Figura 7) apresenta o driver utilizado para o controle dos motores de passo.

Figura 7 — Driver modelo DM556 utilizado para o controle dos motores de passo



Fonte: AutoCore Robótica (2023).

Para suprir a tensão exigida dos drivers, foi utilizado duas baterias estacionárias da marca Tudor CCA 400 com tensão de 12 V e capacidade de gerar 50 Ah. As baterias foram ligadas em série para fornecer 24 Volts. A (Figura 8) apresenta o modelo da bateria estacionária utilizada no protótipo.

Figura 8 — Bateria estacionária utilizada no protótipo



Fonte: Tudor Baterias (2021).

Na placa Arduino UNO, foi instalado um software GRBL. Esse software GRBL é um firmware desenvolvido para interpretar os códigos G, também conhecidos como Gcode.

Esse código foi desenvolvido para suprir a necessidade dos fabricantes industriais em ter uma linguagem padronizada em sistemas de Controle Numérico Computadorizado (CNC).

Foi utilizado um computador portátil, Netbook Acer Emachines EM250, para realizar a comunicação com a placa Arduino com uma rede de internet Wi-Fi. No computador foi instalado o software para controle de motores de passo Universal Gcode Sender (UGS), o qual possui a capacidade de interpretar e executar os códigos G. O UGS também consegue criar um link de acesso remoto ao programa que está sendo executado no computador. Desta forma, qualquer dispositivo móvel conectado na rede de internet consegue acesso ao programa que executará os códigos enviados pelo dispositivo móvel. A (Figura 9) apresenta o computador portátil utilizado para comunicação e execução do UGS.

Figura 9 — Computador portátil utilizado no protótipo



Fonte: Elaborada pelo autor.

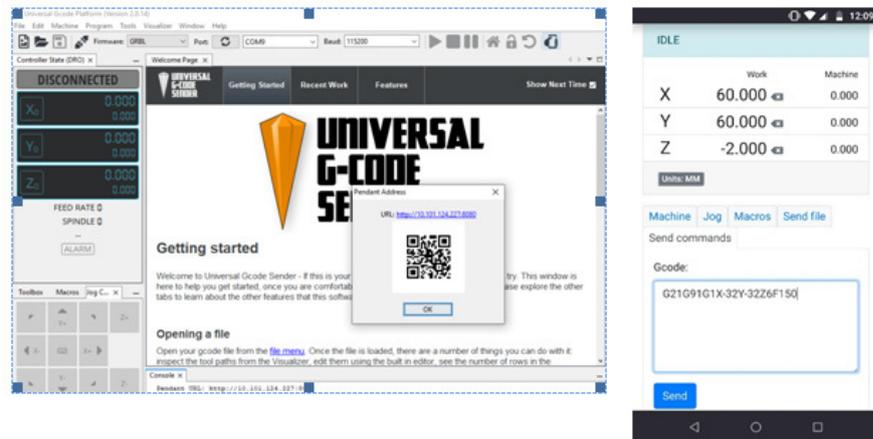
5.3 Avaliação do Protótipo

A avaliação do protótipo foi feita em laboratório onde foi verificado o funcionamento da comunicação existente entre o protótipo e um dispositivo móvel conectado na rede de internet. Também foi verificado qual a velocidade máxima de deslocamento do protótipo, taxa de dosagem de sementes máxima e medição do consumo energético durante a operação.

5.3.1 Verificação da comunicação entre o protótipo e o dispositivo móvel

A comunicação entre o protótipo e o dispositivo móvel ocorre utilizando o software UGS, instalado no computador portátil que estará conectado na rede de internet Wi-Fi. O software disponibiliza um Código QR para acesso pelo dispositivo móvel, conforme ilustrado na (Figura 10).

Figura 10 — Interface do software UGS utilizado para a comunicação do protótipo com o dispositivo móvel



Fonte: Elaborada pelo autor.

Ao acessar o programa pelo dispositivo móvel, o operador poderá enviar uma programação em código G que será interpretada pelo UGS que enviará a informação para a placa controladora que por sua vez, processará e enviará ao driver do motor a informação da orientação e da magnitude dos pulsos elétricos que cada motor deverá receber.

5.3.2 Velocidade máxima de deslocamento

A verificação da velocidade máxima foi feita através do incremento gradual na rotação dos motores que acionam as rodas de tração. Foi utilizado o software UGS para realizar um incremento de 5 rpm para cada verificação.

O sistema de transmissão de potência para cada roda de tração apresenta uma relação de transmissão de 8:1. Isso significa que a cada oito rotações do motor, a roda de tração realizará uma revolução. A roda utilizada no mecanismo de tração está apresentada na (Figura 11) e apresenta um diâmetro indeformado de 0,3 m.

Figura 11 — Roda utilizada na semeadora



Fonte: Elaborado pelo autor.

A velocidade de deslocamento será calculada de acordo com a equação abaixo:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot \omega}{60} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

V = velocidade, m.s⁻¹

D = diâmetro da roda, m

ω = rotação da roda, rpm

A velocidade máxima obtida em laboratório será alcançada quando os motores começarem a falhar devido ao incremento de rotação.

5.3.3 Dosagem de sementes

As sementes utilizadas no mecanismo dosador foram sementes de soja da marca BRSEEDS, cultivar IAC Foscarin 31, apresentadas na (Figura 12) abaixo.

Figura 12 — Sementes utilizadas no mecanismo dosador



Fonte: BRSeeds Sementes (2016).

O disco dosador de sementes apresenta 15 furos. Desta forma a cada rotação do disco, considerando uma eficiência de 100%, seriam dosadas 15 sementes.

A verificação da taxa máxima de dosagem de sementes foi feita através do incremento gradual na rotação do motor que aciona o disco dosador de sementes. Foi utilizado o software UGS para realizar um incremento de 5 rpm para cada verificação.

Para realizar a verificação foi fixado que o disco dosador realizará 10 rotações. No final dessas rotações deve-se obter um valor de 150 sementes individualizadas para se obter 100% de eficiência.

A eficiência será calculada de acordo com a equação abaixo:

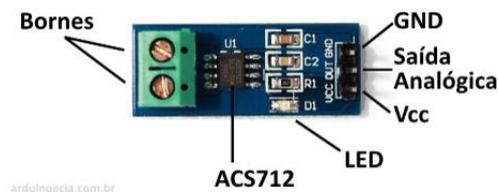
$$Ef. = \frac{\text{valor de sementes contadas}}{150 \text{ sementes}} \cdot 100 \quad (\text{Equação 2})$$

A taxa máxima de dosagem de sementes será obtida em laboratório quando a maior velocidade do motor proporcionar uma eficiência de 100%.

5.3.4 Consumo energético

Para realizar a medição da energia demandada para o funcionamento do protótipo, foi instalado um módulo sensor de corrente ACS 712 de 30 Amperes, apresentado na (Figura 13), conectada na saída da bateria estacionária.

Figura 13 — Sensor de corrente utilizado para medir o consumo energético



Fonte: Arduino e cia (2016).

Como a bateria fornece uma tensão de 24 Volts, a potência elétrica consumida durante a operação é calculada de acordo com a equação abaixo:

$$P = V \cdot I \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

P = Potência elétrica consumida da bateria, Watts (W)

V = Tensão em Volts (V)

I = Corrente elétrica em Amperes (A)

A potência será mensura na condição de maior velocidade de deslocamento junto da maior taxa de dosagem de sementes.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Desenvolvimento do Projeto

6.1.1 Projeto Informativo

Após separar as necessidades que a semeadora deve atender e as condições técnicas e econômicas disponíveis para a realização do projeto, foram classificados os requisitos necessários que a semeadora deve apresentar de forma quantitativa e qualitativa. Na (Tabela 3) é apresentada a lista de requisitos elaborada para o desenvolvimento do protótipo.

Tabela 3 — Lista de requisitos do protótipo de semeadora automatizada

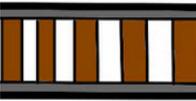
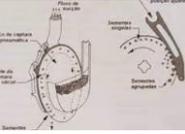
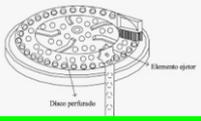
Edição: 09				
		Lista de Requisitos		Identificação
Usuário: João Batista		Para: DENA	Projeto/Produto: Semeadora Autopropelida	Pag.: 01 01 Folha:
Modificação	N/V	Requisitos		Exigência
Data da alteração: 20/06/2023	Assinalar (N) necessidade ou (V) vontade	1- Geometria - Dimensões externas do mecanismo recolhedor:		
		N	Comprimento:	900mm
		N	Largura:	600mm
		N	Altura:	400mm
		2- Declividade do terreno:		
		N	Longitudinal ao deslocamento:	0%
		N	Transversal ao deslocamento:	0 - 10%
		3- Cinemática e Dinâmica:		
		N	Posicionamento da semente:	Centralizada com o dosador
		N	Velocidade de trabalho:	até 2000 m h ⁻¹
			Direcionamento:	Duas rodas de tração com acionamento independente
		N	Danos nas sementes:	
		N	Quantitativos:	“Mínimo possível”
		N	Qualitativos:	“Mínimo possível”
		N	Fonte de energia:	Elétrica
			4- Potência disponível:	0,25 cv
	Baixo custo:	Limite de R\$ 3500,00		

Fonte: Elaborada pelo autor.

6.1.2 Projeto Conceitual

A estrutura de funções permitiu desmembrar uma função complexa como distribuir sementes no solo em subfunções. Dessa forma foi possível analisar todas as subfunções de maneira individual e chegar a uma solução seguindo os critérios técnicos e econômicos estabelecidos nos requisitos do projeto. Na (Tabela 4) a matriz morfológica utilizada para documentar as soluções individuais.

Tabela 4 — Matriz morfológica contendo as soluções e subfunções do mecanismo

Soluções Subfunções		Soluções			
		1	2	3	4
1	Mecanismo de tração	 Rodas	 Esteira	 Trilhos	
2	Transmissão de potência na tração	 Engrenagens	 Engrenagem sem-fim	 cardã	 Direto no eixo
3	Conformação do Chassi	 Rígido	 Articulado		
4	Dosador de Sementes	 Disco Vertical	 Disco Horizontal	 Pneumático	 Dedos
5	Transmissão de potência na distribuição de sementes	 Engrenagens	 Engrenagem sem-fim	 cardã	 Direto no eixo
6	Abrir o solo	 Haste fixa	 Disco duplo	 punções	
7	Fechar o solo	 Roda simples	 Roda dupla	 Corrente	

Fonte: Elaborada pelo autor.

As soluções para cada subfunção foram colocadas num diagrama morfológico ou matriz de projeto para serem combinadas em forma de variáveis de solução de um modo que as diversas combinações foram facilmente analisadas e visualizadas. Por intermédio do simples arranjo das diferentes linhas e colunas da matriz, o método utilizado permitiu a elaboração de diversas variantes de soluções para o problema.

Após criar as variantes de soluções, elas foram avaliadas de acordo com os critérios técnicos e econômicos. Para cada critério utilizado foi fornecido uma nota com um peso, e no final da avaliação a variante de solução que apresentou a maior nota foi utilizada como solução no projeto conceitual. Na (Tabela 5) são apresentados os critérios de avaliações utilizados para a escolha da solução.

Tabela 5 — Critérios de avaliação utilizados para a escolha da melhor solução

Critérios de Avaliação	Peso do Critério	Variante Perfeita	Nota
Baixo custo de construção	0,100	100	10,0
Baixo custo de operação e manutenção	0,100	100	10,0
Soluções que respeitam o ambiente	0,030	100	3,0
Eficiência no deslocamento	0,200	100	20,0
Eficiência na distribuição de sementes	0,200	100	20,0
Eficiência energética	0,200	100	20,0
Baixos danos mecânicos nas sementes	0,050	100	5,0
Eficiência da conversão de energia	0,050	100	5,0
Fácil operação e Manutenção	0,010	100	1,0
Segurança na operação	0,010	100	1,0
Utilização de peças padronizadas	0,050	100	5,0
Total	1,00		100

Fonte: Elaborada pelo autor.

A variante de solução que apresentou os melhores resultados esta apresentada na (Tabela 6).

Tabela 6 — Solução selecionada no projeto conceitual

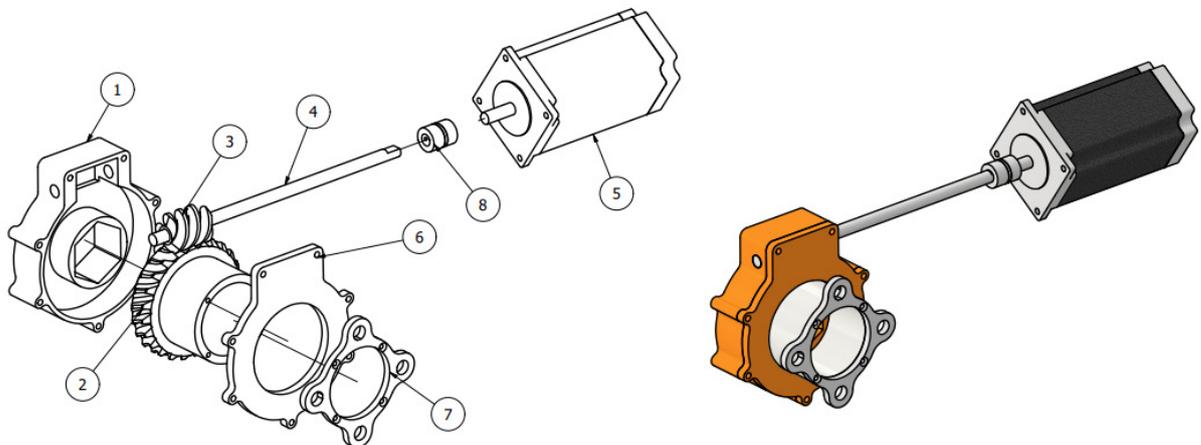
Subfunções	Solução Conceitual
Mecanismo de Tração	Rodas
Transmissão na potência da tração	Engrenagem sem fim
Conformação do Chassi	Articulado
Dosador de sementes	Disco horizontal
Transmissão na potência do dosador de sementes	Direto no eixo
Abrir o solo	Haste Fixa
Fechar o solo	Roda dupla

Fonte: Elaborada pelo autor.

6.1.3 Projeto Detalhado

Com a utilização do software Autodesk Inventor, foi possível projetar peças que compõe o protótipo, criar montagens e representações gráficas que estão apresentadas nas (Figuras 14, 15 e 16).

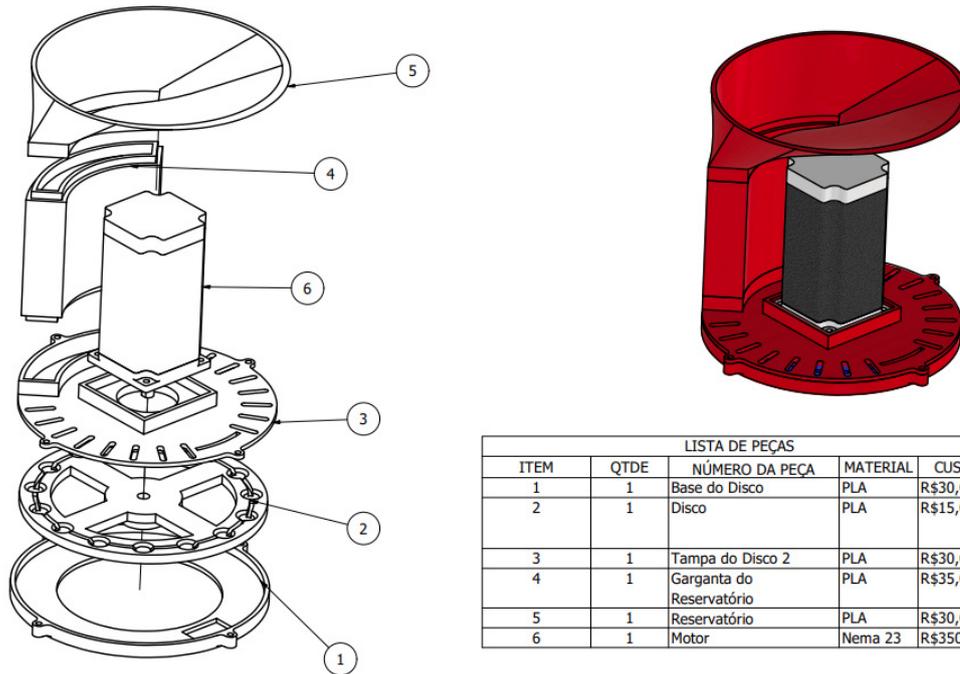
Figura 14 — Detalhamento do sistema de transmissão de potência do mecanismo de tração



LISTA DE PEÇAS				
ITEM	QTDE	NÚMERO DA PEÇA	MATERIAL	CUSTO
1	1	Tampa	PLA	R\$30,00
2	1	Engrenagem	PLA	R\$35,00
3	1	Helicóide	PLA	R\$10,00
4	1	Eixo	Aço Inox	R\$15,00
5	1	Motor	Nema 23	R\$350,00
6	1	Tampa do copo	PLA	R\$10,00
7	1	Flange	PLA	R\$5,00
8	1	Acoplamento flexível 8 mm	Aluminio	R\$12,00

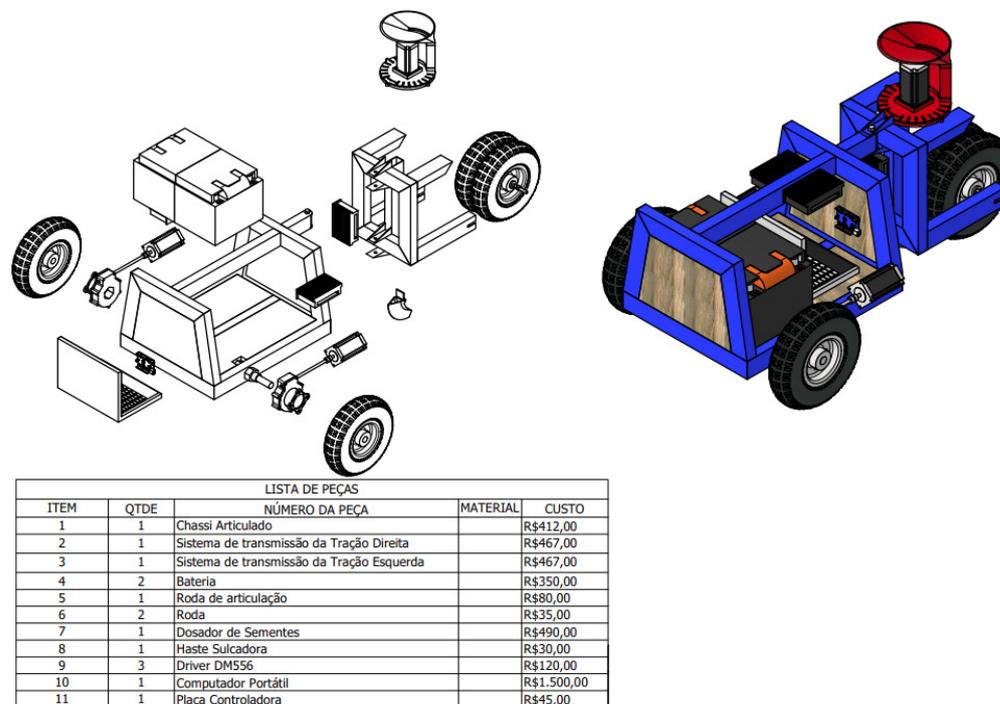
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 15 — Detalhamento do mecanismo dosador de sementes



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 16 — Detalhamento do protótipo montado



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2 Construção e Montagem do Protótipo

6.2.1 Construção do chassi

A construção foi realizada no Laboratório de Robótica Agrícola da Universidade Federal do Ceará – UFC. Para a confecção do chassi foi utilizado perfil de aço carbono 1020, com dimensões de 50 mm x 30 mm x 1 mm (altura x largura x espessura). Processo de construção do chassi (Figura 17).

Figura 17 — Confeção do chassi da semeadora, corte, soldagem e usinagem



Fonte: Elaborado pelo autor.

Depois da realização das etapas anteriores e com chassi totalmente concluído, foi realizada a pintura da estrutura. Como observado na (Figura 18).

Figura 18 — Realização da pintura



Fonte: Elaborado pelo autor.

E para finalização da montagem do chassi foi adicionado um assoalho e tampas (frontal e traseira) em madeira MDF (Medium Density Fiberboard) para proteção do sistema eletrônico embarcado (Figura 19).

Figura 19 — Colocação do assoalho no chassi

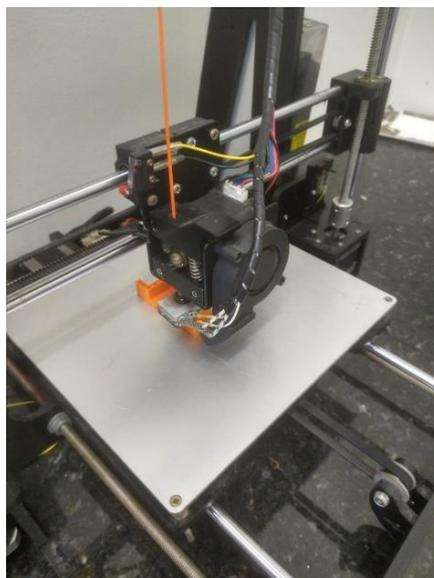


Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2.2 Impressão e montagem dos mecanismos fabricados na impressora 3D

Todos os mecanismos utilizando PLA foram fabricados na impressora 3D disponível no Laboratório de Robótica Agrícola, a modelagem e conversão dos arquivos para o formato STL, foi realizada no software *Autodesk Inventor*, o processo de fatiamento do objeto, foi feito no software *Hepetier-Host*. A (Figura 20) apresenta o processo de impressão utilizando a impressora 3D.

Figura 20 — Processo de impressão



Fonte: Elaborado pelo autor.

Processo de montagem dos mecanismos de tração da semeadora (Figura 21).

Figura 21 — Montagem dos mecanismos



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2.3 Montagem do sistema eletrônico

O funcionamento da semeadora ocorre utilizando um notebook onde está instalado o software Universal Gcode Sender na (Versão 2.0.11), onde o mesmo recebe as informações diretamente no computador ou possibilita gerar um Código QR, que pode ser escaneado e irá redirecionar o usuário a um acesso de controle do software. O software é uma plataforma voltada para controle de máquinas de programação de Comandos Numéricos Computadorizados (CNC), é gratuito e compatível com os principais firmwares, GRBL, TinyG e G2core. O UGS é o responsável por fazer a comunicação entre o computador e a máquina CNC, no nosso caso, a semeadora.

Na montagem do sistema eletrônico do protótipo podemos seguir as seguintes etapas para sua instalação.

Passo1: o computador, com software instalado Universal Gcode Sender 2, que faz comunicação direta com uma placa microcontroladora do tipo Arduino UNO R3. Ilustrado na (Figura 22).

Figura 22 — Ligação do computador com a placa microcontroladora

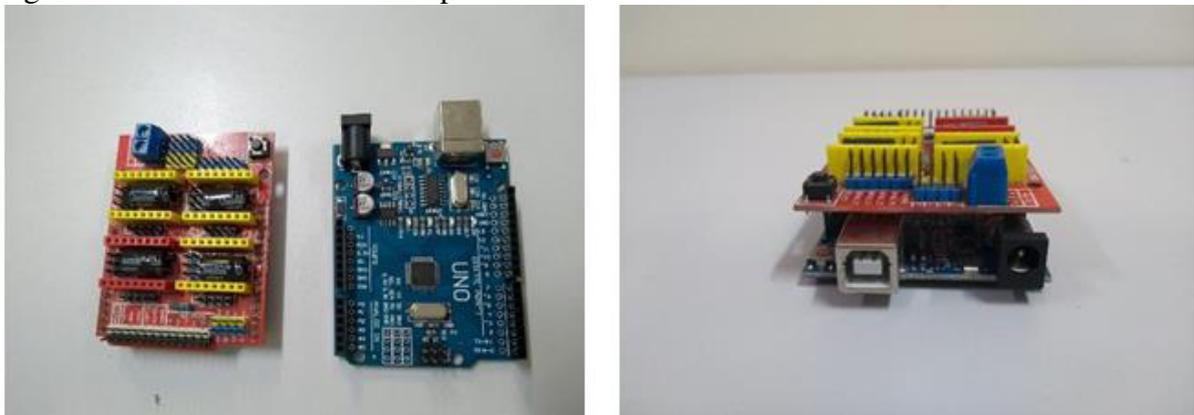


Fonte: Elaborado pelo autor.

Passo 2: nessa placa microcontroladora foi carregado o firmware GRBL, que processa os comandos gerados e converte as informação para os motores em direção e magnitude.

Passo 3: junto com a placa microcontroladora foi utilizado um Shield CNC V3, uma placa escudo que se encaixa no Arduino e serve para acrescentar funcionalidades de forma simples e confiável. Montagem das placas na (Figura 23).

Figura 23 — Placa controladora e placa Shield CNC V3

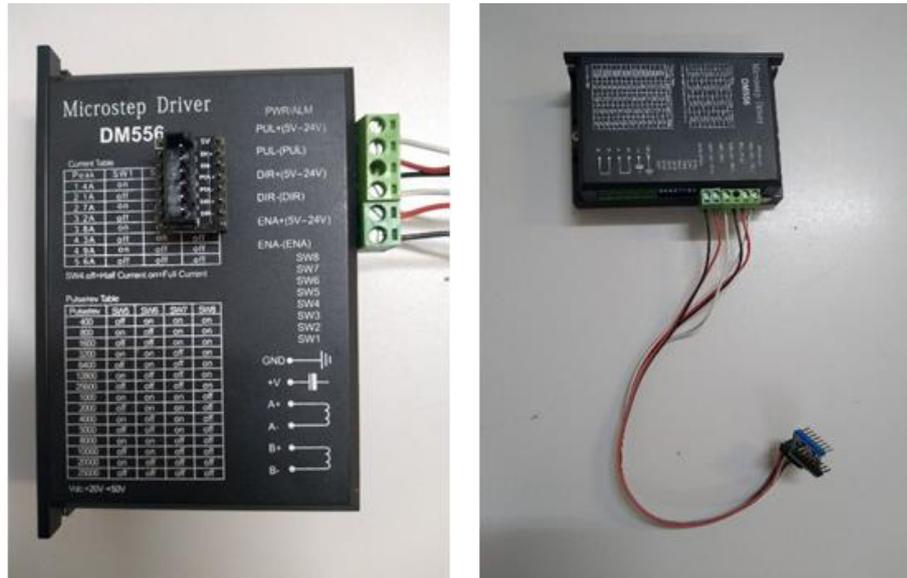


Fonte: Elaborado pelo autor.

Passo 4: a placa escudo Shield CNC V3, possui quatro soquetes de drives, sendo 3 destes para o controle de eixos dos motores de passo (X, Y, Z), e um quarto para um motor auxiliar adicional (vermelho). Foi feito a comunicação entre a placa Shield CNC V3 e os drives DM 556 dos motores de passo é utilizado adaptadores para drivers externos.

Passo 5: a ligação entre os adaptadores da placa Shield CNC V3 e o driver do motor de passo é bastante intuitivo, nas saídas de ambos é possível identificar as informações de ligação. A forma de ligação dos fios entre o adaptador e driver pode ser observado na (Figura 24).

Figura 24 — Ligação entre o adaptador e o driver



Fonte: Elaborado pelo autor.

Passo 6: a alimentação dos motores de passo deve ser feita de maneira externa, ligado diretamente das baterias para as entradas dos drives (DM 556). A (Figura 25) mostra ligação dos fios do motor de passo no drive.

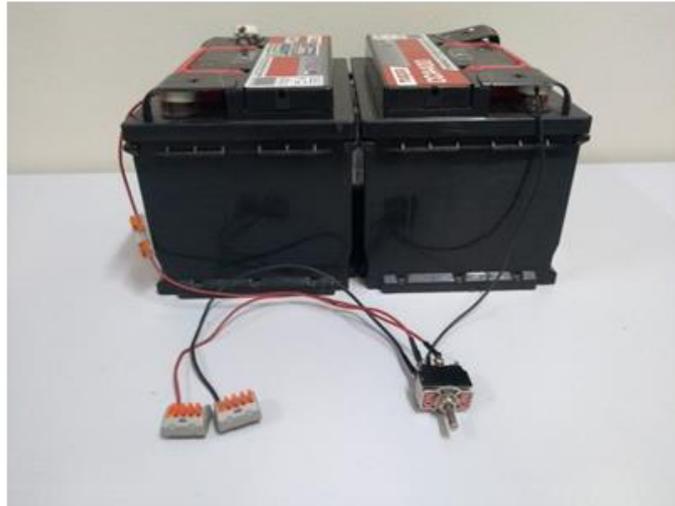
Figura 25 — Ligação entre o driver e o motor de passo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Passo 7: a ligação entre as baterias (ligadas em série) e os drives dos motores de passo é seccionada por uma chave alavanca de 6 polos e possui dois conectores de derivação de saída (positivo/negativo) para alimentar os drives com uma tensão de 24V. Ilustrado na (Figura 26).

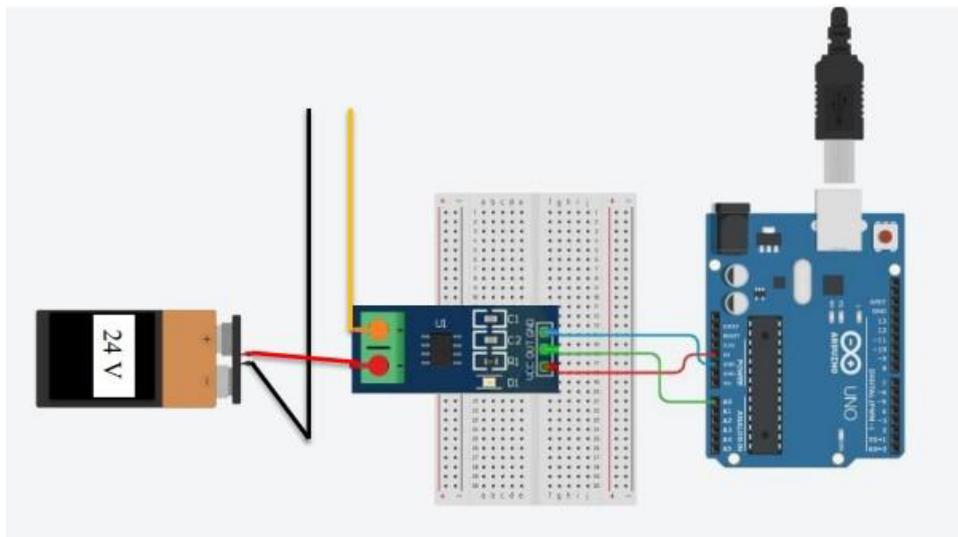
Figura 26 — Ligação das baterias



Fonte: Elaborado pelo autor.

No protótipo da sementeira foi instalado um módulo sensor de corrente ACS 712 30 A. O sensor de corrente foi instalado na saída das baterias, por ser um sensor do tipo invasivo é necessário cortar um fio para que possa passar a corrente pelo sensor para sua medição. A (Figura 27) mostra o esquema de ligação do sensor de corrente nas baterias.

Figura 27 — Esquema de ligação do Sensor de corrente

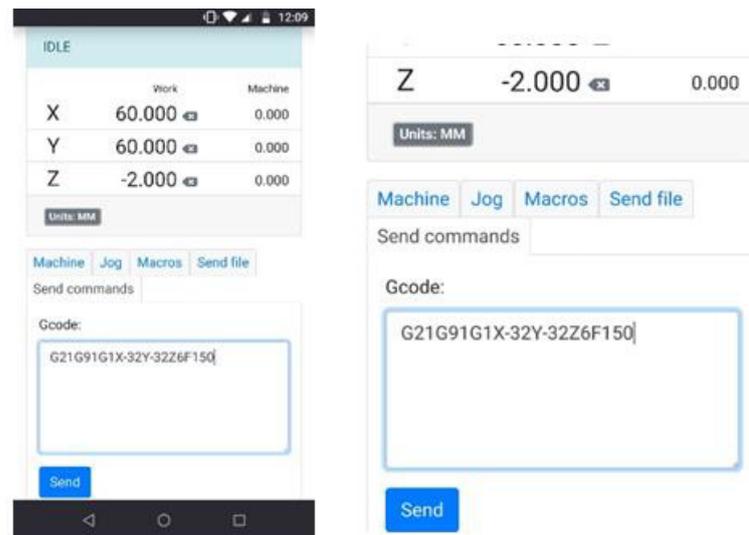


Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2.4 Funcionamento do sistema eletrônico

Na (Figura 28) é possível observar a interface do usuário na página do UGS e os comandos em código G, utilizados para a funcionamento dos motores das rodas e do dosador de sementes.

Figura 28 — Interface do UGS e os comandos Código G



Fonte elaborado pelo autor.

Para o funcionamento da semeadora são utilizados Códigos G ou Gcode para deslocamento, velocidade e taxa de rotação do dosador de sementes.

Os parâmetros inseridos são: G21 (unidade métrica em mm), G91 (coordenadas incrementais) e G1 (interpolação linear), esses três comandos G nesta mesma ordem são necessários para o funcionamento da máquina, a seguir, temos que definir os eixos sendo X o eixo da roda esquerda, Y o eixo da roda direita e Z o dosador de sementes. O eixo X e Y sempre vão ter os mesmos valores para o deslocamento em linha reta, a relação de transmissão é de 8:1, isso quer dizer que para cada volta 8 voltas do eixo do motor temos uma volta completa da roda, sabendo-se o perímetro da roda e relação de transmissão podemos determinar com precisão quanto o protótipo vai se deslocar.

A determinação da velocidade ou frequência de pulsos é dada por F, a última função da sentença de programação que quanto maior for valor atribuído maior a velocidade de deslocamento e vice-versa.

Para utilizar os controles da semeadora no dispositivo móvel são necessários ambos estarem conectados na internet e o acompanhamento dos valores de corrente é mostrada na

Serial Monitor do software Arduino IDE, ambos os softwares UGS e Arduino IDE devem ser executados simultaneamente.

Os Gcodes apresentados acima são comandos FANUC utilizados para a programação de máquinas CNC, ver no (Anexo A).

6.3 Avaliação do Protótipo

6.3.1 Velocidade máxima de deslocamento

Em testes realizados com o protótipo para determinação da velocidade máxima que a semeadora pode operar, a rotação máxima por minuto (rpm) alcançada foi de aproximadamente 24 rpm, que convertida em velocidade linear é de $0,37 \text{ m.s}^{-1}$.

6.3.2 Dosador de sementes

Nos testes realizados com o dosador de sementes as velocidades entre 1 e 10 rpm mostram-se com 100% de eficiência, podendo chegar a dosar 150 sementes por minuto, já em taxas superiores a 10 rpm o dosador apresenta falhas na dosagem.

6.3.3 Consumo energético

A realização do consumo energético do protótipo foi realizada utilizando-se os valores da corrente na velocidade máxima de deslocamento junto com a taxa de dosagem máxima com 100% de eficiência.

O valor da corrente obtido nesta condição foi de 1,28 A. Considerando a tensão entre os polos das baterias de 24 V, a potência exigida nestas condições foi de 30,72 W.

7. CONCLUSÃO

A metodologia proposta possibilitou a realização de um projeto informativo que resultou na elaboração de uma lista de requisitos, projeto conceitual que definiu os conceitos de funcionamento de todos os mecanismos e o projeto detalhado que deu forma aos mecanismos e definiu os processos de fabricação e montagem.

Foi realizado a construção e montagem do protótipo utilizando as informações obtidas no projeto detalhado.

Foi possível conectar o protótipo a um dispositivo móvel utilizando uma rede de internet Wi-Fi.

A velocidade máxima de deslocamento do protótipo foi de $0,37 \text{ m.s}^{-1}$.

A dosagem máxima de sementes obtida foi de 150 sementes por minuto com eficiência de 100%.

A potência exigida nas condições de maior velocidade de deslocamento e maior taxa de dosagem foi de 30,72W.

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Substituição dos motores por outros de maior potência para realização da semeadura em campo.

Utilização de placas solares para o recarregamento das baterias aumentando a autonomia de trabalho.

Realização de testes em campo, para avaliação dos mecanismos e a capacidade de tração com a haste sulcadora no solo.

Substituição do notebook por uma placa microcontroladora integrada à internet.

Substituição das rodas por um mecanismo de esteiras, diminuindo a pressão no solo e aumentando a capacidade de tração.

Melhorar o acoplamento entre o disco do dosador de sementes e o eixo do motor.

Aumentar o número de linhas de semeadura.

Elevação do chassi em relação ao solo.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de norma 12:02.06- 004 - semeadora de precisão: ensaio de laboratório. São Paulo, 21 p. 1994.
- AUTODESK. **Impressão 3D**. Página inicial, 2023. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/solutions/3d-printing>. Acesso em: 23 fev. 2023.
- BALASTREIRE, Luiz Antonio. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 310 p.
- BALASTREIRE, Luiz Antonio. **Máquinas Agrícolas**. 2. ed. São Paulo: Manole, 2005.
- BARCELOS, S. M.; CERQUEIRA, S. A. A. G. ALGORITMOS GENÉTICOS NA OTIMIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES EM MÁQUINAS CNC: UM ESTUDO DO DESEMPENHO DE OPERADORES. **Blucher Mechanical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 1, p. 4768-4781, 2012.
- BASSOI, Luiz Henrique *et al.* Agricultura de precisão e agricultura digital. *In*: **TECCOGS - Revista Digital de Tecnologias Cognitivas**, São Paulo, n.20, p. 17-36, jul./dez. 2019. DOI: <https://doi.org/10.23925/1984-3585.2019i20p17-36>. Disponível em: https://revistas.pucsp.br/index.php/teccogs/issue/view/2416/pdf_1. Acesso em: 21 mai. 2023.
- BESKO, M.; BILYK, C.; SIEBEN, P. G. **Aspectos técnicos e nocivos dos principais filamentos usados em impressão 3D**. Gestão, Tecnologia e Inovação: Revista Eletrônica dos Cursos de Engenharia, Curitiba, v. 1, n. 3, p. 9-18, 2017.
- CAPANEZZI, Leonardo *et al.* HISTÓRIA E EVOLUÇÃO DA MECANIZAÇÃO. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça/SP, v. 1, n. 31, jun. 2017. Semestral. Disponível em: http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/pw03uDqmAOcir5d_2018-1-25-14-44-5.pdf. Acesso em: 13 fev. 2023.
- DUARTE, D. A. Maquinários e tratores elétricos serão o futuro da agricultura? **AGEVOLUTION**, 2020. Disponível em: <https://agevolution.canalrural.com.br/maquinarios-e-tratores-eletricos-serao-o-futuro-da-agricultura/>. Acesso em: 7 abr. 2023.
- EMBRAPA, E. B. P. A. **Soja: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2019.n.1, p. 129. (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas).
- EMBRAPA, E. B. P. A. **Visão 2030: O Futuro da Agricultura Brasileira**; Embrapa: Brasília, Brasil, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/9543845/Vis%C3%A3o+2030+-+o+futuro+da+agricultura+brasileira/2a9a0f27-0ead-991a-8cbf-af8e89d62829?version=1.1>. Acessado em: 10 mai. 2023.
- KERSCHBAUMER, R. **Microcontroladores**. Luzerna - SC:IFSC, 2018. 181 p. *E-book*. Disponível em: <https://professor.luzerna.ifc.edu.br/ricardo-kerschbaumer/wp-content/uploads/sites/43/2018/02/Apostila-Microcontroladores.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2023.
- MIALHE, Luiz Geraldo. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1974. 301 p. (Ceres; 11).
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R. do; COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 224p. Disponível

em:https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4508511/mod_resource/content/1/AutomacaoTrautores01.pdf. Acesso em: 07 abr. 2023.

NETO, J. A. A indústria de máquinas agrícolas no Brasil: origens e evolução. **Revista de Administração de Empresas**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 3, p.57-69, jul/set. 1985. DOI 10.1590/S0034-75901985000300005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rae/a/w6cmxVRdNvfdRZFjchxJkMf/?lang=pt>. Acesso em: 20 mai. 2023.

PENIDO, E. C. C; TRINDADE, R. S. **Microcontroladores**. Ouro Preto: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais: Rede e-Tec.2013 80p.Disponível em: <https://www2.ifmg.edu.br/ceadop3/apostilas/microcontroladores>. Acesso em: 19 jun. 2023.

PINHEIRO, C. M. P.; MOTA, G. E; STEINHAUS, C.; SOUZA, M. **Impressoras 3D: uma mudança na dinâmica do consumo**. Signos do Consumo, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 15-22, jan./jun. 2018.

PORTELLA, J. A. Mecanismos dosadores de sementes e de fertilizantes em máquinas agrícolas. Passo Fundo: EMBRAPA – CNPT 1997. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/84095/1/CNPT-DOCUMENTOS-41-MECANISMOS-DOSADORES-DE-SEMENTES-E-DE-FERTILIZANTES-EM-MAQUINAS-AGRICOLAS-FL-1.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2023.

REVISTA AGROPECUARIA: **Mecanização agrícola: aumento da produtividade e racionalização dos custos**. Viçosa- MG: 2019. Disponível em: <http://www.revistaagropecuaria.com.br/2019/02/21/mecanizacao-agricola-aumento-da-produtividade-e-racionalizacao-dos-custos/>. Acesso em: 15 mai. 2023.

SENAR. **Agricultura de Precisão**. Distrito Federal: 2023. Disponível em: <https://cna-portal-2022.dotgroup.com.br/projetos-e-programas/agricultura-de-precis%C3%A3o>. Acesso em: 18 mai. 2023.

SILVA, J. G. da.; KLUTHCOUSKI, J.; SILVEIRA, P. M. da. Desempenho de uma semeadora-adubadora no estabelecimento e na produtividade da cultura do milho sob plantio direto. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.57, n.1, jan./mar., 2000.

SILVA, Sidnei Domingues da. **CNC: programação de comandos numéricos computadorizados - Torneamento**. 8. ed. São Paulo: Érica, 2010. 308 p.

SILVEIRA, Gastão Moraes da. **As máquinas de plantar: aplicadoras, distribuidoras, semeadoras, plantadoras, cultivadoras**. Rio de Janeiro: Globo, c1989. 257p. (Coleção do agricultor. Mecanização).

SOUSA, RV de; LOPES, Wellington Carlos; INAMASU, Ricardo Yassushi. Automação de máquinas e implementos agrícolas: eletrônica embarcada, robótica e sistema de gestão de informação. **MASSRUHÁ, SMFS; LEITE, MA de A.; LUCHIARI JUNIOR, A**, 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126970/1/capitulo11-105-14.pdf>. Acesso em: 11 jul. 23

SOUZA, C. E. D. de. Vantagens e desvantagens do controle numérico computadorizado (CNC). **Universidade de Uberaba**, São Paulo, v. 4, n. 4, dez. 2018. Disponível em: <http://dspace.uniube.br:8080/jspui/handle/123456789/514>. Acesso em: 25 jun. 2023.

SRIVASTAVA, A. K. *et al.* **Engineering principles of agricultural machines**. 2 ed. St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006, 588 p.

TANKE, N. F. *et al.* Automation of Hydroponic Installations using a Robot with Position Based Visual Feedback Pittsburgh: The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/Pbb7RB3wzTypx6GH4fYKMFQ/>. Acesso em: 10 jun. 2023.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. 9. ed. São Paulo: Érica, 2011. 224 p.

WISHBOX TECHNOLOGIES. **Filamento para impressão 3D: O que você precisa saber**. 2016. Disponível em: <https://www.wishbox.net.br/blog/filamentos-para-impressao-3d/>. Acesso em: 7 abr. 2023.

ANEXOS

ANEXO A – LISTA DAS FUNÇÕES PREPARATÓRIAS "G" PARA COMANDO FANUC

- G00 - Avanço rápido
- G01 - Interpolação linear
- G02 - Interpolação circular horária
- G03 - Interpolação circular anti-horária
- G04 - Tempo de permanência
- G20 – Referência de unidade de medida (polegada)
- G21 – Referência de unidade de medida (métrico)
- G28 – Retorna eixos para referência de máquina
- G33 – Ciclo de rosqueamento
- G40 – Cancela compensação do raio da ferramenta
- G41 – Ativa compensação do raio da ferramenta (esquerda)
- G42 – Ativa compensação do raio da ferramenta (direita)
- G63 - Zeramento de ferramentas utilizando o Leitor de posição (TOOL EYE)
- G70 – Ciclo de acabamento
- G71 – Ciclo automático de desbaste longitudinal
- G72 – Ciclo automático de desbaste transversal
- G73 – Ciclo automático de desbaste paralelo ao perfil final
- G74 – Ciclo de furação / torneamento
- G75 – Ciclo de canais / faceamento
- G76 – Ciclo de roscamento automático
- G77 – Ciclo de torneamento paralelo / cônico
- G78 – Ciclo de roscamento semi-automático
- G79 – Ciclo de faceamento paralelo / cônico
- G90 - Sistema de coordenadas absolutas
- G91 - Sistema de coordenadas incrementais
- G92 - Estabelece limite de rotação (RPM)
- G94 - Estabelece avanço mm / minuto
- G95 - Estabelece avanço mm / rotação
- G96 - Estabelece programação em velocidade de corte constante
- G97 - Estabelece programação em RPM