UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

RAFAELA PAULA MELO

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO DE UMA SEMEADORA PUNCIONADORA PARA AGRICULTURA FAMILIAR

FORTALEZA

2017

RAFAELA PAULA MELO

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO DE UMA SEMEADORA PUNCIONADORA PARA AGRICULTURA FAMILIAR

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Albiero

FORTALEZA

2017

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

M486d Melo, Rafaela Paula.
Desenvolvimento e avaliação do protótipo de uma semeadora puncionadora para agricultura familiar / Rafaela Paula Melo. – 2017.
134 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Daniel Albiero.

1. Análise de Modos e Efeito de Falha. 2. Controle de qualidade. 3. Punção. I. Título.
CDD 630

RAFAELA PAULA MELO

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO DE UMA SEMEADORA PUNCIONADORA PARA AGRICULTURA FAMILIAR

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Aprovada em: 12/04/2017.

BANCA EXAMINADORA

_____
Prof. Dr. Daniel Albiero (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

_____
Prof. Dr. Antônio Lilles Tavares Machado
Universidade Federal de Pelotas (UFPEL)

_____
Prof. Dr. Angel Pontin Garcia
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

_____
Prof. Dr. Max César de Araújo
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

_____
Prof. Dr. Carlos Alessandro Chioderoli
Universidade Federal do Ceará (UFC)

“Dedico ao grande Eu Sou por seu verdadeiro amor, por ter me aperfeiçoado em meio às fraquezas e adversidades enfrentadas, assim como um oleiro que molda seus vasos com paciência, bondade e misericórdia”.

Ofereço aos meus pais Verônica Paula Melo e Manoel de Oliveira Melo que por vezes abriram mão de seus objetivos em prol de persistirem pelos sonhos de seus filhos. Muito obrigado! Amo vocês

AGRADECIMENTOS

A Deus por sua graça, que fez me crescer, por ter me ensinado a viver pela fé, por nunca ter permitindo que eu desistisse ou desanimasse em meio ao deserto, por ter me permitindo sonhar e concretizar meus ideais mesmo que pequena, por ter feito o que ninguém podia imaginar, te agradeço por todo seu amor e por ter me surpreendido com o teu cuidado. Obrigada por ser meu porto seguro.

Aos meus pais Verônica Paula Melo e Manoel de Oliveira Melo sem qual o apoio a realização deste sonho não seria possível, embora todas as dificuldades enfrentadas ao longo da jornada os dois sempre me incentivaram a estudar para realizar meus objetivos, obrigada pelo amor, respeito e ensinamentos adquiridos ao longo da vida.

Aos meus irmãos Emanuela Paula Melo, Daniela Paula Melo e Daniel Paula Melo, pelo amor, carinho, compreensão e por todas as experiências vividas que nos fizeram crescer e nos fortalecer ao longo dos anos;

As minhas tias Rosa Melo, Marlene Melo, Verenice Paula,Vera Paula e a minha prima Adriana que contribuíram para que esse sonho pudesse ser realizado;

As minhas avós Francisca de Oliveira Melo e Terezinha Lucina de Oliveira que em momentos difíceis foram às colunas que sustentaram a família e que tiveram grande contribuição para mais essas conquista, muito obrigado pelo amor que sempre me foi dedicado;

As minhas primas Luiza Souza e Veridiana Paula pela constante torcida, amizade e respeito;

A Aline Castro, Eduardo Santos Cavalcante e Francisco Ronaldo pelos bons momentos compartilhados durante o curso, pela amizade e carinho;

A Henryque Cândido do Nascimento que contribuiu de forma significativa para a elaboração do protótipo e para os ensaios em campo, obrigada pela amizade, paciência e companheirismo durante essa jornada;

A Denise de Castro e a Jameson Guedes por sua amizade sincera desde o início da faculdade, obrigada pelo carinho que me foi dado;

A Graciane Garcia Braga, por ter contribuído durante os ensaios em campo, por suas constantes orações para que eu pudesse alçar vôos mais altos, obrigada por sua amizade e respeito.

Ao Colégio Centro Educacional Cenecista Luzardo Viana pelos ensinamentos adquiridos durante minha educação escolar, obrigada pelas instruções e

ensinamentos que contribuíram para a realização deste sonho. Agradeço e em especial a diretora Ângela Maria Fonseca de Abreu Viana que sempre foi cordial.

Ao meu orientador Prof. Dr. Daniel Albiero que foi um divisor de águas nos meus estudos, sempre me apoiando e acreditando que eu poderia ir muito mais além, obrigado por ter compartilhado seus ensinamentos que me possibilitaram crescer e evoluir. Agradeço pela confiança, respeito, admiração e conselhos.

Aos professores do Departamento de Engenharia Agrícola pelos ensinamentos compartilhados durante o curso de doutorado, dentre eles: Carlos Alessandro Chioderoli, Danilo Loureiro, Leonardo de Almeida e José Antônio Delfino Barbosa Filho;

Ao senhor Sandoval que sempre contribuiu de forma significativa durante os trabalhos realizados em campo, por sua amizade e carinho;

Aos professores Antônio Lilles Tavares Machado, Angel Pontin Garcia, Max César de Araújo e Carlos Alessandro Chioderoli pela colaboração e sugestões para a melhoria do trabalho.

Aos colegas do curso de pós-graduação por todas as informações compartilhadas que contribuíram para o crescimento durante o curso dentre eles: Karla Lúcia Batista, Elivânia Maria Souza, Deivielison Siqueira, Viviane Castro, Marília Lessa, Isabela Oliveira, obrigado pela amizade e carinho;

A Universidade Federal do Ceará pela oportunidade de cursa o doutorado no Programa Pós-Graduação em Engenharia Agrícola;

Ao Grupo de Pesquisas em Energia e Máquinas para a Agricultura do Semiárido (GEMASA) pelas experiências e conhecimentos compartilhados ao longo do curso;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUCAP) pela concessão da bolsa de doutorado.

Aqueles que semeiam com lágrimas, com cantos de alegria colherão. Aquele que sai chorando enquanto lança a semente, voltará com cantos de alegria, trazendo seus feixes".

Salmos 126:5-6

RESUMO

A agricultura familiar é responsável por grande parte dos alimentos consumidos pelos brasileiros, por isso possui papel de destaque na produção agrícola do país. Entretanto os agricultores familiares convivem com uma situação peculiar no que se refere aos níveis de tecnologias adotadas no sistema de produção, pois grande parte da agricultura familiar ainda utiliza equipamentos agrícolas com baixo nível tecnológico. Portanto, é necessário realizar a inclusão de tecnologias que contribuam com a elevação da qualidade do trabalho agrícola familiar, desta forma pesquisas vem sendo desenvolvidas para elaborar semeadoras que realizem o processo de semeio em covas equidistantes, tendo em vista proporcionar um sistema de distribuição confiável e preciso, pois semeadoras dotadas com sistema de punção revolvem menos o solo, além de depositarem as sementes em contato direto com o mesmo. O objetivo do trabalho foi projetar, construir e avaliar o desempenho do protótipo de uma semeadora puncionadora para a agricultura familiar. O ensaio foi realizado na área experimental do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará em um solo classificado como Argissolo Vermelho-amarelo. Realizaram-se ensaios de campo para verificação do desempenho do protótipo obtendo- se resultados satisfatórios no que se refere à distribuição de sementes e fertilizante. Foi utilizada a estatística descritiva básica para avaliar os seguintes parâmetros: média, desvio padrão, coeficiente de variância, coeficientes de simetria e curtose. O Controle Estatístico do Processo (CEP) foi adotado para avaliar o controle de qualidade do processo de distribuição de sementes e fertilizante. A Análise do Modo de Falha e seus Efeitos (FMEA) foi utilizada para propor as modificações necessárias para a melhoria do projeto. O protótipo apresentou ótimo índice de distribuição de sementes, pois obteve 90,2% de espaçamentos aceitáveis e o processo de distribuição de fertilizante atendeu as especificações para qual foi regulado. O estudo de qualidade realizado por meio do CEP indicou a adequação do processo de semeadura aos padrões de qualidade. A FMEA listou as falhas críticas do projeto, obtendo soluções em função da gravidade dos seus efeitos possibilitando o aperfeiçoamento do protótipo.

Palavras-chave: Análise de Modos e Efeito de Falha. Controle de qualidade. Punção.

ABSTRACT

Family-based agriculture is responsible for most food consumed in Brazil, thus it takes an important part in the country's agricultural production. However, family-based farmers deal with peculiarities regard to the technology levels adopted by the production system since most of the family-based farms still make use of agricultural equipment of low technology levels. Therefore, the inclusion of technologies that contribute with the boost of labor quality in family-based agriculture is necessary. In that way, researches are being conducted for designing seeders able to perform sowing process in equidistant holes that allow reliable and precise distribution since seeders equipped with punch system cause less soil to revolve and provide a direct contact with the soil. This work aimed to design, build and evaluate the performance of punch seeder prototype for family-based agriculture. The test took place at the experimental field of Department of Agricultural Engineering of Federal University of Ceará. The soil was classified as Yellow-Red Clay Soil. Field trials were conducted in order to verify the prototype's performance. Satisfactory results were obtained regarding seeds and fertilizer's distribution. Basic descriptive statistic was used to evaluate the following parameters: mean, standard deviation, coefficient of variance, coefficients of symmetry and kurtosis. The Statistical Process Control (SPC) was meant to evaluate the quality process control of seed and fertilizer distribution. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) was employed in order to propose modifications needed for project's improvement. The prototype presented an optimum index of seed distribution, as it obtained 90.2% acceptable spacing and the fertilizing process met the specifications according to its adjustment Quality study conducted by SPC indicated the adequacy of sowing process with quality standards. The project's critical failures were listed through the FMEA and solutions were obtained according to the severity of their effects, allowing prototype's improvement.

Keywords: Failure Mode and Effect Analysis. Quality Control. Punch system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Semeadora puncionadora à tração humana 26

Figura 2 – Projeto conceitual de uma semeadora puncionadora 27

Figura 3 – Semeadora puncionadora desenvolvida para mulheres da África 27

Figura 4 – Constituintes da patente da semeadora puncionadora de multiculturas 36

Figura 5 – Cabeçalho de arraste da semeadora 36

Figura 6 – Órgãos ativos da semeadora puncionadora 37

Figura 7 – Constituintes do sistema distribuidor de fertilizante 37

Figura 8 – Constituintes do sistema distribuidor de sementes 38

Figura 9 – Constituintes do mecanismo de abertura de covas 39

Figura 10 – Área experimental 46

Figura 11 – Protótipo da semeadora puncionadora 48

Figura 12 – Sistema responsável pela deposição das sementes em covas (a) e eixo de acionamento do cames (b) 48

Figura 13 – Perfilômetro utilizado para fazer o levantamento do perfil do solo 50

Figura 14 – Estrutura de funções para a deposição de sementes 53

Figura 15 – Estrutura de funções para a deposição de fertilizante 55

Figura 16 – Desenho preliminar do protótipo da semeadora puncionadora 57

Figura 17 – Desenho conceitual dos componentes do protótipo inicial 57

Figura 18 – Desenho conceitual do sistema de transmissão do distribuidor de sementes 58

Figura 19 – Detalhes do mecanismo de abertura do distribuidor de sementes 58

Figura 20 – Detalhes da modificação do mecanismo de abertura do distribuidor de sementes 59

Figura 21 – Detalhes da modificação do posicionamento da base para o acionamento do sistema puncionador 60

Figura 22 – Curvas características de operação para diferentes valores de n para o teste em frente e verso normal para um nível de significância α=0,05 61

Figura 23 – Esquema da área experimental e avaliação da distribuição das sementes 62

Figura 24 – Avaliação da distribuição longitudinal de sementes de milho 63

Figura 25 – Avaliação da profundidade de deposição das sementes 63

Figura 26 – Coleta da densidade de fertilizante (a) e amostras sendo pesadas em balança digital 64

Figura 27 – Análise de tensões no chassi do protótipo da semeadora 76

Figura 28 – Análise da deformação no chassi do protótipo da semeadora 77

Figura 29 – Análise de tensões no eixo do protótipo da semeadora 77

Figura 30 – Análise da deformação no eixo do protótipo da semeadora 78

Figura 31 – Análise de tensões no eixo do protótipo da semeadora com aço 1050 79

Figura 32 – Análise da deformação no eixo do protótipo da semeadora com aço 1050 79

Figura 33 – Análise de tensões do sistema puncionador para deposição de sementes 80

Figura 34 – Análise da deformação do sistema puncionador para deposição de sementes . 80

Figura 35 – Análise de tensões no sistema de abertura do puncionador 81

Figura 36 – Gráfico de controle do espaçamento entre sementes do protótipo 86

Figura 37 – Análise da capacidade efetiva do espaçamento entre sementes do protótipo ... 87

Figura 38 – Gráfico de controle da profundidade de deposição de semente 90

Figura 39 – Análise da capacidade efetiva da profundidade de deposição de sementes 90

Figura 40 – Gráfico de controle da profundidade de deposição de fertilizante 93

Figura 41 – Análise da capacidade efetiva da profundidade de deposição de fertilizante ... 93

Figura 42 – Gráfico de controle da densidade de distribuição de fertilizante do protótipo . 96

Figura 43 – Análise da capacidade efetiva da distribuição de fertilizante do protótipo 97

Figura 44 – Fluxograma das etapas necessárias para o processamento de semeadura (continua) 103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades físicas da área experimental 47

Tabela 2 – Coroas dentadas utilizadas para obter o espaçamento entre sementes 49

Tabela 3 – Coroas dentadas utilizadas na transmissão da densidade de fertilizante 49

Tabela 4 – Metodologia recomendada para a avaliação dos espaçamentos entre sementes 65

Tabela 5 – Convenções de fases no processo de projetar 69

Tabela 6 – Formulário FMEA 70

Tabela 7 – Critério de análise para determinar a severidade (gravidade) da falha 71

Tabela 8 – Critério de análise para determinar a capacidade de detecção da falha 71

Tabela 9 – Critério de análise para determinar a ocorrência da falha 72

Tabela 10 – Equipe multidisciplinar para elaboração do FMEA 73

Tabela 11 – Avaliação de espaçamentos duplos, falhos, aceitáveis do protótipo da semeadora puncionadora 82

Tabela 12 – Estatística descritiva básica da distribuição longitudinal de sementes 84

Tabela 13 – Estatística da profundidade de deposição de sementes 88

Tabela 14 – Estatística descritiva básica da profundidade de deposição de fertilizante 91

Tabela 15 – Estatística descritiva básica da densidade de fertilizante 94

Tabela 16 – Estatística descritiva básica da área mobilizada por uma semeadora manual, sulcador de disco e puncionador 98

Tabela 17 – Análise de variância da área mobilizada pela semeadora manual, sulcador e puncionador 98

Tabela 18 – Teste de médias da área mobilizada pela matraca, disco sulcador e puncionador em um Argissolo Vermelho-amarelo 99

Tabela 19 – Falhas críticas em função da prioridade de risco do protótipo da semeadora . 107

Tabela 20 – Análise de Efeitos e Modos de Falha do protótipo da semeadora (Continua) . 127

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	15
2	**HIPÓTESE**	17
3	**OBJETIVO**	17
3.1	**Objetivo geral**	17
3.2	**Objetivos específicos**	17
4	**REVISÃO DE LITERATURA**	18
4.1	**O Semiárido Brasileiro**	18
4.2	**Agricultura familiar no Brasil**	20
4.3	**Implatação de culturas**	21
4.4	**Semeadora**	23
4.5	**Sistemas puncionadores**	24
4.6	**Inovação tecnológica**	28
4.7	**Projetos de máquinas agrícolas**	29
4.8	**Patente da semeadora puncionadora**	32
4.8.1	***Fundamentos da invenção***	32
4.8.2	***Descrição da patente***	35
4.9	**Controle de qualidade em operações agrícolas**	39
4.10	**Controle Estatístico do Processo (CEP)**	40
4.11	**Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA)**	42
5	**MATERIAL E MÉTODOS**	46
5.1	**Local de estudo**	46
5.2	**Propriedades física do solo**	46
5.3	**Protótipo da semeadora**	47
5.4	**Sistemas de transmissão do protótipo**	48
5.5	**Área mobilizada**	50
5.6	**Medologias utilizadas para o desenvolvimento da semeadora**	51
5.6.1	***Análise de sistemas técnicos conhecidos***	51
5.6.2	***Função síntese***	51
5.6.2.1	*Projeto informacional*	51
5.6.2.2	*Projeto conceitual da semeadora*	53
5.6.2.2.1	Dosar semente	53
5.6.2.2.2	Transportar semente	54
5.6.2.2.3	Depositar a semente	54

5.6.2.2.4 Abrir covas 54
5.6.2.2.5 Controle da profundidade 54
5.6.2.2.6 Cobrir covas 55
5.6.2.2.9 Abrir sulco 56
5.6.2.2.10 Controle da profundidade 56
5.6.2.2.11 Cobrir sulco 56
5.6.2.3 Projeto preliminar 56
5.6.2.4 Projeto detalhado 59
5.7 Planejamento estatístico 60
5.8 Avaliação da distribuição e profundidade de deposição de semente 62
5.9 Avaliação da profundidade de deposição de fertilizante 64
5.10 Avaliação da densidade de distribuição de fertilizante 64
5.11 Avaliação do espaçamento entre sementes 65
5.12 Velocidade de deslocamento 65
5.13 Reservatório da semeadora 66
5.14 Índice de deslizamento da roda de acionamento da semeadora 66
5.15 Capacidade de campo efetiva 66
5.16 Capacidade operacional 67
5.17 Eficiência de campo 67
5.18 Estatística 68
5.19 Metodologias para avaliação de qualidade 68
5.19.1 Controle Estatístico do Processo (CEP) 68
5.20 Análise de Efeitos e Modos de Falha (FMEA) 69
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO 74
6.1 Análise de tensão e deformação do protótipo 74
6.2 Avaliação do protótipo 82
6.2.1 Distribuição longitudinal de sementes 82
6.2.2 Profundidade de deposição de sementes 88
6.2.3 Profundidade de deposição de fertilizante 91
6.2.4 Densidade de distribuição de fertilizante 94
6.2.5 Área mobilizada pelo protótipo 97
6.2.6 Desempenho operacional do protótipo 100
6.3 Análise do Modo e Efeito de Falhas (FMEA) 101
7 CONCLUSÃO 112

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 113
REFERÊNCIAS 114
APÊNDICE A- ANÁLISE DE EFEITOS E MODOS DE FALHA (FMEA) DO PROTÓTIPO DA SEMEADORA PUNCIONADORA QUE POSSIBILITOU UMA ANÁLISE DETALHADA E PERMITIU LISTAR AS FALHAS CRÍTICAS DO PROJETO 127
APÊNDICE B- DESENHO TÉCNICO DO PROTÓTIPO DA SEMEADORA PUNCIONADORA 130
APÊNDICE C- DESENHO TÉCNICO DOS COMPONENTES DO EIXO CAMES DO PROTÓTIPO 131
APÊNDICE D- DESENHO TÉCNICO DO SISTEMA PUNCIONADOR PARA REALIZAR A ABERTURA DE COVAS 132

1 INTRODUÇÃO

A agricultura familiar caracteriza-se por possuir estabelecimentos rurais com até quatro módulos fiscais, a mão de obra utilizada é predominantemente familiar, com renda obtida por meio das atividades desenvolvidas na propriedade sendo a organização gerencial da produção realizada por um membro da família.

Este segmento possui papel de destaque na produção agrícola do país, desta forma a mecanização agrícola é importante para o desenvolvimento da agricultura familiar, tendo-se em conta que existem poucas semeadoras capazes de apresentar desempenho satisfatório aos mesmos.

Os equipamentos disponíveis para os agricultores familiares, em sua maioria, possuem problemas relacionados à ergonomia, custo de aquisição, dificuldade de operação e manutenção, inadequação ou a falta de equipamentos para as condições da agricultura familiar, além de muitas vezes apresentarem baixa qualidade de operação de semeadura.

Desta forma, faz-se necessário o desenvolvimento de equipamentos voltados para agricultura familiar, utilizando-se tecnologias que possam contribuir com a elevação da qualidade do trabalho, além do desenvolvimento e adaptação de novas máquinas que possibilitem a estes agricultores aumentar sua produção e produtividade.

O uso de um sistema mecanizado permite que o processo de semeadura seja realizado de forma eficiente aumentando a utilização e produtividade da propriedade. Para tanto o processo de semeadura tem que ser realizado de forma correta, tendo-se em vista que o uso incorreto de máquinas agrícolas somado com a introdução de práticas inadequadas ocasiona a degradação do solo.

Os solos cearenses em geral são pouco profundos o que contribui para que os mesmos sejam suscetíveis a processos erosivos em virtude de suas características morfológicas, químicas e físicas, sendo assim há uma preocupação em relação à utilização de práticas conservacionistas aliadas ao uso de máquinas adaptadas às condições destes solos.

Portanto, faz-se necessário a implantação de novas tecnologias que busque um modelo de produção agrícola onde prevaleça a conservação e o manejo dos recursos naturais, desta forma as semeadoras que possuem sistema puncionador podem ser uma alternativa para agricultura familiar cearense, pois possibilitam o menor revolvimento

do solo e da cobertura morta o que contribui para a conservação do solo, requisitos que são essências para agricultura conservacionista.

Semeadoras puncionadoras tem por função realizar a abertura de covas para posterior deposição de sementes de forma simultânea. Portanto, estas semeadoras semeiam de forma pontual o que aumenta a possibilidade de elevar à produtividade de culturas sensíveis a uniformidade de distribuição entre plantas, além de promover maior precisão no posicionamento das sementes no solo.

Há várias pesquisas sendo desenvolvidas com o objetivo de projetar semeadoras puncionadoras para realizar o processo de semeio em covas equidistantes para a agricultura familiar, tendo em vista proporcionar um sistema de distribuição confiável, preciso, de fácil manutenção e operação para aumentar o lucro do agricultor.

Diante do exposto, buscou-se desenvolver a concepção de um protótipo de uma semeadora puncionadora, para a agricultura familiar, por meio de princípios de soluções já existentes comercialmente visando aumentar a eficiência no processo de distribuição de sementes.

2 HIPÓTESE

É possível desenvolver o projeto de uma semeadora-adubadora, para a agricultura familiar, com um sistema puncionador que apresente eficiência no processo de distribuição de sementes.

3 OBJETIVO

3.1 Objetivo geral

Projetar, construir e avaliar o desempenho do protótipo de uma semeadora puncionadora para a agricultura familiar.

3.2 Objetivos específicos

Verificar o desempenho do protótipo da semeadora em campo;

Verificar através das ferramentas do Controle Estatístico do Processo (CEP) a variabilidade de distribuição longitudinal de sementes e fertilizante;

Analisar o protótipo da semeadora puncionadora por meio da Análise do Modo de Falha e seus Efeitos (FMEA) para propor modificações que melhorem o projeto;

Verificar se o protótipo da semeadora, com sistema puncionador, promove o menor revolvimento do solo.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 O Semiárido Brasileiro

As regiões semiáridas são caracterizadas, de modo geral, pela aridez do clima, pela deficiência hídrica, com a imprevisibilidade das precipitações pluviométricas e pela presença de solos pobres em matéria orgânica. Conforme essa definição o grau de aridez de uma região depende da quantidade de água advinda da chuva e da temperatura que influência a perda de água por meio da evapotranspiração potencial (SILVA, 2006).

O seminário brasileiro possui uma realidade complexa, pois apresenta diferenças significativas, visto que Aziz Ab'Sáber (1999) destaca a existência de quatro faixas regionais do interior do semiárido: as faixas semiáridas acentuadas ou subdesérticas (conhecidas como sertão bravo); as faixas semiáridas rústicas ou semiáridas típicas (os altos sertões); as faixas semiáridas moderadas (caatingas agrestadas) e as subáreas de transição ou faixas subúmidas (os agrestes), isso faz com que estas diversidades edafoclimáticas tragam vantagens comparativas para a região, no entanto o aproveitamento dessas vantagens exige adoção de mudanças para intervir nessa realidade.

Devido ao desconhecimento da complexidade do solo do semiárido, ocorre a introdução de práticas agropecuárias inadequadas o que ocasiona a degradação ambiental no semiárido (SILVA, 2006).

A introdução de práticas econômicas e tratos culturais inadequados à região semiárida como a excessiva exploração dos recursos naturais e a ausência dos estudos voltados para sua realidade faz com que os agricultores continuem insistindo em cultivar em ambientes impróprios (SILVA, 2007).

Neste sentido, é necessário que novas tecnologias sejam implementadas buscando-se um novo modelo de produção agrícola, onde prevaleça a conservação e o manejo dos recursos naturais sustentáveis (ANDRADE *et al*., 2010).

No que se refere ao uso de máquinas agrícolas no semiárido sabe-se que os equipamentos tradicionais como trator, grade, arado, subsoladores e semeadoras são utilizados sem levar em conta as características do solo (SANTOS, 2010).

Segundo Andrade (2010) os solos do semiárido nordestino são heterogêneos, apresentando mosaico de variações em pequenas áreas, os mesmos

possuem limitações ao uso agrícola devido à acentuada utilização do solo por práticas agrícolas inadequadas.

Para Silva (2007) é no semiárido que se encontram as maiores extensões de áreas em processo de desertificação no Brasil, principalmente no que se refere à perda gradual da fertilidade biológica do solo, isso se deve ao cultivo inadequado da terra, associado às variações climáticas e às características do solo.

Portanto, a convivência com o semiárido apresenta-se como uma ferramenta para encontrar estratégias no intuito de construir e experimentar alternativas que sejam apropriadas, buscando-se aprender a conviver com as especificidades ambientais do semiárido, além de formular sugestões que visem à promoção e o alcance do desenvolvimento sustentável (SILVA, 2006).

O autor ainda afirma que a convivência com o semiárido busca o desenvolvimento sustentável tendo por finalidade a melhoria das condições de vida por meio de iniciativas socioeconômicas e tecnologias apropriadas compatíveis com a preservação e renovação dos recursos naturais. Salienta ainda que a convivência com o semiárido é possível desde que se adaptem as características da região, levando em conta a elaboração e a sistematização de tecnologias e métodos desenvolvidos para potencializar a utilização dos recursos de forma correta durante a atividade agrícola (SILVA, 2006).

Desta forma, considerando as características do solo do semiárido se faz necessário o desenvolvimento de novas máquinas agrícolas ou a adaptação destas a especificidade do semiárido, pois uso de máquinas e equipamentos agrícolas de forma incorreta vêm acarretando a degradação e consequente desertificação do solo das regiões semiáridas (ALBIERO, 2015).

Dentre os programas de desenvolvimento agrário que tem por objetivo a sustentabilidade do solo do semiárido o Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos (2011) destaca o programa de práticas agrícolas conservacionistas que visa desenvolver ações para a implementação de tecnologias alternativas de convivência com o semiárido, para dar sustentação aos agroecossistemas e manter o equilíbrio dos recursos naturais, solo e água, visando reduzir a vulnerabilidade do clima, proporcionando a melhoria socioeconômica das famílias.

4.2 Agricultura familiar no Brasil

A agricultura familiar pode ser definida segundo a Lei n° 11.326, de 24 de julho de 2006 como os agricultores que desenvolvem suas atividades em estabelecimentos cuja área não exceda quatro módulos fiscais, dirigidos pela própria família, possuindo mão de obra predominantemente familiar e renda obtida das atividades realizadas no estabelecimento rural.

Este segmento tem papel de destaque na produção agrícola do país, pois a maior parte dos alimentos consumidos pelo povo brasileiro é proveniente desta categoria de produtores rurais, onde os mesmos são responsáveis pela produção de 70% do feijão e 46% do milho no Brasil (CONAB, 2012).

Apesar de sua importância, os agricultores familiares encontram várias dificuldades, dentre elas: a escassez de terra, a falta de assistência técnica, a baixa disponibilidade de recursos financeiros, o que acaba limitando o seu desenvolvimento, já que não consegue alcançar o padrão tecnológico necessário para obter maior produtividade (SOUZA *et al*., 2011).

Segundo Barbé (2015) devido à insuficiência de recursos financeiros, comum a muitos desses agricultores, forma-se em um círculo vicioso, já que não possuindo recursos para custear a safra e investir em seus estabelecimentos rurais, não consegue elevar seu lucro, o que impede que novos investimentos sejam realizados.

Outro fato que limita a eficiência de trabalho da agricultura familiar é a falta de equipamentos adequados às condições dos agricultores. De acordo com Albiero (2010) poucas pesquisas têm sido realizadas para atender às demandas, além de haver poucas indústrias que se interessam em explorar o mercado de equipamentos agrícolas deste setor. Tal fato acarreta um sério problema de utilização de trabalho mecânico nas propriedades dos agricultores familiares principalmente em relação à eficiência do trabalho na produção o que ocasiona um ciclo onde a agricultura familiar mal consegue produzir para sua própria subsistência.

A maioria dos agricultores familiares ainda utiliza a mecanização com fonte de tração animal ou humana, sendo assim os mesmos não consegue se inserir de forma eficiente nas grandes cadeias produtivas do Agronegócio Brasileiro (ALBIERO, 2010).

As estratégias de desenvolvimento rural adotadas no Nordeste semiárido caracterizam-se pela baixa eficácia. Há uma grande possibilidade do desaparecimento do enorme potencial de trabalho e de produção, representado pelas unidades agrícolas de base familiar, pois os agricultores familiares não conseguem se apropriar das

inovações técnicas e sociais, capazes de permitir o seu acesso aos mercados, já que esta é condição indispensável à estabilidade e à perenidade das estruturas de produção (EMBRAPA, 2016).

Os agricultores familiares da região do semiárido do Nordeste brasileiro convivem com uma situação peculiar, quando se analisa os níveis de adoção de tecnologia ou técnicas utilizadas em seus sistemas de produção, principalmente devido à diversidade socioeconômica e geoambiental que esta região apresenta. O uso de tecnologias ou técnicas tradicionais que possuem baixa produtividade torna frágil à capacidade produtiva desta região para as condições agroecológicas do semiárido nordestino (EMBRAPA, 2015).

Neste sentido, é necessário à inclusão de novas tecnologias para contribuir com a elevação da qualidade do trabalho agrícola familiar, além do desenvolvimento e adaptação de novas máquinas. Deste modo a inovação tecnológica deverá ter como objetivo o desenvolvimento de pesquisas, disponibilização e apropriação de tecnologias inovadoras que gerem impactos positivos na organização econômica e renda do agricultor familiar.

Para Albiero (2010) se a agricultura familiar tivesse acesso a um sistema mecanizado em que as operações fossem realizadas de forma adequada e com eficiência seria possível realizar o maior aproveitamento da terra consequentemente ocorreria o aumento da produção.

4.3 Implantação de culturas

As semeadoras são destinadas ao plantio de espécies vegetais, que se reproduzem por sementes, na qual as sementes são depositadas no solo a uma profundidade predeterminada, de acordo com a espécie cultivada. O processo de semeadura pode ser realizado no plano, em sulco, em camalhões ou em covas, sendo que a implantação das sementes está associada ao tipo de cultura, as condições de umidade e o combate à erosão (BALASTREIRE, 1990).

A semeadura no plano é utilizada quando as condições de umidade natural são favoráveis, ou seja, se as condições de umidade do solo são boas e estáveis, durante o período de germinação, não prejudicando o desenvolvimento das plantas recomenda-se o plantio em plano (SILVEIRA, 2001).

Por outro lado, a semeadura em sulco é realizada quando as condições de umidade do solo são desfavoráveis podendo até comprometer a germinação da semente,

sendo assim, faz-se necessário promover a maior retenção de água no solo e diminuir a evaporação ocasionada pela temperatura e ventos. O sulco pode ser feito no solo utilizando-se sulcador, o mesmo pode fazer sulcos a uma profundidade de 30 a 40 cm (SILVEIRA, 2001).

Segundo Souza *et al.*, (2013) a distribuição de chuvas na zona semiárida é bastante irregular, sendo assim é muito importante possibilitar o aumento do tempo de oportunidade da água da chuva na área do plantio. Portanto, este fator limita de forma significativa a produção agrícola, chegando a comprometer o rendimento das culturas (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Desta forma, o uso de técnicas para realizar a captação da água da chuva em sulcos é importante, pois beneficia o desenvolvimento das plantas, pois a implantação da cultura em sulco permite a retenção de água o que contribui para o maior rendimento da cultura (OLIVEIRA *et al*., 2010).

Já o sistema de plantio em camalhões caracteriza-se por ser uma técnica adotada em solos que possuem pequena profundidade efetiva para o desenvolvimento do sistema radicular e que apresente médio a alto grau de erosão, sendo também utilizado para realizar a drenagem, após a ocorrência de chuvas intensas e contínuas (EMBRAPA, 2016).

Segundo Millar (1978) esta técnica apresenta como principal vantagem, a elevação do nível do terreno acima do colo das plantas, aumentando o volume de solo explorado pelo sistema radicular, propiciando, assim, um melhor desenvolvimento da cultura além de melhorar a drenagem da área, desta forma o tempo de inundação a que a cultura será submetida irá diminuir quando comparado ao sistema convencional.

No que refere à largura do camalhão, a mesma deve ser feita levando em consideração o espaçamento da cultura que irá ser implantada, somado a distribuição espacial de plantas que proporcione o melhor desempenho produtivo, e das operações mecanizadas realizadas na lavoura (SILVA; DUARTE, 2006).

Outro sistema de plantio bastante utilizado na região semiárida pelos agricultores familiares é a semeadura em covas, no plano, a mesma é feita com o auxílio de uma enxada, este sistema é pouco agressivo ao solo, porém caso o solo a ser trabalhado não seja preparado, a superfície poderá apresenta-se ligeiramente compactada, dificultando a infiltração e facilitando o escoamento superficial, o que contribui para o processo erosivo (EMBRAPA, 2015).

Como grande parte dos agricultores familiares possuem recursos financeiros limitados, o uso de máquinas e implementos de grande porte não é uma prática possível

para muitos agricultores que cultivam em pequenas áreas. Portanto, os mesmos utilizam dispositivos de tração humana ou de operação manual, como semeadoras manuais (RIBEIRO *et al*., 2006).

As semeadoras manuais portáteis também conhecidas como: abre-fecha, matraca, saraquá, tico-tico são bastante utilizadas pela agricultura familiar para realizar o plantio em covas devido à facilidade de operação, a menor mobilização do solo, a baixa demanda de potência, o tamanho e massa, além da possibilidade de realizar o processo de semeadura em diferentes tipos de declividade e desviar de obstáculos, desta forma o agricultor escolhe o local adequado para realizar a semeadura, já que esta é realizada de forma pontual (MOLIN, 1996).

4.4 Semeadora

A idéia de semear utilizando máquinas é bastante antiga, sendo o processo de semeadura uma das primeiras operações agrícola mecanizada dentro do contexto de modernização da agricultura em todos os países do mundo e em todas as épocas (PORTELA, 1997).

A semeadora é considerada por muitos especialistas como um dos equipamentos mais importantes para agricultura, pois o sucesso do estabelecimento de uma cultura depende da mesma, já que se ocorrerem falhas durante o processo de semeadura a produção final das culturas será prejudicada (SILVEIRA, 2001).

Para Copetti (2015) a semeadora deve proporcionar um ambiente propício para que haja o maior contato entre a semente e o solo, desta forma ocorrerá à absorção de água por parte da semente que é essencial para o processo de germinação, além de promover a correta dosagem de sementes para que se obtenha a população de plantas desejadas.

As semeadoras de precisão 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 (ABNT, 1994).

Segundo Balastreire (1990) estas máquinas são conhecidas também como semeadoras-adubadoras, pois ao mesmo tempo e na mesma operação, dosam e depositam as sementes e os fertilizantes no solo.

A operação de semeadura representa um dos principais fatores para o sucesso no da produção, pois a semeadora possibilita o estabelecimento rápido e uniforme da cultura. Para que o processo produtivo obtenha bons resultados é

necessário à tomada de certos cuidados como a manutenção e conservação do equipamento, pois estes são fatores essenciais para o bom rendimento do mesmo (COPETTI, 2004).

Para Mercante *et al*., (2005) a correta dosagem de semente e fertilizante é essencial para o processo de semeadura de qualquer cultura, para isso é necessário a utilização correta de máquinas e equipamentos agrícolas.

Neste sentido, Balastreire (2005) afirma que o solo, a máquina e o clima podem afetar a uniformidade de distribuição de semente, no que se refere à semeadora deve-se levar em consideração o mecanismo dosador, o tipo de sulcador, o tipo de mecanismo de cobertura da semente e a forma de acionamento.

Para a semeadora obter bom desempenho em campo é necessário que a mesma tenha as seguintes características: assegurar o espaçamento adequado das sementes no solo, depositar a sementes da profundidade correta e cobri-las com uma camada de solo, não ocasionar lesões na semente, depositar a quantidade adequada de fertilizante, possibilitar a variação da vazão de sementes, etc. (SILVEIRA, 2001).

De acordo Krzyzanowsk *et al.*,(1991) para se obter precisão no campo durante o processo de semeadura é necessário um bom sistema de distribuição, esse sistema deve ter características básicas como um apurado controle do espaçamento entre sementes dentro de fileiras e profundidade de deposição de sementes adequado.

Para Kurachi *et al*., (1989) quando se trata da distribuição longitudinal de sementes é muito importante avaliar a eficiência das semeadoras existentes no mercado brasileiro por meio da porcentagem de espaçamentos aceitáveis e coeficiente de variação geral da produção de espaçamentos, já que a uniformidade de distribuição de sementes durante o processo de semeadura é de extrema importância para a obtenção de um stand adequado de plantas, consequentemente, para a melhoria da produtividade das culturas.

Portanto, o ensaio de máquinas e equipamentos agrícolas é importante para melhorar os projetos e a concepção de seus componentes, além de contribuir para o controle da qualidade durante as operações agrícolas (ALTMANN *et al*., 2010).

4.5 Sistemas puncionadores

Semeadoras adubadoras possuem mecanismos para realizar o ataque inicial do solo, a abertura do sulco, o controle da profundidade, a dosagem das sementes e fertilizantes (MURRAY *et al*., 2006). Os mecanismos que realizam a abertura do solo

para deposição da semente podem ser divididos em função da maneira que atuam, ou seja, formando um sulco contínuo ou abrindo o solo apenas no local de deposição das sementes (STEFANELLO *et al*., 2014).

Sendo assim, os mecanismos de ataque inicial utilizados para abertura de sulcos podem ser de disco ou haste, os mesmos abrem o sulco para a deposição da semente e do fertilizante na profundidade para qual foram reguladas (MODOLO, 2006). O mecanismo puncionador é utilizado para realizar a deposição de sementes em covas (MOLIN *et al*., 2001).

Segundo Stefanello *et al*.,(2014) as semeadoras dotadas com puncionadores realizam a abertura de covas no solo para deposição das sementes de maneira similar as semeadoras portáteis (matracas), porém de forma automatizada.

Os mecanismos de abertura do sulco são utilizados para garantir a deposição de sementes e fertilizantes no solo em condições adequadas para que haja a germinação e desenvolvimento da planta, desta forma considerando que as condições para o desenvolvimento das culturas dependem do tipo de solo, teor de água, etc., é necessário que o projeto destes mecanismos não seja limitado sempre a uma mesma condição (MILAGRES *et al*., 2015).

Como a preocupação em relação à eficiência dos sistemas de preparo do solo é crescente na agricultura em todo o mundo. Para aumentar a eficiência no processo produtivo, novos sistemas de preparo do solo vêm sendo propostos visando a minimizar ou eliminar as perdas de solo por erosão, características em preparos convencionais de solo (CEPIK *et al*., 2005).

A busca por mecanismo que a realizem o processo de distribuição de sementes de forma uniforme e precisa que revolva menos o solo, que diminua a compactação do mesmo, etc., torna-se cada vez maior. Neste sentido Frabetti *et al*., (2011), afirmam que a semeadora puncionadora apresenta-se com uma alternativa viável, já que revolve menos o solo quando comparada com semeadoras que utilizam hastes e discos sulcadores, além de realizarem a distribuição de sementes de forma pontual. Desta forma garante-se um processo de semeadura uniforme, visto que as punções podem perfurar o solo ou a cobertura vegetal com mais facilidade que os sulcadores, depositando as sementes em contato direto com o solo.

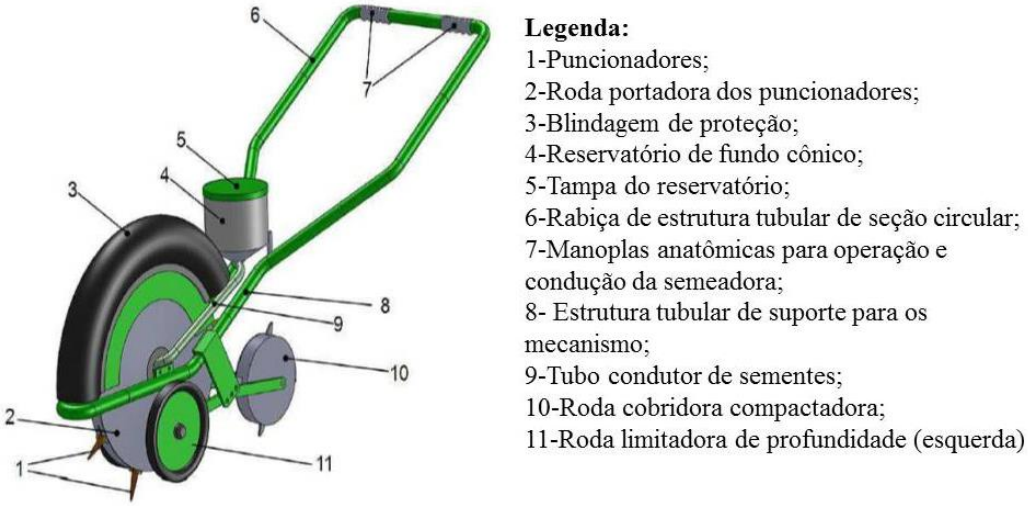
Outro fator que influencia no processo de distribuição são os componentes que entram em contato com o solo, pois os mesmos por vezes encontram dificuldade para vencer a resistência do solo, desta forma falhas são ocasionadas no processo de semeadura. Outro ponto que deve ser levado em consideração, principalmente no

plantio direto, é a força de tração necessária para que a semeadura seja realizada, além do corte da palhada, que por vezes é ineficiente, podendo ocasionar o embuchamento nos componentes de distribuição da semeadora (FRABETTI *et al*., 2011).

Segundo Texeira (2008) a semeadora puncionadora destaca-se pelo baixo revolvimento do solo, além da deposição e distribuição das sementes apresentarem maior uniformidade, já que as mesmas serão semeadas de forma pontual. O autor ainda salienta que o uso de semeadoras com puncionadores tem como característica o baixo custo, além serem precisas, de fácil manutenção e operação, desta forma obtém-se o aumento da produção e lucro do agricultor.

Stefanello (2013) desenvolveu o projeto conceitual de uma semeadora de tração humana como pode ser verificado na Figura 1.

Figura 1- Semeadora puncionadora à tração humana



Fonte: Stefanello (2013).

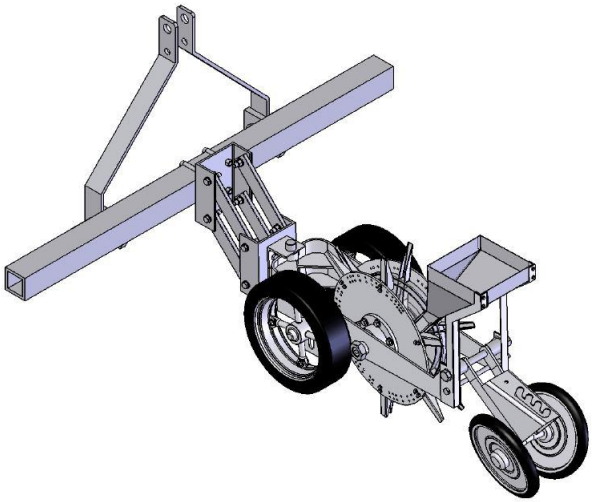
De acordo com o autor esta semeadora possui maior capacidade operacional e precisão durante o processo de semeadura com pequeno dano de sementes quando comparada as semeadoras portáteis, além de realizar o processo de semeadura de forma uniforme e com o mínimo revolvimento do solo. Quanto ao funcionamento do sistema puncionador os mesmo abrem longitudinalmente por meio da ação de alavancas acionadas por um rolamento fixo em uma haste. Desta forma, os puncionadores penetram o solo fechados e assim que atingem posição perpendicular iniciam a abertura e liberam as sementes no solo.

Na Figura 2 observa-se o protótipo da semeadora puncionadora desenvolvido por Frabetti *et al*., (2011), segundo os autores o protótipo possibilita uniformidade de distribuição de sementes, além de revolver menos o solo permitindo

que a cobertura de palhada permaneça no solo diferentemente dos outros mecanismos tipo haste.

O autor salienta que as rodas com puncionadores, posicionadas em “V”, giram sincronizadas em razão do engrenamento entre as punções de rodas distintas. Durante esse engrenamento as pontas das punções se aproximam até se tocarem formando um duto fechado que serve para conduzir as sementes até a cova, em seguida as pontas se afastam, até que ocorra o desengrenamento.

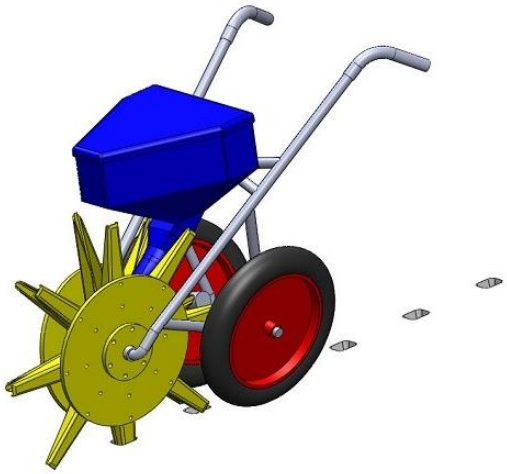
Figura 2- Projeto conceitual de uma semeadora puncionadora



Fonte: Frabetti *et al*., (2011).

A Figura 3 apresenta o projeto conceitual de uma semeadora puncionadora à tração humana desenvolvida para ser operada por mulheres africanas.

Figura 3- Semeadora puncionadora desenvolvida para as mulheres da África



Fonte: Resende (2014).

Resende (2014) desenvolveu esta semeadora para que mulheres da África Subsaariana pudessem operá-la sem grandes dificuldades, a mesma é constituída de uma caixa onde são armazenadas as sementes e tubos que levam as sementes até um par de rodas dentadas que fazem pequenos buracos no solo. A abertura das covas é realizada por meio de puncionadores com formato em "V" que giram sincronizados, por conta do engrenamento das punções. Os puncionadores encontram-se em um ponto acima da superfície do solo, ao penetrar no solo, os puncionadores afastam-se permitindo a abertura da cova.

Neste enfoque, Murray (2006) afirma que as semeadoras puncionadoras possuem, em sua maioria, dosador de sementes e depósito onde as sementes são transferidas para o puncionador para deposição direta no solo, normalmente possuem múltiplos puncionadores montados em torno de um cilindro ou roda, alguns modelos são projetados com um único puncionador vertical alternativo para depositar a semente ao longo da linha.

Portanto, as semeadoras com sistemas puncionadores possibilitam grandes vantagens para os agricultores familiares, já que apresentam fácil manutenção e operação, além de serem bastante precisas o que contribui para o aumento da produtividade (TEXEIRA, 2008).

4.6 Inovação tecnológica

A inovação tecnológica pode ser compreendida como a introdução de produtos e processos tecnológicos novos ou como melhorias que tenham sido implementadas em produtos e processos existentes (KRUGLIANSKAS; PEREIRA, 2005).

Podendo ser caracterizada pela presença de mudanças tecnológicas em produtos (bens ou serviços) oferecidos à sociedade, ou na forma pela qual produtos são criados e oferecidos, que é usualmente denominada de inovação no processo (PLONSKI, 2005).

Neste sentido, a Lei de Inovação Tecnológica (Lei Federal n.º 10.973/2004) que trata sobre os incentivos referentes à inovação e pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo tem por objetivo a criação de um ambiente adequado para a elevação do nível de parceria entre empresas, universidades e institutos científicos e tecnológicos para que os mesmos ganhem força e com isso haja o estímulo ao processo de inovação.

Esta lei tem por objetivo ampliar e agilizar a transferência do conhecimento gerado no ambiente acadêmico para a sua apropriação pelo setor produtivo, estimulando a cultura de inovação e contribuindo para o desenvolvimento industrial do país (MCTI, 2012).

Para Pereira e Kruglianskas (2005) o estímulo à inovação coloca no mercado produtos e serviços mais competitivos, gera emprego, renda e desenvolvimento, desta forma a Lei de Inovação Tecnológica tem como foco principal a inovação, sendo assim a mesma reconhece que não basta para um país fazer somente Ciência e Tecnologia (C&T) e Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), visto que é necessário transformar novos produtos e processos ou realizar melhorias no que já existe para que os produtos finais sejam desejados pelos mercados nacional e internacional.

Portanto, a inovação ocorre quando se confere uma aplicação prática para uma descoberta ou invenção, sendo assim a transferência de tecnologia da universidade para a empresa é peça fundamental de qualquer sistema de inovação (FINEP, 2006).

Desta forma é na empresa que a inovação tecnológica é convertida em lucro, devido a isso o acesso à tecnologia desenvolvida nas universidades por parte das empresas deve ser facilitado para que o produto possa ser produzido e introduzido no mercado (SANTOS *et al*., 2009). Para tanto, a universidade precisa ser vista pelas empresas e organizações como uma fonte de conhecimento de extrema importância para as inovações que tanto buscam (LEMOS, 2007).

Como há à necessidade do desenvolvimento tecnológico de novas soluções em máquinas agrícolas para o semiárido, a inovação tecnológica é a principal linha a ser custeada, pois considerando as especificidades do semiárido é necessário adequar a utilização dos equipamentos atualmente em uso neste ambiente em busca de explorar a máxima eficiência destes solos.

4.7 Projetos de máquinas agrícolas

Projeto pode ser definido como um empreendimento planejado que consiste num conjunto de atividades correlacionadas e coordenadas, com o fim de alcançar objetivos específicos dentro dos limites de um orçamento e de um período de tempo dados (ANDRADE, 2010).

Segundo Norton (2013) o projeto de máquinas pode ser compreendido como o desenvolvimento de uma máquina que funcione bem, com segurança e confiabilidade.

De acordo com o autor para a elaboração de uma máquina é necessário identificar a necessidade do produto para o mercado; realizar pesquisas para compreender o problema, definir os objetivos; especificar as tarefas; realizar a busca de alternativas na etapa síntese para obter o maior número possível de soluções criativas; analisar as soluções criadas na etapa síntese para definir quais serão aceitas; selecionar a solução mais promissora para o projeto; fazer o projeto detalhado; construir o protótipo e realizar os testes; iniciar a produção.

Para Paulo (2014) o desenvolvimento de um produto visa executar o processo de geração de uma idéia de um bem material, ao longo de várias fases, até que o produto seja lançado no mercado.

Desta forma, um equipamento pode ser projetado, construindo, adaptado ou modificado de acordo com o interesse da indústria e com a exigência do mercado consumidor, devido a isso a fase de definição de projeto torna-se de suma importância, já que é nesse momento que é definido o custo, o tempo de realização do projeto, a qualidade e a eficiência do equipamento que irá ser projetado (FREIRE, 2011).

Segundo Albiero *et al*., (2011) o conceito de uma nova máquina pode ser realizado por meio de modificações de máquinas e equipamentos já existentes, pois estas modificações são necessárias para que se obtenha um ponto de equilíbrio entre eficiência operacional e respeito ao ambiente.

Para Stoeterau (2004) a qualidade de uma máquina está associada com os sistemas que a compõem, ao uso a que se destina e aos esforços mecânicos e térmicos a que será submetida, além da forma como essa afeta o meio ambiente.

Neste sentido, uma máquina em geral é um conjunto de elementos que se relacionam para cumprir determinada função, portanto a engenharia possui diferentes elementos de máquina tais como eixos, engrenagens, molas, etc. que são bem definidos, estudados e inclusive muitos deles padronizados (NORTON, 2004).

Para Albiero (2010) uma máquina agrícola possui elementos e subsistemas acoplados que concorrem para operacionalizar a função de realizar tarefas agrícolas, por isso os autores afirmam que decisões e simplificações de projeto são necessárias para configurar combinações de elementos de máquinas em funções específicas variáveis com o tempo e com o clima.

Segundo Norton (2004) em geral o projeto de uma máquina é interativo, ou seja, quando se depara com um problema, algumas hipóteses simplificadoras são formuladas e quando o projeto começa a tomar forma os resultados e considerações

forçam o engenheiro a rever suposições iniciais e modificá-las para satisfazer às novas condições.

As máquinas agrícolas podem ser classificadas através da fonte de potência que utilizam para realizar as operações agrícolas, podendo ser definidas como grau tecnológico de mecanização humana, grau tecnológico de mecanização à tração animal, grau tecnológico de mecanização a trator de rabiça e grau tecnológico de mecanização a trator (ALBIERO, 2006).

Na mecanização a potência humana tem se tornado cada vez mais rara, embora ainda exista em algumas regiões, todavia a agricultura familiar se vale da tração animal como principal fonte de potência (MELLO, 2007). Porém o grau tecnológico com trator de rabiça torna-se uma opção para agricultura familiar, já que aumenta a capacidade de trabalho, no entanto é evidente que o grau tecnológico a tração animal não representam atraso por parte dos agricultores familiares, pois existem situações específicas onde esta opção é a melhor escolha em função da característica do agricultor e do ambiente (ALBIERO, 2006).

Chang (1989) afirma que a melhor solução não é necessariamente a mais sofisticada, a melhor solução é a mais simples, pois terá menor custo para um mesmo benefício.

Portanto, várias pesquisas tem sido realizadas em universidades com o objetivo de projetar máquinas agrícolas para otimizar a capacidade de trabalho dos agricultores familiares, porém essas pesquisas são apresentadas apenas em simpósios e congressos, desta forma seus produtos raramente encontram caminho dentro da produção comercial ou no mercado e estas máquinas e equipamentos aperfeiçoados nunca passam do estágio de protótipo, devido a problemas de extensão e divulgação das tecnologias (ALBIERO, 2010).

Somado a este fato há o desinteresse da maioria dos fabricantes de máquinas agrícolas (médios e grandes) em fabricar máquinas para agricultura familiar, que por suas características são normalmente simples e de baixo custo. Sendo assim, o lucro auferido, por máquina, não chega a ser significativo para estas empresas o que as faz não ter interesse em produzir.

Outro grande obstáculo da engenharia de projetos para a transferência de tecnologia no qual a pesquisa gera o conhecimento, a extensão transfere e o agricultor adota, é o fato de não ter obtido sucesso devido a pouca apropriação das tecnologias desenvolvidas por parte dos agricultores (ALBIERO *et al*., 2011).

4.8 Patente da semeadora puncionadora

4.8.1 Fundamentos da invenção

O desenvolvimento de uma cultura inicia-se com a deposição da semente no solo e a subsequente germinação e emergência das plântulas, neste sentido o processo de semeadura tem que fornecer condições ótimas para o desenvolvimento da cultura (SILVA, 1990).

Os componentes que entram em contato com o solo influenciam no processo de distribuição, pois os mesmos por vezes encontram dificuldade para vencer a resistência do solo, sendo assim falhas são ocasionadas no processo de semeadura. No sistema de plantio direto o corte da palha às vezes é ineficiente, o que contribui para que ocorra o embuchamento da palhada dos órgãos ativos da máquina (FRABETTI *et al*., 2011).

Portanto, a semeadora puncionadora pode ser uma alternativa para otimizar a distribuição de sementes, pois a mesma destaca-se pelo baixo revolvimento do solo, além da deposição e distribuição das sementes apresentarem maior uniformidade (TEXEIRA, 2008).

Neste sentido, as várias patentes no estado da técnica que existem relacionadas ao fundamento desta invenção foram apresentadas, sendo discutidas abaixo em contraposição aos conceitos da invenção proposta:

A patente EP2289298 (A2) trata-se de uma máquina monobloco pneumático que tem um alojamento com um recipiente tipo tambor de armazenamento de sementes, que gira e é propulsionado à medida que os núcleos são organizados em linhas de perfuração dispostas. Em um círculo ocorre à abertura de entrada das linhas de escoamento e as unidades de cobertura são dispostas, em série, em um intervalo de ordenação de um tambor ascendente para o sentido de rotação.

Esta tecnologia em nada se assemelha com a patente ora proposta, pois a semeadora puncionadora multifuncional é acionada por meio da roda de acionamento que é ligada por engrenagens a um eixo em contato com o disco dosador, o mesmo é acionado permitindo que a semente caia no tubo condutor e seja depositada no solo pelo dispositivo de distribuição, diferente da patente descrita acima que utiliza um monobloco pneumático em formato cilíndrico que entra em funcionamento por meio da rotação do tambor, desta forma o sistema descrito pode apresentar dificuldades no processo de semeadura, pois necessita transpor obstáculos no solo ocasionando falhas

na distribuição de sementes, visto que a mesma não consegue semear em solos que não estejam preparados para o plantio.

Já a patente proposta utiliza um eixo cames que garante o movimento no sentido vertical, desta forma possui maior precisão que o sistema descrito anteriormente pelo fato de conseguir romper obstáculos.

A patente CN 202222132 (U) trata de um modelo de utilidade referente a uma máquina agrícola, a mesma possui uma linha simples de precisão, incluindo corrimãos, caixas de sementes, chassis e um eixo que possui um dispositivo para o acionamento das sementes, a mesmas saem do depósito de armazenagem por meio de um tubo condutor, pelo qual a semente é conduzida. A estrutura compactada de modelo de utilidade para distribuição pode realizar efetivamente a semeadura sobre a cobertura morta, desta forma há uma maior precisão na semeadura.

Portanto, a patente descrita acima em nada se assemelha com a patente proposta, pois a mesma possui um disco de corte que facilita o corte da palhada evitando o embuchamento no dispositivo de distribuição de sementes, além do fato do fertilizante ser distribuindo por um sistema independente garantindo que o mesmo seja depositado na profundidade adequada, sendo assim assegura-se que não haverá contato entre o fertilizante e a semente.

Outro fato que deve ser levado em consideração é que a patente descrita anteriormente possui como mecanismo de distribuição de sementes um cilindro tipo tambor, que realiza movimento rotacional no sentido horizontal, este sistema possivelmente não apresenta a precisão que o inventor afirma, pois como o mesmo possui formato circular é necessária uma força extra sobre este mecanismo para que o mesmo realize a perfuração na palhada, se o mecanismo não realizar a abertura da cova de forma eficiente as sementes ficaram encestadas, e consequentemente acorrerá perda na produção.

Já o mecanismo proposto nesta patente conta com um inovador sistema de distribuição que trabalha realizando movimento no sentido vertical, sendo assim a força aplicada para romper o solo ou a palhada é maior garantindo que a semente seja depositada na profundidade correta e espaçamento adequado.

A patente CN 201430765 (Y) refere-se a um modelo de utilidade de solução tecnológica para a semeadura de amendoim. Para a distribuição das sementes, um cilindro gira entrando em contato direto com a massa de sementes fazendo com que o mesmo seja preenchido, em seguida a abertura das covas é realizada por meio de um bico de pato que abre e fecha permitindo que as sementes sejam depositadas no solo.

A patente citada difere do trabalho ora proposto, pois o mesmo destaca-se por ser um sistema multifuncional, possuindo um sistema dosador de sementes por discos que pode ser utilizado para diferentes tipos de cultura, além de a mesma possuir a unidade de distribuição movimentando-se no sentido vertical assegurando que a semente seja depositada no solo, visto que não sofre com as trepidações por conta de obstáculos encontrados no solo, diferente da patente citada acima que necessita que o sistema distribuidor, ou seja, o cilindro gire para ocorrer o seu preenchimento.

Portanto, quando se leva em consideração que existem diversas irregularidades no solo, principalmente em sistema de plantio direto, dependendo dos obstáculos a máquina pode sofrer trepidações, fazendo com que o cilindro não seja preenchido por completo acarretando em falhas no plantio.

Já a patente MU 7601667-6 (Y1) é um modelo de utilidade que trata de um conjunto de mecanismos baseados no transporte unitário de sementes em dutos de pequeno diâmetro, do tipo pneumático-eletrônico, para plantio de precisão. As principais características inovadoras são o uso do transporte unitário de grãos e controle eletrônico do processo. O sistema se diferencia das tecnologias conhecidas, que basicamente utilizam meios mecânicos ou processo pneumáticos por fluxo (massa de sementes), ou até mesmo unitários, porém sem qualquer controle operacional de desempenho.

Esta semeadura tem, como avanço tecnológico, a retirada de todos os sistemas mecânicos de transmissão de movimento (engrenagens e correntes), substituindo-se por pulsos elétricos que comandam o movimento do eixo acionador dos dosadores de sementes. As principais vantagens em relação às semeadoras existentes no mercado seriam o menor custo total, facilidade de operação, manutenção e versatilidade funcional do sistema.

Esta patente em nada se assemelhada com o trabalho proposto, pois a mesma se utiliza de sistemas eletrônicos para realizar o movimento do eixo acionador, como foi dito anteriormente o inventor afirma que este sistema é eficaz por conta da facilidade de operação, manutenção e menor custo, porém quando se leva em consideração que nem todos estão aptos para manipular e realizar manutenções em máquinas e equipamentos que são constituídos de sistemas eletrônicos sendo necessário que profissionais qualificados realizem estas operações supracitadas, indaga-se se realmente este sistema possui menor custo total.

O outro fator relevante a ser comentado é que as sementes são transportadas em dutos pneumáticos eletrônicos, ou seja, este sistema assegura que a semente esteja

no duto no momento correto para ser semeado, mas não garante que o processo obtenha precisão, pois da maneira que foi descrita não leva em consideração as ondulações e obstáculos presentes no solo que consequentemente farão com que as sementes demorem mais nos dutos, acarretando falhas no plantio. Diferente da semeadora puncionadora multifuncional que no momento da formação da cova no solo a semente já estará na posição correta garantindo a deposição da mesma.

A patente PI 9300631-4 (A2) refere-se a uma semeadora-adubadora de manejo manual, para o plantio de feijão, destinada aos agricultores estabelecidos em minifúndios. A máquina possui um depósito central rotativo de sementes, cilíndrico, com uma placa reguladora para ejeção de sementes. Por meio de discos rotativos, uma pá é responsável pela a abertura e cobertura do sulco, ambas passíveis de regulagem de altura, através de fios conectados a manetes de controle, posicionados junto à empunhadura dos ditos braços tracionadores.

A patente ora proposta apresenta o diferencial de semear diversas culturas, além de realizar a abertura do sulco de formal pontual, assegurando maior precisão no plantio, além de possuir sistema de operação mais simples, ao contrário da patente descrita acima que realiza a abertura do sulco por meio de discos rotativos, acionados por uma pá, que entram em funcionamento por meio de manentes de controle, este processo requer esforços do operador da máquina, pois além de tracionar a mesma, precisa acionar o manente de controle para realizar a operação, já a semeadora puncionadora é tracionada por um trator, não requerendo esforços do operário, além de realizar o processo de semeadura de diversas culturas de forma automática.

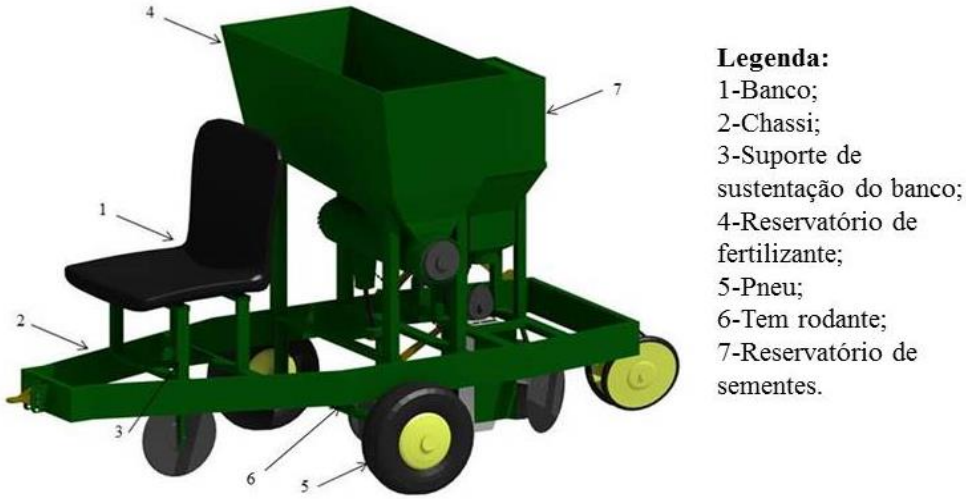
Desta forma, a patente proposta neste trabalho busca trazer algo inovador, capaz de ocupar lugar de destaque quando comparado com todos os tipos de mecanismos já conhecidos no estado da técnica no setor de semeadoras.

4.8.2 Descrição da patente

De acordo com a presente invenção é proporcionado uma semeadora para realizar o processo de semeadura de diversas culturas. Esta patente intitulada como: “Semeadora multifuncional para semeadura de multiculturas”, foi depositada no dia 19/12/2014 no Instituto Nacional da Propriedade Industrial- INPI, com o número de registro BR 102014031988 3. A seguir é apresentada uma descrição sobre os seus principais constituístes.

Portanto, a Figura 4 apresenta à semeadora puncionadora multifuncional, a mesma possui um banco (1) para operador caso seja utilizado um trator de rabiça para tracionar a máquina, o mesmo é suntentado por um suporte (3) que está ligado ao chassi de longarinas com perfil retangular (2). A máquina é sutentada por um trem rodante (6), que possui rodados de borracha (5). A semeadora ainda possui reservatório de fertlizante (4) e de semente (7).

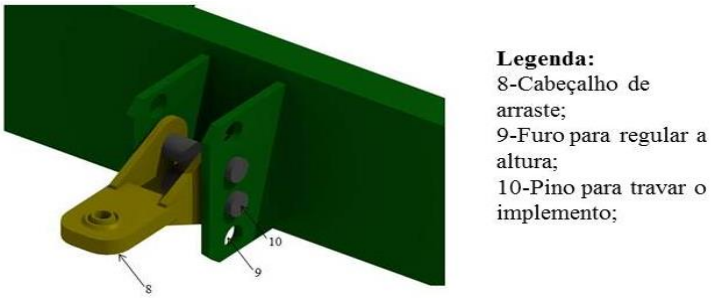
Figura 4- Constituintes da patente da semeadora puncionadora de multiculturas



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 5 apresenta o cabeçalho de arraste (8) da semeadora, o mesmo possui regulagem do eixo y, a regulagem da altura do cabeçalho se dar por meio de furos (9), depois que for selecionada a regulagem desejada, um pino ou trava (10) é inserido assegurando que a mesma permaneça travada para que a operação seja realizada.

Figura 5-Cabeçalho de arraste da semeadora

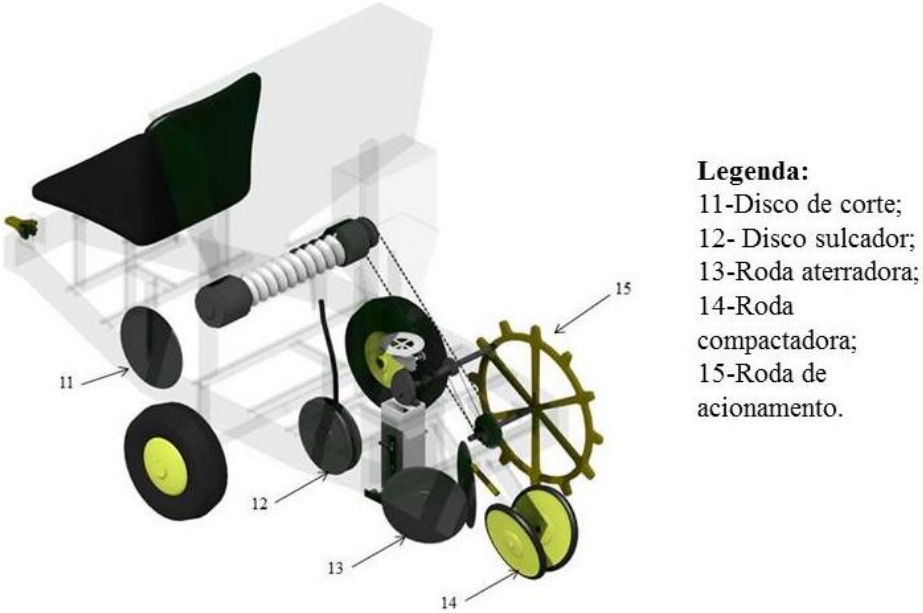


Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 6 observa-se todos os componentes que entram em contato direto com o solo para realizar o processo de semeadura, ou seja, a semeadora puncionadora multifuncional é constituída de disco de corte (11) para realizar o corte da palhada,

disco sulcador (12) para realizar a abertura do sulco e posterior deposição do fertilizante, disco aterrador (13) para cobrir a semente e o fertilizante e roda compactadora (14) para realizar a compactação garantindo maior contato entre solo e semente. Todo o sistema da semeadora é acionado por meio da roda de acionamento (15) de ferro liso com garras.

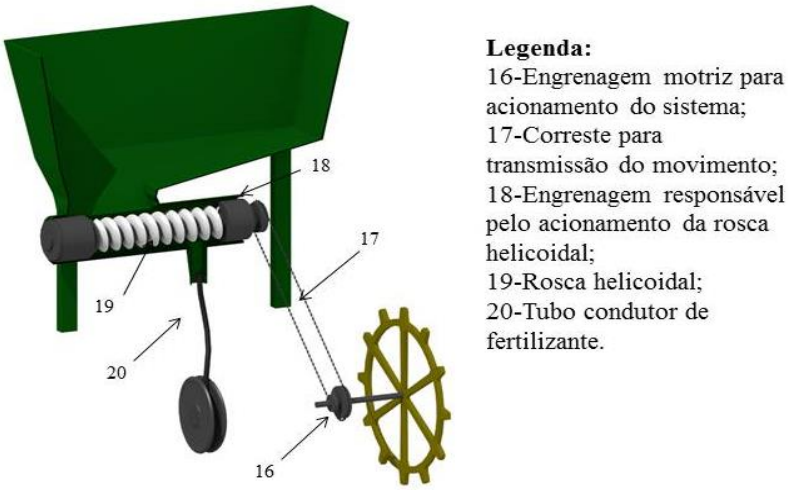
Figura 6- Órgãos ativos da semeadora puncionadora



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 7 apresenta o funcionamento do sistema distribuidor de fertilizante em corte.

Figura 7- Constituintes do sistema distribuidor de fertilizante

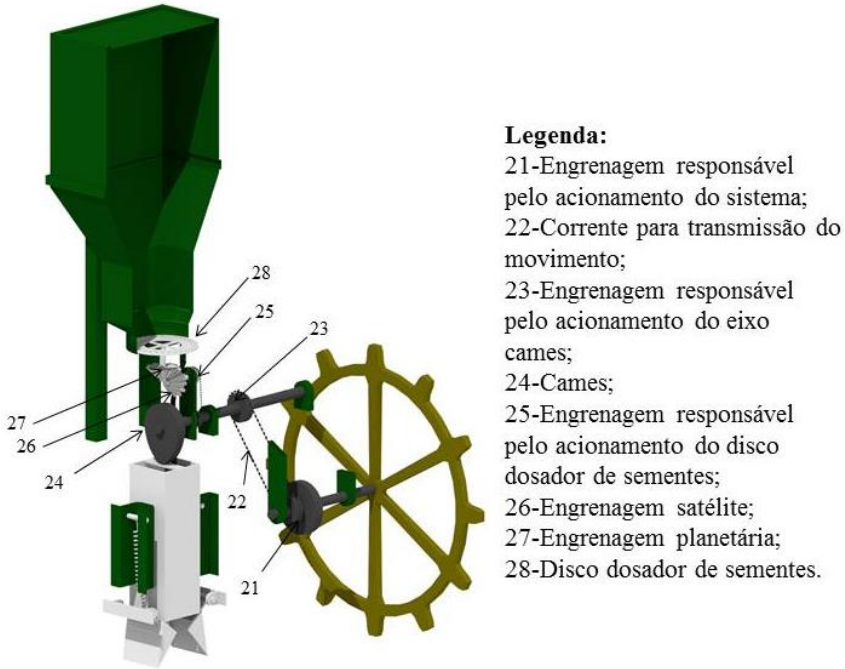


Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que o mesmo é constituído de um reservatório, que permite o contato direto com o eixo helicoidal (19) que entra em movimento rotacional por meio de uma engrenagem (18) que esta ligada a roda de acionameno da semeadora através de correntes (17) e engrenagens (16). Quando a roda de acionamento entra em movimento todo sistema é acionado, desta forma o fertilizante é dosado e cai no tubo condutor de fertilizante (20), fazendo com que o mesmo seja depositado no solo, logo após a abertura do sulco.

Na Figura 8 observa-se o funcionamento do sistema distribuidor de sementes, o mesmo é constituído de um reservatório de sementes, que possui um disco pefurado horizontal (28) para dosar as sementes.

Figura 8- Constituintes do sistema distribuidor de sementes



Fonte: Elaborado pelo autor.

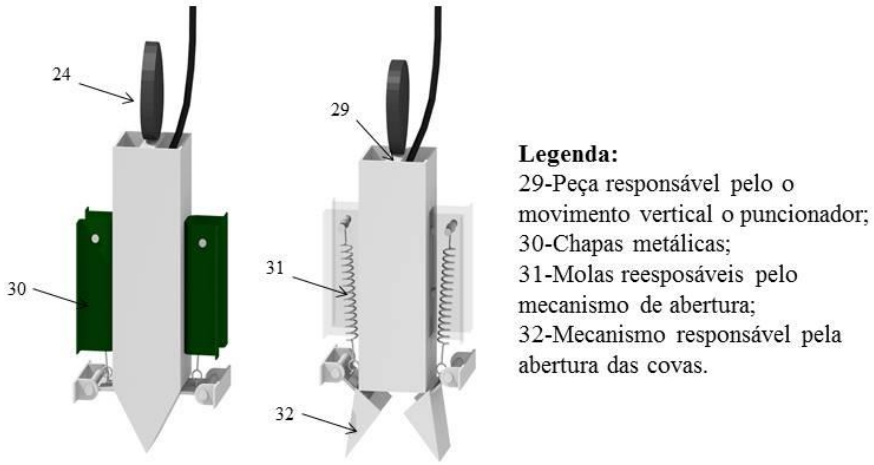
Todo o sistema distribuidor de sementes é acionado por meio da roda de acionamento da semeadora, ao girar a engrenagem motriz (21) transmite o movimento por meio de uma corrente (22) para uma engrenagem movida (23), desta forma o cames (24) é acionado e a semeadora inicia o processo de punção no solo.

No que se refere ao acionamento do disco dosador de sementes (28), a engrenagem (25) que está ligada ao eixo cames é acionada permitindo que as engrenagens satélite (26) e planetária (27) trasmitam o movimento para o disco dosador, permitindo que a semente seja dosada de acordo com a regulagem desejada.

A Figura 9 apresenta os principais elementos envolvidos para o fucionamento do mecanimo puncionador.

Observa-se que o cames (24) ao girar faz com que a peça resposável pelo movimento do puncionador no sentindo vertical desça, fazendo com que a mola (31) que está fixada a uma chapa metálica (30) seja flexionada, acionando o mecanismo de abertura de covas, permitindo que o solo seja arrastando no sentindo lateral, formando uma cova para posterior deposição da semente no solo. Quando o eixo cames gira novamente todo o processo é iniciado, garantindo que a semeadura seja realizada de forma pontual.

Figura 9- Constituintes do mecanismo de abertura de covas



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.9 Controle de qualidade em operações agrícolas

O controle de qualidade foi desenvolvido pelo Dr. Walter A. Shewhart nos Estados Unidos, onde o mesmo utilizou as cartas de controle do processo para fazer a distinção entre causas comuns e especiais, estas cartas analisavam dados provenientes de amostragens substituindo a simples detecção e correção nos produtos que apresentavam defeitos pelo estudo e prevenção dos problemas relacionados à qualidade, no intuito de impedir que produtos com defeitos fossem produzidos (RIBEITO; CATEN, 2011).

Qualidade pode ser definida como a redução da variabilidade, por isso quanto menor a variabilidade, maior será a confiabilidade, consequentemente, maior será aceitação do produto ou serviço (MONTGOMERY, 2000).

Para Montgomery (2004) o controle da qualidade esta associado à necessidade de atender as exigências e expectativas do cliente, desta forma é necessário à busca de métodos que realizem o controle e melhoria da qualidade, pois a qualidade é parte integrante de produtos e serviços, podendo ser utilizada como arma de competitividade no mercado.

Neste sentido, o controle de qualidade apresenta-se como um conjunto de ações desenvolvidas com intuito de estabelecer, melhorar e assegurar a qualidade da produção (VALLE; AGOSTINI; CENCI, 2011).

Por meio do gráfico de controle pode-se verificar se os dados avaliados não apresentaram a presença de causas especiais de variação, sendo assim o mesmo pode ser considerado como estável ou instável (RAMOS, 2000).

As cartas de controle foram desenvolvidas e utilizadas por empresas para melhorar a qualidade e a produtividade, por isso o uso dessas ferramentas na agricultura e na agropecuária abriram caminhos para que estudos fossem realizados, principalmente em operações mecanizadas (SILVA *et al*., 2008).

Para Dodson (1998) quando se aplica o conceito de qualidade para agricultura espera-se que as operações agrícolas e os produtos obtidos estejam dentro das especificações dos padrões agronômicos recomendados, o autor ainda ressalta que devido à falta da avaliação adequada dos fatores relacionados à qualidade torna-se difícil determinar a verificação da sua influência no rendimento financeiro da produção.

Segundo Silva, Voltarelli e Cassia (2015) para o sucesso dos sistemas produtivos é necessário à manutenção e a melhoria da qualidade, portanto no que se refere aos sistemas produtivos agrícolas, principalmente no que diz respeito às operações agrícolas mecanizadas a busca pela melhoria da qualidade também deve fazer parte dos objetivos alcançados, pois a gestão da qualidade implicará no aumento da produtividade e da qualidade dos produtos, além da redução dos custos.

4.10 Controle Estatístico do Processo (CEP)

O controle estatístico do processo (CEP) é uma técnica estatística aplicada à produção que permite a redução sistemática da variabilidade nas características da qualidade de interesse, contribuindo para a melhoria da qualidade intrínseca, da produtividade, da confiabilidade e do custo do que está sendo produzido (RIBEIRO; CATEN, 2011).

De acordo com Montgomery (2004) para avaliar a variabilidade e determinar os pontos problemáticos do processo é necessário que o mesmo apresente normalidade, já que o mesmo é recomendado para atender as especificações e exigências de qualidade.

Albiero (2010) também afirma que o CEP considera que suas amostras apresentam distribuição normal, pois existem limitações graves com relação à normalidade para os gráficos de controle, quando os dados não apresentam distribuição normal eles são considerados ineficientes, por isso é importante buscar metodologias adequadas para analisar a capacidade do processo.

Segundo Mingoti e Fidelis, (2001) o objetivo do CEP é detectar as alterações dos parâmetros de determinados processos para que os problemas sejam corrigidos rapidamente antes que muitos itens não conformes sejam produzidos.

O CEP é uma ferramenta bastante eficaz no controle da qualidade, pois por meio das cartas de controle é possível detectar desvios de parâmetros representativos do processo, reduzindo a quantidade de produtos fora de especificações e com isso os custos da produção (LIMA *et al*., 2006).

Para Fernandes *et al.*,(2011) o CEP auxilia no controle da qualidade nas etapas do processo, principalmente nos processos repetitivos, pois visa garantir a estabilidade e a melhoria contínua do processo.

Segundo Souza (2002) o CEP possui ferramentas estatísticas que auxiliam na compreensão do comportamento e no controle do processo, dentre estas ferramentas as mais utilizadas são: fluxograma, gráfico de pareto, diagrama de causa e efeito, histograma, diagrama de dispersão, gráfico de controle, estudo da capacidade do processo e plano de aceitação de amostras.

Estas ferramentas realizam uma radiografia e descrevem com detalhes o comportamento do processo, identificando sua variabilidade e possibilitando seu controle ao longo do tempo, através da coleta continuada de dados e da análise e bloqueio de possíveis causas especiais, responsáveis pelas instabilidades do processo em estudo (CORTIVO, 2005).

Ribeiro e Caten (2011) afirmam que todo processo esta sujeito à variabilidade e estas variações se deve as causas comuns e especiais, sendo assim as causas comuns ocorre de forma aleatória no processo, pois esta variabilidade representa o padrão normal do processo, já que é resultante do efeito cumulativo de pequenas fontes de variação que acontecem diariamente embora o processo esteja trabalhando sob condições normais. Devido a isso um processo que possui apenas causas comuns é

considerado estável ou sob controle, pois apresenta sempre a mesma variabilidade ao longo do tempo. Já as causas especiais não seguem um padrão aleatório, ou seja, são consideradas falhas de operação, pois fazem com que o processo saia fora do seu padrão natural o que ocasiona a instabilidade do processo reduzindo de forma significativa seu desempenho sendo necessário a identificação, neutralização e correção.

A manutenção e a melhoria da qualidade são importantes para o sucesso de qualquer sistema, por isso a aplicação das ferramentas do CEP nas operações agrícolas pode ser de grande valia para a solução de problemas (SILVA; VOLTARELLI, 2015).

Neste sentindo, o CEP vem sendo inserido de forma significativa na agricultura, principalmente por meio das cartas de controle individuais que podem ser utilizadas como opção para realizar o monitoramento de determinados processos, análise dos resultados para posterior tomada de decisão sobre atividades relacionadas às operações agrícolas mecanizadas (VOLTARELL; SILVA; ZERBATO, 2015).

Segundo Chioderoli *et al*., (2012) o controle de qualidade é adaptável ao sistema de produção agrícola, pois com a correção e a eliminação de desperdícios e falhas ocorrerá a redução de custos e consequentemente o aumento da produtividade, desta forma inúmeras vantagens serão acrescentadas à competitividade do campo.

De acordo com Tonini (2006), na indústria é possível controlar todos os fatores que interferem na produção, desta forma os trabalhos são executados com baixa variabilidade, por isso quando o CEP é utilizado para realizar a avaliação de processos agrícolas, por exemplo, semeadura, índices de falha de 10% são considerados ótimos, já que na agricultura é difícil controlar todos os fatores que interferem nos processo agrícolas.

Para Albiero (2010) é muito complicado determinar todos os fatores que influem nas operações agrícolas devido à variabilidade de matérias-primas, condições meteorológicas, condições de solo, sistemas mecanizados, índices de qualidade de operações agrícolas, qualificação de operadores, entre outras variáveis, por isso para o meio agrícola é necessário adaptar as ferramentas do CEP para diminuir a variabilidade do processo.

4.11 Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA)

A FMEA foi desenvolvida em 1963 pela agência norte-americana NASA (Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica) durante a missão Apollo, com intuito de identificar as falhas potenciais em sistemas, processos ou serviços, este

método possibilitou ações para reduzir ou eliminar o risco associado a essas falhas, porém embora o método fosse importante para a avaliação das falhas potenciais de processos ou sistemas o mesmo só passou ser utilizado de forma mais significativa no ano de 1977, por meio da Ford Motors Company para a fabricação de automóveis (PUENTE *et al*., 2002).

A Análise de Modos e Efeitos de Falhas é um método preventivo e tem por objetivo assegurar que durante o projeto do produto, os modos de falhas potenciais e suas causas e mecanismos associados sejam considerados e abordados (YUGI *et al*., 2006).

Este método é utilizado por engenheiros para assegurar que todas as falhas potenciais foram consideradas, haja vista que a FMEA identifica modos de falha potenciais em produtos, os efeitos potenciais das falhas, as potenciais causas destas falhas, métodos para reduzir a frequência da ocorrência dos modos de falha e a detecção das condições destas falhas (TAN, 2003).

Segundo Liu *et al*., (2013) a FMEA possibilita a identificação da causas potenciais, a avaliação das causas e efeitos de diferentes modos de falha do componente, além de determinar o que poderia eliminar ou reduzir a possibilidade de fracasso, por meio das análises obtidas os analistas podem identificar e corrigir os modos de falha melhorando o desempenho do produto durante as fases de concepção e de produção.

Pillay e Wang (2003) afirmam que o modo de falha pode ser entendido como uma categoria de falha na qual o processo ou produto não apresenta desempenho satisfatório devido a uma fadiga, colapso, deterioração, perda, vibração, queima, quebra, etc. Os autores ainda relatam que a potencial causa da falha refere-se à causa da falha para cada modo de falha e pode ser ocasionada por material incorreto, corrosão, de montagem, excesso de calor ou frio, manutenção incorreta, impureza no material, desalinhamento, etc.

Para Albiero (2010) a FMEA identifica primeiro o modo de falha potencial durante o ciclo de vida do produto ou processo, depois os efeitos destas falhas e por fim o quanto é crítico os efeitos destas falhas para funcionalidade do produto ou processo.

De acordo com Puente *et al*., (2002) a FMEA possui dois estágios, onde durante o primeiro estágio são identificadas possíveis modos de falhas de um produto ou processo e seus efeitos prejudiciais, já no segundo estágio os engenheiros responsáveis por analisar os efeitos e modos de falhas terão por função determinar a pontuação de risco, ou seja, o nível crítico das falhas, desta forma a falha mais crítica

será a primeira do ranking sendo considerada prioridade para aplicação das ações de melhoria.

O método FMEA possui uma sequência lógica e sistemática de avaliar a forma pelas quais um sistema ou processo esteja sujeito a falhas, desta forma é possível avaliar a severidade das falhas, a forma como as mesmas podem ocorrer e, caso ocorram, de que maneira estas falhas poderiam ser detectadas antes de levarem as reclamações no cliente, ou seja, este método leva a uma priorização de quais os modos de falha levam a um maior risco ao cliente (FERNANDE, 2005).

Sendo assim para definir a prioridade de falha são utilizados três fatores: a ocorrência (O) que define a frequência da falha, a severidade (S) que determina a gravidade do efeito da falha e a detecção (D) que detecta a falha antes que ela atinja o cliente (LEAL *et al.*, 2006).

Segundo Fernandes e Rebelato (2006) para o uso do FMEA é necessário seguir os seguintes passos:

a) Identificar modos de falha conhecidos e potenciais e seus efeitos:
   - Todas as funções do produto serão listadas e identificadas para verificar todas as possíveis falhas;

b) Identificar os efeitos de cada modo de falha e a sua respectiva severidade:
   - Após a identificação dos modos de falha para cada função será determinado os efeitos que cada falha causará e as mesmas serão classificadas conforme o grau de severidade.

c) Identificar as possíveis causas para cada modo de falha e a sua probabilidade de ocorrência:
   - Após a definição da falha serão identificados os meios de prevenção para reduzir a probabilidade de ocorrência da falha;

d) Identificar o meio de detecção no caso da ocorrência do modo de falha e sua respectiva probabilidade de detecção:
   - A detecção permite a verificação e identificação das falhas presentes no projeto do sistema, produto, processo ou serviço;

e) Avaliar o potencial de risco de cada modo de falha e definir medidas de eliminação ou redução do risco de falha:
   - O potencial de risco esta associado ao impacto que ocasionará no cliente, por meio da severidade da falha, da sua probabilidade de ocorrência e detecção.

A Análise de Modos e Efeitos de Falha pode ser classificada em FMEA de projeto (DFMEA) que tem por objetivo analisar e evitar falhas no produto ou no processo decorrente do projeto, ou seja, neste tipo de análise são consideradas as falhas que poderão ocorrer dentro das especificações do projeto. Já na FMEA de processo (PFMEA) são consideradas as falhas de planejamento e execução do processo e tem por objetivo analisar e evitar que falhas ocorram no processo, nesta análise modos de falhas e seus efeitos o DFMEA assume que o produto irá atender ao objetivo do projeto da forma como foi projetado (LEAL, 2008).

Para Fernandes (2005) as principais vantagens no uso da FMEA são: melhoria da qualidade, confiabilidade e segurança de produtos ou serviços; auxílio na escolha de alternativas de projetos que tenham melhor qualidade; auxílio para identificar procedimentos de diagnostico de falhas; estabelecimento de prioridade para as ações no projeto; auxílio para identificar características críticas e significantes; auxílio em estabelecer um fórum de prevenção à falhas; auxílio à identificação e prevenção de falhas; auxílio para definir e priorizar ações corretivas; provê um fórum para recomendação de ações de redução de riscos.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Local do estudo

O trabalho foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici (Figura 10), localizada nas coordenadas geográficas: latitude 3° 44'S, longitude 38° 34'W de Greenwich e altitude de 19,6m. O clima da região é Aw', ou seja, tropical chuvoso, muito quente, com predomínio de chuvas nas estações do verão e do outono (PINTO, 2008).

Figura 10- Área experimental

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 Propriedades física do solo

O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-amarelo, sendo classificado quanto à classe textural como franco arenoso conforme as recomendações da EMBRAPA (2006).

Para determinação das propriedades físicas do solo foram coletas amostras indeformadas na profundidade de 0-10 cm com o auxílio de amostrador tipo Uhland, em seguida as amostras foram levadas para o Laboratório de Análise do Solo para determinar a densidade do solo, a umidade e a composição granulométrica.

O índice de cone médio da área variou de 0,8 a 1,1 MPa, desta forma os valores encontrados não afetam o crescimento das raízes, pois conforme Camargo e Alleoni (2006) apesar de a resistência à penetração ser afetada pela textura, densidade

do solo e conteúdo de água, os autores consideram críticos os valores que variam de 6 a 7 MPa para solos arenosos e em torno de 2,5 MPa para solos argilosos.

Na Tabela 1 encontram-se os valores referentes às características físicas do solo da área onde foi realizado o ensaio com a semeadora.

Tabela 1- Propriedades físicas da área experimental

Solo	**Ds ($kg\ dm^{-3}$)**	**U ($g\ 100g^{-1}$)**	**A.G ($g\ kg^{-1}$)**	**A.F ($g\ kg^{-1}$)**	**Argila ($g\ kg^{-1}$)**	**Silte ($g\ kg^{-1}$)**	**M.O ($g\ kg^{-1}$)**
Franco-Arenoso	1,61	5,54	435	371	118	76	1,69

Ds: Densidade do solo; U: Umidade; A.G: Areia Grossa; A.F: Areia Fina; M.O: Matéria orgânica.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que o valor de densidade do solo foi de 1,61 kg dm^{-3}, sendo assim o solo trabalhado apresentou condição ideal no que se refere a densidade de solo, pois segundo Reichert *et al*., (2003) os valores críticos de densidade para solos argilosos é de 1,30 a 1,40 Mg m^{-3}, para o solo franco-argiloso é 1,40 a 1,50 Mg m^{-3} e para os franco-arenosos é de 1,70 a 1,80 Mg m^{-3}. Já Bowen (1981) considera críticos os valores 1,55 kg dm^{-3} para solos franco-argilosos a argilosos e 1,85 kg dm^{-3} para solos arenosos a franco-arenosos, o autor afirma que, a partir desses valores, ocorre a restrição ao desenvolvimento de raízes quando os solos estiverem na capacidade de campo.

5.3 Protótipo da semeadora

Foi utilizado para realização do ensaio o protótipo da semeadora (Figura 11) com sistema puncionador para deposição de sementes (Figura 12) e sulcadores de discos duplos para deposição de adubo. O protótipo da semeadora foi regulado para depositar de 6 a 7 sementes por metro e para obter profundidade de 50 mm de acordo com as recomendações para a cultura do milho (EMBRAPA, 2010).

Para a realização do ensaio foi adicionado lastro líquido na proporção de 75% nos pneus do protótipo, com o objetivo de melhorar a estabilidade e a eficiência de tração.

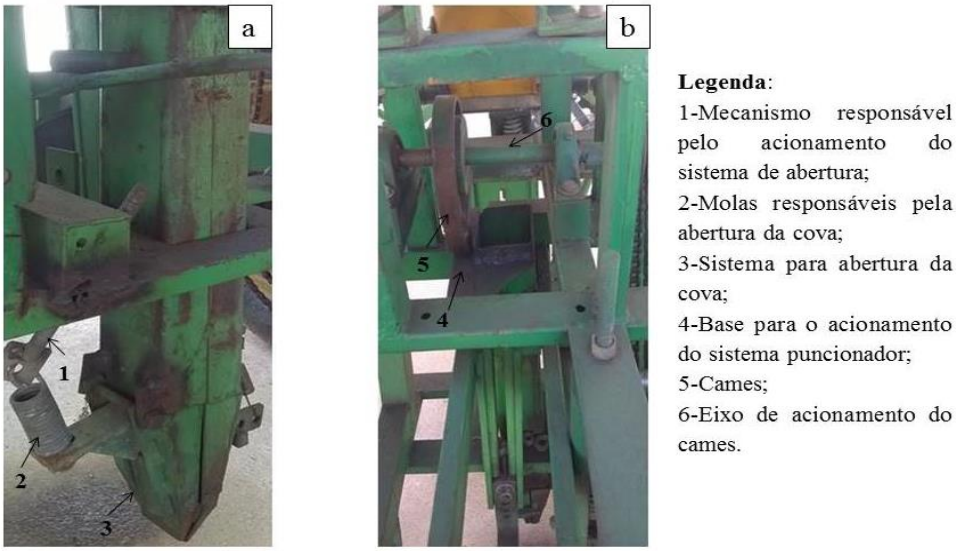
A Figura 12 apresenta os componentes do sistema responsável por realizar a deposição das sementes no solo, verifica-se que o eixo cames (6) ao girar faz com que o sistema puncionador inicie o movimento no sentindo vertical por meio do contato do cames (5) com a base de acionamento do puncionador (4), ao penetrar no solo a mola

responsável pela abertura da cova (2) é acionada permitindo que cova seja formada no solo na profundidade para a qual foi regulada para posterior deposição da semente.

Figura 11- Protótipo da semeadora puncionadora

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 12- Sistema responsável pela deposição das sementes em covas (a) e eixo de acionamento do cames (b)



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4 Sistemas de transmissão do protótipo

O sistema de transmissão para o protótipo da semeadora/adubadora foi calculado em função das requisições para cultura do milho conforme as recomendações

da EMBRAPA (2010), que utiliza para a cultura do milho uma faixa de distribuição longitudinal de 6 a 7 sementes por metro, com espaçamento entre linhas de 0,9 m. A Tabela 2 apresenta as coroas dentadas que foram utilizadas na relação de transmissão para obter o espaçamento entre sementes por metro, considerando um disco perfurado horizontal para a cultura do milho com 26 furos.

Tabela 2- Coroas dentadas utilizadas para obter o espaçamento entre sementes

Coroas dentadas	**N° de dentes**		**Espaçamento entre sementes por punço (mm)**
	Movida	**Motora**	
A	14		133,26
B	15		142,78
C	17		161,82
D	21	16	199,90
E	24		228,46
F	28		266,53
G	52		495,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para obter o espaçamento entre semente por punço, foi realizado ensaios, com todas as coroas dentadas, a fim de calcular a relação de transmissão que seria adotada para diferentes tipos de espaçamentos. Portanto, para o protótipo em questão, com essas coroas dentadas, atende-se a variação de 2 a 7 sementes por metro.

A Tabela 3 apresenta as coroas dentadas que foram utilizadas na relação de transmissão previstas para a densidade de fertilizante por metro, considerando o espaçamento entre linhas de 0,9 m.

Tabela 3- Coroas dentadas utilizadas na transmissão da densidade de fertilizante

Coroas dentadas	**N° de dentes**		**Densidade de fertilizante em kg ha^{-1}**
	Movida	**Motora**	
H	13		368,71
I	15		324,90
J	17		272,01
K	19	16	251,10
L	21		219,47
M	24		185,02
N	28		180,34

Fonte: Elaborado pelo autor.

O sistema de transmissão para a densidade de fertilizante foi calculado em função das requisições para cultura do milho, conforme as recomendações da adubação para o estado do Ceará.

Para a realização do ensaio utilizou-se o fertilizante com a formulação comercial 10-28-20, o mesmo possuía densidade de 0,7106 g cm^{-3}. O protótipo foi regulado para obter densidade de 22,6 g m^{-1} que equivale 251 kg ha^{-1} e profundidade de deposição de adubo de 80 mm conforme as recomendações de Aquino e Hernandez (1993).

5.5 Área mobilizada

Para determinar a área mobilizada pelo sistema puncionador foi utilizado um perfilômetro (Figura 13) contendo 50 varetas verticais de 64 cm de comprimento, com espaçamento entre varetas de 1 cm. Para demarcar as curvas delimitadoras do perfil natural e de fundo do solo foi inserido no perfilômetro papéis milimetrados, desta forma o levantamento foi realizado 2 vezes, a primeira para definir o perfil natural do solo e a segunda para definir o perfil de fundo, logo após a passagem do sistema puncionador.

Em seguida com a obtenção dos dados dos perfis, feita pela delimitação e contagem em papel milimetrado do perfil natural e de fundo foi realizado o somatório das alturas dentro desse intervalo.

Figura 13- Perfilômetro utilizado para fazer o levantamento do perfil do solo

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.6 Metodologias utilizadas para o desenvolvimento da semeadora

5.6.1 Análise de sistemas técnicos conhecidos

Foi utilizada a análise de sistemas técnicos conhecidos para encontrar soluções como ponto de partida para novas variantes, ou seja, soluções existentes foram utilizadas como base para aperfeiçoar o produto, desta forma foi possível encontrar novas soluções para otimizar o protótipo conforme as recomendações de Pahl *et al*., (2005).

5.6.2 Função síntese

A função síntese também foi utilizada como método para o desenvolvimento da semeadora. A base da metodologia foi fundamentada em um modelo que dividiu o processo do projeto de desenvolvimento do protótipo em quatro fases: projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado.

Esta metodologia formula ações necessárias para solucionar um problema exposto, este procedimento cria um modelo que é utilizado para o desenvolvimento de várias soluções que serão utilizadas como alternativas para a elaboração do protótipo. A vantagem de tal procedimento consiste na possibilidade de determinar diferentes alternativas estruturais de operações básicas para se obter o caminho ótimo da estrutura do projeto conforme as recomendações de Back (1983).

O desenvolvimento do protótipo seguiu as recomendações de Pahl (2005) e Frabetti (2008), portanto foi desenvolvida uma lista de requisitos do protótipo, o projeto conceitual com uma estrutura de funções da semeadora, o projeto preliminar e detalhado. A seguir é apresentado todas as etapas que foram utilizadas para o desenvolvimento do protótipo.

5.6.2.1Projeto informacional

A partir da definição do projeto a ser elaborado, foram estabelecidos alguns requisitos para a construção do mesmo, onde buscou-se atender as necessidades dos agricultores familiares, que possuem área de até 18 a 9 ha, pois no Brasil existem 3,2 milhões de propriedades rurais com menos de 20 ha, ou seja, 62% de todas as

propriedades familiares brasileiras possuem área média em torno de 10 ha (IBGE, 2006).

Portanto, as especificações de projeto da semeadora foram simplificadas em uma lista de requisitos que pode ser visualizada abaixo:

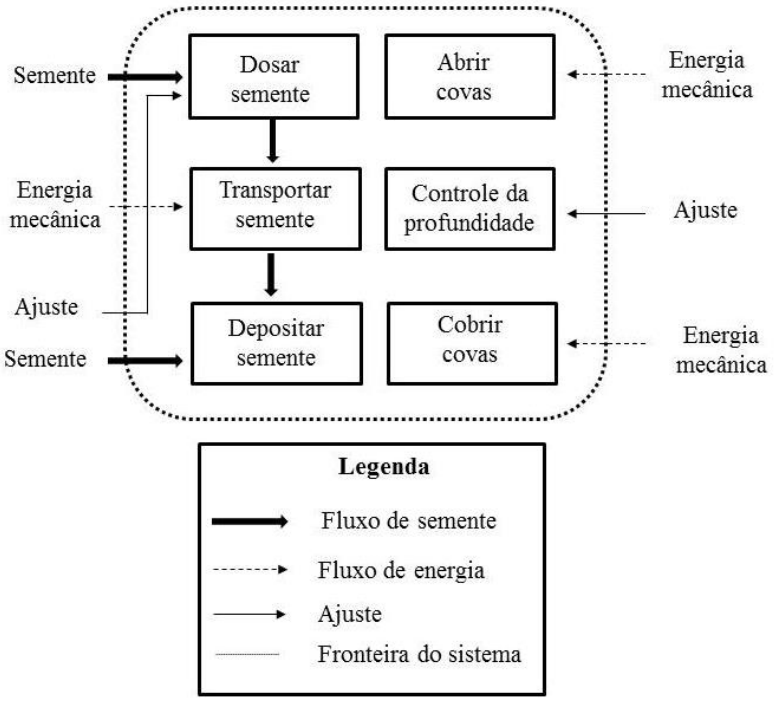
a) Substituição da fonte de potência humana por fonte de potência motomecanizada ou motorizada. Desta forma foi estabelecido que o protótipo deveria exigir pouca potência para que um trator de rabiça comercial consiga realizar o trabalho em campo;
b) Possuir fácil regulagem, já que os agricultores familiares possuem baixa tecnificação e menor grau de instrução, portanto as regulagens devem ser fáceis possibilitando uma variação limitada de maneira a evitar erros, proporcionando facilidade na execução dessa tarefa, desta forma as mesmas têm de permitir ajustes dentro dos limites aceitáveis para a cultura, minimizando as chances de regulagem incorreta, o que acontece frequentemente com muitos agricultores na prática da semeadura (STEFANELLO, 2013);
c) Foi estabelecido também que o protótipo da semeadora deveria realizar a deposição das sementes em covas, pois segundo Frabetti *et al*., (2011) semeadoras dotadas de sistema puncionador realizam o processo de distribuição de sementes de forma uniforme e precisa, revolvendo menos o solo, diminuindo a compactação do mesmo. Sendo assim, a semeadora com sistema puncionador revolveria menos o solo quando comparada com semeadoras que utilizam hastes e discos sulcadores, além de realizar a distribuição de sementes de forma pontual o que possibilita um processo de semeadura uniforme (FRABETTI *et al*., 2011);
d) Estabeleceu-se que o protótipo realizaria o semeio de milho, pois a agricultura familiar é responsável por produzir 46% do milho que é consumido pelos brasileiros (MDA, 2010). Sendo assim definiu-se que o mesmo realizaria o processo de semeadura de forma precisa, ou seja, os padrões mínimos de porcentagem de duplos e falhas deveria ser atendidos, assim como deposição das sementes no solo deveria ser realizada com padrão regular de profundidade e de distâncias entre semente conforme as especificações de cada cultura, além de não ocasionar danos à semente.

5.6.2.2 Projeto conceitual da semeadora

Depois que os requisitos do projeto foram definidos foi elaborado uma estrutura de funções para o protótipo conforme as especificações de Frabetti (2008), onde buscou-se atender cada função, tendo por base para a tomada de decisão a lista de requisitos elabora no projeto informacional.

A Figura14 apresenta a estrutura de funções para o protótipo, onde pode-se verificar as sub funções que serão necessárias para realizar o semeio de milho de forma pontual.

Figura 14- Estrutura de funções para a deposição de sementes



Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir são apresentadas as soluções selecionadas para realizar as sub funções para o processo de deposição de sementes:

5.6.2.2.1Dosar semente

Optou-se por um sistema de dosagem com disco perfurado horizontal, pois o mesmo é um sistema disponível no mercado que apresenta boa distribuição de sementes e possui menor preço quando comparado com o sistema pneumático, o que contribui para decréscimo no preço final do protótipo.

5.6.2.2.2 Transportar semente

Para fazer o transporte da semente do disco dosador para o sistema puncionador, optou-se por um tubo condutor de borracha, desta forma a semente cai no sistema puncionador que possui seção quadrada, em seguida a mesma é transportada até o sistema de abertura, até que a cova seja formada para que ocorra a deposição da semente.

5.6.2.2.3 Depositar a semente

As sementes são conduzidas do sistema dosador e passam pelo sistema puncionador, ou seja, cada semente liberada precisa percorrer o comprimento do puncionador para chegar ao fundo da cova. Quando o eixo cames aciona o puncionador ocorre à penetração do mesmo no solo, fazendo com que o sistema de abertura de covas seja acionado, permitindo formação de uma cova para posterior deposição da semente.

5.6.2.2.4 Abrir covas

Para abertura de covas optou-se por um eixo cames para realizar o acionamento do sistema puncionador no sentido vertical, desta forma ao girar o cames aciona o puncionador, quando o mesmo penetra no solo, o sistema de abertura de covas é acionado por meio de uma mola, que é acionada por meio de uma força no sentindo vertical que faz com que o solo seja arrastando lateralmente, permitindo a formação de uma cova.

5.6.2.2.5 Controle da profundidade

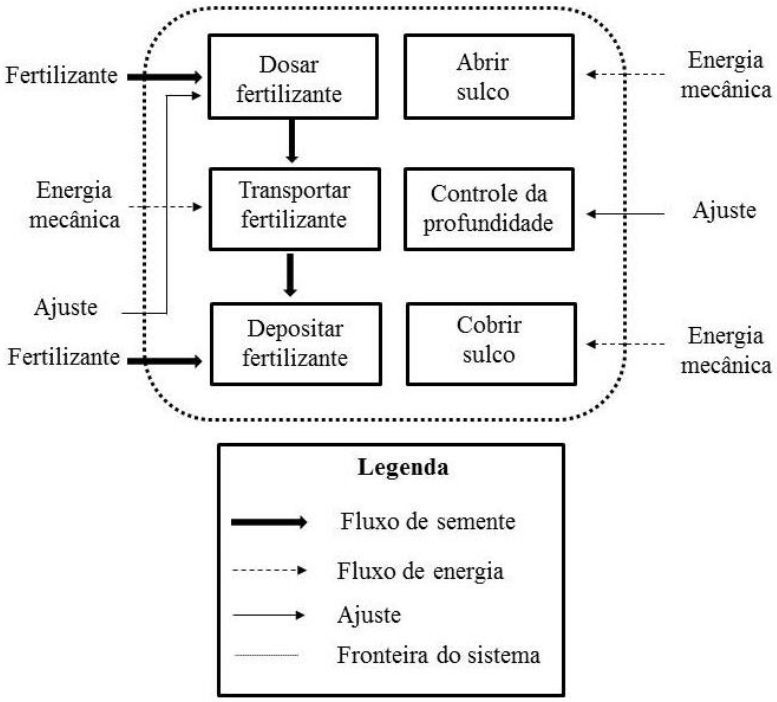
O controle de profundidade é realizado por meio de uma barra que permite a elevação do eixo cames, desta forma a regulagem de semeadura depende da diferença do desnível do cames com o puncionador, uma menor profundidade é alcançada por meio do uso de uma barra que elevaria a altura do cames, permitindo que o puncionador obtenha menores profundidades.

5.6.2.2.6 Cobrir covas

A cobertura da cova é feita por meio de um disco cobridor que tem por função cobrir a semente com solo de forma uniforme, garantindo a proteção contra pássaros e permitindo que a semente tenha a umidade necessária para germinar. A regulagem do disco pode ser feita por meio da variação do ângulo vertical do disco.

A Figura 15 apresenta a estrutura de funções para o protótipo, onde verifica-se as sub funções que serão necessárias para realizar a deposição de fertilizante.

Figura 15- Estrutura de funções para a deposição de fertilizante



Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir são apresentadas as soluções selecionadas para realizar as sub funções para o processo de deposição de fertilizante:

5.6.2.2.7 Dosar fertilizante

Optou-se por um sistema de dosagem com rosca helicoidal, pois o mesmo é um sistema disponível no mercado que apresenta boa distribuição de fertilizante e possui preço acessível, além de ser um dos dosadores mais utilizados para realizar a distribuição de fertilizante.

5.6.2.2.8 Transportar e depositar fertilizante

O fertilizante encontra-se em contato direto com a rosca helicoidal, o transporte do mesmo é realizado por meio de um tubo condutor de borracha que conduz o fertilizante até o sulco.

5.6.2.2.9 Abrir sulco

A abertura do sulco para deposição do fertilizante é feita por meio de sulcadores de discos duplos, optou-se por esse sulcador, pois o mesmo permite que o fertilizante seja distribuído de forma precisa, já que por abrir um sulco em formato de "V" por meio do corte e compreensão do solo, tem-se a garantia que o fertilizante será depositado na profundidade adequada.

5.6.2.2.10 Controle da profundidade

O controle da profundidade é feito por meio um entalhe (rasgo), que permite diferentes regulagens de profundidade. Caso seja necessário o uso de uma maior profundidade de trabalho, o sistema de disco sulcador deve ser deslocado para baixo, garantindo que o mesmo penetre mais no solo.

5.6.2.2.11 Cobrir sulco

A cobertura do sulco é realizada por meio de um disco cobridor que tem por função cobrir o fertilizante com o solo de forma uniforme, garantindo que mesmo seja coberto. A regulagem do cobridor pode ser feita por meio da variação do ângulo vertical do disco.

5.6.2.3 Projeto preliminar

Após a definição de todos os requisitos estabelecidos foi desenvolvido o desenho conceitual da semeadora puncionadora conforme pode ser visualizado na Figura 16 por meio do software Blender®. É valido ressaltar que foram utilizados muitos princípios de solução já existentes comercialmente (sistemas padronizados),

visando reduzir os custos envolvidos no projeto, conforme as especificações de (STEFANELLO, 2013).

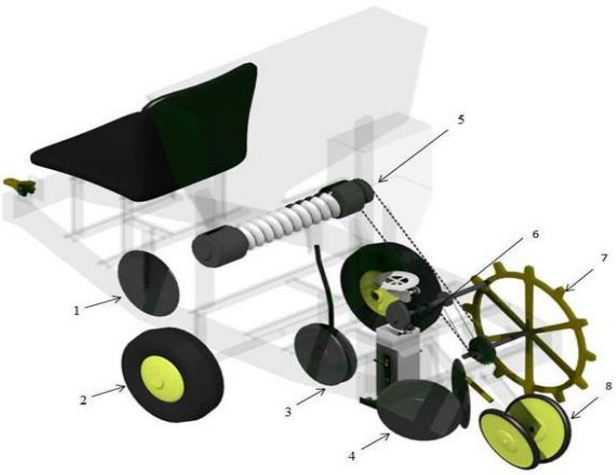
Observa-se na Figura 16 que a máquina constitui-se por um cabeçalho para tração, disco de corte para realizar o corte da palhada, caso o agricultor utilize o sistema de plantio direto, discos sulcadores para realizar a deposição de fertilizante, sistema puncionador para realizar a deposição da semente no solo, discos aterradores para cobrir a semente e o fertilizante e roda compactadora para realizar a compactação da cova, assegurando o contato entre o solo e a semente.

Figura 16- Desenho preliminar do protótipo da semeadora puncionadora

Fonte: Elaborada pela autora.

Durante o projeto definiu-se que o protótipo realizaria o processo de deposição de forma pontual. Sendo assim projetou-se um eixo cames acionado por uma roda de aço, lisa com garras que, ao girar transmite o movimento para o eixo que faz o sistema puncionador realizar movimento no sentindo vertical (Figura 17).

Figura 17- Desenho conceitual dos componentes do protótipo inicial

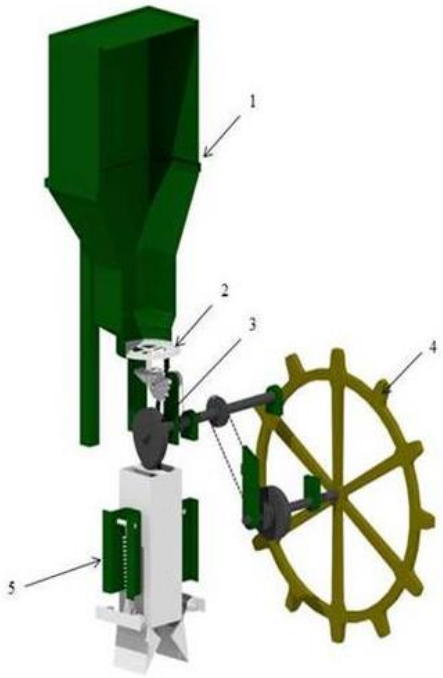


Legenda:
1-Disco de corte;
2-Eixo rodante;
3-Disco sulcador;
4-Disco aterrador;
5-Rosca helicoidal para distribuição;
6-Sistema distribuidor de semente;
7-Roda de acionamento
8-Roda compactadora

Fonte: Elaborada pela autora.

Para abertura do sistema foram utilizadas molas fixadas a uma chapa metálica (Figura 18), logo que o sistema puncionador penetrasse no solo as mesmas seriam forçadas no sentindo vertical fazendo com que o sistema de abertura de cova (Figura 19) fosse acionado arrastando o solo lateralmente, desta forma a cova é formada e a semente depositada no solo.

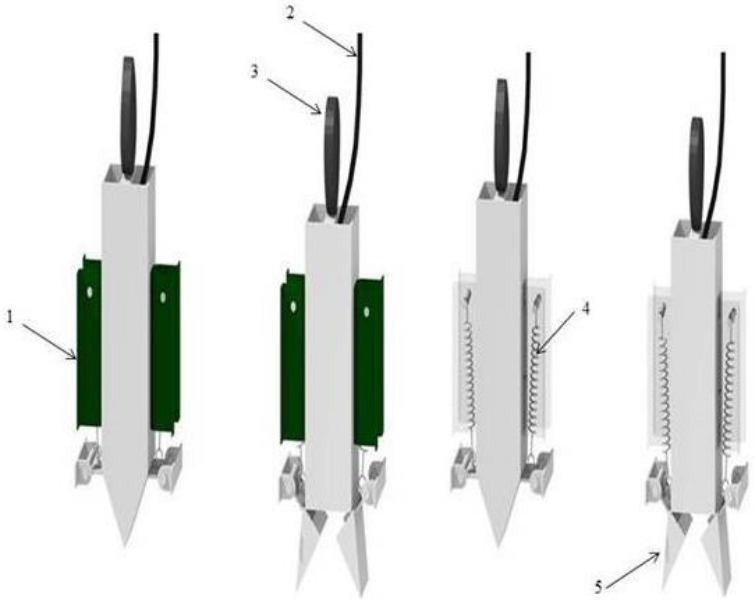
Figura 18- Desenho conceitual do sistema de transmissão do distribuidor de sementes



Legenda:
1-Reservatório de sementes;
2-Disco dosador de sementes;
3-Eixo cames;
4- Roda de acionamento;
5-Mecanismo responsável pelo acionamento do sistema de abertura de covas.

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 19- Detalhes do mecanismo de abertura do distribuidor de sementes



Legenda:
1-Chapa metálica;
2-Tubo condutor de sementes;
3-Cames;
4-Molas responsáveis pela abertura da cova
5-Sistema para abertura de cova.

Fonte: Elaborada pela autora.

5.6.2.4 Projeto detalhado

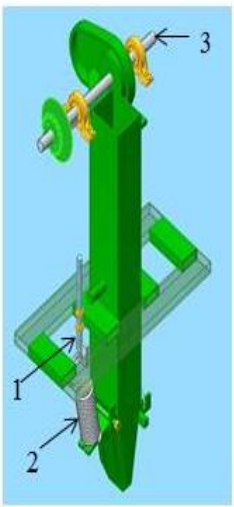
Nessa etapa foram elaborados os desenhos detalhados das peças que seriam utilizadas para a construção do protótipo por meio do software Solid Edge ST6®.

Portanto, após serem determinadas as principais dimensões do protótipo e do sistema puncionador, foram elaborados os desenhos técnicos para a fabricação da semeadora puncionadora e o material que seria utilizado para a construção da mesma foi determinado. Para tanto utilizou-se o software Autodesk Fusion 360® para realizar análise de tensões e deformações do protótipo pelo método dos elementos finitos, a fim de determinar se o material utilizado para a construção do protótipo suportaria as tensões a qual seria submetido em campo.

Os desenhos detalhado do sistema puncionador e do cames, com suas dimensões pode ser visualizado no apêndice. A seguir são apresentados os desenhos detalhados do sistema puncionador que foi projetado e seus principais constituintes para realizar o acionamento do mesmo.

Portanto observa-se que a equipe do projeto realizou alterações no projeto preliminar a fim de otimizar o desempenho do protótipo inicial, como pode ser verificado na Figura 20.

Figura 20- Detalhes da modificação do mecanismo de abertura do distribuidor de sementes



Legenda:
1-Mecanismo responsável pelo acionamento do sistema de abertura de covas;
2-Sistema para abertura da cova;
3-Eixo cames.

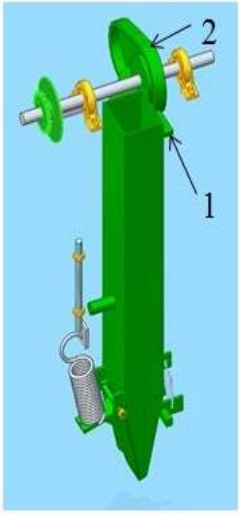
Fonte: Elaborada pela autora.

Desta forma, observa-se que houve alteração no mecanismo de abertura da cova, pois no projeto preliminar a localização do mesmo dificultava o movimento do sistema puncionador no sentindo vertical, sendo assim foi projetado outro sistema para

realizar a abertura das covas. O acionamento do protótipo também sofreu modificação, pois a roda de ferro liso com garras que era responsável pelo acionamento de todo sistema foi substituída por pneus de borrachas com garras para aumentar a tração.

A Figura 21 apresenta a modificação que foi realizada para o acionamento do sistema puncionador.

Figura 21- Detalhes da modificação do posicionamento da base para o acionamento do sistema puncionador



Legenda:
1-Base para o acionamento do sistema puncionador por meio do cames;
2-Cames.

Fonte: Elaborada pela autora.

No projeto preliminar o acionamento do sistema era realizado por meio do contato entre o cames e uma base que se encontrava fixa no centro do mecanismo (Figura 19), porém a localização do mesmo poderia gerar atrito entre o cames e o tubo condutor de sementes o que ocasionaria dano ao tubo, sendo assim para otimizar a queda da semente foi feito uma adaptação na lateral no sistema puncionador, ou seja, foi inserido lateralmente na parte superior uma base, permitindo que o cames acionasse o sistema na parte externa evitando o contato com o tubo.

5.7 Planejamento estatístico

Inicialmente foi realizado o levantamento de dados para estimar a quantidade sementes que foram utilizadas nos testes preliminares e por meio desses determinar o número total de sementes que seriam necessárias para que possivelmente os dados avaliados apresentasse distribuição normal, pois a metodologia estatística adotada permite verificar o número de amostras necessárias para que haja normalidade no experimento por meio do erro médio padrão. O número mínimo de amostras foi

encontrado por meio de médias e desvios padrões obtido de trabalhos realizados anteriormente por e Melo *et al*., (2013).

Foi utilizada a equação sugerida por Montgomery (2004) para que o erro médio padrão fosse encontrado. O erro médio padrão foi calculado por meio da equação 1.

$$d = \frac{|\mu 1 - \mu 2|}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} \quad (1)$$

Onde:

d é o erro médio padrão;

μ1 é a média;

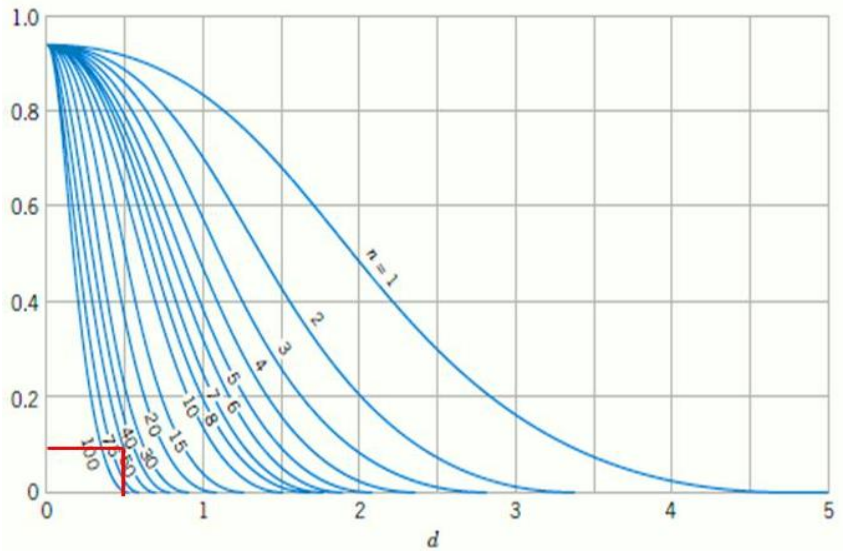
μ2 é a média;

σ1 é o desvio padrão;

σ2 é o desvio padrão;

No gráfico de curvas características de operação (Figura 22) o eixo "y" representa o erro beta β, ou seja, é o máximo de erro que é tolerável no experimento, já o eixo "x" representa o erro médio padrão que é encontrado por meio de médias e desvios padrões obtidos de trabalhos semelhantes a este.

Figura 22- Curvas características de operação para diferentes valores de n para o teste em frente e verso normal para um nível de significância α = 0,05



Fonte: Montgomery (2004).

Após a obtenção do valor do erro médio padrão, foi considerado o erro β de 10% e por meio do gráfico de curvas características de operação foi encontrado o número de 50 amostras para realizar o ensaio preliminar do protótipo. Em seguida com a realização dos ensaios preliminares com o protótipo foi determinado o número de amostras necessárias para o ensaio final, de modo que possivelmente ocorresse normalidade nos dados avaliados, desta forma foi definido o número de 100 amostras para o ensaio final, sendo que este valor foi encontrado por meio das Equações 2 e 3.

$$n = \left(\frac{Z\alpha/_{2}\sigma}{E} \right)^2 \qquad (2)$$

$$E = \mu . \beta \qquad (3)$$

Onde:

n é o número de amostras;

Zα/2é o valor padronizado da distribuição normal padrão;

σ é o desvio padrão;

E é o erro médio padrão;

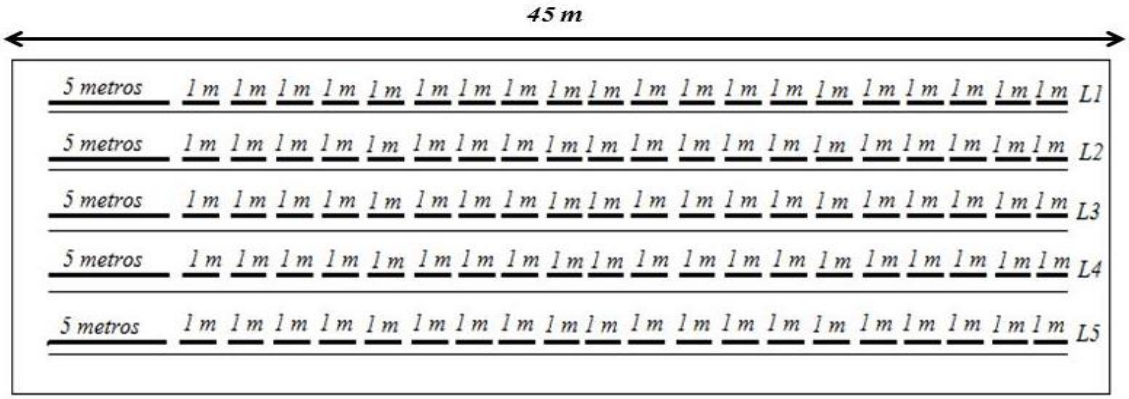
β é o erro beta;

μ é a média.

5.8 Avaliação da distribuição e profundidade de deposição de semente

A Figura 23 apresenta o esquema da área experimental e a maneira que foi realizada a avaliação da distribuição de sementes.

Figura 23- Esquema da área experimental e avaliação da distribuição das sementes

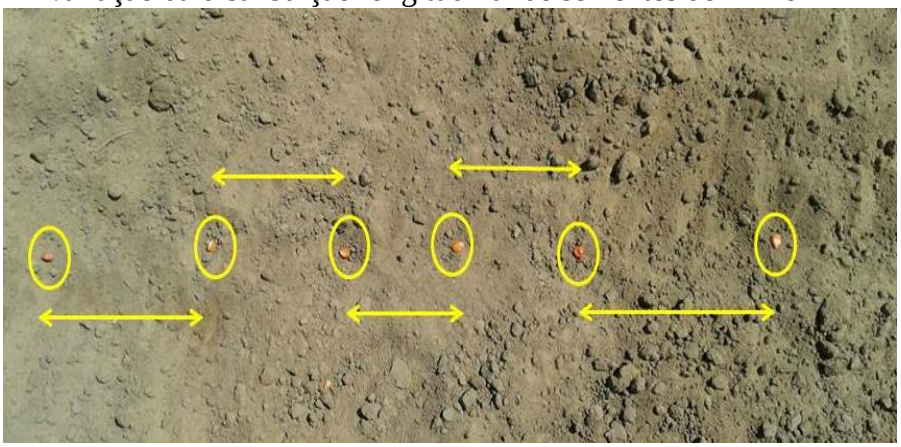


Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que foi demarcada uma distância de 45 metros para realizar a distribuição das sementes e foi considerada uma distância de 5 metros para que ocorresse a estabilização do sistema dosador de sementes, portanto esses 5 metros foram desconsiderados na avaliação. No total foram semeadas 5 linhas (L1, L2, L3, L4 e L5).

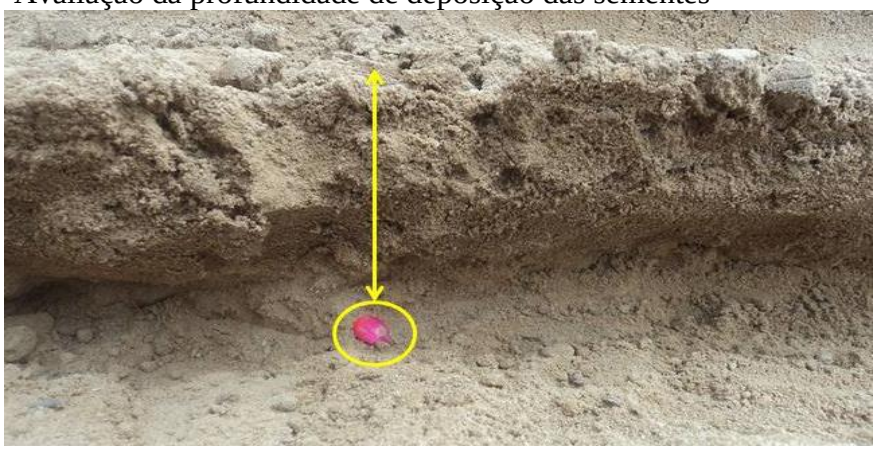
Para avaliar a distribuição (Figura 24) e a profundidade de deposição (Figura 25) de sementes foi utilizado o método da escavação manual proposto por Baker *et al*., (1997). Desta forma, as covas foram desenterradas a cada 1m ao acaso, pois o delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado e foi utilizada uma régua graduada, em centímetros, para avaliação do processo de distribuição. Nas linhas semeadas, a cada 1 metro avaliado, foi contabilizado o número de sementes, ou seja, cada semente representava uma amostra, deste modo em cada faixa de distribuição foram coletadas 100 sementes, o que contabilizou o valor de 500 amostras.

Figura 24- Avaliação da distribuição longitudinal de sementes de milho



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 25- Avaliação da profundidade de deposição das sementes



Fonte: Elaborada pela autora.

5.9 Avaliação da profundidade de deposição de fertilizante

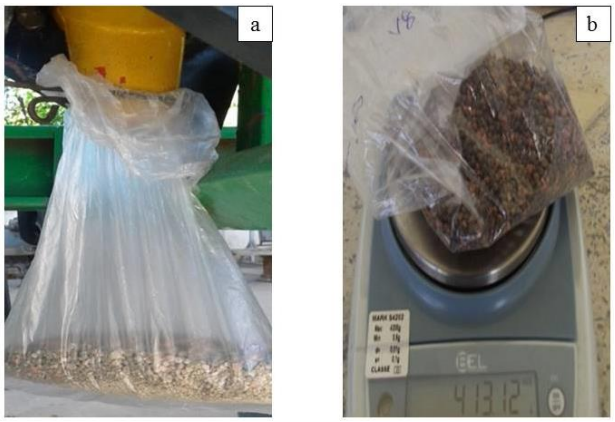
Para a avaliação da deposição de fertilizante também foram adotadas as recomendações Baker *et al*., (1997), ou seja, o sulco de deposição do adubo foi aberto e com o auxílio de uma régua, graduada em centímetros, contabilizou-se a profundidade de deposição a cada 1m avaliado. O fertilizante foi distribuído em uma faixa de 45 m, cada linha representava uma repetição. Após a distribuição do mesmo no solo, foi contabilizado a profundidade de deposição de 5 amostras de fertilizante a cada 1 m avaliado, deste modo foram abertos 20 metros aleatoriamente para contabilizar o número de 100 amostras por linha. No total foram contabilizados 500 amostras de fertilizante, já que foram avaliadas 5 linhas.

5.10 Avaliação da densidade de distribuição de fertilizante

Para avaliação da distribuição de fertilizante foram inseridas no local do tubo condutor embalagens plásticas para coletar a densidade do fertilizante (Figura 26 a), em seguida as embalagens foram amarradas por cordões no local de saída do tubo condutor de fertilizante conforme as recomendações de Coelho (1998).

Após as embalagens serem inseridas no tubo condutor de adubo o protótipo da semeadora puncionadora percorreu uma distância de 20 m, em seguida as embalagens plásticas foram coletadas identificadas e pesadas em balança de precisão (Figura 26 b). No total foram coletadas 10 amostras para avaliar a distribuição de fertilizante. No início da distribuição do fertilizante havia uma distância de 5 metros para a estabilização do sistema distribuidor.

Figura 26- Coleta da densidade de fertilizante (a) e amostras sendo pesadas em balança digital (b)



Fonte: Elaborada pela autora.

5.11 Avaliação do espaçamento entre sementes

Foi utilizada a metodologia recomendada por Kurachi *et al*., (1989) e Albiero (2010) para a avaliação dos espaçamentos entre sementes. Por meio desta metodologia os espaçamentos coletados da distribuição longitudinal de sementes foram avaliados e classificados como duplos, aceitáveis ou falhos. Na Tabela 4 encontram-se os valores referentes aos limites das faixas de classe de frequência determinados pelo autor.

Tabela 4- Metodologia para a avaliação do espaçamento entre sementes

Tipos de espaçamento	Intervalo de tolerância para variação Xi
Múltiplos	Xi < 0,5. Xref
Aceitáveis	0,5. Xref < Xi < 1,5. Xref
Falhos	Xi > 1,5. Xref

Fonte: Kurachi *et al*., (1989).

5.12 Velocidade de deslocamento

Para tracionar o protótipo da semeadora foi utilizado um trator Valtra A, modelo 950 4x2 TDA (tração dianteira auxiliar), com 69,8 kW (95cv) de potência máxima no motor, trabalhando na marcha L_1 reduzida, na rotação de 1500 rpm, que proporcionou uma velocidade de operação de 1,92 km h^{-1}.

O protótipo desenvolvido consegue trabalhar até a velocidade de 3 km h^{-1}, para tanto a velocidade dos punço aumenta gradativamente com o acréscimo da velocidade, o que acaba comprometendo a eficiência do sistema quando se utiliza o espaçamento de 140 mm entre sementes, por isso foram feitos vários ensaios para determinar a velocidade ideal de trabalho, que permite que o protótipo obtenha a máxima eficiência em campo.

Portanto, a velocidade utilizada atende as necessidades da agricultura familiar, pois qualquer trator de rabiça pode desenvolver esta velocidade de operação, além do processo de semeadura com este protótipo obter ótima distribuição de semente, pois Albiero (2010) e Villibor (2008) afirmam que esta velocidade possibilita uma capacidade de campo compatível com as pequenas propriedades rurais brasileiras, além do que os autores desenvolveram semeadoras para a agricultura familiar que trabalhavam nas velocidades de 0,9 e 2,6 km h^{-1}.

Frabetti *et al*.,(2011) corrobora com esta afirmação e concluem que muitos pesquisadores que desenvolveram semeadoras puncionadoras apontaram dificuldades para trabalhar em velocidades elevadas por conta do tempo necessário para realizar o punço no solo e garantir que a semente seja depositada em tempo hábil na cova.

5.13 Reservatório da semeadora

Durante os ensaios, o reservatório de semente e fertilizane da semeadora operaram constantemente com 50% de sua capacidade volumétrica de acordo com as recomendações da ABNT (1994) e Mialhe (1996).

5.14 Índice de deslizamento da roda de acionamento da semeadora

Para medir o índice de deslizamento dos rodados da semeadora foi adotada a metodologia recomendada por Mialhe (1996), sendo que foi contabilizado o número de voltas que a roda do protótipo da semeadora percorreu em uma distância de 40 m. O índice de deslizamento semeadora foi determinada por meio da Equação 4.

$$Pt=\frac{(Pr*N°-Cl)}{(Pr*N°)} \quad (4)$$

Onde:
Pt é a patinagem;
Pr é o perímetro rodado pelo pneu acionado da máquina;
N° é o número de voltas percorrido na linha experimental;
Cl é o comprimento do espaço útil da linha experimental.

5.15 Capacidade de campo efetiva

A capacidade de campo efetiva foi determinada pela relação entre a área útil da parcela trabalhada e o tempo gasto no percurso da parcela, por meio da Equação 5 conforme as recomendações da norma ASAE S396.2 (1998).

$$CE=\frac{Atr}{\Delta t}*0,36 \quad (5)$$

Onde:

CE é a capacidade de campo efetiva (ha h^{-1});

Atr é a área útil da parcela trabalhada (m^2);

Δt é o tempo gasto no percurso da parcela experimental (s);

0,36 é o fator de conversão.

5.16 Capacidade de operacional

A capacidade de campo operacional foi determinada pela relação entre a área trabalhada e o tempo gasto na realização da operação, por meio da Equação 6.

$$C=\frac{A}{AT}*0,36 \qquad (6)$$

Onde:

v é a velocidade de opere ação (km h^{-1});

w é a largura de trabalho (m);

C é a capacidade de campo teórica, (ha h^{-1}).

5.17 Eficiência de campo

A eficiência de campo será calculada por meio dos valores da capacidade de campo efetiva e operacional, como pode ser visto na Equação 7.

$$E=\frac{CO}{CE} * 100 \qquad (7)$$

Onde:

E = eficiência (%);

CO = capacidade de campo operacional (ha h^{-1});

CE = capacidade de campo efetiva (ha h^{-1}).

5.18 Estatística

Para os ensaios do protótipo foi utilizado delineamento experimental inteiramente casualizado definido por Cochran (1957) e Albiero (2010) como o mais simples tipo de arranjo experimental.

A estatística descritiva foi utilizada para analisar os seguintes parâmetros: média, desvio padrão, coeficiente de variância, simetria e curtose. Por meio do coeficiente de simetria e curtose foi determinada a normalidade dos dados estudados seguindo as recomendações de Montgomery (2004) e Oliveira (2010).

5.19 Metodologia para avaliação de qualidade

5.19.1 Controle Estatístico do Processo (CEP)

O controle estatístico do processo (CEP) foi utilizado para avaliar os dados normais e verificar a estabilidade do processo. A avaliação do CEP foi baseada nos números índices C_p, C_{pk} conforme a Equação 8.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (8)$$

Onde:
C_p é o índice da capacidade do processo;
LSE é o limite superior de especificação;
LIE é o limite inferior de especificação;
σ é o desvio padrão.

Já a capacidade efetiva do processo (C_{pk}) foi baseada por meio das Equações 9, 10 e 11.

$$C_{pk} = \min(C_{ps}, C_{pi}) \quad (9)$$

$$C_{ps} = \frac{LSE - \mu}{3.\sigma} \quad (10)$$

$$C_{pi} = \frac{\mu - LIE}{3.\sigma} \quad (11)$$

Onde:

LSE é o limite superior de especificação;

LIE é o limite inferior de especificação;

σ é o desvio padrão.

μ é a média do processo.

5.20 Análise de Efeitos e Modos de Falha (FMEA)

Foi utilizada Análise de Efeitos e Modos de Falha para propor ações com objetivo de evitar que falhas ocorressem durante a execução do protótipo final, ou seja, a FMEA auxiliou na detecção de problemas potenciais no produto de forma antecipada, já que a mesma é um método preventivo e tem por objetivo assegurar que durante o projeto do produto, os modos de falhas potenciais e suas causas e mecanismos associados sejam considerados e abordados.

Desta forma, após ser definido o escopo da análise que iria compor o FMEA, o fluxograma do processo foi preparado conforme as especificações de Back (1983) e Albiero (2010). Segundo os autores quando um projeto é iniciado e desenvolvido, este possui uma sequência de eventos cronológicos que forma um modelo, sendo assim cada um destes eventos é dividido em fases que podem ser arranjadas em um fluxograma que tem suas fases convencionadas pelas representações gráficas composta na Tabela 5.

Tabela 5- Convenções de fases no processo de projetar

Fases do evento	Representação gráfica	Descrição
Início ou fim		Início ou fim da operação
Processo		Processo ou operação executada.
Resultado		Dados de saída do processo.
Avaliação		Comparação de dados e tomada de decisão
Dado		Informações ou dados de qualquer natureza

Fonte: Back (1983).

Para a estruturação do FMEA foi adotado o formulário adaptado por Albiero (2010) como pode ser visto na Tabela 6.

Cada item enumerado determina um tipo de informação estruturada que possibilitou a análise de cada falha potencial, por meio da visualização global das causas (9), efeitos (6) e modo das falhas (5). Isto permitiu o estabelecimento da quantificação dos índices de severidade (7), grau de ocorrência (10) e nível de detecção (13), estes possibilitaram o cálculo do Número Prioritário de Risco (NPR) (14), por meio da equação 12.

Tabela 6- Formulário FMEA

1	Sub Processo
2	Funções
3	Elementos principais atuantes
4	Requisitos exigidos
5	Modo potencial de falha
6	Efeito da falha potencial
7	Severidade
8	Classe
9	Causa potencial
10	Ocorrência
11	Controle preventivo atual
12	Controle corretivo atual
13	Detecção
14	N.P.R
15	Ações recomendadas
16	Observações

Fonte: Albiero (2010).

$$NPR = Sv \times Oc \times Dt \qquad (12)$$

Onde:

Sv é a severidade da falha;

Oc é a ocorrência da falha;

Dt é a detecção da falha;

NPR é o número prioritário de risco.

Para definir a prioridade de falha foram utilizados os seguintes fatores: a ocorrência (Oc) que define a frequência da falha, a severidade (Sv) que determina a gravidade do efeito da falha e a detecção (Dt) que detecta a falha antes que ela atinja o cliente.

As Tabelas a seguir apresentam o sistema de pontuação que foi utilizado para determinar estes fatores.

A Tabela 7 apresenta o critério de análise para determinar o grau de severidade da falha. A severidade poderá ser classificada por meio de uma faixa de variação pré-determinada, onde 1 representa nenhum impacto ao cliente e 10 uma falha crítica.

Tabela 7- Critério de análise para determinar a severidade (gravidade) da falha

Índice	Severidade	Critério
1	Mínima	O cliente mal percebe que a falha ocorreu
2 3	Pequena	Ligeira deterioração no desempenho com leve descontentamento do cliente
4 5 6	Moderada	Deterioração significativa no desempenho de um sistema com descontentamento do cliente
7 8	Alta	Sistema deixa de funcionar e grande descontentamento do Cliente
9 10	Muito Alta	Idem ao anterior, porém afeta a segurança

Fonte: Toledo e Amaral (2008).

A Tabela 8 apresenta o critério de análise para determinar a capacidade de detecção da falha. A detecção permite a verificação e identificação das falhas presentes no projeto, ou seja, após a detecção da falha a mesma é classifica por meio de uma faixa pré-determinada que varia de 1 a 10, onde 1 representa uma detecção certa e 10 uma probabilidade remota de detecção.

Tabela 8- Critério de análise para determinar a capacidade de detecção da falha

Índice	Detecção	Critério
1	Muito	Certamente será detectado
2 3	Grande	Grande probabilidade de ser detectado
4 5 6	Moderada	Provavelmente será detectado
7 8	Pequena	Provavelmente não será detectado
9 10	Muito Pequena	Certamente não será detectado

Fonte: Toledo e Amaral (2008).

A Tabela 9 apresenta o critério de análise para determinar a ocorrência da falha. Após a definição da falha será identificado os meios de prevenção para reduzir a probabilidade de ocorrência da falha por meio de uma faixa pré-determinada que varia de 1 a10, onde 1 representa ocorrência remota e 10 uma alta ocorrência.

Foi utilizado o escore variando de 1 a 10 conforme as recomendações de Toledo e Amaral (2008) para determinar a pontuação que compôs a FMEA.

Os autores ainda recomendam em suas pesquisas o escore máximo de 10 pontos para classificar a prioridade para a correção das possíveis falhas, como pode ser visualizado a seguir.

Tabela 9- Critério de análise para determinar a ocorrência da falha

Ocorrência	**Taxa de falhas possíveis**	**C_{pk}**	**Ranking**
Muito alta: falha é quase inevitável	1em 2 1 em 3	<0,33 ≥ 0,33	10 9
Alta: falhas repetitivas	1 em 8 1 em 20	≥ 0,51 ≥ 0,67	8 7
Moderada: falhas ocasionais	1 em 80 1 em 400 1 em 2.000	≥ 0,83 ≥ 1,00 ≥ 1,17	6 5 4
Baixa: relativamente poucas falhas	1 em 15.000 1 em 150.000	≥ 1,33 ≥ 1,50	3 2
Remota: falhas são raras	1 em 1.500.000	≥ 1,67	1

Fonte: Elsmar (2009).

Portanto, é utilizada a seguinte classificação: de 1 a 207 considera-se que a falha tem pouquíssima prioridade para solução, pois não representa um risco de dano a máquina; de 208 a 407 considera-se que a falha tem baixa prioridade para ser resolvida; de 408 a 607 representa um falha de média prioridade, portanto deve ser dada atenção a está falha, pois a mesma pode comprometer o funcionamento da máquina; de 608 a 807 tem-se uma falha com alta prioridade, portanto esta falha deve reparada rapidamente, pois a mesma poderá ocasionar danos graves ao protótipo; de 808 a 1000 considera-se que ocorreu uma falha com total prioridade, portanto a mesma deve ser solucionada de forma imediata, pois a mesma poderá comprometer por completo o funcionamento da máquina, podendo até ocasionar danos irreparáveis caso não seja solucionado rapidamente.

A Tabela 10 apresenta a equipe multidisciplinar para a elaboração do FMEA, a mesma foi constituída por especialista de diferentes áreas de atuação que tinham por objetivo apontar as falhas potenciais do projeto. O formulário para a análise do FMEA foi estruturado por perguntas que foram feitas ao grupo em cada etapa da avaliação do produto.

Para o preenchimento do formulário FMEA cada integrante individualmente determinou o escore elencando para as possíveis falhas, assim como sua causa, ocorrência, detecção e severidade seguindo a ordem do fluxograma, em seguida a pontuação final foi efetuada quando todos os membros da equipe entraram em consenso. É importante destacar que o verdadeiro intuito da discussão do formulário FMEA foi fazer com que todos os membros refletissem sobre as falhas potencias do produto ou processo para que ações de melhoria fossem propostas pelo grupo.

Tabela 10- Equipe multidisciplinar para elaboração do FMEA

Nome	**Formação**	**Especialidade**	**Vínculo ao projeto**
Rafaela Paula Melo	M.Sc. Eng. Agrícola	Controle de qualidade	Coordenadora (aluna de doutorado)
Daniel Albiero	D. Sc. Eng. Agrícola	Doutor em Desenvolvimento e Projeto de Máquinas	Orientador
Francisco Ronaldo Belem Fernandes	M.Sc. Eng. Agrícola	Projetos agrícolas	Aluno de Doutorado
Henryque Fernades Cândido	Engenheiro Agrônomo	Avaliação de máquinas agrícolas	Aluno de Mestrado
Aline Castro Praciano	Engenheira Agrônoma	Energias Renováveis	Aluna de Mestrado
Eduardo Santos Cavalcante	Engenheiro Agrônomo	Avaliação Máquinas Agrícolas	Aluno de Mestrado
Karla Lúcia Batista Araújo	Engenheira Agrônoma	Segurança de Máquinas Agrícolas	Aluna de Doutorado
Orlando Possuelo	Técnico em Edificações	Técnico em edificações	Aluno de Iniciação Científica
Graciane Garcia Braga	Letras	Espanhol_	Convidado

Fonte: Elaborada pela autora.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Análise de tensão e deformação do protótipo

Para realizar o estudo da simulação de tensões foi necessário definir todas as propriedades dos materiais utilizados na construção do protótipo, visto que a simulação é feita por meio de modelos computacionais que imitam processos ou operações do mundo real, desta forma os materiais empregados na construção do protótipo foram perfis em “U” enrijecido e em “L” de abas iguais, tubos, barras e chapas metálicas. As principais características dos materiais empregados foram: coeficiente de Poisson de 0,28; densidade do material de 7.833 kg m^{-3}, módulo de elasticidade de 206.800 MPa; tensão de escoamento de 393 MPa e tensão de ruptura de 469 MPa (NORTON, 2013).

Também foram consideradas as seguintes variáveis para realizar a simulação do protótipo: peso do operador de 80 kg; volume do reservatório de adubo de 60L; volume do depósito de sementes de 50L; densidade do adubo de 0,7106 g cm^{-3}; densidade da semente de 0,6132 g cm^{-3}; velocidade de operação de 2 km h^{-1}, esta velocidade foi escolhida, pois foram realizados vários ensaios em campo onde se constatou que a mesma permite que o protótipo obtenha a máxima eficiência; foi utilizado como potência requerida para tracionar o implemento o valor de 20 cv, este valor foi selecionado, pois é o valor máximo requerido pelo protótipo para ser tracionado, caso a semeadura seja realizada em uma área de plantio direto, no entanto caso a máquina fosse operada no sistema de plantio convencional, a força de tração necessária seria de apenas de 6 cv.

O conhecimento das forças que agem em uma máquina pode ser feito por meio da simulação estática ou dinâmica. A otimização estática identifica as melhores condições operacionais ou parâmetros, desta forma por meio de softwares de simulação de projetos é possível à obtenção de diversas informações que podem ser levadas em consideração para a construção de uma máquina.

Na simulação estática da semeadora- adubadora, a força que mais atuam sobre ela é a de atrito. Portanto, para o projeto em questão este quesito foi levado em consideração de acordo com as especificidades do projeto e do solo utilizado para realizar os ensaios, sendo assim o software utilizado para realizar a simulação foi alimentado com os seguintes valores: a força de atrito encontrada em cada pneu foi de 3.271,51 N, já a força que atua no disco sulcador duplo foi de 2.249,16 N e no sistema puncionador foi de 89,15 N.

Com relação ao torque foram considerados os seguintes valores: o torque calculado no eixo do pneu foi de 3059,49 N.m, como o eixo do pneu possui uma coroa dentada com mesmo número de dentes do eixo que aciona o cames, considerou-se que ambos possuem a mesma velocidade de rotação, logo o torque que atua no cames é o mesmo do eixo do pneu.

As forças que atuam no sistema puncionador também foram consideradas, desta forma foi realizado um ensaio de resistência ao cisalhamento na área utilizada para o experimento, onde se encontrou o valor máximo de tensão de 500 KPa em todos os gráficos gerados, é válido ressaltar que este valor refere-se a uma área que não foi prepara para ser semeada, pois o objetivo da simulação era encontrar os valores mais críticos com intuito de verificar se o protótipo resistiria as forças a qual seria submetido em campo.

Sendo assim, o atrito vertical gerado no puncionador pelo solo foi de 84,85 N, no que se refere à força necessária para que a cova fosse formada, encontrou-se o valor de 19,62 N.

Portanto, após a definição dos parâmetros técnicos utilizados para a avaliação foi realizado uma análise de tensões utilizando o software Autodesk Fusion® 360 e o Solid Edge® ST8 pelo método dos elementos finitos. Todas as possibilidades de forças que podem atuar sobre o protótipo foram levadas em consideração como: atrito, torque, auxiliando assim, a visualização das deformações e possíveis pontos de ruptura.

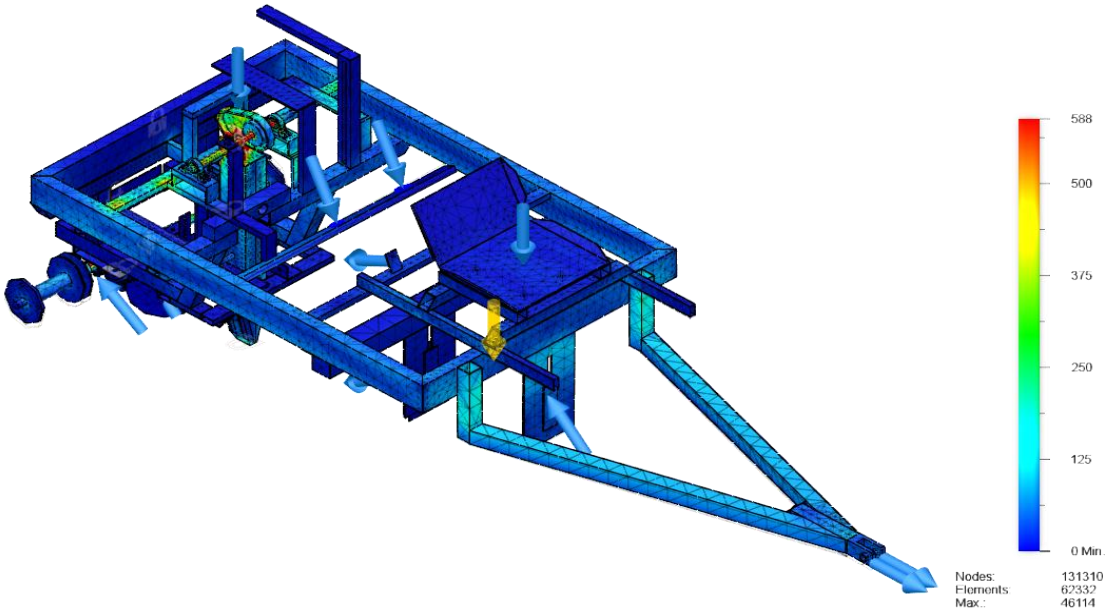
Segundo Caltarosso (2008) ao se projetar deve-se levar em conta o esforço ou conjunto de esforços que determinará o colapso do componente em análise, ou seja, quando o material atingir a tensão de escoamento o mesmo irá se deformar, o que poderá inutilizar o produto, neste sentindo o autor afirma que o critério de Von Misses pode ser utilizado para realizar a análise de tensões. O autor ainda relata que a teoria de Von Misses, também conhecida como teoria da energia de cisalhamento ou teoria da energia de distorção máxima considera que um material dúctil começa a escoar em um local onde a tensão de Von Misses tornar-se igual ao limite de tensão.

Neste contexto, uma forma de realizar a análise de tensão conforme o critério de Von Misses é pelo método do elemento finito que se caracteriza por ser um método matemático, no qual um meio contínuo é subdividido em elementos que mantém as propriedades de quem os originou (LOTTI *et al*., 2006).

Sendo assim, observa-se na Figura 27 que foi realizado um estudo com objetivo de identificar os valores de tensão que levam o material a falhar ou escoar, neste caso para identificar o real motivo da falha é necessário avaliar qual combinação

de todas as componentes de tensão presentes no elemento estrutural (tração, compressão, atrito, cisalhamento) levará o material a falhar, deste modo verifica-se no gráfico as tensões sofridas pelo protótipo quando o mesmo encontra-se em operação, já que existem várias cargas atuando no protótipo como: as cargas verticais referentes ao peso do operador e aos reservatórios de fertilizante e semente, a força necessária para o cames iniciar o funcionamento do puncionador, as forças referentes ao eixo rodante do protótipo, a força necessária para tracionar o protótipo e as forças de resistência à tração gerada pelos órgãos ativos do protótipo também foram considerados.

Figura 27- Análise de tensões no chassi do protótipo da semeadora

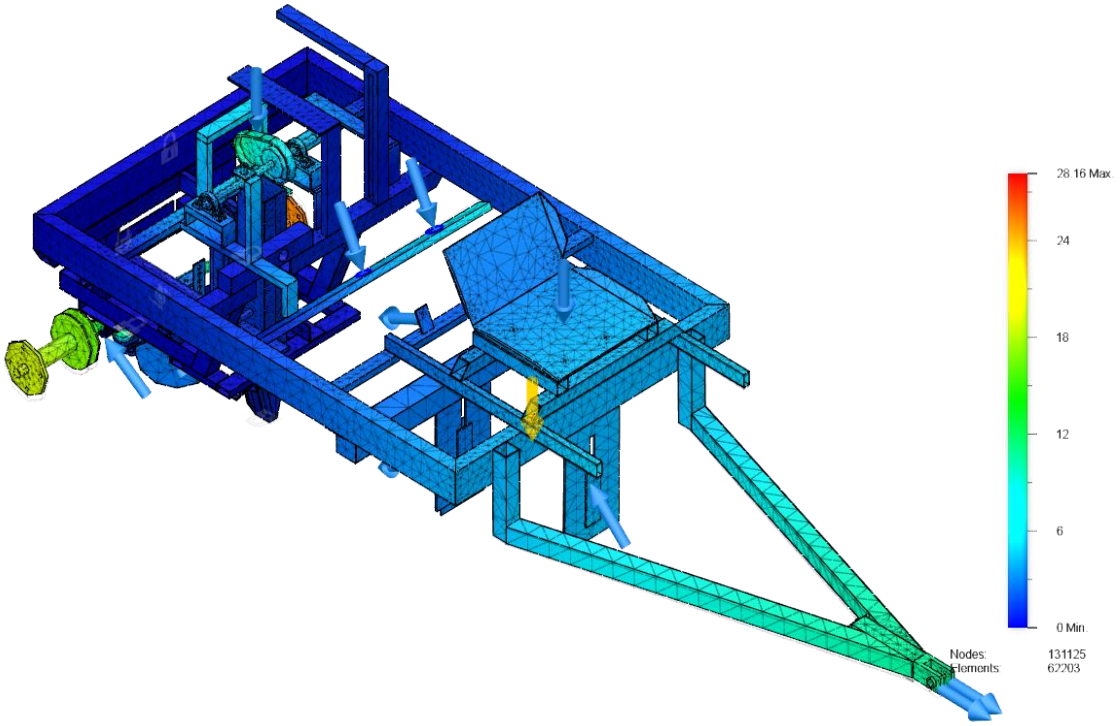


Fonte: Elaborado pelo autor.

Constata-se que em nenhuma região da estrutura as tensões excedem o limite do material de 588 MPa, no entanto verifica-se que alguns pontos da barra de tração e do eixo cames já estão sofrendo stress a partir da tensão de 125 MPa, deste modo o material já começa a sofrer deformações, contudo essa tensão não ocasiona danos que comprometam o funcionamento de imediato podendo demorar meses ou anos para que o funcionamento seja afetado.

A Figura 28 apresenta uma estimativa das deformações que o chassi do protótipo da semeadora puncionadora sofreu. Observa-se que a faixa de variação de deformação ao longo do chassi varia de 0 a 28,16 mm, sendo este o valor máximo de deformação, desta forma verifica-se que alguns pontos da barra de tração e do cames sofrem deformação de 6 a 12 mm.

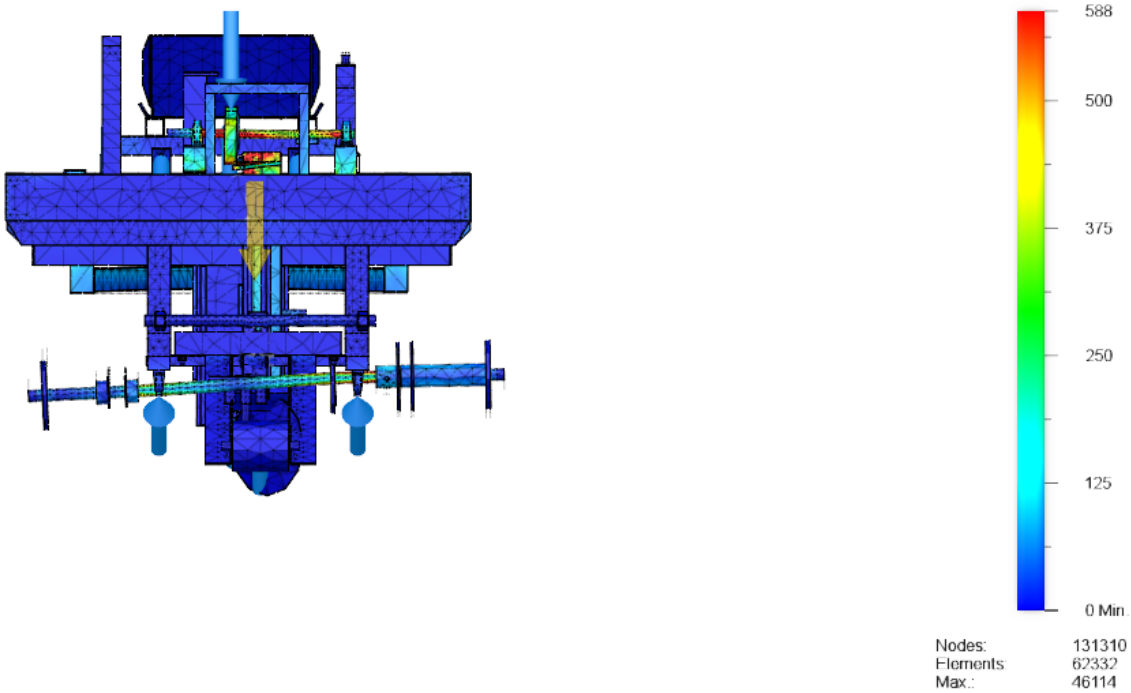
Figura 28- Análise da deformação no chassi do protótipo da semeadora



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 29 apresenta a análise de tensões no eixo do protótipo da semeadora puncionadora.

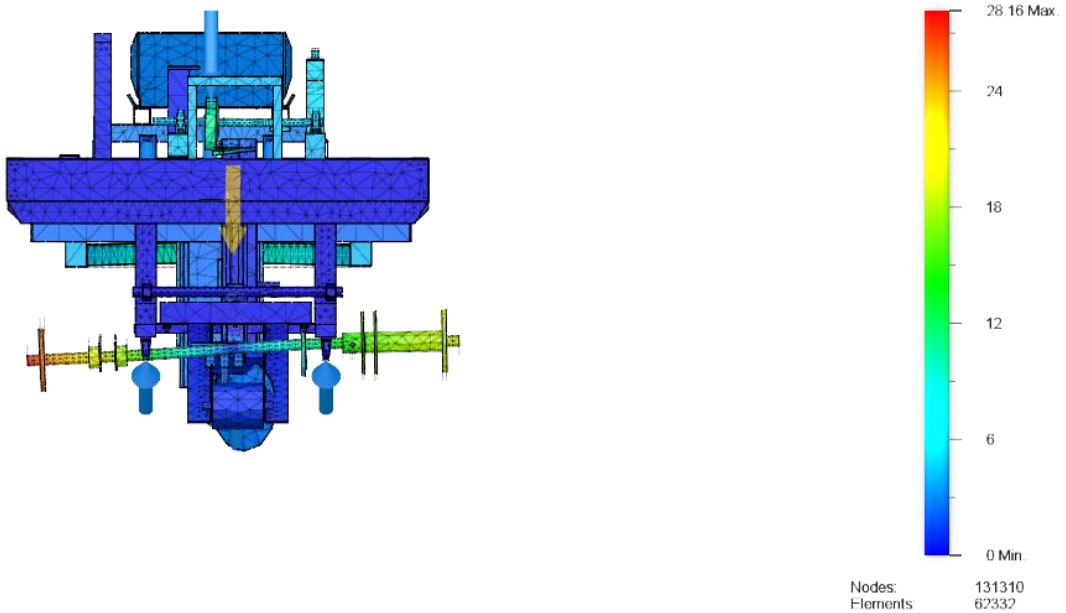
Figura 29- Análise de tensões no eixo do protótipo da semeadora



Fonte: Elaborado pelo autor.

Verifica-se que os componentes do eixo estão submetidos a tensões que apresenta risco eminente de dano ao protótipo, pois como pode ser visto na escala a partir de 125 MPa o eixo sofre uma tensão, que faz com que o mesmo comece a sofrer deformação ao logo de todo eixo o que consequentemente acarretará na ruptura do mesmo, como pode ser visualizado na Figura 30 que apresenta a análise da deformação no eixo do protótipo, observa-se que o limite de deformação do material é de 28,16 mm, sendo assim, as tensões aplicadas fazem com que o eixo acabe sofrendo deformações a partir de 6 mm, chegando a obter quase o seu limite de deformação ao longo do eixo.

Figura 30- Análise da deformação no eixo do protótipo da semeadora



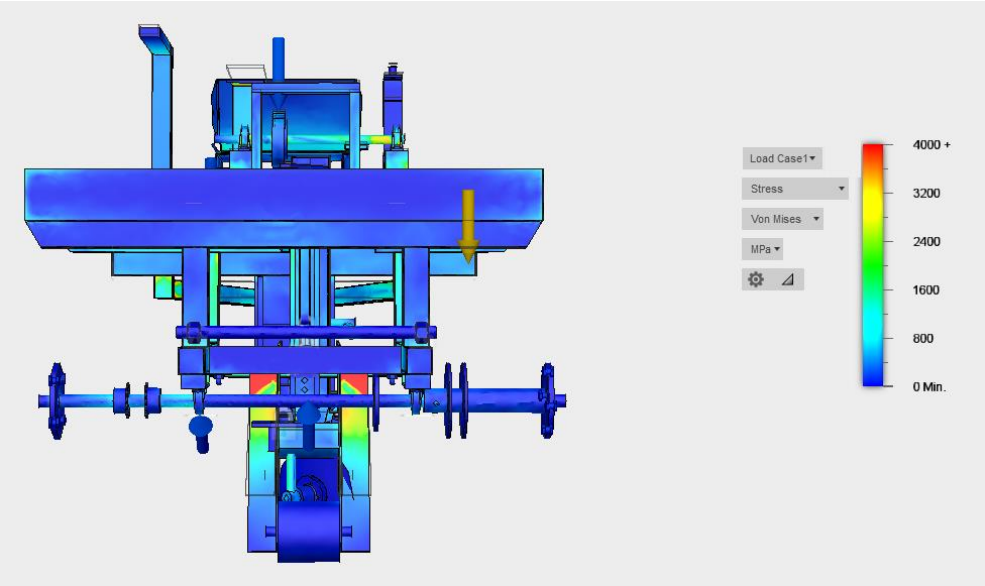
Fonte: Elaborado pelo autor.

A solução adotada para que o protótipo resistisse a tensões que seriam aplicadas ao eixo de acionamento quando o mesmo estivesse em operação foi o redimensionamento do eixo por um material mais resistente, portanto utilizou-se o aço 1050 que conferiu um fator de segurança maior, haja vista que o mesmo possui tensão de ruptura 621 MPa conforme as especificações de Norton (2013).

Observa-se na Figura 31 a análise de tensões e deformação no eixo do protótipo com o uso do aço 1050, constata-se que nenhuma região do eixo apresenta tensão excedem ao limite do material. Verifica-se que as tensões presentes no eixo não apresentam risco de dano ao protótipo, pois como pode ser visualizado na Figura 32, o eixo não sofreu deformações. Portanto o uso do aço 1050 assegurou que o protótipo resistisse às tensões a qual seria submetido durante o processo de semeadura, além de

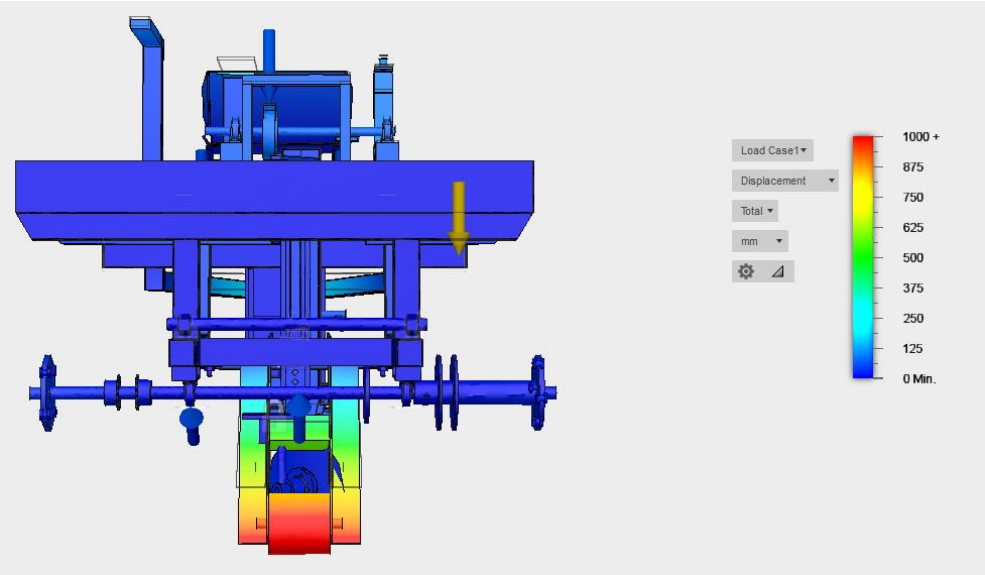
eliminar o risco de deformação e danos ao eixo que comprometeria o desempenho do mesmo.

Figura 31- Análise de tensões no eixo do protótipo da semeadora com o aço 1050



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 32- Análise da deformação no eixo do protótipo da semeadora com o aço 1050

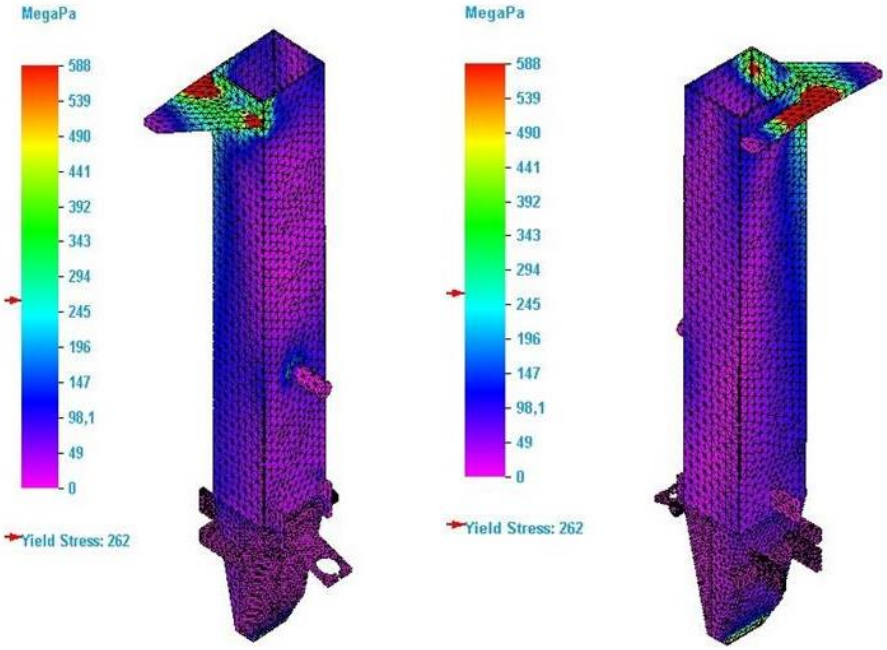


Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 33 apresenta a análise de tensões no puncionador, verifica-se que algumas zonas do puncionador excedem o limite do material de 588 MPa, sendo assim, observa-se que o puncionador começa a sofrer deformação a partir de 262 MPa, nota-se que existem 3 pontos críticos no sistema, ou seja, 3 pontos que apresentam risco eminente de ruptura, este fato é decorrente de estarem localizados nas áreas onde as

forças envolvidas para acionar o puncionador atuam diretamente. Os pontos que se encontram mais suscetíveis à ruptura são a zonas de contato entre o mecanismo puncionador e o cames.

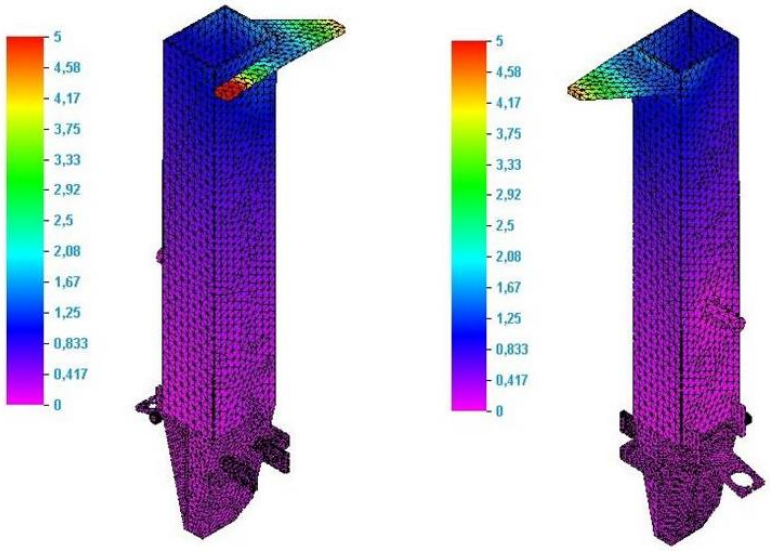
Figura 33- Análise de tensões do sistema puncionador para deposição de sementes



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 34 apresenta a deformação sofrida na parte superior do protótipo, neste caso o limite máximo de deformação é 5 mm, porém a partir da tensão de 245 MPa o puncionador começa a sofrer deformações de 2 mm até chegar no seu limite máximo deformação.

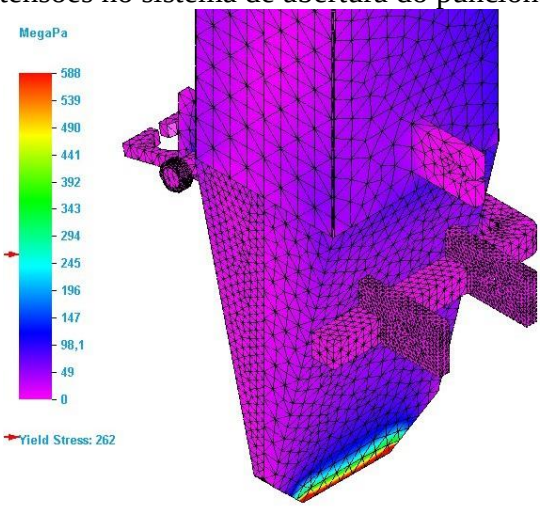
Figura 34- Análise da deformação do sistema puncionador para deposição de sementes



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 35 apresenta a análise de tensão sofrida pelo mecanismo de abertura, o ponto mais crítico é a região onde o puncionador entra em contato com o solo para penetrar e realizar a abertura da cova, sendo assim o mesmo sofre deformação a partir de 262 MPa tendo como valor crítico de tensão de ruptura o valor de 588 MPa.

Figura 35- Análise de tensões no sistema de abertura do puncionador



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para solucionar o risco de ruptura apresentado na simulação do sistema puncionador (Figura 33 e 34) adotou-se o aço 1050 conforme as recomendações de Norton (2013), o que conferiu maior fator de segurança para o sistema, já que este tipo de aço possui tensão de ruptura de 621 MPa que suporta todo esforço a qual o mecanismo será exposto, sendo assim assegura-se que o sistema desenvolva a operação de semeadura em campo sem risco de ruptura. Já para o sistema de abertura do puncionador (Figura 35) utilizou-se o aço 1050 com têmpera com intuito de criar uma superfície com maior dureza e resistente ao desgaste, deste modo o desgaste sofrido no sistema de abertura ocasionado pelo solo seria reduzido.

Neste enfoque, o ensaio de simulação de tensão do protótipo permitiu a percepção dos pontos críticos do projeto, pois verificou-se que os pontos onde existia maior concentração de tensões foram o eixo traseiro e a interface cames-puncionador, sendo o eixo traseiro o ponto mais crítico do projeto, pois apresentou alto nível de deformação ao longo de seu comprimento e analisando-se o puncionador inferiu-se que as regiões submetidas às maiores tensões foram a zona de contato com o cames e na região de contato com o solo.

Portanto, a análise de tensão do protótipo auxiliou de forma significativa, pois forneceu informações relevantes que foram levadas em consideração para realizar melhorias na estrutura do protótipo.

6.2 Avaliação do protótipo

6.2.1 Distribuição longitudinal de sementes

Na Tabela 11 verifica-se a avaliação de espaçamentos duplos, falhos, aceitáveis do protótipo da semeadora puncionadora obtidos em campo.

Tabela 11- Avaliação de espaçamentos duplos, falhos, aceitáveis do protótipo da semeadora puncionadora

Dupla	Aceitáveis	Falhas
21 (4,2 %)	451 (90,2 %)	28 (5,6 %)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para avaliação relativa ao número de espaçamento aceitáveis, utilizou-se os limites das faixas de classe de frequência recomendados por Kurachi (1989), o autor estabelece que o valor obtido de média encontra-se dentro dos espaçamentos aceitáveis, pois o mesmo classifica como espaçamentos duplos os valores que são menores que $0{,}5.X_{referencial}$, aceitáveis valores que se encontram dentro dos limites 14 a $1{,}5.X_{referencial}$ e falhos os valores maiores do que $1{,}5.X_{referencial}$. Como a semeadora foi regulada para obter espaçamento de 140 mm entre sementes, considerou-se normais os espaçamentos entre sementes que encontravam-se no intervalo de 70 a 210 mm, duplos os valores inferiores a 70 mm e falhos os acima de 210 mm.

Observa-se que o protótipo da semeadora puncionadora obteve 4,2% de espaçamentos duplos, 90,2% de espaçamentos aceitáveis e 5,6% de espaçamentos falhos, sendo assim obteve-se ótimo índice de distribuição de sementes, já que 90,2 % das sementes encontram-se dentro dos limites estabelecidos por Kurachi (1989).

Frabetti *et al*., (2011) ao avaliarem o desempenho do protótipo de uma semeadora puncionadora para o plantio direto de milho obtiveram regularidade de distribuição de 95,08%, os autores ainda constataram que o sistema de abertura de covas por meio de rodas posicionadas em “V” e dosadores acoplados à roda é uma solução viável para o sistema de semeadura pontual de milho.

Diante do exposto, o protótipo da semeadora puncionadora apresentou desempenho ótimo. Torino e Klingensteiner (1983) classificam a eficiência de distribuição de sementes por meio de percentuais de sementes distribuídas na faixa de espaçamentos aceitáveis, considerando como desempenho ótimo as semeadoras que distribuem de 90 a 100% das sementes na faixa de espaçamentos aceitáveis, de bom desempenho as que distribuem de 75% a 90%, de desempenho regular de 50% a 75% e de desempenho insatisfatório abaixo de 50%.

Coelho (1996) estabelece requisitos referentes à regularidade de distribuição de sementes, o autor considera o número mínimo de espaçamento aceitáveis de 60% e coeficiente de variação máximo de 50% para semeadoras que possuem mecanismo dosador com disco perfurado horizontal, sendo assim observa-se que o protótipo da semeadora atendeu aos requisitos estabelecidos pelo autor, já que obteve 90,2% de espaçamentos aceitáveis e coeficiente de variação de 23,28% (Tabela 12), desta forma o protótipo apresentou resultados satisfatórios relativos à regularidade de distribuição longitudinal de sementes.

O autor ainda afirma que semeadoras com mecanismo dosador de disco perfurado horizontal apresentam porcentagem mínima de espaçamentos aceitáveis de 60%, portanto o protótipo apresentou bons resultados no que se refere à regularidade de distribuição de semente, possivelmente a uniformidade de distribuição obtida com este dosador se deve a velocidade de operação do protótipo, pois o mesmo foi operado na velocidade de 1,92 km h^{-1}, o que permitiu que o disco dosador tivesse mais tempo para o preenchido das células, visto que grande parte das semeadoras que utilizam este mecanismo trabalham na velocidade de deslocamento de 4 a 5 km h^{-1} o que contribui para que ocorram falhas no plantio, pois segundo Modolo *et al.,* (2004) e Garcia *et al.,*(2006) o aumento da velocidade contribui para que haja a redução do número de espaçamentos aceitáveis.

A precisão no processo de semeadura pode ser afetada pelo número de orifícios, pela velocidade periférica do disco e pela uniformidade do tamanho das sementes, pois embora sejam classificadas, as mesma variam na forma e no tamanho das sementes o que acaba por influenciar no desempenho da semeadora. Neste sentindo, outro fator que influencia para a obtenção de um *stand* uniforme é o tempo disponível para as sementes se alojarem nos orifícios dos mecanismos dosadores (KLIMIONTE *et al*., 2000).

Na Tabela 12 encontram-se os dados da estatística descritiva básica dos espaçamentos obtidos na avaliação da distribuição longitudinal de sementes do protótipo da semeadora puncionadora.

Observa-se que o protótipo da semeadora apresentou média de espaçamento entre sementes 151,19 mm, desvio padrão de 35,27 mm e coeficiente de variação de 23,28 %. Desta forma, fica evidente que os valores do espaçamento encontram-se acima do valor para qual foi regulado, indicando que houve irregularidade durante o processo de distribuição das sementes.

Tabela 12- Estatística descritiva básica da distribuição longitudinal de sementes

Observações	500
Média (mm)	151,19
Desvio Padrão (mm)	35,27
Variância (mm)	1244
Coeficiente de Variação %	23,28
Mínimo (mm)	40
Máximo (mm)	290
Simetria	-0,50
Curtose	1,23

Fonte: Elaborado pelo autor.

Isso ocorreu possivelmente devido ao índice de deslizamento da roda de acionamento do protótipo da semeadora que foi de 9 %, pois a mesma foi regulada para que a cada 140 mm fosse dado um punço para a distribuição da semente. Neste sentindo, Borsatto (2009) e Mattar (2010) afirmam que quando ocorre o deslizamento das rodas motrizes devido à falta de aderência suficiente entre o rodado e o solo o sistema dosador de sementes não é acionado, sendo assim a semente não é depositada no solo o que contribui para que ocorram falhas durante o processo de semeadura.

Albiero (2010) avaliando o protótipo de uma semeadora para a agricultura familiar obteve índice de deslizamento de 12 %, que influenciou na distribuição de sementes. O autor afirma que tal problema pode ser solucionado aumentando-se à pressão da roda motora sobre o solo ou corrigindo o erro de espaçamento considerando o índice de deslizamento, para tanto é necessário à adoção de uma nova relação transmissão entre o disco dosador de sementes e roda de motriz.

Para o projeto em questão a configuração inicial do protótipo possuía relação global de i=0,48, obtida por meio da relação Y/B (i=1,067) e da relação das

engrenagens Pinhão/Coroa (i=0,45). Considerando-se ainda que o perímetro da roda de acionamento do protótipo é 1,80 m e que o número de sementes a ser distribuído é calculado em função do metro, se obtém o valor 0,55 revoluções da roda motriz.

Sendo assim, por meio da multiplicação da relação de transmissão global (i=0,48) pelo número de revoluções da roda motriz (0,55 revoluções) em 1m encontra-se o valor do número de revoluções do disco dosador (0,264) por cada metro percorrido.

No entanto, como foi verificado na Tabela 12 o protótipo obteve média de espaçamento entre sementes de 151,19 mm, desta forma observa-se que ocorreram irregularidades durante o processo de distribuição de sementes, possivelmente devido ao índice de deslizamento de 9% da roda de acionamento.

Seguindo as recomendações de Albiero (2010), para corrigir o erro de espaçamento, considerando o índice de deslizamento, uma solução adequada seria a adoção de uma nova relação transmissão entre o disco dosador de sementes e a roda motriz. Portanto, a nova configuração, considerando o índice de deslizamento, deveria ser i=0,287, esta relação pode ser obtida por meio do uso das coroas dentadas com a configuração Y=16 dentes e A= 14 dentes que fornece uma relação de i=0,283 que é a mais próxima da relação de transmissão ideal.

Outro fator que contribuiu para que o protótipo não obtivesse o espaçamento de 140 mm entre sementes durante o processo de distribuição foi à distância entre a posição do dosador de sementes e o solo, pois o mesmo não era muito próximo ao solo devido o eixo cames, que se encontrava abaixo do mecanismo dosador, sendo necessário elevar a altura do sistema dosador de sementes para que não ocorresse atrito entre estes componentes.

Siqueira *et al*., (2002) apontam que quanto mais próxima ejeção da semente dos mecanismos dosador com relação ao solo mais eficiente é a distribuição longitudinal das sementes.

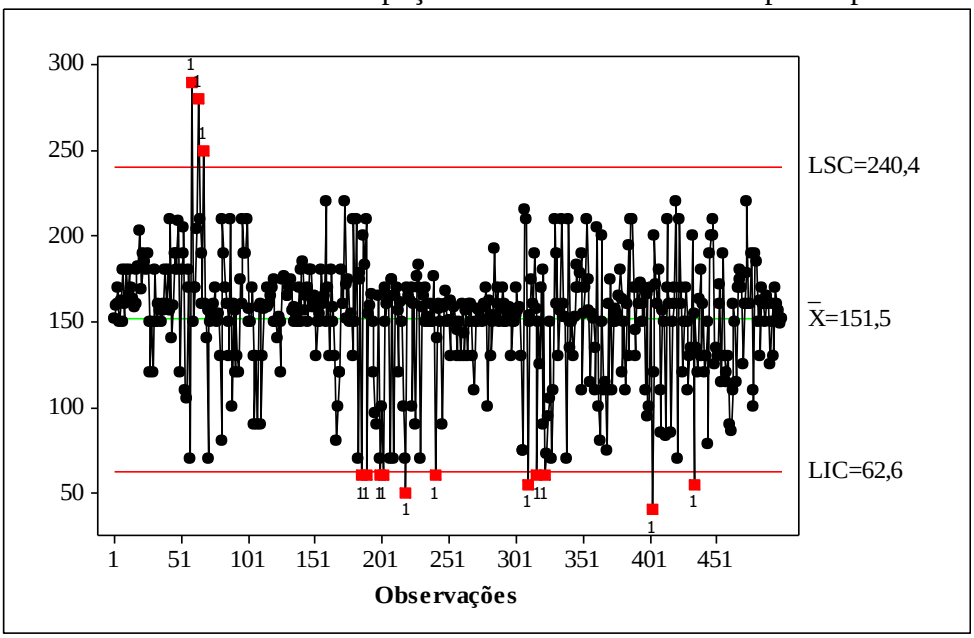
Carpes (2014) afirma que o mecanismo dosador deve ser mantido o mais próximo possível do solo, diminuindo as interações ocorridas e as variações na trajetória das sementes até o fundo do sulco.

Segundo Coppeti (2015) a velocidade de queda da semente também pode ocasionar irregularidades durante o processo de distribuição, pois quando as sementes estão em queda livre uma componente vertical e uma horizontal influenciam na velocidade de queda devido a aceleração da gravidade, devido a isso a componente horizontal faz com que as sementes sofram vibrações e repiques, desta forma a velocidade de queda livre da mesma até o solo é alterada, como consequência o

espaçamento é alterado, sendo assim a velocidade de deslocamento das semeadoras faz com que as sementes rolem ou saltem para fora do sulco no momento do impacto como o solo.

A Tabela 12 apresenta os coeficientes de simetria e curtose que foram os parâmetros utilizados para verificar a normalidade dos dados estudados. De acordo com as recomendações de Montgomery (2004) se os coeficientes de simetria e curtose se apresentarem entre os intervalos de -2 a 2 considera-se que os dados apresentaram distribuição normal, deste modo como os coeficientes de simetria e curtose do protótipo da semeadora puncionadora encontram-se dentro do intervalo especificado pelo autor os dados avaliados respeitaram uma distribuição normal. Neste sentido, recomenda-se o CEP para avaliação de processos normais, pois esta ferramenta é bastante utilizada para avaliar a variabilidade e determinar os pontos problemáticos de processos repetitivos, como é caso do processo de semeadura (MONTGOMERY, 2004). Portanto, observa-se na Figura 36 o gráfico de controle do espaçamento entre sementes do protótipo da semeadora puncionadora.

Figura 36 - Gráfico de controle do espaçamento entre sementes do protótipo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se que a média dos espaçamentos foi 151,5 mm e que 14 amostras ultrapassaram os limites de controle superior e inferior, deste modo o processo é considerado instável quando apresenta pontos fora dos limites de controle superior e inferior (RIBEIRO; CATEN, 2011). No entanto segundo Barros (2008) e Albiero (2010) se apenas 5% dessas amostras estiverem fora dos limites de controle

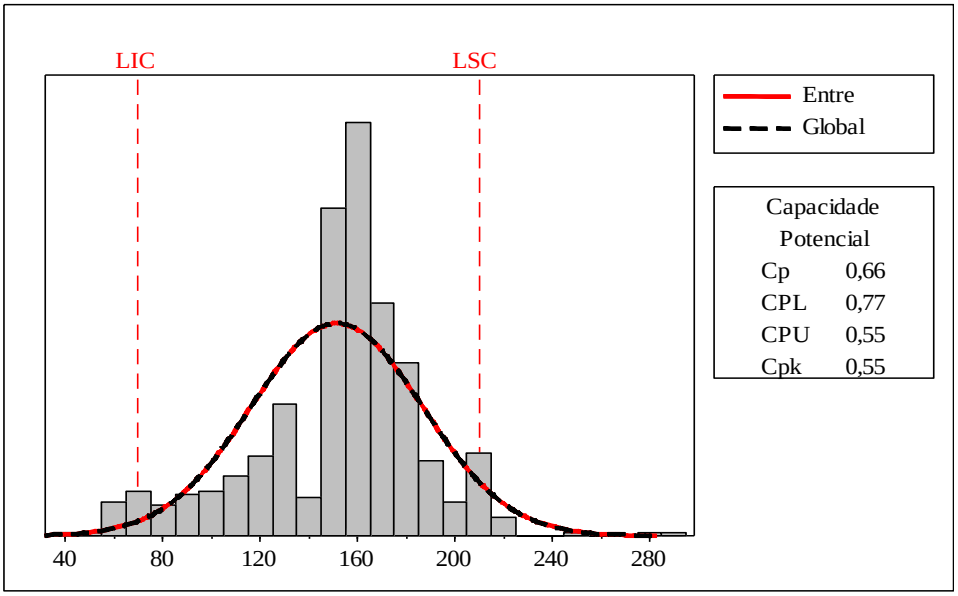
especificados considera-se que o processo apresentou estabilidade, pois os autores definem como um índice ótimo de falhas em torno de 10%, já que durante as operações no campo há muita variabilidade. Sendo assim, pode-se considerar que o protótipo da semeadora puncionadora apresentou resultado satisfatório, já que o processo proporcionou estabilidade, pois apenas 14 amostras ficaram fora dos limites especificados, não ultrapassando os 5% (25 amostras) estabelecidos pelos autores citados.

Portanto, esta metodologia vem a ser eficaz para a análise do processo, pois não mascara os dados, visto que ao se considerar que os processos apresentem índice de precisão em torno de 90% dos dados avaliados, os 5% dos dados que forem retirados não vão influenciar significativamente na amostragem. Em condições agrícolas estes índices são considerados bons já que os processos agrícolas estão distantes de terem o mesmo controle que os processos indústrias, onde todas as condições e fatores que podem intervir no processo são controlados (ALBIERO *et al*., 2012).

A capacidade efetiva pode ser classificada por meio de falhas, sendo assim um C_{pk} <0,33 possui 1 falha a cada 2 amostras, quando o $C_{pk} \geq 0,51$ ocorreu 1 falha a cada 8 amostras, com o $C_{pk} \geq 1,00$ considera-se que ocorreu 1 falha a cada 400 amostras e para o $C_{pk} \geq 1,50$ a ocorrência de falha é considerada baixa com taxa de falhas possíveis de 1 a cada 150.000 amostras avaliadas (ELSMAR, 2009).

A Figura 37 apresenta a análise da capacidade efetiva da distribuição longitudinal de sementes do protótipo da semeadora puncionadora.

Figura 37- Análise da capacidade efetiva do espaçamento entre sementes do protótipo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Verifica-se que o valor da capacidade efetiva (C_{pk}) foi 0,55, sendo assim obteve-se 1 falha a cada 8,62 amostras, o que equivale a 88,4% de precisão no processo com 11,6% de falhas.

Para o gráfico em questão ao analisar-se o processo por meio das especificações de Campos (2007), a análise da capacidade efetiva do processo é classificada como incapaz, pois o valor de C_{pk} <1,00 e observa-se que o processo de distribuição ultrapassou os limites para qual foram especificados (LSE= 210 mm e LIC= 70 mm), isso ocorreu por conta da influência de causas especiais como, por exemplo, do índice de deslizamento do protótipo.

6.2.2 Profundidade de deposição de sementes

A Tabela 13 apresenta a estatística descritiva básica da profundidade de posição de sementes de milho.

Tabela 13- Estatística da profundidade de deposição de sementes

Observações	500
Média (mm)	34,42
Desvio Padrão (mm)	8,73
Variância	76,22
Coeficiente de Variação %	25,36
Mínimo (mm)	10,00
Máximo (mm)	50,00
Simetria	0,15
Curtose	-0,66

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que a média da profundidade de deposição foi 34,42 mm, com desvio padrão de 8,73 mm e coeficiente de variação de 25,36%. Verifica-se que o protótipo da semeadora não obteve a profundidade de deposição para a qual foi regulada, isso possivelmente ocorreu devido à falta de peso no protótipo e à resistência do solo a penetração.

O funcionamento do mecanismo de punção é realizado por meio da introdução de uma ferramenta no solo para a deposição da semente, deste modo à atuação do mecanismo de punção assemelha-se ao funcionamento do penetrômetro,

sendo assim o índice de cone pode ser utilizado como referência ou estimativa da força de reação do solo durante a punção (SILVA, 2013).

Para o solo em questão a força de reação na profundidade de 5 cm com um teor de umidade de 5,54 g $100g^{-1}$ e densidade de 1,61 kg dm^{-3} foi de 0,8 MPa, portanto o trabalho foi realizado em condição ideal no que se refere a densidade, pois Reichert *et al*., (2003) consideram os valores críticos de densidade para o solo franco-arenoso o valor de 1,70 a 1,80 Mg m^{-3}. Além disso, o índice de cone encontrado nesta profundidade indica que a área não estava sofrendo processo de compactação.

No entanto, apesar de o ensaio ter sido realizado em um solo apresentando condições satisfatórias, no momento da deposição da semente o sistema puncionador não conseguiu vencer a resistência à penetração conferida pelo solo, obtendo média de profundidade de deposição de sementes de 34,42 mm.

Tal fato pode ser explicado pelo eixo cames, pois o eixo do pneu transmitia o movimento para o cames entrar em funcionamento, como o eixo do pneu possui uma coroa dentada com o mesmo número de dentes do eixo que aciona o cames, considerou-se que ambos possuem o mesmo torque. Sendo assim, possivelmente o eixo cames não conseguiu fornecer o torque necessário para que o mecanismo puncionador penetrasse no solo na profundidade para qual foi regulado.

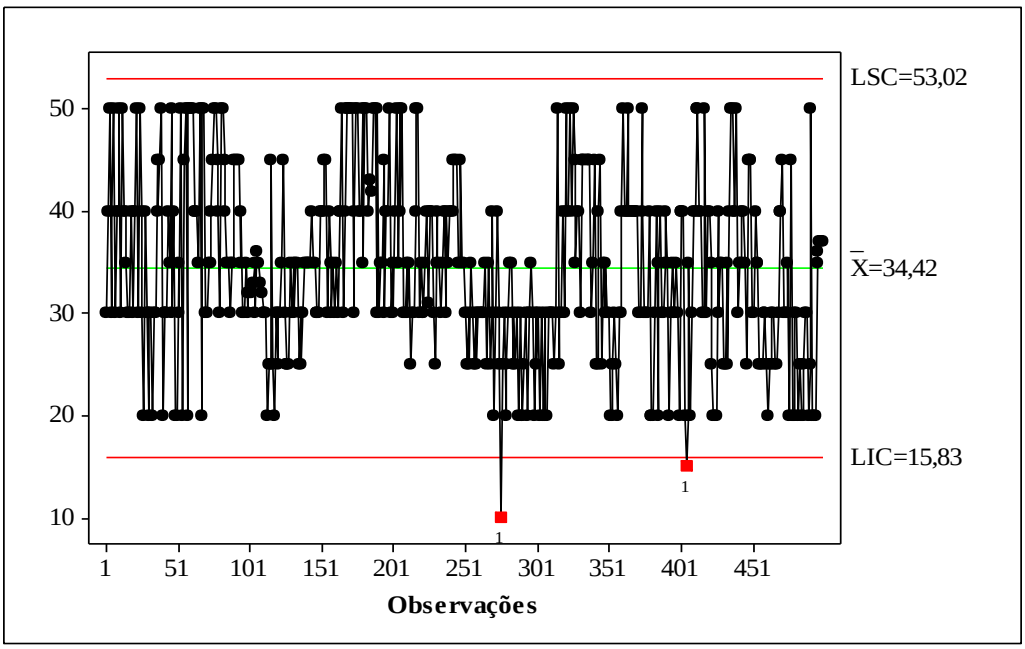
O índice de deslizamento dos rodados também pode ter contribuído para que o eixo cames não obtivesse a força necessária pra penetrar no solo, pois ocorreu um deslizamento de 9%. Uma solução viável para diminuir o índice de deslizamento seria a possibilidade de adição de lastro a estrutura do protótipo ou uma nova configuração geométrica ao puncionador para que o mesmo consiga penetrar no solo com mais facilidade.

A adequação do peso do protótipo também seria uma solução eficaz para que o mesmo consiga depositar a semente na profundidade desejada, visto que o peso da semeadora influencia na qualidade de distribuição, pois se a mesma estiver muito leve não conseguirá vencer a resistência do solo, além de contribuir para que ocorra deslizamento das rodas de acionamento da semeadora o que ocasionará erros durante o processo de semeadura (CAVALCANTE, 2014).

A Tabela 13 ainda mostra os coeficientes de simetria e curtose, observa-se que os mesmos apresentam-se dentro dos limites especificados por Montgomery (2004), desta forma como os dados apresentaram distribuição normal foi possível realizar a avaliação dos dados por meio do controle estatístico do processo.

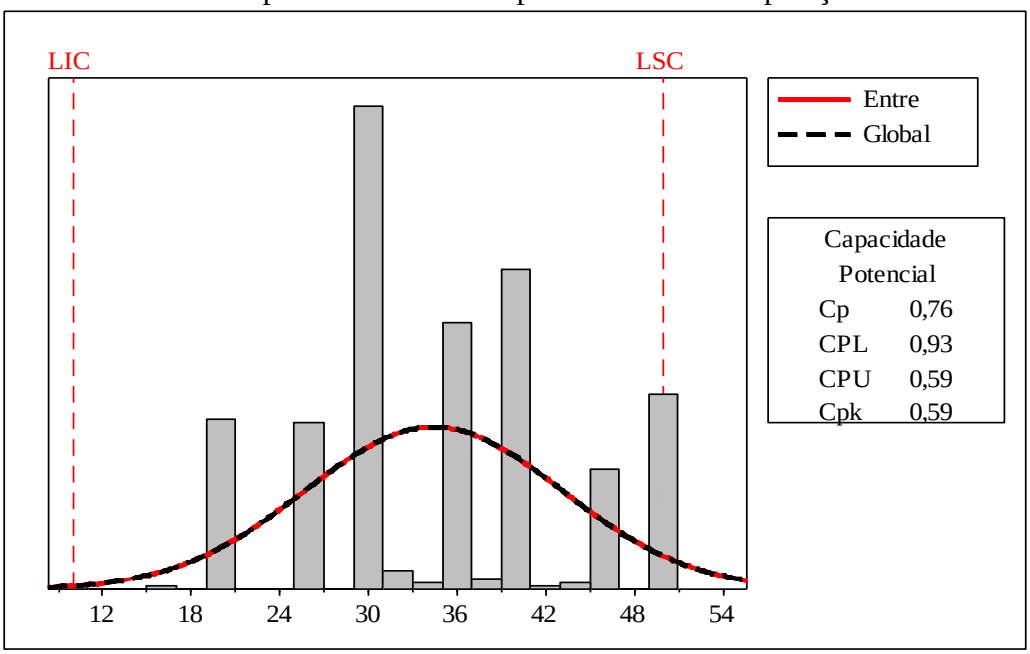
Pelo gráfico de controle apresentado na Figura 38 verifica-se que a profundidade de deposição das sementes apresentou estabilidade, embora a análise do gráfico de controle tenha proporcionado 2 amostras fora do limite do controle superior e inferior especificados por Barros (2008) e Albiero (2010), como os dados avaliados não ultrapassaram o valor de 5% estabelecido considera-se que gráfico é estável, desta forma o estudo da capacidade efetiva do processo de deposição (Figura 39) foi possível.

Figura 38- Gráfico de controle da profundidade de deposição de semente



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 39- Análise da capacidade efetiva da profundidade de deposição de sementes



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 39 apresenta a análise da capacidade efetiva da profundidade de deposição de sementes. Observa-se que o valor de C_{pk} foi 0,59, deste modo (2009) ocorreram falhas repetitivas, pois ocorreu 1 falha a cada 9,25 amostras avaliadas, sendo assim a análise do processo apresentou 90% de precisão com índice de falha de 10%.

6.2.3 Profundidade de deposição de fertilizante

A Tabela 14 apresenta os dados da estatística descritiva básica da profundidade de deposição de fertilizante do protótipo da semeadora. Verifica-se que a média da profundidade de deposição de fertilizante foi 62,45 mm, com desvio padrão de 10,42 mm e coeficiente e variação 16,69%.

Tabela 14- Estatística descritiva básica da profundidade de deposição de fertilizante

Observações	500
Média (mm)	62,45
Desvio Padrão (mm)	10,42
Variância	118,66
Coeficiente de Variação %	16,69
Mínimo	10
Máximo	100
Simetria	0,22
Curtose	1,72

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que o protótipo não atingiu a profundidade para qual foi regulada de 80 mm, neste sentido Colombino *et al*., (1985) e Melo *et al*., (2014) afirmam que os mecanismo dotados de discos responsáveis pela abertura do sulco, possuem pressão negativa, sendo assim para penetrar no solo os mesmos necessitam de uma carga superior à componente vertical de reação do mesmo.

Nota-se que o protótipo não conseguiu vencer a resistência à penetração conferida pelo solo para realizar a deposição do adubo na profundidade desejada. Verifica-se, portanto a importância do carregamento vertical para a obtenção da profundidade de deposição, pois os mecanismos de abertura tipo disco necessitam de maior força vertical para penetrar no solo. Desta forma a aplicação de lastro no protótipo poderia contribuir de forma significativa, pois aumentaria a massa do mesmo, contribuindo para o alcance da profundidade desejada de deposição de fertilizante. Assim evita-se que ocorra o contato deste com a semente, visto que o contato direto

entre semente e fertilizante prejudica a absorção da água pela semente, podendo até matar a plântula em crescimento (EMBRAPA, 2004).

Outra solução viável seria a adoção de um reservatório de fertilizante e de sementes com maior capacidade volumétrica, que contribuiria para o aumento da carga vertical do protótipo e para solucionar os problemas referentes à perda de eficiência operacional ocasionada pelo índice de deslizamento.

Os sulcadores do tipo discos possuem uma capacidade razoável de corte dos resíduos e de penetração em solos argilosos, quando possuem pequeno diâmetro, no entanto seu desempenho não é totalmente satisfatório, por conta da variação da profundidade de trabalho o que contribui para que os discos flutuem sobre camadas duras do solo, já em solos que possuem textura arenosa, a profundidade de semeadura desejada nem sempre é obtida, por conta do desmoronamento prematuro das laterais do sulco (MACINTIRE *et al*.,1986).

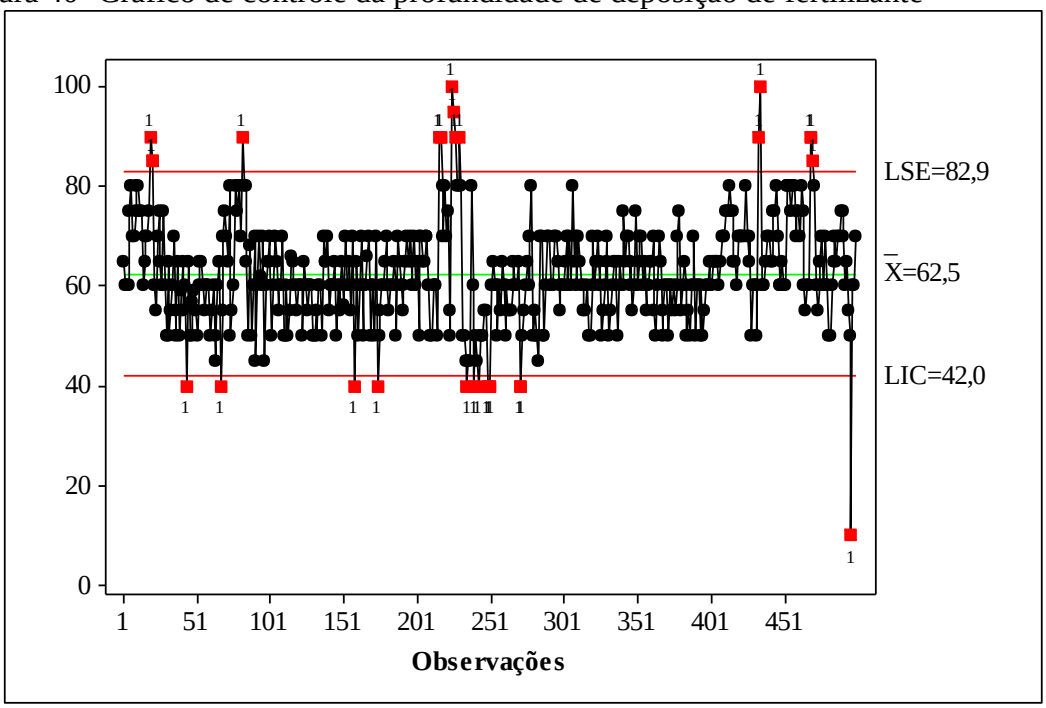
Portanto, este é outro fator que pode ter influenciando para que a profundidade não fosse obtida, pois o solo onde foi realizado o estudo foi classificado quanto à classe textural como franco arenoso possuindo 806 g kg^{-1} de areia e teor de umidade de 5,54 g $100g^{-1}$, sendo assim conforme os autores citados anteriormente pode ter ocorrido o desmoronamento das laterais do sulco o que influenciou na profundidade de deposição do protótipo.

Quando os mecanismos responsáveis pela abertura do sulco são submetidos a cargas, sofrem um esforço maior no rompimento do solo, por conta da variação da resistência do solo a penetração e das irregularidades presentes na superfície (JANKE; ERBACH, 1985).

De acordo com a Tabela 14 os dados da profundidade de deposição de fertilizante respeitaram uma distribuição normal, já que os coeficientes de simetria e curtose encontram-se dentro do intervalo de -2 a 2 conforme os requisitos estabelecidos por Montgomery (2004). Desta forma, como os dados ensaiados apresentaram normalidade o estudo do controle estatístico do processo foi possível.

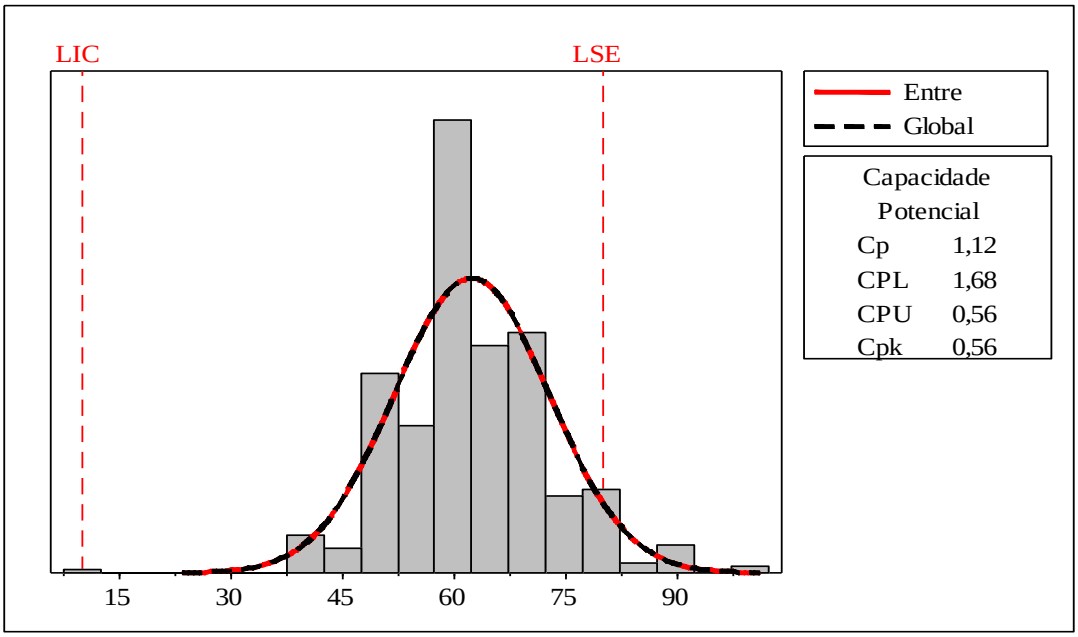
Verifica-se na Figura 40 o gráfico de controle da profundidade de deposição de fertilizante do protótipo da semeadora puncionadora. Observar-se que o gráfico de controle apresentou média de 62,5 mm, limite de controle superior de 82,9 mm e limite inferior de 42,0 mm, desta maneira ao se analisar o gráfico verifica-se que existem 23 amostras fora do limite de controle superior e limite de controle inferior especificado, sendo assim de acordo com Ribeiro e Caten (2011) e Melo (2013) o gráfico de controle é instável.

Figura 40- Gráfico de controle da profundidade de deposição de fertilizante



No entanto apesar da variabilidade apresentada no gráfico, verifica-se que 95% das amostras encontram-se dentro do intervalo de confiança, deste modo conforme a metodologia sugerida por Barros (2008) e Albiero (2010) considera-se que o processo apresentou estabilidade. Como o gráfico de controle apresentou estabilidade foi possível realizar o estudo da análise da capacidade efetiva do processo, como pode ser verificado na Figura 41.

Figura 41- Análise da capacidade efetiva da profundidade de deposição de fertilizante



Verifica-se que o valor de C_{pk} obtido foi de 0,56 e de C_p igual 1,12, deste modo considera-se que o processo encontra-se descentrado, além de ser incapaz conforme as especificações de Campos (2007), Elsmar (2009) e Ribeiro e Caten (2011), ou seja, houve a ocorrência de falhas repetitivas, sendo a taxa de possíveis falhas de 1 a cada 8,78 amostras avaliadas.

Sendo assim a análise da capacidade efetiva considerou o processo incapaz, devido às causas especiais que afetaram o processo de deposição de fertilizante como, por exemplo, a resistência do solo a penetração e a falta de peso no equipamento para vencer a resistência do solo, portanto as causas especiais devem ser eliminadas para que o processo seja capaz. No que se refere à precisão obtida por meio do valor de $C_{pk,}$ considera-se que o protótipo apresentou 88% de precisão no processo de deposição de fertilizante com 12% de falhas.

6.2.4. Densidade de distribuição de fertilizante

A Tabela 15 apresenta a estatística descritiva da densidade de distribuição de fertilizante do protótipo da semeadora.

Tabela 15- Estatística descritiva básica da densidade de fertilizante

Observações	10
Média (kg ha^{-1})	254,9
Desvio Padrão (kg ha^{-1})	56,1
Variância	3145,6
Coeficiente de Variação %	22,01
Mínimo	129,6
Máximo	316,7
Simetria	-1,37
Curtose	1,85

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que foram feitas 10 repetições para realizar o ensaio referente à densidade de fertilizante, deste modo considerando uma média de 254,9 kg ha^{-1} que corresponde a 458,7g 20m^{-1} tem-se uma distribuição de 22,9g m^{-1}, esta taxa se adequa as recomendações da EMBRAPA (2006). O desvio padrão obtido foi de 56,1 kg ha^{-1} que fornece coeficiente de variação de 22,01%.

Portanto, verifica-se que o mecanismo dosador distribuiu 3g de fertilizante a mais do que o valor especificado, visto que o mesmo foi regulado para obter 22,6g m^{-1}.

Sendo assim uma nova relação de transmissão poderia ser adotada para que a densidade desejada fosse atendida. As ondulações presente na área experimental também podem ter influenciado na inclinação do mecanismo dosador, contribuindo para que alterações ocorram na quantidade média de fertilizante distribuído.

Segundo Ferreira *et al*., (2010) a precisão na dosagem do fertilizante durante o processo de semeadura é um fator importante na avaliação do desempenho de semeadoras-adubadoras, pois o mesmo é utilizado como um indicador do desempenho, visto que a característica do relevo, o aumento da velocidade de deslocamento da máquina podem contribuir para que ocorram erros de dosagem durante o processo de distribuição o que contribui para a elevação do coeficiente de variação.

O coeficiente de variação é fator importante a ser avaliado, pois o mesmo indica o percentual de irregularidade que ocorre no ensaio (PORTELLA *et al*., 1998). Sendo assim, o valor do coeficiente de variação apresentou pequena irregularidade de distribuição, visto que Ferreira *et al*., (2010) afirmam que dosadores do tipo rosca helicoidal apresentam valor de coeficiente de variação de até 50 % devido a variação da velocidade de trabalho.

Neste sentido, Casão Júnior *et al*., (2000) ao avaliaram o desempenho de uma semeadora-adubadora equipada com dosador de fertilizante helicoidal obtiveram baixos valores de coeficientes e variação.

Camacho Tamayo (2006) e Suguisawa (2004) obtiveram o valor de coeficiente de variação de 29 e 27,6%, respectivamente em seus ensaios com um mecanismo dosador de fertilizante de rosca helicoidal.

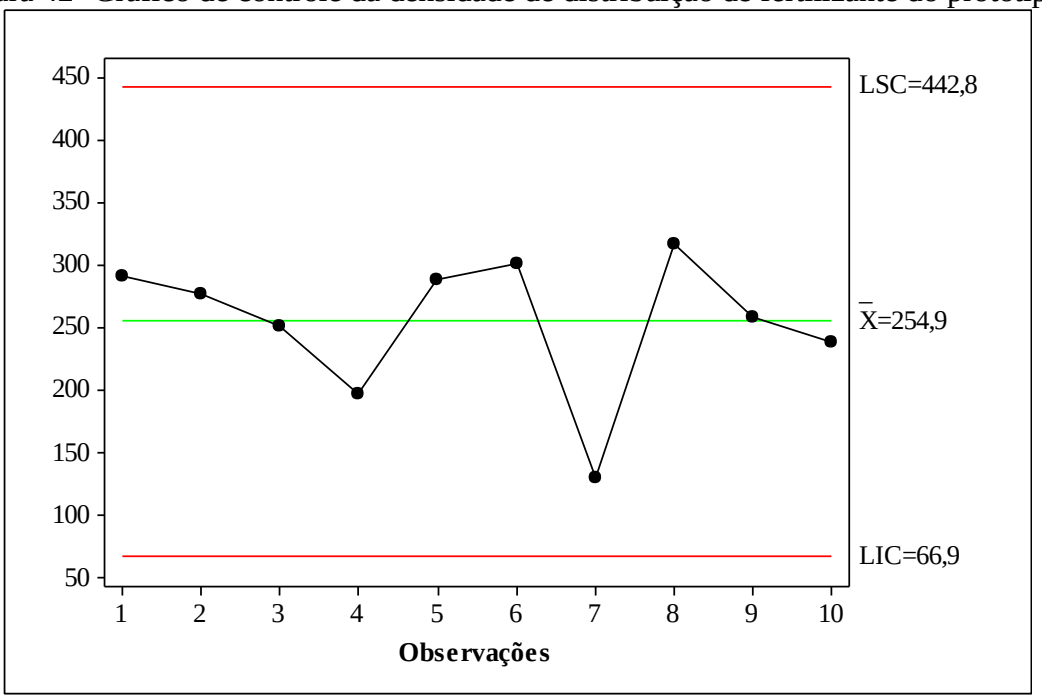
Casão Júnior *et al*., (2000) ao avaliaram o desempenho de uma semeadora-adubadora equipada com dosador de fertilizante helicoidal obtiveram baixos valores de coeficientes e variação.

Os valores referentes aos coeficientes de simetria e curtose encontram-se dentro das especificações de Montgomery (2004), pois obteve coeficiente de simetria de -1,37 e de curtose de 1,85, desta forma considera-se que os dados apresentaram distribuição normal, portanto foi possível realizar o estudo do controle estatístico do processo para distribuição de fertilizante do protótipo.

Pelo gráfico de controle da densidade de distribuição de fertilizante (Figura 42) verifica-se que há estabilidade no processo e que a média obtida atendeu as especificações da regulagem adotada, sendo assim o protótipo da semeadora com mecanismo distribuidor helicoidal apresentou variabilidade baixa. Desta forma a

distribuição na área foi homogênea o que possibilita a adequada disponibilização de nutrientes para as plantas (PORTELA, 2001).

Figura 42- Gráfico de controle da densidade de distribuição de fertilizante do protótipo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como o gráfico de controle apresentou estabilidade, já que todas as amostras encontram-se dentro do intervalo de confiança, ou seja, dentro do limite superior e inferior especificado o estudo da capacidade efetiva foi possível.

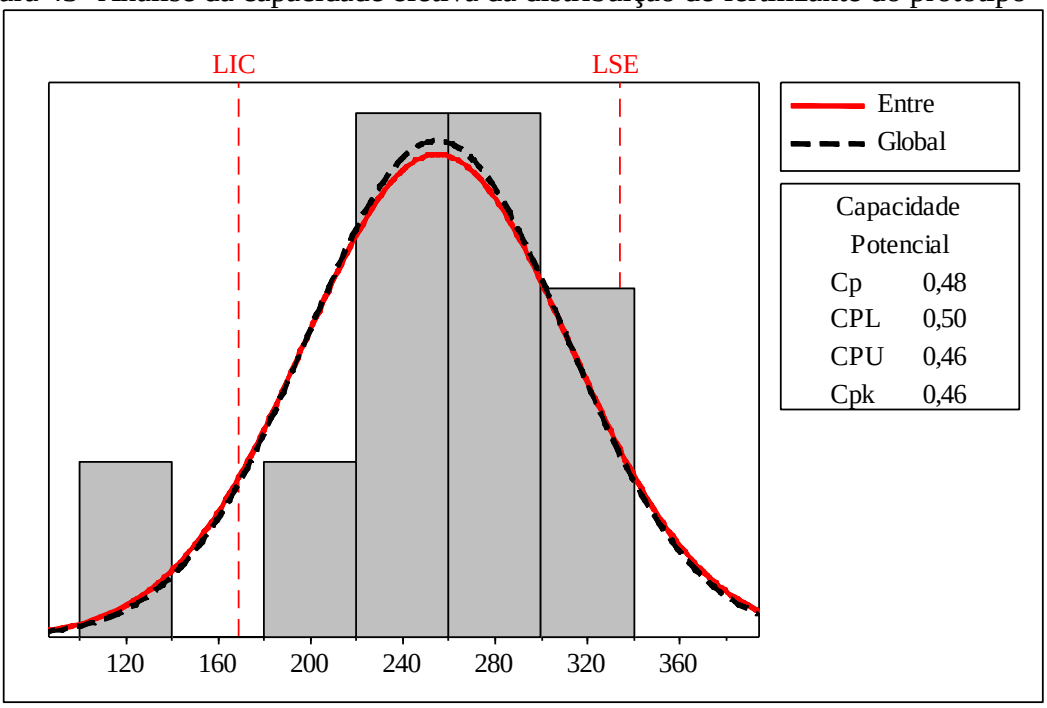
Albiero (2010) utilizou o gráfico de controle e a capacidade efetiva do processo para avaliar a distribuição de fertilizante por um mecanismo distribuidor de anel helicoidal cônico, o autor obteve estabilidade no processo em seus ensaios em campo.

A Figura 43 apresenta a análise da capacidade efetiva da distribuição de fertilizante em função dos limites especificados conforme as recomendações da EMBRAPA (2010), onde foi adotado como limite superior de especificação (LSE) o valor de 334 kg ha^{-1} e limite inferior de especificação (LIC) o valor de 169 kg ha^{-1}.

Em vista disso foi obtido valor de C_p= 0,48 e C_{pk}= 0,46 o que significa que o processo de distribuição é considerado incapaz conforme as recomendações de Ribeiro; Caten (2011) e Elsmar (2009), ou seja, o processo encontra-se descentrado em relação aos limites especificados, sendo assim pode-se afirmar que ocorreu uma taxa possível de falha de 1 a cada 4,18 amostras avaliadas, com ocorrência de falha quase inevitável, já que o valor de C_{pk} obtido foi ≥ 0,33. No que se refere à precisão da

densidade de distribuição, a análise da capacidade efetiva apresentou 77% de precisão com índice de falhas de 23%.

Figura 43- Análise da capacidade efetiva da distribuição de fertilizante do protótipo



Fonte: Elaborado pelo autor.

O CEP vem sendo inserido nos processos agrícolas, principalmente por meio das cartas de controle, pois pode ser utilizado como opção para realizar o monitoramento do processo e análise dos resultados para posterior tomada de decisão sobre atividades relacionadas às operações agrícolas mecanizadas (ZERBATO; SILVA; VOLTARELLI, 2015).

De acordo com os dados expostos anteriormente conclui-se que o protótipo obteve resultado satisfatório no que se refere à distribuição de sementes e fertilizante, porém é necessário realizar ajustes com relação ao peso do protótipo para que o mesmo atinja a profundidade desejada, tanto para deposição de sementes como de fertilizante.

6.2.5 Área mobilizada pelo protótipo

A Tabela 16 apresenta a estatística descritiva básica da área mobilizada pela semeadora manual (matraca), sulcador de disco e puncionador em um solo classificado como Argissolo Vermelho-amarelo. Observa-se que a média da área mobilizada para a matraca foi de 0,0153 m^2 com C.V de 5,76%, para o puncionador a área mobilizada foi de 0,0081 m^2 e o C.V foi de 10,99%, já para o sulcador de disco obteve-se valor 0,0735

m^2 e C.V de 10,39%. Tamayo (2002) avaliando a mobilização do solo por um sulcador de disco duplo obteve valor de área mobilizada de 0,0514 m^2.

Tabela 16- Estatística da área mobilizada por uma semeadora manual, sulcador de disco e puncionador

	Matraca	**Sulcador de disco**	**Puncionador**
Observações	10	10	10
Média (m^2)	0,0153	0,0735	0,0081
Desvio Padrão (m^2)	0,0088	0,0076	0,0008
Variância	0,0000	0,0000	0,0000
Coeficiente de Variação (%)	5,76	10,39	10,99
Mínimo	0,0137	0,0652	0,0071
Máximo	0,0165	0,0857	0,0095
Simetria	-0,60	0,64	0,35
Curtose	-0,45	-0,99	-1,51

Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante do exposto, verifica-se que a maior área de solo mobilizado foi encontrada para o disco sulcador. É importante destacar que a mobilização do solo está associada à profundidade de trabalho do mecanismo, pois Modolo *et al.*, (2013) avaliando a área mobilizada de mecanismo sulcadores tipo disco e haste, concluíram que a haste sulcadora provocou maior mobilização do solo quando comparada ao disco sulcador, sendo este resultado atribuído a maior profundidade de trabalho alcançada pelo mecanismo.

Verifica-se que os coeficientes de simetria e curtose (Tabela 16) encontram-se dentro dos valores estabelecidos por Montgomery (2004), pois ambos encontram-se no intervalo de -2 a 2, portanto considera-se que os dados apresentaram distribuição normal, permitido que seja realizado a análise de variância dos dados.

Portanto, na Tabela 17 é apresentada a análise de variância da área mobilizada pela semeadora manual (matraca), sulcador de disco e puncionador.

Tabela 17- Análise de variância da área mobilizada pela semeadora manual (matraca), sulcador e puncionador

	DF	**SS**	**MS**	**F**	**P**
Fator	2	0,0257151	0,0128575	642,92	0,000
Erro	27	0,0005400	0,0000200		
Total	29	0,0262550			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Verifica-se pelo teste F que houve diferença significativa entre as médias da área mobilizada a 5% de significância. Como houve diferença entre as médias avaliadas, segue na Tabela 18 o teste de médias da área mobilizada pela semeadora manual (matraca), sulcador de disco e puncionador.

Tabela 18- Teste de médias da área mobilizada pela matraca, disco sulcador e puncionador em um Argissolo Vermelho-amarelo

	Número de amostras	**Médias da área mobilizada (m^2)**
Sulcador	10	0,0735[a]
Matraca	10	0,0153[b]
Puncionador	10	0,0081[c]

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste MDS em nível de 5% de significância.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Verifica-se que houve diferença estatística pelo teste MDS a 5% de significância, porém o sulcador de disco apresentou maior área de mobilização.

É possível observar que semeadora manual (matraca) obteve média superior ao sistema puncionador, embora a mesma também realize o processo de deposição de sementes de forma pontual, tal fato pode ser justificado pelo princípio de funcionamento da mesma, pois ao penetrar no solo a mesma abre para formar à cova e é retirada do solo com o sistema de abertura de covas aberto, o que contribui para uma maior mobilização, já o sistema puncionador é retirado do solo com o sistema de abertura de covas fechado, desta forma a área mobilizada é menor quando comparado à semeadora manual.

Nota-se que o puncionador foi o sistema que conferiu menor mobilização do solo quando comparado ao sulcador de disco e a matraca, comprovando que este sistema promove uma menor mobilização do solo conforme foi afirmado por Frabetti *et al*., (2011) e Teixeira (2008), visto que os autores afirmam que semeadoras dotadas com sistema de deposição de sementes de punção revolvem menos o solo quando comparadas com semeadoras que utilizam hastes e discos sulcadores.

Portanto, as semeadoras que possuem sistema puncionador podem ser uma alternativa para agricultura familiar do Ceará, visto que os solos encontrados nesta região caracterizam-se por serem pouco profundos, contribuindo para que os mesmos sejam suscetíveis a processos erosivos, em virtude de suas características morfológicas, químicas e físicas.

Sendo assim, o sistema de deposição de sementes de forma pontual ou em covas possibilita o menor revolvimento do solo, o que contribui para a conservação do solo, requisitos que são essências para agricultura conservacionista.

6.2.6 Desempenho operacional do protótipo

Com relação à autonomia do protótipo, considerando que o peso 1.000 sementes é 418 g conforme as especificações da AGROCERES (2016), a capacidade máxima do reservatório de sementes é de 30,66 kg, com isso tem-se uma quantidade de 73.349 sementes para uma carga 100%. Sabendo-se que são necessárias 77.777 sementes para semear 1 ha e que a capacidade de carga máxima do recipiente é suficiente para semear 0,94 ha, com isso será necessário 1,46 vezes o volume máximo do recipiente para atender a capacidade diária de plantio do protótipo, ou seja , será necessário 2 cargas de sementes para a jornada diária de trabalho.

Já com relação ao depósito de fertilizante, sabendo que a capacidade de carga do reservatório é de 42,63 kg e que o protótipo foi regulado para depositar 22,6 g m^{-1} que equivale a 251, 11 kg ha^{-1}, sendo necessários 6 cargas do reservatório para realizar a adubação de 1 ha, com isso para atender a capacidade de uma jornada diária são necessárias 8 cargas.

Observa-se que o protótipo necessita de 8 cargas no reservatório de fertilizante para atender a capacidade de uma jornada diária de trabalho, deste modo para diminuir o número de paradas, seria importante projetar um reservatório de fertilizante, buscando-se aumentar o volume do mesmo, consequentemente ocorreria o aumento da capacidade operacional, além de aumentar a massa do protótipo o que facilitaria a penetração do mecanismo sulcador no solo.

No que se refere ao desempenho operacional, o protótipo obteve capacidade operacional de 0,144 ha h^{-1}, capacidade efetiva de 0,1661 ha. h^{-1} e eficiência de campo 86,66% .

Considerando uma jornada de trabalho de 8 horas a capacidade efetiva de plantio do protótipo é de 1,3288 ha. Desta forma com uma capacidade de campo efetiva de 0,1661 ha h^{-1}, em um turno de trabalho de 8h obtém-se 1,3288 ha semeados, assim uma propriedade com 10 ha pode ser semeada em 60,20 horas o que equivale a 7,52 dias de trabalho, em função de turnos de 8 h.

Segundo Albiero (2010) 74% dos agricultores familiares possuem em média 10 ha, deste modo o protótipo consegue atender a esta demanda no período de 7,52 dias.

6.3 Análise do Modo e Efeito de Falhas (FMEA)

Para realizar a análise de efeitos e modos de falha foram utilizadas as recomendações de Teng e Ho (1996) e Teng *et al*., (2006), desta forma foram determinadas as seguintes etapas: 1- Definir o escopo da análise em função da resolução e foco dos estudos; 2- Fazer um fluxograma do projeto/processo para apresentar as relações entre subsistemas e subprocessos; 3- identificar os possíveis modos de falhas; 4- Identificar as causas das falhas; 5- Realizar a análise do efeito da falha; 6- Classificar a severidade da falha; 7- Classificar a ocorrência da falha; 8- Determinar a detecção da falha; 9- Calcular o NPR; 10- Definir as falhas críticas; 11- Recomendar ações corretivas.

DEFINIÇÃO DO ESCOPO DA ANÁLISE

A definição do escopo da análise foi feita em função do processo de semeadura realizado pelo protótipo da semeadora puncionadora (Tabela 20, apêndice), desta forma foi utilizada como resolução os seguintes sub-processos e seus constituintes, apresentados em ordem de ocorrência de semeadura:

a) Operação do protótipo:
   - Operar o protótipo da semeadora na velocidade adequada para que o mesmo obtenha desempenho satisfatório;
b) Geração de potência rotativa pela roda motora:
   - Transmissão de movimento para acionar os mecanismos, além de eliminar a patinagem;
c) Sincronização do sistema de dosagem de sementes com o puncionador:
   - Assegurar que a cova seja feita e que a semente seja depositada no tempo certo;
d) Regulagem do protótipo:
   - Realizar a regulagem do protótipo de forma correta para que o mesmo obtenha bom desempenho em campo;
e) Transporte da semeadora:
   - Realizar o transporte do protótipo da semeadora de forma prática e facilitada;
f) Engrenagens, pinhão, coroa, eixo cames, correntes:

− Transmitir o movimento para acionar a distribuição de sementes e fertilizante, além de garantir que a operação seja realizada de forma segura garantindo a integridade do operador;

g) Abastecimento dos reservatórios:

−Realizar o abastecimento do reservatório de fertilizante e semente de forma rápida e prática, levando em conta os fatores ergonômicos;

h) Sistema distribuidor de fertilizante:

−Dosagem do fertilizante conforme a regulagem que foi especificada;

−Deposição do fertilizante na profundidade para qual foi regulada;

−Eliminar agregados durante a distribuição do fertilizante;

i) Sistema distribuidor de sementes:

−Dosar as sementes e não danificar as mesmas durante a distribuição;

− Distribuição de sementes no solo com espaçamento para qual foi regulado;

−Deposição da semente na profundidade para qual foi regulada; Realizar a abertura de cova por meio do sistema puncionador;

j) Cobertura da semente e fertilizante:

−Realizar o aterramento do fertilizante e da semente de forma a garantir que os mesmos sejam cobertos de forma adequada, além de obter ausência de embuchamento nos discos aterradores;

k) Compactação do solo sobre a semente:

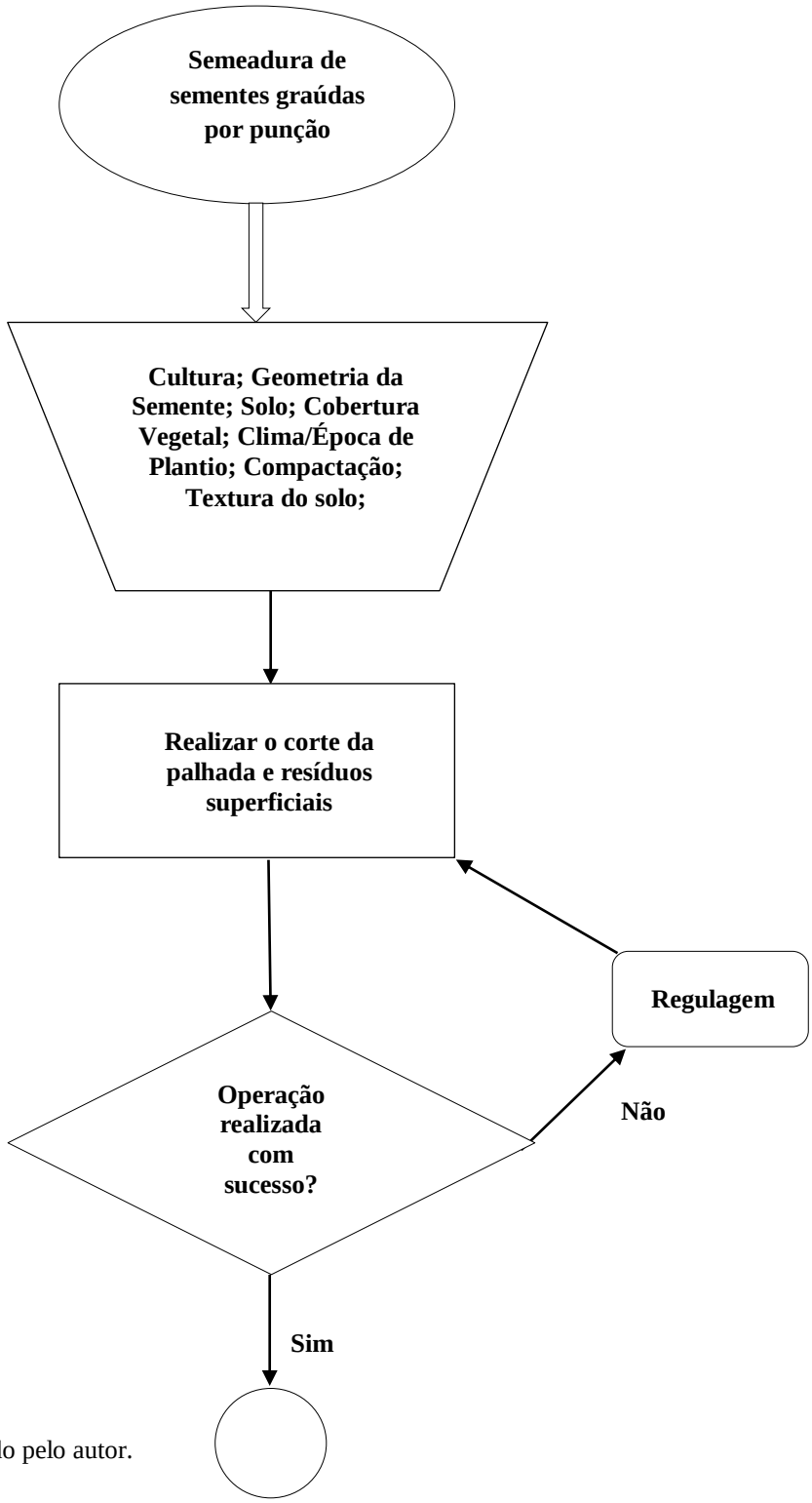
− Realizar a compactação de forma adequada para que não haja selamento do solo compactado, além de garantir o contato entre o solo e a semente para que a mesma possa germinar.

Desta forma o principal foco do estudo trata-se de determinar as potencias falhas nas áreas de segurança, manutenção, operação e resultado final.

FLUXOGRAMA DO PROCESSO

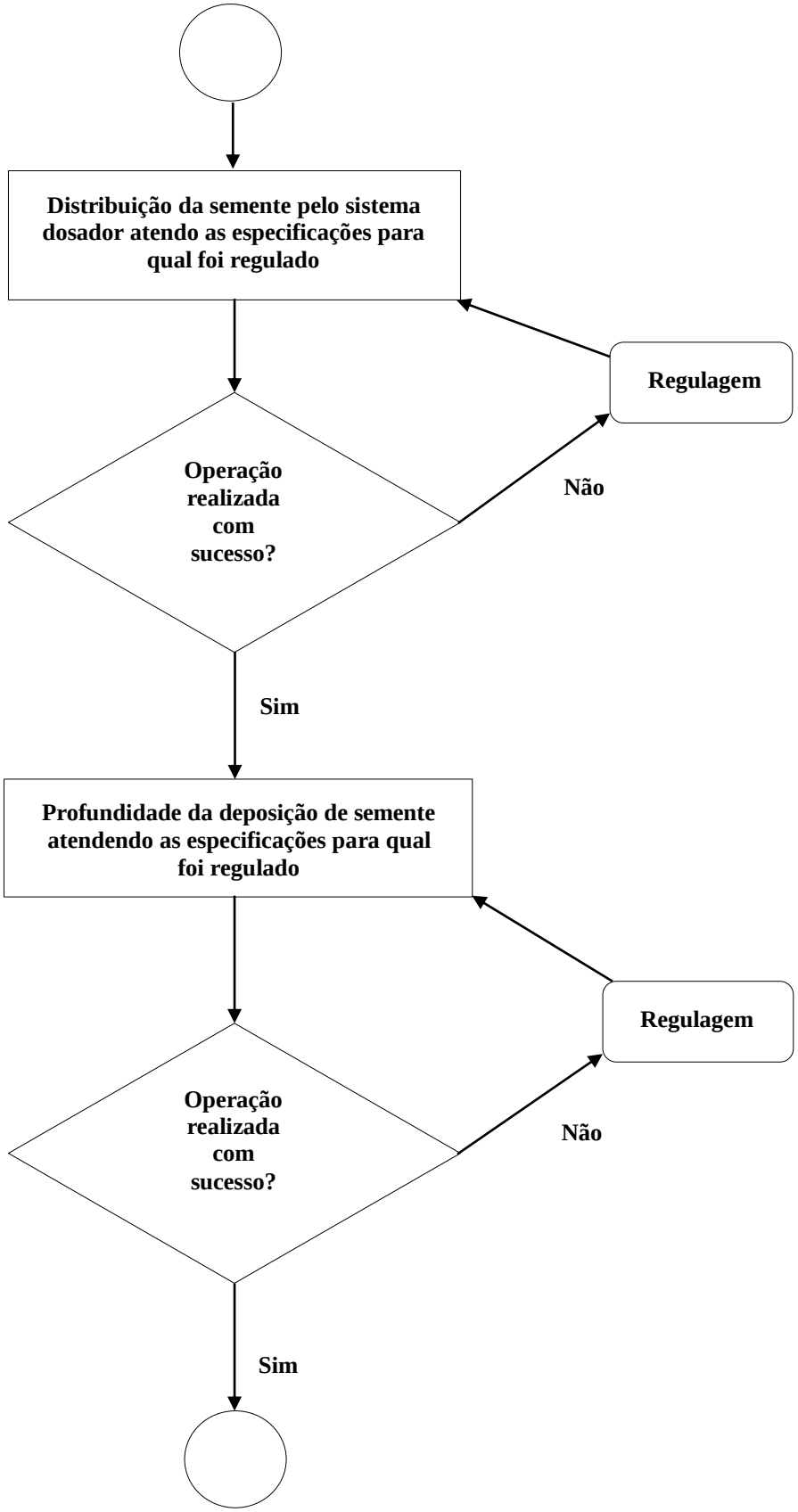
O fluxograma do projeto/processo foi feito para apresentar as relações entre subsistemas e sub-processos conforme as recomendações de Teng e Ho (1996) e Teng *et al*., (2006), sendo assim utilizou-se a metodologia de (BACK, 1983) para definir todas a etapas necessárias para o processo de semeadura que compõe o fluxograma.

Figura 44- Fluxograma das etapas necessárias para o processo de semeadura (continua)



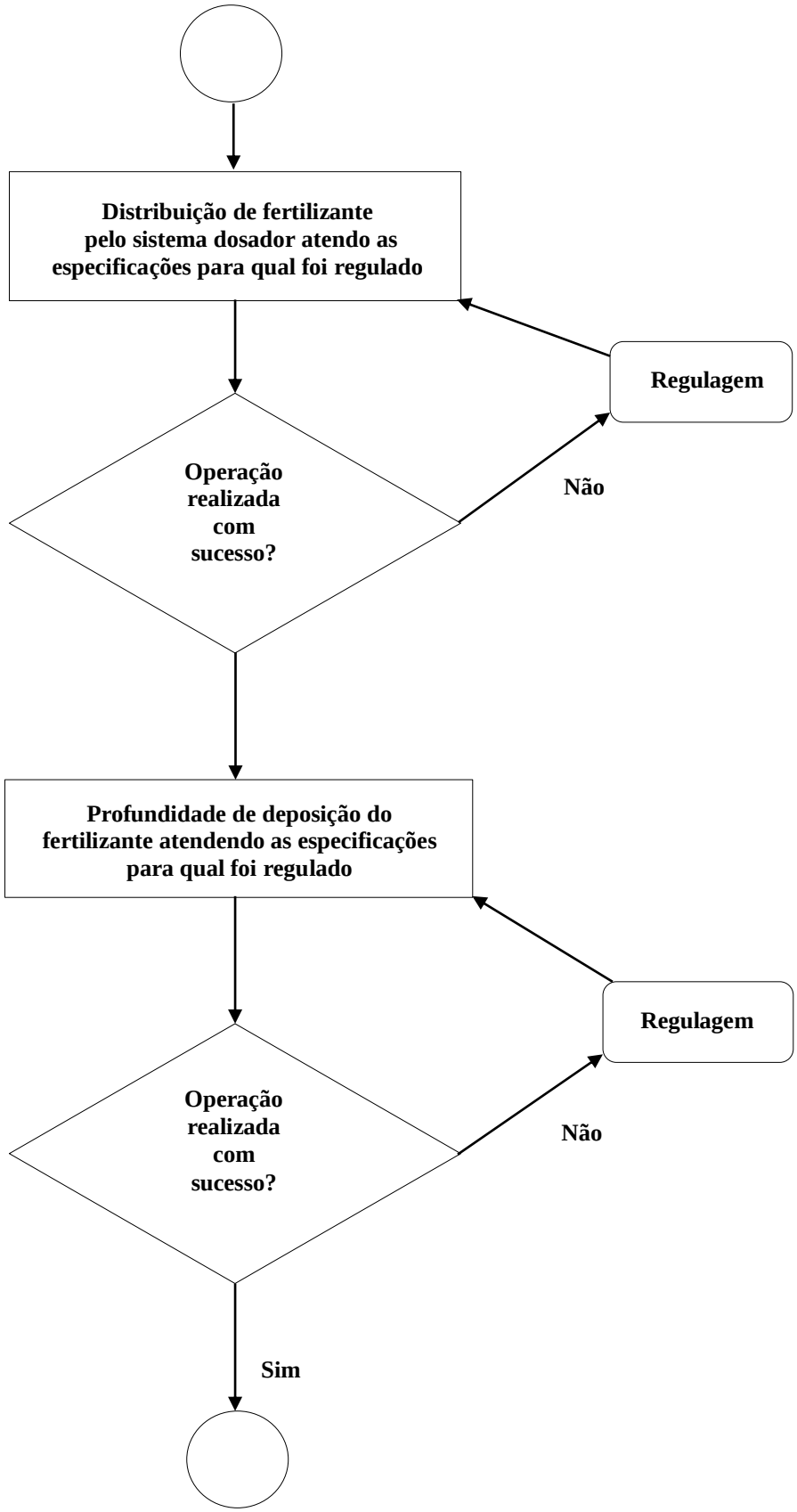
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 44- Fluxograma das etapas necessárias para o processo de semeadura (continua)



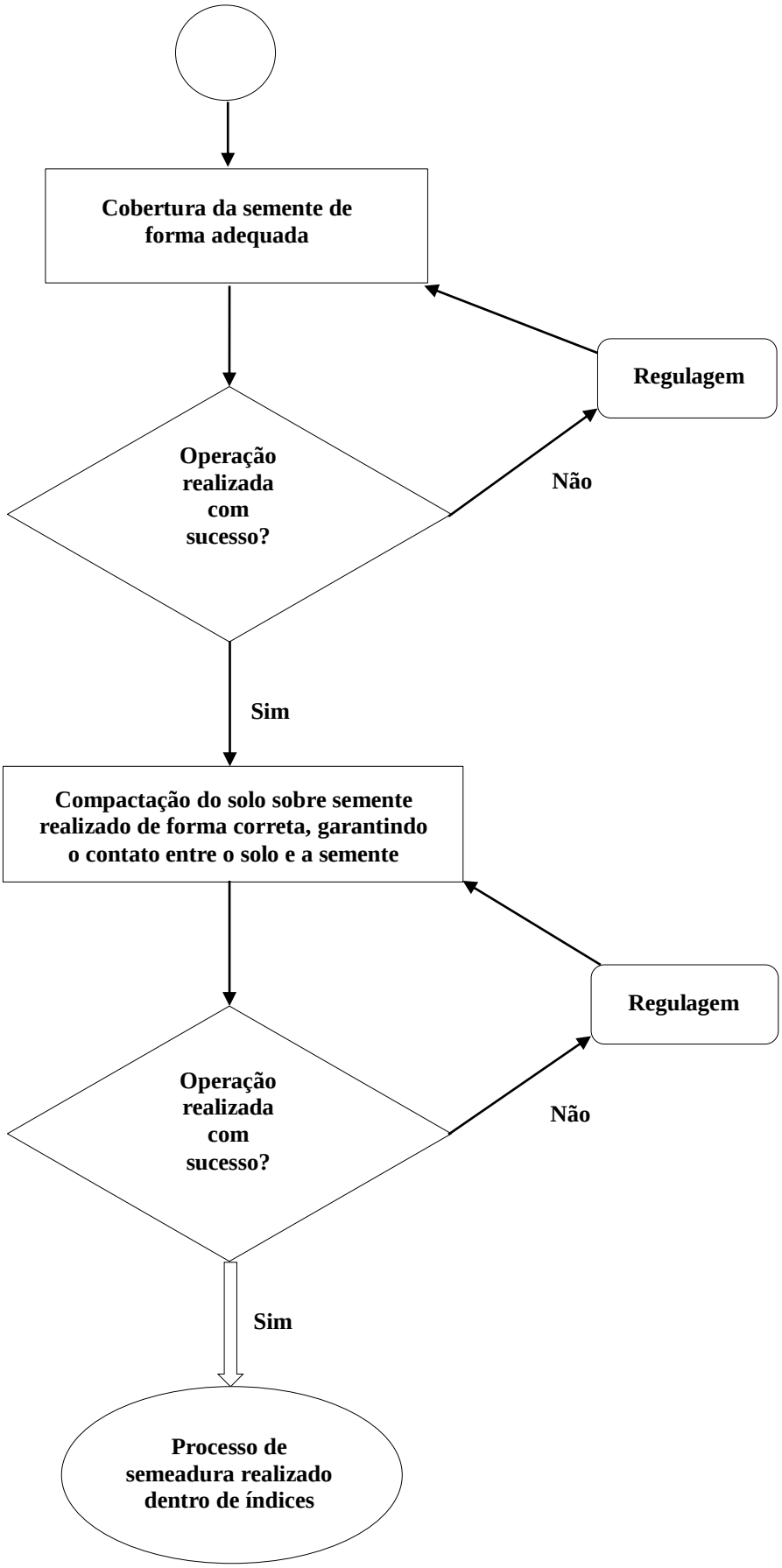
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 44- Fluxograma das etapas necessárias para o processo de semeadura (continua)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 44- Fluxograma das etapas necessárias para o processo de semeadura (conclusão)



Fonte: Elaborado pelo autor.

IDENTIFICAÇÃO, ANÁLISE, CLASSIFICAÇÃO, DETERMINAÇÃO E CÁLCULO DO MODO, EFEITO, SEVERIDADE, OCORRÊNCIA, DETECÇÃO E NÚMERO DE PRIORIDADE DE RISCO (NPR) DAS FALHAS

Utilizou-se as especificações de Toledo e Amaral (2008) para determinar as falhas em ordem decrescente em função do potencial crítico da falha. O autor determina as falhas críticas e direciona esforços para solucionar estas falhas, desta forma foi utilizada a seguinte classificação para as falhas:

01 – 207 – Pouquíssima Prioridade (PP)
208 – 407 – Baixa Prioridade (BP)
408 – 607 – Média Prioridade (MP)
608 – 807 – Alta Prioridade (AP)
808 – 1000 – Total Prioridade (TP)

Tabela 19- Falhas críticas em função da prioridade de risco do protótipo da semeadora

Falha Potencial	NPR	Classe
1- Sincronia do sistema de dosagem com o puncionador	720	AP
2-Compactação realizada de forma inadequada	648	AP
3-Blocos de adubo danificando o mecanismo	640	AP
4-Irregularidade de distribuição de sementes	576	MP
5-Velocidade operacional inconstante	567	MP
6-Dificuldade para realizar a abertura da cova	512	MP
7-Índice de deslizamento da roda de acionamento	504	MP
8-Irregularidade na distribuição de fertilizante	480	MP
9-Segurança do operador	441	MP
10-Regulagem da profundidade de deposição de adubo	432	MP

Fonte: Elaborado pelo autor.

FALHAS CRÍTICAS:

A seguir é listado todas as falhas críticas apontadas no protótipo da semeadora puncionadora pela equipe multidisciplinar:

1) A falha potencial com maior risco é referente à sincronia do sistema de dosagem de semente com o sistema puncionador com número prioritário de risco de 720 tendo alta prioridade para a sua correção. Esta falha pode ocorrer caso a regulagem não seja realizada de forma correta, sendo assim haverá falta de sincronia entre esses sistemas o que poderá ocasionar irregularidade de distribuição longitudinal durante o processo de semeadura;
2) A segunda falha potencial obteve NPR de 648 tendo alta prioridade para solução desta falha potencial. A mesma refere-se à compactação do sulco de semeadura, que caso seja feita de forma incorreta comprometerá seriamente a emergência da plântula. Esta falha poderá ocorrer caso ocorra regulagem inadequada do sistema de compactação;
3) Outa falha potencial de alta prioridade com NPR de 640 refere-se à possibilidade de haver blocos de fertilizante no reservatório. Esta falha poderia ocasionar danos ao mecanismo distribuidor de fertilizante, estando totalmente associada à qualidade do fertilizante utilizado, assim como o armazenamento do mesmo;
4) A falha potencial referente à irregularidade de distribuição obteve NPR de 576 com média prioridade para a solução da falha. A mesma encontra-se associada à desuniformidade do processo de semeadura que poderá ser ocasionada por falhas na deposição de sementes no solo realizado pelo sistema puncionador, por conta do acúmulo de solo e pela falta de sincronia no tempo de abertura do mecanismo responsável pela abertura da cova;
5) A velocidade de operação inconstante obteve média prioridade com NPR de 567, que poderá ser alterada por conta do excessivo índice de patinagem do trator de rabiça que esta associada à falta de lastro, pois a falta de lastro nos pneus diminui o contato do rodado com o solo levando a um maior patinamento eventual, em função das condições do solo. Outro ponto a ser destacado é que o equipamento deve ser operado com a velocidade adequada para que obtenha desempenho satisfatório;

6) A dificuldade para que o mecanismo de abertura faça a cova no solo obteve NPR de 512 com média prioridade. A falha potencial esta associada ao fato de a mola não abrir no solo no tempo correto, acarretando falhas no processo de semeadura, a qual pode ser ocasionada por conta da regulagem incorreta da mola responsável pela abertura do mecanismo;
7) O índice de deslizamento da roda de acionamento apresentou NPR de 504 com média prioridade para solução da falha. Esta falha esta relacionada à falta de contato entre o rodado e o solo, pela pouca pressão desta roda sobre o solo que pode ser oriunda da falta de peso do implemento;
8) A irregularidade de distribuição do fertilizante teve NPR de 480 com média prioridade para solucionar o problema. Esta falha pode estar associada a erros de regulagem ou defeito do mecanismo responsável pela dosagem do fertilizante;
9) A segurança do operador no que se refere ao risco de acidente ao trabalhar com o protótipo teve NPR de 411 com média prioridade. Esta falha poderá ocorrer pela falta de proteção nas partes móveis do implemento como correntes, engrenagens, eixo cames, etc, além de pontas cortantes que podem existir no protótipo;
10) A profundidade de deposição de adubo foi classificada com média prioridade com NPR de 432. A mesma pode ser ocasionada pela falta de força vertical para que o disco sulcador possa vencer a resistência do solo a penetração.

RECOMENDAÇÕES DE AÇÕES CORRETIVAS

A seguir é listado todas as recomendações de ações corretivas que devem ser adotadas para otimizar o desempenho do protótipo:

1) Sincronia do sistema de dosagem com o puncionador:
   − Reprojetar a regulagem do dosador de sementes e do sistema puncionador, para que os mesmos sejam regulados em único ponto. A regulagem desses sistemas deve ser feita por meio das mesmas engrenagens, deste modo ao modificar o número de sementes por metro a velocidade do mecanismo puncionador deverá ser ajustada

automaticamente, assegurando assim que as regulagens sejam sempre equivalentes;

2) Compactação realizada de forma inadequada:

− Modificação do projeto para inserir uma mola que proporcione diferentes regulagens de pressão conforme o solo a ser trabalhado;

3) Blocos de fertilizante danificando o mecanismo:

−Esta falha potencial se refere a fatores externos ao processo, como a qualidade do fertilizante, uma solução viável para eliminar os blocos seria o uso de peneiras para eliminar os agregados de fertilizante antes dos mesmos serem inseridos no reservatório. Outra medida importante a ser tomada é realizar a limpeza do reservatório ao fim de cada operação;

4) Irregularidade de distribuição de sementes:

− Esta falha poderá ser solucionada pela sincronia do sistema de dosagem de sementes e sistema puncionador, e pela regulagem da mola que se encontra no mecanismo responsável pela abertura das covas;

5) Velocidade operacional inconstante:

−Para solucionar esta falha é necessário a adoção de lastros líquidos e sólidos nas rodas motoras do trator de rabiça para que haja o decréscimo do índice de patinagem, além de apontar a velocidade adequada de trabalho pra que o protótipo obtenha desempenho satisfatório;

6) Dificuldade para realizar a abertura da cova:

−Utilizar regulagens predeterminadas que relacione a posição de fixação da mola com o curso necessário ao mecanismo para que o mesmo inicie a abertura da cova no momento em que tocar o solo;

7) Índice de deslizamento da roda de acionamento:

− Aumentar a superfície de contato para otimizar o contato da roda motora com o solo, além de projetar um sistema que faça a roda motora seguir as imperfeições do perfil do solo. Outra solução viável seria a adoção de lastro pra aumentar o peso do equipamento diminuindo o índice de patinagem;

8) Irregularidade na distribuição de fertilizante:

−Realizar a correta regulagem do mecanismo distribuidor de fertilizante, além de realizar teste em campo com o intuito de aferir se as regulagens estão satisfazendo as especificações para quais foram determinadas de acordo com a cultura utilizada;

9) Segurança do operador:

− Para eliminar os riscos de acidentes com as partes exposta (engrenagens, correias e cames) do protótipo é necessário seguir as recomendações da NR12 e NR31 que dispõem sobre os sistemas de segurança nos itens 12.38 e 31.12.10. A mesma relata que as zonas de perigo das máquinas e equipamentos devem possuir sistemas de segurança, caracterizados por proteções fixas, proteções móveis e dispositivos de segurança interligados, que garantam proteção à saúde e à integridade física dos trabalhadores;

− Desta forma conforme os itens 12.38.1 e 31.12.11 medidas de segurança devem ser adotadas em especial nas zonas de operação que apresentem perigo, considerando as características técnicas da máquina e do processo de trabalho e as medidas e alternativas técnicas existentes, de modo a atingir o nível necessário de segurança previsto na norma;

− Portanto, barreiras físicas devem ser adotadas por meio de barreira física conforme os itens 12.41 e 31.12.13, podendo ser: proteção fixa, que deve ser mantida em sua posição de maneira permanente ou por meio de elementos de fixação que só permitam sua remoção ou abertura com o uso de ferramentas;

10) Regulagem da profundidade de deposição de fertilizante:

− Realizar uma modificação para adicionar molas com intuito de assegurar o tensionamento das mesmas para que o disco sulcador consiga vencer a resistência do solo, além de aumentar a carga vertical para auxiliar a penetração no disco sulcador no solo.

7 CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos em campo o protótipo confirma a hipótese do trabalho, pois foi possível obter-se um protótipo de uma semeadora-adubadora, para a agricultura familiar, com um mecanismo puncionador que apresentou ótimo índice de distribuição de sementes, possibilitando a elevação da qualidade no processo de semeadura e aumento da produtiva.

O protótipo apresentou ótimo índice de distribuição de sementes, pois obteve 90,2% de espaçamentos aceitáveis, porém é necessário realizar melhorias na penetração do sistema puncionador para que o mesmo atinja a profundidade desejada.

O processo de distribuição de fertilizante atendeu as especificações para qual foi regulado, porém é necessário realizar melhorias na penetração do sulcador de disco, visto que o mesmo não obteve a profundidade desejada.

O estudo de qualidade realizado por meio do Controle Estatístico do Processo (CEP) indicou a adequação do processo de semeadura aos padrões de qualidade.

A Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA) possibilitou uma análise detalhada do protótipo permitindo listar as falhas críticas do projeto, obtendo-se soluções em função da gravidade dos seus efeitos possibilitando o aperfeiçoamento do protótipo.

O sistema puncionador conferiu menor revolvimento do solo, comprovando que este sistema promove a menor mobilização, contribuindo para a conservação do solo, requisitos que são essências para agricultura conservacionista.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar teste em campo com o sistema de plantio direto, para avaliar o desempenho do protótipo;

Realizar as modificações sugeridas pela Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA);

Realizar modificações no protótipo a fim de que o mesmo se adeque as normas regulamentadoras;

Realizar ensaios para avaliar o consumo enérgico do protótipo, a fim de aferir se o sistema de abertura com puncionador possui menor consumo energético do que os sistemas de abertura de haste e disco;

Avaliar a possibilidade de projetar um protótipo com 2 ou mais linhas para aumentar a capacidade de campo;

Realizar melhorias na penetração no solo e aumentar a velocidade de operação do protótipo;

Realizar estudos da viabilidade econômica da aplicação do protótipo em propriedades familiares.

REFERÊNCIAS

AB' SÁBER, A. Sertões e sertanejos: uma geografia humana sofrida. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 13, n. 36, p. 7-59, 1999.

AGÊNCIA GAÚCHA MARCAS E PATENTES LTDA. Oscar Leopoldo Hubert. **Semeadora-adubadora de manejo animal**. PI9300631-4(A2). 12 fev. 1993, 4 out.1994.

AGROCERES. **Semente Agroceres**. 2016. Disponível em: <http://www.sementesagroceres.com.br/pages/BaixarArquivo.aspx?i=folhetoAG8780_Verao.pdf&t=pdf>. Acesso em: 7 set. 2016.

ALBIERO, D. **Avaliação do preparo de solo empregando o sistema de cultivo conservacionista em faixas com paraplow rotativo usando análise dimensional**. 2006. 362 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

ALBIERO, D. **Desenvolvimento e avaliação de máquina multifuncional conservacionista para a agricultura familiar**. 2010. 244 f. Tese (Dourado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2010.

ALBIERO, D.; CAJADO, D. M.; FERNANDES, I. L. C.; MONTEIRO, L. de. A.; ESMERALDO, G. G. S. L. Tecnologias agroecológicas para o Semiárido. ALBIEIRO, D. **Fundamentos de projetos de máquinas agroecológicas para o semiárido**. Fortaleza: Edição do Autor, 2015. 216. p.

ALBIERO, D.; MACIEL, A. J. S.; MELO, R. P.; MELLO, C. A.; MONTEIRO, L. A. Metodologias de projeto para máquinas agroecológicas: relatos de experiências. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 7., 2011, Fortaleza. **Anais...**Fortaleza: ABA, 2011.

ALBIERO, D.; MACIEL, A. J. S.; MILAN, M.; MONTEIRO, L.A.; MION, R.L. Avaliação da distribuição de sementes por uma semeadora de anel interno rotativo utilizando média móvel exponencial. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 86-95, 2012.

ALBIERO, D; MACIEL, A. J. da S.; GAMERO, C. A. Desenvolvimento e projeto de colhedora de babaçu (Orbignya phalerata Mart.) para agricultura familiar nas regiões de matas de transição da Amazônia. **Acta amazonica**, Manaus, v. 41, n. 1, p.57-68, 2011.

ALTMANN, A. S.; BONOTTO, G.J.; BEDIN, P. R. *et a*l. Metodologia para avaliação dos mecanismos dosadores de fertilizantes em semeadoras-adubadoras. *In*: XIV SIMPÓSIO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO. Santa Maria, 2010. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2010.

AMAZONEN WERKE DREYER H. Mertens Daniel. Brueggemann Klaus. **Pneumatic single grain seeder**. EP 2289298 (A2), 16 out. 2011, 29 mar. 2015.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING. S396.2. **Combine capacity and performance test procedure**. St. Joseph, 1998.

ANDRADE, A. S. de. **Introdução ao projeto de máquinas**. Paraná: Universidade Federal do Paraná, 2010.

ANDRADE, E.; PEREIRA, O.; DANTAS, E. **Semiárido e o manejo dos recursos naturais.** Fortaleza: Imprensa Universitária-UFC, 2010. 396 p.

AQUINO,B. F. de; HERNANDES,F.F.F. **Recomendações de adubação e Calagem para o estado do Ceará**. Fortaleza: UFC,1993. 248 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de norma 12:02.06-004**: semeadora de precisão: ensaio de laboratório. São Paulo, p. 21. 1994. 21 p.

BACK, N. **Metodologia de projeto de produtos industriais**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.

BAKER, C. J. *et al*. **No-tillage Seeding in Conservation Agriculture**. 2. ed. London: Cromwell Press, 1997.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas.** São Paulo: Manole, 1990.

BALASTREIRE, L.A. **Máquinas Agrícolas**. 2. ed. São Paulo: Manole, 2005.

BARBÉ, L. da. C. **Distribuição do crédito do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) no estado do Rio de Janeiro de 1998 a 2012**. 2015.92 f. Tese (Doutor em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2015.

BARROS, F. F. **A melhoria contínua no processo de plantio da cana-de-açúcar.** 2008. 79 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

BAUMHARDTS, B.U. Uniformidade de vazão de fertilizantes por dosadores helicoidais em função do nivelamento longitudinal. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 18 n. 4, ago. 2010.

BORSATTO, E. A. **Desempenho de uma semeadora de precisão em Latossolo Vermelho: pressão de inflação do pneu de acionamento x manejo de plantas de cobertura**. 2009.110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Jaboticabal, 2009.

BOWEN, H. D. Alleviating mechanical impedance. *In*: ARKIN, G.F. and TAYLOR, H.M., eds. **Modifying the root environment to reduce crop stress**. 1981. p. 18-57. Michigan. (ASAE monograph, 4).

BRASIL. **Lei de Inovação Tecnológica** (Lei nº 10.973/2004). Brasília, DF: Congresso Nacional. Atos do Poder Legislativo, DOU, n.º 232 de 3 de dezembro de 2004.

BRASIL. **Lei n° 11.326, de 24 de julho de 2006**. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 25 jul. 2006.

CALTAROSSO, F. **Análises de tensões em equipamentos de moagem da cana de açúcar usando o método dos elementos finitos**. 2008. 204 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de São Paulo, SP. São Carlos, 2008.

CAMACHO-TAMAYO, J. H. ; LEIVA, F. R. ; RODRIGUEZ, G. A. Comportamiento de cuatro dosificadores de fertilizantes granulares y correctivos polvosos. *In*: VII Congreso Lationoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola, 7., 2006, Chillán. **Memorias...** Chillán: Universidad de Concepción, 2006.

CAMARGO de, O. A.; ALLEONI, L.R.F. **Reconhecimento e medida da compactação do solo**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/C6/Index.htm>. Acesso em: 9 maio 2017.

CAMPOS, C. M. **Identificação e avaliação de variáveis críticas no processo de produção de cana-de-açúcar**. 2007. 89 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

CARNIELETTO, R. Semeadura de milho com dois mecanismos sulcadores sob diferentes intensidades de pastejo. **Revista Engenharia Agrícola de Jaboticabal**, v.33, n.6, p.1200-1209, 2013.

CARPES, D. P. **Distribuição longitudinal de sementes de milho e soja em função do tubo condutor, mecanismo dosador e densidade de semeadura**. 2014. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

CASÃO JÚNIOR, R.; ARAÚJO, A.G.; RALISCH, R. Desempenho da semeadora-adubadora Magnum 2850 em plantio direto no basalto paranaense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 3, p. 523-32, 2000.

CAVALCANTE, E. S. **Estudo da capacidade do processo de uma semeadora pneumática.** 2014. 57 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

CEPIK, C.T.C.; CARLOS, R.; TREIN, C. R.; LEVIEN, R. Força de tração e volume de solo mobilizado por haste sulcadora em semeadura direta sobre campo nativo, em função do teor de água no solo, profundidade e velocidade de operação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n.2, p 447-457, ago. 2005.

CHANG, C.S. Desenvolvimento de equipamento leve de tração animal. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 18., 1989, Recife. **Anais**... Recife: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1989. p. 167-177.

CHIODEROLI, C.A; SILVA, R. P. da; NORONHA, R. H.DE. F; CASSIA, M. T; SANTOS, E. P. dos. Perdas de grãos e distribuição de palha na colheita mecanizada de soja. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 1, p.112-121, 2012.

COCHRAN, W. G.; COX, G. M. **Experimental designs**. New York: John Wiley and Sons, 1957.

COELHO, J. L. D. **Avaliação de elementos sulcadores para semeadoras-adubadoras utilizadas em sistemas conservacionistas de manejo do solo**.1998. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo,1998.

COELHO, J. L. D. Ensaio e certificação das maquinas para semeadura. *In*: MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas**: ensaios e certificação. Piracicaba: FEALQ, Cap. 11, 1996. 551-570 p.

COLOMBINO, A.; POLLACINO, J. C.; SOSA, R. O. **Máquinas para implantacion de cultivos**. Buenos Aires: Universidade de Buenos Aires, Apostila, 1985. 25 p.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos** 2011/12- oitavo levantamento, maio/2012. Brasília, 2012. 36 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_05_10_08_49_52_boletim_maio_2012.pdf>. Acesso em: 18 set. 2016.

CONSELHO DE ALTOS ESTUDOS E ASSUNTOS ESTRATÉGICOS. **Cenário atual do semiárido cearense**. Assembleia legislativa do Estado do Ceará, Fortaleza: INESP, 2011.482 p.

COPETTI, E. Os desafios da semeadura**. Seed News**, Ano XIX, n.1. jan/fev. 2015. Disponível em: < http://www.seednews.com.br/_html/site/content/reportagem_capa/imprimir.php?id=212 >. Acesso em: 22 jan. 2016.

COPETTI, E. Prevenir custa menos. **Revista Cultivar Máquinas**. fev. 2004.

CORTIVO, Z. D. **Aplicação do Controle Estatístico de Processo em sequências curtas de produção e análise estatística de processo através do planejamento econômico**. 2005. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Paraná-Curitiba, 2005.

DODSON, M. S. **Avaliação da influência de indicadores de qualidade no custo operacional de um sistema de produção de milho Zea mays (L.)**: estudo de caso de semeadura. 1998. 80 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 1998.

ELSMAR. **FMEA**. 2009. Disponível em: <http:// www.elsmar.com>. Acesso em: 24 ago. 2016.

EMBRAPA MILHO E SORGO. **Cultivo do milho**. Sistema de produção n.1, 2000. Disponível em: <file:///C:/Users/Rafa/Downloads/Cultivomilhoverde.pdf> >. Acesso em: 24 ago. 2016.

EMBRAPA MILHO E SORGO. **Plantio**. Sistema de produção n. 1, 6. ed. 2010. Disponível em: < http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_1_ed/plantespaca.htm>. Acesso em: 24 set.2016.

EMBRAPA Semiárido. **A pesquisa em agricultura familiar no semiárido: métodos alternativos de diagnóstico e validação de tecnologias**. 2016. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/7294/1/OPB795.pdf…>. Acesso em: 24 ago.2016.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306 p.

EMBRAPA. José Antônio Portela. Semeadora de precisão, por processo pneumático, com controle eletrônico da performance. MU7601667-6(Y1), 5 jul. 1996, 5 ago. 2003.

EMBRAPA. **Métodos de Captação de Água de Chuva "in situ"**. 2015. Disponível em: <http://eng.warwick.ac.uk/ircsa/pdf/9th/08_06.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2017.

EMBRAPA. **Nutrição e adubação do milho**. Circular técnica. 2006. Disponível em: < http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2006/circular/Circ_78.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2016.

EMBRAPA. **Preparo das linhas de plantio**. 2016. Disponível em: < http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/uva_de_mesa/arvore/CONT000gn4zs1rv02wx5ok0liq1mq1mcm2bz.html>. Acesso em: 17 jun. 2017.

EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja Região Central do Brasil**. n.1. jan. 2004. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Soja/SojaCentralBrasil2003/instalacao.htm>. Acesso em: 24 nov. 2016.

EMPRABA SEMIÁRIDO. **As tecnologias utilizadas pelos pequenos agricultores do nordeste semiárido e os fatores que afetam sua adoção**. 2015. Disponível em: < https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/132528/1/OPB343.pdf>. Acesso em: 24 dez. 2016.

ESMERALDO, G. G. S. L. Tecnologias agroecológicas para o Semiárido. ALBIEIRO, D. **Fundamentos de projetos de máquinas agroecológicas para o semiárido**. Fortaleza: Edição do Autor, 2015. 216. p.

FERNANDES, A. E. S.; COSTA, C. E. S.; SOUZA, E. S. O. O uso de controle Estatístico de processo na gestão de qualidade. Estudo de caso: Grupo Coringa - AL. **Inovação, Gestão e Produção**, v. 03, n. 6, p.1-10, 2011.

FERNANDES, J. M. R. **Proposição de abordagem integrada de métodos da qualidade baseada no FMEA**. 2005. 188 f. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Produção e Sistemas) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2005.

FERNANDES, J. M. R.; REBELATO, M. G. Proposta de um Método para Integração entre QFD e FMEA. **GESTÃO & PRODUÇÃO**, v.13, n. 2, p.245-259, ago. 2006.

FERREIRA, M. F. P.; DIAS,V.de. O.; OLIVEIRAS, A.; ALONÇO, A. dos. S.; FINEP. **Brasil Inovador**. Brasília: FINEP, 2006. Disponível em: < http://www.finep.gov.br>. Acesso em 18 jan. 2015.

FRABETTI, D. R. **Desenvolvimento e avaliação do desempenho de uma Semeadora puncionadora para plantio direto de milho**. 2008. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2008.

FRABETTI, D. R.; RESEND, R. C.; QUEIROZ, D. M.; FERNANDES, H. C; SOLZA, C.M. Desenvolvimento e avaliação do desempenho de uma semeadora puncionadora para plantio direto de milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p.199-204, 2011.

FREIRE, D. C. **Desenvolvimento de projeto de máquina para fabricação de galhos de madeiras fragmentados - BRF para manejo da região semiárida do Estado do Ceará**. 2011. 48 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, 2011.

GARCIA, L. C. *et al*. Influência da velocidade de deslocamento na semeadura do milho. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p.520-527, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS (IBGE). **Censo Agropecuário 2006**. Disponível em: < http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric>. Acesso em: 15 fev. 2016.

JANKE, J.; ERBACH, D. C. Seed depth distribuition in notill and strip till. **ASAE Pap**, v. 85, n. 1013, p.1-12, 1985.

KLIMIONTE, M. A; LINO, A. C. L; KURACHI, S.A. H; PECHE FILHO. A; GOMES, J. A. Uso da informática para otimizar cálculo da relação semente / orifício em mecanismos dosadores de semeadoras. *In*: CONGRESSO E MOSTRA DE AGROINFORMÁTICA, 2000, Ponta Grossa. **Anais...** Paraná: Fundação ABC, 2000.

KRUGLIANSKAS, I e PEREIRA, J. M. Gestão de inovação: a lei de inovação tecnológica como ferramenta de apoio às políticas industrial e tecnológica do Brasil. **RAE Eletrônica**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 1-21, 2005.

KRZYZANOWSKI, F. C.; NETO, J. B. F.de.; COSTA, N. P. Efeito da classificação de sementes de soja por tamanho sobre sua qualidade e a precisão de semeadura. **Revista Brasileira de Sementes**, v.13, n.1, p. 59-68, 1991.

KURACHI, S. A. H.; COSTA, J. A. S.; BERNARDI, J.A. *et. al*. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. **Bragantia**, Campinas, v. 48, n. 2, p. 249-262, 1989.

LEAL, F. **Análise do efeito interativo de falhas em processos de manufatura através de projeto de experimentos simulados**. 2008. 237 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2008.

LEAL, F.; PINHO, A. F.de.; ALMEIDA, D. A. de. Análise de falhas através da aplicação do FMEA e da teoria Grey. **Revista Gestão Industrial.** v. 2, n. 1, p. 79-88, jan. 2006.

LEMOS, P. **Inovação tecnológica abrindo novos paradigmas**. 2007. Disponível em: <www.inova.unicamp.br/>. Acesso em: 12 mar. 2016.

LIMA, A.A.N.; LIMA, J. R.; SILVA, J. L.; ALENCAR, J. R. B.; SOARES-SOBRINHO, J. L.; LIMA, L.G.; ROLIM-NETO, P.J. Aplicação do controle estatístico de processo na indústria farmacêutica. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, v. 27, n.3, p.177-187, 2006.

LIU, H.C.; LIU, L.; LIU, N. Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. **Expert Systems with Applications**. v. 40, p. 828-838, 2013.

LOTTI, R. S; MACHADO, A.W; MAZZIEIRO, E.T; LANDRE JÚNIOR, J. Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos. **Rev Dental Press Ortodon Ortop Facial**. Maringá, v. 11, n. 2, p. 35-43, mar. 2006.

MACINTIRE, D.; GRAY, A. G.; SHARP, M. J. The Development and fields trials of the "A" blade coulter for introducing seed into the soil. **Journal Agricultural Engineering Research**, v. 41, p. 43-51, 1986.

MATTAR, D. M. P. **Influência do deslizamento da roda motora de uma semeadora/adubadora de plantio direto no espaçamento longitudinal de sementes de milho**. 2010. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2010.

MCTI – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Lei de Inovação**, Brasília: MCTI, 2012. Disponível em: < www.mcti.gov.br>. Acesso em: 2 fev. 2016.

MDA-Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Secretaria da Agricultura Familiar (SAF)**. 2010. Disponível em: <www.mda.gov.br>. Acesso em: 15 fev. 2016.

MELLO, C. A. **Capacitação técnica dos agricultores do assentamento rural Pirituba II na fabricação de multi implementos de tração animal**. 2007. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

MELO, R. P.; ALBIERO, D.; MONTEIRO, L.de A. M. SOUZA, F. H. SILVA, J. G. Qualidade na distribuição de sementes de milho em semeadoras em um solo cearense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 94-101, 2013.

MELO, R.P. **Qualidade na distribuição longitudinal de sementes por semeadoras de precisão e fluxo contínuo nas condições edafoclimáticas do Ceará**. 2013. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

MELO, R.P.; FERNADES, F.R.B.; H. C. F. D NASCIMENTO, H. C. F. do.; C. L. MAIA, C. L.; ALBIERO, D. Análise do controle de qualidade da densidade de distribuição de arroz por uma semeadora de fluxo contínuo. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 8, n. 4, p. 343-350, 2014.

MERCANTE, E.; SILVA, S. de. L.; MODOLO, A. J.; SILVEIRA, J. C. M. da. Demanda energética Demanda energética e distribuição de sementes de milho em função da velocidade de duas semeadoras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambienta**l, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 424-428, 2005.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas**: ensaios e certificação. Piracicaba: FEALQ, 1996.

MILAGRES, R. S., FURTADO JÚNIOR, M. R.; SILVA, A. C. DA.; FONTES, J. M. Desempenho de um conjunto trator-semeadora-adubadora em função do mecanismo sulcador e velocidade de deslocamento. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 143-153, 2015.

MILLAR, A. A. **Drenagem de terras agrícolas**. São Paulo: McGraw-Hill, 1978. 276 p.

MINGOTI, S. A.; FIDELIS, M. T. Aplicando a geoestatística no controle estatístico de processo. **Revista Produto & Produção**, v. 5, n. 2, p. 55-70, 2001.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 12- Máquinas e Equipamentos**. Disponível em: < http://redsang.ial.sp.gov.br/site/docs_leis/st/st5.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2015.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 31- Segurança e saúde no trabalho na agricultura, pecuária silvicultura, exploração florestal e aquicultura**. Disponível em: < http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr6.htm>. Acesso em: 7 mar. 2015.

MODOLO, A. J. **Efeito da umidade do solo e carga aplicada pela roda compactadora no ambiente solo-semente em sistema de plantio direto na cultura da soja.** 2006. 97 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

MODOLO, A. J.; FRANCHIN, M. F.; TROGELLO, E.; ADAMI, P. F.; SCARSI, M.; CARNIELETTO, R. Semeadura de milho com dois mecanismos sulcadores sob diferentes intensidades de pastejo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.6, p.1200-1209, 2013.

MODOLO, J.A.; SILVA, S.L.; SILVEIRA, J.C.M.; MERCANTE, E. Avaliação do desempenho de duas semeadoras-adubadoras de precisão em diferentes velocidades. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 4, p. 298-306, dez. 2004.

MOLIN, J. P.; D'AGOSTINI, V. Development of a rolling punch planter for stony soil conditions. **Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America**, v. 27, n.3, p. 17-19, 1996.

MOLIN, J. P.; MENEGATTI, L. A. A.; GIMENEZ, L. M. Avaliação do desempenho de semeadoras manuais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 339-343, 2001.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

MONTGOMERY, D. C. **Introducion to statistical quality control**. 4. ed. New York: Jonh Wiley e Sons, 2000. 677 p.

MURRAY, J. R.; TULLBERG, J. N.; BASNET, B. B. **Planters and their Components**: Types, attributes, functional requirements, classification and description. Canberra, Australia: Elect Printing. 2006. 178 p.

NORTON, R. L. **Projeto de máquinas**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NORTON, R. L. **Projeto de máquinas**. Porto Alegre: Bookman, 2004.

OLIVEIRA, J. B.; ALVES, J. J.; FRANÇA, F. M. C. Práticas de manejo e conservação de solo e água no semiárido do Ceará. **Secretaria dos Recursos Hídricos**, Fortaleza, 2010.

OLIVEIRA, J. G. R.; RALISCH, R.; QUIMARAES, M. F.; BARBOSA, G. M. C.; FILHO, J. T. Erosão no plantio direto: perda de solo, água e nutrientes. **Boletim de Geografia**, v.30, n.3, p.91-98, 2012.

OLIVEIRA, J. U. C. de. **Estatística**: Uma nova abordagem. Rio de Janeiro: Ciência, 2010.

PAHL, G. et. al. PROJETO NA ENGENHARIA: **Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos métodos e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

PAULO, M. A. de. L. **Projetos e simulações de protótipos virtuais para máquinas recolhedora de caju**. 2014. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2014.

PEREIRA, J. M.; KRUGLIANSKAS, I. Gestão de inovação: a lei de inovação tecnológica como ferramenta de apoio às políticas industrial e tecnológica do brasil. **RAE-eletrônica**, v. 4, n. 2, jul. 2005.

PILLAY, A.; WANG, J. Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 9, p. 69-85, 2003.

PINTO, O. R. O. **Manejo do sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio e potássio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação**. 2008. 75 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

PLONSKI, G., A.; Bases para um movimento pela inovação tecnológica no brasil. **São Paulo em perspectiva**, v. 19, n. 1, p. 25-33, jan. 2005.

PORTELA, J. A. **Semeadoras para plantio direto**. Viçosa: Aprenda fácil, 2001.

PORTELLA, J. A. **Mecanismos dosadores de sementes e de fertilizantes em máquinas agrícolas**. (Documento, 41), Passo Fundo: EMBRAPA – CNPT, 1997. 40 p.

PORTELLA, J. A.; SATTLER, A.; FAGANELLO, A. Regularidade da distribuição de sementes e de fertilizantes em semeadoras para plantio direto de trigo e soja. **Engenharia Agrícola**, v. 17, n. 4, p. 57- 64, 1998.

PUENTE, J.; PINO, R.; PRIORE, P.; FOUENTE, D. de. L. A decision support system for applying failure mode and effects analysis. **International Journal of Quality & Reliability Management, Bradford**, v. 19, n. 2, p. 137-151, 2002.

RAMOS, A. W. **CEP Para Processos Contínuos e em Bateladas**. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**, v. 27, p. 29-48, 2003.

RESENDE, R. C. Globo Universidade **Semeadora desenvolvida na UFV é premiada internacionalmente**. Disponível em : < http://redeglobo.globo.com/globouniversidade/noticia/2014/01/semeadora-desenvolvida-na-ufv-e-premiada-internacionalmente.html>. Acesso em: 17 fev. 2016.

RESENDE. R. C. **Design of a novel punch planter capable of producing equidistant seed spacing of irregular shaped seeds**. 2002. 229 f. Tese (Doutorado) - Cranfield University, Silsoz, 2002.

RIBEIRO, F.; JUSTICE, S. E.; HOBBS, P. R.; BAKER, C. J. No-tillage drill and planter design - small-scale machines. *In*: BAKER, C. J.; SAXTON, K. E.; RITCHIE, W. R.; CHAMEN, W. C. T.; REICOSKY, D. C.; RIBEIRO, M. F. S.; JUSTICE, S. E.; HOBBS, P. R. **No-tillage seeding in conservation agriculture**. Trowbridge: Cromwell Press, 2006. p. 204-225.

RIBEIRO, J. L. D.; CATEN, S. T. **Controle estatístico do processo:** cartas de controle para variáveis, cartas de controle para atributos, função de perda quadrática, análise de sistemas de medição. Série Monográfica Qualidade, Porto Alegre: FEENG/UFRGS, 2011. 172 p.

SANTOS, M. E. R.; TOLEDO, P. T. M; LOTUFO, R. A. **Transferência de Tecnologia**: estratégias pra a estruturação e gestão de NITs. Campinas: INOVA, 2009.

SANTOS, M. S**. Avaliação do projeto São José: discurso e prática nos subprojetos de mecanização no município de Jardim- CE**. 2010. 119 f. Dissertação (Mestrado em Políticas Públicas) - Universidade Federal do Ceará, 2010.

SHANDONG PEANUT RES INST. Caibin Wang. Wei Hua. Xuewu Sun; Shichen LI; Shubo Wan. Xiancheng Tao. Hao Feng. Kuixiang Sun. Zhengfeng Wu. **Combined peanut mulching and punching hill planter**. CN201430765 (Y), 26 jun. 2009, 31 mar. 2010.

SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C.R. ; BUDYNAS, R. G. **Projeto de engenharia mecânica**. 7.ed. Editora: Bookman, 2005.

SILVA, F. M. **Influência do tipo de rodas compactadoras de semeadoras-adubadoras no condicionamento físico do solo e no desenvolvimento de plantas**.1990.145f. Dissertação (Mestrado em Engenhria Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1990.

SILVA, M. J. da. **Processo de aplicação de fluidos em profundidade com mínima mobilização do solo**. 2013. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2013.

SILVA, R, da.; CORRÊA, C.F.; , CORTEZ, J,W.; , FURLANI, C. E. A. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 292-304, abr. 2008.

SILVA, R. da. Entre o Combate à Seca e a Convivência com o Semi-Árido: políticas públicas e transição paradigmática. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 38, n. 3, set. 2007.

SILVA, R. da. **Entre o combate a seca e a convivência com o Semiárido**: transições paradigmáticas e sustentabilidade do desenvolvimento. 2006. 298 f. Tese (Doutorado em desenvolvimento sustentável) - Universidade de Brasília. Centro de Desenvolvimento Sustentável. Brasília, 2006.

SILVA, R. P. da.; VOLTARELLI, M. A., CASSIA, M. T. **Controle de qualidade em operações agrícolas mecanizadas**. Jaboticabal: SBEA, 2015. 244 p.

SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 1, p. 23-30, 2006.

SILVEIRA, G. M. **Máquinas para plantio e condução de culturas**. Viçosa: LTDA, 2001.

SIQUEIRA, R.; CASÃO JR, R.; ARAÚJO, A.G. Plantadoras, plantio direto: Ângulo ideal. **Cultivar máquinas**, v.13, p. 30-32, 2002.

SOUSA, F. A.; BRITO, M. E. B.; WANDERLEY, J. A. C.; ALVINO, F. C. G.; JÚNIOR, J. R. S. Cultivo da cultura do girassol sob técnicas de captação de água in situ no semiárido da Paraíba. **INTESA**, v. 7, n.1, p.84-90, 2013.

SOUZA, G. R. **Implantação do controle estatístico de processo em uma empresa de bebidas**. 2002. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SOUZA, M. P. de.; FORNAZIER, A.; PONCIANO, N. J. NEY, M. G. Agricultura Familiar *Versus* Agricultura Não- Familiar: uma Análise das Diferenças nos Financiamentos Concedidos no Período de 1999 a 2009. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 42, n.1, 2011.

STEFANELLO, G. **Semeadora de tração humana**: projeto informacional e conceitual. 2013. 86 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção Agrícola Familiar) - Universidade Federal de pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Pelotas, 2013.

STEFANELLO, G.; MACHADO, A. L. T.; REIS, A.V. dos.; MACHADO, R. L. T. MORAIS, C. S. de. Estrutura funcional de uma semeadora de tração humana. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n.9, p. 1583-1588, 2014.

STOETERAU, R. L. **Introdução ao projeto de Máquinas-Ferramentas modernas**. Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2004. Disponível em: < http://files.comunidades.net/mutcom/Projetos de maq.ferramentas.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2017.

SUGUISAWA, M. **Diagnóstico da condição tecnológica, sob a ótica da qualidade, das operações mecanizadas da cultura do trigo em sistema de plantio direto**. 2004.124 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

TAMAYO, J. H. C. **Mobilização do solo utilizando combinações de discos duplos e hastes parabólicas para prática do cultivo**. 2002. 79. f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

TAN, C. M. Customer-focused build-in reliability: a case study. **International Journal of Quality & Reliability Management,** v. 20, n. 3, p. 378-397, 2003.

TEIXEIRA, S. S. **Projeto conceitual de uma semeadora de milho e feijão voltada para a agricultura familiar de base ecológica**. 2008. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

TENG, S. G.; HO, S. M. Failure mode and effects analysis. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.13, n. 5, p. 8-26, 1996.

TENG, S. G.; HO, S. M.; SHUMAR, D.; LIU, P. C. Implementing FMEA in a collaborative supply chain environment. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 23, n. 2, p. 179-196, 2006.

TOLEDO, J. C.; AMARAL, D. C. **FMEA – Análise do tipo e efeito de falha**. São Carlos: GEPEQ/UFSCar, 2008. Disponível em: < http://www.gepeq.dep.ufscar.br/arquivos/FMEA-APOSTILA.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2016.

TONINI, A. C. **A contribuição do seis sigma para a melhoria dos processos de software**. 2006. 252 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

TORINO, M. C.; KLINGENSTEINER, P. Ensaio e avaliação de semeadoras adubadoras. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 13.,1993, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRRJ, 1983. p.103-116.

UNIV GANSU AGRICULTURAL. Jingming Hu. Zixin Yue. Wancang Sun; Qixian Chen; Mei Yang. Caibin Wang. Xiaohong Zhang. Ping Mu. Xuecai Li. Yan Fang. JunyAn Wu. **Rape single-row precision hill planter**. CN 202222132 (U), 16 out. 2011, 23 maio. 2012.

VALLE, A. M.; AGOSTINI, P. H. S.; CENCI, R. O. **Aplicação de cartas de controle de médias móveis Exponencialmente ponderadas (MMEP) no monitoramento de Processos**: um estudo de caso numa montadora de automóveis. 2011. 96 f. Monografia (Engenharia de Produção Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba, 2011.

VILLIBOR, G. P. **Avaliação do desempenho do protótipo de uma semeadora adubadora puncionadora para plantio direto**. 2008. 71 f. Dissertação (Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2008.

VOLTARELLI, M. A.; SILVA, R. P. da.; ZERBATO, C. Controle de qualidade em operações agrícolas mecanizadas. SILVA, R. P. da.; VOLTARELLI, M. A. **Ferramentas do controle estatístico de processo aplicadas no desempenho de tratores agrícolas**. Jaboticabal: SBEA, 2015, 244. p.

YUGI, T.; TAGAMI, K.; YANAGI, S. Calculating top event probability of a fault tree with many repeated events. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 12 n. 4, p. 364-372, 2006.

APÊNDICE A- ANÁLISE DE EFEITOS E MODOS DE FALHA (FMEA) DO PROTÓTIPO DA SEMEADORA PUNCIONADORA QUE POSSIBILITOU UMA ANÁLISE DETALHADA E PERMITIU LISTAR AS FALHAS CRÍTICAS DO PROJETO

Tabela 20- Análise de Efeitos e Modos de Falha do protótipo da semeadora (Continua)

Sub-Processo	Funções	Elementos Principais Atuantes	Requisitos exigidos	Modo Potencial Falha	Efeito da Falha Potencial	Severidade	Classe	Causa Potencial	Ocorrência	Detecção	R.P.N.	Ações recomendadas	Observações
Sistema distribuidor de sementes	Dosar a semente e não danificar a semente	Disco dosador	Ser preciso; não ocasionar danos	Irregularidade na distribuição de sementes; dano a semente	Redução da produtividade, espaçamento inadequado	7	Carac. Sig.	Mecanismo incorreto ou defeituoso	6	6	252	Realizar teste antes de ir para o campo	BP
	Deposição da semente no solo com espaçamento adequado	Sistema puncionador	Ser preciso e possuir regulagem prática	Desuniformidade no processo de distribuição	Espaçamento inadequado	8	Carac. Cri.	Acúmulo de solo; erro de projeto; falta de sincronia no tempo de abertura	9	8	576	Verificar as condições do mecanismo, regulagem,	MP
	Deposição da semente na profundidade adequada	Eixo cames	Assegurar a profundidade adequada	Profundidade incorreta	Redução da emergência de plantas e redução da produção	8	Carac. Cri.	Erro de projeto, tamanho do cames incorreto, mecanismo não funciona	8	6	384	Verificar as condições de solo, regular o tamanho do cames	MP
	Realizar abertura da cova	Mecanismo de abertura da cova	Assegurar a abertura da cova no tempo adequado	A cova não ser feita; mecanismo de abertura abrir antes do tempo	A semente não será depositada na cova; decréscimo de germinação	8	Carac. Cri.	Mola com regulagem incorreta	8	9	512	Trocar da mola, regulagem correta da mola	MP

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 20- Análise de efeitos e modos de falha do protótipo da semeadora (Continua)

Sub-Processo	Funções	Elementos Principais Atuantes	Requisitos exigidos	Modo Potencial Falha	Efeito da Falha Potencial	Severidade	Classe	Causa Potencial	Ocorrência	Detecção	R.P.N.	Ações recomendadas	Observações
Sistema distribuidor de adubo	Dosar o adubo	Rosca helicoidal	Ser preciso na dosagem do adubo	Irregularidade na quantidade de adubo depositado por área	Deficiência nutritiva ou toxidade da planta	8	Carac. Cri.	Erro de regulagem, defeito do mecanismo	6	10	480	Limpeza do mecanismo; regulagem	MP
	Deposição do adubo no solo na profundidade adequada	Disco sulcador	Assegurar a profundidade adequada	Profundidade incorreta	Ocasionar a queima da semente	8	Carac. Sig.	Regulagem	6	9	432	Regulagem com testes em campo	MP
	Eliminar agregados do adubo	Distribuidor de rosca helicoidal	Inexistência de agregados	Formação de blocos; desuniformidade; quebra do mecanismo	Não adubação; quebra do mecanismo	8	Carac. Sig.	Qualidade do adubo, umidade do adubo	8	10	640	Armazenar em local correto; verificar qualidade do adubo	AP
Aterramento da semente e adubo	Cobrir o adubo e a semente de forma adequada	Disco aterrador	Assegurar o aterramento da semente e do adubo	Ineficiência no aterramento do adubo e da semente	Dificuldade para a emergência e queda da produção	8	Carac .Cri.	Regulagem do ângulo de ataque	6	6	288	Regulagem do disco	BP
Compactação do solo sobre as sementes	Compactação realizada de forma adequada	Roda compactadora	Compactação adequada	Compactação ineficiente ou excessiva	Dificuldade para a emergência; decréscimo da produtividade	8	Crac .Cri.	Formato da roda; peso; projeto inadequado	9	9	648	Novo projeto; regular de acordo a pressão desejada	AP
Regulagens do protótipo	Regular a semeadora para obter bom desempenho	Engrenagens, cames, sulcador, discos cobridor e roda compactadora	Regulagens prática, rápida e adequada	Regulagem incorreta, perda de adubo e semente	Irregularidade de distribuição de, mal funcionamento da máquina	8	Cac. Cri.	Erro no projeto, adaptação do implemento, falta de manual	6	8	384	Regulagens adequadas, novo projeto	BP
Transporte do protótipo	Transportar o protótipo	Barra de tração	Facilitar o transporte do protótipo	Utilizar outro equipamento para transportar	Dificuldade para transportar o protótipo	6	Carac. Sig.	Novo projeto	8	1	48	Fazer barra de tração articulável	PP

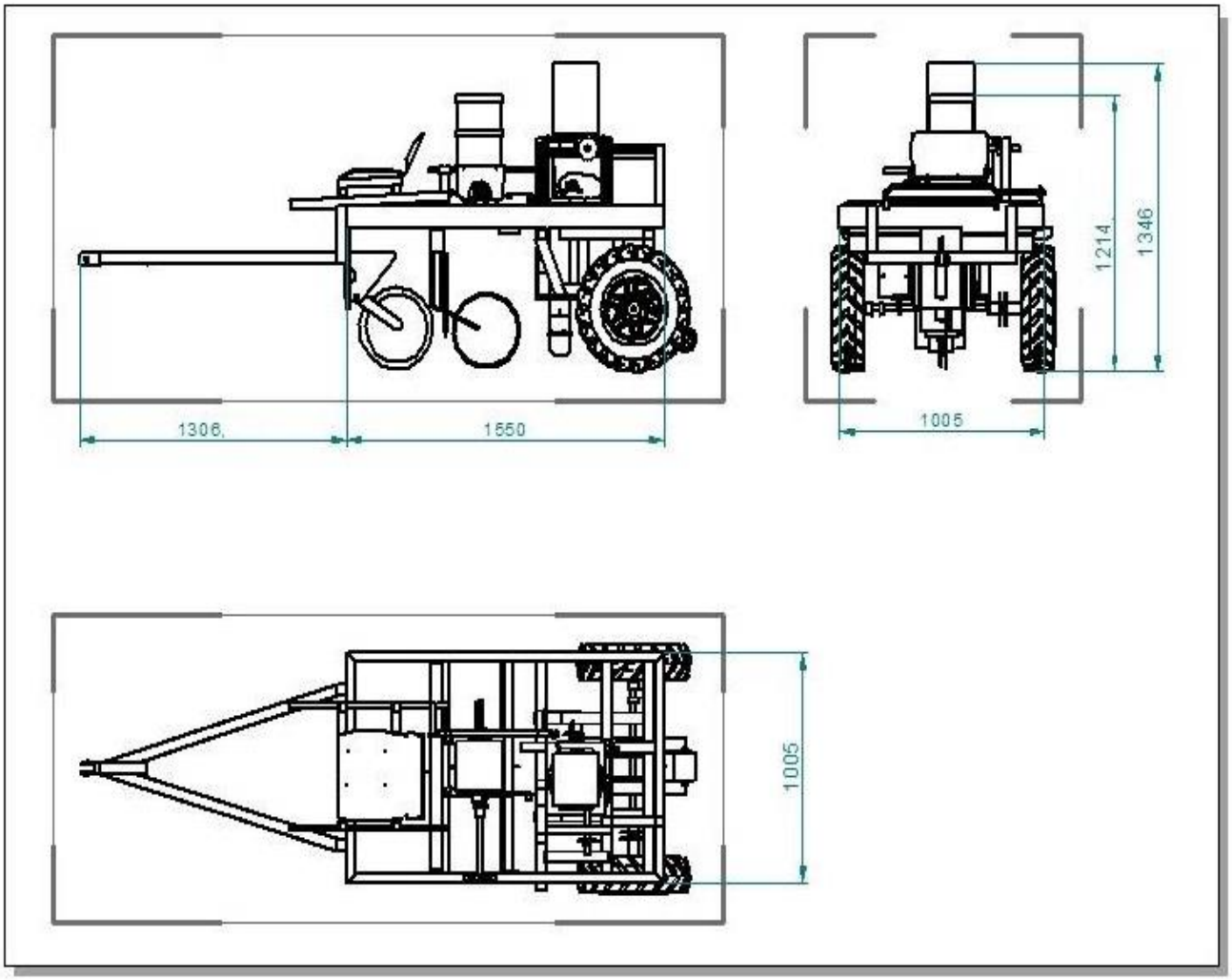
Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 20- Análise de efeitos e modos de falha do protótipo da semeadora (Conclusão)

Sub-Processo	Funções	Elementos Principais Atuantes	Requisitos exigidos	Modo Potencial Falha	Efeito da Falha Potencial	Severidade	Classe	Causa Potencial	Ocorrência	Detecção	R.P.N.	Ações recomendadas	Observações
Operação do protótipo	Operar na velocidade adequada	Operador e trator	Velocidade Constante	Perda de velocidade; decréscimo da produção	Decréscimo da capacidade de campo efetiva	7	Carac. Sig.	Operação incorreta; falta de treinamento do operador	9	9	567	Treinamento do operador; definir velocidade de operação; adicionar lastro	MP
Geração de potência rotativa pela roda motora do protótipo	Transmitir o movimento para acionar os mecanismos	Roda motora	Inexistência de patinagem	Patinagem da roda motora	Irregularidade de distribuição de adubo e semente	8	Carac. Sig.	Patinagem da roda em excesso	9	7	504	Adicionar lastro no equipamento; aumentar a superfície de contato	MP
Engrenagens, pinhão, coroa, eixo cames para transmissão de movimento	Transmitir movimento para acionar o os mecanismos de forma segura	Engrenagens, eixo cames, pinhão, coroa, correntes	Assegurar a transmissão de movimento e a segurança do operador	Baixa praticidade	Não transmitir o movimento; machucar o operador, enroscar nas partes móveis do equipamento	9	Carac. Cri.	Falta de proteção as partes móveis	7	7	441	Acrescentar proteções nas partes móveis do equipamento	MP
Abastecimento dos reservatórios	Operador e implemento	Abastecimento rápido, prático; ergonomicamente	Altura elevada	Dificuldade para abastecer o reservatório	Dificuldade para abastecer o reservatório	2	Carac. Cri.	Erro de projeto, volume a ser abastecido	2	3	12	Posicionar os reservatório na altura adequada	PP
Sincronização do sistema de dosagem de sementes com o sistema puncionador	Fazer a cova e depositar a semente no tempo certo	Dosador de sementes e sistema puncionador	Assegurar que a semente cai na cova no tempo certo	Falta de sincronia entre o dosador de semente e o puncionador	A falta de sincronização acarretará em falhas no processo de distribuição	8	Carac. Cri.	Falta de sincronia do sistema de distribuição de semente	10	9	720	Sincronizar a dosagem de sementes com o sistema puncionador	AP

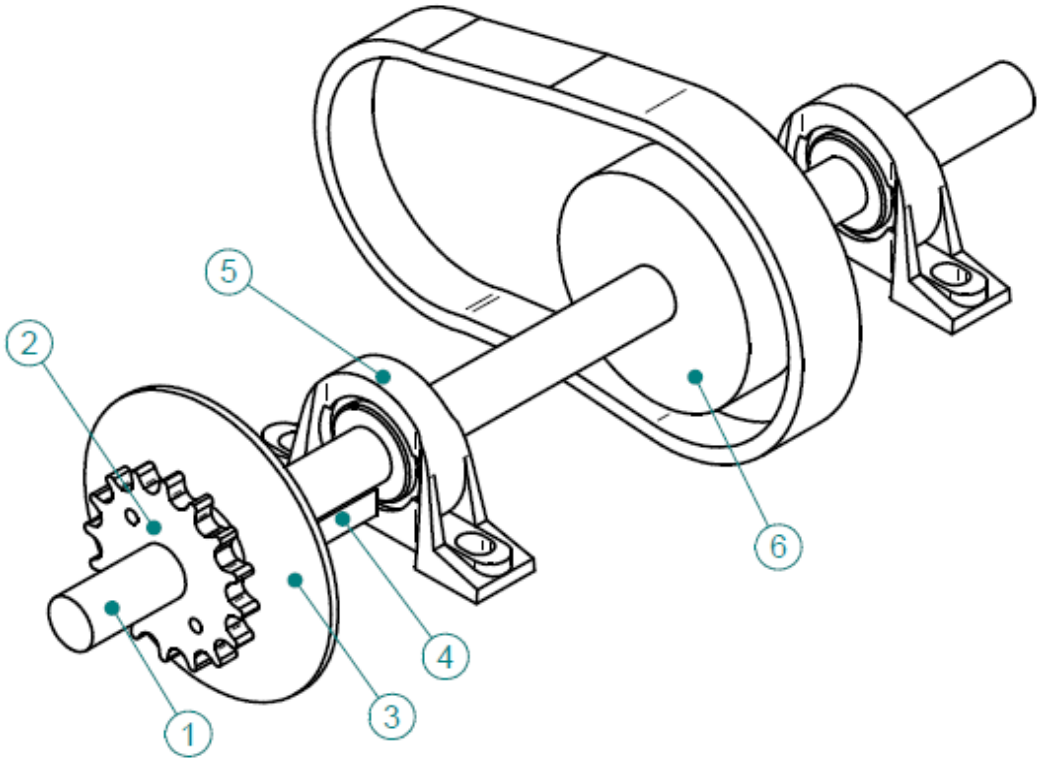
Fonte: Elaborado pelo autor.

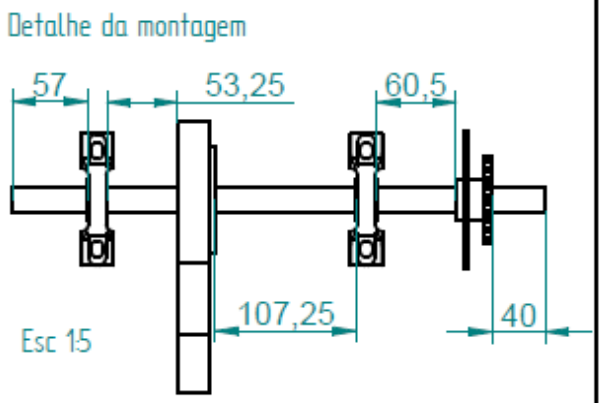
APÊNDICE B- DESENHO TÉCNICO DO PROTÓTIPO DA SEMEADORA PUNCIONADORA



Fonte: Elaborada pela autora.

APÊNDICE C- DESENHO TÉCNICO DOS COMPONENTES DO EIXO CAMES DO PROTÓTIPO

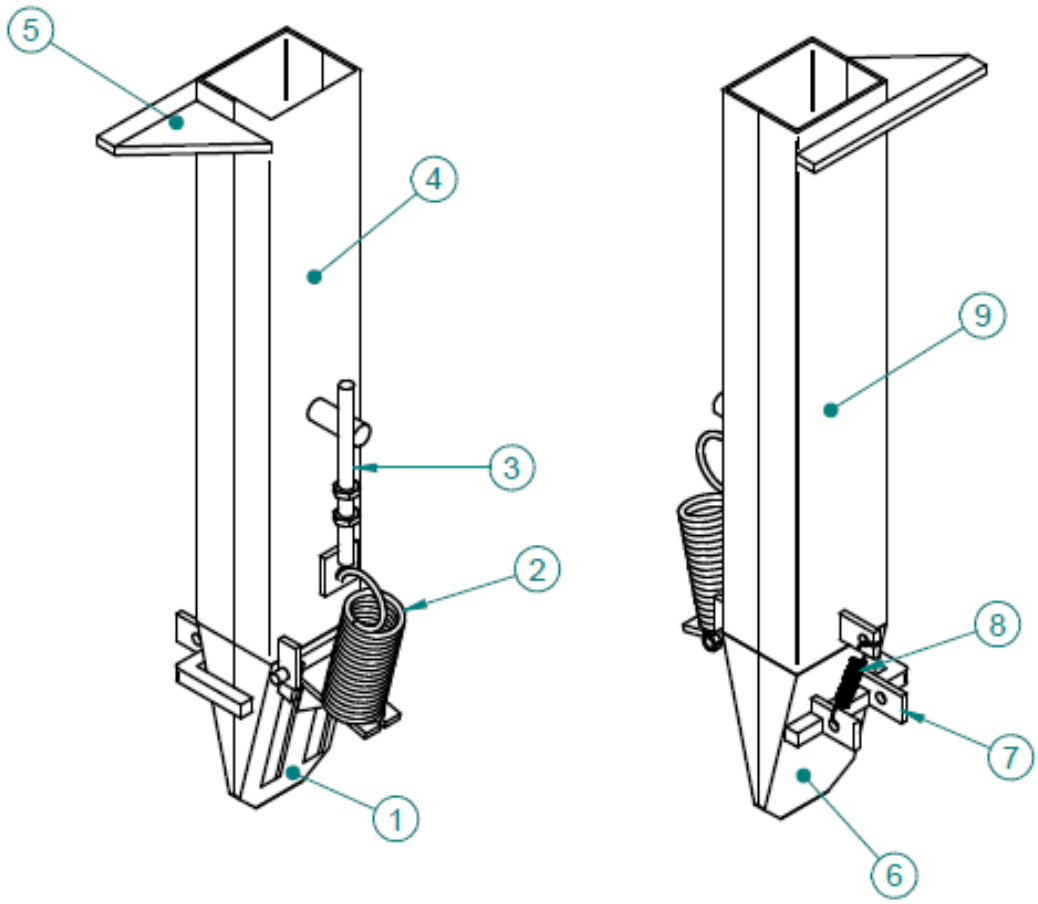




6	1	Cames	
5	2	Mancal pedestal P204	
4	1	Chaveta quadrada □10 x 50	
3	1	Disco. Ø106 mm; Espessura de 3 mm	
2	1	Coroa Ø68 e 16 dentes	
1	1	Eixo metálico. Ø19 x 405	
Item	Qtd.	Descrição	Referência

Fonte: Elaborada pela autora.

APÊNDICE D- DESENHO TÉCNICO DO SISTEMA PUNCIONADOR PARA REALIZAR A ABERTURA DECOVAS



Item	Qtd.	Descrição	Referência
9	1	Corpo direito	
8	1	Mola helicoidal de tração menor	
7	1	Suporte mola menor	
6	1	Pé direito	
5	1	Esbarro Came	
4	1	Corpo esquerdo	
3	1	Suporte mola maior	
2	1	Mola helicoidal de tração maior	
1	1	Pé esquerdo	

Fonte: Elaborada pela autora.