



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

ELIVÂNIA MARIA SOUSA NASCIMENTO

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO DE SEMEADORA-
ADUBADORA NO SISTEMA DE CAMALHÃO**

FORTALEZA

2019

ELIVÂNIA MARIA SOUSA NASCIMENTO

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO DE SEMEADORA-
ADUBADORA NO SISTEMA DE CAMALHÃO

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

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alessandro Chioderoli.

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Albiero.

FORTALEZA

2019

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)

N194d Nascimento, Elivânia Maria Sousa.
Desenvolvimento e avaliação do protótipo de semeadora-adubadora no sistema de camalhão / Elivânia Maria Sousa Nascimento. – 2019.
104 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Carlos Alessandro Chioderoli.

Coorientação: Prof. Dr. Daniel Albiero.

1. Agricultura familiar. 2. Projetos de Máquinas. 3. Semeadura. I. Título.

CDD 630

ELIVÂNIA MARIA SOUSA NASCIMENTO

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO DE SEMEADORA-
ADUBADORA NO SISTEMA DE CAMALHÃO

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

Aprovada em: _____ de _____ de 2019.

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Daniel Albiero (Coorientador)
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Carlos Alberto Viliotti
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Danilo Roberto Loureiro
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Cristiano Zerbato
Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Rouverson Pereira da Silva
Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Ao meu esposo, Washington Nascimento e
minha filha Bruna Alícia Nascimento.

AGRADECIMENTOS

A **Deus** por ser muito bondoso comigo.

A Universidade Federal do Ceará (UFC) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA) pela oportunidade de realizar o curso de Doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo, permitindo assim, dedicação integral à pesquisa de doutorado.

A Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará (ADECE) em parceria com a Fundação de Amparo a Pesquisa (ASTEF) pelo apoio financeiro.

Ao Prof. Dr. Carlos Alessandro Chioderoli, meu orientador, pela confiança, amizade, orientação e apoio na realização deste trabalho.

Aos Prof. Dr. Rodrigo Gregório da Silva e Roberto Nunes Maia do Instituto Federal de Educação, Ensino, Básico e Tecnológico (IFCE), Campus de Limoeiro do Norte por toda ajuda e disponibilidade de bolsistas e das dependências do IFCE para construção do protótipo.

Aos Profs. da área de concentração em Engenharia de Sistemas Agrícolas (ESA) Drs. Leonardo de Almeida Monteiro, Daniel Albiero e Danilo Roberto Loureiro pelos conhecimentos transmitido nas aulas.

Aos Profs. Drs. Carlos Alberto Viliotti, Cristiano Zerbato e Rouverson Pereira da Silva pela disponibilidade de participação da banca.

Aos amigos do Núcleo Integrado de Mecanização e Projetos Agrícolas (NIMPA) Roberto Maia, Jean Oliveira, Marcelo Queiroz, Evonaldo Lopes, Natália de Oliveira, Paulo Santos, Valberto Feitosa, Vagner Monteiro e Neisvaldo.

Aos amigos do Laboratório de Investigação em Máquinas e Acidentes Agrícolas (LIMA) Cássia Peres, Márcio Porfírio, Wilson Sousa, Luiz Gonzaga, Walisson Silveira, Mara Alice Santos, Diniz Vieira, Isabela Lima, Karla Araújo e Leonardo Brito.

Ao LIMPA, grupo sólido, pelos momentos de convivência e cumplicidade.

Aos operadores de máquinas De Leon Santiago, Sandoval Rodrigues, aos secretários da Graduação Regiane Lima, Lucas Queiroz, Maurício Rodrigues e da Pós-Graduação Manoel Jacó pela atenção e colaboração quando solicitados.

Enfim, a todos que contribuíram diretamente e/ou indiretamente para a conclusão deste trabalho, meu muito obrigado.

"O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001."

RESUMO

A necessidade do desenvolvimento de máquinas específicas que atendam ao pequeno produtor tem sido a forma de melhorar o nível tecnológico da mecanização em pequenas áreas, principalmente, no semiárido nordestino, onde a maioria desses produtores ainda utiliza o uso da tração animal para realização das operações agrícolas. Nesse enfoque, objetivou-se com este trabalho desenvolver e avaliar o protótipo de semeadora-adubadora no sistema de camalhão. A metodologia do projeto para o desenvolvimento do protótipo foi constituída de quatro fases: projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado. Para analisar as necessidades do desenvolvimento do novo produto foi utilizado como base o grau tecnológico dos agricultores de base familiar. Após a construção do protótipo, o mesmo foi ensaiado em campo para avaliar a qualidade do processo de formação do camalhão e qualidade do processo de semeadura por meio da estatística descritiva e controle estatístico do processo, com a finalidade de verificar as conformidades técnicas e propor melhorias que venha a atender as necessidades do pequeno produtor. A distribuição longitudinal de sementes para espaçamentos normais estiveram acima de 70% em todos os tratamentos. O processo para a qualidade do espaçamento entre sementes e profundidade de sementes manteve-se estáveis, desta forma, pode-se considerar que apenas causas naturais atuaram no decorrer do processo. O protótipo obteve resultado satisfatório no que se refere à distribuição longitudinal de sementes, porém é necessário realizar melhorias, para que o mesmo atinja a profundidade desejada para a formação do camalhão e abertura do sulco. A utilização da ferramenta FMEA foi eficiente para a identificação de indicadores críticos de qualidade e as respectivas causas.

Palavras-chave: Agricultura familiar. Projetos de máquinas. Semeadura.

ABSTRACT

The need to create specific machines that serve the small producer has been the way to improve the technological level of mechanization in small areas, mainly in the Brazil, where most of these producers still use the use of animal traction for agricultural operations. In this approach, the objective of this work was to develop and evaluate a prototype of a planter in ridge system. The project methodology for the development of the project consisted of four phases: informational, conceptual, preliminary and detailed design. To analyze the development needs of the product new was used as the basis the technological level family farm in the northeastern semiarid region. After the construction of the planter prototype, it was field tested to evaluate the process of formation of the ridge and seeding process, by means of the statistical control of the process, in order to verify the technical conformities and propose improvements that will meet the needs of the small producer. The study of quality through the statistic descriptive and process statistical control was stable, but the process capability was decentralized, requiring adjustments to suit the quality standards. The longitudinal distribution of seeds for normal spacing is above 70% in all parameters. The process for the quality of seed spacing and seed depth kept stable can thus be considered as only natural causes that occur in the process. The prototype used as a satisfactory result does not refer to the longitudinal distribution of seeds, but it is necessary to make improvements so that it reaches the depth necessary for the formation of the ridges and the opening of the furrow. The use of the FMEA method was efficient to identify critical quality indicators and how to cause it.

Keywords: Farming agricultural. Machinery project. Seeding.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sulcador para micro camalhões.....	26
Figura 2 – Sulcador semeador adubador.....	26
Figura 3 – Dispositivo sulcador.....	27
Figura 4 – Implemento agrícola para conformação de camalhão.....	27
Figura 5 – Implemento para preparo múltiplos de canteiros.....	28
Figura 6 – Implemento agrícola para construção de sulco.....	28
Figura 7 – Plantadora adubadora camalhoeira.....	29
Figura 8 – Semeadora adubadora camalhoeira.....	39
Figura 9 – Ciclo de vida do produto.....	42
Figura 10 – Classificação dos requisitos de projeto.....	43
Figura 11 – Diagrama de Mudge.....	44
Figura 12 – Matriz da casa de qualidade.....	44
Figura 13 – Curvas características de operação.....	47
Figura 14 – Croqui da área experimental.....	47
Figura 15 – Área do canal	49
Figura 16 – Identificação das necessidades dos clientes ao longo do ciclo de vida.....	51
Figura 17 – Lista de verificação dos requisitos gerais do projeto.....	53
Figura 18 – Diagrama de Mudge empregado na valoração.....	54
Figura 19 – Matriz casa da qualidade.....	55
Figura 20 – Esquema montado para verificação do escopo do problema.....	56
Figura 21 – Matriz morfológica da semeadora-adubadora para o sistema de camalhão..	57
Figura 22 – Abridores de sulco.....	58
Figura 23 – Linhas de semeadura com regulagem de profundidade.....	59
Figura 24 – Escala de tensão em 100% do limite do material.....	60

Figura 25 – Escala de tensão em 50% do limite do material.....	60
Figura 26 – Escala de tensão em 20% do limite do material.....	60
Figura 27 – Escala de tensão em 0,5% (A) e 0,1% do limite do material (B).....	61
Figura 28 – Construção e montagem do protótipo.....	63
Figura 29 – Construção e montagem dos discos abridores.....	64
Figura 30 – Construção e montagem do amortecedor.....	65
Figura 31 – Sistema de distribuição de adubo e semente.....	65
Figura 32 – Sistema de transmissão.....	66
Figura 33 – Protótipo finalizado.....	66
Figura 34 – Momento da avaliação do protótipo.....	67
Figura 35 – Carta de controle da média móvel exponencial ponderada para o espaçamento entre sementes nos tratamentos avaliados. (A) Semeadura no sulco, velocidade de 3,05 km h ⁻¹ , (B) Semeadura no sulco, velocidade de 4,24 km h ⁻¹ , (C) Semeadura no camalhão, velocidade de 3,05 km h ⁻¹ e (D) Semeadura no camalhão, velocidade de 4,24 km h ⁻¹	70
Figura 36 – Carta de controle da média móvel exponencial ponderada para a profundidade de semente nos tratamentos avaliados: (A) Semeadura no sulco, velocidade de 3,05 km h ⁻¹ , (B) Semeadura no sulco, velocidade de 4,24 km h ⁻¹ , (C) Semeadura no camalhão, velocidade de 3,05 km h ⁻¹ e (D) Semeadura no camalhão, velocidade de 4,24 km h ⁻¹	72
Figura 37 – Carta de controle de média móvel exponencial ponderada para a profundidade de adubo nos tratamentos avaliados: S1V1 - Semeadura no sulco, velocidade de 3,05 km h ⁻¹ , S1V2 - Semeadura no sulco, velocidade de 4,24 km h ⁻¹ , S2V1 - Semeadura no camalhão, velocidade de 3,05 km h ⁻¹ e S2V2 - Semeadura no camalhão, velocidade de 4,24 km h ⁻¹	74
Figura 38 – Carta de valores individuais e amplitude móvel para a profundidade do sulco nos tratamentos avaliados: S1V1 – semeadura no sulco, velocidade de 3,05 km h ⁻¹ (A), S1V2 - Semeadura no sulco, velocidade de 4,24 km h ⁻¹ (B), S2V1 - Semeadura no camalhão, velocidade de 3,05 km h ⁻¹ (C) e	76

S2V2 - Semeadura no camalhão, velocidade de 4,24 km h ⁻¹ (D).....	
Figura 39 – Carta de valores individuais e amplitude móvel para altura do camalhão nos tratamentos avaliados: S1V1 – semeadura no sulco, velocidade de 3,05 km h ⁻¹ (A), S1V2 - Semeadura no sulco, velocidade de 4,24 km h ⁻¹ (B), S2V1 - Semeadura no camalhão, velocidade de 3,05 km h ⁻¹ (C) e S2V2 - Semeadura no camalhão, velocidade de 4,24 km h ⁻¹ (D).....	78
Figura 40 – Carta de valores individuais e amplitude móvel para a área do sulco nos tratamentos avaliados: S1V1 – semeadura no sulco, velocidade de 3,05 km h ⁻¹ (A), S1V2 - Semeadura no sulco, velocidade de 4,24 km h ⁻¹ (B), S2V1 - Semeadura no camalhão, velocidade de 3,05 km h ⁻¹ (C) e S2V2 - Semeadura no camalhão, velocidade de 4,24 km h ⁻¹ (D).....	80
Figura 41 – Indicadores críticos de qualidade do produto.....	82
Figura 42 – Discos abridores utilizados (A) e discos abridores propostos (B e C).....	83

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 – Equipe de projeto.....	41
Tabela 2 – Metodologia recomendada por Kurachi <i>et al.</i> (1989).....	48
Tabela 3 – Formulário FMEA.....	49
Tabela 4 – Hierarquização dos requisitos dos clientes	54
Tabela 5 – Especificação do projeto sem o critério do telhado.....	56
Tabela 6 – Regulagem de semente e adubo.....	61
Tabela 7 – Detalhamento dos materiais e serviços.....	62
Tabela 8 – Processos de fabricação e equipamentos utilizados.....	63
Tabela 9 – Estatística descritiva para a distribuição longitudinal de sementes.....	68
Tabela 10 – Estatística descritiva para o espaçamento entre sementes.....	69
Tabela 11 – Estatística descritiva para a profundidade de semente nos tratamentos avaliados.....	71
Tabela 12 – Estatística descritiva para a profundidade de adubo nos tratamentos avaliados.....	73
Tabela 13 – Estatística descritiva para a profundidade do sulco nos tratamentos avaliados.....	75
Tabela 14 – Estatística descritiva para a altura do camalhão nos tratamentos avaliados...	77
Tabela 15 – Estatística descritiva para a área do sulco nos tratamentos avaliados.....	80

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	16
3	REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1	Agricultura familiar no Brasil e no Nordeste	17
3.2	Semiárido Brasileiro	19
3.3	Semeadoras-adubadoras	21
3.4	Preparo do solo	22
3.5	Sistema de camalhão	24
3.6	Máquinas agrícolas para formação de camalhão	25
3.7	Metodologias de Projeto de Máquinas Agrícolas	30
3.8	Inovação tecnológica em máquinas agrícolas	33
3.9	Desempenho operacional em máquinas agrícolas	34
3.10	Pesquisas realizadas com semeadoras-adubadoras no sistema de camalhão	35
3.11	Controle Estatístico do Processo	37
3.12	Análise de modo e efeito de falha (FMEA)	38
3.13	Elementos finitos de máquinas	39
4	MATERIAL E MÉTODOS	41
4.1	Desenvolvimento do Projeto	41
<i>4.1.1</i>	<i>Projeto informacional</i>	41
<i>4.1.2</i>	<i>Projeto conceitual</i>	45
<i>4.1.3</i>	<i>Projeto preliminar</i>	45
<i>4.1.4</i>	<i>Projeto detalhado</i>	45
4.2	Avaliação do protótipo	46
<i>4.2.1</i>	<i>Planejamento estatístico</i>	46
<i>4.2.2</i>	<i>Delineamento experimental e análise estatística</i>	47
<i>4.2.3</i>	<i>Qualidade do processo de semeadura</i>	48
<i>4.2.4</i>	<i>Qualidade do processo de formação do camalhão e abertura do sulco</i>	48
4.3	Análise de Efeitos e Modos de Falha (FMEA)	49
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
5.1	Projeto informacional	51

5.2	Projeto conceitual	56
5.3	Projeto preliminar	58
5.4	Projeto detalhado	59
5.4.1	<i>Tensão de Von Mises</i>	59
5.4.2	<i>Dimensionamento do sistema de transmissão</i>	61
5.4.3	<i>Construção do protótipo</i>	62
5.5	Avaliação do protótipo	67
5.5.1	Qualidade do processo de semeadura	67
5.5.1.1	<i>Distribuição longitudinal de sementes</i>	67
5.5.1.2	<i>Espaçamentos entre sementes</i>	68
5.5.1.3	<i>Profundidade de semente</i>	71
5.5.1.4	<i>Profundidade de adubo</i>	73
5.5.2	Qualidade do processo de abertura do sulco e formação do camalhão	75
5.5.2.1	<i>Profundidade do sulco</i>	75
5.5.2.2	<i>Altura do camalhão</i>	77
5.5.2.3	<i>Área do sulco</i>	79
5.6	Análise de Efeito e Modo de Falhas - FMEA	82
6	CONCLUSÃO	85
	REFERÊNCIAS	86
	APÊNDICE A – ESPECIFICAÇÃO DO PROJETO COM O CRITÉRIO DO TELHADO	99
	APÊNDICE B - ANÁLISE DE EFEITOS E MODOS DE FALHAS (FMEA) DO PROTÓTIPO DA SEMEADORA-ADUBADORA	100
	APÊNDICE C - ESPECIFICAÇÃO DO CHASSI	102
	APÊNDICE D - ESPECIFICAÇÃO DOS DISCOS ABRIDORES DE SULCO	103
	APÊNDICE E - ESPECIFICAÇÃO DOS REGULADORES DE LINHA ...	104
	APÊNDICE F - ESPECIFICAÇÃO GERAL DO PROTÓTIPO	105
	ANEXO A – CRITÉRIOS DE SEVERIDADE, OCORRÊNCIA E DETECÇÃO	106

1 INTRODUÇÃO

A agricultura praticada pela maioria dos pequenos agricultores da região semiárida nordestina tem como característica marcante baixo nível tecnológico, onde ainda predominam-se as práticas agrícolas tradicionais de preparo de solo. No semiárido, o preparo do solo é fator determinante para que o agricultor tenha bons resultados com o plantio de grãos, uma vez que, esse plantio é realizado no período das chuvas.

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 os mais utilizados durante as operações agrícolas. A semeadura pode ser realizada no plano, no sulco, em camalhões ou em covas, sendo que, a implantação das sementes está associada ao tipo de cultura, as condições de umidade.

Diversos fatores podem contribuir para uma semeadura inadequada, a condição do solo no momento da semeadura, velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora e fatores ligados a máquina. Quando se trata de máquinas para construção do camalhão, citam-se profundidade do sulco, altura do camalhão e a área do sulco.

A formação de camalhões pode ter objetivos diferentes dependendo da região ou local. Em regiões com escassez hídricas, como o semiárido, sua construção pode ser efetuada para captação de água e conservação do solo. Já em solos com problemas de drenagem e áreas de várzeas para escoamento da água e aeração do solo.

Neste enfoque, devido à necessidade do desenvolvimento tecnológico de novas soluções em máquinas agrícolas para o semiárido, a inovação tecnológica é a principal linha a ser custeada. Considerando as especificidades da região é necessário o esforço para construir ou adaptar as máquinas adequando a utilização dos equipamentos atualmente em uso, nas pequenas propriedades em busca de explorar a máxima eficiência dos solos.

Como existem poucos estudos voltados para a mecanização agrícola no semiárido é necessário à inclusão de tecnologias inovadoras que contribua com a elevação da qualidade do trabalho agrícola desenvolvidas pelo pequeno produtor. A necessidade de criação e/ou adaptação de máquinas específicas que atendam as necessidades dessa categoria tem sido a forma de contribuir para o aumento da produtividade das principais culturas,

Dessa forma, pensando na problemática vivenciada pela agricultura familiar e nas condições climáticas do semiárido, verificou-se a importância que o protótipo de semeadora-adubadora no sistema de camalhão possui, em virtude da demanda de trabalho exigida pelas semeadoras manuais no plantio das principais culturas.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral foi o desenvolvimento, construção e avaliação do protótipo de semeadora-adubadora no sistema de camalhão de modo a atender as necessidades da agricultura familiar.

Como objetivos específicos, tem-se:

- ✓ Elaborar o projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado do protótipo da semeadora-adubadora;
- ✓ Avaliar o processo de semeadura e de abertura de sulco e formação do camalhão por meio do controle estatístico do processo (CEP); e,
- ✓ Avaliar por meio da Análise de Modo e Efeito de Falhas (FMEA) do protótipo desenvolvido.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Agricultura familiar no Brasil e no Nordeste

A Agricultura Familiar é a unidade produtiva onde o trabalho é totalmente executado por membros da família, proprietária da terra e dos recursos para o trabalho, cuja renda seja, no mínimo, 80% oriunda da atividade agropecuária (MDA, 2010). Do ponto de vista legal (Lei n. 11.326 de 2006), agricultor familiar é aquele que pratica atividades no meio rural e que cumpre os seguintes quesitos:

I - não deter área maior do que quatro módulos fiscais; II - utilizar predominantemente mão de obra da própria família nas atividades do seu estabelecimento ou empreendimento; III - a renda familiar ser predominantemente originada de atividades vinculadas ao próprio estabelecimento e IV - o estabelecimento ser dirigido pelo agricultor (a) com sua família (art.3).

No Brasil, os estabelecimentos rurais com área menor que 10 hectares constituem 50,3% (1,8 milhões de unidades) dos estabelecimentos e ocupam 2,4% da área total (6,3 milhões de hectares) (IBGE, 2006). Entre os principais produtos produzidos nesses estabelecimentos, destaca-se o milho, cultivado em praticamente todas as propriedades, seguido pelo feijão, presente em grande número de estabelecimentos.

A Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO) e o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), relatam que a agricultura familiar tem como base: a gerência do trabalho no estabelecimento é do produtor direto, a maior parte do trabalho é realizada pela própria família, ocorrendo à contratação de trabalhadores apenas temporariamente e, a principal fonte de renda, cerca de 80%, deve ser originada da agricultura.

Na região Nordeste, a agricultura familiar abrange quase metade dos estabelecimentos rurais no Brasil, correspondendo a 88,3% dos agricultores da região, os quais ocupam uma área de 43,5% da área total explorada pela agropecuária. Além disso, esses estabelecimentos detêm 82,9% da ocupação de mão de obra no campo e respondem por 43% do valor bruto da produção agropecuária nordestina (IBGE, 2010). É a região que apresenta a menor área média por estabelecimento na agricultura familiar (<de 20 ha).

A agricultura praticada na região nordestina é muito diversificada seja com relação às culturas plantadas, seja com relação ao grau tecnológico empregado na produção

agrícola (IPEA, 2015). O milho e o feijão são culturas bem adaptadas às regiões tropicais e subtropicais com alta disponibilidade de água, nutrientes e radiação solar, onde produzem grande quantidade de biomassa (SOUZA *et al.*, 2011), no entanto, no nordeste brasileiro essas culturas são cultivadas, principalmente, na época chuvosa.

Diversas pesquisas e levantamentos têm sido realizados para identificar as características e necessidades dos agricultores de base familiar no Brasil e no Nordeste (CAVALCANTI; RESENDE, 2001; TEIXEIRA *et al.*, 2009; MORAIS *et al.*, 2009; ETENE, 2010; MDA, 2010; IPEA, 2015; VASCONCELOS; SILVA; MELO, 2013; GUANZIROLI; DI SABBATO; VIDAL, 2014). O que tem sido observado é que as características tecnológicas e associativas são muito distintas entre os agricultores familiares, com uma acentuada diferença entre os tipos e as regiões do país. As regiões Norte e Nordeste são as mais desfavorecidas em todos os aspectos de tecnologia e associativismo (CORCETTI; LORETO, 2017).

Do ponto de vista tecnológico, no nordeste brasileiro é altíssimo o percentual de famílias que utilizam em seus estabelecimentos o uso de tração manual, isto é, foice e enxada. Este percentual, que era de 61,2% em 1996, caiu para 43,8% em 2006, mas ainda está longe do percentual nacional e muito aquém do que seria de esperar de uma agricultura mais desenvolvida e moderna (GUANZIROLI; BUAINAIN; DI SABBATO, 2012). Albiero *et al.* (2019) avaliaram o nível tecnológico dos agricultores cearenses e observaram que 77,5% utilizam máquinas simples, 12,5% utilizam máquinas simples no preparo do solo, 10% utilizam máquinas simples para semeadura e utilizam máquinas simples para o cultivo.

Apenas 20% dos agricultores familiares do Nordeste usam trator como fonte de potência, na maioria dos casos, recorrem a aluguel da máquina para realização de determinadas operações agrícolas ou a cooperativas existentes na região para atendê-los (IBGE, 2006). Além do trator, outros implementos são utilizados, entre eles, tem-se o uso de arados, grades e cultivadores para o preparo do solo, e o uso de semeadoras manuais, conhecidas como matracas para a semeadura do milho e feijão, suas principais culturas (IBGE, 2006; SIMÕES; SCHMITZ, 2000).

A baixa utilização de semeadoras mecânicas e o uso elevado de semeadora manual podem está associado a falta deste tipo de equipamento adaptado às pequenas propriedades e ao elevado valor das semeadoras de tração mecânica, contribuindo para elevação nos custos de produção (STEFANELLO, 2013; VASCONCELOS, 2013; MELO, 2013). No semiárido nordestino o plantio é predominantemente convencional, em muitas

regiões, esse plantio está associado à formação de camalhão para captação de água da chuva ou sistema de irrigação.

A agricultura familiar por meio do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) tem ampliado a mecanização no campo, por meio da compra de equipamentos destinados a agricultura familiar, no entanto, há uma carência de máquinas de baixa potência apropriados às condições desses agricultores (MACHADO; REIS; MACHADO, 2010).

Segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), o setor em questão registrou, apenas no último ano, um aumento em torno de 45% nas vendas de tratores, da linha destinada à agricultura familiar com tratores de 15 cv até 75cv. Já os implementos disponíveis para ser utilizados por esses tratores provêm de fabricantes de pequeno porte, o que gera insegurança sobre vários aspectos.

O emprego de máquinas agrícolas inadequadas pode trazer prejuízos nos campos técnico, econômico e ambiental (BALSAN, 2006). Dentre os principais problemas destacam-se os relacionados aos custos, operação, manutenção, eficiência, durabilidade, além de compactação e erosão do solo e contaminação química do solo e da água (MACHADO; REIS; MACHADO, 2010).

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, conseqüentemente, ocorreria o aumento da produção. No entanto, a agricultura familiar necessita de apoio na apropriação de tecnologia e informações, o que pode ser alcançado com investigação de suas principais necessidades e desenvolvimento de projetos de máquinas voltados para atendê-las (STEFANELLO, 2013).

3.2 Semiárido Brasileiro

As regiões semiáridas do globo terrestre se caracterizam pelo déficit hídrico e por um elevado saldo positivo da energia solar, contribuindo para altas taxas evaporativas dos corpos hídricos e superfícies úmidas (ANDRADE, 2017). O semiárido brasileiro abrange o norte do Estado de Minas Gerais, os sertões da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí (SANTOS; SANTOS; SANTOS, 2014).

O semiárido brasileiro possui sua capacidade produtiva limitada, devido as suas características e qualidades intrínsecas em relação aos fatores naturais. Segundo Brito *et al.* (2012), em regiões semiáridas, a água é o principal fator limitante para o consumo humano,

animal e produção de alimentos, entretanto, a irregularidade pluvial torna a agricultura uma atividade de alto risco.

A maior parte da água oriunda da chuva não é aproveitada em todo o seu potencial, e se perdem pelo escoamento superficial e pela enxurrada, causando problemas para as terras cultiváveis, com a perda de nutrientes do solo, limitando a agricultura de sequeiro (CAVALCANTI; RESENDE, 2001).

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 o MDA (2010) o uso do trator deve ser incentivado com cautela, já que muitas áreas do semiárido nordestino não são passíveis de mecanização, pois os solos rasos apresentam alto risco de erosão, devendo ser revolvido o mínimo possível.

O Nordeste abrange 18,27% do território brasileiro, possuindo uma área de 1.561.177,8 km²; destes 962.857,3 km² estão inseridos no denominado Polígono das Secas, delimitado em 1936 e revisado em 1951, dos quais 841.260,9 km² abrangiam o semiárido nordestino (ARAÚJO, 2011). Na região semiárida nordestina, a produtividade agrícola, em grande parte de subsistência, é afetada por diversos fatores entre eles, a maneira rudimentar de cultivo associada à falta de tecnologia adequada e o aumento das áreas de cultivo para regiões sem aptidão agrícola (TEIXEIRA, 2016).

O Ceará ocupa o quarto lugar no ranking dos estados brasileiros com o maior número de estabelecimentos familiares com atividades diversificadas, com 341.510 propriedades desse tipo, o que corresponde a 90% das unidades rurais do estado (IBGE, 2006). Segundo o MDA (2010), as principais culturas cultivadas pelos agricultores familiares cearenses são o feijão, o milho grão, arroz de casca, mandioca e criação de suínos, respectivamente, 91, 89, 88, 82 e 81%. A agricultura praticada pela maioria dos pequenos agricultores dessa região apresenta baixo nível de adoção, onde as práticas agrícolas tradicionais são as predominantes nos sistemas de cultivos (MAIA; MIYAMOTO; SILVEIRA, 2016; CAVALCANTI; RESENDE, 2001).

Os pequenos agricultores dessa região, embora, em alguns casos, tenham conhecimentos das práticas agrícolas inovadoras que foram desenvolvidas ou adaptadas para região, poucos utilizam as inovações tecnológicas que proporcionariam um aproveitamento mais racional dos recursos disponíveis em suas propriedades (SIMÕES; SCHITZ, 2000; PATERNIANI, 2001; BALSANI, 2001).

Em suma, diante das pesquisas encontradas, percebe-se a grande importância da adoção da tecnologia por meio da criação ou adaptação de máquinas e equipamentos nas atividades agrícolas do semiárido como forma de aumentar a produtividade nessa região.

3.3 Semeadoras-adubadoras

O aumento da produtividade das culturas é uma meta buscada por produtores e pesquisadores (TOURINO *et al.*, 2009). O processo de semeadura é uma das principais operações agrícolas mecanizadas no contexto de modernização da agricultura (PORTELA, 1999) 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).

Pela definição, semeadora é a máquina capaz de dosar e colocar no solo o órgão de propagação sexuada denominada semente (BALASTREIRE, 1990). Quando, além de dosar a semente, a máquina também é capaz de dosar e colocar no solo o fertilizante será denominado semeadora-adubadora (REIS; FORCELLINI, 2002). As principais funções desse equipamento são dosar as sementes, abrir o sulco de semeadura, depositar as sementes no fundo do sulco e cobri-las com uma camada de terra (REIS; MACHADO; BISOGNIN, 2007).

De acordo Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994), as máquinas que realizam a semeadura são classificadas como de precisão e de fluxo contínuo. As semeadoras de precisão distribuem as sementes no leito de semeadura, agrupadas uma a uma, em linhas e em intervalos regulares. Já as semeadoras de fluxo contínuo distribuem as sementes em linha de acordo com a recomendação em kg ha^{-1} .

As semeadoras-adubadoras exercem papel fundamental na agricultura, com elas são criadas as condições para que a semeadura seja feita de maneira mais adequada, já que o sucesso da cultura está relacionado com sua correta implantação (SIQUEIRA *et al.*, 2012). É importante para adequada deposição da semente ao solo de acordo com a profundidade requerida para cada espécie, uma correta regulagem, pois quando realizada de forma errada pode interferir diretamente no estande inicial da cultura resultando em redução de produtividade (SEKI; BENEZ; SILVA, 2012).

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 serem á prejudicada (SILVEIRA, 2001). Mantovani, Cruz e Oliveira (2015)

avaliaram o desempenho de uma semeadora-adubadora para o estabelecimento da cultura do milho com alta densidade de semeadura e observaram que a velocidade de 9 km h^{-1} aumentou a porcentagem de duplos e falhas, independentemente do espaçamento e do tipo de dosador.

O processo de semeadura busca a adequada distribuição longitudinal das sementes no solo, aliada à correta profundidade de deposição das mesmas para se obter estande correto e uniforme (ALMEIDA *et al.*, 2010). É uma das etapas que exigem perfeição em sua execução, pois pode comprometer a rentabilidade da atividade agrícola (ROS *et al.*, 2011).

Para Melo *et al.* (2013) existem poucos estudos nos solos cearenses quanto à avaliação da distribuição de sementes por semeadoras-adubadoras. Segundo Mercante *et al.* (2005), a correta dosagem de semente e fertilizante pela semeadora é uma importante etapa no processo de semeadura em qualquer cultura, enquanto o processo eficiente de dosagem de sementes consiste na sua distribuição uniforme, de acordo com os padrões recomendados para a cultura.

Para Kurachi *et al.* (1989), Albiero *et al.* (2012) e Bertelli *et al.* (2016) quando trata-se da distribuição longitudinal de sementes é 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 estande adequado de plantas, conseqüentemente, melhoria da produtividade das culturas.

3.4 Preparo do solo

O preparo do solo é um processo mecânico no qual se procura alterar o estado físico, químico e biológico do solo, de forma a proporcionar melhores condições para o máximo desenvolvimento das culturas (FURLANI *et al.*, 2013). Além de visar o rápido crescimento do sistema radicular, o sistema de preparo do solo facilita a absorção de água e de nutrientes, elimina plantas indesejáveis evitando a competição (GATTO *et al.*, 2003).

Os sistemas de preparo do solo devem propiciar boas condições físicas do solo, para que as plantas possam se desenvolver adequadamente (CORTEZ *et al.*, 2011). Existem diversos sistemas de preparo do solo, os quais são enquadrados em categorias como: convencional, cultivo mínimo ou preparo conservacionista e a semeadura direta, em que o processo de preparo do solo é realizado somente no leito de semeadura (ASAE, 1996).

No sistema convencional, o preparo do solo consiste na mobilização dos resíduos superficiais, incorporando-os ao solo, provocando excessiva pulverização na camada superficial. O uso indiscriminado deste sistema de preparo de solo tem causado graves problemas (REICHERT *et al.*, 2009), entre eles, o aumento da densidade do solo (SILVA *et al.*, 2011).

No caso do preparo de solo pelo sistema convencional, implementos comuns ao preparo do solo dos mais variados cultivos são necessários, tais como arado ou grade aradora, grade niveladora, sulcador ou encanteirador e possivelmente subsolador, devendo-se certamente considerar o uso de trator adequado aos implementos que serão utilizados, especialmente com relação à necessidade de potência exigida por estes.

O preparo periódico é realizado, basicamente, com o uso de arado e grade, cujo arado efetua o corte, elevação e inversão da leiva, e a grade complementa esse trabalho, diminuindo o tamanho dos torrões na superfície e nivelando o terreno, sem rotação periódica com outros tipos de equipamentos, interferindo no meio ambiente e fatores socioeconômicos, tem levado muitos agricultores a procurarem alternativas sustentáveis e com menores impactos para o solo (SILVA *et al.*, 2011).

No semiárido o preparo do solo é fator determinante para que o agricultor tenha bons resultados com o plantio de grãos, uma vez que, esse plantio é realizado no período das chuvas, assim se o terreno não for arado ou gradeado, durante o período de chuvas podem ocorrer processos erosivos e perdas de solo e de água. Práticas tradicionais de preparo de solo, como a semeadura em covas, mostram-se pouco eficientes para conter a degradação física área (RIBEIRO NETO; BIROLO, 2013).

O sistema conservacionista tem como princípio o mínimo ou o não revolvimento do solo, utilizam-se máquinas ou implementos que quebram superficialmente a estrutura do solo, sem revolvê-lo intensamente, procurando não destruir os agregados e deixando maior quantidade de resíduos na superfície da área (ORTIZ–CAÑAVATE; HERNANZ, 1989).

O sistema de cultivo mínimo é fundamentado no uso de escarificadores e/ou subsoladores, o qual possibilita uma baixa movimentação do solo, permanência de 30% da superfície coberta por resíduos, aumento da infiltração de água no solo, não destrói os agregados e diminui os riscos de erosão (RIQUETTI, 2011).

O sistema plantio direto é um manejo conservacionista de áreas agrícolas, ao qual veem reduzindo os impactos causados pela atividade agrícola, minimizando perdas de solo e conservando material vegetal na superfície (REIS *et al.*, 2007). O acúmulo de material vegetal no solo é uma prática extremamente eficaz na conservação dos nutrientes, matéria orgânica e

água (OLIVEIRA *et al.*, 2012), atribuído, principalmente, a grande quantidade de matéria orgânica, mínimo revolvimento do solo e rotação de cultura.

3.5 Sistema de camalhão

O sistema de camalhão é uma técnica de preparo do solo muito antiga, mas que ainda é bastante utilizada. Em área com problema de drenagem facilita o escoamento da água favorecendo a aeração do solo, principalmente, quando o plantio da cultura é realizado em cima do camalhão. Em regiões com pouca chuva pode ser construído em curva de nível com o objetivo de proteger o solo e facilitar a infiltração da água aumentando sua disponibilidade, principalmente dentro do sulco (MARTINS; NOGUEIRA, 2015).

O sistema de plantio no camalhão tem como objetivo proporcionar maior aeração para as raízes com a elevação da parte superior do solo e também melhorar a drenagem, fazendo com que a água seja escoada mais rapidamente, diminuindo o tempo de inundação sofrido pela cultura comparado com o sistema de plantio convencional (MILLAR, 1978).

Na Europa é uma prática bastante difundida, principalmente, para o cultivo de pastagens (SEVENHUIJSEN, 1994). Este sistema adapta-se a áreas sistematizadas com ou sem declive, proporcionando garantia de boa drenagem para cultivos de sequeiro em área com problema de drenagem (SILVA; PARFITT, 2004). De acordo com Lara Junior (2013), a confecção de camalhão pode ser realizada utilizando sulcadores tipo pé de pato ou camalhoesiras de disco para camalhões estreitos (até 1,00 m de largura) e encanteiradoras equipadas com enxada rotativa ou com discos e formatador de canteiros, para camalhões até 1,80 m de largura.

A largura dos camalhões está condicionada ao tipo de solo e às práticas de cultivo, em solos mais arenosos, o afastamento entre sulcos não deve ultrapassar a 0,70 m, e em solos argilosos, podem atingir 1,80 m (SILVA *et al.*, 2007), no entanto, a largura dos camalhões está em função do espaçamento utilizado para as culturas, aliado à distribuição espacial de plantas que proporcione o melhor desempenho produtivo, e das operações mecanizadas realizadas na lavoura (SILVA; DUARTE, 2006).

Outra aplicação muito comum do sistema de camalhão é sua utilização para captação da água da chuva, uma vez que, a formação do camalhão resulta ao mesmo tempo na formação de sulcos no solo. Este sistema consiste na modificação da superfície do terreno, de maneira a formar um plano inclinado entre dois sulcos sucessivos, em curva de nível,

denominados camalhões, que funciona como área de captação de água da chuva (MARTINS; NOGUEIRA, 2015).

De acordo com Sousa *et al.* (2013) é comum a distribuição irregular das chuvas na zona semiárida, sendo importante o aumento do tempo e oportunidade da água de chuva na área de plantio. Segundo Oliveira *et al.* (2012), tal fato é um dos fatores mais limitantes à produtividade agrícola, comprometendo o rendimento das culturas nessas regiões.

Devido à grande variação das chuvas registradas na região semiárida do nordeste brasileiro, é de fundamental importância o preparo do solo com técnicas de captação de água de chuva com semeadura no sistema de camalhão, visando assegurar os cultivos implantados em regime de sequeiro, principalmente, para amenizar os efeitos do déficit hídrico ocorrido em anos de pouca precipitação pluviométrica (ALVINO *et al.*, 2012).

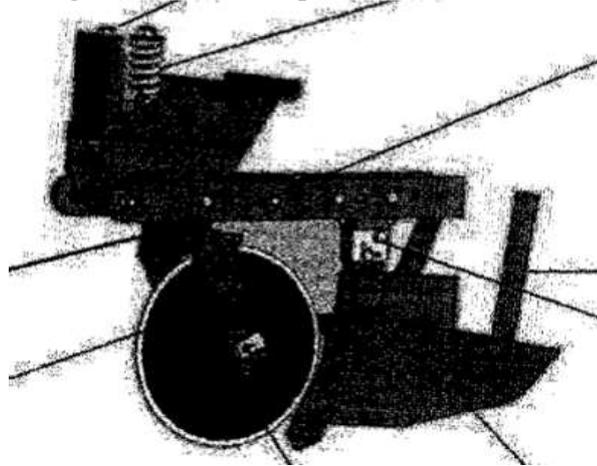
3.6 Máquinas agrícolas para formação de camalhão

A formação de camalhões em áreas agrícolas é muito comum, porém, sua formação pode ter objetivos diferentes dependendo da região ou local. Em regiões com escassez hídricas, como o nordeste brasileiro, sua construção pode ser efetuada para captação de água da chuva e conservação do solo. Já em solos com problemas de drenagem e áreas de várzeas para escoamento da água e aeração do solo.

Várias patentes foram pesquisadas e estudadas para a elaboração do presente trabalho, no entanto, não existe uma máquina específica que realize a semeadura no sistema de camalhão e que atendam as necessidades do pequeno produtor. Aqui as mais relevantes foram discutidas de forma individual, as mesmas encontram-se descritas no documento de patente de invenção, número do registro BR1020160260230, intitulada "Semeadora-adubadora-camalhoeira para captação de água in situ e solos de várzeas".

A PI11058102A2 trata-se de dispositivo sulcador para realização de elevações da superfície formando micro camalhão, preferencialmente em solos de várzeas para o plantio de milho e soja. Constitui-se de haste sulcadora, provida de ponteira de aço, chapas defletoras laterais com regulagem de abertura e sistema de deposição de adubo (Figura 1).

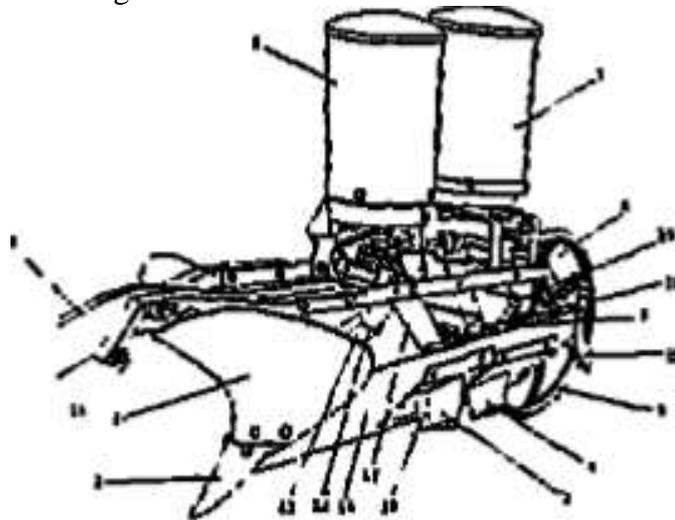
Figura 1 - Sulcador para micro camalhões



Fonte: <http://www.inpi.gov.br>.

A PI8803385A trata-se de módulo sulcador semeador adubador que possibilita a mecanização das culturas irrigadas por sulcos que adotam a prática do plantio na lateral do sulco (Figura 2). Consiste na adaptação do sulcador e conjunto semeador-adubador, ao suporte modulado em forma de V, preso ao sulcador com a finalidade de fazer a abertura dos sulcos para irrigação.

Figura 2 - Sulcador semeador adubador

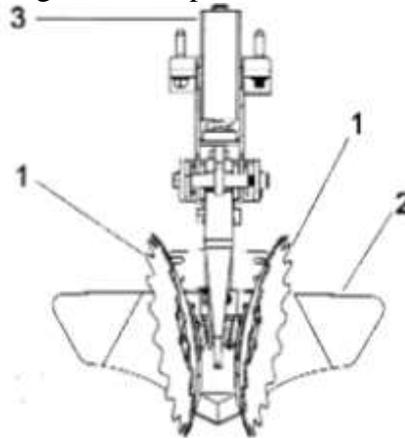


Fonte: <http://www.inpi.gov.br>.

A patente de invenção BR 202013 015483-6 propõe uma solução para atender às necessidades do plantio de culturas em solos compactados (Figura 3). Constituído de dispositivo sulcador dotado de dois discos, os quais são acionados para a formação do micro-camalhão, ainda possui uma estrutura dotada de haste sulcadora fixada a um suporte e uma

mola de compressão caracterizada por um conjunto de dois discos sulcadores côncavos e recortados.

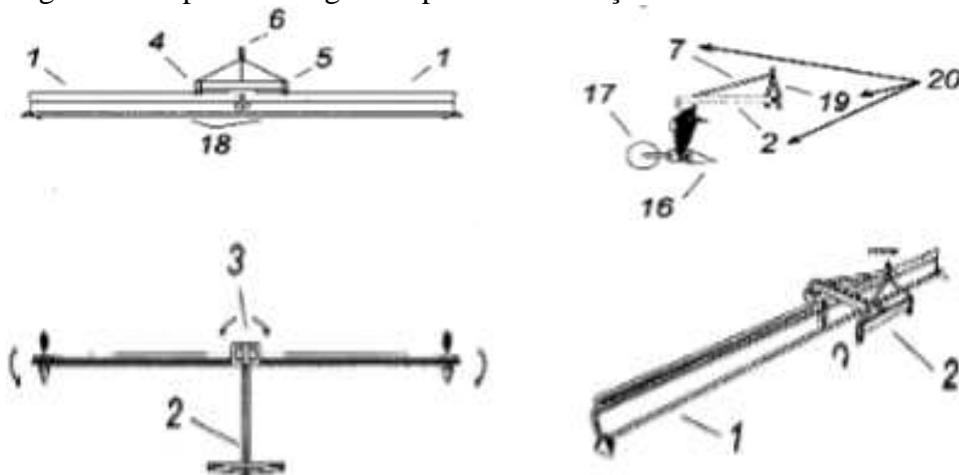
Figura 3 - Dispositivo sulcador



Fonte: <http://www.inpi.gov.br>.

A patente de invenção BR 102013 027417-8 A2 descreve um implemento agrícola para conformação de camalhões para solucionar aspectos de drenagem (Figura 4). O implemento é composto de duas lâminas articuladas por suas extremidades proximais e dotadas de sistema de controle angular para permitir variações na largura dos camalhões a serem conformados por meio do aumento ou redução do ângulo, o mesmo é dotado de sulcadores nas extremidades, destinado à construção dos drenos adjacentes ao camalhão e de roda imediatamente posterior para prover estabilidade à operação e auxiliar na conformação dos drenos.

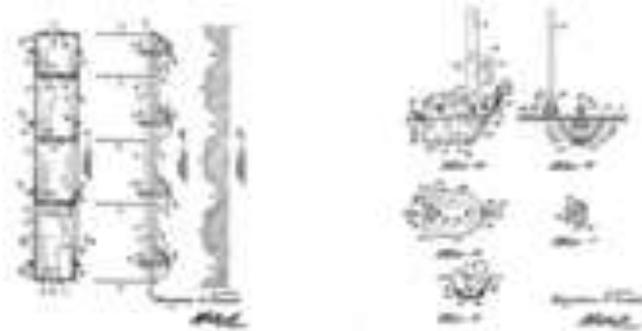
Figura 4 - Implemento agrícola para conformação de camalhão



Fonte: <http://www.inpi.gov.br>.

O documento de patente de invenção US 3557883 apresenta um implemento para o preparo de múltiplos canteiros através de uma lâmina dentada (Figura 5). Além da geometria de conformação trapezoidal do camalhão, as estruturas elevadas de solo conformadas pelo implemento, se caracterizam por serem somente de base estreita, cuja conformação apresenta menor complexidade, sem regulagens adicionais e destinada apenas para formação de camalhões, sem funções adicionais de semeadura ou adubação.

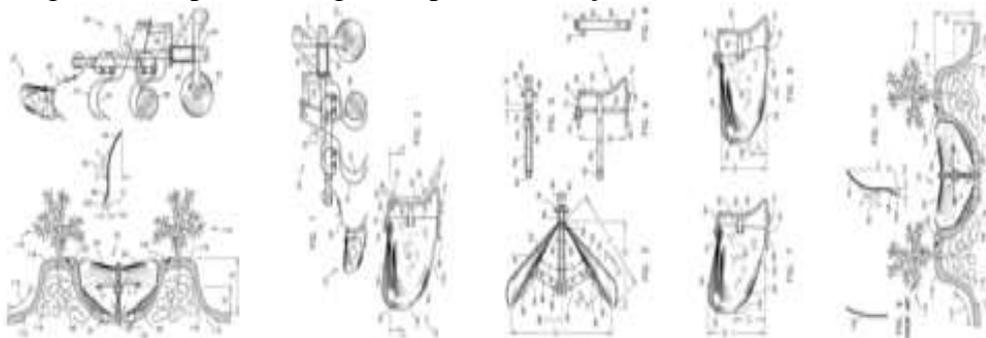
Figura 5 - Implemento para preparo múltiplos de canteiros



Fonte: <http://www.inpi.gov.br>.

A patente de invenção US 6199639, consiste de implemento agrícola com arranjo de placas em forma de asas articuláveis acopladas a uma estrutura dotado de ferramenta sulcadora (Figura 6). O solo é erguido pela ferramenta sulcadora para a construção do sulco ou dreno, enquanto que o conjunto de asas localizado imediatamente posterior ao sulcador move o solo erguido, tombando-o para ambas as laterais.

Figura 6 - Implemento agrícola para construção de sulco



Fonte: <http://www.inpi.gov.br>.

No mercado brasileiro, existe a plantadora adubadora hyper camalhoeira KF64, assim denominada, com sistema inovador que possibilita a semeadura da cultura da soja em solos de várzeas (Figura 7). Para formação do camalhão é utilizadas em sua estrutura pás

dimensionadas e com regulagem permitindo a formação do camalhão e sulco, conseqüentemente, seu plantio na borda do camalhão. Todo esse processo é executado em uma única operação da máquina sobre o solo. O sulco destina-se ao escoamento de água em excesso hídrico, e na falta de chuva permite a irrigação da planta pelas suas extremidades com água dimensionada entre os sulcos. Cada camalhão comporta o cultivo de duas linhas posicionadas em uma borda, numa distância de 50 cm entre linhas.

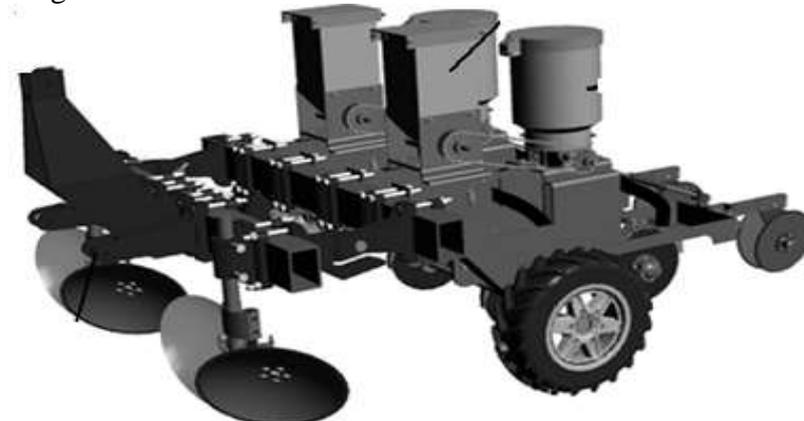
Figura 7 - Plantadora adubadora camalhoeira



Fonte: www.industrialkf.com.br/produtos/ver/6/HYPER+PLUS+CAMALHONEIRA.

A patente de invenção BR 1020160260230 trata-se de uma semeadora-adubadora-camalhoeira para captação de água *in situ* e solo de várzeas com formação de camalhões para facilitar drenagem e aeração do solo ou áreas irrigadas com semeadura na lateral do camalhão (Figura 8). A mesma irá realizar o processo de abertura do sulco, formação do camalhão, deposição de fertilizantes e sementes em uma operação única, reduzindo o número de operações mecanizadas. Essa máquina irá realizar a abertura do sulco e a formação do camalhão por meio de um inovador sistema abridor de sulco e formador de camalhão composto de dois discos côncavos.

Figura 8 - Semeadora-adubadora-camalhoeira



Fonte: <http://www.inpi.gov.br>.

3.7 Metodologias de Projeto de Máquinas Agrícolas

Tratando-se de semeadoras-adubadoras, existem no mercado diferentes modelos, porém, geralmente são equipamentos de grande porte com necessidade de elevada potência de acionamento, que não favorecem o pequeno agricultor (SILVA; DANIEL; PECHE FILHO, 2007; TEIXEIRA, 2008; STEFANELLO, 2013).

Existe uma lacuna no desenvolvimento de máquinas agrícolas para os pequenos agricultores, principalmente, em relação à adequação as suas necessidades específicas e ao custo de aquisição (ROMEIRO FILHO, 2012; NIEMCZEWSKI, 2012) fazendo com que os mesmos desenvolvam equipamentos que atendam as suas necessidades, com limitações tecnológicas e sem uma base metodológica de projeto adequada (IPEA, 2015).

O projeto de um produto pode ser considerado como uma atividade planejada, um conjunto de atividades correlacionadas e coordenadas, com a finalidade de alcançar objetivos específicos dentro de certos limites financeiros e tempos (ANDRADE; PEREIRA; DANTAS, 2010).

Para Freire (2011), pode-se projetar, construir, adaptar ou modificar um equipamento de acordo com o interesse da indústria e exigência do mercado consumidor. Para isso devem ser analisados os custos, tempo de realização do projeto, qualidade e eficiência do equipamento que está sendo desenvolvido, fazendo desta etapa uma das mais importantes.

De acordo com Back e Forcellini (2002), até a execução de um projeto, o mesmo passa por um conjunto de processo sistemático e necessário que pode ser dividido em quatro fases distintas a serem executadas tendo assim: a definição da tarefa, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. De acordo com Albiero, Maciel e Gamero (2011), o grande obstáculo por parte dos pesquisadores é relacionado à adequação das metodologias de engenharia com as necessidades e particularidades das metodologias participativas necessárias a regiões como o semiárido.

O desenvolvimento de um determinado produto, até chegar à produção em escala comercial, envolve toda uma serie de atividades: projeto preliminar, detalhamento, análise, planejamento da produção, produção, controle de qualidade e assistência ao usuário (FORCELLINI, 2002; BACK; OGLIARI; DIAS, 2008). Como alternativa ao método empírico propõe-se o modelo de fases de Pahl *et al.* (2005) que divide o processo de desenvolvimento de produto em quatro fases: planejamento e esclarecimento da tarefa, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado.

O projeto informacional consiste na análise detalhada do problema de projeto, buscando-se todas as informações necessárias ao pleno entendimento do problema (REIS; FORCELLINI, 2002). Para Reis e Forcellini (2006) e Teixeira (2008) o ponto de partida do projeto informacional é identificar o problema que deu origem à necessidade de desenvolvimento de um novo produto. Já, Rozenfeld *et al.* (2006) ressalta que o objetivo do projeto informacional é desenvolver um conjunto de informações, o mais completo possível, a partir de informações levantadas no planejamento e em outras fontes, chamado de especificações meta do produto.

Na fase do projeto informacional ficam definidos as fases do ciclo de vida do produto e seus clientes (externos, internos e intermediários), assim como suas necessidades, a estas são conferidos atributos, submetidas à checklists e hierarquizadas, dando origem às especificações de projeto, que vem a serem características do produto, com seu valor meta, sua forma de avaliação e seus aspectos indesejados (FONSECA, 2000; REIS, 2003; MENEGATTI, 2004; BACK; OGLIARI; DIAS, 2008).

O ciclo de vida pode ser efetuado por meio de levantamentos bibliográficos e brainstorming que permitem colher as necessidades do mercado consumidor, da capacidade de projeto, da fabricação, da montagem, da embalagem, da armazenagem, do transporte, da compra, venda e marketing, do uso, da função, da manutenção, da reciclagem e do descarte (ZARDO; BARBISAN; BERTICELLI, 2016).

Após o levantamento das necessidades dos clientes, essas informações são convertidas para requisitos dos clientes, numa linguagem mais apropriada (FONSECA, 2000), aplicando no método da casa da qualidade (QFD) cujo objetivo é garantir a qualidade dos produtos e serviços de acordo com os desejos dos clientes, classificando os requisitos de projeto, obtendo um conjunto de especificações de projeto, ordenadas quanto a sua importância e quantificadas (SLANK *et al.*, 2009).

A fase de projeto conceitual é onde ocorre a concepção do produto, por meio da busca, criação, representação e seleção de soluções (ROZENFELD *et al.*, 2006). Esta é a fase com maior potencial de otimização de retorno do investimento, representando baixo custo e alto benefício (BAXTER, 2000).

Compreendido o escopo faz-se necessário o estabelecimento da função global. A função global é aquela corresponde à função mais ampla que o produto deve desempenhar, indicando entradas e saídas de energia, material e sinal em relação a um sistema periférico que serve de limite entre a máquina e suas interfaces (PAHL; BEITZ, 1996; BACK; OGLIARI; DIAS, 2008).

Reis (2003) descreve resumidamente essa etapa, em três tarefas, tais como:

Estabelecer a função global com base no fluxo de material, energia e sinal através do emprego de um diagrama de bloco, expressando a relações entre as entradas e saídas do sistema independente de uma solução; Estabelecer estruturas funcionais alternativas, ou seja, a subdivisão da função global visando facilitar a busca por princípios de solução; Selecionar a estrutura funcional adequada ao projeto partindo das diversas estruturas funcionais geradas.

Na fase de concepção de um novo produto, diversas metodologias podem ser utilizadas para gerar ideias, entre elas podemos citar: brainstorming, analogia direta, método da instigação de questões, análise de sistemas técnicos conhecidos, matriz morfológica, método de Deplhi, método sintético, método da listagem de atributos entre outros (BAXTER, 2000; ROZENFELD *et al.*, 2006; BACK; OGLIARI; DIAS, 2008).

Uma das metodologias mais utilizadas para organização e seleção de hipóteses de projeto é a matriz morfológica que consiste de uma tabela onde são listadas as funções necessárias no produto a ser projetado e ao lado dessas funções são citadas em forma de esboço as soluções possíveis para que seja suprida aquela função (PAHL *et al.*, 2005). O método da matriz morfológica visa estruturar e sistematizar a apresentação dos princípios de solução encontrados e a geração das concepções alternativas, este é apresentado em maiores detalhes em Back e Forcellini (2002), Pahl e Beitz (1996) e Back (1983).

De acordo com Back, Ogliari e Dias (2008) é difícil eleger o melhor método, sendo importante que o profissional conheça os principais e na concepção de um novo produto, experimente qual dará os melhores resultados ou adote diferentes metodologias para gerar soluções alternativas para solucionar o mesmo problema.

Na fase do projeto preliminar o modelo do produto evolui da concepção ao leiaute definitivo (PAHL; BEITZ, 1996). Nessa etapa há o emprego de listas de verificação que estabelecem os princípios a serem observados e métodos de projeto para atender necessidades específicas (BACK; OGLIARI; DIAS, 2008).

O projeto detalhado tem como objetivo a aprovação do protótipo, finalização das especificações dos seus componentes e o detalhamento do plano de manufatura, dentre outros (OGLIARI *et al.*, 2013). Nesta fase, o protótipo é construído e testado, dando início à especificação e certificação dos componentes e fixação das especificações técnicas. Da mesma forma, a especificação dos materiais e a viabilidade técnica e econômica devem ser reavaliadas (BACK; OGLIARI; DIAS, 2008).

De acordo com Rozenfeld *et al.* (2006), o projeto detalhado, muitas vezes, está bastante integrado ao conceito do produto, pois os sistemas, subsistemas e componentes gerados no projeto conceitual são avaliados separadamente e depois o todo, ou seja, o conjunto é analisado para chegar à definição de um produto que seja viável para produção.

3.8 Inovação tecnológica em máquinas agrícolas

A inovação ocorre quando se confere uma aplicação prática para uma descoberta ou invenção (FINEP, 2006). O fenômeno da inovação tecnológica é complexo e se manifesta a partir de diversos níveis, em processos multicausais e retroalimentados e com a atuação mais ou menos determinante de diversos profissionais (ZACKIEWICZ *et al.*, 2005).

As etapas de invenção e inovação são interativas, e isso é percebido pelo crescente aumento das atividades de pesquisa e desenvolvimento nas empresas responsáveis pela comercialização das inovações (SANTOS; TOLEDO; LOTUFO, 2009). É preciso entender que o sucesso do desenvolvimento desta região depende da exploração correta e do uso eficiente de seu capital natural (ANDRADE; PEREIRA; DANTAS, 2010). Albiero (2006) descreve que as máquinas agrícolas podem estar classificadas em quatro níveis de grau tecnológico: mecanização humana, mecanização à tração animal, mecanização a motocultor e mecanização a trator, sendo que esta classificação se baseia na fonte de potência para as operações agrícolas.

Segundo Mello (2007) a mecanização com uso da potência humana tem se tornado cada vez mais rara, embora exista ainda em regiões muito remotas e pobres, mas em geral, a agricultura familiar se vale da tração animal como principal fonte de potência. Albiero (2006) complementa afirmando que o grau tecnológico a motocultor é uma opção interessante para a agricultura familiar, pois aumenta muito a capacidade de trabalho sem produzir impactos indesejáveis tanto em termos ambientais como sociais.

A introdução tecnológica tem sido a alternativa encontrada pelos agricultores como forma de aumentar a produtividade sem aumentar os custos na produção (VIEIRA FILHO; SILVEIRA, 2012). A utilização da mecanização nos estabelecimentos rurais nordestinos ainda é uma realidade pouco disseminada, pois, em sua maioria, ainda utilizam práticas rudimentares em sua produção, fator este que afeta a produtividade de grande parte das áreas dessa região (ETENE, 2010).

O foco dos problemas do atraso agrícola nordestino pode ser distinguido não apenas pela pouca demanda por máquinas e equipamentos que atendam as necessidades dos

agricultores, mas pela necessidade de desenvolvimento com a adoção de novas técnicas de produção (VASCONCELOS; SILVA; MELO, 2013). Os pequenos produtores rurais apostam na mecanização como forma de melhorar o desempenho. As novas tecnologias auxiliam na redução do tempo de trabalho e garantem aumento da produtividade, mas para isso, esses agricultores necessitam de máquinas com baixo valor de aquisição, seguras ao operador, quem tenha facilidade de regulagem e baixo custo de manutenção (REICHERT; REIS; DEMENECH, 2015).

Na área de mecanização agrícola com foco na convivência com o semiárido a ação tem se restringido ao fornecimento de equipamentos tradicionais, tais como tratores, arados, semeadoras (SDA, 2012), notadamente de uso genérico em todo o espectro brasileiro, portanto sem especificidades para a adequação com o semiárido, muito menos considerações relativa a manejo adequado (SANTOS; TOLEDO; LOTUFO, 2009). 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 considerando as especificidades do semiárido e adequando a utilização dos equipamentos atualmente em uso.

3.9 Desempenho operacional em máquinas agrícolas

A máquina agrícola é aquela em que os elementos e subsistemas acoplados concorrem para operacionalizar a função de realizar tarefas agrícolas (ALBIERO, 2010). O trator agrícola é uma máquina de tração que disponibiliza potência aos implementos agrícolas, sendo um conjunto de elementos, os responsáveis por garantir a transmissão da energia mecânica do motor para os diferentes sistemas (MÁRQUEZ, 2004).

A vantagem de se conhecer o desempenho operacional de máquinas agrícolas consiste em poder racionalizar as operações agrícolas na execução das operações exigidas pela produção agrícola (MIALHE, 1996). Toda e qualquer operação com máquinas agrícolas deve levar em consideração a velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado (SILVEIRA, 2008).

A semeadura de uma cultura é considerada uma das etapas mais importantes (ALMEIDA; SILVA; SILVA, 2010) quando bem realizada pode propiciar uma boa germinação, emergência e desenvolvimento das plântulas. Está relacionada com vários fatores, podendo ser destacado a máquina que irá distribuir as sementes e executa a operação (FURLANI *et al.*, 2013).

O desempenho operacional do conjunto trator-semeadora pode sofrer interferência de diversos fatores, influenciando em seu desempenho operacional e qualidade da distribuição das sementes ao longo do leito de semeadura, entre estes fatores, podemos citar: a velocidade de deslocamento e o tipo de preparo do solo (GABRIEL FILHO *et al.*, 2010; FURLANI *et al.*, 2013).

Furlani, Lopes e Silva (2005), utilizando semeadora-adubadora, com diferentes velocidades, durante a operação de semeadura, verificaram que velocidade de 7 km h⁻¹, contribuiu com o aumento da capacidade operacional. Furlani *et al.* (2008), verificaram que o aumento da velocidade de deslocamento na operação de semeadura pode interferir no desempenho da máquina.

Queiroz *et al.* (2017) avaliaram o desempenho operacional do conjunto mecanizado trator-semeadora com diferentes cargas no depósito de adubo e regime de marcha do trator e verificaram que Uma maior velocidade associada á maior carga no depósito de adubo proporcionou melhor desempenho operacional do conjunto trator-semeadora.

Para Mello *et al.* (2004), a uniformidade de distribuição de sementes dentro do leito de semeadura, através da regulagem adequada da semeadora-adubadora e correta adequação do trator utilizado, tem sido observada como uma das formas de aumento da produtividade dentro da lavoura.

Copetti (2012) afirma que, as semeadoras representam importante papel dentro do processo produtivo, pois a produtividade de uma cultura pode ser afetada pela variação da uniformidade de distribuição de sementes no sulco de semeadura, reduzindo os lucros dos produtores quando a regulagem do conjunto é feita de forma inadequada.

3.10 Pesquisas realizadas com semeadoras-adubadoras no sistema de camalhão

As pesquisas que vem sendo desenvolvidas, embora não seja muito difundida, estão voltadas para o sistema de preparo do solo com foco na captação de água da chuva in situ, e para o processo de semeadura realizado por semeadoras-adubadoras adaptadas no sistema de sulco-camalhão, em solos de várzeas.

Anjos e Brito (2000) desenvolveram um equipamento para ser utilizado em sistema de cultivo em camalhões com sulcos barrados. O sistema de sulco barrado é uma técnica de captação de água de chuva in situ, o mesmo equipamento desenvolvido é utilizado em cultivos de sequeiro e consiste no barramento com o objetivo de retardar o escoamento superficial da água de chuva, muito utilizado no semiárido.

Brito *et al.* (2008) avaliando perdas de solo e de água em diferentes sistemas de captação *in situ* no semiárido brasileiro, verificou que, o sistema de preparo do solo com sulcos barrados, para o cultivo do milho, apresentou os menores valores de perdas de água e de solo, enquanto os maiores valores foram obtidos nos tratamentos Guimarães Duque e no sistema tradicional.

Sousa *et al.* (2013) avaliando o cultivo de girassol sob técnicas de captação de água da chuva *in situ* no semiárido da Paraíba pode concluir que a técnica proporcionou um maior rendimento da cultura, afirmando que uso de técnicas de captação de água *in situ* pode ajuda as plantas de girassol a tolerar um período de veranico de aproximadamente 15 dias.

Laime *et al.* (2014) avaliando o sistema de captação de água no crescimento de pinhão manso, verificaram ao longo do ciclo que o crescimento foi beneficiado pela forma de preparo. Wanderley *et al.* (2014) avaliando o crescimento do girassol sob sistema de captação de água e adubação orgânica, observaram que ao longo do ciclo o girassol teve o crescimento diferenciado com uso de técnicas para favorecer a captação de água.

Amorim (2017) avaliou o desempenho energético e operacional de um conjunto trator-semeadora equipadas com mecanismo sulcadores, a qualidade de semeadura, qualidade da abertura do sulco e formação do camalhão, desempenho da cultura milho e atributos físicos do solo, verificou que, a semeadura dentro do sulco apresentou melhor desempenho energético e operacional, sendo que, a maior produtividade do milho foi observada para semeadura em cima do camalhão.

Silva *et al.* (2007) realizaram um trabalho no sistema sulco-camalhão para culturas em rotação do arroz em áreas de várzeas do Rio Grande do Sul. Para isso avaliaram o processo de semeadura de milho e da soja no sistema sulco-camalhão com o uso de camalhoeira/semeadora equipada com sulcadores pés de pato, no espaçamento de 0,80 m e com discos duplos no espaçamento de 1,60 m, os autores ainda avaliaram a confecção de sulco-camalhão de 1,80 m de largura utilizando rotoencanteirador.

Silva *et al.* (2007) avaliaram o rendimento de grãos de soja e milho obtidos em diferentes sistemas sulco/camalhão em relação à irrigação e drenagem em áreas de várzeas sistematizadas. Diversas pesquisas também foram realizadas no mesmo trabalho para comparar diferentes tipos de camalhões entre si, e em relação ao cultivo em solo com preparo convencional.

Nesse enfoque, observa-se que, existem pesquisas voltadas para a captação de água *in situ* e em solos de várzeas, mas de forma separada para cada processo, assim, a tese traz a criação de um novo conceito de máquinas para realizar o processo de preparo do solo e

semeadura de forma simultânea, além de ser utilizadas independentes da cultura, características da região, tipo de solo e manejo.

3.11 Controle Estatístico do Processo

Do ponto de vista agrônomo, qualidade é a realização das operações agrícolas ou a obtenção de produtos que estejam adequados às especificações ou a padrões agrônomo recomendados (SILVA *et al.*, 2008). As operações agrícolas são de fundamental importância para a melhoria de todo o processo produtivo, normalmente realizado sem que haja um controle efetivo para que as variabilidades fiquem dentro de padrões aceitáveis (FERNANDES; MILAN; PECHE FILHO, 2000).

O uso de técnicas estatísticas no controle das operações agrícolas mecanizadas é uma realidade, pois a qualidade das operações representa um declínio na variabilidade, obtendo-se resultados mais próximos aos limites especificados (MILAN; FERNANDES, 2002), para isso, faz-se necessário um acompanhamento do processo, a fim de detectar alterações.

O Controle Estatístico de Processo (CEP) é uma prática que permite verificar o comprometimento do processo quanto há limites superiores e inferiores, detectando comportamentos tendenciosos das variáveis do processo, segundo, Alencar Lopes e Souza Júnior (2007), o CEP detecta rapidamente alterações dos parâmetros de determinados processos, para que os problemas possam ser corrigidos antes que muitos itens não conformes sejam produzidos (MINGNOTI; FIDELIS, 2001).

Bonilla (1995) e Montgomery (2004) ressaltam que o CEP é um conjunto de ferramentas úteis para a resolução de problemas para o alcance da estabilidade do processo e aumento da capacidade através da redução da variabilidade. De acordo com Paulini, Milan e Salvi (2009) é muito complicado determinar todos os fatores que influem nas operações agrícolas, necessitando de buscar fatores que melhorem a eficiência e eficácia dessas operações.

A variabilidade em processos agrícolas mecanizados tem sido investigada por meio de ferramentas de qualidade do processo (NORONHA *et al.*, 2011; ALBIEIRO *et al.*, 2012; MELO *et al.*, 2013; VOLTARELLI *et al.*, 2015). Originalmente empregadas em processos industriais, atualmente têm auxiliado o gerenciamento das operações agrícolas, permitindo à identificação de causas naturais e/ou especiais, monitoramento e eliminação das causas de variabilidade do processo (ARCOVERDE; CORTEZ; SOUZA, 2017).

Fernandes, Costa e Souza (2010) comentam que 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. Neste sentido, o controle estatístico do processo tem se mostrado uma boa alternativa para avaliação de processos envolvendo operações agrícolas mecanizadas (ORMOND, 2017).

Alguns autores têm feito uso do controle estatístico de processo em operações agrícolas mecanizadas, utilizando as variáveis avaliadas como indicadores de qualidade (REIS *et al.*, 2010; CHIODEROLI *et al.*, 2012; COMPAGNON *et al.*, 2013; TOLEDO; SILVA; FURLANI, 2013; CASSIA *et al.*, 2013; VOLTARELLI *et al.* 2015; VOLTARELLI *et al.* 2017).

O CEP permite reduzir a variabilidade das variáveis controladas permitindo utilizar condições operacionais que aproximem as variáveis de interesse dos seus limites de controle (ALENCAR; LOPES; SOUZA JÚNIOR, 2007). Porém, Montgomery (2004) comenta que o CEP é uma ferramenta que só pode ser utilizada quando os dados apresentarem normalidade. Neste enfoque, Albiero *et al.* (2012) verificaram em seus testes que os dados obtidos não apresentavam distribuição normal o que inviabilizou a análise dos gráficos de controle convencionais, indicando a necessidade de utilização da metodologia da MMEP.

3.12 Análise de modo e efeito de falha (FMEA)

A Análise dos Modos e Efeitos de Falhas, do original em inglês *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) é uma metodologia sistemática que permite identificar potenciais falhas de um sistema, projeto e/ou processo, com o objetivo de eliminar ou minimizar os riscos associados, antes que tais falhas aconteçam (YANG *et al.*, 2006).

No processo de desenvolvimento de produtos (PDP) devem ser consideradas duas características essenciais para atender o mercado: a qualidade e a confiabilidade do produto (FRANK *et al.*, 2013). A avaliação da qualidade e confiabilidade do produto é tradicionalmente feita nos estágios avançados de seu desenvolvimento, por meio de inúmeros testes, aplicação de técnicas estatísticas e teoria probabilística (LEVIN; KALAL, 2003; YANG, 2007; BERTSCHE, 2008).

O FMEA é um método analítico, padronizado utilizado com o objetivo de determinar o efeito da ocorrência de falha em sistemas e em equipamentos (MAOS; MILAN, 2009). Conforme Puente *et al.* (2002), o método FMEA é útil para identificar as falhas atuais

e potenciais e seus efeitos em sistemas e processos para definir ações que visem reduzir ou eliminar o risco associado a cada falha.

O FMEA avalia a severidade de cada falha relativamente ao impacto causado aos clientes, sua probabilidade de ocorrência e de detecção antes de chegarem às mãos dos clientes. Com base nestes três elementos, severidade, ocorrência e detecção, o método FMEA leva à priorização de quais modos de falha acarretam os maiores riscos ao cliente e que, portanto, merecem atenção (FERNANDES; REBELATO, 2006).

O formulário FMEA pode ser apresentado em diferentes formatos, porém seus elementos básicos são sempre os mesmos: cabeçalho, funções, modos de falha, efeitos, causas, severidade, ocorrência, formas de controle, detecção e ações recomendadas (RAMOS, 2006, ALBIERO, 2010). Os dados levantados para a aplicação do FMEA devem ser todos considerados para uma tomada de decisão envolvendo risco (GARCIA, 2013).

3.13 Elementos finitos de máquinas

O método dos elementos finitos (MEF) foi criado para resolver problemas estruturais no âmbito da engenharia no qual avaliava o grau de deformação e tensão que um sólido sofria quando determinadas cargas eram impostas sobre ele (BRITO *et al.*, 2017).

O MEF é uma forma de análise matemática, fundamentado na divisão de um domínio em pequenas áreas, denominado de elementos finitos, a essa divisão dá-se o nome de "malha", a malha é composta por arestas (faces) e nós (pontos de intersecção das arestas) (TRENTO *et al.*, 2016).

O método FEM substitui um problema complexo por um conjunto de problemas simples. Divide o modelo em muitas peças pequenas (por exemplo, tetraedros) de formas simples, chamadas elementos. Quando um elemento de estudo é selecionado as tensões desejadas são aplicadas sobre ele, o seu comportamento é descrito por funções algébricas, em que os achados representarão a distribuição das tensões e deformações do modelo experimental (LOTTI *et al.*, 2006).

Atualmente, o uso de técnicas de Métodos Elementos Finitos (MEF) para dimensionamento de estruturas é amplamente utilizado para resolver problemas estruturais, térmicos e de vibração, e é possível analisar qualquer forma (NIEMCZEWSKI *et al.*, 2014). O MEF é baseado na suposição de que o deslocamento de cada um dos elementos pode variar dentro de uma estrutura analisada (MAGALHAES *et al.*, 2012).

O uso de computadores tem proporcionado o desenvolvimento de "protótipos virtuais", em que determinada máquina ou sistema é modelado mediante um programa computacional, no qual o seu comportamento é simulado sob diferentes condições de funcionamento, antes de entrar para em linha de produção (MAGALHÃES *et al.*, 2006).

Diversos são os trabalhos encontrados na literatura utilizando o MEF. Niemczewski *et al.* (2014) avaliaram o comportamento estrutural estático de um chassi experimental de semeadora de quatro linhas para agricultura familiar utilizando-se da técnica numérica de Análise de Elementos Finitos, onde se levou em consideração os esforços a que a máquina em questão estaria sujeita, quando suspensa do chão.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Desenvolvimento do Projeto

A metodologia de projeto empregada é composta de quatro fases: projeto informacional ou esclarecimento da tarefa, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado propostas por Pahl e Beitz (1996), Pahl *et al.* (2005), e adaptada ao projeto de acordo com as necessidades que surgiram durante seu desenvolvimento. Para a execução das fases de projeto montou-se uma equipe composta por docentes e discentes do Núcleo de Integração em Mecanização e Projetos de Máquinas (NIMPA) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará (Tabela 1).

Tabela 1 – Equipe de projeto

Nome	Função	Especialidade
Elivânia Maria Sousa Nascimento	Agrônomo/Doutorando (coordenadora)	Controle de qualidade
Carlos Alessandro Chioderoli	Agrônomo/Doutor	Semeadora-adubadora
Roberto Nunes Maia	Engenheiro mecânico/Doutorando	Projetos de máquinas agrícolas
Paulo Cintra	Engenheiro mecânico	Desenhos técnicos
Marcelo Queiroz Amorim	Agrônomo/Mestre	Avaliação de máquinas agrícolas
Jean Lucas Pereira Oliveira	Agrônomo/Mestrando	Avaliação de máquinas agrícolas
Márcio Porfírio da Silva	Agrônomo/Mestrando	Controle da qualidade
José Wilson Nascimento de Souza	Agrônomo/Mestrando	Controle da qualidade
José Evanaldo Lima Lopes	Agrônomo/Doutor	Segurança em máquinas agrícolas
Washington Nascimento	Historiador/Convidado	Professor de história

Fonte: elaborada pela autora.

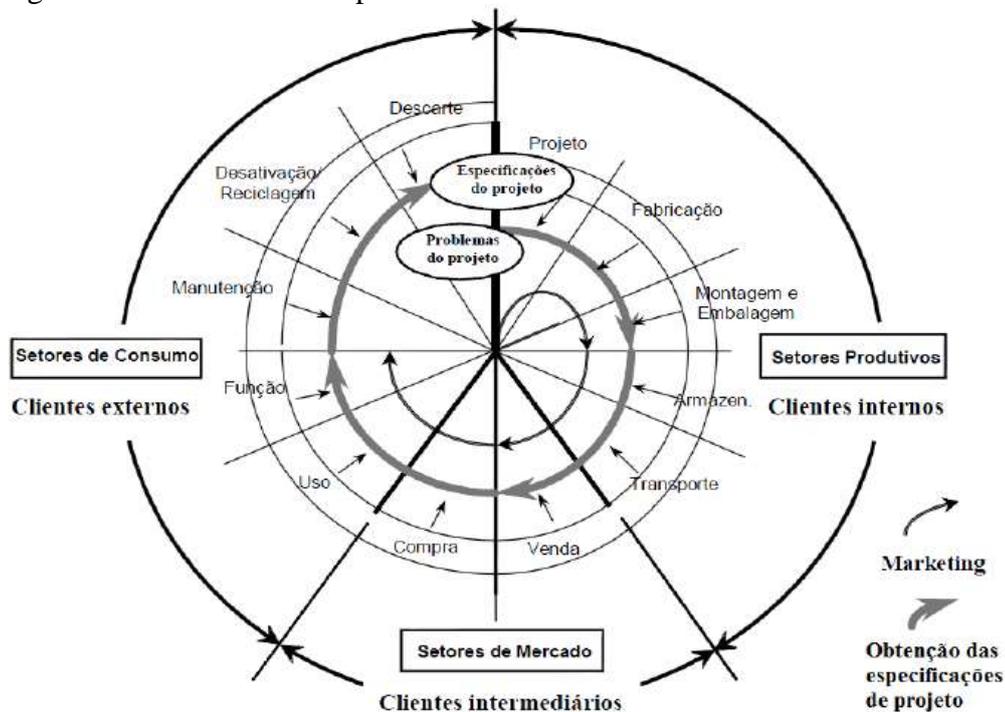
4.1.1 Projeto informacional

O ponto de partida do projeto informacional foi identificar o problema que deu origem à necessidade de desenvolvimento de um novo produto. Pensando no nível tecnológico da agricultura familiar, sabendo de suas limitações quanto a operações de preparo do solo, e associando isso a agricultura praticada no semiárido, ao qual a semeadura das principais culturas, milho e feijão, ocorrem no período chuvoso, buscou-se desenvolver um produto que realizasse a semeadura no sistema de camalhão, e que o sulco formado durante o

processo de semeadura fosse utilizado para captação de água e conservação do solo. Este esclarecimento da formulação da tarefa destinou-se à coleta de informações sobre os requisitos necessários para o funcionamento do protótipo a ser desenvolvido para agricultura familiar com a função de realizar o processo de semeadura do milho no sistema de camalhão.

A segunda etapa foi identificar as necessidades dos clientes (externos, intermediários e internos) e inseri-los dentro ciclo de vida do produto (Figura 9). Os clientes externos são os destinatários do produto, os intermediários são aqueles que adquirem os produtos para revenda ou para industrialização e os internos são as unidades produtoras. As necessidades dos clientes externos foram identificadas por meio de pesquisa bibliográfica técnica disponível em catálogos de produtos, artigos científicos, teses, dissertações, patentes, análise de sistemas técnicos. Com relação aos clientes internos e intermediários foram identificadas limitações quanto ao processo de fabricação e disponibilidade de materiais por meio de revisão bibliográfica ficando a critério da equipe de projeto identificar essas necessidades.

Figura 9 - Ciclo de vida do produto



Fonte: Fonseca (2000).

As necessidades dos clientes foram identificadas em trabalhos desenvolvidos por Morais *et al.* (2009), Albiero e Maciel (2010), IBGE (2010), Machado, Reis e Machado (2010), Guanziroli, Buainain e Di Sabbato (2012), IPEA (2013), Barth *et al.* (2016), Maia,

Miyamoto e Silveira (2016) e Melo (2017) onde se buscou verificar as características dos agricultores familiares e inseri-los dentro do ciclo de vida do produto. Após a definição das necessidades dos clientes, estes foram convertidos em requisitos dos clientes para isso foi utilizado frases curtas compostas pelos verbos ser, ter e estar, seguidos de um ou mais substantivos, indicando este, que o requisito é possivelmente uma função que o produto deve desempenhar contemplando assim, a terceira etapa.

Na quarta etapa os requisitos de projeto são definidos atribuindo-se grandezas físicas e/ou econômicas, aos requisitos dos clientes, para que seja possível mensurá-los (Figura 10), cada requisito de cliente é vinculado a atributos para seu melhor esclarecimento, dificultando assim a incidência de difusão, ou seja, mais de um requisito desempenhar a mesma ação.

Figura 10 - Classificação dos requisitos de projeto

Atributos gerais	Atributos básicos	Funcionamento	
		Econômico	
		Confiabilidade	
		Mantenabilidade	
Atributos específicos	Atributos materiais	Geométricos	Dimensões
		Material	
		Peso	
	Atributos de controle	Controle	
		Estabilidade	

Fonte: Adaptado de Fonseca (2000).

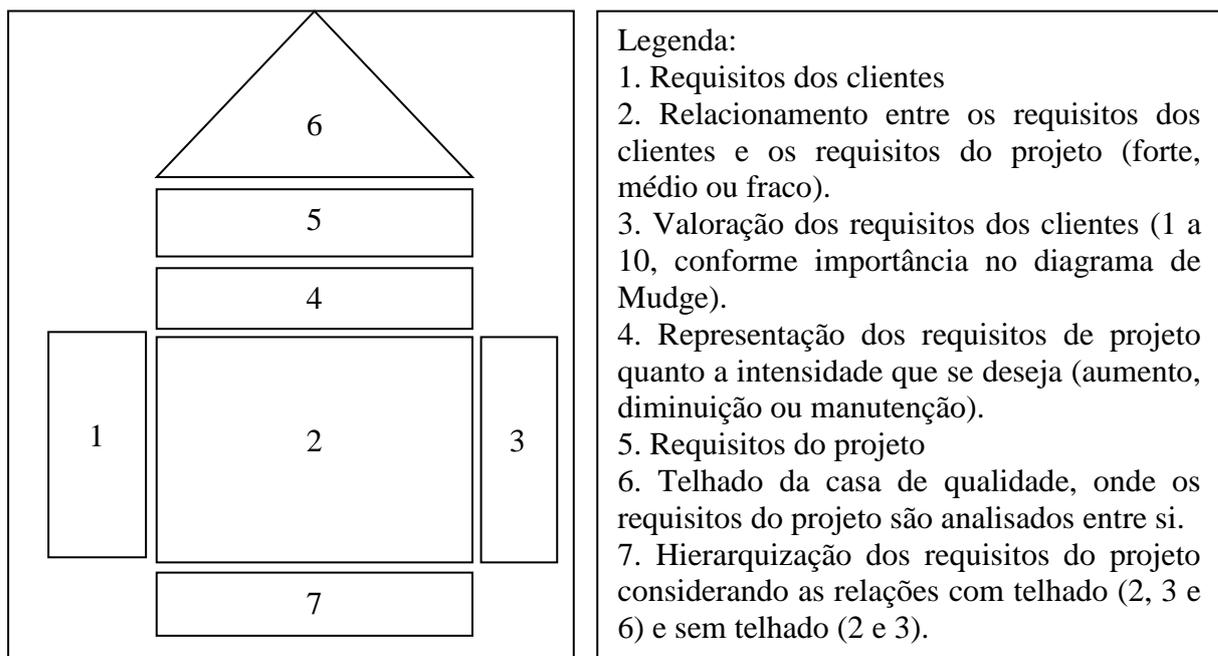
Os requisitos de projeto foram hierarquizados por meio da aplicação do Desdobramento da Função Qualidade (QFD) responsável pelo relacionamento dos requisitos dos clientes ponderados com a aplicação do diagrama de Mudge e os requisitos do projeto. O diagrama de Mudge (Figura 11) é uma matriz de relacionamento que visa ponderar a importância de um requisito de cliente em relação aos demais, tornando-os mensuráveis, para servir de multiplicador quando relacionados com os requisitos de projeto, também inseridos no QFD. Para essa comparação é considerado qual o requisito do par é mais importante, atribuindo valor: A letra A é “um pouco mais importante” e o seu valor é 1 ponto, a letra B é “medianamente mais importante” e vale 3 pontos e a letra C é “muito mais importante” valendo 5 pontos.

Figura 11 - Diagrama de Mudge

	2	3	4	S	%
1	2A	3B	4C	1	7
	2	2C	2B	9	60
		3	3C	5	33
			4	0	0
			S	15	100

Com o preenchimento da matriz da casa de qualidade (QFD) (Figura 12), gera-se duas listas hierarquizada dos requisitos do projeto, uma sem relacionar os requisitos do projeto, ou seja, uma hierarquização sem considerar o telhado e outra hierarquização considerando telhado, sendo que a equipe de projeto foi responsável por decidir qual hierarquização deverá ser adotada.

Figura 12 - Matriz da casa de qualidade



Fonte: Adaptado de Reis (2003).

A quinta etapa foi à obtenção das especificações de projeto por meio da aplicação do quadro de especificações, associando os requisitos de projeto à meta a ser atingida e a forma de avaliação da meta estabelecida. Os requisitos de projeto classificados com a aplicação do QFD foram divididos em três partes, conforme proposto por Fonseca (2000), em: terço superior (requisitos mais importantes), terço médio (requisitos importantes) e terço inferior (requisitos menos importantes).

4.1.2 Projeto conceitual

A primeira etapa dessa fase foi identificar o escopo do problema, seguindo os cinco passos recomendados por Pahl *et al.* (2005).

- 1º passo: devem-se omitir preferências pessoais;
- 2º passo: analisar a lista de hierarquização dos requisitos do projeto que não possuíam vínculo com a função do produto;
- 3º passo: transformar informações quantitativas em qualitativas;
- 4º passo: generalizar os requisitos do passo anterior e;
- 5º passo: formular o problema sem inclusão de soluções.

A segunda etapa desta fase é o estabelecimento das características, bem como as funções do produto, buscando e combinando os princípios de solução para estas funções (PAHL *et al.*, 2005). Nesta etapa partiu-se das especificações de projeto. A busca por princípios de solução foram atribuídos às funções da estrutura funcional e deram forma ao produto. Os métodos usados na busca de princípios de solução foram: convencionais (pesquisa bibliográfica, análise de sistemas técnicos existentes), intuitivos (brainstorming) e discursivos (matriz morfológica) discutidos na revisão de literatura. O resultado dessa fase foi o conceito do protótipo, ou seja, a definição dos princípios de funcionamento de todos os sistemas da semeadora-adubadora para o sistema de camalhão.

4.1.3 Projeto preliminar

O projeto preliminar iniciou-se com a realização de leiaute para cada estrutura funcional, entre os quais foi escolhido o melhor para cada função, adotando como critério básico a facilidade de fabricação. Foi utilizado o software *SolidWorks* para realizar os desenhos conceituais do protótipo. Nessa fase foi realizado a análise estática do dispositivo abridor de sulco e os cálculos do sistema de transmissão. A viabilidade econômica não foi avaliada devido à construção do protótipo está sendo realizada com materiais recicláveis.

4.1.4 Projeto detalhado

Nessa fase realizou-se a montagem das peças, definindo suas dimensões e selecionados os materiais de fabricação. Nessa fase também foi realizado a construção do protótipo utilizando máquinas e equipamentos convencionais de ferramentaria, tais como,

torno mecânico, furadora de coluna, esmerilhadora, fresadora, dobradora de chapas, máquina de solda, arco elétrico, dentre outros. O processo de fabricação envolvido na construção do protótipo foi usinagem, dobramento, furação, soldagem, corte e pintura.

4.2 Avaliação do protótipo

A avaliação do protótipo foi realizada na Fazenda Experimental Vale do Curu, Pentecoste, Ceará. O solo da área é classificado como Planossolo de textura franco-arenosa (EMBRAPA, 2013).

4.2.1 Planejamento estatístico

Inicialmente foi realizado o levantamento de dados para estimar o número mínimo de amostras para avaliar a qualidade da semeadura, abertura do sulco e formação do camalhão, necessárias para que haja normalidade no experimento por meio do erro médio padrão com base nos trabalhos de Cavalcante *et al.* (2014) e Melo (2013), utilizou-se a equação sugerida por Montgomery (2004) para que o erro médio padrão seja encontrado. Em seguida, com o erro médio padrão considerou-se o erro β de 10% e por meio do gráfico de curvas características de operação (Figura 13) encontrou-se o número de amostras que foram utilizadas para as avaliações (Equações 5 e 6).

$$d = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} \quad (5)$$

$$n = ((Z_{\alpha/2} / 2\sigma) / E)^2 \quad (6)$$

Em que:

d = erro médio padrão;

μ_1 e μ_2 = média;

σ_1 e σ_2 = desvio padrão;

β = erro beta;

n = Número de indivíduos na amostra;

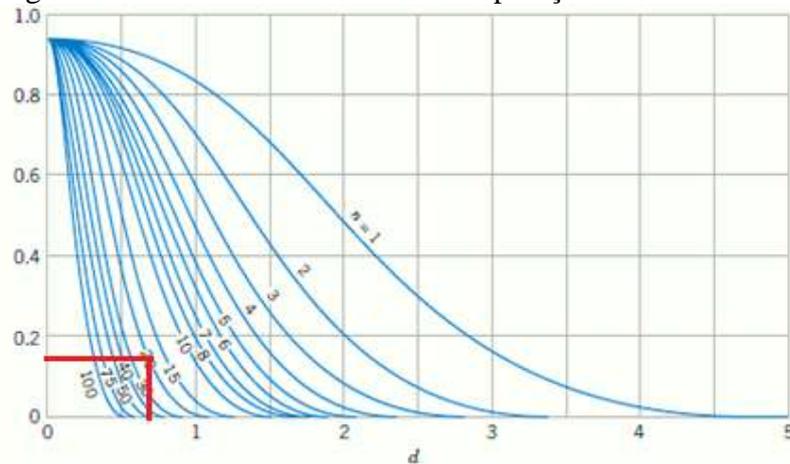
$Z_{\alpha/2}$ = Valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado;

σ = Desvio-padrão populacional da variável estudada;

E = Margem de erro ou erro máximo de erro máximo de estimativa. Identifica a diferença máxima entre a média amostral (X) e a verdadeira média populacional.

O número mínimo de amostras encontrado foi de 10 amostras para cada repetição, no entanto, com o intuito de aumentar a possibilidade de ocorrer normalidade dos dados, obteve-se uma quantidade padrão de 30 amostras para cada repetição.

Figura 13 - Curvas características de operação



Fonte: Montgomery (2004).

4.2.2 Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, arranjo fatorial, 2 x 2, sendo, dois métodos de semeadura (S1 - dentro do sulco e S2 - em cima do camalhão) e duas velocidades (V1 - 3,05 e V2 - 4,24 km h⁻¹), com quatro repetições. Os tratamentos foram dispostos na área conforme croqui (Figura 14). Cada parcela ocupou área de 30 x 2 m, com 5 m para estabilidade do conjunto mecanizado.

Figura 14 – Croqui da área experimental

S2V2R1	S1V1R1	S2V2R1	S1V1R4	2 m
S1V1R2	S2V2R1	S2V1R3	S2V2R4	
S1V2R3	S2V1R1	S1V1R3	S1V2R1	
S2V1R4	S1V2R2	S1V2R4	S2V1R2	
← 120 m →				

Legenda: S1 – semeadura no sulco, S2 – semeadura no camalhão, V1 – 3,05 km h⁻¹, V2 – 4,24 km h⁻¹, R – repetição. — Carreado

Fonte: elaborada pela autora.

As avaliações da qualidade da semeadura, abertura do sulco e formação do camalhão foram realizadas por meio estatística descritiva (média, desvio padrão, coeficiente de variância, simetria e curtose), a normalidade dos dados foi realizada por meio do teste de

Anderson-Darling conforme as recomendações de Montgomery (2004) e Oliveira (2010). O coeficiente de variação foi classificado como baixo (<10%), médio (entre 10 e 20%), alto (20 a 30%) e muito alto (>30%) conforme Pimentel-Gomez e Garcia (2002). O Controle Estatístico do Processo (CEP) foi utilizado como forma de verificar a estabilidade do processo (ALBIERO *et al.*, 2011; MELO, 2013; QUEIROZ, 2017).

4.2.3 Qualidade do processo de semeadura

Para avaliação da qualidade de semeadura foram determinados: profundidade de deposição do adubo, profundidade de deposição da semente e distribuição longitudinal de sementes (normais, múltiplos e falhos). Durante os ensaios, o reservatório de adubo e semente operou com 50% de sua capacidade volumétrica conforme as recomendações da ABNT (1994) e Mialhe (1996). As medições da profundidade de deposição de semente e adubo foram realizadas após a passagem do conjunto mecanizado nas parcelas de 20 m, as leituras foram feitas dentro da área útil de 10 m, determinando-se conforme metodologia de Baker *et al.* (1997). A distribuição longitudinal de sementes foi determinada logo após a passagem do conjunto mecanizado na parcela, medindo-se a distância entre as sementes na área útil de cada parcela experimental conforme metodologia de Kurachi *et al.* (1989) citada por Albiero (2010) (Tabela 2).

Tabela 2 - Metodologia recomendada por Kurachi *et al.* (1989)

Tipos de espaçamentos	Intervalo de tolerância para variação Xi
Múltiplos	$X_i < 0,5 \cdot X_{ref}$
Normal	$0,5 \cdot X_{ref} < X_i < 1,5 \cdot X_{ref}$
Falhos	$X_i > 1,5 \cdot X_{ref}$

Fonte: Adaptado de Kurachi *et al.* (1989).

4.2.4 Qualidade do processo de formação do camalhão e abertura do sulco

Para avaliação da qualidade de abertura do sulco e formação do camalhão foram determinados: profundidade do sulco, altura do camalhão e área do sulco. A altura do sulco/camalhão foi determinada do fundo do sulco até a altura do topo do camalhão. A largura da base do sulco foi determinada a partir das bases dos camalhões adjacentes. A largura do topo do sulco foi determinada a partir da altura dos camalhões adjacentes. A largura da base do camalhão foi determinada a partir das extremidades de sua base maior (Figura 15).

A área do sulco foi determinada a partir da Equação 4.

$$A = \frac{(B+b)}{2} \times h \quad (4)$$

Em que:

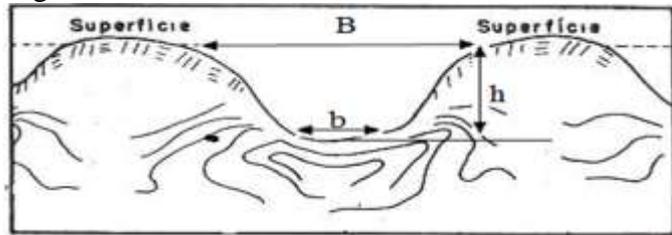
A = área do canal (m²);

B = largura do topo do sulco (m);

b = largura da base do sulco (m);

h = altura sulco/camalhão (m).

Figura 15 – Área do canal



Fonte: elaborada pela autora (2018).

4.3 Análise de Efeitos e Modos de Falha (FMEA)

A Análise de Efeitos e Modos de Falha (FMEA) foi utilizada com o objetivo de auxiliar na detecção de problemas potenciais no produto de forma antecipada (ALBIERO, 2010). Para a estruturação do FMEA adotou-se o formulário (Tabela 3) adaptado de IQA (2008) citado por Albiero (2010). Cada item enumerado determina uma informação estruturada que possibilita a análise de cada falha potencial, por meio da visualização global das causas (9), efeitos (6) e modo das falhas (5) permitindo o estabelecimento da quantificação dos índices de severidade (7), ocorrência (10) e detecção (13), possibilitando o cálculo do Número Prioritário de Risco (NPR) (14).

Tabela 3 - Formulário FMEA

Numeração	Cabeçalho
1	Subprocesso
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	Número Prioritário de Risco
15	Ações recomendadas
16	Observações.

Fonte: Adaptado de Albiero (2010).

O Número de Prioridade de Risco foi calculado conforme Equação 12.

$$\text{NPR} = \text{S} \times \text{O} \times \text{D} \quad (12)$$

Em que:

S = severidade da falha;

O = ocorrência da falha;

D = detecção da falha.

O valor de NPR calculado por esse método é classificado como alto (prioridade 0), médio (prioridade 1) e baixo (prioridade 2) de acordo com as premissas da organização, portanto podem variar de empresa para empresa. No manual de FMEA da indústria automobilista é sugerido que um risco aceitável para liberar o sistema para produção deve ficar abaixo de 125 (BERTSCHE, 2008). Para este estudo, a equipe de projeto adotou como aceitável NPR abaixo de 80. O sistema de pontuação para determinação de severidade, ocorrência e detecção encontra-se no Anexo A.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir seguem os resultados das fases de desenvolvimento do projeto, seguido da avaliação do protótipo da semeadora-adubadora.

5.1 Projeto Informacional

A pesquisa por informações sobre o tema do projeto foi contemplada na revisão bibliográfica onde se buscou por informações técnicas por meio da análise de sistemas técnicos conhecidos e produtos similares patenteados e existentes no mercado. Os clientes foram identificados e inseridos dentro do ciclo de vida do produto de acordo com a necessidade de cada um (Figura 16).

Figura 16 - Identificação das necessidades dos clientes ao longo do ciclo de vida

Ciclo de vida	Clientes	Necessidades dos clientes
Projeto	Internos (Equipe de projeto)	Fabricação simples
Produção	Internos (Equipe de projeto)	Peças padronizadas Proteção das partes móveis Peso leve
Comercialização	Intermediários (Vendedores)	Economicamente viável
Operação	Externos (Agricultores familiares)	Formação de camalhão Facilidade de acoplamento Abertura do sulco Dosagem na medida certa Deposição na profundidade correta Facilidade de transportar
Regulagem	Externos (Agricultores familiares)	Facilidade de regular
Manutenção	Externos (Agricultores familiares)	Simple manutenção Resistente ao desgaste

Fonte: elaborada pela autora.

Nesse enfoque, identificou-se a deficiência no que diz respeito a maquinário destinado aos agricultores familiares para executar determinadas tarefas, que são realizadas de forma animal e/ou manual e que, possui grande potencial de mecanização, levando em

consideração a cultura, características da região, tipo de solo e manejo. Esses resultados permitiu que se chegassem às necessidades dos clientes. De posse das necessidades dos clientes, as mesmas foram transformadas em requisitos dos clientes. Nesta fase listaram-se os requisitos e especificação da semeadora-adubadora. Atentou-se para requisitos que atendessem os princípios da semeadura convencional e as necessidades para a cultura do milho. A fim de estabelecer os requisitos de projeto, cada requisito de cliente foi vinculado a atributos para seu melhor esclarecimento, dificultando que mais de um requisito desempenhasse a mesma função. Os atributos são listados a seguir:

1. Ter processo de fabricação simples: deve-se priorizar pelo uso de processos de fabricação existente no mercado e de componentes padronizados.
2. Ser economicamente viável: deve apresentar valor de mercado compatível com a situação econômica dos produtores de base familiar.
3. Ter precisão na formação do camalhão: este é o requisito condicionante do protótipo, fazendo parte da função que o mesmo deve desempenhar, de acordo com o tipo de solo, características da região e regulagem.
4. Ser fácil de acoplar: não deve apresentar mecanismos complexos de acoplamentos, uma vez que, trata-se de uma máquina de baixo custo.
5. Ser eficaz na abertura do sulco: realizar a abertura do sulco é um requisito condicionante da máquina, fazendo parte da função que a mesma deve desempenhar.
6. Ter precisão na dosagem: capacidade de dosar a quantidade de adubo necessária, também é um requisito condicionante da máquina.
7. Ter precisão na deposição: deve ser capaz de manter a uniformidade de semeadura, é o requisito condicionante responsável pela deposição da semente no solo.
8. Ter baixo peso: deve apresentar peso leve para facilitar o uso e as manobras e redução de custos operacionais.
9. Ter proteção das peças móveis: o fator segurança é primordial quando opera com máquinas agrícolas, esse requisito é importante para evitar que algum componente se solte e cause riscos de acidentes ao operador.
10. Ser fácil de transportar: deve-se adequar-se às propriedades rurais.
11. Ser fácil de regular: possuir acesso facilitado aos pontos de regulagem.
12. Ser de simples manutenção: possuir baixo custo de manutenção e facilidade na limpeza.
13. Ser resistente ao desgaste: boa resistência nos discos abridores de sulcos, e resistência contra a corrosão e desgastes das engrenagens, dosadores de semente e adubo.

14. Ter peças padronizadas: facilidade de aquisição e de baixo custo.

Definido os requisitos de clientes, estes foram comparados com uma classificação abrangente dos atributos do produto proposta por Fonseca (2000) (Figura 17).

Figura 17- Lista de verificação dos requisitos gerais do projeto

Atributos gerais	Atributos básicos	Funcionamento	Variação da abertura do sulco Dosagem recomendada Densidade de semeadura	
		Econômico	Custo de fabricação Custo de produção	
		Confiabilidade	Vida útil	
		Mantenabilidade	Intervalo de manutenção	
Atributos específicos	Atributos materiais	Geométricos	Dimensões	Altura do camalhão Largura de trabalho
		Material	Peças padronizadas	
		Peso	Peso total do implemento	
	Atributos de controle	Controle	Tempo de acoplamento Duração da regulagem	
		Estabilidade	Dar mobilidade	

Fonte: Baseado na proposta de Fonseca (2000).

Para hierarquizar os requisitos de projeto, primeiramente foi realizada a valoração dos requisitos dos clientes, por meio da ferramenta diagrama de Mudge (Figura 18). Cada célula foi preenchida com um número e uma letra, o número representa qual dos requisitos de clientes, em comparação, é mais importante. Já a letra representa o quanto o requisito escolhido é mais importante que o outro, sendo atribuídos valores de 1 para A, 3 para B e 5 para C. A partir do somatório de pontos de cada requisito, nas linhas e colunas, foi determinada a porcentagem da pontuação de cada requisito em relação ao total de pontos.

A hierarquização dos valores de importância foi dividida em 10 classes, obtidos por meio da inserção dos dados em histograma com amplitude variando de 0- 46. A cada intervalo foi atribuída pontuação que variou de 1 a 10. Quanto maior esse valor, maior o grau de importância para o projeto (Tabela 4). O requisito do cliente mais importante, após aplicação da ferramenta do diagrama de Mudge foi ser resistente ao desgaste (17,2%), seguido por precisão na deposição (15,6%) e facilidade de reposição de peças (12,7%). O requisito menos importante foi fácil de acoplar (0,1%), processo de fabricação simples (0,3%) e baixo peso (0,9%).

Figura 18 – Diagrama de Mudge empregado na valoração

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	St	%
1	2C	3C	1B	5C	6C	7C	8B	9C	1C	11C	12C	13B	14B	8	0,3
	2	2B	2C	2B	6C	7C	2B	9B	2C	2B	2B	2B	2A	68	2,5
		3	3C	5B	6B	7C	3C	3A	3B	3B	3A	3B	3A	81	3,0
			4	5C	6C	7C	4A	9B	10A	11A	12C	13B	14B	4	0,1
				5	6C	7C	5C	5A	5C	5C	5B	5B	5B	170	6,4
					6	7A	6C	6B	6C	6C	6C	6B	6B	312	11,8
						7	7C	7B	7C	7C	7C	7C	7C	413	15,6
							8	9C	10C	11C	12B	13C	14C	24	0,9
								9	10C	11B	12B	13C	14C	194	7,3
									10	11B	12C	13C	14C	110	4,1
										11	11A	13C	11A	209	7,9
											12	13A	14B	252	9,5
												13	13B	455	17,2
													14	336	12,7
														2636	100

Requisitos dos clientes

1. Ter processo de fabricação simples
2. Ser economicamente viável
3. Ter precisão na formação do camalhão
4. Ser fácil de acoplar
5. Ser eficaz na abertura do sulco
6. Ter precisão na dosagem
7. Ter precisão na deposição
8. Ter baixo peso
9. Ter proteção das peças móveis
10. Ser fácil de transportar
11. Ser fácil de regular
12. Ser de simples manutenção
13. Ser resistentes ao desgaste
14. Ter facilidade de reposição de peças

Perguntas feitas ao relacionar os requisitos:

1. Qual dos requisitos é mais importante?
R. Escrever o número do requisito.
2. Quanto mais importante é o requisito?
R. Escrever uma letra.

Significado das letras:

A – um pouco mais importantes (1)
B – medianamente mais importantes (3)
C – muito mais importante (5)

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 4 - Hierarquização dos requisitos dos clientes

Nº	Requisitos dos clientes	Hierarquização (%)	Classe
1	Ter processo de fabricação simples	0,3	1
2	Ser economicamente viável	2,5	2
3	Ter precisão na formação do camalhão	3,0	2
4	Ser fácil de acoplar	0,1	1
5	Ser eficaz na abertura do sulco	6,4	4
6	Ter precisão na dosagem	11,8	7
	Ter precisão na deposição	15,6	9
8	Ter baixo peso	0,9	1
9	Ter proteção das peças móveis	7,3	5
10	Ser fácil de transportar	4,1	3
11	Ser fácil de regular	7,9	5
12	Ser de simples manutenção	9,5	6
13	Ser resistentes ao desgaste	17,2	10
14	Ter facilidade de reposição de peças	12,7	8

Fonte: elaborada pela autora.

Na Figura 19, tem-se a matriz da casa de qualidade (QFD), com os requisitos dos clientes com os valores das classes obtidos. Também são apresentados os demais dados de entrada que foram necessários para a aquisição das hierarquizações com e sem telhado, encontrados na parte inferior da mesma (APÊNDICE). Esta ferramenta foi aplicada pela

equipe de projeto estabelecendo os níveis de relacionamentos entre os requisitos de projeto/cliente. Os requisitos de projeto que representaram de maneira mais completam os requisitos dos clientes foram organizados na Tabela 5, onde foram definidas as metas a serem atingidas, bem como as formas de avaliação dos requisitos de projeto determinados.

Figura 19 - Matriz casa da qualidade

Requisitos do projeto		Requisitos dos clientes														
		Ter processo de fabricação simples	Ser economicamente viável	Ter precisão na formação do camalhão	Ser fácil de acoplar	Ser eficaz na abertura do sulco	Ter precisão na dosagem	Ter precisão na deposição	Ter baixo peso	Ter proteção das peças móveis	Ser fácil de transportar	Ser fácil de regular	Ser de simples manutenção	Ser resistente ao desgaste	Ter facilidade de reposição	Valor do cliente
Custo de fabricação (R\$)	●	○		○	●		◇	●		○	●		●	●	1	
Custo de produção (R\$)	○	○						●	○	◇			○		2	
Altura do camalhão (m)			●		○	◇	○			●					2	
Tempo de acoplamento (min)				●											1	
Varição da abertura do sulco (m)				●	●			●					○		4	
Dosagem recomendada (kg ha ⁻¹)					●	●				●			○		7	
Densidade de semeadura (sem m ⁻¹)		●			●	●				●					9	
Peso total do implemento (N)								●							1	
Largura de trabalho (m)	●														5	
Dar mobilidade (m)										○					3	
Duração da regulagem (min)					●	●									5	
Intervalo de manutenção (h)		○		◇							●	●	●		6	
Vida útil (h)	●				●								●	●	1	
Peças padronizadas (%)	●										◇		◇		0	
															8	
Classificação sem a concorrência		12	2	78	30	1	147	0	82	20	47	26	75	82	56	13
Valor da matriz principal		3°	7°	10°	14°	2°	1°	4°	°	9°	°	11°	6°	5°	8°	13°

Fonte: Baseado e adaptado de Reis (2003).

Tabela 5 - Especificação do projeto sem o critério do telhado

Nº	Requisitos do projeto	Valor meta	Forma de Avaliação
1	Dosagem recomendada	9,8 g m ⁻¹	Análise de Projeto
2	Variação da abertura do sulco	Vai depender do tipo de solo	Teste de campo
3	Custo de fabricação	Menor possível	Análise de Projeto
4	Densidade de semente	4 -5 sementes m ⁻¹	Análise de Projeto
5	Intervalo de manutenção	10 h	Teste de campo
6	Duração da regulagem	10 m	Teste em campo
7	Custo de Produção	Não medido para protótipo	-
8	Vida útil	1.000 h	Análise de Projeto
9	Largura do trabalho	0,45 a 0,90 m	Teste de campo
10	Altura do camalhão	15 cm	Teste de campo
11	Dar mobilidade	Regulagem, espaçamento	Teste de campo
12	Peso total do implemento	498 kg	Análise de Projeto
13	Peças padronizadas	70%	Análise de Projeto
14	Tempo de acoplamento	10 min	Teste de campo

Fonte: elaborada pela autora.

5.2 Projeto conceitual

Na primeira etapa do projeto conceitual verificou-se o escopo do problema analisando-se as especificações e identificando-se as restrições do projeto, no sentido de escolher a concepção mais adequada para a realização das tarefas propostas (Figura 20). Adotou-se a hierarquização sem telhado, devido a priorização de itens relativos aos custos.

Figura 20 – Esquema montado para verificação do escopo do problema

1º passo	2º passo	3º passo	4º passo	5º passo
Dosagem recomendada	Dosagem recomendada	Dosar adubo	Dosagem do adubo	Abrir o sulco no solo para formação do camalhão e realizar o processo de semente
Variação da abertura do sulco	Variação da abertura do sulco	Abertura do sulco	Abertura do sulco e formação do camalhão	
Custo de fabricação	Altura do camalhão	Formação do camalhão	Dosagem de semente	
Densidade de semente	Densidade de semente	Dosar semente		
Intervalo de manutenção				
Duração da regulagem				
Custo de Produção				
Vida útil				
Largura do trabalho				
Altura do camalhão				
Dar mobilidade				
Peso total do implemento				
Peças padronizadas				
Tempo de acoplamento				

Fonte: Baseado de Pahl *et al.* (2005)

Definido o escopo do problema: abrir o sulco no solo, formar o camalhão e realizar o processo de semeadura. Partiu-se para a busca de combinar princípios de soluções, de modo a atender o escopo do problema. A matriz morfológica foi utilizada para a busca dos princípios de solução para os componentes do protótipo (Figura 21). Priorizaram-se soluções de fácil aquisição comercial identificadas na bibliografia e em produtos similares disponíveis no mercado.

Figura 21 – Matriz morfológica da semeadora-adubadora para o sistema de camalhão

Componentes	Conceito					
	1	2	3	4	5	6
Discos abridores de sulco	Discos lisos simples	Discos lisos duplos	Discos recortados	Discos lisos duplos divergentes	Discos lisos duplos convergentes	Discos duplos côncavos
Fixação dos discos ao chassi	Haste com geometria cilíndrica	Haste com geometria reta	Haste com geometria quadrada	Haste com geometria curva		
Regulagem de atuação dos discos	Ângulo Horizontal	Ângulo Vertical	Ângulo Horizontal e vertical	Sem angulação		
Material dos discos	Ferro fundido	Aço 1020	Aço 1010	Metalon	Plásticos	
Mecanismos distribuidor de fertilizantes	Rotor dentado	Rosca sem fim	Esteiras	Roseta helicoidal	Disco estrela	Centrifugo
Mecanismo Dosador de sementes	Correia perfurada	Pneumático	Mecânico	Dedos preensores	Cilindro cancelado	Discos perfurados
Reservatórios de fertilizantes e sementes	Individuais	Duas seções	Única seção	Individuais dentro de uma seção		
Posição do dosador de sementes	Vertical	Transversal	Horizontal	Inclinado	Suspensão	
Sistema condutor de adubo e sementes	Tubo telescópio	Tubo sanfonados	Tubo de borracha	PVC	Tubo retangular	Tubo perfil parabólico
Mecanismos para abertura de sulcos para deposição de semente e fertilizantes	Disco simples	Facão	Discos duplos	Enxadas	Haste	
Sistema de transmissão	Mistos	Eixo	Engrenagens	Cabo flexível	Corrente	Correia
Compactadores de sementes	Roda dupla angulada	Roda dupla com nervura	Roda Convexa	Discos duplos	Rodas de borracha	Rodas de ferro

Fonte: elaborada pela autora.

Para a combinação dos princípios de solução foram concebidas três combinações distintas uma das outras dos principais componentes do protótipo. A concepção formada é

constituída de discos lisos duplos para a realização da abertura do sulco no solo, a fixação abridores de sulco ao chassi é realizada por meio de haste com geometria plana. Os discos abridores de sulco dispõem de regulagem horizontal, vertical e de profundidade fabricados em aço carbono 1020. O mecanismo de distribuição de fertilizantes é composto de uma rosca sem fim para regulagem da dosagem de adubo. O mecanismo de distribuição de sementes é constituído de disco dosador perfurado na horizontal. Os reservatórios de semente e adubo são individualizados numa única seção. O sistema condutor de semente e adubo é constituído de tubo de borracha, sendo que os mecanismos abridores do sulco para deposição de semente e adubo são constituídos de discos duplos desencontrados. Toda transmissão de movimento é efetuado por meio de correntes, engrenagens e cabo flexível. Além da roda compactadora de sementes serem constituída de roda de ferro.

5.3 Projeto Preliminar

Após a definição do conceito do protótipo, pôde-se elaborar o leiaute dos sistemas que irá compor o protótipo para realizar o processo de semeadura no sistema de camalhão. Alguns sistemas não foram aprofundados neste tópico por se tratar de módulo comercial existente.

Os dispositivos abridores tem a função de abrir o sulco e formar o camalhão. Os mesmos foram constituídos de discos lisos côncavos, diâmetro de 28 in, presos a braços de fixação responsável pela regulagem horizontal e vertical dos discos (Figura 22). Todos esses componentes foram fixados por meio de presilhas a tudo redondo de 300 mm para regulagem dos discos e outro de 500 mm para regulagem da profundidade.

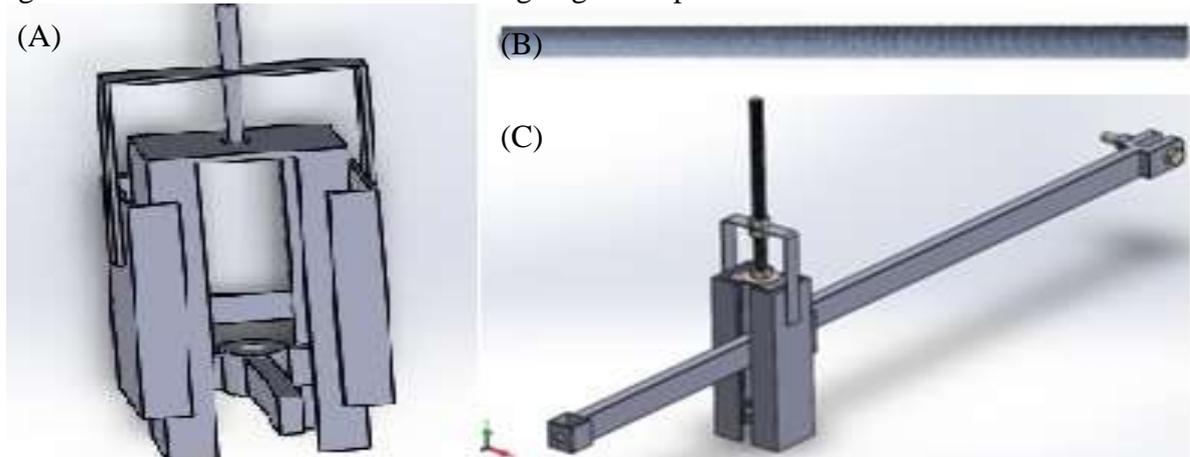
Figura 22 – Abridores de sulco



Fonte: elaborada pela autora.

As linhas de semeadura são constituídas de linhas segmentadas com regulador de profundidade da linha (Figura 23A), ao qual possui eixo roscado (Figura 23B) para regulagem e sistema amortecedor para absorção de impactos. As linhas de semeaduras foram fixadas ao chassi por meio de calhas de ferro, perfil em U, tubo retangular de 300 mm de altura, com 5 opções de regulagem de profundidade da linha (Figura 23C).

Figura 23 – Linhas de semeadura com regulagem de profundidade



Fonte: elaborada pela autora.

5.4 Projeto detalhado

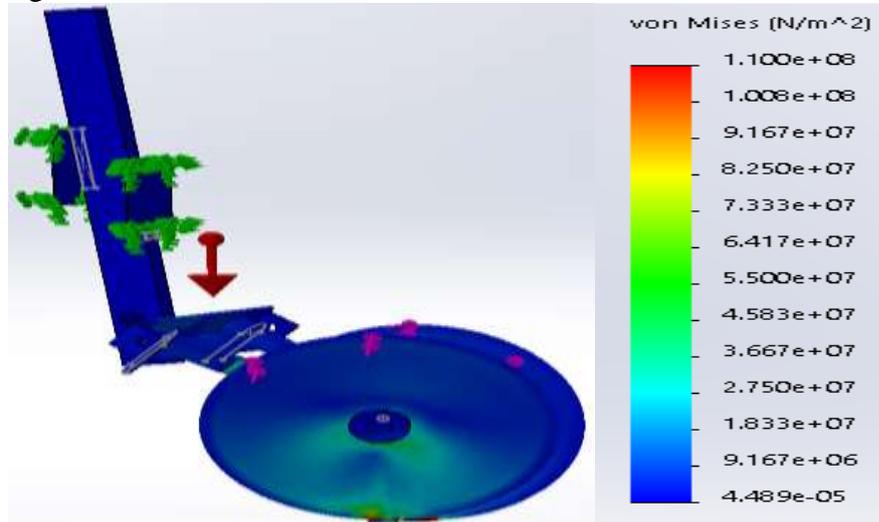
A fase do projeto detalhado dá sequência à metodologia proposta por Rozenfeld *et al.* (2006), que tem como objetivo desenvolver e finalizar as especificações do projeto.

5.4.1 Tensão de Von Mises

Os dispositivos abridores foram considerados os elementos mais críticos do projeto, assim foram submetidos à tensão de Von Mises considerando 100% do limite do material (Figura 24), 50% do limite do material nos discos abridores (Figura 25), 20% na parte de fixação da haste dos discos a haste de fixação ao chassi (Figura 26), e 5 e 0,1% na haste de fixação dos dispositivos ao chassi (Figura 27). Os resultados obtidos mostraram que o material utilizado (aço carbono SAE 1020) resistirá aos esforços submetidos, já que o limite de escoamento é de 350 MPa. As concentrações de tensões geradas no centro do disco não refletem exatamente a realidade, pois, na simulação ocorre uma situação de travamento, o que nunca vem a acontecer na presença de um rolamento. A concentração de tensão no disco na área em contato com o solo se deve à presença da geometria do elemento modelado para

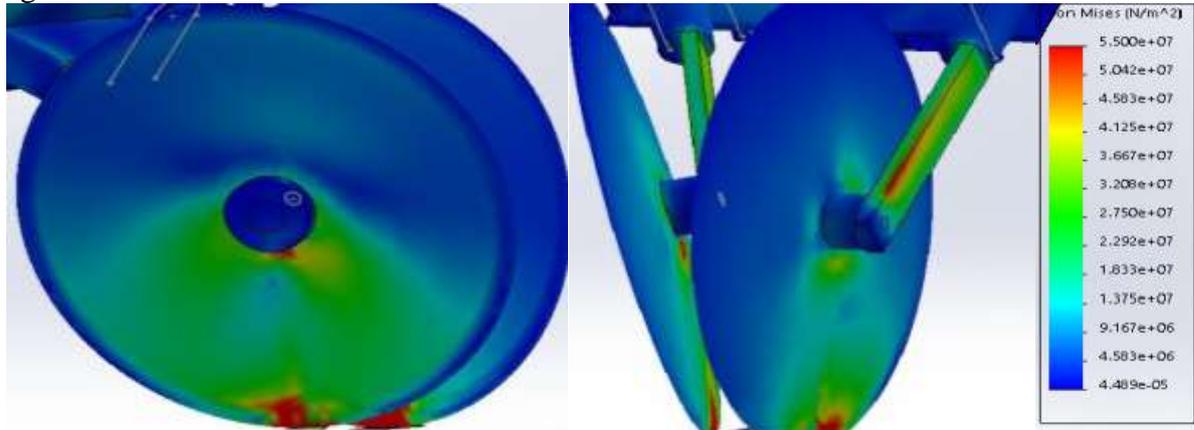
poder fazer o contato da peça com o solo. Estima-se que as tensões realmente existentes estão corretamente demonstradas em um avanço de cerca de 10% do raio.

Figura 24 – Escala de tensão em 100% do limite do material



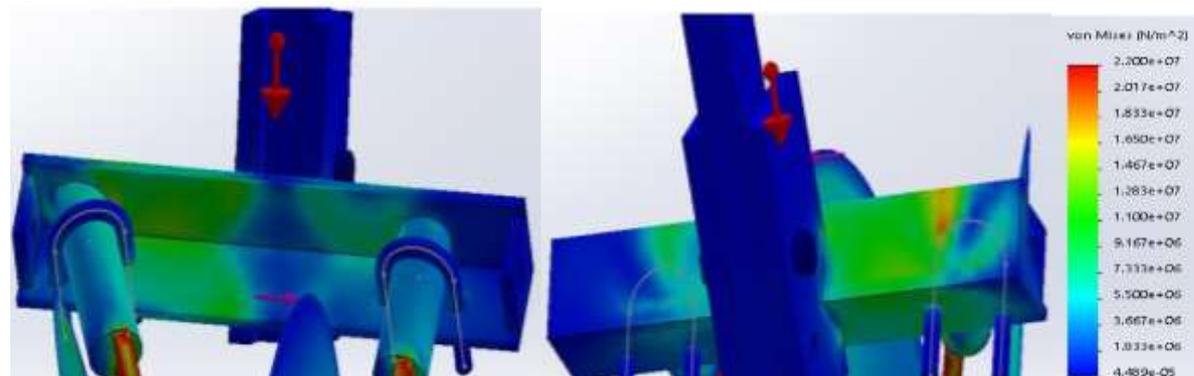
Fonte: elaborado pela autora.

Figura 25 - Escala de tensão em 50% do limite do material



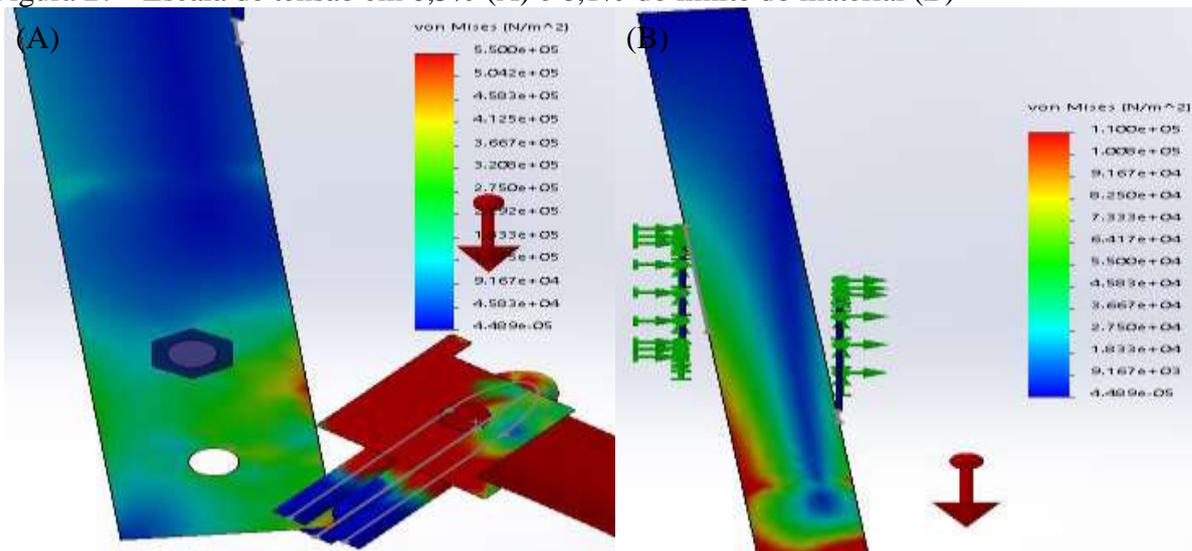
Fonte: elaborado pela autora.

Figura 26 - Escala de tensão em 20% do limite do material



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 27 - Escala de tensão em 0,5% (A) e 0,1% do limite do material (B)



Fonte: elaborado pela autora.

5.4.2 Dimensionamento do sistema de transmissão

A regulagem do sistema de transmissão foi realizada considerando o perímetro do rodado do protótipo (2,48 m) e a relação de transmissão entre coroa e pinhão (1:4) com disco dosador horizontal com 27 furos para a cultura do milho (Tabela 6). Para a regulagem do adubo, considerou-se: a relação de transmissão entre E1/E2 e a quantidade de adubo por volta (g volta^{-1}). Esse procedimento foi repetido por cinco vezes para cada variável. A capacidade dos reservatórios de semente e adubo foi de 20 kg (20 L), a densidade da semente $0,81\text{g mL}^{-1}$ e do adubo $1,12\text{g mL}^{-1}$. Segundo Embrapa (2010), em espaçamentos de 0,90 m recomenda-se densidade $55.000\text{ plantas ha}^{-1}$ a 5 km h^{-1} , principalmente, quando utilizam plantadoras a disco, portanto, a marcha escolhida para a avaliação do protótipo foi a 2ª marcha, a que mais se aproximou da população desejada.

Tabela 6 – Regulagem de semente e adubo

M	E1/E2	Rt	Rt	NSM	EES	Pop	Qadubo		
							(g volta^{-1})	(g m^{-1})	kg ha^{-1}
1ª	39/14	1,4	0,69	7,4	0,13	74.000	24,30	9,79	217,55
2ª	34/19	1,4	0,44	4,7	0,21	47.000	17,44	7,03	156,22
3ª	27/20	1,4	0,33	3,5	0,28	35.000	13,23	5,33	125,41
4ª	24/22	1,4	0,27	2,9	0,34	29.000	10,68	4,30	95,55
5ª	30/32	1,4	0,23	2,4	0,40	24.000	9,11	3,67	81,55

M – marcha da caixa de câmbio, Rt – relação de transmissão (coroa/pinhão), Rt – relação de transmissão E1/E2), Rt – relação de transmissão para regulagem da semente, NSM – número de semente por metro (semente m^{-1}), EES – espaçamento entre sementes (m), Pop – poluição de plantas (plantas ha^{-1}), Qadubo – quantidade de adubo.
Fonte: elaborada pela autora.

5.4.3 Construção do Protótipo

A construção do protótipo foi realizada no Laboratório de Mecânica e Materiais do IFCE, Campus de Limoeiro do Norte, CE. Para essa fase foram utilizados os processos de corte, solda, furação e dobramento. O material selecionado para a confecção das peças foi o aço SAE 1020 laminado, limite de escoamento de 350 MPa. Na escolha do material levaram-se em consideração: a facilidade de aquisição e soldagem das peças. O detalhamento dos materiais e serviços adquiridos, os processos de fabricação e equipamentos utilizados para confecção e/ou instalação dos mecanismos e/ou peças do protótipo encontram-se nas Tabelas 7 e 8, respectivamente.

Tabela 7 – Detalhamento dos materiais e serviços

Item	Serviços	Material necessário
1	Chassi e articulação do chassi com amortecedor	Amortecedor utilizado em motos, com mola de retorno; Pino metálico aço carbono SAE 1020 com fixação por meio de presilha; Chapas metálicas aço carbono SAE 1020 com furos de 12 mm nas extremidades; Cantoneiras em formato U metálicas aço carbono SAE 1020 para fixação dos amortecedores.
2	Discos abridores	Discos metálicos, côncavos, lisos, com 28 polegadas de diâmetro, fixados com suportes rolamentados no centro.
3	Mecanismo de regulagem de profundidade da semente	Cantoneiras em formato “U” metálicas aço carbono SAE 1020 para fixação do mecanismo distribuidor de sementes no chassi, permitindo movimento de subida e descida do conjunto; Fusos e bases roscados metálicos aço carbono SAE 1020 fixados nas cantoneiras em U e no mecanismo distribuidor de sementes; Chapas metálicas aço carbono SAE 1020 com furos de 12 mm nas extremidades.
4	Mecanismo para alteração de rotação do distribuidor de sementes e adubo	Cabo de aço flexível para transmissão de rotação (torque) proveniente dos rodados até caixa seletora de rotação para os distribuidores de sementes e adubo; Chapas, eixos e rodas dentadas metálicas aço carbono SAE 1020 para fabricação da caixa seletora (permite alteração) de rotação.
5	Barra estabilizadora na parte traseira	Chapas dobradas, cantoneiras (U ou L) ou perfil 20 x 50 mm metálico aço carbono SAE 1020 para fixação da parte traseira das linhas de semeadura.
6	Pintura	Lixa metálica para remoção e limpeza das superfícies a serem tintadas; Solvente para limpeza das superfícies e diluição da tinta; Aplicação de base anti-oxidação (ferrugem) em duas demãos; Tinta a base de óleo aplicada com pistola pneumática em duas demãos.

Fonte: elaborada pela autora.

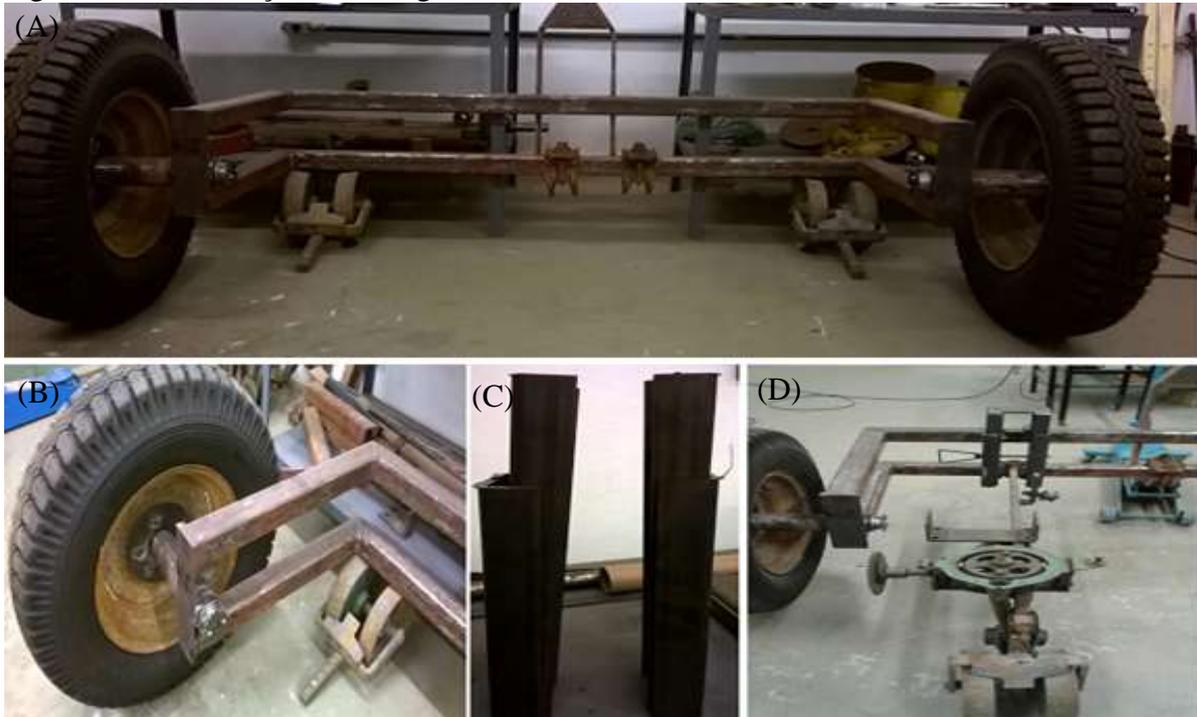
Tabela 8 – Processos de fabricação e equipamentos utilizados

Item	Equipamento utilizado	Operação
1	Torno mecânico	Faceamento, cilindragem externa, abertura de rosca, corte transversal
2	Fresa universal	Abertura de rasgos, desbaste, furação
3	Máquina de solda	Soldagem por arco elétrico, soldagem TIG
4	Furadeira de bancada	Furação vertical
5	Esmerilhadeira	Corte com disco circular, desbaste.
6	Serra alternativa	Corte em tubos, tarugos e chapas

Fonte: elaborada pela autora.

A construção e montagem do protótipo iniciaram-se com a fabricação do chassi e sua fixação no eixo do rodado. O chassi foi constituído de duas barras paralelas (1,71 m de comprimento, 0,70 m de comprimento na lateral e diâmetro de 0,24 m) com a função de suportar o sistema de levante hidráulico, os abridores de sulco e as linhas de semeadura (Figura 28A e 28B). Para sua confecção, foram realizados os processos de corte, solda, furação e dobramento. A união dos perfis ocorreu através do processo de soldagem. Nessa etapa, também foram soldados ao chassi, calhas de ferro de 0,40 e 0,70 m responsáveis pela fixação das linhas de semeadura (Figura 28C e 28D).

Figura 28 – Construção e montagem do chassi



Fonte: elaborada pela autora.

Os dispositivos de abertura de sulco e formação do camalhão foram constituídos de discos metálicos côncavos com 0,33 m (13 in) de diâmetro, fixados com suporte de rolamentos no centro até uma barra de ferro reta de 0,19 m e barra arredondada de 0,14 m (Figura 29A). Na barra de ferro reta havia uma barra de ferro transversal de 0,12 m que foi soldada a barra reta para ser utilizada como reforço evitando que a mesma sofresse alguma torção durante os testes (Figura 29 B). Todos esses componentes foram fixados a uma barra de ferro de 0,30 m, na qual é possível fazer a regulagem horizontal e vertical dos discos, e uma barra de ferro de 0,50 m para a regulagem da profundidade (Figura 29C e D) utilizando para fixação placas de ferro e parafusos (Figura 29 C).

Figura 29 – Construção e montagem dos discos abridores



Fonte: elaborada pela autora.

Construído o chassi, também foi realizada a montagem do amortecedor ao chassi, esse amortecedor foi utilizado para suportar os impactos causados na linha de semeadura. As linhas de semeaduras estão fixadas ao chassi por meio de calhas de ferro (Figura 30A e 30B) de 0,30 m de altura, aço 1020 laminado, com 5 opções de regulagem de profundidade da linha. O sistema distribuidor de adubo e semente é constituído de rosca helicoidal e disco dosador horizontal, ambos, montado abaixo do reservatório com capacidade de 20 L (20 kg) com tubo condutor em polietileno de 0,50 m para condução do adubo e semente ao solo (Figura 31A e 31B). Os abridores de sulco para a colocação do adubo foi constituído de sulcadores de discos desencontrados com diâmetro de 0,30 m (12 in) (Figura 31C e 31D).

Figura 30 – Construção e montagem do amortecedor



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 31 – Sistema de distribuição de adubo e semente



Fonte: elaborada pela autora.

O sistema de transmissão responsável por acionar todos os mecanismos dosadores foi constituído por rodados, engrenagens, correntes e cabo flexível (Figura 32). O sistema de

rodado foi constituído de pneu diagonal 7x16, super traction, 10 lonas, carga máxima de 1150 kg e peso de 8 kg cada. A caixa de câmbio com 5 marchas foi utilizada para proporcionar variação de rotação no eixo do distribuidor de sementes e do distribuidor de adubo. As demais transmissões de movimento da caixa de marcha para os dosadores foram realizadas por meio de correntes e cabo flexível. Ao final obteve-se o protótipo da semeadora-adubadora montado com os seus componentes (Figura 33).

Figura 32 – Sistema de transmissão



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 33 – Protótipo finalizado



Fonte: elaborada pela autora.

5.5 Avaliação do protótipo

Para a avaliação o protótipo foi utilizado o espaçamento de 0,90 m entre linhas, densidade de semeadura de 4 a 5 sementes por metros e densidade do adubo de $7,9 \text{ g m}^{-1}$. No momento da avaliação do protótipo o solo da área experimental apresentava teor de umidade de 18,02% e resistência mecânica do solo à penetração de 1,28 MPa (Figura 34).

Figura 34 – Momento da avaliação do protótipo



Fonte: elaborada pela autora.

5.5.1 Qualidade do processo de semeadura

5.5.1.1 Distribuição longitudinal de sementes

A distribuição longitudinal de sementes demonstrou normalidade dos dados por meio do teste de Anderson-Darling em todos os tratamentos avaliados (Tabela 9). O coeficiente de variação foi considerado baixo para o espaçamento normal/aceitáveis, médio e elevado para os espaçamentos múltiplos e falhos (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002). Os valores médios de espaçamentos normais estiveram acima de 70% em todos os tratamentos, no entanto, a elevação da velocidade contribuiu com a redução dos espaçamentos aceitáveis proporcionando falhas na semeadura. Coelho (1996) afirma que valores de regularidade de distribuição longitudinal de semente para semeadoras mecânicas são de, no máximo, 75%, corroborando com os resultados encontrados nos tratamentos S1V2, S2V1 e S2V2. O índice de espaçamentos múltiplos e falhos pode ter ocorrido devido travamento do disco dosador, posicionamento das sementes dentro do sulco e umidade do solo inadequada para semeadura, abertura do sulco e formação do camalhão. Esses resultados corroboram com os obtidos por

Bottega *et al.* (2014), Garcia *et al.* (2006) e Mahl *et al.* (2004) ao estudarem a velocidade de deslocamento na semeadura da cultura do milho.

Tabela 9 - Estatística descritiva para a distribuição longitudinal de sementes

Tratamento	\bar{X}	σ	CV	C_s	C_k	AD
Distribuição longitudinal de sementes – normal (%)						
S1V1	77,50	7,88	10,16	-1,19	0,44	0,37 ^N
S1V2	73,33	4,71	6,43	-1,41	1,50	0,41 ^N
S2V1	75,00	4,30	5,74	-0,00	-1,20	0,15 ^N
S2V2	72,50	6,31	8,70	-1,66	2,62	0,48 ^N
Distribuição longitudinal de sementes – múltiplo (%)						
S1V1	11,67	5,77	69,28	1,54	2,89	0,45 ^N
S1V2	12,09	2,72	40,82	-0,00	1,50	0,28 ^N
S2V1	11,23	3,19	34,82	0,85	-1,29	0,35 ^N
S2V2	14,50	4,30	51,64	0,00	-1,20	0,15 ^N
Distribuição longitudinal de sementes – falho (%)						
S1V1	10,83	1,84	20,56	-0,88	1,93	0,32 ^N
S1V2	14,58	1,26	52,75	-1,51	2,08	0,38 ^N
S2V1	11,72	3,65	59,44	0,55	-1,14	0,19 ^N
S2V2	13,77	1,51	39,66	-0,00	-4,71	0,30 ^N

\bar{X} – média, σ – desvio padrão, CV – coeficiente de variação, C_s – coeficiente de assimetria, C_k – coeficiente de curtose, AD – teste de normalidade de Anderson-Darling (N – normal, A – não normal), S1 – semeadura no sulco, S2 – semeadura no camalhão, V1 – 3,05 km h⁻¹, V2 – 4,24 km h⁻¹.

Fonte: elaborada pela autora.

Para Frabetti *et al.* (2011), as semeadoras convencionais apresentam problemas na uniformidade de distribuição das sementes na linha de semeadura, devido a rebotes das sementes no duto de distribuição e seu rolamento no sulco. Reynaldo *et al.* (2015) avaliaram a distribuição longitudinal de sementes de milho e encontraram distribuição de sementes de 89,6% de espaçamentos aceitáveis, 6,4% de espaçamentos múltiplos e apenas 4% de espaçamentos falhos considerando esses valores satisfatório.

5.5.1.2 Espaçamentos entre sementes

A estatística descritiva para o espaçamento entre sementes demonstrou que os dados não seguiram uma distribuição normal, a amplitude e o desvio padrão apresentaram baixos valores, no entanto, o coeficiente de variação foi elevado (>30%) (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002). Os coeficientes de assimetria apresentaram baixos valores, indicando que os resultados estão bem distribuídos em torno da média. Os coeficientes de

curtose, valores de ordem negativa se sobressaíram, indicando distribuições consideradas platicúrticas (Tabela 10).

Tabela 10 – Estatística descritiva para o espaçamento entre sementes

Tratamento	\bar{X}	σ	CV	Med	A	Cs	Ck	AD
S1V1	0,24	0,07	29,43	0,25	0,28	-0,65	-0,09	2,36 ^A
S1V2	0,25	0,08	34,34	0,30	0,30	-0,44	-1,05	4,04 ^A
S2V1	0,23	0,08	38,57	0,25	0,29	-0,13	-1,19	3,15 ^A
S2V2	0,23	0,09	39,40	0,23	0,39	0,26	-0,70	1,81 ^A

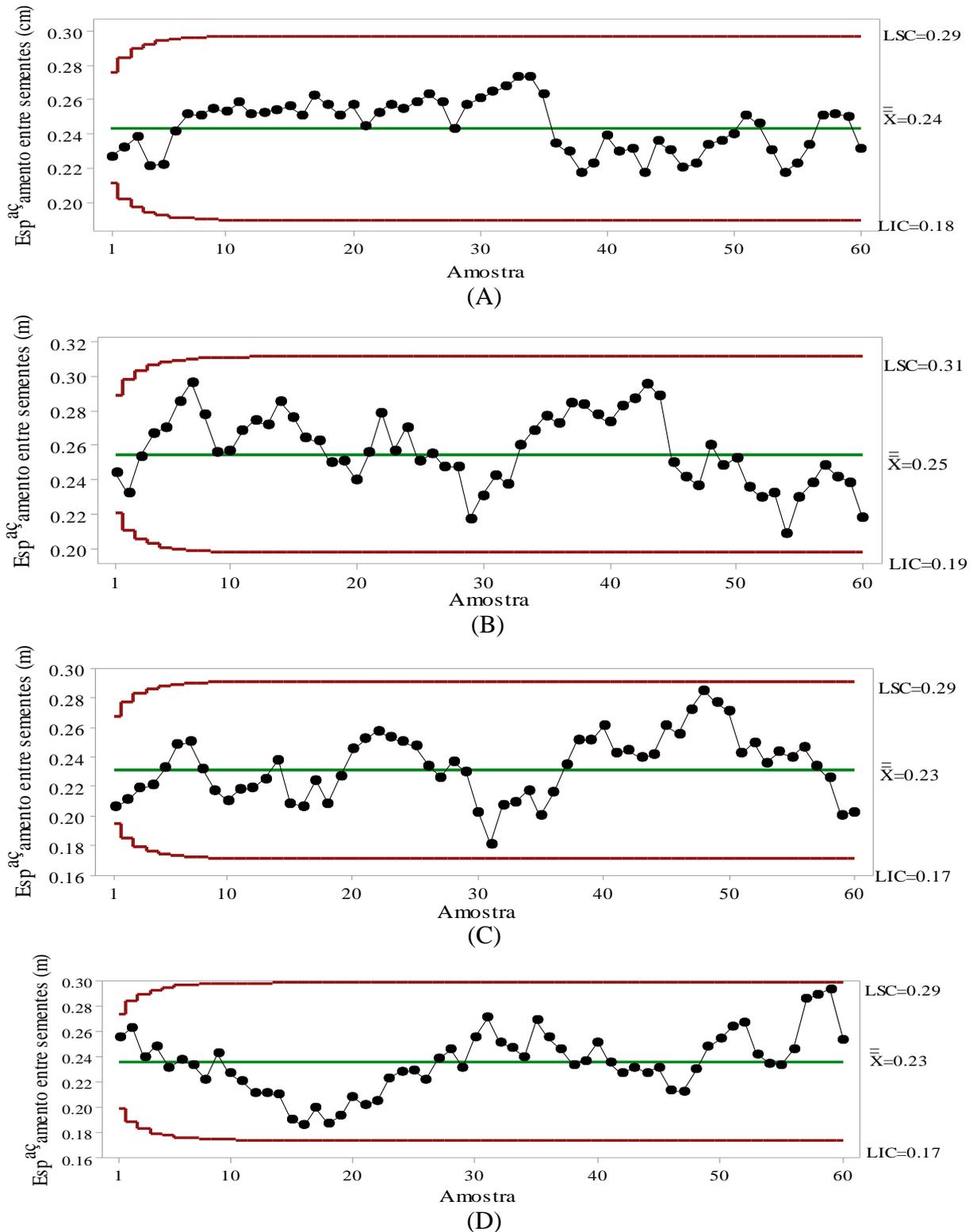
\bar{X} – média (cm), σ – desvio padrão (cm), CV – coeficiente de variação (%), Med – mediana (cm), A – amplitude (cm), Cs – coeficiente de assimetria, Ck – coeficiente de curtose, AD – teste de normalidade de Anderson-Darling (N – normal, A – não normal), S1 – semeadura no sulco, S2 – semeadura no camalhão, V1 – 3,05 km h⁻¹, V2 – 4,24 km h⁻¹.

Fonte: elaborada pela autora.

Observa-se que o protótipo apresentou médias de espaçamento entre sementes de 0,24, 0,25, 0,23 e 0,23 m, respectivamente, nos tratamentos S1V1, S1V2, S2V1 e S2V2. Desta forma, fica evidente que os valores do espaçamento encontram-se acima do valor para qual foi regulado (0,21 m), indicando que houve irregularidade durante o processo de distribuição das sementes. Resultado possivelmente associado ao índice de deslizamento da roda de acionamento do protótipo da semeadora-adubadora. Segundo Reynaldo *et al.* (2015) para que a semeadura obtenha resultados satisfatórios, deve-se respeitar os limites de velocidade recomendada, as condições de umidade do solo, fazer a regulagem do mecanismo dosador, realizar a regulagem e verificar o estado dos mecanismos de abertura de sulco, limitador de profundidade e fechamento do sulco.

Pelo gráfico de controle (Figura 35), percebe-se que o processo para a qualidade do espaçamento entre sementes, manteve-se estável, desta forma, pode-se considerar que apenas causas naturais atuaram no decorrer do processo. O espaçamento definido no projeto foi de 0,21 m, no entanto, todos os tratamentos apresentaram valores médios superiores a este. Resultado associado possivelmente ao peso provocado pelas sementes sobre o disco dosador, devido à falta de acessório para minimizar o peso da semente no reservatório, ocorrendo travamento dos discos, e a folga o sistema de transmissão. Melo *et al.* (2013) utilizaram cartas de controle da média móvel exponencial ponderada para monitorar a qualidade do processo de semeadura em função das velocidades de 4 e 7 km h⁻¹ e verificaram instabilidade do processo no espaçamento de sementes discordando dos resultados encontrados, o que não ocorreu neste trabalho ao avaliar a velocidade de 3,05 e 4,24 km h⁻¹.

Figura 35 - Carta de controle da média móvel exponencial ponderada para o espaçamento entre sementes nos tratamentos avaliados. (A) Semeadura no sulco, velocidade de 3,05 km h⁻¹, (B) Semeadura no sulco, velocidade de 4,24 km h⁻¹, (C) Semeadura no camalhão, velocidade de 3,05 km h⁻¹ e (D) Semeadura no camalhão, velocidade de 4,24 km h⁻¹



Fonte: elaborada pela autora.

5.5.1.3 Profundidade de semente

Analisando-se a estatística descritiva para a profundidade de semente, os tratamentos avaliados apresentaram distribuição não normal dos dados conforme teste de Anderson-Darling, além de a mediana possuir valores superiores à média, indicando simetria negativa (Tabela 11). Ressaltando-se ainda que o desvio padrão e o coeficiente de variação foram baixos (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002). Os coeficientes de simetria foram negativos, predominando os valores baixos das observações. Já, o coeficiente de curtose valores negativos se sobressaíram, com exceção, o tratamento S2V2 com coeficiente de curtose elevado, com distribuição mais achatada do que a curva normal de uma mesma área, ou seja, curva platicúrtica, os demais apresentaram curvas leptocúrtica, onde a distribuição é menos achatada do que a curva normal de uma mesma área (MONTGOMERY, 2004). Por outro lado, o tratamento S2V2 proporcionou menor profundidade de deposição de semente (2,87 cm), valor bem abaixo do recomendado por Cortez *et al.* (2007) ao verificarem que a profundidade de deposição de semente para o milho concentra-se entre 3 a 7 cm e Weirich Neto (2004) ao relatar que a profundidade ideal de deposição da semente é de 3,9 cm.

Tabela 11 - Estatística descritiva para a profundidade de semente nos tratamentos avaliados

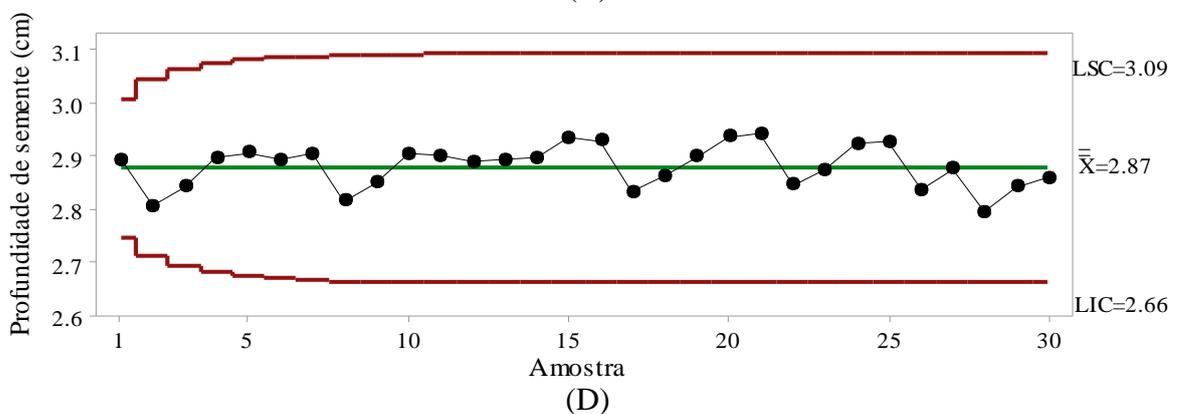
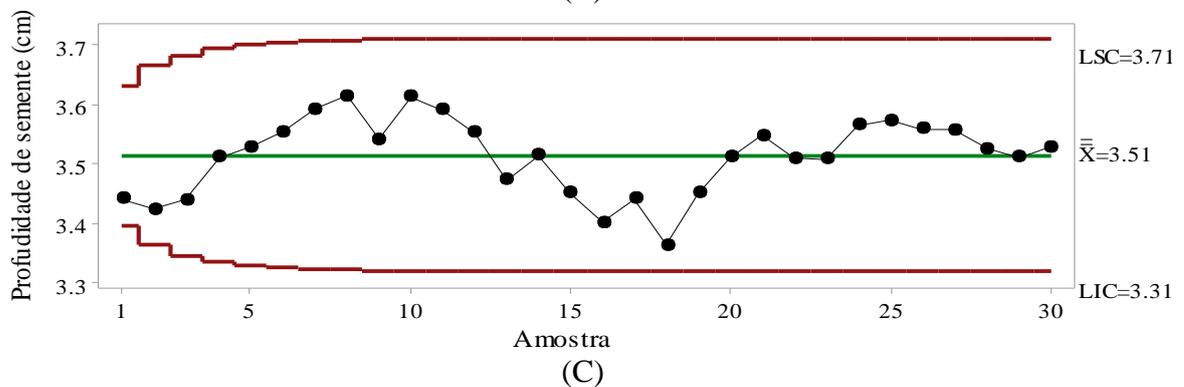
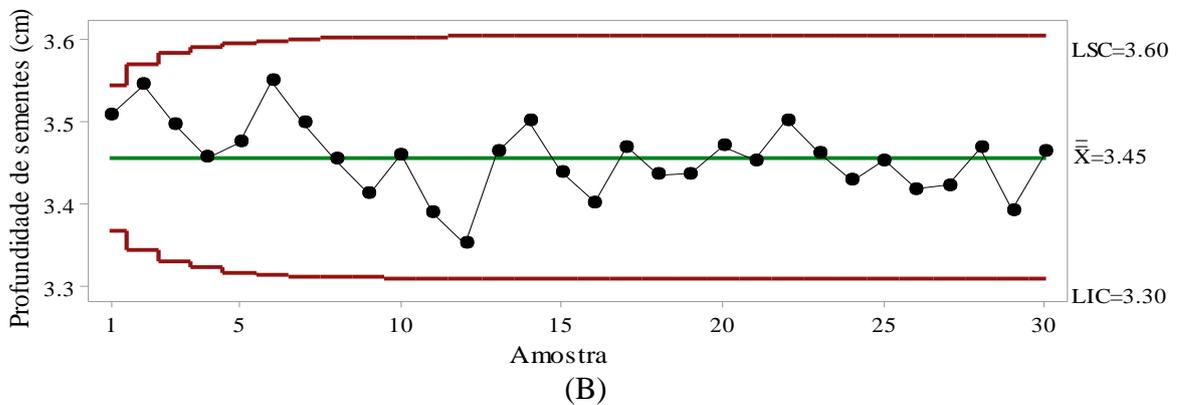
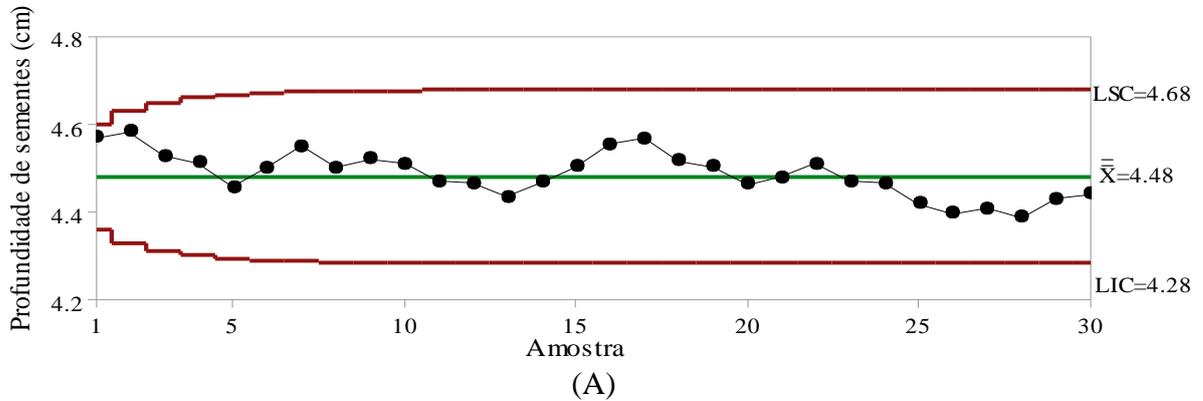
Tratamento	\bar{X}	σ	CV	Med	A	Cs	Ck	AD
S1V1	4,48	0,26	5,98	4,58	0,99	-0,57	-0,40	3,69 ^A
S1V2	3,45	0,27	7,93	3,43	1,03	-0,11	-1,13	2,10 ^A
S2V1	3,51	0,29	8,47	3,60	1,00	-0,21	-1,30	1,47 ^A
S2V2	2,87	0,31	10,77	2,95	1,20	-2,24	4,19	8,69 ^A

\bar{X} – média (cm), σ – desvio padrão (cm), CV – coeficiente de variação (%), Med – mediana (cm), A – amplitude (cm), Cs – coeficiente de assimetria, Ck – coeficiente de curtose, AD – teste de normalidade de Anderson-Darling (N – normal, A – não normal), S1 - Semeadura no sulco, S2 - semeadura no camalhão, V1 - 3,05 km h⁻¹, V2 - 4,24 km h⁻¹

Fonte: elaborada pela autora.

A carta de controle da média móvel exponencial ponderada para a profundidade de deposição de semente apresentou comportamento estável durante a operação em todos os tratamentos avaliados (Figura 36). Ressalta-se que, a semeadura no sulco, na velocidade de 3,05 km h⁻¹ (Figura 36A) proporcionou maior profundidade de deposição de semente, no entanto, esses valores encontram-se abaixo do recomendado por Reynaldo *et al.* (2015) para a cultura do milho que é de 5 cm. Outra explicação para esses valores baixos pode estar ligada a falhas na regulagem da máquina e ao teor de umidade do solo no momento da avaliação, comprometendo assim, a deposição de sementes.

Figura 36 - Carta de controle da média móvel exponencial ponderada para a profundidade de semente nos tratamentos avaliados. (A) Semeadura no sulco, velocidade de $3,05 \text{ km h}^{-1}$, (B) Semeadura no sulco, velocidade de $4,24 \text{ km h}^{-1}$, (C) Semeadura no camalhão, velocidade de $3,05 \text{ km h}^{-1}$ e (D) Semeadura no camalhão, velocidade de $4,24 \text{ km h}^{-1}$



Fonte: elaborada pela autora.

5.5.1.4 Profundidade de adubo

Analisando-se a estatística descritiva para a profundidade de adubo, os tratamentos avaliados apresentaram distribuição normal dos dados de acordo com o teste de Anderson-Darling (Tabela 12). Ressaltando-se ainda que o desvio padrão e o coeficiente de variação (CV) foram baixos, indicando baixa variabilidade entre os dados (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002). O coeficiente de simetria e curtose foi considerado baixo e próximo de zero para o tratamento S1V1. Os tratamentos S1V2, S2V1 e S2V2 apresentaram coeficiente de curtose elevado, indicando que a distribuição dos dados é leptocúrtica.

Tabela 12 - Estatística descritiva para a profundidade de adubo nos tratamentos avaliados

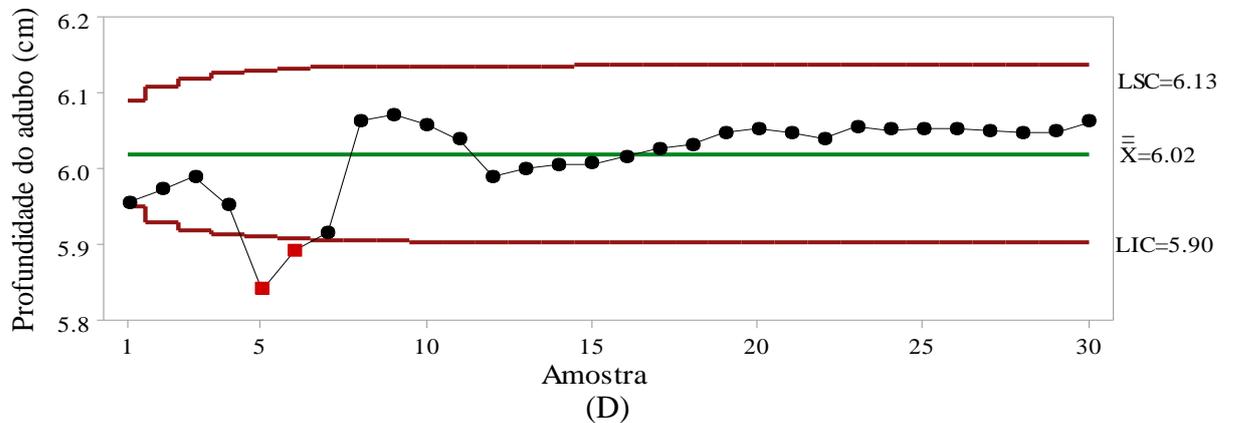
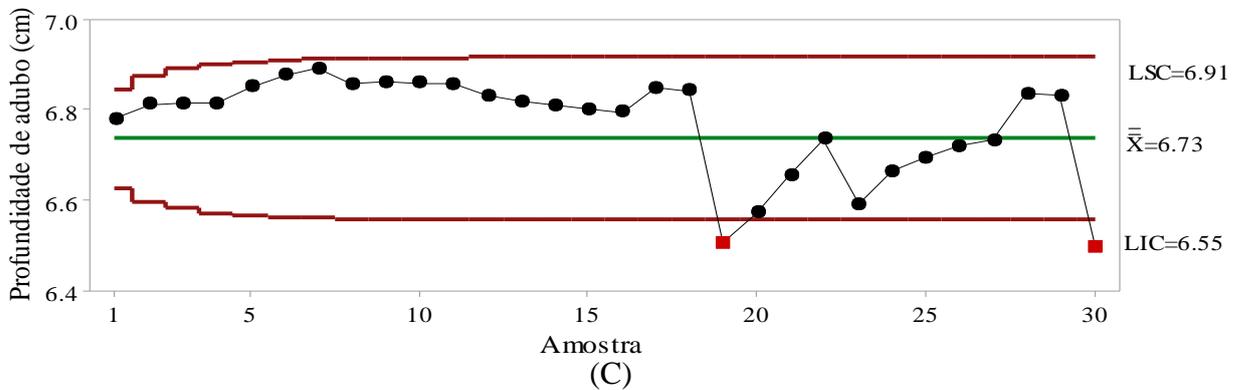
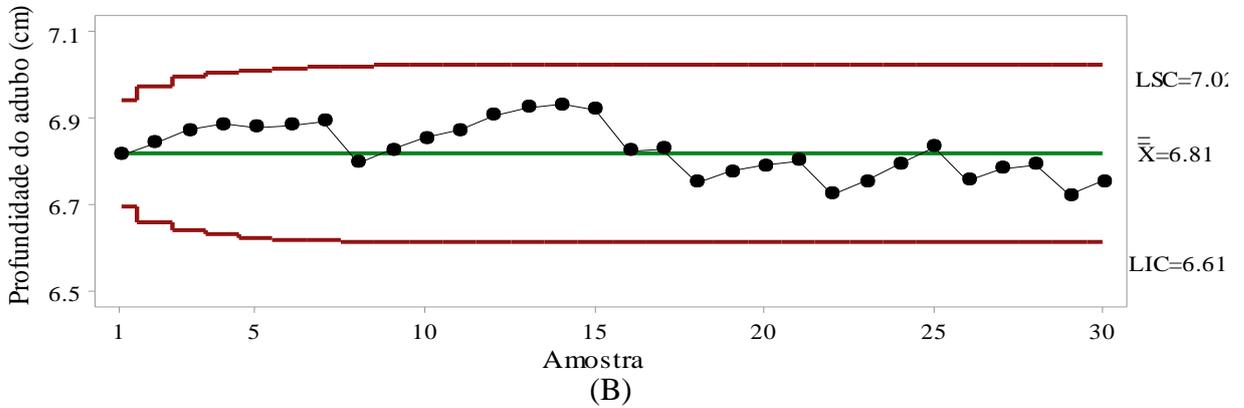
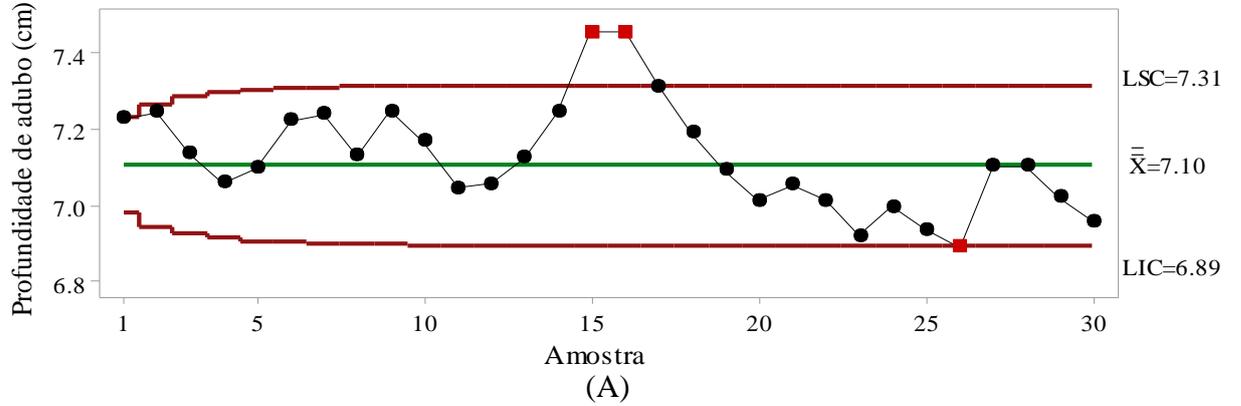
Tratamento	\bar{X}	σ	CV	Med	A	Cs	Ck	AD
S1V1	7,10	0,51	7,23	6,90	1,90	0,75	-0,53	2,68 ^A
S1V2	6,81	0,28	4,25	6,88	1,10	-2,20	4,14	9,02 ^A
S2V1	6,73	0,50	7,47	6,80	2,20	-2,56	6,10	10,27 ^A
S2V2	6,02	0,22	3,67	6,02	2,00	1,44	16,15	6,94 ^A

\bar{X} - média, σ - desvio padrão, CV - coeficiente de variação, Med - mediana, A - amplitude, Cs - coeficiente de assimetria, Ck - coeficiente de curtose, AD - teste de normalidade de Anderson-Darling (N - normal, A - não normal), S1 - semeadura no sulco, S2 - semeadura no camalhão, V1 - 3,05 km h⁻¹, V2 - 4,24 km h⁻¹.

Fonte: elaborada pela autora.

A carta de controle para a profundidade de deposição do adubo apresentou comportamento instável para os tratamentos S1V1, S2V1 e S2V2 durante a operação, com pontos fora dos limites inferior e superior de controle (Figura 37). Esta situação pode ser explicada pela razão de os limites calculados apresentarem valores muito próximos um dos outros, indicando a menor variabilidade durante a semeadura, no entanto, verifica-se pela teoria de Barros (2008) e comprovada por Albiero (2010) que 95% das amostras encontram-se dentro do intervalo de confiança, nesse caso, o processo pode ser considerado estável. Para a semeadura no sulco, velocidade teórica de 4,24 km h⁻¹ (S1V2), o processo manteve-se estável, ou seja, situação está que pode ser associada à melhor qualidade de operação, quando comparada com os demais tratamentos. A semeadura e a velocidade de deslocamento influenciaram no decréscimo da profundidade de deposição de adubo, refletindo em pontos abaixo e acima dos limites de controle, no entanto, os valores encontrados neste trabalho corroboram com Peche Filho (2005), onde foi verificada que a profundidade do adubo deve ser de 3 a 7 cm.

Figura 37 - Carta de controle da média móvel exponencial ponderada para a profundidade de adubo nos tratamentos avaliados. (A) Semeadura no sulco, velocidade de 3,05 km h⁻¹, (B) Semeadura no sulco, velocidade de 4,24 km h⁻¹, (C) Semeadura no camalhão, velocidade de 3,05 km h⁻¹ e (D) Semeadura no camalhão, velocidade de 4,24 km h⁻¹



Fonte: elaborada pela autora.

5.5.2 Qualidade do processo de abertura do sulco e formação do camalhão

5.5.2.1 Profundidade do sulco

Para a profundidade do sulco, verificou-se uma baixa variabilidade dos valores encontrados, em todos os tratamentos (Tabela 13). Analisando-se a estatística descritiva, os tratamentos avaliados apresentaram distribuição normal dos dados de acordo com o teste de Anderson-Darling. Ressaltando-se ainda que o desvio padrão e o coeficiente de variação foram baixos (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002) indicando baixa variabilidade dos dados.

Tabela 13 - Estatística descritiva para a profundidade do sulco nos tratamentos avaliados

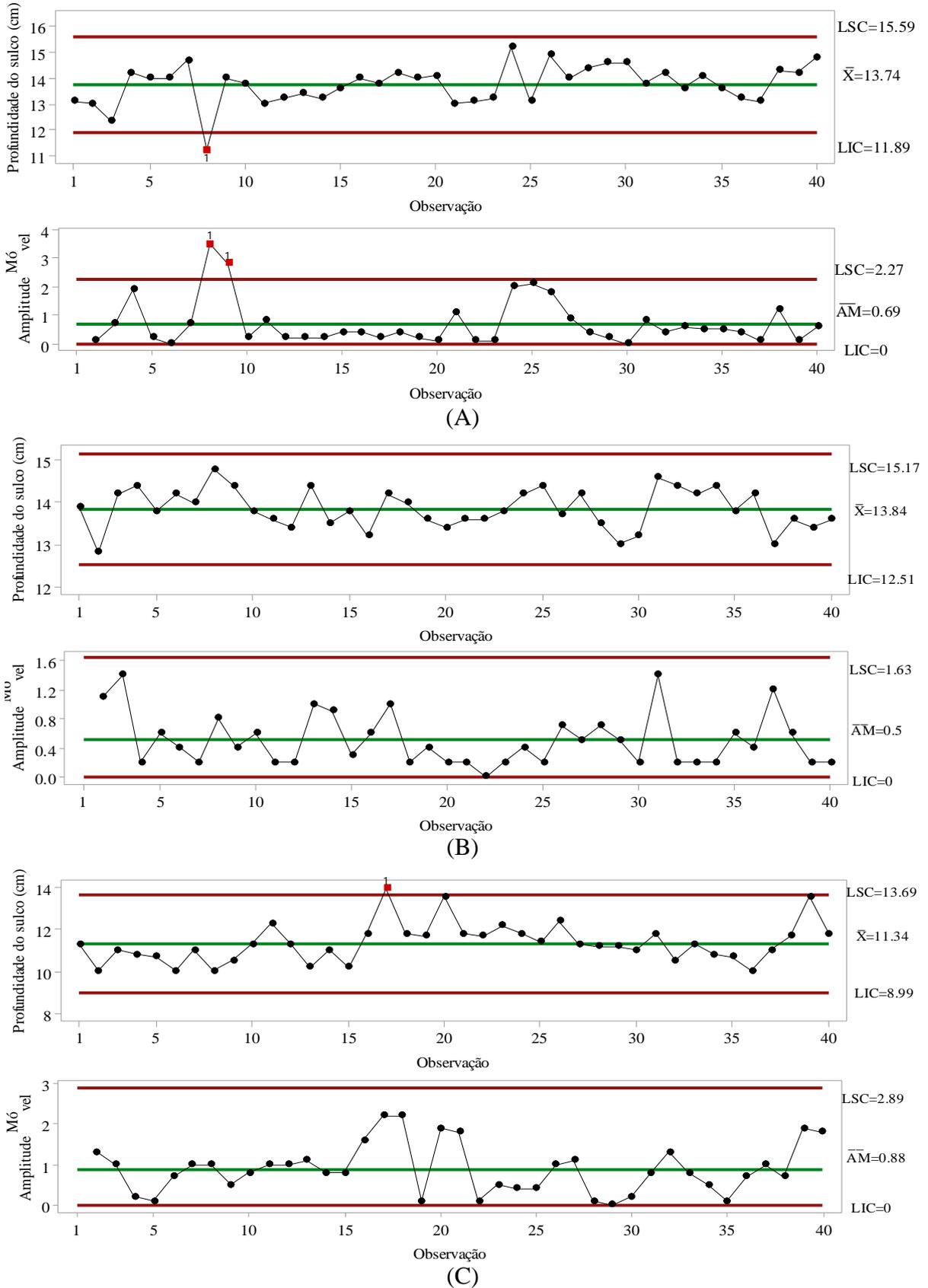
Tratamento	\bar{X}	σ	CV	Med	A	Cs	Ck	AD
S1V1	13,745	0,758	5,52	13,90	4,000	-0,84	2,02	0,26 ^N
S1V2	13,845	0,476	3,44	13,80	2,000	-0,17	-0,59	0,51 ^N
S2V1	11,342	0,947	8,35	11,30	4,000	0,96	1,32	0,89 ^N
S2V2	10,045	0,433	4,31	10,10	2,300	1,04	2,41	0,98 ^N

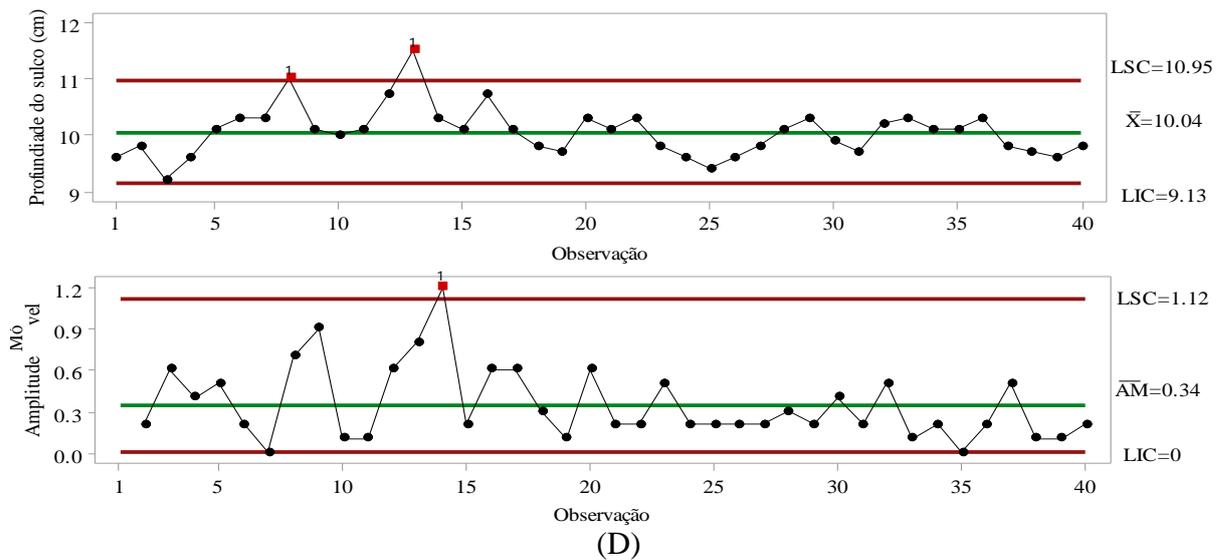
\bar{X} – média (cm), σ – desvio padrão (cm), CV – coeficiente de variação (%), Med – mediana (cm), A – amplitude (cm), Cs – coeficiente de assimetria, Ck – coeficiente de curtose, AD – teste de normalidade de Anderson-Darling (N – normal, A – não normal), S1V2 S1 – semeadura no sulco, S2 – semeadura no camalhão, V1 – 3,05 km h⁻¹, V2 – 4,24 km h⁻¹.

Fonte: elaborada pela autora.

Para a carta de controle de profundidade do sulco, verificou-se que os valores individuais nos tratamentos S1V1, S2V1 e S2V2 apresentaram pontos posicionados fora dos limites de controle (Figura 38A, 38C e 38D). Nas cartas de controle com amplitude móvel os tratamentos S1V1 e S2V2 ficaram com pontos fora do limite de controle superior (Figura 38A e 38D). Os pontos fora dos limites superior e inferior (LSC e LIC) podem ser atribuídos a causas especiais ocorridas durante a condução do experimento, bem como, a regulagem da profundidade do sulco, angulação dos discos abridores e regulagem da linha de semeadura e causas naturais que atuaram no decorrer do processo, portanto, a variabilidade apresentada é intrínseca ao processo. Apesar da variabilidade apresentada no gráfico acima, verifica-se pela teoria de Barros (2008) e comprovada por Albiero (2010) que 95% das amostras encontram-se dentro do intervalo de confiança, nesse caso, o processo pode ser considerado estável, se os pontos que se encontram fora do limite de controle forem retirados, não influenciando de maneira negativa, pois não mascara os dados.

Figura 38 - Carta de valores individuais e amplitude móvel para profundidade do sulco nos tratamentos avaliados. (A) Semeadura no sulco, velocidade de 3,05 km h⁻¹, (B) Semeadura no sulco, velocidade de 4,24 km h⁻¹, (C) Semeadura no camalhão, velocidade de 3,05 km h⁻¹ e (D) Semeadura no camalhão, velocidade de 4,24 km h⁻¹





5.5.2.2 Altura do camalhão

A estatística descritiva dos dados para a altura do camalhão (Tabela 14) demonstrou distribuição normal dos dados de acordo com os testes de Anderson-Darling, baixos valores de amplitude e desvio-padrão, além disso, constata-se que a média e a mediana possuem valores bem próximos, e o coeficiente de variação baixo (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002). A simetria é uma medida da forma de distribuição dos dados quanto à distribuição da curva normal e a curtose é uma medida do grau de achatamento de uma distribuição em relação à curva normal (MONTGOMERY, 2004). Nos tratamentos avaliados os coeficientes de simetria e curtose foram considerados próximos de zero.

Tabela 14 – Estatística descritiva para a altura do camalhão nos tratamentos avaliados

Tratamento	\bar{X}	σ	CV	Med	A	Cs	Ck	AD
S1V1	14,57	0,57	3,91	14,60	2,40	-0,67	0,43	0,49 ^N
S1V2	13,29	0,55	4,16	13,20	2,20	-0,60	0,04	0,69 ^N
S2V1	11,32	0,57	5,03	11,25	2,60	0,44	0,57	0,58 ^N
S2V2	11,35	0,57	5,08	11,40	2,30	-0,03	-0,49	0,56 ^N

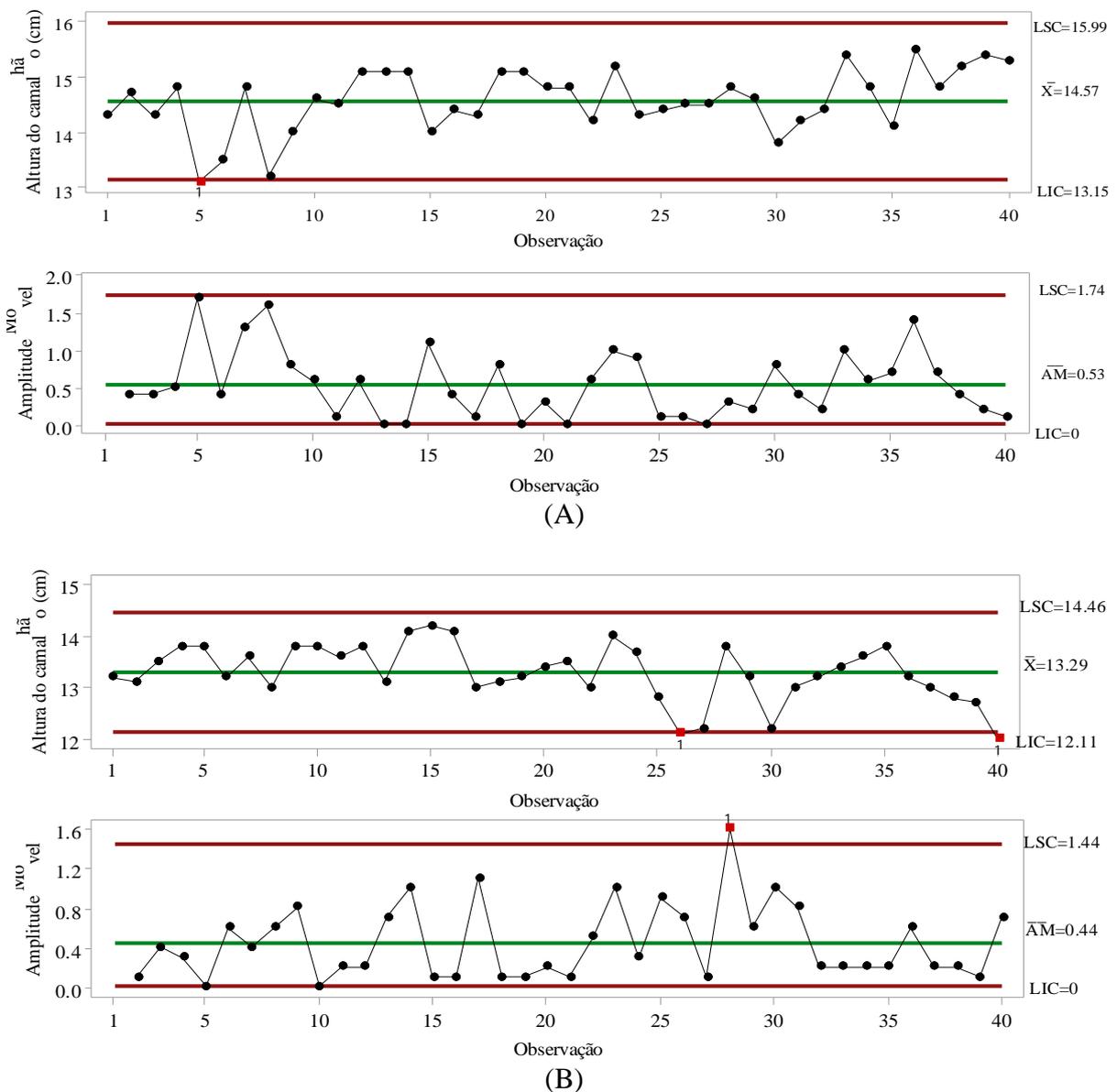
\bar{X} – média (cm), σ – desvio padrão (cm), CV – coeficiente de variação, Med – mediana (cm), A – amplitude (cm), Cs – coeficiente de assimetria, Ck – coeficiente de curtose, AD – teste de normalidade de Anderson-Darling (N – normal, A – não normal), S1 – semeadura no sulco, S2 – semeadura no camalhão, V1 – 3,05 km h⁻¹, V2 – 4,24 km h⁻¹.

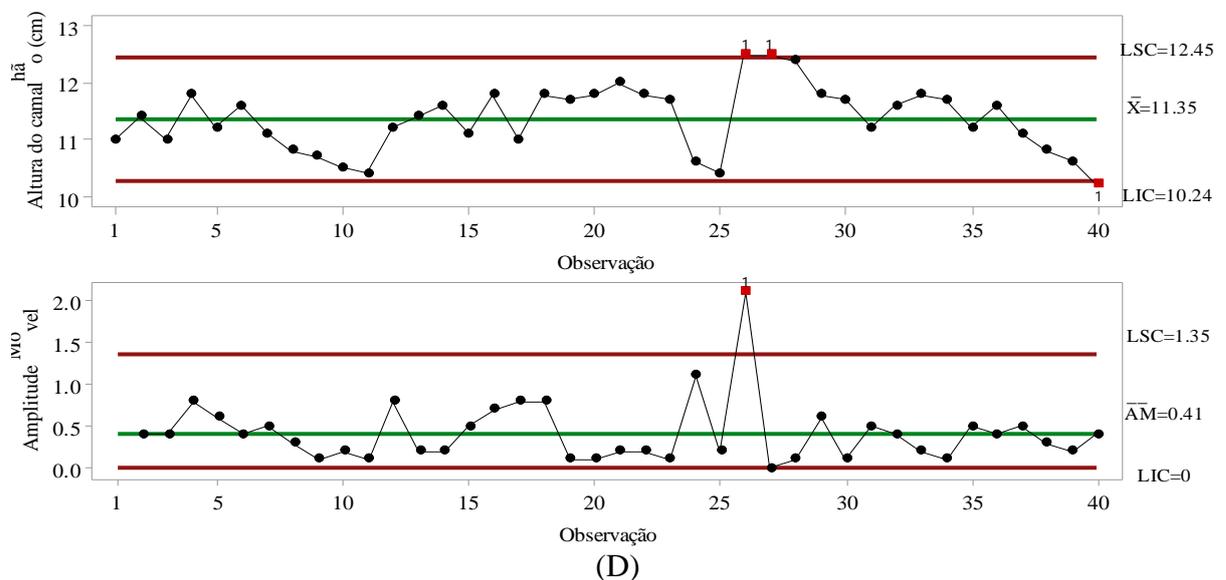
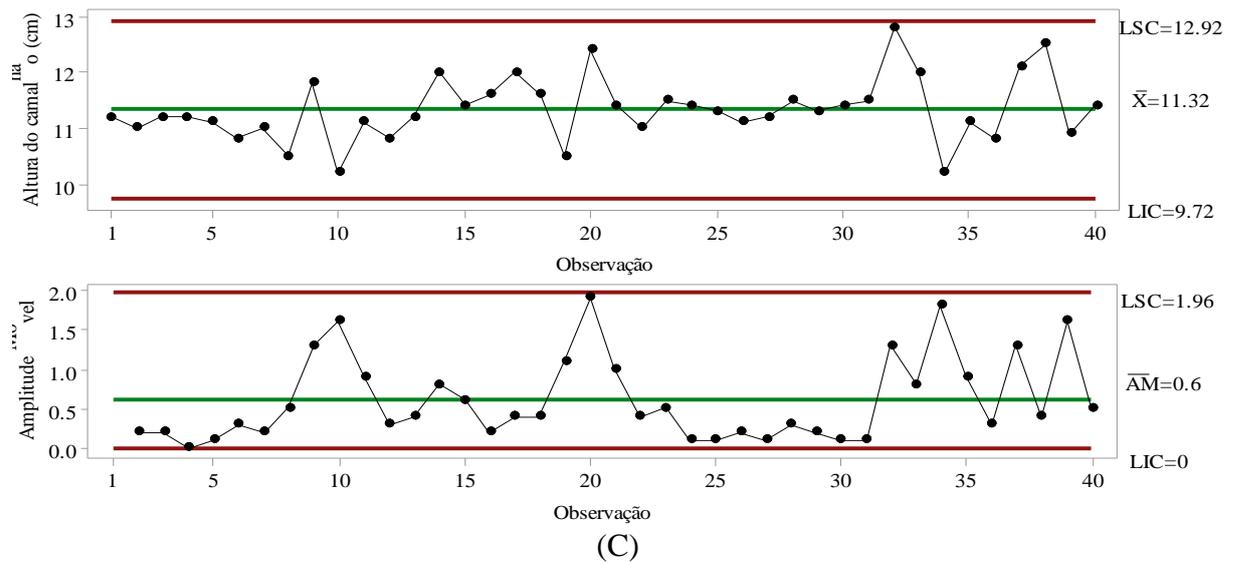
Fonte: elaborada pela autora.

Para o indicador de qualidade da altura do camalhão, os valores individuais mostraram que os tratamentos S1V1, S1V2 e S2V2 apresentaram pontos fora do limite de

controle, enquanto que, o tratamento S2V1 mostrou-se posicionados dentro dos limites de controle, a mesma permaneceu dentro dos limites de controle para as cartas de valores individuais e amplitude móvel (Figura 39C). Nas cartas de controle de amplitude, apenas os tratamentos S1V2 e S2V2 apresentaram instabilidade do processo (Figura 39B e 39D). Por outro lado, a variabilidade decorrente do processo, de maneira geral, foi menor para os tratamentos S2V1 e S2V2, quando comparada com os tratamentos S1V1 e S1V2.

Figura 39 - Carta de valores individuais e amplitude móvel para altura do camalhão nos tratamentos avaliados. (A) Semeadura no sulco, velocidade de $3,05 \text{ km h}^{-1}$, (B) Semeadura no sulco, velocidade de $4,24 \text{ km h}^{-1}$, (C) Semeadura no camalhão, velocidade de $3,05 \text{ km h}^{-1}$ e (D) Semeadura no camalhão, velocidade de $4,24 \text{ km h}^{-1}$





Fonte: elaborada pela autora.

Tal variação pode estar associada às causas que ocorrem de maneira intrínseca ao processo e que devem ser detectadas e, posteriormente, eliminadas para que o processo atinja a qualidade esperada. Neste caso, podemos associar ao fato de que a semeadura realizada em cima do camalhão e com uma velocidade maior contribuiu para redução da altura do camalhão, outro possível causa de redução ocorreu devido ao peso exercido pela semeadora-adubadora na linha de semeadura influenciando na qualidade do camalhão.

5.5.2.3 Área do sulco

Analisando-se a estatística descritiva, os tratamentos avaliados apresentaram distribuição normal dos dados, baixos valores para coeficiente de assimetria e curtose, além

de a média e a mediana possuírem valores próximos (Tabela 29). Ressaltando-se ainda que o desvio padrão e o coeficiente de variação (CV) foram baixos, indicando uma baixa variabilidade entre os dados (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002)..

Tabela 15 – Estatística descritiva para a área do sulco nos tratamentos avaliados

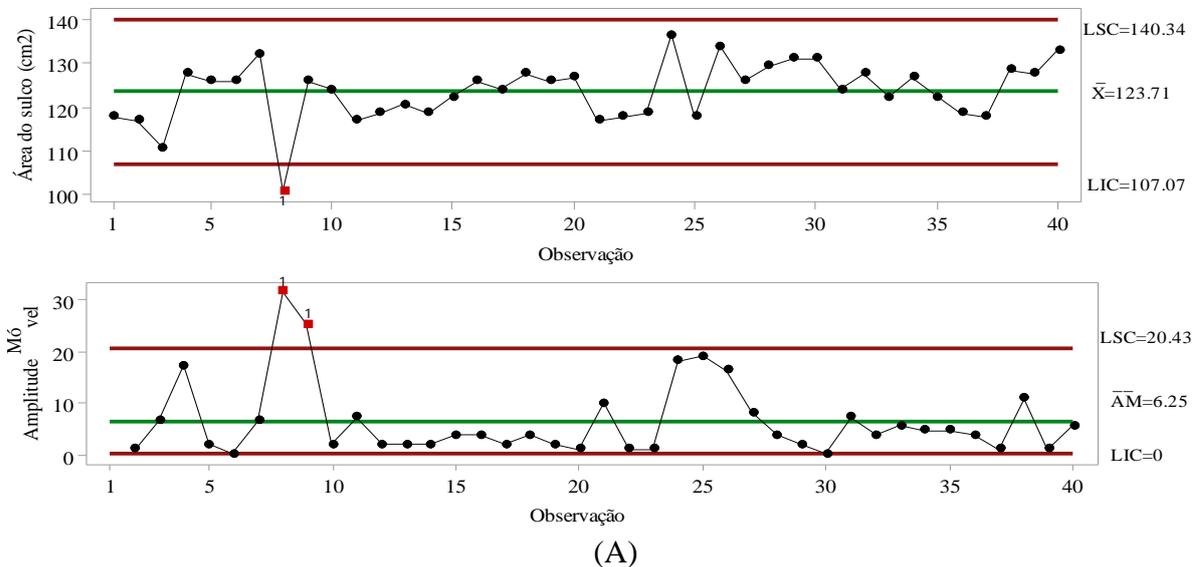
Tratamento	\bar{X}	σ	CV	Med	A	Cs	Ck	AD
S1V1	123,71	6,82	5,52	125,10	36,00	-0,84	2,02	0,49 ^N
S1V2	124,61	4,28	3,44	124,20	18,00	-0,17	-0,59	0,69 ^N
S2V1	68,05	5,681	8,35	67,80	24,00	0,96	1,32	0,58 ^N
S2V2	60,27	2,599	4,31	60,60	13,80	1,04	2,41	0,56 ^N

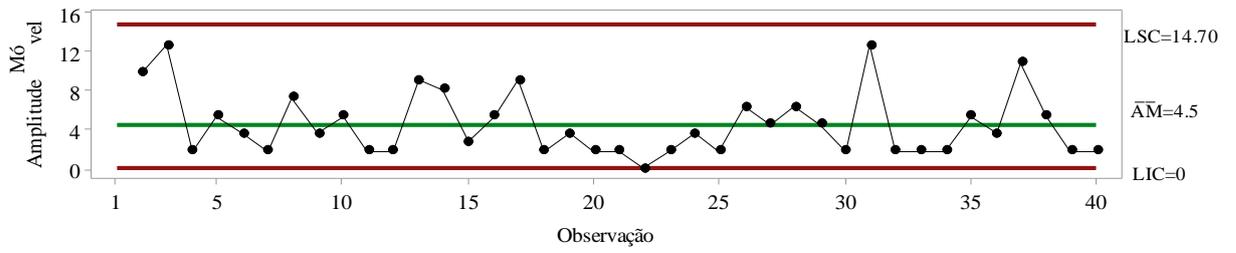
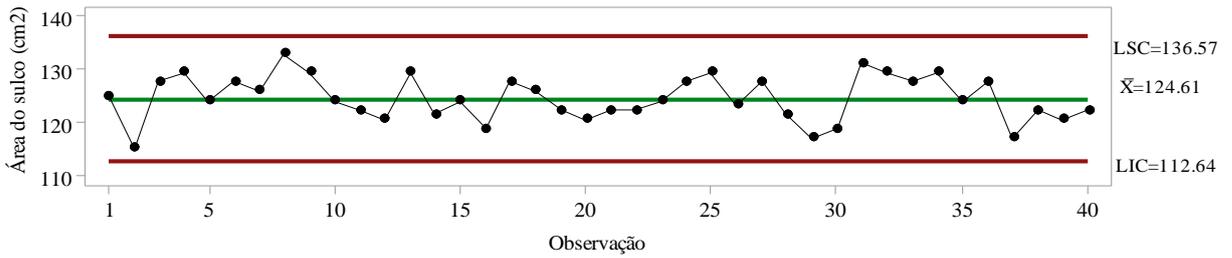
\bar{X} – média (cm²), σ – desvio padrão (cm²), A – amplitude (cm²), CV – coeficiente de variação (%), Med – mediana (cm²), Cs – coeficiente de assimetria, Ck – coeficiente de curtose, AD – teste de normalidade de Anderson-Darling (N – normal, A – não normal), S1 – semeadura no sulco, S2 – semeadura no camalhão, V1 – 3,05 km h⁻¹, V2 – 4,24 km h⁻¹.

Fonte: elaborada pela autora.

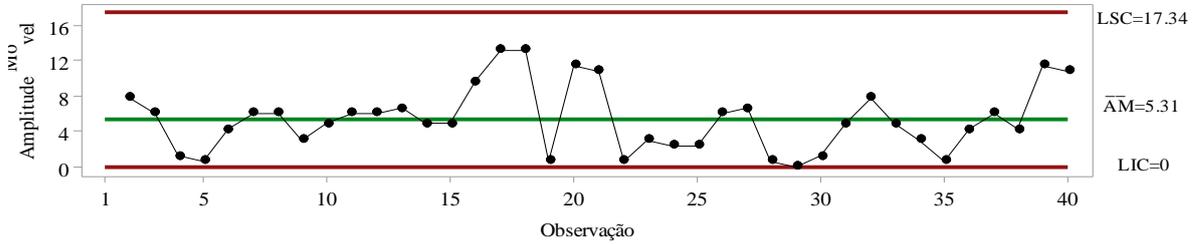
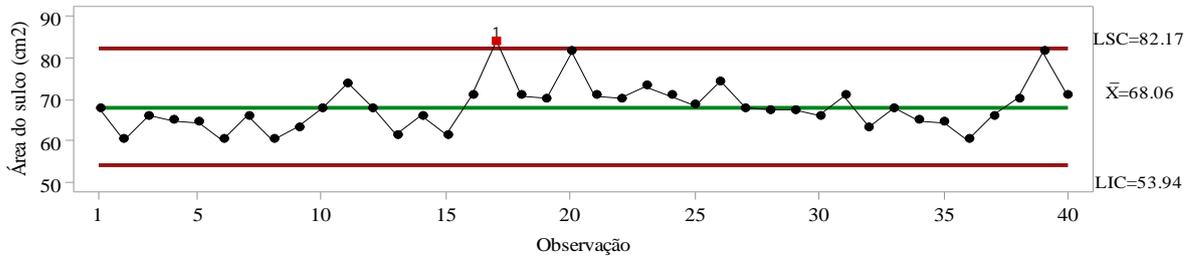
Para a carta de controle de área do sulco, constatou-se que os valores individuais nos tratamentos S1V1, S2V1 e S2V2 apresentaram pontos posicionados fora dos limites de controle (Figura 40A, 40C e 40D), nas cartas de controle de amplitude os tratamentos S1V1 e S2V1 apresentaram pontos posicionados fora do limite de controle superior (Figura 40A e 40B) caracterizando o processo como instável. Os pontos de controle fora dos limites superior e inferior podem ser explicados por meio de causas especiais ocorridas durante o experimento.

Figura 40 - Carta de valores individuais e amplitude móvel para área do sulco (cm²) nos tratamentos avaliados. (A) Semeadura no sulco, velocidade de 3,05 km h⁻¹, (B) Semeadura no sulco, velocidade de 4,24 km h⁻¹, (C) Semeadura no camalhão, velocidade de 3,05 km h⁻¹ e (D) Semeadura no camalhão, velocidade de 4,24 km h⁻¹

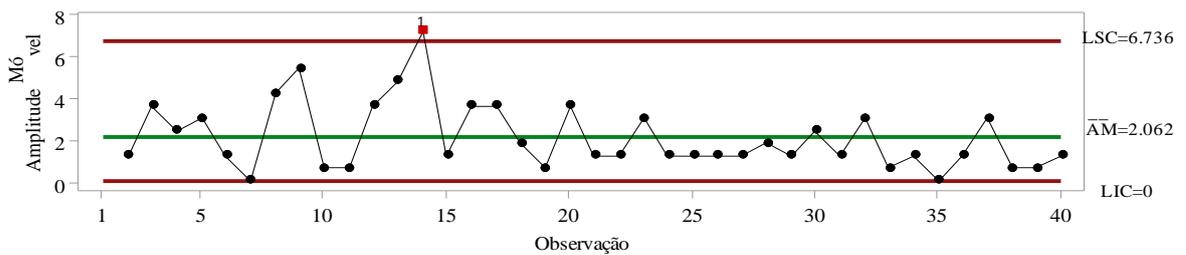
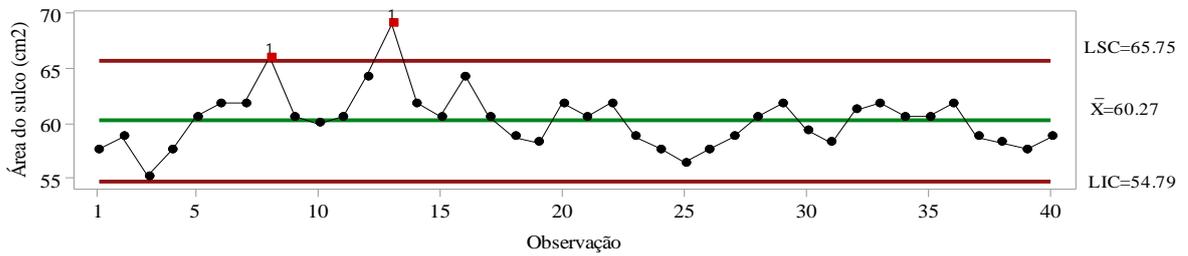




(B)



(C)



(D)

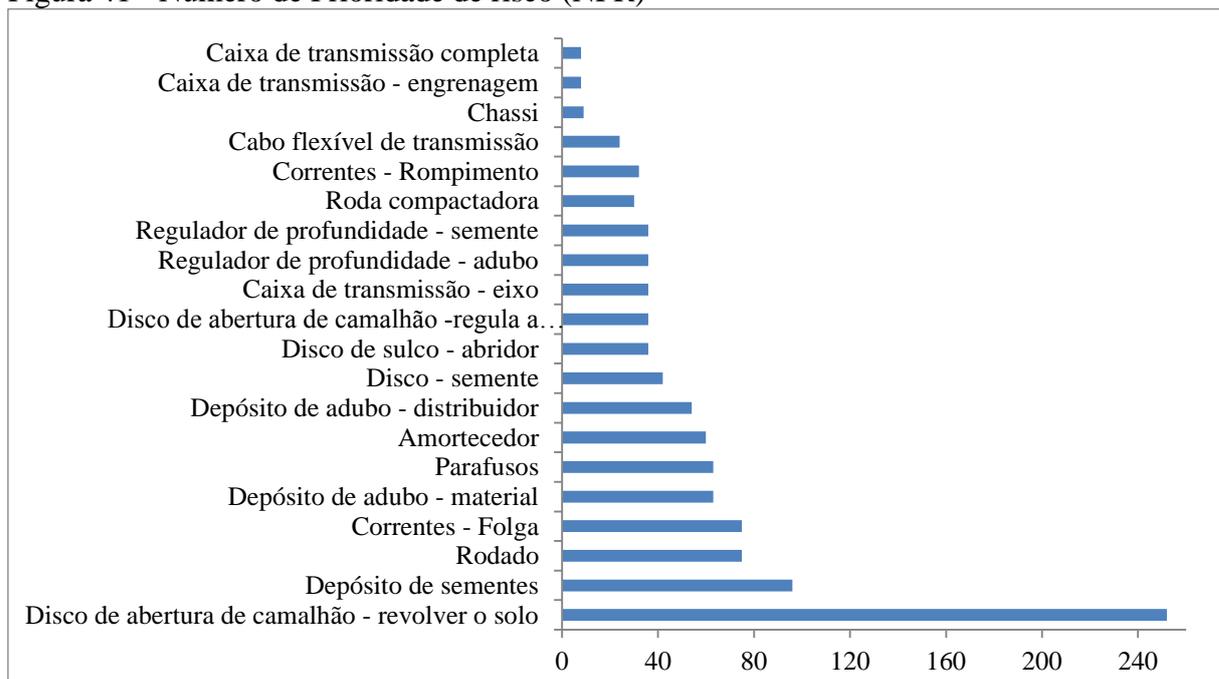
Fonte: elaborada pela autora.

Considerando-se que a área do sulco depende de outras variáveis para ser definida, entre eles, altura do sulco e/ou camalhão, base maior e base menor do sulco e que no momento do experimento, encontravam-se bastante heterogênea, pode-se atribuir a instabilidade do processo. Para a semeadura no sulco na velocidade de $3,05 \text{ km h}^{-1}$ (S2V1), o processo manteve-se estável. Nota-se que os dois locais de semeadura avaliados apresentaram muita diferença entre as médias, porém, a semeadura no sulco contribuiu para maiores valores de área do sulco, possivelmente, associada à disposição dos discos abridores que se encontravam na mesma linha de semeadura, ao qual não ofereceu tanta resistência mecânica para conseguir romper a camada mais profunda, contribuindo assim, para a obtenção de maior área de sulco.

5.6 Análise de Efeito e Modo de Falhas - FMEA

No FMEA de produto, as causas de falha são aquelas pertinentes a problemas no projeto do produto (mau dimensionamento, má especificação de material, entre outros). Na estruturação foram identificadas 20 pontos de qualidade que ocorreram no processo do desenvolvimento do produto (Figura 41 e APÊNDICE B), sendo que, apenas 1 ponto ficou acima do aceitável para o projeto em questão (NPR < 80 - baixo; NPR entre 81 e 251 - médio e NPR > 252 - alto).

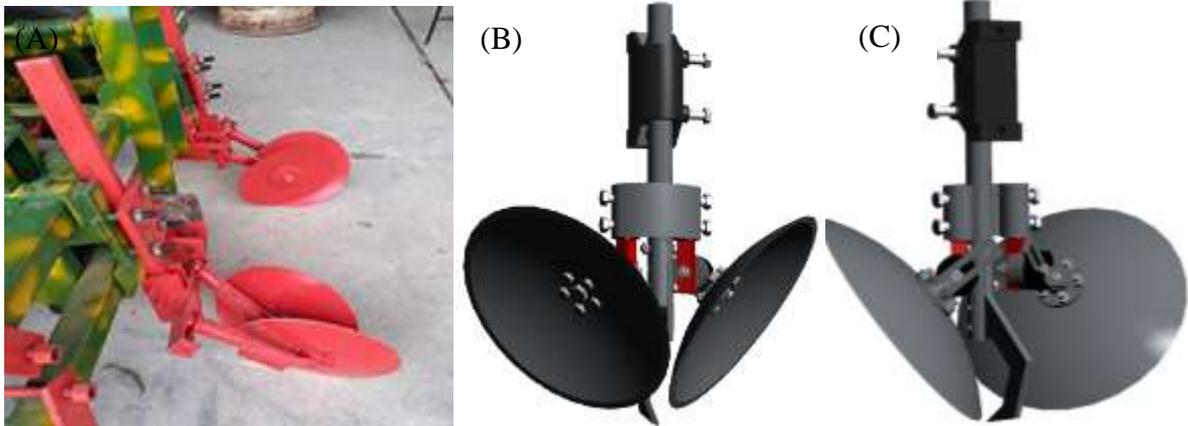
Figura 41 - Número de Prioridade de risco (NPR)



Fonte: elaborada pela autora.

A análise dos valores de NPR mostrou que o disco abridor de sulco é um dos itens de grande relevância dentro do processo de semeadura, sendo classificado como prioridade 0 (NPR alto), ou seja, trata-se de um sistema extremamente vulnerável e que requer ações corretivas e/ou preventivas imediatas. As ações corretivas propostas foram à mudança de configuração do disco abridor responsável pela abertura do sulco e formação do camalhão, no qual o mesmo deixaria de ser composto de discos lisos paralelos com rotação em eixos diferentes e passaria a ser constituídos de dois discos côncavos com rotação no mesmo eixo (Figura 42).

Figura 42 - Discos abridores utilizados (A) e discos abridores propostos (B e C)



Fonte: elaborada pela autora.

A principal falha identificada foi à falta de alinhamento incorreto dos discos resultando na má formação do camalhão, não atingindo a altura de 15 cm, recomendada pelo projeto, principalmente quando a semeadura foi realizada em cima do camalhão. Devido à falta de recursos não foi possível realizar essa modificação, ficando como sugestão para trabalhos futuros. Com relação às ações corretivas foram realizadas apenas reforços na haste de sustentação dos discos como forma de evitar torções durante o rolamento dos discos sobre a superfície do solo.

A outra falha identificada foi classificada como prioridade 1 (NPR médio), ou seja, o sistema está vulnerável e requer ações preventivas a curto ou médio prazo. Entre as descrições que se encaixaram nessa classificação, citam-se, o depósito de sementes (NPR 96 - médio) com falha no distribuidor de sementes, o efeito potencial da falha gerou distribuição irregular no espaçamento de sementes fazendo com que houvesse travamento do disco dosador. O controle preventivo tomado para esse problema foi à realização de regulagem e ajuste no sistema de transmissão. Os demais indicadores foram classificados como prioridade

2 (NPR baixo), ou seja, o sistema apresenta-se pouco vulnerável e que requer ações corretivas ou preventivas a longo prazo, entre as descrições apresentadas no projeto, entre estes citam-se, chassi e o regulador de profundidade de adubo e semente, caixa de transmissão, cabo flexível, disco de semente e roda compactadora. Os sistemas que se enquadraram nas prioridades 1 e 2 não sofreram nenhuma alteração durante a avaliação da máquina, uma vez que as ações preventivas ou corretivas podem ser realizadas a curto ou longo prazo.

6 CONCLUSÃO

A concepção do protótipo de semeadora-adubadora no sistema de camalhão utiliza princípios de solução existentes e atualmente empregados, sendo capaz de atender as necessidades dos agricultores.

O protótipo obteve resultado satisfatório no que se refere à distribuição longitudinal de sementes, porém é necessário realizar melhorias, para que o mesmo atinja a profundidade desejada para a formação do camalhão e abertura do sulco.

A utilização do método FMEA foi eficiente para a identificação de indicadores críticos de qualidade e as respectivas causas. As ferramentas da qualidade aplicadas nos processos agrícolas viabilizam a melhoria da qualidade das operações.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de norma 12:02.06-004 – Semeadora de precisão** - Ensaio de laboratório. ABNT, São Paulo, 1994. 21 p.
- ALBIERO, Daniel. **Avaliação do preparo de solo empregando o sistema de cultivo conservacionista em faixas com paraplow rotativo usando análise dimensional**. 2006. 364 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- ALBIERO, Daniel. **Desenvolvimento e avaliação de máquina multifuncional conservacionista para a agricultura familiar**. 2010. 244 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
- 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 amazônica**, Manaus, v. 41, n.1, p.57-68, 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.
- ALENCAR, J. R. B.; LOPES, C. E.; JUNIOR, M. B. S. Controle Estatístico de Processo Multivariado: aplicação ao monitoramento da produção de comprimidos de captopril. **Revista Brasileira de Farmácia**, Rio de Janeiro, v.88, n.4, p.200-205, 2007.
- ALMEIDA, R. A. S.; SILVA, C. A. T.; SILVA, S. L. Desempenho energético de um conjunto trator-semeadora em função do escalonamento de marchas e rotações do motor. **Agrarian**, Grande Dourados, v.3, n.7, p.63-70, 2010.
- ALVINO, F. C. G.; WANDERLEY, J. A. C.; BRITO, M. E. B.; BARRETO, C. F.; FERNANDES, P. D.; LEITE, D. T. Rendimento de fitomassa do sorgo sacarino sob sistemas de captação de água in situ. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande, v.8, n.2, p.54-59, 2012.
- AMORIM, Marcelo Queiroz. **Desenvolvimento de mecanismo sulcador associado ao processo de semeadora e características agronômicas em função do método de semeadura e velocidade**. 2017. 203 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.
- ANDRADE, E. M. A. Floresta tropical seca, caatinga: As certezas e incertezas das águas. **Trim**, Espanã, v.12, n.1, p.11-20, 2017.
- ANDRADE, E.; PEREIRA, O.; DANTAS, E. **Semiárido e o manejo dos recursos naturais**. Fortaleza: Imprensa Universitária-UFC, 2010, 396 p.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. 2016. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/Index.html>. Acesso em: 25 fev. 2017.

- ANJOS, J. B.; BRITO, L. T. de L.; SILVA, M. S. L. da. Métodos de captación de água de lluvia in situ e irrigación. **In.**: FAO. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Roma, 2000. cap 15, p.139-150.
- ARAÚJO, S. M. S. de. A Região semiárida do Nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos Recursos. **Revista Científica da FASETE**, Bahia, n.5, v.1, p.1-10, 2011.
- ARCOVERDE, S. N. S.; CORTEZ, J. W.; SOUZA, C. M. A. Análise da capacidade do processo de semeadura da cultura do milho de segunda safra. **Nucleus**, Ituverava, v.1, n.1, p.165-176, 2017.
- AGRICULTURAL MACHINERY MANAGEMENT. EP 496.2. **In.**: ASAE standards: Standards engineering practices data. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, p.353-358, 1996.
- BACK, Norton. **Metodologia de Projeto de Produtos Industriais**, Rio de Janeiro, Ed. Guanabara, 2. ed. 1983.
- BACK, Norton; FORCELLINI, Fernando Antônio. **Apostila de Projeto de Produtos**. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFSC, Florianópolis, 2002.
- BACK, N; OGLIARI, A.; DIAS, C. **Projeto integrado de produtos: Planejamento, concepção e modelagem**. São Paulo, Barueri, 2008.
- BAKER, C. J. SAXTON, K.E.; RITCHIE, W. R.; CHAMEN, W. C. T.; REICOSKY, D.C.; RIBEIRO, F.; JUSTICE, S. E.; HOBBS, P. R. **No-tillage Seeding in Conservation Agriculture**. 2. ed. London: Cromwell Press, 1997.
- BALASTREIRE, Luís Antônio. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 187p.
- BALSAN, R. Impactos decorrentes da modernização da agricultura brasileira. **Campo-território: Revista de Geografia Agrária**, São Paulo, v.1, n.2, p.123-151, 2007.
- BALSANI, O. V. Mudanças no meio rural e desafios para o desenvolvimento sustentável. **São Paulo Perspectivas**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 155-165, 2001.
- BARTH, M.; RENNER, J. S.; NUNES, M. F.; SANFELICE, G. R. Características do trabalho na agricultura familiar e sua influência na emigração de jovens. **Illuminuras**, Rio grande do Sul, v.17, n.41, p.256-276, 2016.
- BARBOSA, José Carlos; MALDONADO JUNIOR, Walter. **Agrostat – Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Versão 1.0. Jaboticabal: Departamento de Ciências Exatas, 2010.
- BARROS, Fernando Ferraz. **A melhoria contínua no processo de plantio da cana-de-açúcar**. 2008. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

BAXTER, Mike. **Projeto de Produto: Guia prático para o design de novos produtos**, Editora Edgard Blucher, São Paulo, Brasil, 2000. 344 p.

BERTELLI, G. A.; JADOSKI, S. O.; DOLATO, M. L.; RAMPIM, L.; MAGGI, M. F. Desempenho da plantabilidade de semeadoras pneumática na implantação da cultura da soja no cerrado piauiense – Brasil. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v.9, n.1, p.91-103, 2016.

BERTSCHE, Bernd. **Reliability in Automotive and Mechanical Engineering: Determination of Component and System Reliability**. Berlin: Springer, 2008. 402 p.

BOTTEGA, E. L.; ROSOLEM, D. H.; DE OLIVEIRA NETO, A. M.; VON LINSINGEN PIAZZETTA, H.; GUERRA, N. Qualidade da semeadura do milho em função do sistema dosador de sementes e velocidades de operação. **Global Science and Technology**, v. 7, n. 1, p.107-114, 2014.

BONILLA, José António. **Métodos quantitativos para qualidade total na agricultura**. 2.ed. Contagem: Littera Maciel, 1995. 250 p.

BRITO, L. T. L., CAVALCANTI, N. B., ANJOS, J. B. DOS, SILVA, A. S.; PEREIRA, L. Perdas de solo e de água em diferentes sistemas de captação in situ no semiárido brasileiro. **Engenharia Agrícola**, v.28, n.03, p.507-515, 2008.

CASSIA, M. T.; SILVA, R. P.; CHIODEROLLI, C. A.; NORONHA, R. R. F.; SANTOS, E.D. Quality of mechanized coffee harvesting in circular planting system. **Ciência Rural**, v.43, n.1, p.28-34, 2013.

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

CARVALHO FILHO, A.; CENTURION, J. F.; SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A.; CARVALHO, L.C. C. Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 229-237, 2007.

CAVALCANTE, Eduardo Santos. **Estudo da capacidade do processo de uma semeadora pneumática**. 2014. 54 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

CAVALCANTI, N. B.; RESENDE, G. M. Avaliação de barreiros e finalidade da água armazenada na região semiárida da Bahia. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, n.2, v.5, p.568-570, 2001.

COELHO, José Luiz Duarte. Ensaio e certificação das máquinas para semeadura. **In: MIALHE, Luís Geraldo. Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba, FEALQ, cap. 11, p.551-570, 1996.

CORCETTI, E.; LORETO, M. D. S. O discurso político sobre a qualificação profissional de mulheres desfavorecidas: emancipação ou hegemonia? **Cadernos EBAPE**, v.15, n. 2, p.364-376, 2017.

CORTEZ, J. W.; ALVES, P. J.; FURLANI, C. E. A.; GROTTA, D. C.C.; SILVA, R. P. Profundidades de semeadura do milho e cargas aplicadas na roda compactadora da semeadora. **Agrária**, v.2, n.2, p.156-160, 2007.

CORTEZ, J. W.; ALVES, A. D. S.; MOURA, M. R. D.; OLSZEWSKI, N.; NAGAHAMA, H. J. Atributos físicos do argissolo amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.4, p.1207-1216, 2011.

CORTEZ, J.W.; SOUZA, C. M. A.; ORLANDO, R. C.; RAFULL, L. Z. L.; VIERO, R. M.; RODRIGUES, E. F. Capabilidade do processo de semeadura do processo do milho safrinha com mecanismo dosador tipo pneumático. **In: Seminário Nacional Milho Safrinha**, 12, 2013, Dourados: MS. Estabilidade e produtividade. Dourados: UFGD, 2013.

COMPAGNON, A. M.; SILVA, R. P.; CASSIA, M. T.; GRAAT, D.; VOLTARELLI, M. A. Comparação de métodos de perdas na colheita mecanizada de soja. **Revista Scientia Agropecuária**, v.3, n.3, p. 215-223, 2012.

COPETTI, E. Qualidade na semeadura das culturas de inverno. **Revista Plantio Direto**, v.2, n.127, p.447-457, 2012.

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

DIAS, V. O.; ALONÇO, A. S.; BAUMHARDT, U.B.; BONOTTO, G. J. Distribuição de sementes de milho e soja em função da velocidade e densidade de semeadura. **Ciência Rural**, v. 39, n. 6, p. 1721-1728, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Plantio: Milho e sorgo**. Sistema de produção nº1, 6.ed. 2010. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_1_ed/plantespaca.htm. Acesso em: 24 set. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. rev. atual. Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 306, 2013.

ESCRITÓRIO TÉCNICO DE ESTUDOS ECONÔMICOS DO NORDESTE. **Utilização de máquinas e implementos agrícolas nos estabelecimentos rurais do Nordeste**. Informe Rural, ano 4, n. 9, set. 2010.

FERNANDES, R. A. T.; MILAN, M.; PECHE FILHO, A. Gerenciamento da qualidade em operações mecanizadas de um sistema de produção de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.20, n.3, p.215-20, 2000.

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.3, n.6, p.1-10, 2011.

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, 2006.

FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS. **Brasil Inovador**. Brasília: FINEP, 2006.

FORCELLINI, Fernando António. **Projeto Conceitual**. São Carlos: Apostila do curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, EMC/UFSC, 2002.

FONSECA, António Jorge Hernandez. **Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional**. 2000. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Centro Tecnológico do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

FURLANI, C. E. A.; LOPES, A.; SILVA, R. P. Exigências de uma semeadora-adubadora de precisão variando a velocidade e a condição da superfície do solo. **Ciência Rural**, v. 35, n. 4, p. 920-923, 2005.

FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; CARVALHO FILHO, A.; CORTEZ, J. W.; GROTTA, D. C. C. Semeadora-adubadora: exigências em função do preparo do solo, da pressão de inflação do pneu e da velocidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.2, p. 345-352, 2008.

FURLANI, C. E. A.; CANOVA, C.; CAVICHIOLI, F. A.; BERTONHA, R. S.; SILVA, R. P. Demanda energética por semeadora-adubadora em função da haste sulcadora na semeadura do milho. **Revista Ceres**, v. 60, n.6, p. 885-889, 2013.

FRABETTI, D. R.; RESENDE, 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.

FRANK, A. G.; PEDRINI, D. C.; ECHEVESTE, M. E.; RIBEIRO, J. L. D. Integração do QFD e da FMEA por meio de uma sistemática para tomada de decisões no processo de desenvolvimento de produtos. **Production**, v.24, n.2, p.295-310, 2014.

FREIRE, Daniele Cristina. **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) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

GABRIEL FILHO, A.; LANÇAS, K. P.; LEITE, F.; ACOSTA, J. J. B.; JESUÍNO, P. R. Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.3, p.333-339, 2010.

GARCIA, I.C.; JASPER, R.; JASPER, M.; FORNARI, A.J.; BLUM, J. Influência da velocidade de deslocamento na semeadura do milho. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.2, p.520-527, 2006.

GARCIA, P. A. A. Uma abordagem via análise envoltória de dados para o estabelecimento de melhorias em segurança baseadas na FMEA. **Gestão & Produção**, v.20, n.1, p. 87-97, 2013.

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; COSTA, L. M.; NEVES, J. C. L. Efeito do método de preparo do solo, em área de reforma, nas suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*. **Árvore**, v.27, n.5, p.635-646, 2003.

GUANZIROLI, C. E.; BUAINAIN, A. M.; DI SABBATO, A. Dez anos de evolução da agricultura familiar no Brasil: (1996 e 2006). **Revista Economia e Sociologia Rural**, v. 50, n.2, p.351-370, 2012.

GUANZIROLI, C. E.; SABBATO, A. D.; VIDAL, M. F. Evolução da agricultura familiar nordestina: uma análise comparativa entre os dois censos agropecuários. **Revista Econômica**, v.45, supl. especial, p.80-91, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico**, 2006. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=264529>. Acesso em: 20 jun. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico**, 2010. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=264529>. Acesso em: 20 jun. 2016.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Ambiente de Negócios, Investimentos e produtividade**. Luiz Ricardo Cavalcanti. Brasília: setembro de 2015. 32 p.

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

LAIME, E. M. O.; AZEVEDO, C. A. V.; FERNANDES, P. D.; WANDERLEY, J. A. C.; ANDRADE, A. B. A. Sistemas de captação de água "in situ" sobre crescimento de pinhão manso. **Revista Verde**, v.9, n.04, p.230-237, 2014.

LARA JUNIOR, José Assis. **Avaliação de cultivares de soja semeadas em solos de várzea com e sem sistema de camalhões**. 2013. 85 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal da Grande Dourados, Mato Grosso do Sul, 2013.

LEVIN, Mark; KALAL, Ted. **Improving Product Reliability: Strategies and implementation**. West Sussex, England: Wiley, 2003. 342 p.

LIU, W.; TOLLENAAR, M.; STEWART, G.; DEEN, W. Impact of planter type, planting speed, and tillage on stand uniformity and yield of corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, n. 6, p. 1668-1672, 2004.

- LOTTI, R. S.; MACHADO, A. W.; MAZZIEIRO, E. T.; LANDRE JÚNIOR, J. Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos. **Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial**, v. 11, n. 2, p. 35-43, 2006.
- MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V. dos; MACHADO, R. L. T. **Tratores para agricultura familiar: guia de referência**. Pelotas: Ed. Universitária UFPEL, 2010.124p.
- MAGALHAES, A. C.; TEIXEIRA, M. M.; COUTO, S. M.; RESENDE, R. C. DE. Modelagem de máquina pneumática recolhedora de frutos de café em terreiro usando análise por elementos finitos. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n.2, p.483-492, 2006.
- MAHL, D.; GAMERO, C. A.; BENEZ, S. H.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, A. R. B. Demanda energética e eficiência da distribuição de sementes de milho (*Zea mays* L.) sob variação de velocidade e condição de solo. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 1, p. 150-7, 2004.
- MAIA, A. G.; MIYAMOTO, B. C. B.; SILVEIRA, J. M. F. J. A adoção de Sistemas Produtivos entre Grupos de Pequenos Produtores de Algodão no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.54, n., p.203-220, 2016.
- MANTOVANI, E. C.; CRUZ, J. C.; OLIVEIRA, A. C.; Validação em campo de uma semeadora-adubadora para semeadura de milho de alta densidade. **Revista Brasileira de milho e Sorgo**. v, 14, n.1, p.38-48, 2015.
- MARTINS, C. A. da S.; NOGUEIRA, N. O. Captação de água da chuva em propriedades rurais. **Nucleus**, v.12, n.1, p.87-106, 2015.
- MELLO, L. M. M.; YANO, É. H.; NARIMATSU, K. C. P.; TAKAHASHI, C. M.; BORGHI, É. Integração agricultura-pecuária em plantio direto: produção de forragem e resíduo de palha após pastejo. **Engenharia Agrícola**, v.24, n.1, p.121-129, 2004.
- 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, Rafaela Paula. **Qualidade na distribuição longitudinal de sementes por semeadoras de precisão e fluxo contínuo nas condições edafoclimáticas do Ceará**. 2013. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.
- MELO, R. P.; ALBIERO, D.; MONTEIRO, L. A.; 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, Rafaela Paula. **Desenvolvimento e avaliação do protótipo de uma semeadora punçionadora para agricultura familiar**. 2016. 125 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- 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 Ambiental**, v.9, n. 3, p. 424-428, 2005.

MENEGATTI, Franco António. **Desenvolvimento de um sistema de dosagem de fertilizantes para Agricultura de Precisão**. 2004, 296 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MIALHE, Luís Geraldo. Ensaio & certificação de tratores. **In: MIALHE, L. G. Máquinas agrícolas: ensaio & certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. cap. 8, p. 385-462.

MILAN, M.; FERNANDES, R. A. T. Qualidade das operações de preparo de solo por controle estatístico de processo. **Scientia Agrícola**, v.59, n.2, p.261-266, 2002.

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

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. Portaria MDA Nº 35, de 16 de junho de 2010. Disponível em:
http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_img_19/Portaria_35_2010.pdf.
Acesso em: 26 out. 2017.

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.

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

MORAIS, V. M.; FREITAS, F. L. A.; ARRUDA, I. A.; AMORIM, J. D. C.; MARACAJÁ, P. B. Tecnologias de convivência com o semiárido, alternativas viáveis para a agricultura familiar no Oeste do Rio Grande do Norte. **Informe Técnico do Semiárido**, v.3, n.1, p.12-14, 2009.

NIEMCZEWSKI, Bóris Kluwe. **Desenvolvimento de chassi de uma semeadora-adubadora de quatro linhas para tratores de baixa potência**. 2012. 88f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2012.

NIEMCZEWSKI, B. K.; REIS, A. V. DOS.; MACHADO, R. L. T.; MACHADO, A. L. T. Validação de um modelo de cálculo por elementos finitos do chassi de uma semeadora de quatro linhas. **Engenharia Agrícola**, v.34, n. 1, p. 161-170, 2014.

NORONHA, R. H. F.; SILVA, R. P.; CHIODEROLLI, C. A.; SANTOS, E. P.; CASSIA, M. T. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v.70, n.4, p. 931-938, 2011.

OGLIARI, A.; BACK, N.; DIAS, A.; SILVA, J. C. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. São Paulo: Manole, 2013.760p.

OLIVEIRA, João Urbano Coutinho de. **Estatística: Uma nova abordagem**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2010, 530 p.

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

ORTIZ-CANAVETE, Jaime; HERNANZ, José Luís. **Técnicas de la mecanización agraria**. 3. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1989. 643 p.

ORMOND, Antonio Tassio Santana. **Semeadura de milho: mecanismos dosadores e ângulos de abertura de sulcos em função da velocidade**. 2017. 85 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, Jaboticabal, 2017.

PAHL, Gerhard.; BEITZ, Wiltez. **Engineering design: A systematic approach**. 2.ed. London: Springer Verlag, 1996. 579p.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. H. **Projeto na Engenharia: Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos métodos e aplicações**. Tradução de Hans Andreas Werner; Revisão de Nazen Nascimento. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

PATERNIANI, E. Agricultura sustentável nos trópicos. **Estudos avançados**, v.15, n.43, p.303-326, 2001.

PECHE FILHO, A. Mecanização do Sistema de Plantio Direto. **O Agrônomo**, v.57, n.1, p. 17-18, 2005.

PAULINI, D. G.; MILAN, M.; SALVI, J. V. Qualidade total. **Cultivar Máquinas**, v. 85, n.1, p.112-119, 2009.

PIMENTEL-GOMES, Frederico.; GARCIA, Carlos Henrique. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PORTELA, José António. **Plantio de precisão: O desafio para o século XXI**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999, 5p.

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**, v. 19, n. 2, p. 137-151, 2002.

QUEIROZ, R. . MOTA, W. A.; MACEDO, D. X. S.; COSTA, CHIODEROLI, C. A. Cargas no depósito de fertilizante de uma semeadora-adubadora e desempenho operacional. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 2, p. 271-277, 2017.

RAMOS, Eliani Figueiró. **Utilização da FMEA para gestão de riscos em projetos de desenvolvimento de software**. Santa Catarina: Project Management Institute, 2007.

RAMOS, A.W.; HOO, L. L. Procedimentos inferenciais em índices de capacidade para dados autocorrelacionados via bootstrap. **Production**, v. 13, n. 3, p. 50-62, 2003.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil Tillage Research**, v.102, n.2, p. 242-254, 2009.

REICHERT, J.; REIS, A. V.; DEMENECH, C. R. **Máquinas para agricultores familiares: ideias, inovações e criações**, 3ª Mostra de Máquinas e Inventos / Lírio editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2015. 187p.

REIS, Ângelo Vieira dos. **Desenvolvimento de concepções para a dosagem e deposição de precisão para sementes miúdas**. 2003. 277 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

REIS, Â. V. dos.; FORCELLINI, F. A. Functional analysis in the evaluation of four concepts of planters. **Ciencia Rural**, v.32, n.6, p.969-975, 2002.

REIS, Â. V. dos.; FORCELLINI, F. A. Análise da Precisão Funcional da Semeadora. **Revista Tecno-Lógica**, v.6, n.2, p. 90-104, 2003.

REIS, Â, V. dos.; FORCELLINI, F. A. Identificação de requisitos de clientes para o projeto de um dosador de precisão para sementes miúdas. **Associação Brasileira de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal: SBEA, 2006.

REIS, Â. V. dos.; MACHADO, A. L. T. BISOGNIN, A. Avaliação do desempenho de três mecanismos dosadores de sementes de arroz com vistas à semeadura de precisão. **Revista Brasileira Agrociência**, v.13, n.3, p. 393-398, 2007.

REIS, G. N.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; GERLACH, J. R.; CORTEZ, J. W.; GROTTA, D. C.C. Decomposição de culturas de cobertura no sistema plantio direto, manejadas mecânica e quimicamente. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.1, p.194-200, 2007.

REIS, E. F.; QUEIROZ, D. M.; CUNHA, J. P. A. R; ALVES, S. F. Qualidade da aplicação aérea líquida com uma aeronave agrícola experimental na cultura da soja (*Glycine Max L.*). **Engenharia Agrícola**, v.30, n.5, p.121-129, 2010.

REYNALDO, E. F.; MACHADO, T. M.; TAUBINGER, L.; QUADROS, D. Avaliação da qualidade de semeadura de milho e soja na região centro sul do estado do Paraná. **Enciclopédia Biosfera**, v.11, n.22, p.417-426, 2015.

RIBEIRO NETO, M. L.; BIROLO, F. M. B. **Prosa Rural** - Preparo de solo para cultivo de grãos no semiárido. Embrapa, 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2302939/prosa-rural---preparo-de-solo-para-cultivo-de-graos-no-semiarido>. Acesso em: 25 out. 2017.

RIBEIRO, José Luis Duarte; CATEN, Carla Schwengber tem. 2011, 156 f. **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. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

RIQUETTI, Neilor Bugoni. **Efeito do manejo de solos nos parâmetros agronômicos e energéticos de híbridos de milho transgênico e não transgênico**. 2011. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2011.

ROS, V. V.; SOUZA, C. M. A.; VITORINO, A. C. T.; RAFULL, L. Z. L. Oxisol resistense to penetration in no-till system after sowing. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.6, p.1104-1114, 2011.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006. 542 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, 2010.

SANTOS, Maria do Socorro. **Avaliação do projeto São José: discurso e prática nos subprojetos de mecanização no município de Jardim - CE**. 2010. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

SANTOS, A. R. R.; SANTOS, C. A.; SANTOS, A. R. As relações de poder no semiárido nordestino. **Revista Ambivalências**, v. 2, n.4, p.151-164, 2014.

SEKI, A. S.; BENEZ, S. H.; SILVA, P. R. A. Desempenho operacional da semeadora e produtividade do milho em plantio direto e cultivo mínimo. **Energia na Agricultura**, v.27, n.1, p.1-18, 2012.

SEVENHUYSEN, R. J. Surface drainage systems. **In**: RITZENA, H. P.(Ed). Drainage principles and application. Wageningen: ILRI,1994. p.799-826.

SILVA, C. A.; PARFITT, J. M. B. Drenagem Superficial para Diversificação do Uso dos Solos de Várzea do Rio Grande do Sul. **Circular Técnica**, 40, Embrapa: 1.ed. 2004, 10p.

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.

SILVA, M. R. DA.; LUIZ, A.; DANIEL, L. A.; PECHE FILHO, A. Uso da teoria de números índices para adequação de semeadoras-adubadoras de precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.2, p.222-229, 2007a.

SILVA, C. A. S.; THEISEN, G.; PARFITT, J. M. B.; SILVA, J. J. C.; POHLMANN, N. F.; CARVALHO, E. N.; SEGABINAZI, D. R. Sistema sulco/camalhão para irrigação e drenagem em áreas de várzeas. **Comunicado Técnico 165**. Embrapa, Pelotas, 2007b. 4p.

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

SILVA, J. C.; WENDLING, B.; CAMARGO, R.; BARBOSA, L.; MENDONÇA, P.; FREITAS, M. C. M. Análise comparativa entre os sistemas de preparo do solo: aspectos técnicos e econômicos. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, n.12, p. 1-11, 2011.

SILVEIRA, Gastão Morães da. **Máquinas para plantio e condução de culturas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001, 289 p.

SILVEIRA, João Cleber Modernel da. **Desempenho operacional de um conjunto trator-semeadura em função da velocidade e rotação no eixo do motor**. 2008. 118f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

SLACK, N.; AMBERS, S.; JOHNSTON, R. (2009). **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009, 720p.

SIMÕES, A.; SCHITZ, H. Intensificação de sistemas de produção através da mecanização na região da Transamazônica: limites e possibilidades. **Novos Cadernos Naea**, v.3, n. 2, p.145-176, 2000.

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. **Bragantia**, v.70, n.3, p.715-721, 2011.

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.01, p. 84-90, 2013.

SPIEGEL, Murrat Ralph. **Estatística**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 580 p.

STEFANELLO, Guisepe. **Semeadora de tração humana: projeto informacional e conceitual**. 2013. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.

TEIXEIRA, S. S.; MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V. dos; OLDONI, A. Caracterização da produção agroecológica do sul do Rio Grande do Sul e sua relação com a mecanização agrícola. **Engenharia Agrícola**, v.29, p. 162-171, 2009.

TEIXEIRA, Sandro Silveira. **Projeto conceitual de uma semeadora de milho e feijão voltada para a agricultura familiar de base ecológica**. 2008. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

TEIXEIRA, M. N. O sertão semiárido. Uma relação de sociedade e natureza numa dinâmica de organização social do espaço. **Sociedade e Estado**, v.31, n.3, p.769-797, 2016.

TRENTO, G. S.; SOMMERFELD, R.; ONUKI, L. T.; STRINGHINI, D. J. Análise por elementos finitos das forças mastigatórias em uma placa de reconstrução mandibular. **Revista Circular De Traumatologia Buco-Maxilo-Facial**, v. 16, n.1, p.172-78, 2016.

TOLEDO, José Carlos de; AMARAL, Daniel Capaldo. **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: 17 mai. 2019.

TOURINO, M. C. C.; REZENDE, P. M.; SILVA, L. A.; ALMEIDA, L. G. P. Semeadoras-adubadoras em semeadura convencional de soja. **Ciência Rural**, v.39, n.1, p.245-249, 2009.

VASCONCELOS, Ramon Oliveira. **Modernização da agricultura familiar em Sergipe: Impasses e desafios da horticultura irrigada no Agreste de Itabaiana**. 2013. 220 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Núcleo de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2013.

VASCONCELOS, K. S. L.; SILVA, T. J. J.; MELO, S. R. S. Mecanização da agricultura: demanda por tratores de rodas e máquinas agrícolas nos estados da região nordeste. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.6, n.2, p. 207-222, 2013.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; SILVEIRA, J. M. F. J. da. Mudança tecnológica na agricultura: uma revisão crítica da literatura e o papel das economias de aprendizado. **Revista Economia e Sociologia Rural**, v.50, n.4, p.721-742, 2012.

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

WANDERLEY, J. A. C.; CARLOS A. V. DE AZEVEDO, C. A. V.; BRITO, M. E. B.; ALVINO, F. C. G.; SOUSA, J. S. Crescimento do girassol sob sistema de captação de água in situ e adubação orgânica. **Revista Verde**, v.9, n.2, p.129-138, 2014.

WEIRICH NETO, P.H. **Importância de Atributos Agronômicos para qualificação de semeadura do milho (*Zea mays L.*) no sistema Plantio Direto na Região dos Campos Gerais - PR**. 2004. 147 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

YANG, Guangbin. **Life Cycle Reliability Engineering**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2007, 544 p..

YANG, C.; LIN, W.; LIN, M.; HUANG, J. A study on applying FMEA to improving ERP introduction an example of semiconductor related industries in Taiwan. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 23, n. 3, p. 298-322, 2006.

ZACKIEWICZ, M.; BONACELLI, M. B.; SALLES FILHO, S. Estudos prospectivos e a organização de sistemas de inovação no Brasil. **São Paulo em Perspectiva**, v.19, n.1, p. 115-121, 2005.

ZARDO, C. R.; BARBISAN, A. O.; BERTICELLI, N. Como desenvolver rapidamente produtos. **Revista Científica Metodológica**, v.5, n.2, p.41-53, 2016.

**APÊNDICE A - ESPECIFICAÇÃO DO PROJETO COM O CRITÉRIO DO
TELHADO**

No	Requisitos do projeto	Valor meta	Forma de Avaliação
1	Variação da abertura do sulco	Vai depender do tipo de solo	Teste de campo
2	Densidade de semeadura	4-5 sementes m ⁻¹	Análise de Projeto
3	Dosagem recomendada	9,8 g m ⁻¹	Análise de Projeto
4	Duração da regulagem	10 m	Teste em campo
5	Custo de Produção	Não medido para o protótipo	Análise de Projeto
6	Altura do camalhão	15 cm	Teste de campo
7	Custo de fabricação	Menor possível	Análise de Projeto
8	Largura do trabalho	0,45 a 0,90 m	Teste de campo
9	Vida útil	1.000 h	-
10	Dar mobilidade	Espaçamento	Teste de campo
11	Peso total do implemento	498 kg	Análise de Projeto
12	Intervalo de manutenção	10 h	Teste de campo
13	Peças padronizadas	70%	Análise de Projeto
14	Tempo de acoplamento	10 min	Teste de campo

APÊNDICE B – ANÁLISE DE EFEITOS E MODOS DE FALHAS (FMEA) DO PROTÓTIPO DA SEMEADORA-ADUBADORA

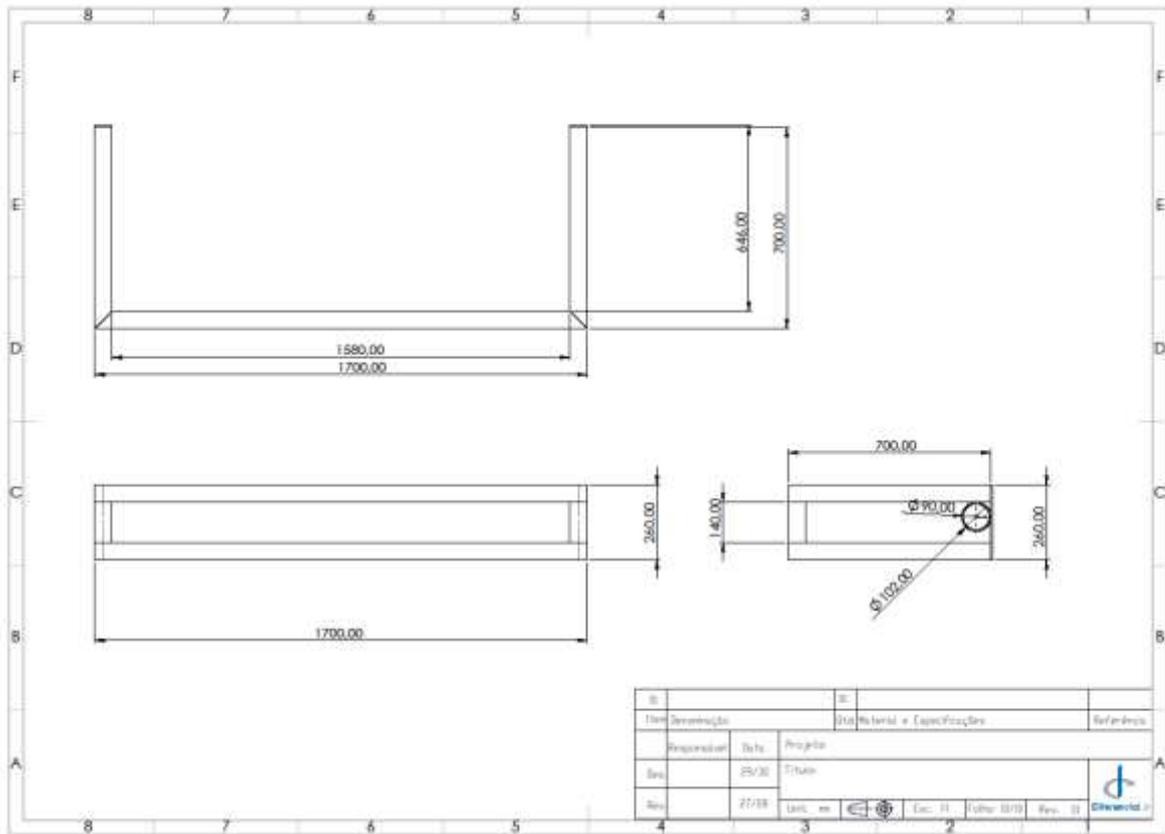
Descrição	Funções	Modo potencial de falha	Efeito da falha potencial	S	Classe	Causa potencial	O	Controle preventivo	D	RNP
Chassi	Estrutura base que incorpora os demais elementos do implemento	Deformação, rompimento e mal dimensionamento	Gera ruptura e regulagem defeituosa	9	CC	Material e design super dimensionamento da estrutura	1	Escolha do material e dimensionamento correto da estrutura	1	9
Regulador de profundidade	Regular a profundidade de aplicação do adubo	Rompimento ou travamento	Profundidade incorreta	6	CS	Fragilidade do material e dos elementos de conexão	2	Escolha do material de constituição da estrutura e dos elementos de conexão	3	36
	Regular a profundidade da deposição da semente	Rompimento ou travamento	Profundidade incorreta	6	CS	Fragilidade do material e dos elementos de conexão	2	Escolha do material de constituição da estrutura e dos elementos de conexão	3	36
Amortecedor	Reduzir a ação dos impactos	Rompimento, perda da capacidade de recuperação elástica do material	Dano a estrutura	5	CS	Má regulagem do implemento, material constituinte, dimensionamento da mola	3	Escolha do material e redimensionamento correto	4	60
Parafusos	Fixação não permanente de peças	Rompimento	Separação de peças	7	CS	Mal dimensionamento	3	Redimensionamento no projeto	3	63
Disco de sulco	Abrir sulcos e direcionar o adubo	Irregularidade de profundidade e ângulo de abertura do sulco	Sulcos irregulares	6	CS	Má regulagem dos discos	2	Boa regulagem	3	36
Disco de abertura de camalhões	Revolver o solo para a formação dos camalhões	Alinhamento incorreto	Não formação de camalhão	7	CS	Má regulagem	6	Boa regulagem	6	252
	Regular a profundidade da deposição da semente	Rompimento ou travamento	Profundidade incorreta	6	CS	Fragilidade do material e dos elementos de conexão	2	Escolha do material de constituição da estrutura e dos elementos de conexão	3	36

continua

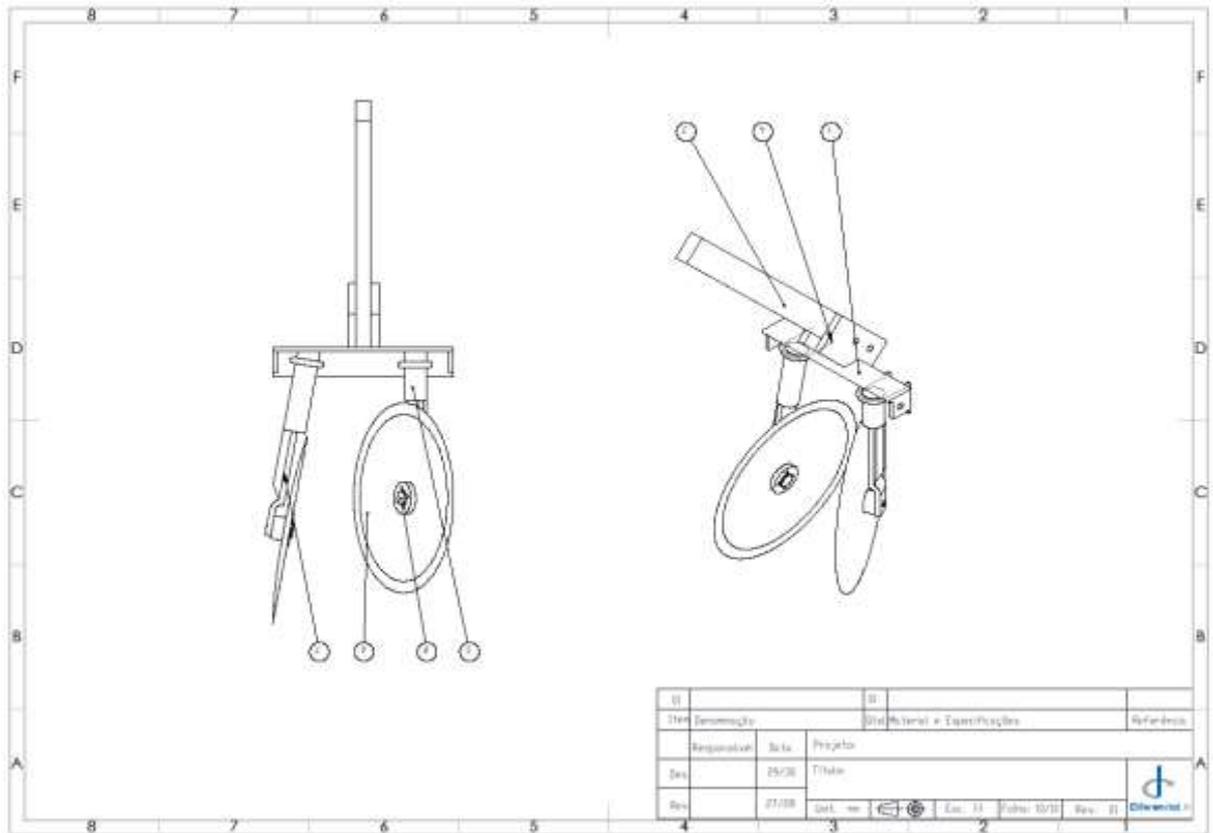
Descrição	Funções	Modo potencial de falha	Efeito da falha potencial	S	Classe	Causa potencial	O	Controle preventivo	D	RNP
Caixa de transmissão	Regular a velocidade de deposição de adubo e sementes	Imobilização dos eixos	Não alteração de marchas	6	CS	Má lubrificação dos elementos	3	Lubrificação	2	36
		Desgaste das engrenagens	Perda da eficiência na transmissão do movimento	4	CS	Má regulagem e depreciação	2	Boa regulagem	1	8
		Problema de contato entre as engrenagens		4	CS	Mal dimensionamento	2	Redimensionamento correto	1	8
Cabo flexível de transmissão	Transmitir rotação para os depósitos	Mal dimensionamento	Não transmite rotação	8	CC	Mal dimensionamento	3	Redimensionamento correto	1	24
Correntes	Transmissão do movimento giratório entre componentes	Rompimento	Perda total do funcionamento	8	CC	Fragilidade do material e excesso de carga	2	Escolha do material mais resistente	2	32
		Folga	Perda de eficiência de transmissão	5	CS	Mal dimensionamento	5	Redimensionamento correto	3	75
Rodado	Condução do implemento	Rodas independentes podem resultar em rotações diferentes	Patinagem e irregularidade na transmissão	5	CS	Rodas em eixos independentes	5	Redimensionamento no projeto	3	75
Depósito de adubos	Armazenar e distribuir o adubo	Falha no distribuidor	Distribuição inadequada	6	CS	Travamento da rosca	3	Boa regulagem	3	54
		Desgastes do material de constituição	Perda de insumo	7	CS	Qualidade do material	3	Substituição do material	3	63
Depósito de sementes	Armazenar e distribuir semente	Falha no distribuidor	Distribuição irregular	8	CC	Travamento do disco	3	Boa regulagem	4	96
Disco (semente)	Direciona a semente para o centro do sulco	Variação dos ângulos dos discos	Distribuição irregular de sementes no sulco	7	CS	Má regulagem	3	Boa regulagem	2	42
Roda compactadora	Fechar os sulcos e compactar o solo sobre a semente	Alinhamento incorreto	Compactar em excesso/insuficientemente o sulco	5	CS	Regulagem incorreta	2	Boa regulagem	3	30

Cs- Característica significativa

APÊNDICE C- ESPECIFICAÇÃO DO CHASSI



APÊNDICE D- ESPECIFICAÇÃO DOS DISCOS ABRIDORES DE SULCO



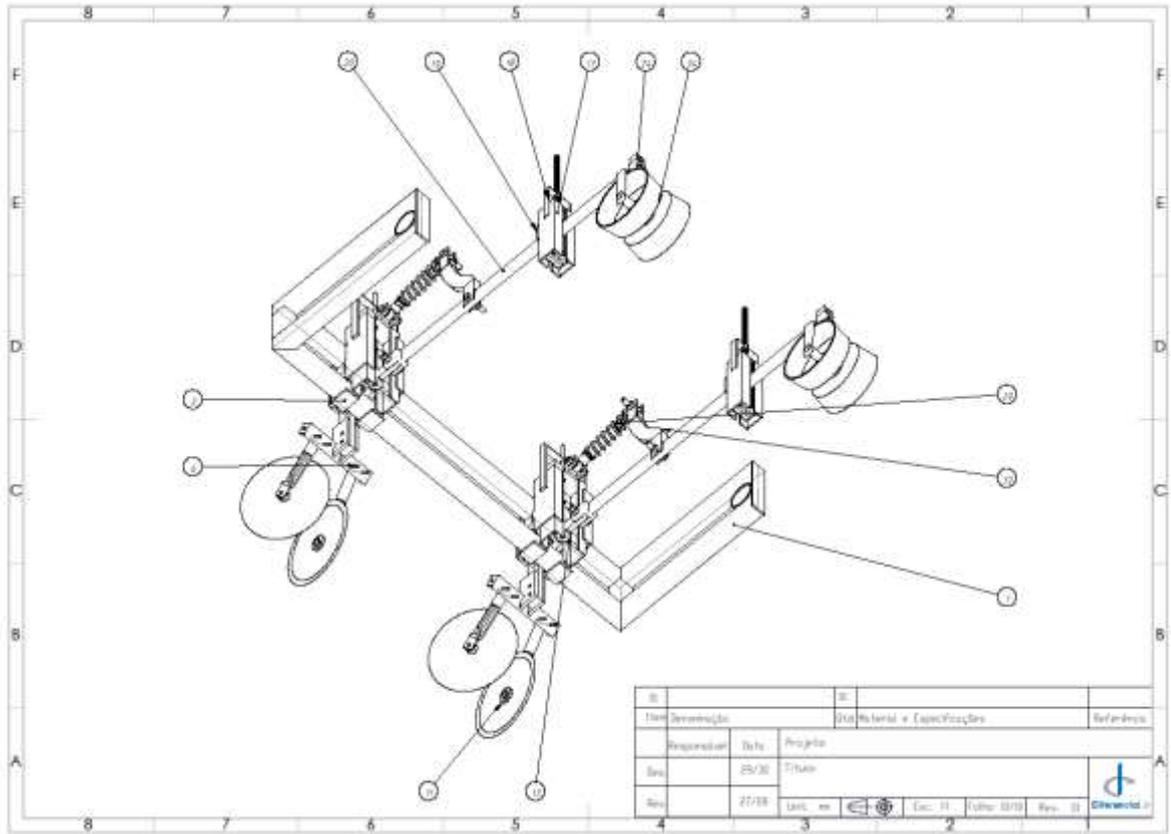
APÊNDICE E- ESPECIFICAÇÃO DOS REGULADORES DE LINHA

The drawing shows a perspective view of a mechanical assembly. It consists of a main frame with a diagonal support structure. A horizontal rod passes through the assembly, secured by a nut and washer. Three callouts are present: callout 1 points to a small rectangular plate with a hole; callout 2 points to a larger rectangular plate with two holes; callout 3 points to a U-shaped bracket with a hole. The drawing is enclosed in a grid with horizontal lines labeled A, B, C, D, E, F and vertical lines labeled 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.

01		01			
Item	Denominação	Data	Material e Especificações	Referência	
Responsável	Data	Projeto			
Des.	29/30	Título			
Rev.	27/28	Unid. mm	Esc. 1:1	Folha 10/30	Rev. 01

 Diferencial Jr

APÊNDICE F - ESPECIFICAÇÃO GERAL DO PROTÓTIPO



ANEXO A – CRITÉRIOS DE SEVERIDADE, OCORRÊNCIA E DETECÇÃO

Índice	Grau	Severidade	Ocorrência	Detecção
1		Mínima: Efeito da falha não perceptível ou improvável.	Mínima: Falha é improvável ou não considerada	Muito alta: Certamente será detectado
2	Baixa	Baixa: Baixa ocorrência de falhas e desempenho do ativo. Percebido no cliente com poucas consequências.	Baixa: 1 em 5.000.000 1 em 100.000	Alta:
3				Quase certo/Grande probabilidade de ser detectado
4	Moderada	Moderada: Deterioração significativa no desempenho de um sistema com descontentamento do cliente.	Moderada: 1 em 10.000 1 em 2.000 1 em 500	Moderada:
5				Boa/Média/Pequena
6				probabilidade de ser detectado
7	Alta	Alta: Ocorrência da falha compromete totalmente o desempenho do ativo. Cliente totalmente insatisfeito.	Alta: 1 em 100 1 em 50	Baixa: Muito
8				pequena/remota não será detectado
9	Muito alta	Muito alta: Ocorrência da falha compromete totalmente o desempenho do ativo com altos riscos de segurança.	Muito alta: 1 em 20 1 em 10	Rara: Quase
10				impossível/impossível de ser detectada.

Fonte: Adaptado de Toledo e Amaral (2008) citado por Albiero (2010).