



Clereu Soares Petry

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA PARA INJEÇÃO DE FLUIDO NA
ADUBAÇÃO LÍQUIDA COM ACIONAMENTO ELÉTRICO E MECANISMO
QUATRO BARRAS COM INJETORES PARALELOS E ALTERNADOS**

Horizontina - RS

2021

Clereu Soares Petry

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA PARA INJEÇÃO DE FLUIDO NA
ADUBAÇÃO LÍQUIDA COM ACIONAMENTO ELÉTRICO E MECANISMO
QUATRO BARRAS COM INJETORES PARALELOS E ALTERNADOS**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica na Faculdade Horizontina, sob a orientação do Prof. Me. Adalberto Lovato.

Horizontina - RS

2021

FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso

**“IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA PARA INJEÇÃO DE FLUIDO NA
ADUBAÇÃO LÍQUIDA COM ACIONAMENTO ELÉTRICO E MECANISMO
QUATRO BARRAS COM INJETORES PARALELOS E ALTERNADOS”**

**Elaborada por:
Clereu Soares Petry**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

Aprovado em: 09/07/2021
Pela Comissão Examinadora

Me. Adalberto Lovato
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador

Me. Luis Carlos Wacholz
FAHOR – Faculdade Horizontalina

Ma. Francine Centenaro Gomes
FAHOR – Faculdade Horizontalina

**Horizontalina - RS
2021**

Dedico esse trabalho a minha esposa e filha, pais, irmãos e sogros, como também a todos os professores e amigos que de alguma forma me auxiliaram nessa trajetória acadêmica.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiro a Deus por proporcionar-me a vida e ser a minha força e refúgio em todas as horas boas e ruins.

Agradeço de forma muito especial a minha esposa Eliziane, minha filha Vycória, aos meus pais Armando e Rosalina, enfim a todos que me deram apoio durante minha trajetória acadêmica, tenho certeza que sem o incentivo de vocês não teria chegado até aqui.

Agradeço também, ao professor orientador mestre Adalberto Lovato pela sua atenção, dedicação e paciência em auxiliar-me na realização deste trabalho.

Agradeço a empresa Venites e CIA, em especial ao Gilberto, Rodrigo e o Felipe por auxiliar na usinagem das peças.

Roque Moos (in memória), pela ajuda e incentivo. Agradeço ainda, a direção, professores e funcionários da FAHOR e ao vasto círculo de amizade que me auxiliaram direta ou indiretamente para que chegasse até aqui.

RESUMO

Com a alta produção de suínos e bovinos de leite na Região Noroeste do Rio Grande do Sul, surge a necessidade de se desenvolver máquinas para aproveitamento dos dejetos fermentados de biodigestores. Este trabalho buscou desenvolver um sistema de injeção de adubo líquido, compacto, preciso, variável e com acionamento elétrico com motor trifásico de corrente alternada (CA). O objetivo deste projeto foi construir um protótipo de um sistema de injeção de adubo líquido acionado por motor elétrico controlado por inversor de frequência e com um mecanismo de quatro barras, com os seus injetores paralelos e alternados. Foi realizado o dimensionamento da parte mecânica de acionamento e injeção, produzido um protótipo, testado em uma lavoura com plantação de aveia de inverno. Buscou-se amparo na metodologia de Munari (1981), onde foram adaptados os seus doze passos para atender a realização do projeto. O referido protótipo apresentou perfurações constantes de 64 cm entre as punções do mesmo injetor e 32 cm entre as punções paralelas dos injetores, 19 cm entre as fileiras. Apresentou ainda profundidades variando entre 70 e 142mm devido ao solo ser desnivelado e compactado. No entanto o protótipo pode ser melhorado no aspecto de redução de massa, vindo a diminuir também a potência necessária para seu funcionamento, implementação do sistema de fluido e também ajuste de rotação por controle de velocidade com sensores e programação em CLP.

Palavras-chave: Adubação líquida. Injetor de adubo. Acionamento por motor CA. Controle por inversor de frequência.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de adubação por disco de corte e haste sulcadora.....	16
Figura 2 - Máquina de aspersão de adubo líquido	17
Figura 3 - Máquina de incorporação de adubo líquido por sulcagem do solo	18
Figura 4 - Sistema de gotejamento de água e nutrientes para plantas	18
Figura 5 - Tipos de embalagens e quadro de informações comerciais de adubos líquidos.....	20
Figura 6 - Mecanismo de Backer et al. para injeção de fluidos	20
Figura 7 - Protótipo para injeção projetado por Womac (1990).....	21
Figura 8 - Protótipo desenvolvido por Silva (2013).....	21
Figura 9 - Sistema perfurador com engrenagens elípticas idealizado por Yahua et al	22
Figura 10 - Motor elétrico CA, trifásico 220/380V	24
Figura 11 - Campo girante de um motor assíncrono	24
Figura 12 - Diagrama funcional de um inversor de frequência	25
Figura 13 - Inversor de frequência para controle do motor	26
Figura 14 - Representação esquemática de um mecanismo biela e manivela	27
Figura 15 - Representação do mecanismo biela e manivela.....	28
Figura 16 - Mecanismo de quatro barras, tipo paralelogramo	28
Figura 17 - Metodologia dos 12 passos de Munari.....	31
Figura 18 - Configurações possíveis para as pontas do injetor.....	34
Figura 19 - Vista parcial da montagem final do protótipo	37
Figura 20 - Primeira montagem do protótipo	41
Figura 21 - Protótipo após primeira melhoria de projeto	42
Figura 22 – Segunda melhoria do protótipo	43
Figura 23 - Desenho final do projeto	43
Figura 24 - Chassi após a manufatura	44
Figura 25 - Redutor com sistema de injeção	45
Figura 26 - Peças cortadas no plasma.....	46
Figura 27 - Sistema paralelo e alternado de injeção	46
Figura 28 - Protótipo após pintura do chassi.....	47
Figura 29 - Esquema de ligação do motor	49

Figura 30 - Dados técnicos do trator de teste.....	52
Figura 31 - Marcas da primeira passagem	53
Figura 32 - Distância entre punção do mesmo injetor	54
Figura 33 - Profundidade em 25 Hz	54
Figura 34 - Quebra do injetor de aço trefilado	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Demonstrativo de materiais.....	38
Quadro 2 - Demonstrativo de peças e materiais	38
Quadro 3 - Dados de entrada para dimensionamentos.....	39
Quadro 4 - Parâmetros de configuração do inversor.....	48
Quadro 5 - Parâmetros para ligar e desligar por controle remoto à HMI	49
Quadro 6 - Valores determinados a partir da rotação do motor	50
Quadro 7 - Parâmetros para configuração <i>multispeed</i>	50
Quadro 8 - Parâmetros dos botões do <i>multispeed</i>	51
Quadro 9 - Calibração dos tempos do trator	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	TEMA	11
1.2	DELIMITAÇÃO DO TEMA	12
1.3	PROBLEMA DE PESQUISA	12
1.4	HIPÓTESES	13
1.5	JUSTIFICATIVA	13
1.6	OBJETIVOS	14
1.6.1	Objetivo Geral	15
1.6.2	Objetivos Específicos	15
2	REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1	ADUBO SÓLIDO NO SULCADOR	16
2.3	ADUBO LÍQUIDO POR INJEÇÃO E INCORPORAÇÃO	17
2.4	ADUBO LÍQUIDO POR GOTEJAMENTO NA SUPERFÍCIE	18
2.5	ADUBO LÍQUIDO POR INJEÇÃO NO SOLO.....	18
2.6	TIPOS DE ADUBOS.....	19
2.6.1	Adubos sólidos	19
2.6.2	Adubo líquidos	19
2.7	MÁQUINA DE INJEÇÃO DE ADUBO LÍQUIDO	20
2.8	SISTEMA DE ACIONAMENTO	23
2.8.1	Motor elétrico de Corrente Alternada (CA)	23
2.8.2	Motores trifásicos	23
2.8.3	Motores Trifásicos Assíncronos	24
2.9	SISTEMA DE CONTROLE	25
2.9.1	Inversor de frequência	25
2.9.2	Parâmetros do inversor de frequência	26
2.10	MOVIMENTOS.....	26
2.11	MECANISMOS.....	27
2.11.1	Sistema biela	27
2.11.2	Mecanismo de quatro barras	28
2.11.3	Regra de Grashof	29
2.12	PROJETO DE MÁQUINAS AGRICOLAS	30
3	METODOLOGIA	31
3.1	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS NO PROJETO	32
3.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	32
3.3	COMPONENTES DO PROBLEMA	32
3.3.1	Chassis	33
3.3.2	Sistema perfurador	33
3.3.3	Sistema de Acionamento e Controle Elétricos	34
3.3.4	Sistema de injeção	34
3.4	COLETA DE DADOS	34
3.5	ANÁLISE DE DADOS.....	35
3.6	CRIATIVIDADE	35
3.7	MATERIAIS E TECNOLOGIAS	35
3.8	DESENHOS TÉCNICOS	35
3.9	PROTÓTIPO	35
3.10	EXPERIMENTAÇÕES	36

3.11	TESTES EM CAMPO.....	36
3.12	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	36
3.13	PASSOS PARA PRODUÇÃO DO PROTÓTIPO.....	36
3.14	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS.....	37
3.14.1	Material de consulta.....	37
3.14.2	Material de laboratório.....	37
3.14.3	Material de consumo	38
3.14.4	Peças e componentes	38
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	39
4.1	DIMENSIONAMENTO DO PROTÓTIPO	39
4.2	DESENHOS TÉCNICOS.....	41
4.2.1	Projeto inicial do protótipo.....	41
4.2.2	Primeira modificação do projeto	42
4.2.3	Segunda modificação do projeto.....	42
4.2.4	Projeto final do protótipo	43
4.3	CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO.....	44
4.3.1	Chassi	44
4.3.2	Linha de plantio direto.....	45
4.3.3	Sistema alternado e paralelo de injeção	46
4.3.4	Montagem final do protótipo.....	47
4.4	ACIONAMENTO DO MOTOR ELÉTRICO	47
4.4.1	Configurando o inversor de frequência	47
4.4.2	Configurando o motor para ligar e desligar com a entrada digital D/1 ..	48
4.4.3	Configuração múltiplas rotações (<i>multispeed</i>)	50
4.5	AVALIAÇÃO NO LABORATÓRIO.....	51
4.5.1	Funcionamento do sistema de acionamento.....	51
4.5.2	Sistema de movimentação e injeção vertical	52
4.6	TESTES EM CAMPO	52
5	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS.....	57
	ANEXO A.....	59
	ANEXO B.....	60
	ANEXO C.....	61

1 INTRODUÇÃO

As plantas necessitam de adubação desde a sua fase de germinação até a fase de produção, sendo ela sólida ou líquida, química ou de resíduos orgânicos. Culturas perenes como pastagens, necessitam que sejam realizados manejos frequentes com adubos e corretivos para suprir as necessidades das plantas e do solo.

Na região Noroeste do Rio Grande do Sul, tem-se uma grande quantidade de produtores de suínos e bovinos, esses animais produzem uma enorme quantidade de dejetos, uma parte de sólidos e outra de líquidos, são utilizados como fertilizantes para as pastagens, lavouras de milho e soja, principalmente em pequenas propriedades de agricultura familiar.

Considerando que existem muitos equipamentos que fornecem adubação sólida às plantas, mas poucos que fornecem adubação líquida, mas quase todos em sua maioria depositam o adubo sobre o solo ou em pouca profundidade. Este projeto em análise trata-se de um sistema de injeção de adubo líquido, com a finalidade de injetar o fluido no solo em uma profundidade de aproximadamente 150mm, com acionamento por um motor elétrico de Corrente Alternada (CA), o qual aciona um redutor de engrenagens. Esse redutor vai acionar um mecanismo de quatro barras para realizar o movimento vertical do injetor, sendo que, o injetor será duplo para cada volta do redutor, vindo a causar uma perfuração alternada e paralela no solo.

Essa ideia veio à tona devido a que no mercado não existe um sistema comercial de injeção de adubo líquido que supra a necessidade de adubar um plantio de cultura perene, que seja de tamanho compacto e que possa ser adaptado em uma plantadeira.

Nesta ótica o projeto tem por finalidade desenvolver e produzir um protótipo compacto, dinâmico, com velocidade variável e acionamento por motor elétrico CA, dimensionar o sistema, desenhar em CAD (Desenho Assistido por Computador), produzir, testar e validar com testes em campo.

1.1 TEMA

Neste trabalho busca-se o desenvolvimento de um protótipo para injeção de adubo líquido, baseado em um mecanismo quatro barras, com injetores paralelos e alternados, com velocidade variável e acionamento elétrico.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Como este tema é muito amplo, decidiu-se por delimitá-lo à análise dos mecanismos de movimentação, perfuração do solo, acionamento elétrico, bem como a construção e testes no protótipo. Para um trabalho futuro pode-se analisar a forma de injeção de fluido e controle de volume de injeção, de forma variável.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Os sistemas de injeção de adubo líquido disponíveis no mercado referem-se a sistemas compostos por uma roda com dentes que perfuram o solo, injetando o adubo líquido, porém sem a possibilidade de variar a distância entre os pontos de injeção, e com deslocamento linear do perfurador, causando movimentação do solo. Outro sistema é composto por um sulcador que rasga o chão para deposição do fluido, sendo que estes não têm precisão e perde-se muita energia para abrir os sulcos. Também existe o sistema de bico injetor que pulveriza o fluido sobre as plantas, deixando-o exposto ao ar e o ambiente, os quais causam perdas em seus nutrientes.

Um sistema aprimorado por Silva (2013), é composto de um sistema acionado mecanicamente por rodas, correntes, engrenagens, biela e manivela, e tambor came e seguidor para movimento de avanço e retração. Este sistema, porém, não é compacto e de difícil adaptação em uma máquina para plantio devido a suas dimensões.

Outros sistemas disponíveis, também não possuem uma forma de variação da velocidade de aplicação ou da distância dos pontos de aplicação, sendo ainda a sua forma de acionamento totalmente mecânica.

Como forma de melhorar esse tipo de adubação, pretendeu-se projetar, dimensionar e construir um mecanismo de injeção de fluidos acionado por motor elétrico, com um mecanismo quatro barras, com injetores paralelos e alternados para movimentação vertical da baliza de injeção.

Com base no que foi exposto, o problema da pesquisa possui como referência a seguinte pergunta: há viabilidade técnica para o desenvolvimento de um sistema de injeção de fluido para adubação que seja compacto, preciso, variável e com acionamento elétrico?

1.4 HIPÓTESES

Conforme Gil (2002, p.31), "hipótese é a proposição testável que pode vir a ser a solução do problema", ou seja, é você levantar possíveis soluções para o seu problema de pesquisa ou projeto.

Após os levantamentos do problema, definiu-se que para resolver o caso em análise, o sistema deve ser compatível com uma unidade distribuidora de adubo sólido de uma plantadeira de milho e soja para plantio direto sobre palhada, deve possuir movimento axial com o movimento do trator, deve ter uma precisão de mais ou menos 30 mm na profundidade das perfurações e uma repetição entre 3 e 6 perfurações por metro linear.

Com esta análise constata-se que para solução do problema em questão será necessário atender essas hipóteses.

1.5 JUSTIFICATIVA

Na região Noroeste do Rio Grande do Sul, existe uma enorme quantidade de propriedades rurais que criam e engordam suínos. Outras propriedades fazem a lactação de bovinos como fonte de renda para sua sobrevivência. Essas propriedades têm em comum a elevada geração de dejetos desses animais, que são utilizados como fertilizantes para pastagens ou no plantio de milho e soja. Geralmente, a aplicação desses dejetos é realizada diretamente sobre o solo, vindo a causar poluição do ambiente e perdas nos nutrientes desses subprodutos. Muitas dessas propriedades já possuem biodigestores ou potencial para implementar, vindo a produzir um adubo líquido com grande quantidade de Fósforo, Nitrogênio e Potássio.

Considerando o que foi exposto, a região tem um enorme potencial para geração de biogás e fertilizante líquido, resultando daí a importância de se desenvolver um equipamento que possa utilizar desses dejetos para aplicação concentrada junto as raízes mais profundas das plantas, evitando com isso a perda dos nutrientes e reduzindo a poluição do ambiente.

A importância tecnológica desse projeto é que as indústrias produtoras de equipamentos não contemplam esse tipo de implemento, embora já ter sido analisado por pesquisadores desde a década de 80, o sistema de injeção de adubo líquido pode ser utilizado com grande eficiência e gerar economia devido ao seu menor custo energético e dosagem mais precisa. Com a curiosidade de pesquisar um protótipo

atual, movido a energia elétrica e encontrar seus problemas e indicar soluções, o que vem a contemplar esse tipo de pesquisa.

Backer et al. (1989), desenvolveram um sistema para injeção de adubos líquidos, onde uma roda dentada gira e aplica o fluido no solo. Como desvantagem esse sistema possui um distanciamento fixo das perfurações, problemas de encurvamento das hastes e pouca profundidade.

Na China, Yahua et al. (2011), analisaram um sistema de injeção composto por engrenagens elípticas para movimentar as agulhas de injeção, com objetivo de perfurar de 130 até 150 mm, com uma perturbação do solo em torno de 35 mm, e variação da distância de 200 a 240 mm. Essa pesquisa foi relacionada com a adubação em campos de arroz.

No Brasil, Silva (2013), em sua dissertação de mestrado desenvolveu um projeto com injetor acionado por sistema de biela e manivela, correntes e engrenagens, bem como um tambor came-seguidor para movimento linear, para aplicação de sobras fermentadas das usinas de álcool em soqueiras de cana de açúcar.

No entanto, nenhum desses projetos teve acionamento elétrico do sistema de injeção e movimentação. São projetos mecânicos e pesados, o que determina a ser pesquisado um projeto com acionamento elétrico, mais leve, compacto e mais flexível para ser produzido e utilizado na adubação líquida na região Noroeste do Rio Grande do Sul.

Este projeto de Trabalho de Final de Curso (TFC) se justifica, pois, com este sistema de adubação por injeção do fluido no solo, poderão ser aproveitados de melhor forma os dejetos produzidos e o sistema tende a ser mais econômico energeticamente, pois acredita-se que não irá necessitar de grande potência para sua atuação e com menor perda dos nutrientes por volatilização ou evaporação, não terá o agravamento de estar danificando o sistema radicular de plantas perenes, devido a que o adubo será incorporado ao solo em profundidade de aproximadamente 150 mm, alcançando as raízes mais profundas das plantas e evitando a poluição do meio ambiente.

1.6 OBJETIVOS

Neste tópico serão abordados o objetivo geral e os específicos do trabalho, analisando o que é necessário realizar para atingir o propósito do projeto.

1.6.1 Objetivo Geral

O objetivo deste projeto é dimensionar o sistema de acionamento e a parte mecânica da injeção, construir um protótipo de um sistema de injeção de adubo líquido acionado por motor elétrico e com um mecanismo quatro barras, com injetores paralelos e alternados.

1.6.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos, com base no objetivo geral, são constituídos da seguinte forma:

- Dimensionar o sistema de acionamento e parte mecânica da injeção;
- Modelar o sistema em software de CAD;
- Produzir e montar o protótipo do projeto;
- Realizar os testes em campo, nas condições de plantio de uma lavoura;
- Relatar os resultados encontrados.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este tópico irá referenciar informações sobre os sistemas de adubação existentes no Brasil, tipos de adubos segundo seu estado, tipos de equipamentos utilizados na adubação na atualidade e o método de projeto utilizado.

2.1 ADUBO SÓLIDO NO SULCADOR

O sistema de adubação dentro de um sulco feito é o mais conhecido e utilizado no Brasil. O adubo químico, granulado e sólido, é depositado no solo por uma haste sulcadora. Esse sistema possui uma haste que rasga o solo e deposita via tubulação, o adubo nas linhas de plantio, conforme Figura 1.

Figura 1 - Sistema de adubação por disco de corte e haste sulcadora



Fonte: John Deere (2020)

É um sistema que requer muita energia para revolver o solo, regular e depositar o adubo. Esse sistema atinge uma boa profundidade, porém, revolve grande área de solo, bem como, as raízes das plantas, por isso geralmente só é utilizado em novas áreas de plantios, não em plantações perenes que requerem adubação. Para adubação em plantas perenes, o adubo sólido é depositado sobre as camadas superficiais do solo, ficando exposto ao ar e temperatura ambiente, os quais podem vir a causar perdas de nutrientes devido ao processo de volatilização da amônia e o nitrogênio (N), que evapora em processos de desnitrificação. (SILVA, 2013)

2.2 ADUBO LÍQUIDO POR ASPERSÃO

No sistema de adubação por aspersão, Figura 2, o fluido é lançado ao solo por uma máquina que pressuriza um tanque e expulsa o líquido em forma de leque ou por canalização até o solo.

Figura 2 - Máquina de aspersão de adubo líquido



Fonte: CPT (2020)

O adubo em contato com o ar ambiente, perde seus nutrientes por volatilização, especialmente a Amônia e o Fósforo, presentes em ureias ou dejetos fermentados de suínos. Esse é o principal método de aplicação utilizado para esses dejetos, tanto de suínos como de bovinos. Nos países da Europa, como alternativa `a injeção e aspersão, esses dejetos são fermentados, acidificados e depositados em linhas rente as camadas superficiais do solo, diminuindo assim as perdas de nutrientes pelo contato com o ar. (FANGUEIRO, 2015)

2.3 ADUBO LÍQUIDO POR INJEÇÃO E INCORPORAÇÃO

Atualmente vem se desenvolvendo novos métodos ou tipos de sistemas para aplicação de adubos, tanto líquidos como sólidos, um dos quais é a incorporação do líquido ao solo pelo processo de injeção e incorporação na linha, conforme Figura 3, onde a máquina sulca o solo e pressuriza o líquido. Esse processo tem menos perdas de nutrientes, porém, precisa de grande demanda energética porque necessita revolver o solo em profundidade, porém, economiza a tarefa de incorporação do adubo ao solo. (FANGUEIRO, 2015)

Figura 3 - Máquina de incorporação de adubo líquido por sulcagem do solo



Fonte: Mepel (2020)

2.4 ADUBO LÍQUIDO POR GOTEJAMENTO NA SUPERFÍCIE

Esse sistema é mais conhecido por fertirrigação, conforme Figura 4, muito utilizado em plantações de frutíferas como melancias, melões, moranguinhos e hortaliças. Também é utilizado em plantações de cafeeiros irrigados, onde se prepara uma calda e aplica-se por gotejamento diretamente no solo próximo as raízes das plantas. (SNA CURSOS, 2020)

Figura 4 - Sistema de gotejamento de água e nutrientes para plantas



Fonte: SNA (2020)

Esse sistema pode ser viável em plantações pequenas, mas se torna inviável para plantio de grandes áreas como soja e milho, devido ao custo de implementação do sistema de gotejamento e a dificuldade de plantio e colheita.

2.5 ADUBO LÍQUIDO POR INJEÇÃO NO SOLO

Nesse sistema o adubo líquido é injetado no solo por um bico tipo agulha que penetra no solo e um sistema de bombeamento pressuriza o líquido, conforme (SILVA,

2013). Esse tipo de sistema é mais utilizado em áreas de plantas perenes, pois não causa tantos danos as raízes das plantas, também é utilizado para aplicação de adubos nitrogenados devido ao adubo não ficar exposto ao sol e ar, evitando assim poluição e perdas de nutrientes por volatilização. (WOMAC, 1990) Esse tipo de sistema pode ser utilizado em áreas de pastagens, em gramas de poteiros e aplicações de ureias em linha de milho.

2.6 TIPOS DE ADUBOS

Nesta seção serão apresentados os diversos tipos de adubos, seus estados e como são adquiridos.

2.6.1 Adubos sólidos

Adubos sólidos podem ser os químicos, como as formulações N-P-K (nitrogênio-fósforo-potássio), amplamente disponíveis nos mercados agro culturais ou os orgânicos, como sobras de dejetos fermentados e dissecados na forma de humus. Conforme ultrasafra (2020), os adubos de formulações comerciais são disponíveis em diversas quantidades de nitrogênio, fósforo e potássio, sendo amplamente utilizados em plantios de milho, soja, trigo e outras culturas tanto de inverno como de verão. Os adubos orgânicos, geralmente são rejeitos de criações de gado e suínos, que após fermentação e separação do líquido podem ser aplicados nas lavouras com equipamentos apropriados. Também entram nessa categoria as camas de aviários, como dejetos de galinhas e perus.

2.6.2 Adubo líquidos

Conforme nos relata Silva (2013, p.5), “adubos líquidos são caracterizados como soluções fertilizantes ou suspensões fertilizantes”, onde as soluções fertilizantes são somente líquidas e as suspensões possuem líquido e sólido disperso em seu meio.

Segundo Ultrasafra (2020), soluções fertilizantes são vendidos em formulações mais concentradas, com volume muito menor que os sólidos, conforme pode ser observado na Figura 5a, sendo mais econômico o seu transporte e pode ser aplicado de várias formas, como via fertirrigação, pulverização via foliar, diretamente sobre o solo e por incorporação no subsolo. Essas soluções fertilizantes podem vir com

macros e micros nutrientes além de corretivos para o solo como cálcio (Ca) e magnésio (Mg) e outros tipos de nutrientes para as plantas, conforme Figura 5b.

Figura 5 - Tipos de embalagens e quadro de informações comerciais de adubos líquidos



(5a)

AS GARANTIAS SÃO EM (%)- FERTILIZANTE MINERAL MISTO NATUREZA FÍSICA – SOLUÇÃO (APLICAÇÃO VIA SOLO)		
PRODUTOS	DENSIDADE	NÚMERO DE REGISTRO
ULTRASOLO 10-10-10	1.30	80825 10063-0
ULTRASOLO 04-14-08 + MICROS	1.35	80825 10062-1
ULTRASOLO 06-06-08 + MICROS	1.20	80825 10061-3
ULTRASOLO 20-05-20	1.30	80825 10064-8
ULTRASOLO 20-10-10	1.25	80825 10075-3
ULTRASOLO BORO 10 (10% de Boro)	1.10	80825 10076-1
ULTRASOLO S24 (6% cálcio, 18% enxofre)	1.10	80825 10065-6
ULTRASOLO P45 (45% fósforo)	1.30	80825 10069-9
ULTRASOLO N30 (30% nitrogênio)	1.25	80825 10071-1
ULTRASOLO K34 (34% potássio)	1.25	80825 10072-9
ULTRASOLO K40 (40% potássio)	1.25	80825 10072-9
ULTRASOLO CORRESOLO (18% cálcio, 2% magnésio)	1.35	80825 10077-0
ULTRASOLO CONTROL (0,6% P205, 1% B, 0,5% Fe, 1,5% Mg)	1.35	80825 10080-0

(5b)

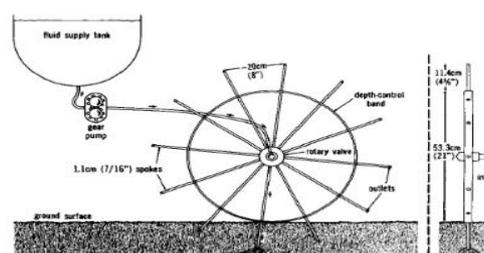
Fonte: Ultrasafra (2020)

Outras fontes de adubação líquida são as suspensões fertilizantes de dejetos de suínos ou bovinos fermentados em biodigestores, disponíveis em locais de criação e produção de carne suína ou propriedades produtoras de leite, onde esta tecnologia encontra-se disponível. Geralmente são utilizadas por aspersão ou incorporação no solo, porém, se filtradas podem também ser incorporadas no subsolo por injeção. (SILVA, 2013)

2.7 MÁQUINA DE INJEÇÃO DE ADUBO LÍQUIDO

Durante anos o homem vem desenvolvendo máquinas para a injeção de adubo líquido no solo. Backer et al. (1989), desenvolveram um protótipo com rodas e hastes que quando a roda gira, as hastes perfuram o solo para injetar o adubo líquido, conforme Figura 6. Problemas com esse sistema é que havia entupimento dos furos das hastes, hastes tortas ou quebradas e muita fragmentação do solo, mas com velocidade de aplicação muito eficiente.

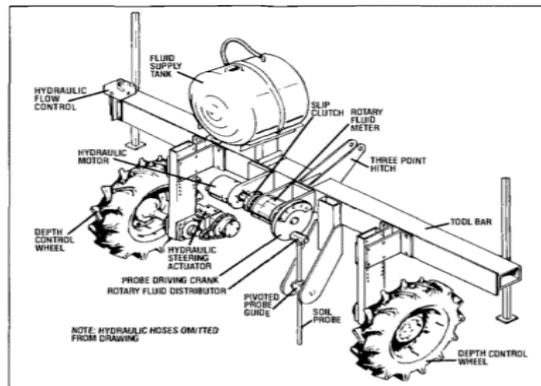
Figura 6 - Mecanismo de Backer et al. para injeção de fluidos



Fonte: Adaptado de Backer et al. (1989)

Um protótipo de injeção de fluido para adubação foi desenvolvido por Womac (1990), conforme Figura 7, onde o líquido era injetado por um sistema de biela e manivela acionado pelo sistema hidráulico do trator e controlado pela roda do implemento, nesse protótipo tinha um sistema dosador que variava a quantidade de fluido conforme o trator se deslocava.

Figura 7 - Protótipo para injeção projetado por Womac (1990)

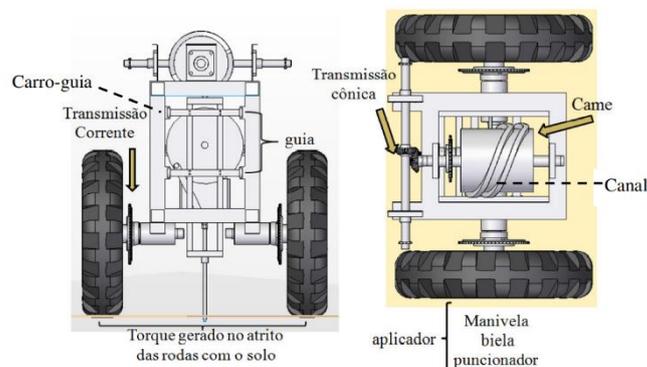


Fonte: Adaptado de Womac (1990)

Uma deficiência desse projeto era que não havia uma variação longitudinal para compensar o avanço do trator, vindo a entortar as hastes ou deslocar o solo nas perfurações.

Silva (2013), tendo como referência o trabalho realizado por Womac (1990), desenvolveu outro protótipo com sistema biela e manivela, com acionamento mecânico por engrenagens e correntes e com deslocamento longitudinal acionado por tambor came e seguidor, conforme Figura 8.

Figura 8 - Protótipo desenvolvido por Silva (2013)

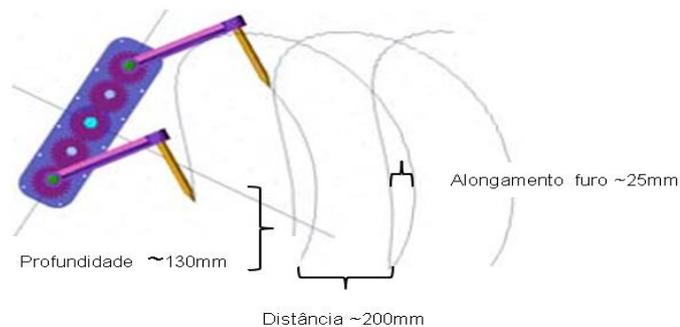


Fonte: Adaptado de Silva, 2013, p.39

Também posteriormente, incluiu um sistema de bomba dosadora para dosar e pressurizar o fluido.

Yahua et al. (2011) analisou via software Design Expert 6.0.1, engrenagens elípticas montadas em uma base, todas em linha, com movimento rotacional atuando na engrenagem central e conseqüentemente nas outras demais. Nos resultados encontrou parâmetros como o diâmetro da caixa em torno de 370 a 372 mm para uma profundidade de perfuração entre 130 a 150 mm. Também nas suas simulações a variação da perturbação do solo ficou entre 25 a 35 mm, alcançando a forma do percurso como mostra a Figura 9.

Figura 9 - Sistema perfurador com engrenagens elípticas idealizado por Yahua et al



Fonte: Adaptado de Yahua et al. (2011)

Em um trabalho mais recente Zheng et al. (2019), analisou via Dinâmica do Fluido Computacional (CFD) e testes em laboratório um sistema por corte a jato de água, onde um bico recebe água pressurizada e mistura adubo líquido na sua saída a uma pressão de 12 MPa, atingiu uma profundidade de corte de 20-50mm, uma taxa de 60 - 180 Kg/ha, porém, com baixas velocidades e profundidades de corte.

2.8 SISTEMA DE ACIONAMENTO

Sistemas de acionamentos de mecanismos são as formas como a energia vai entrar nesse sistema e causar uma perturbação para gerar movimentos no sistema.

2.8.1 Motor elétrico de Corrente Alternada (CA)

Segundo Martinewski (2017) o motor elétrico de corrente alternada recebe uma corrente no estator, e a partir disso gera movimento de rotação no rotor.

Os motores elétricos são mecanismos projetados para transformar a energia elétricas de uma fonte, em movimentos mecânicos de rotação. Eles podem ser alimentados com tensão alternada ou contínua. São de construção simples, fácil manutenção e robustos.

Motores CA possuem a vantagem de não precisar de comutadores, não necessitam de escovas, pois seu funcionamento é devido as forças eletromagnéticas em seu estator agindo sobre o rotor.

Algumas das vantagens de se utilizar um motor de corrente alternada comparado a um motor de Corrente Contínua (CC). (MARTINEWSKI, 2017)

- Menor custo;
- Alto rendimento, baixo consumo de energia, menor aquecimento;
- Menor custo de manutenção;
- Menor peso, para um motor de mesma potência em CC;
- Motores com padronização de tamanho, potência e demais características técnicas;
- Controle de velocidade com inversor de frequência permite economia de energia e facilidade de automação e programação.

2.8.2 Motores trifásicos

Conforme Martinewski (2017), motores trifásicos consomem energia das três fases da rede de distribuição, que são as fases R, S e T da rede de energia que vem da concessionária, defasados em 120 graus. Esses motores possuem um campo magnético girante, criado pelo estator que gira eletricamente dentro da carcaça. Outro campo formado no rotor, que é atraído e repelido pelo campo do estator, criando assim o movimento de rotação do motor. Na Figura 10 pode-se observar o motor que foi utilizado no protótipo, seus dados técnicos estão no Anexo B.

Figura 10 - Motor elétrico CA, trifásico 220/380V



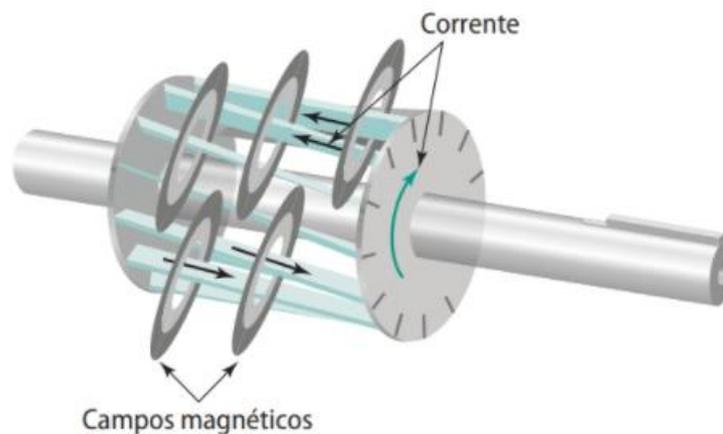
Fonte: Autor (2021)

Esse motor é da marca Hercules, de 3 CV, de 4 polos e 1730 RPM, trifásico 220/380V.

2.8.3 Motores Trifásicos Assíncronos

Nestes motores a corrente elétrica no estator gera um campo magnético girante que atua sobre as barras do rotor, este por sua vez, tenta acompanhar a rotação do campo girante do estator, conforme Figura 11.

Figura 11 - Campo girante de um motor assíncrono



Fonte: Adaptado de Petruzella, 2013, p.140

Como a rotação do campo será sempre maior, o rotor não consegue alcançá-lo, gerando o que se chama de escorregamento. Com isso, quanto maior o escorregamento, maior serão as correntes induzidas no rotor, aumentando o torque. (PETRUZELLA, 2013)

2.9 SISTEMA DE CONTROLE

Os motores elétricos são controlados através de componentes de acionamento direto ou indireto, como chave de partida direta ou indireta. Como acionamento direto tem-se chaves que fecham o contato e o motor parte em movimento, com alta corrente, rotação e torque. Nas partidas com acionamento indireto, o motor parte com corrente, torque e rotação reduzidas. (WEG, 2020)

Para controlar a rotação de um motor são necessários três fatores, que são o número de polos, a frequência da rede e o escorregamento. Sendo o número de polos e escorregamento invariáveis, então para que a rotação seja manipulada, deve-se variar a frequência da rede, isso se consegue com o uso de um inversor de frequência, onde a rotação é definida pela seguinte equação. (MARTINEWSKI, 2020)

$$n = \frac{120.f}{np} \quad (1)$$

Onde:

n = rotação do motor (RPM)

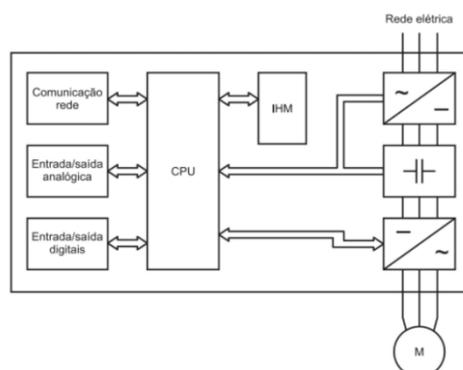
f = frequência da rede (Hertz)

np = número de polos do motor

2.9.1 Inversor de frequência

Conforme Martinewski (2017), os sistemas com inversor de frequência, o motor tem uma partida suave, um controle do torque, economia de energia e facilita a automação. Os inversores são formados por uma central programável única (CPU), que são programados através de uma interface homem-máquina (HMI), conforme Figura 12.

Figura 12 - Diagrama funcional de um inversor de frequência



Fonte: Adaptado de Martinewski (2017)

A CPU recebe a programação da HMI, processa esses dados e envia ao circuito de potência os comandos para funcionamento do motor.

O inversor de frequência que foi utilizado no projeto pode ser visto na Figura 13, ele é da marca WEG, modelo CFW-300B10POB2DB20, funciona com alimentação monofásica ou trifásica e pode acionar um motor de até 3 CV, trifásico ligado na rede monofásica com 220 V. Os dados do inversor estão no ANEXO (C).

Figura 13 - Inversor de frequência para controle do motor



Fonte: Autor, 2021

De acordo com Petruzella (2013), variando-se a frequência, o motor pode funcionar abaixo ou acima dos requisitos de projeto, mas dentro da faixa estipulada pelo fabricante.

2.9.2 Parâmetros do inversor de frequência

O inversor de frequência possui vários parâmetros que quando configurados, induzem alterações no motor, como tempo de aceleração, tempo de frenagem, tipos diferentes de frenagem, acionamento do motor pela interface HMI ou botoeiras, ajuste da frequência pela HMI ou potenciômetro, inversão do sentido de rotação, além de muitas outras formas de controle do motor. (WEG, 2020)

2.10 MOVIMENTOS

Movimentos são classificados como de rotação e translação, onde movimentos de rotação é quando um ponto gira ao redor de um eixo com a mesma velocidade angular desse eixo. Movimento de translação é quando um corpo realiza um movimento retilíneo entre dois pontos. (GRAY ET AL.,2014)

Os movimentos de rotação e translação podem ocorrer de forma separada ou mista, como em uma biela de motor onde ocorre um movimento de translação e rotação ao mesmo tempo em torno do pino do pistão. (FLORES, 2007)

No projeto em questão os movimentos rotatórios do motor elétrico serão convertidos em movimentos de rotação no sentido axial de movimentação do trator.

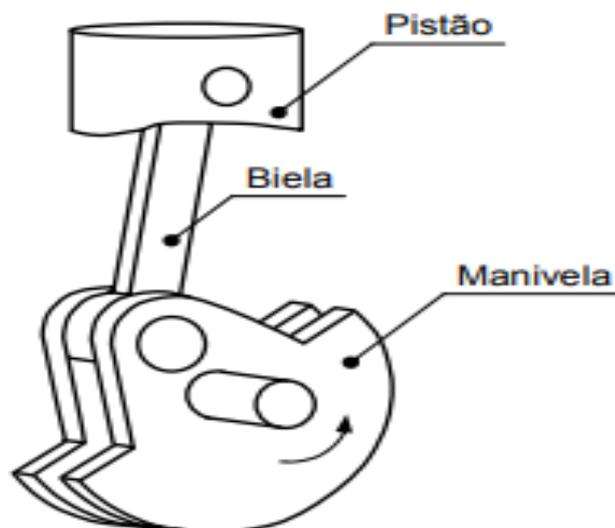
2.11 MECANISMOS

Conforme nos define Norton (2010, p.24), "um mecanismo é um dispositivo que transforma um movimento qualquer em um padrão desejado e geralmente desenvolve forças de baixa intensidade e transmite pouca potência", ou seja, mecanismos são os elementos de máquinas interligados uns aos outros formando os sistemas em um equipamento. No projeto em pesquisa será utilizado os seguintes tipos de mecanismos: quatro barras, redutor de coroa e pinhão, além de outros elementos de fixação e ligação.

2.11.1 Sistema biela

A biela é uma conexão entre a manivela e o embolo, em uma bomba, motor de combustão interna ou um sistema onde se necessita de transformar um movimento de rotação em um movimento de translação. A Figura 14 mostra os componentes do sistema, onde o bloco do motor é a base, o virabrequim é a manivela, biela e a corrediça é o pistão. (FLORES, 2007)

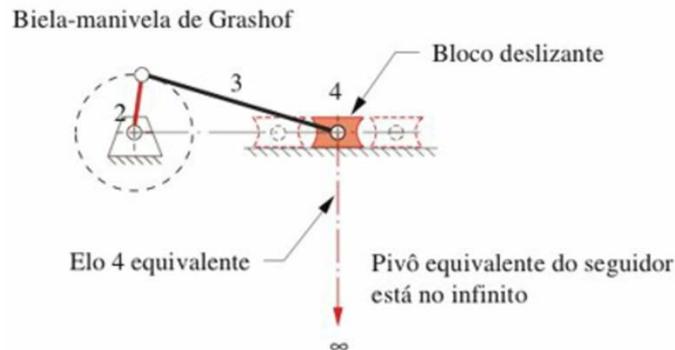
Figura 14 - Representação esquemática de um mecanismo biela e manivela



Fonte: Adaptado de Flores, 2007, p.15

Outro exemplo são duas barras com tamanhos diferentes unidas em uma de suas extremidades por um pino, conforme Figura 15. A outra extremidade da barra curta gira com movimento plano de rotação em torno de um eixo, enquanto a outra extremidade da barra longa faz um movimento de vai e vem em um trilho ou cilindro, (NORTON, 2010).

Figura 15 - Representação do mecanismo biela e manivela



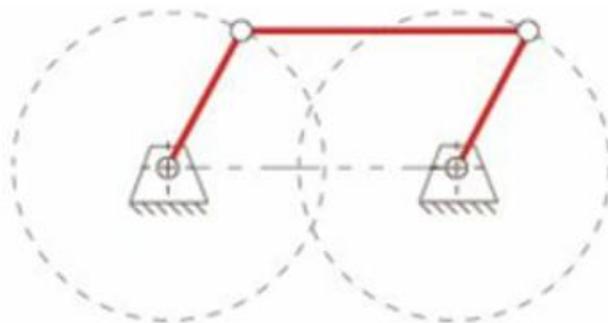
Fonte: Adaptado de Norton, 2013, p.69

A manivela nesse exemplo é a barra curta, que realiza o movimento plano rotacional de forma defasada do eixo de giro. A biela é a barra longa, que descreve um movimento plano geral ou misto, com movimentos de rotação e translação.

2.11.2 Mecanismo de quatro barras

O mecanismo de quatro barras, Figura 16 possui um elo fixo ou base, um elo que movimenta o sistema, um elo de interligação ou intermediário e um elo que é movido. Este mecanismo denomina-se paralelogramo, pois as barras curtas são iguais e as barras compridas também são de mesmo tamanho. (NORTON, 2013)

Figura 16 - Mecanismo de quatro barras, tipo paralelogramo



Fonte: Adaptado de Norton, 2013, p.77

Ainda segundo Flores (2007, p.2), “o mecanismo de quatro barras ou quadrilátero articulado é, sem dúvida o mais simples e comum dos sistemas

articulados”, pois serve como base para a grande maioria de projetos desenvolvidos, pois, pode-se variar as medidas de seus elos e com isso obter diferentes tipos de movimentos. Norton (2010, p.73), corrobora dizendo que “é extremamente versátil em termos de tipos de movimentos que pode gerar”. Portanto para resolver um problema mecânico, a primeira opção será o mecanismo de quatro barras, outra vantagem é que se pode adicionar mais elos e configurar com isso projetos com mais funcionalidades.

2.11.3 Regra de Grashof

Para se saber se o mecanismo consegue realizar um movimento circular de 360° em seu eixo motor, aplica-se a Regra de Grashof, tem o seguinte enunciado:

para mecanismos de quatro barras que descrevem movimento plano, se a soma dos comprimentos das barras mais curta e mais comprida for inferior ou igual à soma dos comprimentos das duas restantes barras, então a barra mais curta pode rodar continuamente em relação às outras barras. (FLORES, 2007, p.3).

De forma matemática, essa regra fica escrita como:

$$c + l \leq r + s \quad (2)$$

Onde:

c = comprimento do elo menor

l = comprimento do elo maior

r = comprimento do elo remanescente

s = comprimento do outro elo remanescente

Com essa configuração o mecanismo é classificado como Classe I, onde ao menos um dos elos consegue realizar rotação ao redor do elo motor. Na Classe II, o mecanismo somente tem movimentos angulares expressos matematicamente como:

$$c + l > r + s \quad (3)$$

Na Classe III, é um caso especial de Grashof, onde o mecanismo vai ter pontos de mudança com comportamento indeterminado. Para sanar esses pontos de mudança se deve adicionar elos defasados de 90° ou volantes de inércia, porém, esses últimos não são recomendados para baixas rotações. A equação para classe III é definida como:

$$c + l = r + s \quad (4)$$

O caso especial mais conhecido é o paralelogramo, utilizado para movimentar as rodas de trens, com um elo disposto em 90° defasados no lado oposto do mesmo eixo, para evitar os pontos de mudança.

2.12 PROJETO DE MÁQUINAS AGRICOLAS

Segundo Norton (2010), o projeto de máquinas é definido como o ato de inventar algo seguro e confiável, e uma máquina pode ser definida como um conjunto de partes que se correlacionam para converter energia em movimentos.

Máquinas agrícolas, são ferramentas desenvolvidas para produção de alimentos e energia, no campo da agricultura e pecuária.

Projeto de engenharia define-se como um processo que utiliza de técnicas e princípios científicos, físicos e matemáticos, para criar dispositivos, métodos ou sistemas para a resolução de problemas. (NORTON, 2010)

O projetista na hora de determinar os possíveis materiais deve levar sempre em mente o uso de menor massa e maior resistência mecânica ofertadas pelo mercado.

3 METODOLOGIA

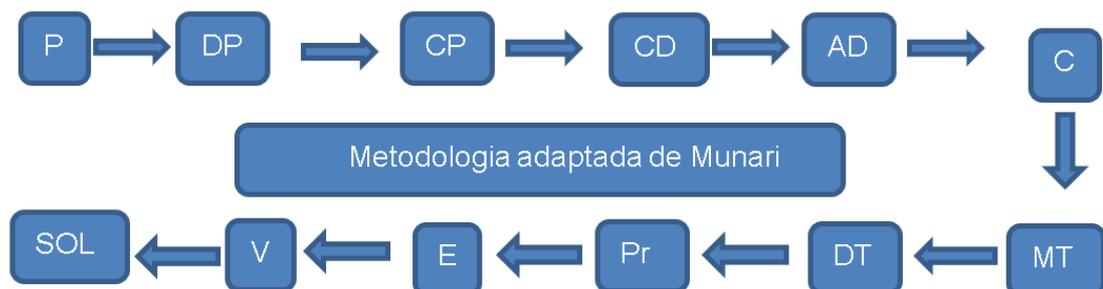
Conforme Gil (2002, p.1), define-se “pesquisa como o procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos”, ou em poucas palavras é seguir um método para chegar à solução de um problema.

Já Lakatos (2003, p.155), define pesquisa como “procedimento formal, com método de pensamento reflexivo, que requer um tratamento científico e se constitui no caminho para conhecer a realidade ou para descobrir verdades parciais”.

Pesquisa é uma busca de soluções utilizando-se de métodos científicos, com pensamento crítico e racional. A pesquisa utilizada neste projeto classifica-se como pesquisa bibliográfica e exploratória, que segundo Gil (2002), “tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema”, haja vista ter que pesquisar sobre o assunto em livros, revistas, dissertações, teses, jornais e impressos em geral para compreendê-lo e buscar uma solução. Também pode ser classificada como uma pesquisa-ação, que é um tipo de pesquisa onde é necessário o envolvimento do pesquisador e os envolvidos na solução do problema, no caso o pesquisador e o orientador do projeto, como nos demonstra (GIL, 2002).

Nessa seção será tratado das definições do método de pesquisa a ser utilizado no trabalho, determinado como metodologia de Munari (1981), adaptando os seus passos para realização do projeto, e os materiais utilizados. Essa metodologia é composta de doze passos conforme demonstrado na Figura 17.

Figura 17 - Metodologia dos 12 passos de Munari



Fonte: Adaptado de Munari (1981)

A metodologia adaptada ficou assim determinada: Problema, Definição do Problema, Componentes do Problema, Coleta de Dados, Análise de Dados,

Criatividade, Materiais e Tecnologias, Desenhos Técnicos, Protótipo, Experimentação, Verificação e Solução, e cada passo será analisado separadamente a seguir.

3.1 METODOS E TECNICAS UTILIZADOS NO PROJETO

Conforme Munari apud Archer (1981), “o problema de design resulta de uma necessidade”, por exemplo a de se resolver algo novo que não se encontrou uma solução ou a busca de melhorar algo existente. Um problema deve ser dividido em pequenas partes para melhor encontrar a solução no todo.

O problema da pesquisa pode ser caracterizado como a melhoria de um equipamento para a injeção de adubo líquido no solo, introduzindo o acionamento por motor elétrico, esta solução deve ser compacta para caber em uma linha de plantio de uma semeadora, leve, variável e que atinja uma profundidade próxima de 150 mm.

3.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Depois de se formular o problema, muitas vezes tenta-se buscar logo a solução, que pode não ser a mais correta. O correto é definir o problema de um modo geral e determinar os seus limites dentro de onde se trabalhar.

O problema do projeto pode ser definido como um equipamento de injeção de adubo líquido no solo que deve ser composto por sistemas interligados. Esses sistemas são definidos como chassis, sistema perfurador do solo, sistema de injeção de fluido e sistema de acionamento e controle elétrico.

A função principal deste protótipo é a injeção do adubo líquido no solo, o comportamento do sistema é perfurar o solo a uma profundidade de 150 mm, com uma distância mínima de 300 mm, sob o acionamento de um motor elétrico e alterando a distância com a rotação do motor. A estrutura será composta sistemas descritos no próximo tópico.

3.3 COMPONENTES DO PROBLEMA

De acordo com Munari (1981), “qualquer que seja o problema, pode-se dividi-lo em seus componentes. Essa operação facilita o projeto, pois tende a pôr em evidência os pequenos problemas isolados que se ocultam nos subproblemas.”

Os componentes desse protótipo serão apresentados conforme cada um dos seus sistemas.

3.3.1 Chassis

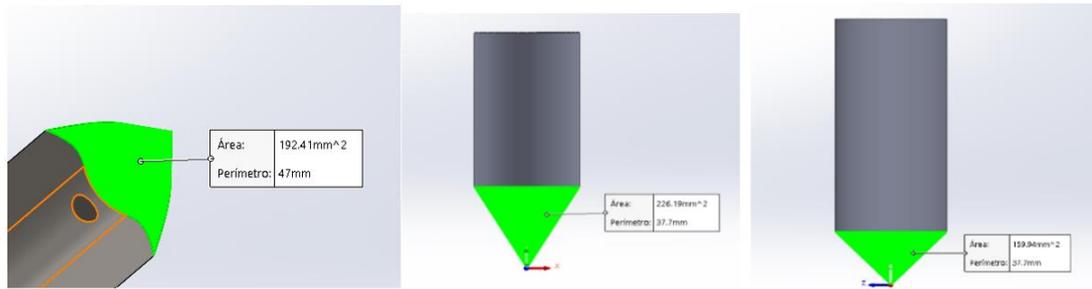
O chassi será composto por tubos quadrados, com engate para terceiro ponto do trator, com duas rodas para limitar a altura do solo, uma caixa fechada para os componentes elétricos de acionamentos e controle. No chassi será fixada uma linha de plantio direto de uma plantadeira de soja, e sobre esta linha será montado o sistema de injeção.

3.3.2 Sistema perfurador

O sistema de perfuração do solo foi composto por dois braços fixados no redutor defasados em 180° , dois links de interligação, dois braços unidos por um eixo, uma haste de tubo que trabalha como uma baliza vertical e um bico de aço temperado para furar o solo.

O perfurador será uma baliza de aço de 21 mm, sendo que na extremidade superior desta baliza será a entrada do fluido através de uma conexão e mangueira flexível de 8mm em PEAD. O material do tubo deve ser de aço inoxidável para evitar a oxidação e deterioração, porém no protótipo, para redução de custos se optará por uma haste de aço. Na extremidade inferior, haverá um bico em aço tratado termicamente para aumentar a dureza e resistência a abrasão, o qual levará o fluido até a profundidade desejada. O protótipo será testado com dois tipos de bicos, sendo um de aço temperado e outro de aço trefilado, com diâmetros e formatos diferentes. O bico de aço temperado tem o formato de baioneta, ou losango, enquanto que o aço trefilado é um tarugo de diâmetro 12 mm. A área das pontas dos bicos varia conforme o ângulo dado a ponta, sendo que quanto maior o ângulo, menor será a área, conseqüentemente menor será a força necessária para a perfuração do solo, conforme a Figura 18.

Figura 18 - Configurações possíveis para as pontas do injetor



Fonte: Autor (2021)

Como pode-se perceber na Figura 18 acima, o bico com ângulo de 30° possui a maior área, 226,19 mm² e o bico com 45° a menor, 159,94 mm². O formato baioneta possui a área intermediária, sendo 16,67% maior que a ponta de ângulo de 45°, 192,41 mm².

3.3.3 Sistema de Acionamento e Controle Elétricos

O sistema de acionamento é composto por um motor elétrico CA, trifásico. Para controle do motor optou-se por um inversor de frequência, pois, assim se consegue variar a rotação do motor e a distância entre injeções.

3.3.4 Sistema de injeção

O sistema de injeção é composto por um tanque de depósito, uma bomba de alta pressão (lava jato), tubulações de alimentação e pressão, válvulas de restrição e válvulas solenoides de vazão.

3.4 COLETA DE DADOS

Após a determinação dos componentes deve-se realizar as pesquisas para encontrar dados sobre o problema, analisá-los para ver o que já foi realizado de projetos sobre esse assunto, para determinar o que fazer, como fazer, ver o que pode ser melhorado nos quesitos como formas, tipos materiais, tipos de acionamentos, consumo de energia e descarte ambiental.

Para isso, nesse projeto utilizou-se de pesquisa bibliográfica em teses de mestrado e doutorado, livros, sites e jornais de engenharia mecânica e de automação.

3.5 ANÁLISE DE DADOS

A análise foi a constatação do que foi realizado e do que pode ser melhorado nos projetos pesquisados. Sobre os projetos pesquisados, constatou-se que nenhum deles era acionado por um motor elétrico, sendo esta então, a principal diferenciação deste projeto em relação aos outros pesquisados.

3.6 CRIATIVIDADE

Conforme Munari (1981), criatividade deve responder a seguinte pergunta, “como juntar tudo da maneira mais certa?”, pois dependendo de como vamos projetar o protótipo ele vai resolver o problema, ou dar mais trabalho resolvendo problemas que não foram previstos de forma criativa. Para este projeto deve-se analisar as formas de entradas e as saídas esperadas para cumprir o objetivo.

3.7 MATERIAIS E TECNOLOGIAS

Neste tópico são abordados os tipos de materiais utilizados no projeto, tipos de máquinas-ferramentas a serem utilizadas para a fabricação, tipos de serviços e tipos de peças prontas a serem adquiridas.

Neste projeto será utilizado basicamente aços de baixo carbono e suas ligas, rolamentos, mancais, parafusos, anéis elásticos, vedações em materiais especiais, tintas e serviços como torneamento, fresamento, corte laser ou corte plasma, soldagem, além de recursos tecnológicos software de desenhos, montagens e simulações.

3.8 DESENHOS TÉCNICOS

Os desenhos técnicos serão realizados em software CAD, *SolidWorks*, em 2 e 3 dimensões, com todas as cotas e tolerâncias para serem utilizados na fabricação.

3.9 PROTÓTIPO

Essa etapa Munari (1981), define como modelo, é onde se fabrica um protótipo através dos desenhos técnicos, especificações de materiais, carregamentos e geometria. O protótipo construído vai para a próxima fase, que será a de testes e verificações.

3.10 EXPERIMENTAÇÕES

Nesta fase pode se realizar simulações com testes de movimentos, porém em laboratório, para analisar e encontrar possíveis problemas e saná-los para um bom funcionamento do projeto.

3.11 TESTES EM CAMPO

Nessa fase foi realizado os testes em campo, para constatar o funcionamento do protótipo, analisar se cumpre com os requisitos de projeto, adquirir dados, levantar possíveis melhorias e forma de corrigi-las. Deve-se testar inúmeras vezes até conseguir um bom número de dados para o projeto.

3.12 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Após todas essas etapas prepara-se um relatório com os resultados e apresenta-se com as devidas interpretações deles.

3.13 PASSOS PARA PRODUÇÃO DO PROTÓTIPO

Primeiramente definiu-se com o orientador o tipo de trabalho a ser realizado e definiu-se por um sistema de injeção de fluido para adubação líquida no solo.

Após as pesquisas em livros, dissertações de mestrado, teses de doutorado e sites da internet, ficou definido realizar um protótipo que seja acionado por motor elétrico, com um mecanismo biela e manivela ou quatro barras, com acionamento vertical do perfurador do solo.

Seguiu-se com a modelagem dos componentes do primeiro protótipo em *SolidWorks*, onde realizou-se os desenhos em três dimensões para a manufatura das peças, após análise constatou-se uma massa muito alta no mecanismo de acionamento da baliza injetora, impossibilitando a fabricação do protótipo.

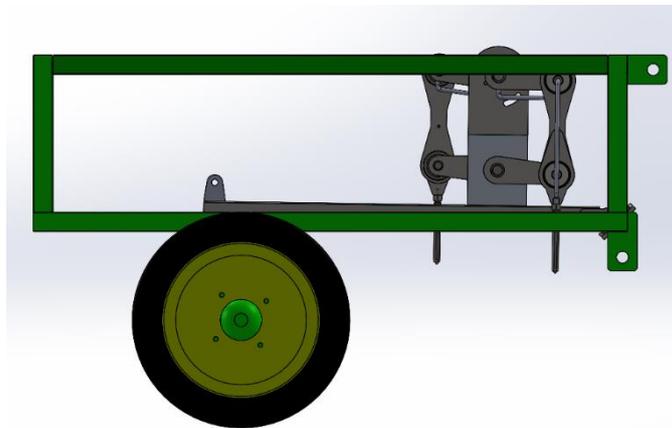
Nesses casos cabe ao projetista fazer iteração, que é recommençar analisando onde melhorar o projeto. No caso foi optado por uma conformação com o mecanismo em balanço, porém mais uma vez não atendeu o propósito estabelecido, pois possuía dimensões que não atendiam as necessidades e precisaria de muita energia.

Após nova iteração foi escolhido uma configuração onde o sistema de avanço em forma de um carro percorria canaletas e o acionamento do injetor era por reduções com correntes e engrenagens. Após análise, constatou-se que nessa forma de

configuração o motor não teria condições de realizar aceleração necessária para avançar o sistema e realizar o sincronismo do mesmo.

Com isso, iterou-se novamente e com criatividade buscou-se a configuração final, onde o motor aciona diretamente o redutor, e este em seu eixo de saída aciona dois braços defasados em 180°. Sobre o redutor foi criado um suporte que acondiciona um eixo com mais dois braços em suas extremidades e que também estão defasados em 180°. Nas extremidades opostas dos braços está montado os dois links rolamentados e verticais que são os acionadores dos injetores de fluido, conforme Figura 19.

Figura 19 - Vista parcial da montagem final do protótipo



Fonte: Autor (2021)

3.14 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Esta seção vai indicar os suprimentos materiais e peças, além dos equipamentos necessários à realização deste projeto.

3.14.1 Material de consulta

Foram utilizados notebook, livros, dissertações de mestrado, artigos e sites da internet para pesquisa de dados, a fim de buscar referencial teórico sobre o projeto em análise.

3.14.2 Material de laboratório

Os laboratórios de usinagem e soldas do ambiente Fahor foram utilizados para a conformação e produção do protótipo deste projeto. Neste contexto foram necessárias ferramentas de corte como brocas, ferramentas de usinagens para o

torno convencional, discos de corte e desbaste para esmerilhadeiras manuais, serra de corte para aparar os eixos e tubos para usinagem e soldagem pelo processo MIG/MAG.

3.14.3 Material de consumo

Os materiais de consumo como chapas, tubos, cantoneiras e eixos, foram adquiridos de um revendedor local. As peças com geometrias complexas ou tolerâncias de maior precisão, foram cortadas com corte plasma. No Quadro 1 está demonstrado os materiais utilizados.

Quadro 1 - Demonstrativo de materiais

Quantidade	Descrição	Medidas (mm)
02	Tubo Industrial Quadrado	50x50x3x6000
10	Discos corte Inox	7"x7/8"x1,6
	Diversos tubos e chapas	
	Chapas cortadas no plasma	

Fonte: Autor (2021)

Além dos materiais descritos acima, foram adquiridas chapas, tubos e eixos mecânicos descritos como retalhos de reciclagem industrial.

3.14.4 Peças e componentes

Para o caso em análise, necessitará das seguintes peças e componentes que devem ser adquiridos de fornecedores externos, conforme Quadro 2.

Quadro 2 - Demonstrativo de peças e materiais

Quant.	Descrição
01	Motor elétrico 220/380V; 3CV; 4 P; 90L; HERCULES
01	Inversor de frequência CFW300; 3CV; WEG
01	Redutor Q 063; 1:5; 90B14; IBR
02	Mancal de chapa
02	Rolamento oscilante 25 mm interno
04	Rolamentos de esferas 6305 ZZ
04	Porca auto travante MA-10
04	Parafuso 10x40mm, MA-8.8 ZN
06	Parafuso Francês 8x25mm
16	Porca auto travante MA-8
02	Cubos de rodas usados
10	Parafuso 8x35mm, MA-8.8
5	Cabos e fios para ligação elétrica (m)

Fonte: Autor (2021)

Além destas peças novas e usadas adquiridas, também foi utilizado duas rodas de aço de 13" e dois pneus usados 175/70-13 que não foi necessário comprar. Foi conseguido por empréstimo uma linha de uma plantadeira de soja e milho, que será utilizado para os testes do sistema.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo será demonstrado os passos para manufatura do protótipo, dimensionamento, análise de seus mecanismos e resultados.

4.1 DIMENSIONAMENTO DO PROTÓTIPO

No dimensionamento dos componentes, buscou-se determinar a potência necessária para acionar o protótipo. Para os cálculos foram utilizados os parâmetros definidos e apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - Dados de entrada para dimensionamentos

Descrição	Valor	Unidade
Resistência de ruptura do solo	1,25	MPa
Profundidade máxima de injeção	0,15	m
Área do injetor com ângulo de 45°	136,07	mm ²
Relação de transmissão de redutor	5:1	
Rotação de saída do redutor	300	RPM
Momento na saída do redutor	63,9	Nm
Eficiência do redutor	91	%

Fonte: Autor (2021)

O primeiro passo foi determinar a força de reação no solo, causado pela área do injetor e a tensão de ruptura do solo, sendo determinada pela utilização da equação 01, conforme (IBR REDUTORES, 2020).

$$F_s = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot R_p \quad (5)$$

Onde:

F_s = força de reação do solo na ponta da haste de injeção;

d = diâmetro da haste de injeção;

R_p = resistência a ruptura do solo.

$$F_s = \frac{\pi \cdot 12^2}{4} \cdot 1,25 = 375,2 \text{ N}$$

Com esses cálculos se obteve uma força de 375,2 N. Essa força tende a aumentar conforme o injetor penetra mais fundo no solo, para determinar a força em função da profundidade utiliza-se a equação 02, conforme (IBR REDUTORES, 2020).

$$F_{solo} = \frac{F_{s\text{máx}}}{P_{\text{máx}}} \cdot P_h \quad (6)$$

Onde:

F_{solo} = força de reação na máxima profundidade;

$F_{s_máx}$ = força máxima na ponta da haste;

$P_{máx}$ = profundidade máxima projetada de penetração da haste;

P_h = profundidade real da haste.

$$F_{solo} = \frac{375,2}{0,15} * 0,12 = 300,2 \text{ N}$$

Após os cálculos encontrou-se a força de reação máxima do solo de 300,2 N. Com a força de reação determinada, passa-se a determinar o torque necessário na saída do redutor, utilizando o comprimento do braço de 0,15 m. Para isso utiliza-se a equação 03, conforme (IBR REDUTORES, 2020).

$$M_{2M} = F_{solo} \cdot d_h \quad (7)$$

Onde:

M_{2M} = momento de torque na saída do redutor (Nm);

F_{solo} = força de reação na máxima profundidade (N);

d_h = comprimento do braço de acionamento do injetor (m).

$$M_{2M} = 300,2 * 0,15 = 45,02 \text{ Nm}$$

Após os cálculos encontra-se o torque necessário para a perfuração do solo na saída do redutor, que foi de 45,02 Nm, que comparando com os dados do redutor que é de 63,9 Nm, pode-se dizer que está de acordo com o necessário.

Com o torque necessário para utilização definido e a relação de transmissão do redutor passa-se a calcular a potência necessária ao sistema. Nesse projeto definiu-se uma relação de 5:1, com uma saída de 300 RPM, portanto a entrada, ou seja, a rotação do motor será de 1500 RPM. Para isso foi utilizado um motor de 4 polos. A potência necessária é calculada utilizando a equação 04, conforme (IBR REDUTORES, 2020).

$$P_{mot} = \frac{M_{2M} \cdot n_2}{7022 \cdot \eta} \quad (8)$$

Onde:

P_{mot} = potência de entrada do motor (CV);

M_{2M} = momento de torque na saída do redutor (Nm);

n_2 = rotação na saída do redutor (RPM);

η = eficiência do redutor (%);

$$P_m = \frac{45,02 * 300}{7022 * 0,91} = 2,12 \text{ CV}$$

Com base nos cálculos obteve-se uma potência de 2,12 CV. Nos catálogos de motores a potência mais próxima é de 3 CV, com um fator de serviço de 1,15, a potência será de 2,43 CV, confirmando que um motor de 3 CV é suficiente, conforme quadro da Hercules motores no Anexo (B). Os dados do redutor estão dispostos no Anexo (A).

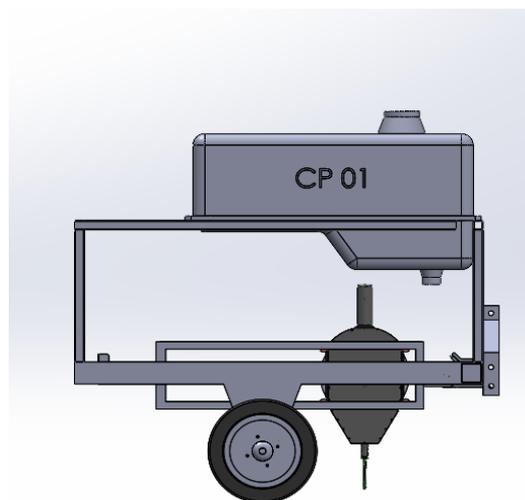
4.2 DESENHOS TÉCNICOS

Neste tópico serão apresentados os desenhos realizados dos protótipos, foram realizados no software *Solidworks* em 3 dimensões.

4.2.1 Projeto inicial do protótipo

O primeiro layout do protótipo foi pensado com acionamento por motor elétrico acoplado em uma caixa angular e sistema de came e seguidor. Esse mecanismo, Figura 20, teria uma massa muito grande e conseqüentemente sua força inercial seria ampliada, causando desgastes prematuros no mecanismo de deslocamento linear.

Figura 20 - Primeira montagem do protótipo



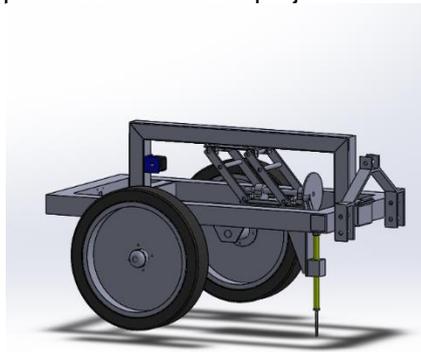
Fonte: Autor (2021)

Para melhorar o sistema foi repensada a forma de acionamento de movimentação vertical, sendo então substituído os mecanismos por outros para uma nova análise de funcionamento.

4.2.2 Primeira modificação do projeto

Para continuar na produção do protótipo, buscou-se as melhorias necessárias ao projeto, entre elas foi a modificação do sistema de acionamento da baliza vertical de injeção de fluido. Na Figura 21, percebe-se como melhoria a forma de acionamento vertical substituída por um sistema de biela e manivela e acrescentado um mecanismo de quatro barras em balanço no acionamento linear.

Figura 21 - Protótipo após primeira melhoria de projeto



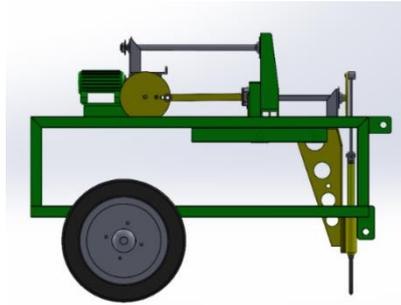
Fonte: Autor (2021)

Porém após realizadas essas modificações, surgiu outra necessidade, que foi a utilização de mancais de borracha para amortecimento e armazenamento de energia. Mas como consequência, a fonte de energia para acionamento teria que aumentar e a altura do protótipo ficaria fora dos limites para acoplamento nos três pontos do trator, impossibilitando os testes práticos.

4.2.3 Segunda modificação do projeto

Depois de nova análise e modificação, definiu-se o layout do protótipo como mostra a Figura 22, sendo ele acionado por motor elétrico de 3 CV, redutor de coroa e eixo sem fim com redução de 5:1, mecanismo de biela e manivela para acionamento linear e corredeira com rolamentos. O sistema do injetor também foi acionado por sistema de biela e manivela. A redução de rotação para acionar eixo do injetor foi realizada por engrenagens e correntes de rolos cilíndricos e o controle da rotação do motor por inversor de frequência.

Figura 22 – Segunda melhoria do protótipo



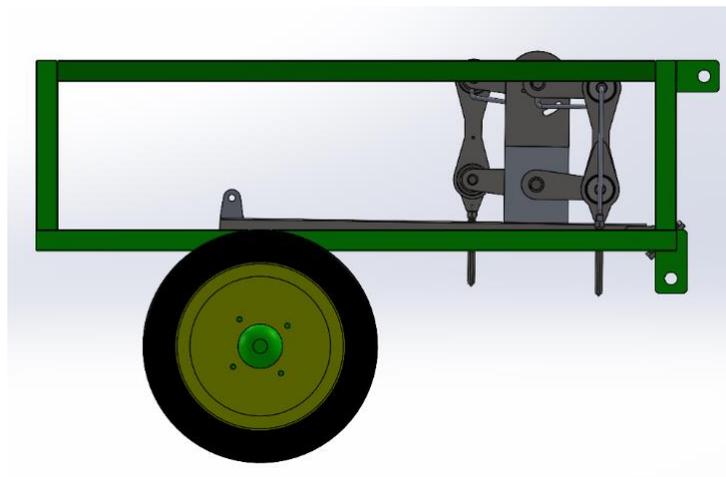
Fonte: Autor (2021)

Após os desenhos o protótipo ficou com o layout mostrado, porém durante a construção constatou-se que seria necessária uma aceleração durante o movimento linear para frente, sendo que o sistema não suportaria tal aceleração, buscou-se nova alternativa para o layout do projeto.

4.2.4 Projeto final do protótipo

Buscando nova forma de resolver os problemas encontrados, optou-se por utilizar um sistema de braços e links para realizar os movimentos linear e vertical, ter dois injetores trabalhando alternadamente e um paralelo ao outro, formando assim duas linhas de injeção. Com essa modificação pretende-se realizar variações na distância entre as injeções apenas com a modificação da rotação do motor, conforme Figura 23.

Figura 23 - Desenho final do projeto



Fonte: Autor (2021)

4.3 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Primeiramente foram adquiridos os materiais necessários para a manufatura do protótipo, após isso foram marcados e cortados. Os eixos e tubos que necessitaram de usinagens, foram trabalhados nos tornos e fresas do laboratório de usinagens e conformação da Fahor, bem como, também na Tornearia Venites e CIA Ltda, de Tuparendi-RS.

Para preparação das chapas utilizou-se uma máquina de corte plasma e uma dobradeira de chapas, onde se conseguiu obter as geometrias necessárias ao projeto. Esses serviços e materiais foram adquiridos na Recicladora de Metais Noroeste da cidade de Santa Rosa - RS.

4.3.1 Chassi

Para que seja possível realizar os testes em campo, foi necessário a fabricação de um chassi para suportar a linha de injeção, o qual foi produzido com tubos de perfil quadrado com lados de 50 x 50 x 3 mm. As dimensões do chassi são de 1600mm de comprimento, 1250mm de altura e 1100mm de largura com as rodas no lugar.

Os tubos para confecção do chassi, foram cortados, ponteados nas respectivas dimensões do projeto e depois soldados com solda MIG/MAG, sendo o resultado que está mostrado na Figura 24. Também se soldou os engates para acoplamento no trator e os suportes para os cubos de roda.

Figura 24 - Chassi após a manufatura



Fonte: Autor (2021)

Para a soldagem do protótipo utilizou-se o Laboratório de soldas da Fahor, devido a possuir aparelhos de solda MIG/MAG.

4.3.2 Linha de plantio direto

Para suporte do conjunto motor e redutor, utilizou-se uma linha de uma plantadeira de plantio direto, onde foi fixado por solda os suportes do motor e do redutor. Sobre o redutor foi fixado a base para os rolamentos do eixo dos braços superiores, essa base possui local para acoplar os sensores magnéticos que tem a função de abrir as válvulas solenoides que liberam o fluido para os bicos injetores.

A movimentação linear do protótipo irá acompanhar o trator, pois seu movimento é rotativo e axial em relação ao movimento linear do trator.

Para montagem desse sistema utilizou-se de chapas cortadas com processo de plasma com dimensões conforme os desenhos, onde foram soldados os mancais para os eixos, mancais para os rolamentos dos links de movimentação vertical e os suportes para os bicos do injetor de fluido, ficando depois de pronto conforme a Figura 25.

Figura 25 - Redutor com sistema de injeção



Fonte: Autor (2021)

Os braços, os links, os suportes dos bicos e as chapas base dos rolamentos superiores foram cortadas no arco de plasma, Figura 26, após isso usinadas para ter as mesmas medidas e soldada com solda MIG/MAG. Após isso foram montados os rolamentos e os conjuntos para testar o seu funcionamento.

Figura 26 - Peças cortadas no plasma



Fonte: Autor (2021)

4.3.3 Sistema alternado e paralelo de injeção

O movimento rotativo de entrada do motor é reduzido e transformado em dois movimentos paralelos e alternados, defasados em 180° pelo redutor.

Essa parte do projeto é composta braços e links que recebem o movimento de saída do redutor e acionam os injetores de forma vertical, que perfura o solo nas distancias determinadas pelo comprimento do braço de saída do redutor e pela velocidade de acionamento do motor, conforme Figura 27. A velocidade de deslocamento do trator vai influenciar na distância entre as perfurações, podendo ser compensada com a variação da rotação do motor.

Figura 27 - Sistema paralelo e alternado de injeção



Fonte: Autor (2021)

Acima está o sistema montado, onde pode ser visto um dos links, dois braços e um dos injetores.

4.3.4 Montagem final do protótipo

Após todas as soldas realizadas, desbastes e pintura, foi montado o protótipo, ficando conforme a Figura 28, onde se percebe todas as partes que o complementam inclusive com o inversor de frequência para o controle do motor.

Figura 28 - Protótipo após pintura do chassi



Fonte: Autor (2021)

Após a montagem o protótipo está pronto para os testes em campo.

4.4 ACIONAMENTO DO MOTOR ELÉTRICO

O acionamento foi realizado por um inversor de frequência alimentado por uma rede de energia monofásica de 220 V. A saída do inversor foi de 220 V trifásico.

4.4.1 Configurando o inversor de frequência

Na primeira configuração do inversor, deve ser configurado os seguintes parâmetros, conforme mostrado no Quadro 4.

Quadro 4 - Parâmetros de configuração do inversor

Parâmetro	Valor de fábrica	Valor configurado	Descrição
P204	-	5	Reset para configuração de fábrica
P002	3 Hz	3-60Hz	Visualização vel. saída motor
P133	3 Hz	20 Hz	Frequência mínima
P134	66 Hz	60 Hz	Frequência máxima
P135	1,5 I_{Nom}	13,35 A	Corrente máxima
P143	40%	40%	Tensão de saída interna
P145	60 Hz	60 Hz	Frequência de início
P146	30 Hz	30 Hz	Frequência saída intermediária
P156	1,2 I_{Nom}	10,68 A	Corrente de sobrecarga
P208	1-9999	600	Fundo escala referencia
P401	$I_{Nominal}$	8,9 A	Corrente nominal do motor
P402	$N_{Nominal}$	1730 RPM	Rotação nominal do motor
P403	$f_{Nominal}$	60 Hz	Frequência nominal do motor
P404	$P_{Nominal}$	8	Potência nominal do motor 3HP

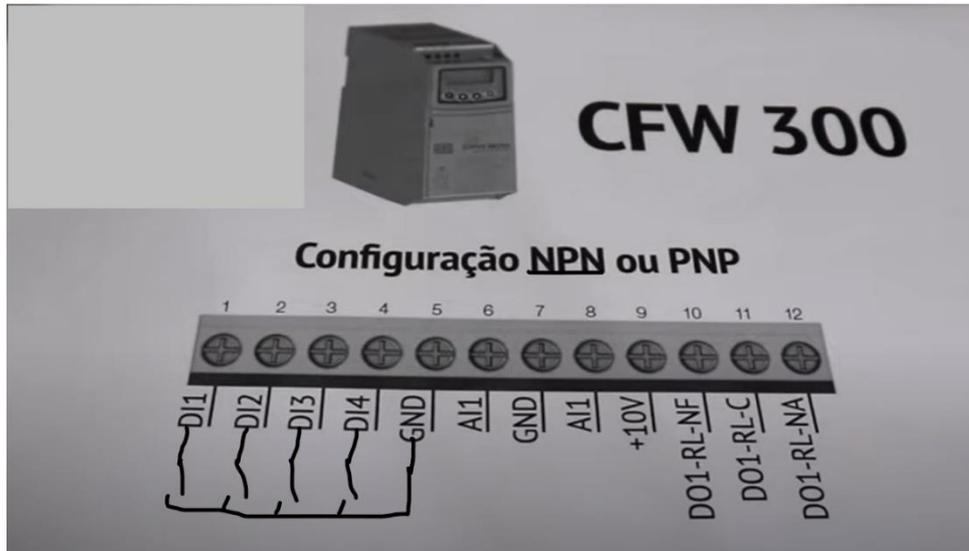
Fonte: Autor (2021)

Deve-se primeiro realizar as ligações do motor e da alimentação do inversor, após isso aciona-se a tecla *P* do inversor e navega-se nas teclas para cima e para baixo até encontrar o parâmetro indicado, aciona-se novamente a tecla *P* para entrar no parâmetro escolhido e configura-se com o valor escolhido ou fornecido pelo fabricante conforme o motor que se está utilizando. Após isso aciona-se novamente a tecla *P* para salvar a configuração, repete-se isso para todos os outros parâmetros.

4.4.2 Configurando o motor para ligar e desligar com a entrada digital D/1

Para acionar o motor de forma remota a HMI do inversor, será utilizado um botão que tem a função de abrir e fechar o contato na entrada digital D/1 do mesmo. A forma de energização será NPN, ou seja, vai ser fechado o contato entre a entrada D/1 e o GND do inversor, alimentando com corrente negativa a entrada D/1, conforme mostrado na Figura 29.

Figura 29 - Esquema de ligação do motor



Fonte: Weg (2021)

Depois de feita as ligações, conforme esquema acima, tem que se configurar os parâmetros necessários. Neste modelo tem que ser configurado os parâmetros conforme o Quadro 5. Para isso, busca-se os valores necessários no manual de configuração do inversor, fornecido juntamente com o mesmo, ou no site do fabricante.

Quadro 5 - Parâmetros para ligar e desligar por controle remoto à HMI

Parâmetro	Valor de fábrica	Valor configurado	Descrição
P133	3 Hz	20 Hz	Frequência mínima
P134	66 Hz	60 Hz	Frequência máxima
P220	0	1	Seleção Local (0) / Remota (1)
P221	0	1	Referência Local (LOC), A/1
P222	1	1	Referência Remota (REM)
P231	0	0	
P233	0	0	Sinal de entrada 0-10V
P263	1	1	Liga/desliga entrada D/1
P401	0-40A	I_{nom}	Corrente Nominal do motor
P402	0-30000RPM	n_{nom}	Rotação Nominal motor
P403	0-400Hz	60 Hz	Frequência Nominal motor

Fonte: Autor (2021)

Configurando esses parâmetros se consegue acionar o motor através de botões, não sendo mais possível o acionamento pela HMI do inversor.

4.4.3 Configuração múltiplas rotações (*multispeed*)

Para ter variação de distâncias entre injeções, foi utilizado uma configuração com vários botões onde se conseguiu com ligar e desligar de um botão trocar as rotações do motor. O Quadro 6 mostra as rotações do motor, rotações do injetor, quantidade de perfurações por metro linear e as distâncias entre as perfurações em centímetros.

Quadro 6 - Valores determinados a partir da rotação do motor

RPM motor	RPM injetor	Qtde. perfurações	Distâncias entre Perfurações
1800	360	12	8,333
1500	300	10	10
1200	240	8	12,5
1000	200	6,66	15
900	180	6	16,65
800	160	5,334	18,75
700	140	4,666	21,43
600	120	4	25

Fonte: Autor (2021)

Para conseguir essas formas de controle das rotações do motor deve-se configurar o inversor de frequência na função *multispeed*, utilizando as entradas digitais e parâmetros de controle remoto.

Na saída digital D/1 foi ligado e configurado um botão para ligar e desligar o motor, enquanto que nas saídas D/2, D/3 e D/4, serão ligados os botões para a função *multispeed*, ou seja quando se aciona um botão o motor parte na rotação a qual ele foi configurado. Esse tipo de ligação é denominado de NPN, ou seja, a entrada digital vai receber um sinal negativo vindo do GND, vai fechar o circuito e acionar o motor de forma remota. No Quadro 7, está demonstrado as frequências, as saídas e os parâmetros para configurar os botões do *multispeed*.

Quadro 7 - Parâmetros para configuração *multispeed*

Frequência (Hertz)	D/2	D/3	D/4	Parâmetro
20	0	0	0	P124
23,33	0	0	1	P125
26,667	0	1	0	P126
30	0	1	1	P127
33,33	1	0	0	P128
40	1	0	1	P129
50	1	1	0	P130
60	1	1	1	P131

Fonte: Autor (2021)

Conforme pode ser notado no quadro acima, se consegue até oito velocidades diferentes com a configuração do *multispeed*, somente necessitando ligar e desligar os botões, fechando ou abrindo os circuitos das entradas digitais, mas, a distância entre as perfurações pode sofrer alteração devido a velocidade de deslocamento linear do trator.

Para configurar a função do *multispeed*, deve-se configurar ainda os parâmetros do Quadro 8.

Quadro 8 - Parâmetros dos botões do *multispeed*

Parâmetro	De valor	Para valor
P124	3 Hz	20 Hz
P125	10 Hz	23,33 Hz
P126	20 Hz	26,667 Hz
P127	30 Hz	30 Hz
P128	40 Hz	33,33 Hz
P129	50 Hz	40 Hz
P130	60 Hz	50 Hz
P131	66 Hz	60 Hz
P220	0	1
P221	-	-
P222	1	8
P263	1	1
P264	8	13
P265	0	13
P133	3 Hz	20 Hz

Fonte: Autor (2021)

Para a visualização das rotações e frequências, acionar o parâmetro P002.

4.5 AVALIAÇÃO NO LABORATÓRIO.

Nesta seção que corresponde a fase de experimentação, conforme Munari (1990), será descrito as análises realizadas no laboratório a fim de detectar algum problema e realizar as correções necessárias.

4.5.1 Funcionamento do sistema de acionamento.

O motor foi acionado através do inversor de frequência e constatou-se que o seu funcionamento está de acordo com o esperado, conseguindo-se variar sua rotação a partir de 90 RPM/3 Hz até 1800 RPM/60 Hz, através da interface HMI do inversor. O motor aciona o redutor para a movimentação do sistema de injeção vertical.

4.5.2 Sistema de movimentação e injeção vertical

Nos testes de movimentação do sistema, o mesmo possui movimentos circulares do injetor e axialmente com o deslocamento do trator. Também se percebeu os movimentos alternados e defasados em 180° dos links dos braços injetores verticais.

4.6 TESTES EM CAMPO

Para a realização dos testes utilizou-se um trator da marca Ford, modelo 4600. As características técnicas do trator quanto as velocidades em cada marcha e acelerações pontuais estão na Figura 30.

Figura 30 - Dados técnicos do trator de teste

FORD 2600, 3600, 4100 e 4600 — SEÇÃO C									
VELOCIDADES DE ESTRADA EM QUILOMETRAGEM POR HORA									
Velocidade do motor (rpm)	Ford 2600 (Pneus 11,2/10-28) Caixa de 6 velocidades			Ford 2.600/3.600 (Pneus 12,4/11-28) Caixa de 8 velocidades			Ford 4100/4600 (Pneus 12,4/11-36) Caixa de 8 velocidades		
	1.000	1.800	2.000	1.000	1.800	2.000	1.000	1.800	2.200
mudança									
1	1.1	2.0	2.2	1.3	2.4	2.6	1.1	2.0	2.5
2	2.0	3.6	4.0	1.6	3.0	3.3	1.4	2.5	3.1
3	3.3	6.0	6.6	2.9	5.1	5.8	2.5	4.4	5.4
4	4.5	8.1	9.0	3.9	7.1	7.9	3.4	6.0	7.4
5	5.9	10.7	11.9	4.7	8.5	9.4	4.0	7.2	8.9
6	13.4	24.1	26.8	5.9	10.6	11.7	5.0	9.0	11.0
7	—	—	—	10.3	18.5	20.6	8.8	15.9	19.4
8	—	—	—	14.0	25.2	28.0	12.0	21.6	26.4
L.R.	1.8	3.3	3.6	1.9	3.4	3.8	1.6	2.9	3.6
H.R.	5.4	9.7	10.8	6.8	12.2	13.5	5.8	10.4	12.7

Fonte: Manual do trator Ford 4600 (2021)

Os testes foram realizados em uma plantação de aveia de inverno. Para isso foi marcado uma distância de 20 metros, onde se realizou nove passadas com o trator e o injetor. Primeiramente houve três passadas para tirar a média do tempo que o trator levaria para percorrer os 20 metros em 1ª marcha reduzida e 1000 RPM. Os tempos estão dispostos no Quadro 9 abaixo.

Quadro 9 - Calibração dos tempos do trator

	Tempo 1ª marcha (s)	Velocidade (m/s)	Velocidade (Km/h)
1ª Passada	41,67	0,480	1,728
2ª Passada	44,25	0,452	1,627
3ª Passada	42,06	0,475	1,710
Média	42,66	0,469	1,688

Fonte: Autor (2021)

Após isso houve duas passadas com o mecanismo ligado e o motor em 10 Hz, as distancias entre as duas puncionadas do mesmo injetor foi de 79 cm e profundidades do injetor variando de 95 mm até 110mm, conforme Figura 31. A distância entre as punções dos injetores paralelos foi de 39 cm, e a distância entre as fileiras fixadas em 19 cm.

Figura 31 - Marcas da primeira passagem



Fonte: Autor (2021)

Aumentando a frequência do motor para 15 Hz, conseqüentemente a sua rotação, conseguiu-se diminuir a distância entre as punções, ficando em 64 e 32 cm. As profundidades variaram entre 70 e 110 mm, conforme Figura 32.

Figura 32 - Distância entre punção do mesmo injetor



Fonte: Autor (2021)

Nessa configuração de 15 Hz, foi encontrado a melhor distribuição dos furos dos injetores.

Aumentando mais a frequência para 25 Hz, a distância entre as punções não alterou, mas a profundidade aumentou ficando entre 110 e 140 mm, corroborando que com aumento da rotação aumenta o torque no eixo de saída, conforme Figura 33.

Figura 33 - Profundidade em 25 Hz



Fonte: Autor (2021)

Nessa configuração o motor passa a ter muita rotação e conseqüentemente passa a forçar o trator para frente. A última passada foi testada com trator em 4ª marcha e 1500 RPM, porém com esta velocidade o injetor de aço trefilado quebrou no fim da rosca, pois foi forçado para frente axialmente, mudando o formato do furo no solo, conforme Figura 34.

Figura 34 - Quebra do injetor de aço trefilado



Fonte: Autor (2021)

A quebra deu-se principalmente a velocidade alta do trator, ao formato da usinagem no final da rosca, ao material ser aço trefilado SAE 1020 e a compactação excessiva do solo, considerando que o teste foi realizado próximo de uma casa à pouco construída, sendo o solo compactado, impróprio para plantio e testes, porém, devido a distância dos cabos de energia não se conseguiu testar em um solo mais apropriado.

5 CONCLUSÃO

No processo de projetar uma solução ao problema da falta de um sistema de injeção de adubo líquido de rejeitos de biodigestores (digestatos), buscou-se através da metodologia de Munari (1981), encontrar uma forma que atendesse os requisitos necessários para a construção de um protótipo com acionamento elétrico, com movimentos alternados e defasados em 180°.

O protótipo deveria ser compatível com uma unidade distribuidora de adubo sólido de uma plantadeira de milho e soja para plantio direto sobre palhada, requisito atendido, pois as dimensões do sistema de movimentação paralelo e alternado e o de injeção vertical permitem ser adaptados em linha de plantio de uma plantadeira.

Quanto a movimentação, os movimentos do sistema de injeção são de rotação, no mesmo sentido linear do trator, portanto, movimento axial com o movimento do trator.

A precisão de 30 mm na profundidade das perfurações não atendeu os requisitos, portanto fica refutada essa hipótese, pois houve variações para mais e para menos devido ao terreno ser irregular e com muita compactação do solo.

Quanto a repetição de 3 a 6 perfurações por metro linear, este requisito foi atendido, pois houve uma perfuração a cada 32 cm, perfazendo uma média de 3,125 perfurações por metro linear.

Considerando a proposta do projeto, os resultados foram os esperados, pois foram atingidos parcialmente os objetivos.

Como sugestão para trabalhos futuros deve-se realizar uma simulação para melhorar as estruturas, diminuindo seu peso para aumentar sua eficiência, podendo até diminuir a potência do motor.

Outra sugestão é realizar um dimensionamento do sistema de injeção de fluido com controle por sensores magnéticos, bem como a sincronização do motor elétrico com o trator através de sensores de velocidade e comandos via SOFTCLP do inversor.

REFERÊNCIAS

BAKER, J. L. et al. A Point-injector Applicator to improve Fertilizer Management. **Applied Engineering in Agriculture**, p. 334-338, 1989.

BRASIL, F. D. Manual do trator Ford 4600. **fsantos**. Disponível em: <<https://fsantos.utad.pt/pub-fas/Manual-Ford2610.pdf>>. Acesso em: 19 Jun. 2021.

CPT. cpt.com.br. **Cursos CPT**. Disponível em: <<https://www.cpt.com.br/busca/cursos>>. Acesso em: 16 Out. 2020.

DEERE, J. Plantadeira de plantio direto modelo 1107. **www.deere.com.br**, 2020. Disponível em: <<https://www.deere.com.br/pt/solu%C3%A7%C3%B5es-para-plantio/1107/>>. Acesso em: 15 jun. 2020.

FANGUEIRO, D.; VASCONCELOS, E.; CABRAL, F. Alternativas para Utilização Sustentável de efluentes Agropecuários como Fertilizantes. **Vida Rural**, Lisboa, v. I, n. 8, Setembro 2015.

FLORES, P.; CLARO, J. C. P. **Cinemática de Mecanismos**. 1ª. ed. Guimarães: Almedina, v. I, 2007. 236 p. ISBN 9789724031019.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4ª. ed. São Paulo: Atlas , 2002.

GRAY, G. L.; CONSATANZO, F.; MICHEL, P. E. **Mecânica para Engenharia: Dinâmica**. 1ª. ed. Porto Alegre: Bookman Editora Ltda, v. I, 2014.

LAKATOS, E. M.; MARCOVANI, M. D. A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5ª. ed. São Paulo: Atlas, v. I, 2003.

MARTINEWSKI, A. **Máquinas elétricas: motores, geradores e partidas**. 1ª. ed. São Paulo: Érica, v. I, 2017. 160 p.

MEPEL. Mepel/Produtos. **Mepel.ind**. Disponível em: <<https://mepel.ind.br/produto/distribuidor-de-adubo-organico-liquido-com-incorporador/>>. Acesso em: 05 Nov. 2020.

MOTORES, H. Motores Elétricos Hercules. **Hercules Motores**, [2020?]. Disponível em: <<https://www.herculesmotores.com.br/>>. Acesso em: 05 Junho 2020.

MUNARI, B. **Das Coisas Nascem as Coisas**. Tradução de José Manuel Vasconselos. Lisboa: Edições 70, v. I, 1981. ISBN 972-44-0160-X.

NORTON, R. L. **Cinemática e Dinâmica dos Mecanismos**. Tradução de Alessandro P de Medeiros. 1ª. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, v. I, 2010. 812 p. ISBN 978-85-63308-19-1.

PETRUZELLA, F. D. **Motores elétricos e acionamentos**. Tradução de José Lucimar do Nascimento. I. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, v. I, 2013. 359 p. ISBN 978-85-80555-257-7.

REDUTORES, I. Redutores IBR. **Redutores IBR**, [2020?]. Disponível em: <<https://www.redutoresibr.com.br/>>. Acesso em: 8 Maio 2020.

SILVA, M. J. **Processo de Aplicação de fluidos em profundidade com mínima mobilização do solo**. Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2013.

SNA. SNA.Agr. **sna.agr.br**. Disponível em: <<https://www.sna.agr.br/?s=gotejamento>>. Acesso em: 22 Out. 2020.

ULTRASAFRA. Ultrasafra Fertilizantes. **Ultrasafra Fertilizantes**, 2020. Disponível em: <<https://www.ultrasafra.com.br/produtos/solo/npkliquido/>>. Acesso em: 24 Mai. 2020.

WEG. Catálogo OnLine da Weg. **Weg**. Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/c/BR_WDC_INVERTERCFW300/list>. Acesso em: 20 Jun. 2021.

WOMAC, A. R.; TOMPKINS, F. D. **Probe-Type injector for fluid fertilizers**. St. Joseph. 1990.

YAHUA, L. et al. **Optimal design and Analysis on Pricking Hole Mechanism with planetary Elliptic Gears for Deep- Fertilization Liquid Fertilizer Applicator**. Second International Conference on Digital Manufacturing & Automation. [S.l.]: [s.n.]. 2011.

ZHENG, W. et al. Development of a liquid-jet nozzle for fertilizer injection in paddy fields Using CFD. **Elsevier- Computers and Eletronics in Agriculture**, Guangshow, p. 167, 2019.

ANEXO A

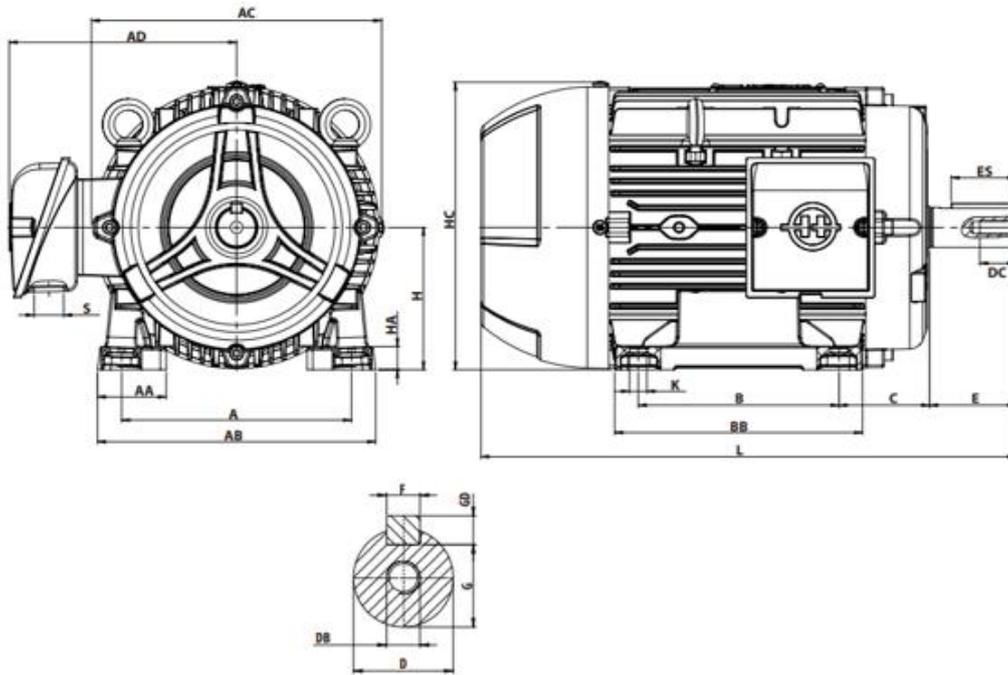
Dados técnicos do redutor utilizado no projeto

063									
n_2 (RPM)	i	P_{Mot} (cv)	M_{2M} (Nm)	$f.s.$	P_{Nom} (cv)	M_{2Nom} (Nm)	η (%)	$FR1$ (N)	$FR2$ (N)
340	5	3	56,4	1,8	5,43	102	91	550	1840
226,7	7,5	3	80,9	1,5	4,50	121	87		2050
170,0	10	3	106,6	1,2	3,60	127	86		2170
113,3	15	2	104,1	1,2	2,40	124	84		2420
85,0	20	2	133,8	1,0	2,00	133	81		2800
68,0	25	1,5	120,8	1,2	1,80	145	78		2940
56,7	30	1,5	137,5	1,1	1,65	151	74		3050
42,5	40	1	117,3	1,3	1,30	152	71		3490
34,0	50	1	138,4	1,1	1,10	152	67		3830
28,3	60	0,75	117,1	1,1	0,83	128	63		4020
21,3	80	0,5	94,2	1,3	0,65	122	57		4500
17,0	100	0,5	105,3	1,1	0,55	115	51		4890

Fonte: IBR redutores, (2020)

ANEXO B

Dados técnicos do motor utilizado no projeto



Potência		Carcaça	RPM	Corrente nominal em 230V (A)	Corrente sob carga (A)	Conjugado nominal Cn (kgm)	Conjugado sob carga Cc (kgm)	Conjugado máximo Cmax/Ce	Rendimento η %						Fator de potência Cos φ	Fator de serviço FS	Momento de inércia J (kgm²)	Temp. (°C)	Peso (kg)	Tensão (V)	Código HM
cv	kW								50	75	90	100	75	90							
0,16	0,12	63	1720	0,8	4,2	0,07	2,4	3,0	94,3	82,8	86,0	0,43	0,54	0,62	1,25	0,00042	12	6,1	220/380	80.8504.001	
0,25	0,18	63	1685	1,0	4,5	0,10	3,0	3,1	94,0	86,8	89,7	0,47	0,59	0,68	1,25	0,00042	12	6,5	220/380	80.8504.003	
0,33	0,25	63	1700	1,4	4,7	0,14	3,0	3,2	95,1	70,8	73,4	0,44	0,56	0,65	1,25	0,00048	12	6,9	220/380	80.8504.003	
0,33	0,25	71	1700	1,4	5,0	0,14	2,3	2,8	96,4	72,3	73,4	0,46	0,57	0,65	1,25	0,00062	10	7,5	220/380 ou 220/380/440	80.8504.004 ou 80.8504.404	
0,5	0,37	71	1685	1,8	5,0	0,21	2,9	2,9	70,8	75,3	78,2	0,52	0,63	0,70	1,25	0,00113	10	8,8	220/380 ou 220/380/440	80.8504.006 ou 80.8504.406	
0,75	0,55	71	1670	2,9	5,0	0,32	2,8	2,8	75,5	78,8	79,0	0,53	0,63	0,70	1,25	0,00127	10	10,3	220/380 ou 220/380/440	80.8504.008 ou 80.8504.408	
0,75	0,55	86S	1740	3,0	5,0	0,31	2,8	3,3	88,9	75,8	79,0	0,56	0,61	0,61	1,25	0,00187	8	9,9	220/380 ou 220/380/440	80.8504.007 ou 80.8504.407	
1	0,75	86S	1730	3,1	6,7	0,41	2,8	3,3	80,7	82,6	83,0	0,52	0,68	0,75	1,25	0,00258	8	12,0	220/380 ou 220/380/440	80.8504.008 ou 80.8504.408	
1,5	1,1	86ML	1730	4,8	7,0	0,61	3,1	3,8	81,6	83,5	84,0	0,52	0,65	0,74	1,25	0,00343	8	15,3	220/380 ou 220/380/440	80.8504.009 ou 80.8504.409	
1,5	1,1	96S	1745	4,8	7,5	0,60	3,2	3,6	82,6	86,3	86,5	0,53	0,66	0,73	1,25	0,00382	8	15,9	220/380/440	80.8504.410	
2	1,5	96S	1740	6,1	7,5	0,81	3,2	3,5	82,4	86,2	86,5	0,54	0,67	0,75	1,25	0,00434	8	17,4	220/380/440	80.8504.411	
3	2,2	96ML	1730	8,8	7,5	1,22	2,9	2,8	84,8	87,2	87,5	0,58	0,71	0,78	1,25	0,00505	8	19,4	220/380/440	80.8504.412	
3	2,2	100S	1740	8,8	8,5	1,21	2,3	3,1	87,3	89,5	89,5	0,58	0,70	0,77	1,25	0,00659	8	27,5	220/380/440	80.8504.413	
4	3	100S	1740	11,1	7,5	1,62	2,5	3,3	86,3	89,4	89,5	0,54	0,68	0,74	1,25	0,00750	8	20,9	220/380/440	80.8504.414	
5	3,7	100ML	1750	15,7	7,6	2,01	2,9	3,9	86,8	89,6	89,5	0,50	0,62	0,70	1,25	0,00909	8	34,2	220/380/440	80.8504.415	
5	3,7	112S	1760	14,3	8,5	2,50	2,8	3,9	88,2	89,3	89,5	0,56	0,69	0,77	1,25	0,01351	8	41,7	220/380/440	80.8504.418	
6	4,5	112S	1750	16,3	8,5	2,41	2,1	3,5	88,6	89,3	89,5	0,63	0,74	0,81	1,25	0,01433	8	43,2	220/380/440	80.8504.417	
7,5	5,5	112ML	1750	21,0	8,5	3,00	2,1	3,9	89,8	90,5	91,0	0,58	0,71	0,78	1,25	0,01600	8	47,2	220/380/440	80.8504.418	
7,5	5,5	132S	1765	18,3	7,3	2,38	2,0	4,0	90,4	91,8	91,7	0,69	0,80	0,83	1,25	0,03879	8	61,2	220/380/440	80.8504.419	
10	7,5	132S	1765	25,5	7,5	3,98	1,8	3,5	89,3	90,7	91,7	0,63	0,76	0,82	1,25	0,04398	8	65,3	220/380/440	80.8504.420	
12,5	9,2	132ML	1760	31,2	7,5	4,97	1,7	3,4	90,0	91,1	92,4	0,64	0,76	0,82	1,25	0,05198	8	71,8	220/380/440	80.8504.421	
15	11	132ML	1760	39,6	7,5	5,96	1,7	3,3	90,3	91,0	92,4	0,62	0,74	0,81	1,25	0,05445	8	74,2	220/380/440	80.8504.422	

Fonte: Motores Hercules, (2020)

ANEXO C

Dados técnicos do inversor de frequência



Selecione

INVERSOR CFW300B10P0B2DB20

Produto: 13059419

Especificações técnicas

Tensão nominal de entrada	200-240 V
Número de Fases de entrada	Monofásico/Trifásico
Corrente nominal (ND)	10 A
Corrente nominal (HD)	10 A
Grau de proteção	IP20
Frenagem reostática	Standard com frenagem

Fonte: Weg, (2021)