



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



DISSERTAÇÃO

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO

PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS

DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA ESTIMATIVA DE DANOS MECÂNICOS EM SEMENTES EM UMA UNIDADE DE BENEFICIAMENTO: ESTUDO DE CASO EM FEIJÃO

PAULO DE ALMEIDA FARIAS

ORIENTADORES:

Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata

Prof^ª. Dr^ª. Maria Elita Martins Duarte

**CAMPINA GRANDE – PB
2015**



PAULO DE ALMEIDA FARIAS

**DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA ESTIMATIVA DE DANOS
MECÂNICOS EM SEMENTES EM UMA UNIDADE DE BENEFICIAMENTO:
ESTUDO DE CASO EM FEIJÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola na área de concentração em Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas.

ORIENTADORES:

Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata

Prof^ª. Dr^ª. Maria Elita Martins Duarte

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

F224d Farias, Paulo de Almeida.

Desenvolvimento de um equipamento para estimativa de danos mecânicos em semente em uma unidade de beneficiamento: estudo de caso em feijão / Paulo de Almeida Farias. – Campina Grande, 2017.

93 f. : il. Color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2015.

“Orientação: Prof. Dr. Mário Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata, Profa. Dra. Maria Elita Martins Duarte”

Referências.

1. Simulador de Danos em Semente. 2. Beneficiamento de Sementes. I. Mata, Mário Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti. II. Duarte, Maria Elita Martins. III. Título.

CDU 633.33(043)



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

PAULO DE ALMEIDA FARIAS

DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA ESTIMATIVA DE DANOS MECÂNICOS EM SEMENTES EM UMA UNIDADE DE BENEFICIAMENTO: DE SEMENTES: ESTUDO DE CASO EM FEIJÃO

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Dr. Mário Eduardo R. Moreira Cavalcanti Mata
Orientador

Dra. Maria Elita Martins Duarte
Orientadora

Dr. Renato Fonseca Aragão
Examinador Externo

Dr. Luis Antonio Dantas
Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

A DEUS meu criador e a Jesus meu salvador por meu tudo e sua misericórdia;

Ao meu pai (in memoriam) e minha mãe fontes de inspiração, força e segurança. Sempre presentes em minha vida, voz que ressoa em minha mente, que sempre escuto e não descuido de sondar meus procedimentos;

À minha esposa e filhos que sempre incentivaram e colaboraram comigo para realização dos nossos sonhos e conquistas;

Aos meus orientadores, professor Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata, professora Dr^a. Maria Elita Martins Duarte, por suas valiosas orientações, apoio, incentivo, ajuda, paciência e perseverança na dura tarefa de iluminar meu entendimento;

Ao bolsista Arthur de Araújo Farias, estudante do curso de engenharia elétrica, por sua valorosa contribuição na concepção e construção do hardware e do software desse sistema, durante sua atuação no Laboratório de Instrumentação Aplicada da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos.

Ao Dr. Renato Fonseca Aragão e ao Dr. Luis Antônio Dantas, pelo companheirismo e incentivo na caminhada para elaboração deste trabalho;

A todos os que fazem o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFCG pela dedicação e luta em favor da educação e desenvolvimento do nosso país;

Aos companheiros de trabalho da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos por seus incentivos e ajuda em diversos momentos.

SUMÁRIO

Agradecimentos	vii
Sumário	ix
Lista de Abreviaturas e Siglas	xi
Lista de Imagens	xiii
Lista de Tabelas	xvii
Resumo	xix
Abstract	xxi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo geral	5
1.2. Objetivos específicos	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	vii
2.1. Sementes	vii
2.2. Unidade de Beneficiamento de Sementes - UBS	9
2.3. Danos Mecânicos em Sementes	12
2.4. Equipamentos para teste e processamento de sementes	16
2.5. Simulação no estudo de Danos Mecânicos em Sementes	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1. Projeto de estrutura do equipamento	28
3.2. Validação do equipamento	57
3.3. Avaliações	59
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1 Construção e desenvolvimento do equipamento simulador de danos mecânicos em sementes	63
4.2. Conformidade de funcionamento do equipamento	61
4.3. Validação do desenvolvimento do equipamento simulador de danos mecânicos	71
5. CONCLUSÕES	83
5.1. Sugestões Para Futuros Trabalhos	84
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABMILHO	Associação Brasileira de Indústrias de Milho
ABRASEM	Associação Brasileira de Sementes
CIG	Conselho Internacional de Grãos
CONAB	Compahia Nacional de Abastecimento
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
MAP	Máquina de Peneira de Ar (sigla derivada do termo em inglês).
MG	Mesa de Gravidade.
RAS	Regras de Análises de Sementes.
SAS	Semente Após Secagem.
SUAR	Semente Úmida Antes da Recepção.
UBS	Unidade de Beneficiamento de Sementes.
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Foto de uma UBS.....	11
Figura 2:	Diagrama esquemático genérico de uma UBS.....	11
Figura 3.	Diagrama esquemático do equipamento agitador.	31
Figura 4.	Mancal e eixo de acoplamento.....	32
Figura 5.	Motor montado sobre a base.....	32
Figura 6.	Câmara com eixo montado.....	35
Figura 7.	Tampa mancal, Câmara e Haste.....	36
Figura 8.	Inversor de Frequência CFW10, desenho da carcaça.	38
Figura 9.	Diagrama de blocos do CFW10 200-240 V – 1,6A. Monofásico mostrando as relações entre as entradas e saídas de potência e de sinais e os componentes internos do inversor de frequência.....	38
Figura 10.	Diagrama simplificado da referência de frequência.....	39
Figura 11.	Diagrama simplificado da referência de comandos.....	40
Figura 12.	Diagrama de ligações das chaves às entradas digitais do barramento XC1 do inversor de frequência.....	41
Figura 13.	Diagrama de modo de operação.	41
Figura 14.	Diagrama de ligações Inversor de Frequência – modo local.....	42
Figura 15.	Diagrama de ligação da placa externa com o barramento XC1 do inversor de frequência.....	43
Figura 16.	Display LCD dezesseis linhas por duas colunas (16x2),	44
Figura 17.	Descrição e Especificações dos terminais do conector XC1	44
Figura 18.	Relação dos sistemas e subsistemas.....	45
Figura 19.	Teclado alfanumérico com 4 linhas e 4 colunas	46
Figura 20.	Filtro ativo de primeira ordem com elevador de sinal de TTL para 0-10V.....	46
Figura 21.	Resposta em frequência do filtro ativo do sinal PWM.	47
Figura 22.	Resposta em frequência de um sinal PWM antes da filtragem.	47
Figura 23.	Resposta em frequência do sinal PWM após a filtragem.....	48
Figura 24.	Comparação das respostas no tempo do sinal PWM e o sinal na saída do filtro.....	48

Figura 25. Placa de circuito impresso do módulo.	49
Figura 26. Esquemático de simulação da placa de controle.....	50
Figura 27. Diagrama básico do agendador de tarefas.....	53
Figura 28. Tela inicial do display após energização.....	54
Figura 29. Representação do estado atual do menu do sistema ao pressionar a tecla 8.	55
Figura 30. Representação do estado atual do menu do sistema ao pressionar a tecla #.....	55
Figura 31. Equipamento montado para o estudo de caso.....	63
Figura 32. Câmara de amostra e haste e tampa mancal.....	64
Figura 33. Gráfico da temperatura em função do tempo de operação.....	69
Figura 34. Representação gráfica da porcentagem de germinação das sementes de feijão carioca em cada etapa do beneficiamento, considerando-se a secagem feita nas temperaturas de 25, 35 e 45°C.....	74
Figura 35. Representação gráfica da porcentagem de vigor das sementes de feijão carioca em cada etapa do beneficiamento, considerando-se a secagem feita nas temperaturas de 25, 35 e 45°C.....	71
Figura 36. Curva de calibração do aparelho simulador de danos mecânicos em sementes, para a germinação das sementes de feijão carioca: Etapas de 1 a 5.....	72
Figura 37. Curva de calibração do aparelho simulador de danos mecânicos em sementes, para a germinação das sementes de feijão carioca: Etapas de 6 a 12 com secagem a temperatura de 25°C.	67
Figura 38. Curva de calibração do aparelho simulador de danos mecânicos em sementes, para a germinação das sementes de feijão carioca: Etapas de 6 a 12 com secagem a temperatura de 35°C	74
Figura 39. Curva de calibração do aparelho simulador de danos mecânicos em sementes, para a germinação das sementes de feijão carioca: Etapas de 6 a 12 com secagem a temperatura de 45°C	75
Figura 40. Curva de calibração do aparelho simulador de danos mecânicos em sementes, para o vigor das sementes de feijão carioca: Etapas de 1 a 5.....	76

Figura 41. Curva de calibração do aparelho simulador de danos mecânicos em sementes, para o vigor das sementes de feijão carioca: Etapas de 6 a 12 com secagem a temperatura de 25°C	77
Figura 42. Curva de calibração do aparelho simulador de danos mecânicos em sementes, para o vigor das sementes de feijão carioca: Etapas de 6 a 12 com secagem a temperatura de 35°C	78
Figura 43. Curva de calibração do aparelho simulador de danos mecânicos em sementes, para o vigor das sementes de feijão carioca: Etapas de 6 a 12 com secagem a temperatura de 45°C	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Demonstrativo da passagem das sementes pelas máquinas da UBS.	56
Tabela 2:	Velocidade em função da frequência da excitação do motor.	60
Tabela 3:	Dados de funcionamento do motor. Experimento 1: Temperatura ambiente 25 °C. Velocidade 100 RPM.	62
Tabela 4:	Dados de funcionamento do motor. Experimento 2. Temperatura ambiente 25 °C. Velocidade 500 RPM.	63
Tabela 5:	Dados de funcionamento do motor. Experimento 3. Temperatura ambiente 25 °C Velocidade 2000 RPM.	64
Tabela 6:	Tempo de passagem das sementes pelo equipamento simulador correspondente a cada etapa do beneficiamento em uma UBS*	66
Tabela 7:	Valores médios do percentual de germinação da semente de feijão carioca durante o processo de beneficiamento na UBS e no simulador, levando-se em consideração a secagem feita com diferentes temperaturas (25, 35 e 45°C).	67
Tabela 8:	Valores médios do percentual de vigor da semente de feijão carioca durante o processo de beneficiamento na UBS e no simulador, levando-se em consideração a secagem feita com diferentes temperaturas (25, 35 e 45°C).	68
Tabela 9:	Diferenças entre os valores obtidos na UBS e no simulador de danos para a germinação e o vigor das sementes de feijão mulatinho, levando-se em consideração a etapa de secagem feita com diferentes temperaturas (25, 35 e 45°C)	69
Tabela 10:	Danos mecânicos em função do tempo de passagem das sementes pelo equipamento simulador correspondente a cada etapa do beneficiamento em uma UBS*do processo real	77
Tabela 11:	Demonstrativo de custos de materiais	78

DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA ESTIMATIVA DE DANOS MECÂNICOS EM SEMENTES EM UMA UNIDADE DE BENEFICIAMENTO: ESTUDO DE CASO EM FEIJÃO

Orientado: Paulo de Almeida Farias

Orientadores:

Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata

Prof^ª. Dr^ª. Maria Elita Martins Duarte

RESUMO

No processamento mecanizado de sementes em uma Unidade de Beneficiamento de Sementes – UBS, as operações para o condicionamento das sementes, têm por objetivo beneficiar e resguardar a sua qualidade. Contudo, no decorrer do processo há ocorrência de danos por impacto, fricção, pressão, aos produtos. Os danos podem ser estimados pelo uso de equipamento simulador dos efeitos das operações. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um equipamento simulador de danos mecânicos, indutor de impactos controlados em sementes, para simular os efeitos das interações ocorridas na UBS, com um estudo de caso em feijão carioca. Foi desenvolvido no Laboratório de Instrumentação Aplicada da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos. O equipamento tem uma estrutura mecânica de homogeneização, um aplicador de golpes e misturador de sementes, tracionado por um motor elétrico trifásico, controlado por uma unidade inversora de frequência e uma interface baseada em controlador Arduino. Os parâmetros de controles foram obtidos de uma UBS. Os resultados são conclusivos e satisfatórios, permitindo simular os índices de danos do processamento na UBS, em sementes de feijão carioca com precisão de 95% de probabilidade, testados pela perda de qualidade fisiológica das sementes de feijão determinada pelas operações em uma UBS e comparado com o equipamento desenvolvido.

Palavras-chaves: Simulador de danos em sementes, beneficiamento de sementes.

DEVELOPMENT OF A EQUIPMENT FOR MECHANICAL DAMAGE ESTIMATION IN SEEDS IN A BENEFIT UNIT: CASE STUDY IN BEANS

Orientado: Paulo de Almeida Farias

Orientadores:

Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata

Prof^ª. Dr^ª. Maria Elita Martins Duarte

ABSTRACT

The mechanized seeding process from a seed processing facility (UBS) benefits from pre-cleaning, drying, cleaning, classifying, plague treatment and product packing, that provides for the correct storage conditions for further distribution. Nonetheless, a device designed to simulate the seed processing facility operations could determine processing damages from impact, friction, pressure, among others. We did a case-study with carioca bean (*Phaseolus vulgaris*) that aimed to design such an electromechanical device capable of simulate and control the mechanical impact occurring on a seed processing facility with precise application velocity and exposure duration. A case-study was performed. The simulator device was designed at the Laboratory of Applied Instrumentation from the Food Engineering Academic Unit utilizing operational information from UBS specialists. The prototype composes of a homogenization mechanical structure powered by the traction provided by a three-phase electric powered engine, and provides mechanical impact and seed mixing. The device has an engine electronic microprocessor controlled that controls the frequency inverter unit. Previous processing parameters such as variety, moisture content, temperature, shape, density, elasticity index, hardness, breakage susceptibility, among others were used to adjust and regulate the device. From the results, we can conclude that the designed device is able to simulate with a 95% precision the damages occurring on a seed processing facility, addressed by the loss of physiologic quality of pinto bean seeds of SPF processed seeds in comparison with the ones assayed on our prototype.

Keywords: Simulation of damage, seed processing.

1. INTRODUÇÃO

Os grãos são fonte importante de alimentos para homens e animais. A ciência das influências dos climas, das condições dos solos nas diversas regiões do planeta, das técnicas e processos de cultivo da semeadura à colheita, os cuidados posteriores com condicionamento e armazenamento influem, de forma positiva, na abundância e disponibilidade de alimentos. As sementes, quando de boa qualidade, favorecem a produção de plantas fortes, resistentes às condições ambientais, de modo a elevar a qualidade dos frutos produzidos. A demanda sempre crescente por alimentos, em virtude do aumento da população mundial, exige crescente volume de sementes e investimentos em pesquisa e desenvolvimento para subsidiar a atividade produtiva e a consequente disponibilidade de alimento.

De acordo com a FAO, Organização para Agricultura e Alimentação (2013), a produção total de grãos e cereais no mundo, no ano de 2013, foi em torno de 2,479 bilhões de toneladas, com um aumento de cerca de 7% em relação ao ano anterior. O órgão menciona que a produção de milho é de 963 milhões de toneladas, o trigo é responsável por aproximadamente 704 milhões de toneladas, o arroz por 500 milhões de toneladas e a soja por 236 milhões de toneladas. O CIG, Conselho Internacional de Grãos (2014), considera que houve condições favoráveis para um aumento da safra que compensa a redução do ano anterior e representa a maior alta da história. Constata-se que essas quatro culturas representam 97% de toda a produção mundial de grãos.

O feijão está entre as 10 culturas de grãos mais produzidas no mundo, sendo superada pelo arroz, milho, soja e trigo. De acordo com SALVADOR (2014), a produção mundial de feijão em 2010 foi de 22,9 milhões de toneladas e representou aproximadamente 1% da produção mundial.

O Brasil classificado como o segundo maior produtor mundial de feijão, com uma produção de 3,16 milhões de toneladas em 2010, correspondendo a 14% da produção mundial e de 3,645 milhões de toneladas de grãos na safra agrícola de 2013/2014, correspondendo a 5 milhões de hectares de área plantada e uma produtividade média de 893 kg/ha (CONAB, 2015). Esta produtividade ainda é considerada muito baixa quando comparada à de outras culturas produtoras de grãos, principalmente quando se sabe que o feijoeiro tem potencial genético para produzir 4.500 kg/ha de grãos (VIEIRA, 1999).

Para LIMA et al. (2003), o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) exerce um importante papel na alimentação da população brasileira, sendo a principal fonte de proteína de origem vegetal, principalmente para a população de baixa renda, fornecendo ainda ferro, carboidratos e fibras. Em pesquisa mais recente, CARVALHO et al. (2014), afirmam que a cultura do feijão comum (*Phaseolus vulgaris L.*) tem relevância socioeconômica na agricultura brasileira, principalmente por ser uma fonte importante de proteínas, aminoácidos, ácidos graxos e minerais para a população e o abastecimento do mercado brasileiro.

Para MENTEN et al. (2006), na cultura do feijão, um dos fatores que mais contribuem para a baixa produtividade, é a utilização de grãos em vez de sementes certificadas para o plantio. Outros fatores como a baixa tecnologia utilizada, a existência de múltiplos intermediários, a insuficiente participação de cooperativas e os prejuízos na época da comercialização, quando os preços caem repentinamente, além da insegurança devida aos riscos climáticos. Outro aspecto a ser considerado é que a mecanização além de trazer relevantes benefícios para a eficiência do processo produtivo traz, também, uma grande atenção quanto à ocorrência de danos mecânicos durante o processo de produção de sementes, tanto na etapa da colheita quanto no beneficiamento (MONDO et al., 2009).

Este contexto, suscita que sejam intensificados estudos e pesquisas, direcionando seus esforços visando o aumento da produtividade e a redução de custos. Este esforço orientado, sobremaneira, para o pequeno e o médio produtor, deverá potencializar melhorias aos produtores da agricultura familiar, responsáveis por grande parcela da produção do Nordeste do Brasil.

A Paraíba, com base na atual média nacional de consumo per capita de feijão de 15 kg/hab/ano, e considerando o lamentável cenário da produção agrícola estadual, baseado na produção obtida no ano 2014, constata-se um deficit anual de produção de 37.900 ton, exigindo ações, no âmbito nacional e local, para suprir tal demanda de consumo interno (CONAB, 2015).

O governo da Paraíba tem desenvolvido esforços no sentido de melhorar a produtividade desse seguimento produzindo sementes de milho e feijão com alta viabilidade genética para ser distribuído junto aos agricultores (SILVEIRA et al., 2002).

A produção de sementes em escala para atender as demandas de uma política de estado, tem dimensões tais, que se faz necessário o aporte de

tecnologias que viabilizem o atendimento dos requisitos técnicos para a produção, bem como, o quantitativo necessário para o atendimento das demandas, garantindo a formação de estoques reguladores, de modo que garantam os objetivos do programa, e os agricultores sejam atendidos com a eficácia necessária (CUNHA, 2013).

Nesse contexto, para que os objetivos sejam atingidos torna-se necessário o aporte de tecnologias de cultivo, colheita e beneficiamento mecanizados de sementes, bem como do armazenamento. Os possíveis danos, resultantes desse aporte tecnológico, sobre a qualidade fisiológica (germinação e vigor) das sementes, é uma das consequências danosas que necessita ser adequadamente estudada e ações devem ser implementadas para a melhoria contínua da produção. Em suma, nas diversas etapas da produção mecanizada de sementes, desde o plantio até a fase da colheita, transporte do campo para as unidades de beneficiamento, armazenamento e distribuição, medidas de controle dos maquinários envolvidos são indispensáveis para minimizar os danos que podem ser causados às sementes.

BARBOSA et al. (2014), concordando com COPELAND (1972), concluem que os danos mecânicos, ocorrido no período pós-colheita, acarreta redução no índice de germinação, e o beneficiamento sem os devidos cuidados podem acarretar uma redução triplicada nesse índice.

No caso específico da produção de sementes de feijão, MONDO et al. (2009), relatam susceptibilidade aos danos mecânicos aumentada, como uma consequência adicional, associada a estrutura física da semente do feijoeiro e do aumento do número e da pressão de impacto, estabelecendo uma relação direta com a perda do potencial fisiológico da semente de feijão, sendo que o aumento da intensidade proporciona danos maiores e imediatos, ressaltando que os danos mecânicos ocasionados com a pressão de impacto mais baixo exercem efeitos danosos à semente dependendo da região atingida durante o impacto.

Na etapa de produção após a colheita das sementes, elas são transportadas para uma UBS onde passam por operações típicas de pré-limpeza, limpeza, seleção, classificação, aplicação de defensivos e embalagem para posterior armazenamento ou distribuição. Tais operações, desenvolvidas nas estruturas eletromecânicas, promovem a movimentação das sementes com velocidades e tempos pré-determinados para alcançar os objetivos do beneficiamento. Estas operações podem afetar negativamente a qualidade da semente, em virtude dos

impactos e atritos sucessivos que as sementes são submetidas, ocasionando trincas, arranhões e quebras, reduzindo seu potencial de germinação e vigor.

Em estudos desenvolvidos por MONDO et al. (2009), chegaram a conclusão que os danos mecânicos ocasionados com a pressão de impacto mais baixa exercem efeitos danosos às sementes, dependendo da região atingida durante o impacto. Porém, em alta pressão de impacto, os prejuízos ao potencial fisiológico são mais acentuados e aumentam significativamente na medida em que se aumenta o número de impactos nas sementes. Além disso, o condicionamento das sementes, que também contempla a secagem de grandes volumes, passa a ser um importante fator de modificação da susceptibilidade ao dano pela secagem. Esta importante operação é uma fase do processamento, onde estão envolvidos custos com o consumo de energia que contribuem com um importante percentual na planilha de custos para produção de sementes de alta qualidade.

Também POULSEN et al. (1978), em estudo dos efeitos sobre a qualidade dos grãos de soja quando são submetidos a impactos, concluem que há um aumento dos danos com o número de a velocidade.

MOREAES et al. (1980) estudaram os efeitos de velocidade e da posição do impacto na germinação, no vigor de sementes de soja (cultivar UFV-2) com diferentes teores de umidade.

Tem-se, assim, que o beneficiamento é importante fonte de danos mecânicos, em razão principalmente dos atritos sucessivos que a semente sofre em cada uma das operações e também uma etapa que por seu aporte tecnológico e consumo energético importante conduz a uma necessidade de ser devidamente conhecido e alvo de estudos e pesquisas para o sucesso do processo de produção desse insumo agrícola da mais alta significância. Desta forma, a construção de equipamentos eficientes do ponto de vista funcional, que possam prever com antecedência, os danos causados pelas operações de uma UBS são de grande valia, tornando possível estimar qual o percentual de danos após o beneficiamento. Essa estimativa são dados que poderão ser utilizados em novos projetos de máquinas mais eficientes, ou permitirá que as máquinas atuais sejam reguladas, reconfiguradas, e procedimentos adotados, para que as sementes saiam do processo de beneficiamento com qualidade fisiológica superior, o que deverá proporcionar o aumento da produtividade do setor agrícola da região.

Assim, de acordo com o acima referenciado, os objetivos geral e específico

desta pesquisa foram:

1.1 Objetivo geral

Construir e testar um equipamento para provocar danos mecânicos em sementes, de forma controlada em tempo e velocidade de aplicação, e estimar a perda de qualidade fisiológica de sementes de feijão carioca em função de danos mecânicos, causados em cada etapa do beneficiamento, em uma UBS.

Para atingir este objetivo geral torna-se necessário realizar os seguintes objetivos específicos

1.2. Objetivos específicos

Projetar e construir um equipamento com estrutura mecânica, funcional e de porte laboratorial, que seja capaz de processar amostras de sementes e simular danos mecânicos que ocorrem em cada etapa do beneficiamento em uma UBS;

Avaliar a germinação e o vigor (Primeira contagem da germinação) das sementes de feijão carioca após cada etapa do beneficiamento, tendo como variáveis do processo, o Teor de água inicial de 25%b.u. e Temperatura de secagem de 25, 35 e 45°C até atingir teor de água final de 12,0% (b.u.);

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. SEMENTES

A Instrução Normativa N.º38, lançada pelo Ministério da Agricultura em 2011, no capítulo I, conceituou sementes como material de reprodução vegetal, de qualquer gênero, espécie ou cultivar, proveniente de reprodução sexuada ou assexuada, destinada exclusivamente à semeadura.

As sementes das plantas têm a perpetuação das espécies como função principal. São as sementes determinantes na implantação, propagação e desenvolvimento da agricultura. A semente se destaca por ser o insumo de maior significância no contexto de produtividade e para que esta seja considerada de alta qualidade deve apresentar características sanitárias, físicas, genéticas e fisiológicas adequadas, (França Neto et al., 2010). Descrita na literatura especializada, como um óvulo maduro e fecundo, com capacidade para gerar uma nova planta. Na sua estrutura básica encontra-se uma cobertura protetora, chamada tegumento ou casca, um eixo embrionário, e um tecido de reserva, (POPINGIS, 1985).

A cobertura externa é a proteção das partes internas, especializada em resistir a choques e abrasões, funcionando como barreira aos organismos invasores. A casca é reguladora do processo de reidratação, da respiração e no controle da germinação. Já o eixo embrionário é o formador da nova planta. Para realizar esta função, se apropria de substâncias orgânicas, que estão disponíveis nos tecidos de reserva (MARCOS FILHO, 2005). Para ALMEIDA et al., (2004), a semente de feijão possui tegumento delicado e seu embrião ocupa posição lateral e superficial, pelo que está mais sujeita às avarias mecânicas, que outras sementes sem essas características morfológicas.

O conceito de qualidade aplicado à semente envolve quatro aspectos: genético, físico, fisiológico e sanitário. Esse conjunto de atributos, são indicadores do bom potencial para germinar, emergir e produzir uma quantidade adequada de plantas vigorosas e saudáveis, viabilizando a implantação de uma cultura com alto rendimento. KOLCHINSKI et al., (2005) verificaram que plantas provenientes das sementes de alto vigor apresentam maior índice de área foliar, produção de matéria seca e acréscimos superiores a 35% no rendimento de sementes, em relação ao uso das sementes de baixo vigor.

A qualidade de uma semente do ponto de vista físico, refere-se à composição do lote com cultivar escolhida e tamanho que facilite o manejo mecanizado mais eficiente. Do ponto de vista fisiológico, se refere a capacidade de germinar. Já a qualidade sanitária indica a presença de elementos patogênicos e insetos. Para SPINOLA et al., (2000), a alteração na qualidade das sementes tem como consequência final a redução na capacidade germinativa, entretanto, transformações degenerativas mais sutis, não avaliadas pelo teste de germinação, exercem grande influência no potencial de desempenho, com reflexo na emergência das plântulas no campo, no crescimento e na produtividade das plantas.

A utilização de sementes de elevada qualidade é essencial para elevar o índice de produtividade do feijão (MAMBRIN et al., 2015). Os efeitos da qualidade fisiológica de sementes no crescimento inicial de plantas, desempenho de plantas, uniformidade da lavoura, e inclusive na produtividade de grãos de feijão tem sido bastante estudado e comprovado em diversas culturas (KOLCHINSKI et al., 2006; MATTIONI et al., 2012).

A importância da produção de sementes para serem aplicadas na produção de grãos visando a alimentação de homens e animais é comprovadamente fator de aumento da produtividade. O trigo, o arroz, o milho, a soja, o café, o feijão e muitos outros são amplamente difundidos e sua produção é desenvolvida por vários povos em redor do mundo, por sua diversidade, utilidade, valor nutricional, utilização com processamento mínimo doméstico ou processamento industrial; comprovando sua importância sócio-econômica fundamental (CARNEIRO, 2005).

No Brasil sua importância é confirmada por ser nosso país, um importante produtor de grãos mundial. Sendo possível encontrar estruturas de produção em todos os níveis tecnológicos de nossa agricultura, variando da “agricultura de subsistência” até imensas áreas cultivadas sob “agricultura de precisão” (SANTOS et al., 2002).

Na safra de grãos brasileira 2013/2014, segundo a relatório da CONAB, o Brasil tornou-se o maior produtor mundial de soja. A produção recorde é atribuída a um crescimento de 6,9% da área plantada e de 3,3% de produtividade. No corrente ano a produção de grãos na temporada 2014/2015 foi de 204,5 milhões de toneladas, com aumento de 5,6% ou 10,9 milhões de toneladas em relação à obtida no período 2013/14, quando alcançou 193,62 milhões de toneladas (CONAB, 2015). Nesta safra a taxa de utilização de sementes chegou apenas a apenas 19%, que é

uma porcentagem baixa, uma vez que segundo a ABRASEM (2015), havia uma demanda potencial de 49.923 toneladas, e uma efetiva utilização de apenas 9.485 toneladas.

O aumento da produtividade e da qualidade da produção de grãos e sementes está relacionado com a eficiência no uso dos insumos, da mão-de-obra e da adoção de medidas eficientes, na colheita, no transporte, na limpeza, na escolha adequada de técnicas de secagem, no beneficiamento pós colheita e no armazenamento. É consenso entre os economistas que a adoção de novas tecnologias na agricultura tem contribuído, consideravelmente, para o aumento da produtividade e para a melhoria da qualidade dos produtos agrícolas (PEREIRA et al 2010). O uso de máquinas e implementos em todas as atividades é um fator de elevação da capacidade de produção (ALMEIDA et al., 2006).

O planejamento das etapas de produção das sementes, a capacitação técnica do produtor de sementes e a adequação das condições para a produção em campo, para a colheita, para o beneficiamento e para a conservação das sementes são fundamentais para a manutenção da qualidade sob controle (MENTEN et al., 2006).

A melhoria da qualidade dos grãos obtidos e o aumento da produtividade são diretamente proporcional ao emprego de tecnologia em todos os níveis do processo de produção desde a preparação da terra para o plantio. TAVARES et al., (2013), concluem que os efeitos da qualidade fisiológica das sementes no desenvolvimento inicial de plantas, uniformidade da lavoura e a produtividade estão diretamente relacionadas, corroborando também com os estudos de (CANTARELLI, et al., 2015). Para o alcance da melhoria contínua e aumento da produção e produtividade as instalações de beneficiamento e armazenamento devem ser projetadas, edificadas e gerenciadas para eficientemente realizar as operações de recepção, limpeza, secagem, armazenagem e expedição (SILVA, 2009).

A necessidade de grandes quantidades de sementes para dar suporte as atividades produtivas na escala a que nos referimos, tras consigo um necessário aporte tecnológico associado, que na visão de vários estudiosos é determinante para a melhoria na qualidade e o aumento da produtividade das culturas.

Para GARCIA et al., (2004), grandes quantidades de sementes, é imprescindível a utilização de secagem artificial, cujos custos de operação estão diretamente relacionados com o volume, a velocidade de secagem e a temperatura

do ar.

A modernização da atividade produtiva agrícola tem sido beneficiada pela incorporação de técnicas e processos modernos. Por outro lado, o aporte de equipamentos e metodologias têm seus custos e dificuldades associadas que necessitam ser superadas, pois a atividade produtiva de alimentos, a cada dia, se faz mais necessário para a melhoria das condições de vida da humanidade (SANTOS & VALE, 2012). Dentre as medidas tecnológicas adotadas o aumento da produtividade de grãos, tem sido fortemente relacionado a utilização de sementes de qualidade e em quantidade suficiente, para viabilizar a expansão da atividade produtiva, bem como, à mecanização dos processos para lidar com as quantidades, sempre crescentes, de sementes e insumos necessários ao plantio (SCHEEREN et al. 2010) e (BRAGAGNOLO & BARROS 2015). Dentre os diversos mecanismos utilizados, as Unidades de Beneficiamento de Semente (UBS) são de primordial importância, pois as grandes quantidades de sementes produzidas precisam de estrutura de condicionamento e armazenamento compatíveis com o volume a ser processado em tempo adequado, devido as condições climáticas e a janela de tempo propício para a colheita, (MARCANDALLI et al., 2011; KAPPES et al., 2012). A colheita de sementes envolve gerenciamento das atividades, do tempo ideal da colheita e da disponibilidade de máquinas para retirar e transportar as sementes do campo o mais rápido possível sem afetar negativamente sua qualidade (PESKE, 2014).

2.2. UNIDADE DE BENEFICIAMENTO DE SEMENTES - UBS

Uma UBS, de um modo genérico, é formada por um conjunto de máquinas instaladas em uma edificação, projetada e construída com a função específica de beneficiar lotes de sementes, de modo a condiciona-las para a aplicação na semeadura da próxima safra. CARVALHO & NAKAGAWA (2000), definem o beneficiamento como um conjunto de operações que visa melhorar as características de um lote de sementes, eliminando impurezas, sementes de outras espécies, sementes da própria espécie com características indesejáveis e a posterior separação em frações mais uniformes. Por tanto, o condicionamento das sementes colhidas, se dá por um conjunto de operações desenvolvidas na UBS,

com o objetivo de melhorar a qualidade do lote colhido para posterior comercialização ou aplicação na plantação da próxima lavoura. A foto de uma UBS pode ser visualizada na Figura 1.

Geralmente, as sementes produzidas e colhidas nos campos, são transportadas por caminhões para as UBS. Essa operação e os danos mecânicos que causam nas sementes foram estudados por (ALBANEZE, 2014). No processo de colheita é comum que, junto com as sementes, sejam também coletadas sementes de ervas daninhas, sugeiras, partículas do solo, poeira agregada a casca das sementes. SILVA & SOARES, (2003) afirmaram que materiais inertes e sementes de diferentes tamanhos afetam o fluxo nas máquinas, inclusive nas colheitadeiras, além de favorecerem a formação de um ambiente propício ao desenvolvimento de insetos e microrganismos, comprometendo consequentemente o armazenamento destas. Já outras impurezas, como sementes de plantas daninhas e de outras plantas cultivadas, podem afetar a qualidade dos lotes subsequentes.



Figura 1. Foto de uma UBS.

Fonte: Autoria Própria

Os objetivos básicos das UBS, são resguardar as características essenciais das sementes, através do adequado condicionamento para o atendimento aos requisitos estabelecidos como padrão de qualidade, além de viabilizar o processamento de grandes volumes em tempo cada vez menores, com implicações positivas na produtividade e custos da produção, pela economia de energia,

maximização da disponibilidade das sementes, para a sua aplicação e a melhoria das condições para o resguardo do seu potencial para gerar novas plantas.

Na UBS, os equipamentos de limpeza de sementes são eletro-mecânicos e utiliza as diferenças entre as características físicas da semente e as características dos contaminantes indesejáveis para executar a separação. Para MARTIN et al., (2007), as máquinas utilizadas no beneficiamento de sementes, realizam as separações com base em diferenças físicas entre os componentes do lote, como tamanho, peso específico, forma, cor e textura. Segundo FERREIRA (2010) a classificação das sementes é necessária devido à grande variação em tamanho, forma e qualidade das sementes. Além disto, a separação por densidade pode ser recomendada como acabamento para melhorar a qualidade fisiológica (germinação e vigor) do lote de sementes, e de atenderem os padrões mínimos de comercialização que estão preestabelecidos pelas normas legais vigentes (PESKE & BAUDET, 2003).

No diagrama esquemático da Figura 2, pode ser observado um conjunto de equipamentos e instalações que representam uma possível estrutura de uma UBS.

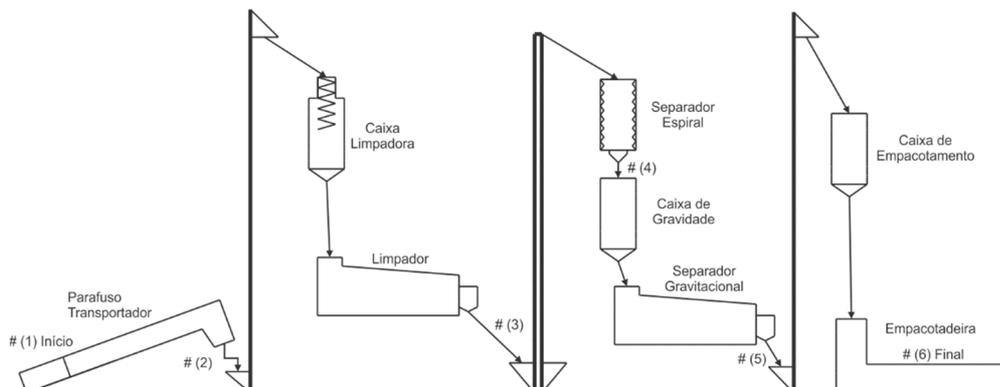


Figura 2: - Diagrama esquemático genérico de uma UBS.

Fonte: Autoria Própria.

No estágio 1, o desenho representa uma moega. Utilizada para a recepção e transporte das sementes por um parafuso transportador. As sementes conduzidas para o estágio 2, são elevadas por uma espiral transportadora ou elevador de canecas para a etapa subsequente. Esta estrutura equipa toda a UBS entre os equipamentos que a compõe. No estágio 3, a Pré-Limpeza é realizada por um conjunto mesa de ar e peneira. Sua função é proporcionar a separação das sementes com base no tamanho, forma e peso. Em seguida, no estágio 4, as sementes são transportadas até uma estrutura separadora em espiral para remover

contaminantes e sementes amassadas. Na próxima etapa, estágio 5, é comum a utilização de um separador por gravidade ou um aspirador para melhorar a qualidade das sementes. As sementes limpas, em seguida, podem ser tratadas e ensacadas, no estágio 6.

As sementes processadas, comumente podem ter sua qualidade avaliada pela integridade física e pela capacidade de germinação. A utilização de sementes de qualidade é diretamente proporcional ao sucesso no cultivo do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). Entendendo-se por sementes de qualidade as que propiciam alta germinação e vigor, com alta pureza genética e física. As características de um lote de sementes, podem ser verificadas por testes que seguem normas estabelecidas na Instrução Normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2013b). Fatores intrínsecos às atividades de colheita, transporte, estrutura operacional da UBS, velocidade de processamento, defeitos ou falhas dos mecanismos podem desencadear condições desfavoráveis, e conduzir a UBS a um desempenho inferior ao esperado, induzindo lotes de sementes processadas a terem uma diminuição no seu potencial de germinação e aumento de danos estruturais das sementes. Isto pode ocorrer em todas as fases do beneficiamento. A redução da qualidade das sementes pode ser correlacionada a uma ou várias causas ou fontes, tais como, danos mecânicos às sementes induzidos por meio de impactos mecânicos nos equipamentos de limpeza e manuseio, susceptibilidade a danos característicos da variedade, teor de água e temperatura fora da faixa aceitável, (WATSON & HEMUS 1986). Portanto, há várias variáveis de entrada que podem ser desfavoráveis, e impedir o beneficiador de atingir os objetivos da operação. CARVALHO & NAKAGAWA, (2000), concluíram que dentre os fatores que influenciam a ocorrência de injúrias mecânicas em sementes, destacam-se as características das próprias sementes, como tamanho, forma, espessura do tegumento, tipo de tecido de reserva e posição do eixo embrionário.

2.3. DANOS MECÂNICOS EM SEMENTES

Os danos mecânicos são as consequências negativas do manuseio em todas as etapas de produção de sementes, desde a etapa do plantio até a próxima

distribuição, pela natureza dos processos e princípios de funcionamento dos equipamentos envolvidos na atividade. Em todas as fases podem haver ocorrência de danos mecânicos às sementes, e podem ser causados por qualquer dos equipamentos constituintes ou pela movimentação das sementes de uma etapa para outra durante o processamento. QUEIROZ et al., (2011) encontraram que a perda de germinação e do vigor da semente de feijão carioca apresentam no final do processo de beneficiamento um poder germinativo acima do mínimo indicado para sua comercialização (86 a 82,67%, respectivamente). Conclusão que qualifica, a avaliação da integridade física das sementes, a ser utilizada como dado para compor o índice de qualidade do beneficiamento. Portanto, o dano mecânico produzido, pode ser avaliado pela medida da integridade física das sementes, este é um dado importante para qualificar o processo em todas as suas fases, após a passagem por algum estágio da beneficiadora.

O processo de beneficiamento, desde que mau conduzido, pode levar a um aumento da incidência de danos mecânicos, provocados pela interação das máquinas constituintes do processo e as sementes, traduzindo-se na diminuição na diminuição do potencial de germinação. Esta degradação na qualidade das sementes pode ser atribuída a um ou vários fatores, induzidos por meio de equipamentos de limpeza e manuseio, susceptibilidade ao dano, características da semente, como forma e variedade, ajustes da velocidade de processamento ou condicionamento de temperatura fora da faixa aceitável para o tipo de semente. Um estudo feito por ABRAHÃO (1971) concluiu que o efeito da danificação mecânica do feijoeiro sobre o vigor e a germinação tem dependência direta da cultivar. Afirma ainda que a germinação decresce com o número e o aumento da intensidade dos impactos. Já o estudo de RUFFATO et al. (2001), estabelece relação com as propriedades físicas das sementes, quando conclui que quanto mais seca se encontra a semente menor a elasticidade, tornando-o vulnerável aos danos provenientes da ação dos equipamentos. Segundo FACCION et al. (2011), as sementes de feijão são particularmente suscetíveis a danos de natureza mecânica uma vez que o eixo embrionário está situado sob tegumento pouco espesso que, praticamente, não oferece proteção. Em outra pesquisa LOPES et al (2011), afirmam que os danos mecânicos das sementes de feijão são cumulativos e aumentam na proporção que aumentam as passagens dessas sementes pelas máquinas do processo de beneficiamento.

Enquanto PAIVA et al. (2000), destacaram a etapa de classificação como a de maior fonte de danos mecânicos, FESSEL et al. (2003), afirmam que todo equipamento que manipula as sementes pode ser considerado uma fonte potencial de danos mecânicos.

MENEZES et al. (2002), observaram que 40% dos danos mecânicos são ocasionados na colheita, 50% durante o processo de beneficiamento, 4% no armazenamento, 2% no transporte e 4% na semeadura. Ratificando o que afirmaram em BRANDÃO et al. (1999) e em PAIVA et al. (2000), que a maioria dos danos mecânicos nas sementes de milho ocorrem na colheita mecanizada e nas etapas de beneficiamento.

A afirmação de que dano mecânico às sementes, variam com a variedade, teor de água, temperatura de secagem, tipos de carga e a orientação do núcleo com respeito a carga aplicada, além dos efeitos visíveis, tais como grãos rachados ou quebrados, resultantes dos impactos, a diminuição da germinação, a atrofia ou deformação das raízes de plantas que crescem a partir de sementes que foram submetidas a choques, são conclusões muito bem estudadas. GONELI et al., (2005) concluíram que o aumento na duração do impacto e do período de armazenamento promoveram redução na germinação e no vigor, evidenciando o efeito imediato e latente da danificação mecânica sobre a qualidade fisiológica das sementes de milho-pipoca.

LOPES et al., (2011), afirmam que os danos mecânicos nas sementes, podem ser visíveis ou imediatos, ou ainda, invisíveis ou latentes, sendo que os imediatos são facilmente caracterizados na observação de tegumentos quebrados, cotilédones separados e/ou quebrados a olho nu, enquanto, nos latentes, há trincas microscópicas e/ou abrasões ou danos internos no embrião, sob os quais a germinação pode não ser imediatamente atingida, mas o vigor, o potencial de armazenamento e o desempenho da semente no campo são reduzidos.

Uma previsão da quebra do potencial germinativo pode ser considerada um dado relativo, porque o dano mecânico real depende tanto do conjunto de variáveis, próprias das sementes, associados as influências típicas da configuração, operação e estado de conservação dos equipamentos de processamento das sementes.

Por tanto, dois conjuntos de dados podem ser relacionados nos ensaios de danos mecânicos em sementes, primeiro os que são facilmente observáveis por inspeção visual. Esta categoria engloba todos as deformações externas à semente,

e visíveis a olho nu, ou assistido por alguma tecnologia de registro e análise de imagem. Para FLOR et al., (2004), a análise de imagens permite identificar danos mecânicos externos e internos em sementes de soja, e também, permite observar danos por umidade e danos por percevejo. A segunda categoria inclui os danos internos que somente são detectados através do teste de viabilidade ou por testes mais elaborados que possam manter uma correlação com o teste de viabilidade.

ROCHA et al. (1984) afirmaram que máquinas de beneficiamento são projetadas com base, em uma ou mais diferenças, nas características físicas das sementes ou dos contaminantes a serem retirados e concluíram que durante o processo de beneficiamento, as sementes sofrem danos mecânicos decorrentes de impactos, abrasão, cortes ou pressão pela ação das forças internas e externas, sob condições estáticas ou dinâmicas. O efeito pode ser negativo, desde que os impactos promovidos e a velocidade de movimentação das sementes pelas máquinas sejam ajustadas de modo incompatível com a cultura e suas características físicas atuais, desencadeando um aumento da taxa de sementes danificadas.

FRANÇA NETO et al. (2005), asseveram que a estratificação da semente por tamanho é uma prática que reduz o índice de sementes esverdeadas, uma vez que a incidência desse dano é mais comum nas sementes menores. Portanto, a configuração da linha de beneficiamento, podendo ser configurável pode evitar o uso de equipamentos, que não tenham uma função relevante para o processamento, podendo ser apenas mais uma fonte de danos.

Os processos de beneficiamento em sua natureza e condições de aplicação, bem como, as características da semente no momento do beneficiamento podem conjugar fatores que levam também incidência de danos. A exemplo do teor de umidade da semente e a velocidade dos impactos que exercerem influência sobre a germinação e o vigor (BERTOLIN et al., 2011).

Danos em sementes podem ser causados por qualquer dispositivo de limpeza mecânica ou por movimento de sementes de um local para outro durante o manuseio, ou ainda pela contribuição das sucessivas operações nos diversos mecanismos e processos. PINTO et al., (2012) avaliaram a influência da pressão de impacto e o teor de água das sementes na ocorrência de danos mecânicos em sementes de soja.

KIRLEIS & STROSHINE, (1990) investigaram os efeitos da temperatura e umidade inicial das sementes em relação ao dano mecânico quando as sementes de soja são jogadas sobre uma superfície metálica. Ele recomenda que seja minimizada, as distâncias de queda livre, para reduzir os efeitos nocivos sobre as sementes.

CAVALCANTI MATA, (1996) estudou os efeitos da secagem em altas temperaturas por curtos períodos de tempo, em camada estacionária, sobre a armazenabilidade de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*), variedade “carioca”, estabelecendo relação direta de proporcionalidade entre as altas temperaturas e os danos causados às sementes de feijão, pelo aumento de fissuras e trincas, com suas implicações na armazenabilidade.

ANDRADE et al., (1999) estudaram sementes de feijão, por meio de condutividade elétrica, com danificações controladas em três níveis de velocidade de choque, chegando a conclusão que a medida da condutividade de uma solução contendo feijões danificados é bem correlacionada com o índice de danos mecânicos. Porém, até o presente, nenhum equipamento de simulador de danos padrão, para predição de danos mecânicos em sementes processadas em uma UBS foi estabelecido.

2.4. EQUIPAMENTOS PARA TESTE E PROCESSAMENTO DE SEMENTES

A redução dos danos causados as sementes durante o beneficiamento em UBS é um objetivo significativo para a indústria de produção de sementes de alto desempenho. A qualidade e a uniformidade de sementes, são imprescindíveis para se obter um padrão aceitável e, conseqüentemente, uma alta produtividade. As unidades de beneficiamento de sementes, visam a classificar as mesmas, quanto ao seu tamanho e formato e a disponibilizar um produto homogêneo e livre de impurezas, facilitando o processo de semeadura, mantendo a qualidade das sementes adequada ao processo (TROGELLO et al., 2003).

Segundo PINHEIRO (1975), as máquinas agrícolas utilizadas no processamento de produtos agrícolas no Brasil, muitas vezes, são dimensionadas com base em informações de produtos estrangeiros, que nem sempre possuem características dos produtos brasileiros.

ROCHA et al., (1984), estudaram ervilha em cilindro batedor com velocidade tangencial de 850, 1160 e 1350 rpm, e obtiveram que a percentagem de danos na rotação de 1160 rpm foi a menor.

ANDRADE et al., (1999) estudaram sementes de feijão, por meio de condutividade elétrica, com danificações controladas em três níveis de velocidade de choque, chegando a conclusão que a medida da condutividade de uma solução contendo feijões danificados é bem correlacionada com o índice de danos mecânicos.

Segundo RUFFATO et al., (2001) durante o processamento, grãos de milho são submetidos a forças de compressão devido, geralmente, a impactos que resultam em distribuições dinâmicas de tensões e de deformações no seu interior.

FLOR et al. (2004) utilizaram um dosificador mecânico para provocar danos em sementes de soja. Eles realizaram um teste que consiste na queda livre de um pêndulo metálico à uma altura de 13 cm sobre as sementes distribuídas individualmente em alvéolos de um disco metálico, aplicando uma energia cinética correspondente à 0,3185 joule

MONDO et. al., (2009), utilizaram máquina simuladora de impactos, onde as sementes foram arremessadas, com um jato de ar comprimido, contra uma chapa de aço inoxidável distante 30 cm da entrada do jato de ar, concluindo que mesmo o número de impactos seja pequeno em uma pressão elevada, a perda de potencial fisiológico é significativa.

De acordo com GOMES et al., (2009) a mecanização agrícola pode atuar negativamente na qualidade das sementes devido à ocorrência de danos no momento da colheita. Entretanto é uma operação essencial nessa etapa final da cadeia, razão pela qual, os equipamentos devem ser regulados de maneira a evitar perdas no momento da colheita.

CARVALHO et al., (2011) avaliaram a resistência mecânica de grãos de milho via teste de impacto, pelo abandono de pesos de 100, 150 e 200 g a uma altura de 7cm, concluindo ser, este teste, eficiente para produzir índices diferenciais de danos mecânicos entre os padrões de susceptibilidade e de resistência.

SHARHBAZI et al., (2012), estudaram a relação entre a velocidade, o número de impactos e o teor de umidade de sementes e estabeleceu uma relação entre essas grandezas causadoras de danos físicos às sementes, e a porcentagem de perda de germinação. Neste estudo foi utilizado um dispositivo que é um

causador de impacto individual e sucessivo, feito de aço, montado perpendicularmente em um eixo horizontal e a semente presa em uma haste de aço na posição vertical.

GONELI et al., (2005) estudaram sementes submetidas a diferentes tempos de impacto, utilizando um aparelho Stein Breakege Tester (modelo CK2-M), pelo teste de germinação, envelhecimento acelerado e frio modificado. Tendo concluído que o aumento da duração do impacto promoveu redução na germinação e no vigor.

OLIVEIRA et al., (2005) concluíram, após experimentação com milho (*Zea mays L.*) lançados contra uma placa metálica com velocidades controladas, que o efeito prejudicial do impacto na qualidade das sementes torna-se mais evidentes quanto maior a velocidade do lançamento.

Todas as iniciativas de aplicação de impacto mecânico de uma forma controlada, em velocidade, em tempo de aplicação ou intensidade, culminam com resultados que tornam evidente a correlação entre a existência do dano mecânico causado as sementes no processo executado nas unidades de beneficiamento de sementes. Um fato a ser levado em consideração é que apenas um equipamento é citado como um modelo comercialmente disponível em 1962, o Stein Breakege Tester (modelo CK2-M), porém ele não é primariamente um aparelho para promoção de impacto. Um outro equipamento foi criado e pode ser classificado como um dispositivo de impacto centrífugo, funciona pela colocação individual de uma semente em um tubo em rotação, sendo arremessado contra a parede de um cilindro metálico. Este dispositivo foi construído por (PAULSEN et al., 1981).

SINGH e FINNER, (1983) usa um único acionador com quatro tubos e aceleram as sementes até colidirem com um disco metálico que serve como zona de impacto.

Um outro tipo de dispositivo foi criado por SHARD e HERUM (1977), a partir das hélices de um ventilador motorizado, fechado em uma caixa metálica, onde a semente, por um dispositivo alimentador, é colocada e recebe vários impactos inicialmente nas pás das hélices e nas paredes da caixa cilíndrica.

BERRY & FIELKE., (2014), estudaram os efeitos da aplicação de impacto único e duplo em sementes tratadas com agrotóxico. Construíram duas estruturas de impacto com a forma de um pêndulo, que solto de um ângulo específico e sob ação da gravidade, se chocava contra uma semente presa por um adesivo em uma superfície. A outra foi construída com braço rotacional preso a um motor com

controle de aplicação de golpe único em um grão, que é acelerado até ser arremessado contra uma superfície metálica.

Todas as iniciativas encontradas na literatura foram concebidas para a aplicação de golpes em sementes individualmente, algumas estruturas foram utilizadas para a aplicação de golpes de forma controlada, porém, até o presente, nenhuma das estruturas estudadas se consolidou como um dispositivo padrão para avaliação do dano mecânico em sementes.

O beneficiamento como última etapa do programa de produção de sementes, antes do armazenamento ou distribuição, é passível de investimentos em tecnologias inovadoras e processos de controle, para que essa etapa seja feita de modo a garantir a qualidade do produto processado, sendo capaz de processar grandes volumes em período de tempo que seja compatível com as necessidades do meio produtivo.

SILVA, (2009) concluiu que, para o alcance da melhoria contínua e aumento da produção e produtividade, instalações de beneficiamento e armazenamento devem ser projetadas, edificadas e gerenciadas para eficientemente realizar as operações de recepção, limpeza, secagem, armazenagem e expedição.

Fica evidente a necessidade e a finalidade da realização de ensaios para avaliar a integridade e potencialidade, das sementes, para a sua aplicação na agricultura. A análise de sementes é ferramenta importante no controle de qualidade, principalmente quando atingem a maturidade fisiológica. Portanto, a seleção dos testes, devem atender a objetivos específicos, sendo importante a identificação das características avaliadas, pelo método, e sua relação com o comportamento das sementes diante de situações específicas, tais como, por exemplo, desempenho após a secagem, potencial de armazenamento, resposta a injúrias mecânicas e as condições climáticas (BAALBAKI et al., 2009). A avaliação da qualidade das sementes é um dos últimos aspectos no processo de produção (MARTIN et al., 2007). De acordo com (FRIGERI 2007), a avaliação do potencial fisiológico das sementes é fundamental como base para os processos de produção, distribuição e comercialização dos lotes de sementes.

O emprego de métodos e equipamentos certificados, pelas empresas produtoras e laboratórios de análise de sementes, são determinantes para produzirem testes com resultados confiáveis, reproduzíveis e que indiquem, com segurança, a qualidade de um lote de sementes (KESTRING, 2008).

Em toda estrutura de beneficiamento, nos vários estágios por onde as sementes transitam sequencialmente, até atingirem sucessivamente todas as etapas do beneficiamento, praticamente em todas as etapas há incidência de danos às sementes. O acompanhamento e testagem do processo, etapa por etapa, para verificação e correção dos ajustes das máquinas visando melhorar o seu desempenho, faz parte da rotina de preparação do equipamento, antes de iniciar o processamento de um lote.

RODRIGUES & SHIMIDIT (2011), afirma que em uma vasta gama de máquinas constituintes de processos industriais, há motores tracionadores que movimentam partes mecânicas articuladas, visando desenvolver operações de carregamento das sementes, condicionamento em temperatura, vibrações mecânicas, peneiramento, arremeço, homogeneização, descarga, revolvimento, condução por esteiras ou espiral, insuflamento de ar, sucção etc.

As interações das sementes com as partes da máquina, tanto pela energia aplicada por elementos em movimento ou estáticos como por energia associada na interação entre as sementes ou com as partes dos mecanismos, constituem um conjunto de variáveis em que sua ação harmônica, frequência, intensidade e período de aplicação conduzem a um beneficiamento com índice de danos aceitável (ou não aceitável); para tanto, o conjunto de variáveis deve apresentar magnitudes que provoquem um excesso de energia, superando a suscetibilidade ao dano da semente processada. A previsão do comportamento das sementes, submetidas a resultante das forças geradas pelas diversas interações existentes nos equipamentos, individuais ou em conjunto, que compõem uma UBS, é um desafio de grande complexidade. O desenvolvimento e utilização de ferramentas modernas e simulação computacional para previsão dos danos, pode ser de grande valia para a melhoria da qualidade das sementes beneficiadas.

2.5. SIMULAÇÃO NO ESTUDO DE DANOS MECÂNICOS EM SEMENTES

Um simulador de danos mecânico, como um equipamento capaz de simular os efeitos do beneficiamento sobre sementes em uma UBS, é uma estratégia de simulação respaldada nos modelos físicos. Para TRIVELATO, (2003), a simulação pode ser realizada por um modelo físico ou por um modelo computacional. No caso do modelo físico, consiste na representação do sistema real por meio de uma

descrição análoga ou pela construção de um protótipo. O uso de simuladores computacionais podem ser uma ferramenta adicional, e uma tendência de substituição do equipamento hora proposto, devido a massa de dados que serão obtidas, e as informações a respeito dos efeitos dos mecanismos sobre as sementes, nos sucessivos processamentos chegando a ser possível a construção de um modelo matemático.

FERNANDES et al., (2006), define a simulação como uma técnica que combina elementos que interagem para cumprir um uma função específica. O uso de simulação se torna uma ferramenta de análise, passível de ser aplicada para projetar e operar sistemas produtivos, possibilitando definir o melhor arranjo funcional e estrutural e até determinar o índice de produtividade e eficiência do maquinário.

LAW et al., (2000), definem simulação, como uma ferramenta para estudo de problemas, fazendo uso de modelo para analisar um procedimento real utilizando um sistema computadorizado ou utilizando protótipos. Os estudos de simulação podem servir de referência para o controle da produção de uma UBS, na identificação de problemas de funcionamento ou desempenho da capacidade instalada, servindo de parâmetro de comparação com outros sistemas ou configurações e norteando a implantação de melhorias.

BANKS (1998), afirma que simulação é a imitação de operações de processos reais. Portanto na perspectiva da simulação, definida como um experimento, que procura representar de forma assemelhada um processamento, com os efeitos do sistema real. Está plenamente justificado, e conseqüentemente está também carregado com as vantagens e desvantagens que são inerentes a esta técnica.

Segundo SILVA (2003), com a adoção de uma técnica de simulação, é possível obter como vantagens, a possibilidade de poder projetar e analisar sistemas de produção industrial, fazer previsão dos resultados na execução de determinada ação, minimizar os riscos associados a um certa tomada de decisão, identificar problemas antes de suas ocorrências, subsidiar a eliminação de procedimentos, em arranjos produtivos, que não são significativos à produção, auxiliar na realização de análises de sensibilidade do sistema, com respeito a variação de uma determinada variável, reduzir os custos com o emprego de recursos, revelar a integridade e viabilidade de determinado sistema em termos técnicos e econômicos.

Um método matemático de simulação chamado Método dos Elementos Discretos (MED), é uma técnica de simulação que representa uma massa de grãos como um conjunto de partículas independentes, interagindo umas com as outras, reproduzindo a natureza discreta de um meio granular (NEVES, 2009).

LANGSTON et al., (1995), utilizaram um modelo computacional para simular o fluxo de material granular armazenado em um silo e sua posterior descarga por um funil.

GODA & ERBERT (2005), analisaram o preenchimento inicial e posteriormente a descarga em silos utilizando o MED.

O estudo das propriedades de um sistema mecânico e as características so produtos a serem processadas, permitem reunir um conjunto dados que podem ser usadas para a criação de um ambiente simulador de danos de forma física ou computacional (GAVIRA, 2003).

TRIVELATO, (2003), afirma que no caso do simulador físico, todas as perdas, mudanças e consequências, por mais profundas que sejam, ocorrerão apenas com a amostra. Estendendo essa afirmação para o caso do processamento de grãos em um simulador, apenas uma amostra e não a totalidade do lote será comprometida, constituído-se em uma forma de estudo que leva a perdas minimizadas, visto que serão possíveis sucessivos testes com um consumo de energia muito menor e tamanho de amostra reduzida utilizando o simulador, que se fosse processado na UBS sem uma prévia simulação. (RESENDE et al., 2008), fez a aplicação da modelagem matemática para o processo de secagem de duas variedades de feijão e concluiu, com base nos resultados, que não é possível utilizar um único modelo de Page, com os mesmos coeficientes “k” e “n” para representar a secagem dos feijões preto e vermelho.

Um equipamento simulador tem seu fundamento baseado nos principais fatores que afetam de maneira significativa, as sementes durante o beneficiamento. Dados como as exigências do processo, as características do escoamento das sementes, os custos de construção e aquisição de partes e peças, e as propriedades dos materiais de construção do equipamento, devem ser avaliados e sua influência considerada como variável a ser mensurada. Outra questão que merece destaque é o tempo de execução do processo, ele deve ser suficiente para atingir os objetivos da testagem para que seja representativa. A simulação pode ser útil em qualquer uma das fases do ciclo de vida de um sistema de manufatura:

desde a fase de análise do problema e definição de requisitos, até as fases de projeto, justificção, implementação e operação (LOBÃO & PORTO, 1999). Uma correta avaliação dos agentes de interação com as sementes, as medições para obtenção de dados, que irão auxiliar na predição dos danos mecânicos, é um diferencial na busca da qualidade e contribui para o aumento da qualidade das sementes processadas.

Analisando os diversos mecanismos e modo de operação, hipotetizamos que é possível avaliar o processamento executado por uma UBS, levando em consideração o fato de que os grãos são processados de forma conjunta. Porém, há também interações entre os próprios grãos, que devem ser consideradas na simulação do processo em laboratório. Esta forma de submeter os grãos a testes, pode ser útil na construção de uma estrutura de equipamento para ensaio em laboratório, aproximando os efeitos do simulador, mais efetivamente dos efeitos causados na UBS.

A massa de sementes sob agitação mecânica, tomada como um volume formado de sólidos granulares, tem algumas propriedades com consequências no processo de beneficiamento. A Densidade, o tamanho, o formato, as proporções das medidas e o conteúdo de umidade, são propriedades que afetam a fluidez, a separação, por ação das forças envolvidas no processo (FERREIRA, 2006).

A porosidade intergranular tem importância na determinação da resistência ao escoamento de ar através de uma massa de sementes. A porosidade depende de vários fatores tais como, teor de água, distribuição das sementes, e a presença de sujidades junto com a massa de sementes. RIBEIRO et al., (2007), determinou que a porosidade dos materiais granulares é dada pelo quociente entre o volume do ar, e o volume total ocupado pela massa das sementes.

A porosidade intergranular, de uma quantidade de sementes, é entendida como os espaços aleatórios formados pelo agrupamento desse produto, em um volume pré-determinado. Tanto o tamanho quanto a forma das sementes, influem na formação dos espaços intergranulares. As sementes de forma elipsoidais tendem a um arranjo que diminui mais, os espaços intergranulares, que as sementes de forma arredondadas. Portanto, a porosidade constitui-se em uma característica física do material, e o conhecimento dessa característica física é importante em várias operações unitárias na linha de processos de uma Agroindústria, (CAVALCANTI MATA & DUARTE, 2002). Na mesma linha de investigação, o trabalho de MENEZES

et al (2002) concluiu que o beneficiamento afetou a qualidade física e fisiológica das sementes e que os danos mecânicos, produzidos progressivamente a partir da debulha mecânica até o final do beneficiamento, foram notados em maior porcentagem nas sementes redondas.

No processo de beneficiamento, o revolvimento gera forças que atuam provocando difusão, convecção, atrito, e outros, nos quais as sementes são reorientadas, umas com relação às outras, ou com relação as partes do equipamento (MILMAN, 2002). A condução do processo com descontrole ou oscilações da velocidade de operação induz a eficiência do beneficiamento, pois podem promover, desde nenhum efeito até danos mecânicos às sementes, devido a ação mecânica sobre elas, de tal modo que a energia aplicada seja inferior, ou supere o valor aceitável, fazendo com que os objetivos do beneficiamento não sejam atingidos (KOLING et al., 2012b).

Para (FARIA, 2009), a função básica dos dispositivos misturadores é o revolvimento das partes, para aumentar a homogeneidade da mistura. Os processos de agitação ou mistura dependem, da densidade e da morfologia no caso dos sólidos granulares, ocorrendo desde regimes laminares até regimes turbulentos.

Mistrurar sementes, tomadas como um conjunto de sólidos granulares, consistirá no revolvimento culminando por promover uma maior área de contato, favorecendo acentuada interação entre as sementes, com controle da velocidade do rotor por um tempo determinado. Esta operação é tipicamente viabilizada pelos rotores, os quais têm como função principal a transferência de energia através do rotor de mistura para o meio a misturar e sua forma influencia o processo de mistura (SEW-EURODRIVE, 2008).

Estudos conduzidos a respeito de misturadores centrífugos por DICKEY et al. (2009), concluíram que as propriedades dos fluidos, o tipo de rotor do equipamento, o tamanho do tanque e outras características determinam qual deverá ser a intensidade da operação de mistura ou agitação.

As operações de agitação são comumente realizadas por agitadores e misturadores mecânicos. Os agitadores, tanto de grande porte quanto os de menor capacidade de dispersão, são utilizados para agitação de materiais. •

Para LOPEZ et al. (2008), os processos de agitação ou mistura dependem, da densidade e da morfologia dos produtos processados, no caso dos sólidos granulares, ocorrem desde regimes laminares até regimes turbulentos.

Os motores síncronos, nos sistemas mecânicos, são responsáveis pela força motriz, têm como função transferir energia, através do rotor para o meio e sua potência influencia o processo (RODRIGUES & SCHIMIDT, 2011).

Entre os diversos tipos de motores elétricos presentes na indústria os motores de indução trifásicos, MIT, representam 90% dos acionamentos e 22% do consumo de energia elétrica (ROSA, 2003).

Os motores de indução trifásico têm seu princípio de funcionamento baseado na interação entre o estator bobinado e um rotor de gaiola em material condutor, possuem velocidade nominal fixa, que depende fundamentalmente da frequência da rede de alimentação, e da configuração das bobinas no corpo do estator, que é o elemento configurador do número de polos. Na rede elétrica com frequência nominal de 60 Hz, a velocidade é fixa e se estabelece de forma associada a um valor específico, que depende do número de polos do motor, com reflexo direto no dimensionamento da carga acionada, restringindo a possibilidade de operar em uma velocidade diferente da especificada pelo motor. A solução dessa limitação tem sido a adoção de interfaces mecânicas ou Inversores de frequência. Atualmente, o inversor de frequência, por propiciar o controle de velocidade, de torque e de partida é mais adequado, para aplicações onde se necessita controle mais dinâmico, (ROSA, 2003).

A evolução da eletrônica de potência, a redução dos custos dos acionadores de velocidade variável de motores, inversores de frequências, está popularizada, sendo disponível no mercado e largamente utilizado dos sistemas de comandos eletrônicos de máquinas e motores, com interfaces de operação com o usuário em vários níveis de sofisticação. Como consequência das opções fornecidas por esses dispositivos, é possível ajustar via parametrização do inversor de frequência, o ponto de operação do motor, para que supra a carga com o torque e rotação necessária. Quando acionado por inversor de frequência, que alterará de maneira ordenada, tensão e frequência nos terminais do motor, o comportamento do torque pode ser programado conforme convier, tendo como limitantes o torque máximo disponível e o limite térmico do motor, (SHULMAN et al., 2005).

Os desenvolvimentos relacionados ao regulador de tensão dividem-se em três partes principais, a primeira parte é a linearização analítica do sistema elétrico em diferentes pontos de operação. A segunda é a obtenção de reguladores para os modelos linearizados do sistema, a partir de técnicas de controle linear. Em terceiro

vem o emprego de um método de interpolação (ou tabelamento) dos ganhos desses reguladores via lógica fuzzy. O projeto do regulador de velocidade envolve a implementação de vários diagramas de bloco e de metodologias que permitem a execução das simulações desejadas. (SILVA, 2003).

A conclusão a que chegamos a respeito dos estudos realizados, nos induz a real viabilidade em proceder a elaboração de um simulador físico, para provocar danos em sementes, de tal forma, que se assemelhe ao índice de danos mecânicos causados as sementes de feijão durante o beneficiamento em uma UBS. Para tanto, construímos um equipamento cuja montagem, operação e testes de funcionamento apresentamos no tópico seguinte.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A construção do equipamento simulador de danos mecânicos em sementes para simulação dos efeitos de uma UBS foi desenvolvida no Laboratório de Instrumentação Aplicada da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos, da Universidade Federal de Campina Grande, em Campina Grande – Paraíba.

Na concepção do equipamento denominado UBS-PF (Unidade de Beneficiamento de Sementes-Paulo Farias), foram consideradas as seguintes premissas para nortear a sua construção:

1. Que fosse um equipamento de bancada robusto, de simples operação, destinado ao processamento de sementes cultivadas no Brasil;
2. Emprego de materiais e componentes de fácil aquisição no mercado local;
3. Equipamento dotado de características de segurança para o operador;
4. Modo de funcionamento tanto manual quanto automático, no que diz respeito à necessidade de operações sucessivas.

No projeto do equipamento foi planejada a construção do sistema mecânico como uma unidade semelhante a um homogeneizador com tampa e um elemento de aplicação de impacto, tracionado por um motor elétrico. A UBS tem na sua estrutura vários estágios, como descrito na revisão da literatura, por onde as sementes transitam sequencialmente até atingirem sucessivamente todas as etapas de beneficiamento até o final quando o produto é ensacado. Praticamente em todas as etapas há incidência de danos por impacto às sementes. Assim, o equipamento foi projetado de modo a que cada etapa do processo possa ser simulada, para tanto o equipamento permite realizar correções e ajustes de modo a fornecer os dados prévios de danos causados a um lote das sementes quando beneficiado. Portanto, foi idealizada uma estrutura de um homogeneizador centrífugo, com revolvimento e batedor, de modo a simular uma rosca sem fim além de ser capaz de processar amostras de tamanho variável até a capacidade máxima da câmara, com vistas a poder ser manipulado sobre uma bancada em laboratório. Quanto a sua operação e utilização, foi pensado em uma unidade que possa executar o processamento em tempo controlado e também de forma repetitiva para facilitar os sucessivos experimentos de teste e validação.

3.1. PROJETO DE ESTRUTURA DO EQUIPAMENTO

O equipamento construído tem uma associação direta aos elementos de um homogeneizador centrífugo com haste central de revolvimento e batedor.

A estrutura construída é motorizada pela associação de um motor elétrico de indução trifásico com um variador de velocidade e controle de tempo de corrida. No caso específico o motor de indução trifásico foi controlado por um inversor de frequência WEG CFW10, que nos fornece os recursos necessários para compatibilizar o funcionamento do motor às reais necessidades de potência, velocidade e torque. A interface construída auxilia a operação do equipamento, para introduzir os dados de funcionamento que servirão de referência, para a execução dos ensaios aos quais serão submetidas às sementes.

A montagem foi definida a partir da câmara de amostra, a qual foi construída em aço inoxidável com xincanas internas, para aumentar a superfície de contato, diâmetro médio de 25 cm e capacidade para acomodar um volume varável de amostra de sementes, até o volume máximo de 10 litros. Foi projetada e confeccionada uma haste centralizada para aplicação de impactos a partir de um eixo central (multi-estágios) com elementos radiais de impacto e revolvimento, tracionada por um conjunto correia-polia-motor que fornece homogeneização, impacto, movimentação, vibração e revolvimento de forma controlada em velocidade, período de aplicação e frequência.

A mesa base foi construída com estrutura metálica, para a montagem dos componentes do equipamento, Mancal com eixo e base de acoplamento e Motor elétrico com sistema de tração, correia-polia.

Os materiais utilizados, para a construção desse componente foram o perfil quadrados, em aço-carbono galvanizado de 20 X 20 mm e espessura da chapa de 3,00mm; e chapa plana em aço-carbono com espessura de 5,00 mm. Esses materiais foram escolhidos por suportarem as cargas estáticas e dinâmicas dos componentes, que foram cortados e soldados com solda elétrica. Posteriormente foi feito um conjunto de furos e abertura de roscas para receber os parafusos de fixação do motor elétrico e da base da câmara de amostras.

Na Figura 3 é visto o diagrama esquemático da estrutura proposta, na qual, são mostrados os seguintes blocos funcionais, baseada na estrutura dos misturadores centrífugos mais comuns:

- Mesa base com suportes ajustáveis para controle de nível;
- Mancal com eixo e acoplamento;
- Motor elétrico com sistema de tração, correia-polia;
- Câmara cilíndrica de amostra;
- Haste revolvedora aplicadora de impacto;

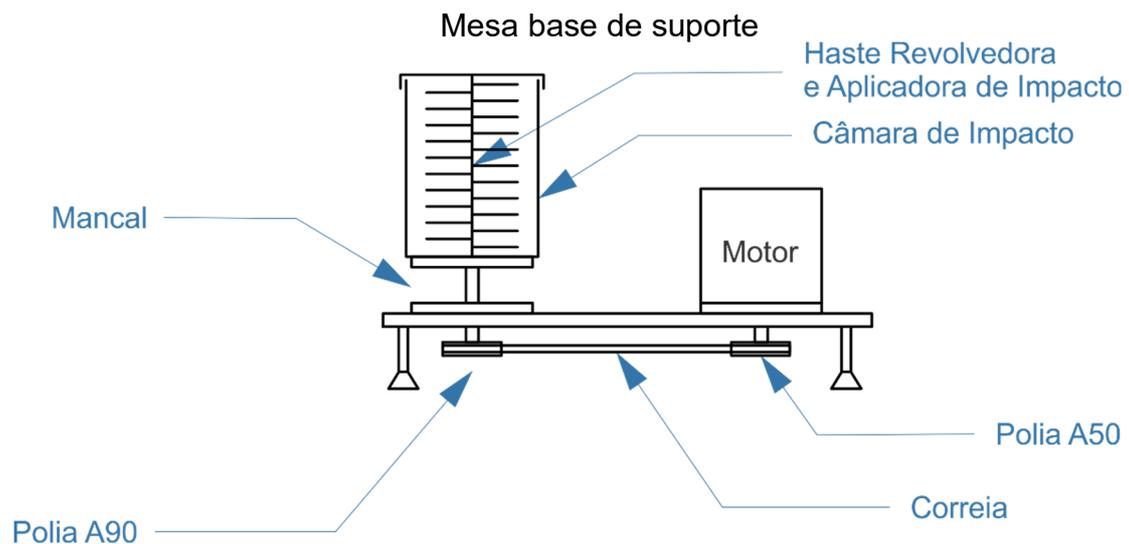


Figura 3. Diagrama esquemático do equipamento agitador.

Fonte: adaptado de (DICKY et al., 2009).

3.1.1. MANCAL, EIXO E ACOPLAMENTO

O mancal e os acessórios de transmissão de movimento, eixo e acoplamento, foram construídos, utilizando dois discos em chapa de ferro fundido de 1/4". O disco superior com diâmetro de 170 mm e o inferior medindo 130 mm, unidos, por soldagem com solda elétrica, a um tubo com 50 mm de diâmetro externo, comprimento de 40 mm e espessura da chapa de 3,00 mm, de forma concêntrica. Foram torneados dois rebaixamentos, na junção dos discos com o tubo de ligação, para formar a sede de instalação dos rolamentos. Os rolamentos utilizados foram do modelo 6003, que foram instalados; um no eixo central que é na parte superior, e está unido a um elemento de acoplamento para a tração da haste de impacto e revolvimento. Outro na parte inferior acoplado a uma polia, de marca MADMIL, modelo A90, do sistema de tração. Na Figura 4 é mostrado o resultado final desta montagem e sua fixação a base.

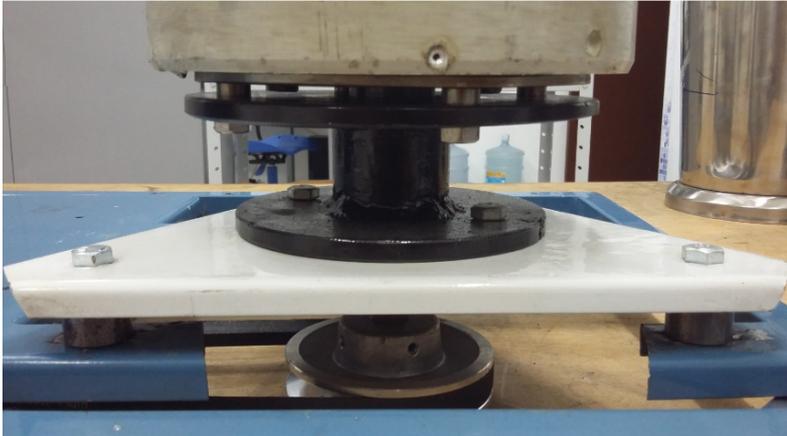


Figura 4. Mancal e eixo de acoplamento
Fonte: Autoria própria.

3.1.2. CONJUNTO CORREIA POLIA E MOTOR

O motor desse conjunto foi escolhido baseado nas exigências de energia de aplicação de impacto provocada pela haste rotativa, volume da câmara de amostra e das cargas do sistema mecânico. A câmara de amostra é uma unidade em aço inoxidável de forma cilíndrica com volume de 10 litros, podendo ser preenchido de 10 a 100% dependendo do volume disponível de amostra. Dessa forma, é necessária a movimentação da haste aplicadora de golpes sob a reação da massa de sementes da amostra sob teste. A velocidade da haste deve ser mantida constante, durante todo o período da aplicação, sob a resistência ao movimento que a quantidade de sementes oferece ao sistema.

Com a alimentação, direta da rede elétrica, para a frequência nominal de 60 Hz o motor funciona a uma velocidade constante de 3430 rpm, regido pela equação 1.

$$N_r = 120 \cdot f \cdot \frac{1 - s}{p} \quad (1)$$

Onde:

- N_r (Rpm): Velocidade mecânica do rotor;
- f (Hz): Frequência da rede ou do inversor;
- p (): Número de polos;
- s (): Escorregamento dos motores, s está na faixa de 0,5 a 5%.

Para o funcionamento do motor em velocidade variável, foi adotada a configuração de alimentação através de um inversor de frequência, que fornece os

requisitos de amplitude e frequência dos sinais para o correto funcionamento do motor dentro de uma faixa de valores desejados. O circuito inversor é alimentado através da rede elétrica monofásica e gera as 3 fases necessárias e os controles de proteção para a operação do motor, no caso específico a faixa de velocidade de rotação do eixo central é de 50 RPM até 2100 RPM. Vale salientar que para a velocidade mínima e valores próximos, as características de limite de temperatura seriam superadas com consequências para a integridade do motor. Considerando essa limitação e a recomendação de projeto do inversor de frequência, o valor mínimo de velocidade foi estabelecido atendendo a recomendação de frequência mínima de operação do inversor em, no mínimo, 25% da frequência da rede de alimentação, que é de 60 Hz, resultando na frequência mínima de 15Hz. Atendendo essas exigências, na montagem do conjunto instalou-se uma polia no eixo do motor, que foi conectada por uma correia de transmissão a polia do mancal, de modo a dobrar o torque do sistema, e a velocidade no eixo do motor. Corrigindo as possíveis limitações para esse caso particular.

Nesta montagem, foi feito uso das polias A90 e A50, que proporciona uma redução da velocidade de 1.8/1 no componente de acoplamento do eixo para aplicar golpes com relação à velocidade do motor.

A Equação (2), é a relação matemática com a qual é possível calcular o valor da frequência dos sinais de alimentação do motor considerando a relação de redução, dada pela relação entre os diâmetros das polias, os valores nominais de Frequência e Velocidade do motor e a velocidade de saída desejada.

$$F = \eta \cdot V_o \cdot \frac{F_n}{V_n} \quad (2)$$

Onde:

- F : Frequência;
- η : Relação de redução;
- V_o : Velocidade de saída;
- F_n : Frequência nominal;
- V_n : Velocidade nominal.

A faixa de velocidade de rotação do eixo central de agitação foi projetada para funcionar desde 50 RPM até 2100 RPM. Nessa configuração, torna-se possível

ajustar o valor mínimo desejado de velocidade no rotor da câmara, com velocidade suficiente para resguardar as condições necessárias de funcionamento do motor de indução, evitando que ele opere fora das especificações, provocando um efeito indesejado de elevação da corrente de enrolamento e consequente aumento excessivo da temperatura, comprometendo a sua integridade.

Selecionado, principalmente por suas características técnicas e versatilidade no uso em diversas aplicações, o MIT com rotor gaiola, potência de 0,55 kW, categoria N, com alimentação 220 Vac, e velocidade máxima de 3430 rpm e 2 polos, Na Figura 5 é visto o motor montado sobre a base, com a cirreia de transmissão de movimento para o mancal.



**Figura 5. Motor montado sobre a base.
Fonte: Autoria Própria.**

3.1.3. CONJUNTO CÂMARA E APLICADOR

A construção da câmara foi executada pela adaptação da câmara cilíndrica, em aço inoxidável, de um liquidificador industrial de 10 litros. Este expediente foi utilizado para facilitar a execução dos testes iniciais, mas nada impede a construção de uma câmara exclusiva. Foi feita a retirada das navalhas de micronização, substituindo a base para acoplar uma haste central (de 400 mm de comprimento e 10 mm de diâmetro) com 10 braços transversais (de 50 mm de comprimento e espessura de 4 mm), distribuídos espaçadamente por uma distância de 50 mm, centralizados e soldados ao eixo. O resultado pode ser visto na foto da Figura 6.



Figura 6. Câmara com eixo montado.
Fonte: Autoria Própria.

Foi construída uma tampa em alumínio na qual foi instalado um rolamento transformando-a em tampa uma peça com dupla função, a de tampar a câmara e também, como estrutura de suporte lateral, responsável pela estabilidade do movimento da haste. Na Figura 7, vemos a câmara de amostra a tampa mancal e a haste de aplicação de golpes e revolvimento. O objetivo da haste é o de funcionar como impelidor rotacional sobre seu eixo (ganhando energia e atravessando a massa de sementes), aplicar impactos e revolver a massa; bem como, provocar atrito entre as sementes e as partes metálicas da câmara. Este conjunto, inicialmente, foi montado sem a estrutura em forma de pá, que se encontra na base da haste de revolvimento. As observações feitas sobre a acumulação de produtos que se depositavam no fundo da câmara, foram determinantes para a adoção do artifício mecânico; com vistas a evitar o acúmulo e objetivando ter uma maior homogeneidade no revolvimento e aplicação de golpes pelo sistema construído.



**Figura 7. - Tampa mancal, Câmara e Haste.
Fonte: Autoria própria.**

A haste foi pensada de modo a ter multiestágios ao longo da coluna vertical da câmara para poder desempenhar a função de impelidor e aplicador de golpes em amostras de volume variados até o limite máximo do volume da câmara. O componente opera rotacionalmente tracionado pelo conjunto motor correia-polia, ganhando energia e atravessando a massas de sementes aplicando impactos e revolvendo a massa bem como provocando atrito entre as sementes e as partes metálicas e entre as sementes dentro da câmara. A massa é formada por sementes e espaços vazios que em função das dimensões da semente e da sua forma esses espaços podem ser consideráveis, influído na resistência oferecida pela massa de sementes a passagem dos elementos promotores de impacto.

3.1.4. ESPECIFICAÇÃO DO MÓDULO DE CONTROLE DO MOTOR

O módulo de controle foi desenvolvido pela integração de duas partes principais, um inversor de frequência para controle da velocidade do motor e uma placa de controle eletrônica com display e teclado para o usuário introduzir os dados e monitorar a operação do controle.

O inversor de frequência foi parametrizado para controlar a operação de motores de indução trifásicos, fornecendo as tensões, correntes e frequências de alimentação, de modo a colocarem o motor em um ponto de operação pré-

estabelecido. Com a escolha dos valores adequados o inversor executa outras funções no controle das condições de funcionamento do conjunto motore/tracionador que protege o motor contra sobrecargas, efetua controle de torque e reduz o pico de corrente durante a partida do motor, dentre outras funções. Os valores dos sinais típicos do funcionamento do motor ficam disponíveis no barramento, são lidos e interpretados pelo software desenvolvido para o controle do simulador, e alimenta o inversor com os sinais necessários ao devido ajuste do ponto de operação do controle da velocidade e do período de funcionamento.

3.1.5. SELEÇÃO DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA

O inversor de frequência utilizado neste trabalho foi modelo CFW10, marca WEG. Um equipamento de fabricação nacional, com características de segurança e operativas que o torna de simples parametrização e um custo acessível, oferecendo uma série de funções especiais que o torna aplicável de com eficiência e segurança. O CFW10 gera as fases necessárias ao acionamento do motor através de um gerador PWM senoidal controlando um conjunto de chaves IGBT. Ele possui um módulo de controle proporcional, integral e diferencial. No modo de funcionamento local é possível acoplar externamente um potenciômetro para controlar a velocidade de um motor trifásico de indução. A seleção desse equipamento foi baseada nas características da aplicação, alimentação requerida para o equipamento e a minimização do custo sem comprometer a qualidade desejada. O modelo escolhido foi o modelo CFW100026S2024PSZ, alimentação de rede de 200 a 240Vac monofásica, Corrente 1 ~ 5,7A, frequência da rede de 60Hz. A comunicação com o usuário é feita através de display de LED de três dígitos, teclado de função de quatro teclas, quatro entradas digitais e uma saída digital a relé programável e, uma entrada analógica para realimentação isolada que pode ser usada para a realimentação de sinais em sistema de controle de malha fechada. O equipamento é de instalação simplificada, programação flexível, fácil operação e de dimensões compactas. No que diz respeito à segurança e compensação de parâmetros do motor, dispõe de funções de diagnóstico de sobrecorrente na saída, sobrecarga no motor, sobretemperatura no dissipador, curto-circuito na saída, defeito externo e ainda controle de rampa linear da aceleração e desaceleração, ajuste de torque, compensação de escorregamento, regulador PID e até oito velocidades fixas pré-

configuradas. A Figura 8 é uma imagem do inversor de frequência utilizado e a Figura 9 é a imagem na qual é mostrado o diagrama de blocos do modelo utilizado no equipamento.

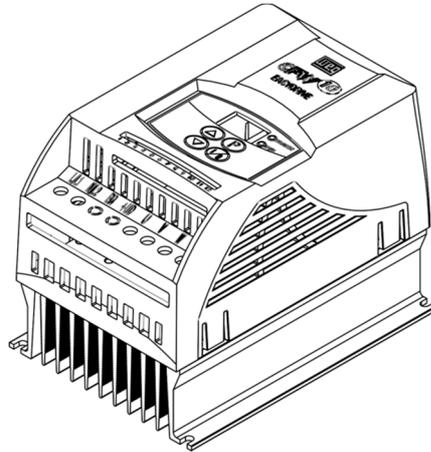


Figura 8. Inversor de Frequência CFW10, desenho da carcaça.
Fonte: Modificado do catálogo WEG.

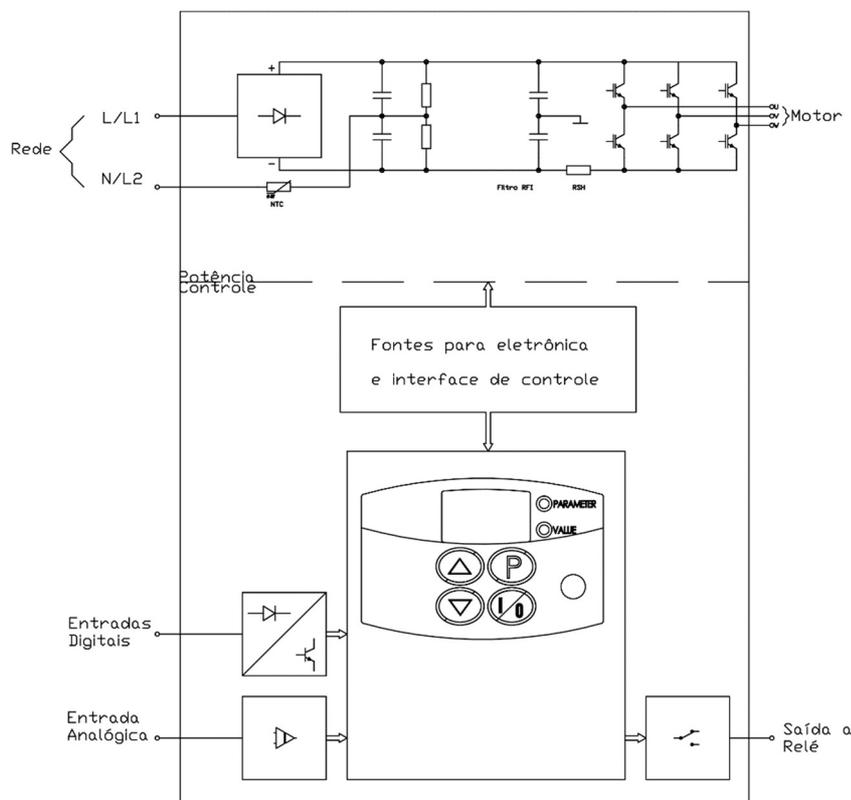


Figura 9. Diagrama de blocos do CFW10 200-240 V – 1,6A. Monofásico, mostrando as relações entre as entradas e saídas de potência e de sinais e os componentes internos do inversor de frequência.
Fonte: Autoria Própria.

Esse equipamento tem uma estrutura que nos permitiu a programação dos seus parâmetros e dessa forma, foi possível a configuração totalmente estruturada para atender a nossa aplicação específica. Uma vasta documentação está disponível no site do fabricante com muitos exemplos de aplicações que podem ser utilizados. Nas Figuras 10 e 11 respectivamente, são mostrados um diagrama simplificado da referência de comandos e um diagrama da referência de frequência invertido.

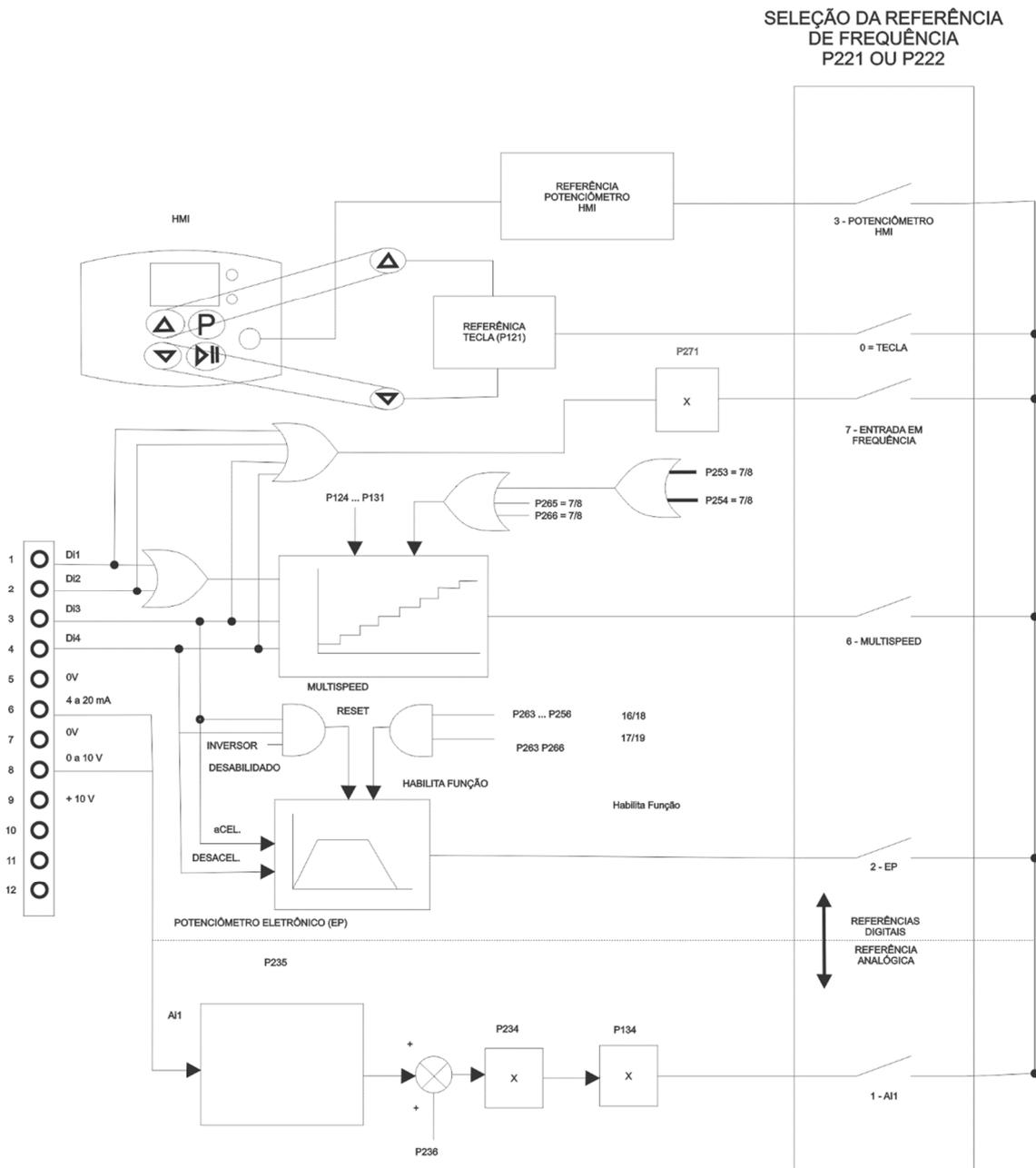


Figura Figura 10. Diagrama simplificado da referência de frequência.
 Fonte: (WEG, 2013).

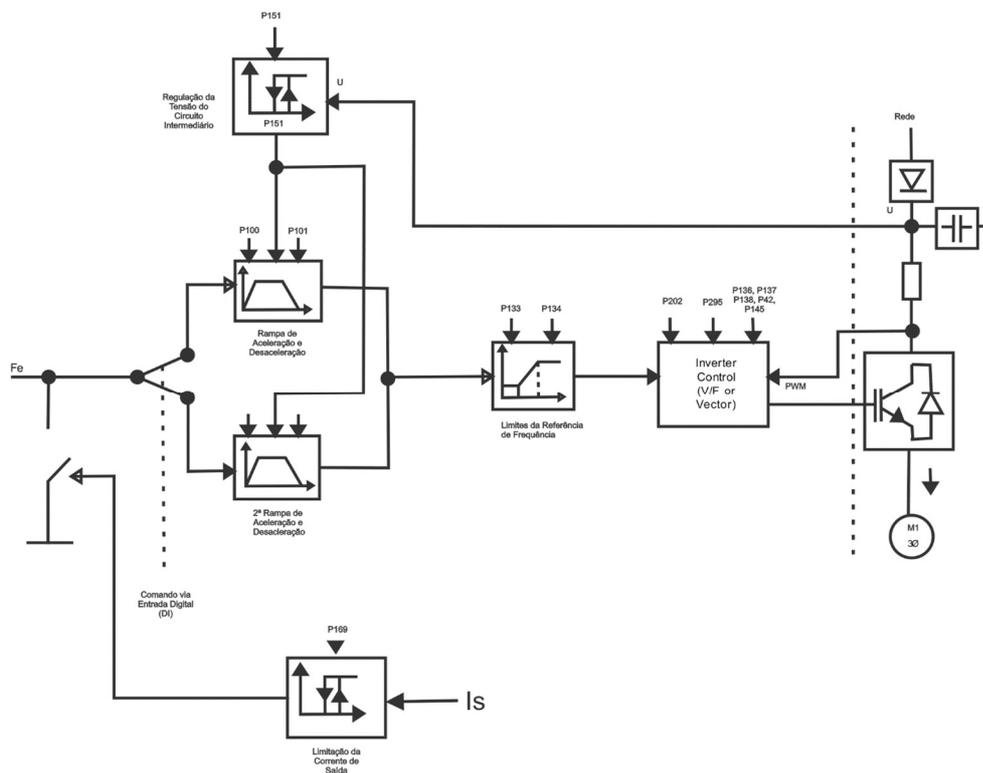


Figura 11. Diagrama simplificado da comandos.

Fonte: (WEG, 2013)

O equipamento foi construído de modo a ser possível o funcionamento do inversor de frequência no modo local. No modo local, os comandos de operação do equipamento são executados diretamente no painel de controle do inversor ou através de controles instalados no barramento CX1. A primeira versão do equipamento, foi construída e utilizados os recursos disponíveis na sua interface IHM e do barramento de conexões CX1. O painel de controles está instalado na face frontal do equipamento, o display, o teclado de 4 teclas e dois leds de sinalização coordenados por um programa de controle do próprio equipamento. Para a utilização desse modo de operação e dos recursos disponíveis é necessário a instalação de conexões no barramento XC1 como mostrado na Figura 12. As chaves S1 e S2 são botoeiras pulsantes a 3 fios nesse tipo de botoeira o contato comum é interligado a uma das duas saídas de modo que sempre que uma chave está ligada a outra se encontra desligada. A habilitação da função Liga/Desliga foi feita programando a entrada digital DI1 para ligar atribuindo ao parâmetro P263 o valor 13 e a entrada DI2 para desligar atribuindo ao parâmetro P264 o valor 14. Para programar o sentido de giro do motor foi atribuído aos parâmetros P265 e P266 um valor a 1, esta configuração habilita o motor a girar sempre no sentido horário.

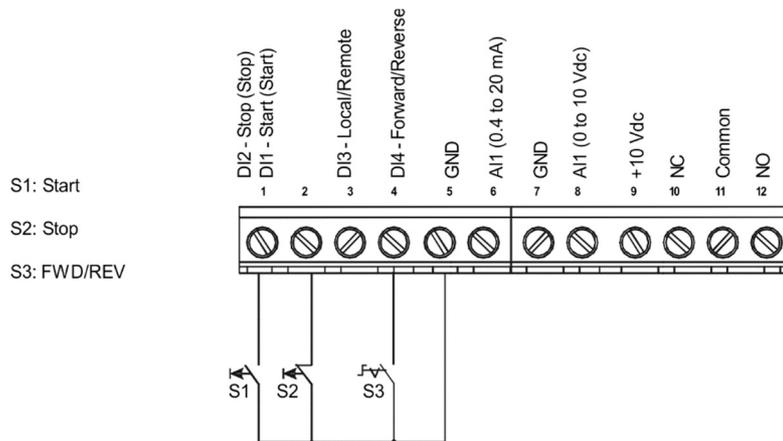


Figura 12. Diagrama de ligações das entradas digitais do barramento XC1 do inversor de frequência.

Fonte: (WEG, 2013).

Após a interligação do barramento do inversor e da instalação do motor, dos elementos de proteção da rede de alimentação, foram configurados os parâmetros relacionados a esse modo de operação. Utilizando a IHM do equipamento é feito o acesso do modo de programação e introduzido os valores relativos aos parâmetros associados. A lógica da programação do CFW10 pode ser entendida visualizando o esquema da Figura 13.

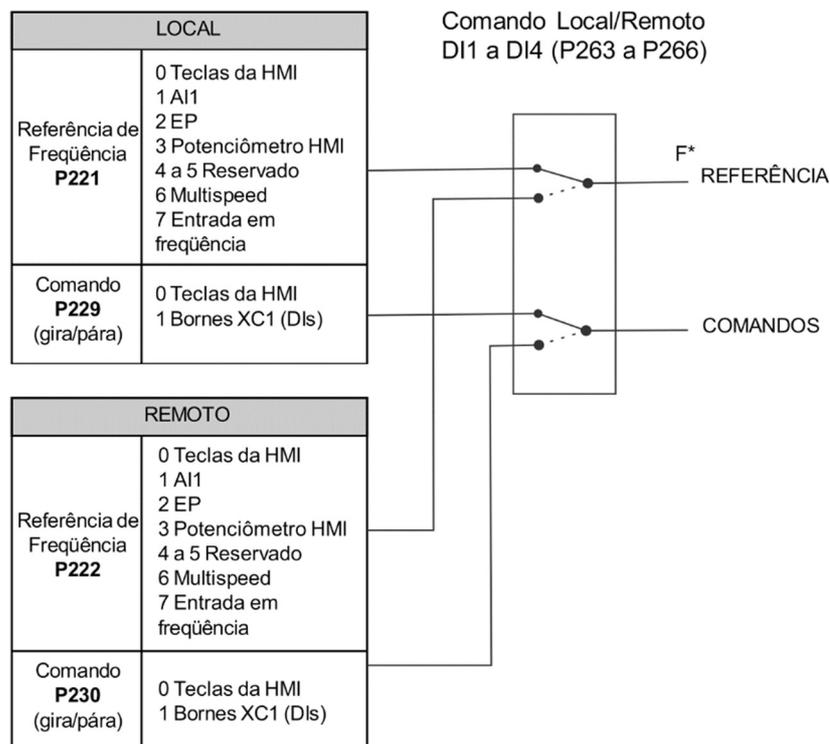


Figura 13. Diagrama de modo de operação.
Fonte: (WEG, 2013).

Na Figura 14 é visto o circuito de interligação da alimentação da rede monofásica, das blindagens e da conexão com o motor, nesta configuração é possível escolher a frequência de operação para uma dada velocidade do motor, que pode ser ajustada diretamente no painel do Inversor.

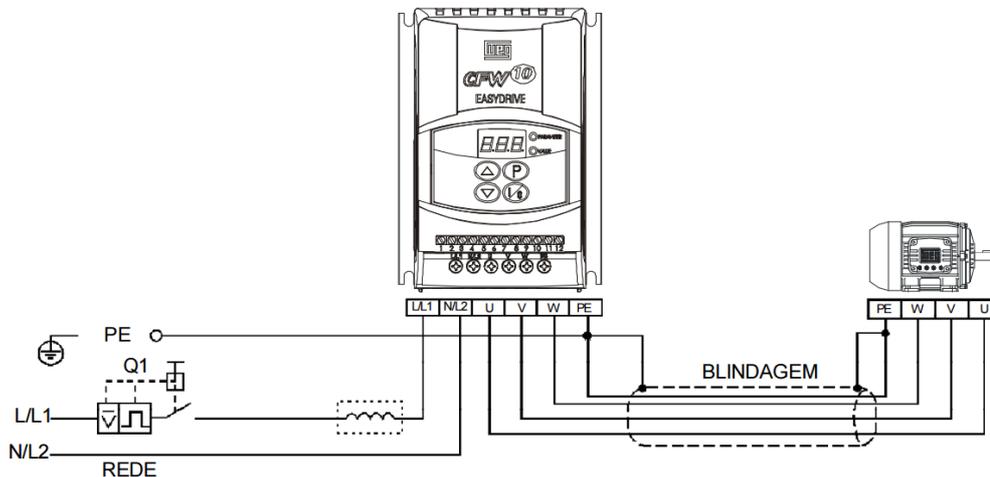


Figura 14. Diagrama de ligações Inversor de Frequência – modo local.

Fonte: (WEG, 2013)

Com esta montagem foi possível executar testes de funcionamento. Também, foi implementado uma estratégia de controle temporizado utilizando um cronometro de uso geral, que após ser modificado para, ao final da contagem de tempo, emitir um sinal de controle que aciona das chaves S1 e S2, comandado pelo bip sinalizador de fim de contagem, desligando o motor.

Este conjunto foi testado para executar testes de funcionamento, no tocante a ajustes de velocidade, temporização da operação e os efeitos da temperatura em regime de funcionamento movimentando uma carga típica máxima. Os valores de velocidade da haste foram medidos com tacômetro digital de contato, modelo MDT-2245B, marca Minipa, numero de série ID 02400000821M; Os valores da velocidade no eixo do motor foram obtidos por meio do medidor Stroboskop, modelo H201550-2, marca PHYWE, numero de série TD0132; Os valores das temperaturas foram registrados por meio de um sistema de aquisição de dados configurado para coleta de dados de termopares, LXI Data Aquisition/Swith Unit, modelo 34972A, número de série MY41184922. Os resultados obtidos estão tabelados e plotados na secção de resultados e discussões.

Na versão inicial foi construído um circuito de interface que possibilita a edição dos valores de velocidade e tempo de duração da operação, através de teclado e com a visualização da evolução do processo em um mostrador

alfanumérico. Neste modo de funcionamento, podemos operar o equipamento de forma segura e prática, por não ser necessário que se calcule o valor de frequência para a velocidade desejada ou que seja necessário o uso de tabela de conversão, já que o software desenvolvido executa essa função, além de controlar a duração do tempo de ensaio, com a possibilidade de executar o controle de corridas sucessivas pré configuradas. O circuito foi projetado para simular um potenciômetro mecânico que varia sua resistência elétrica, o que é utilizado para variar a tensão na entrada A1 de 0 a 10 V, no pino 8, com realção ao pino 9 (GND) e o pino 10 (Referência 10V), do conector CXI e dessa forma poder escolher a velocidade desejada dentro de uma faixa quase contínua entre os dois extremos. Nesta versão o componente MCP41010 foi utilizado e configurado para atender os objetivos determinados. Porém devido a limitações na geração dos valores, para a geração sinais de velocidades específicas, esta versão do circuito foi substituída por uma outra estratégia de controle, descrita na secção 3.1.3 a seguir, com ganhos relativos ao aumento na precisão dos valores gerados. Na Figura 15 pode ser observado o diagrama de ligações do inversor com o motor e com placa de controle externa de interface. Esta configuração foi mantida na construção da solução definitiva.

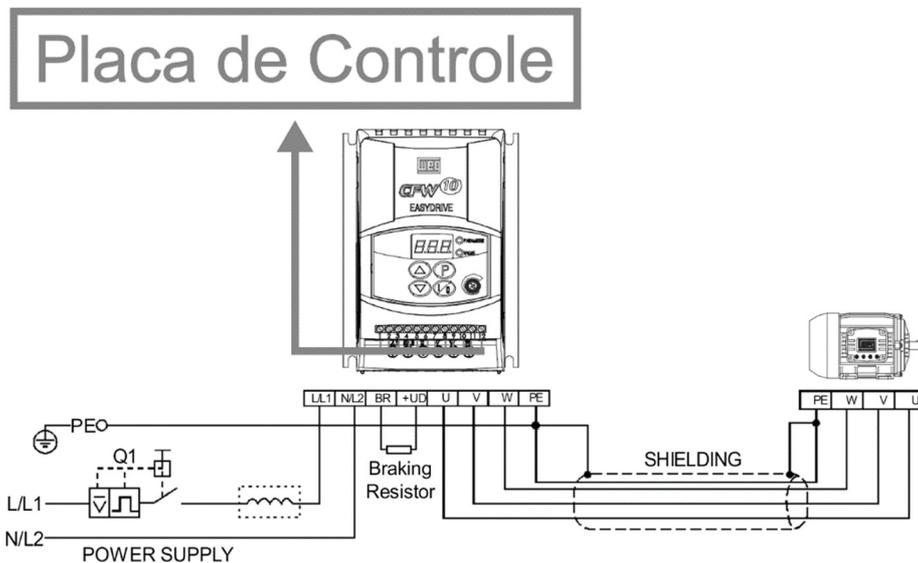


Figura 15. Diagrama de ligação da placa externa com o barramento XC1 do inversor de frequência.

Fonte: Autoria Própria (Adaptado de Weg 2013)

Na Figura 16, pode ser visto o mostrador ou display escolhido como visualizador das informações para servir de guia ao operador na parametrização. O dispositivo foi o LCD pino-compatível com o HD44780 de 16 colunas por 2 linhas,

dispõe de um iluminador backlight, tem baixo índice de falha e é comumente utilizado na indústria como base de interface homem-máquina.

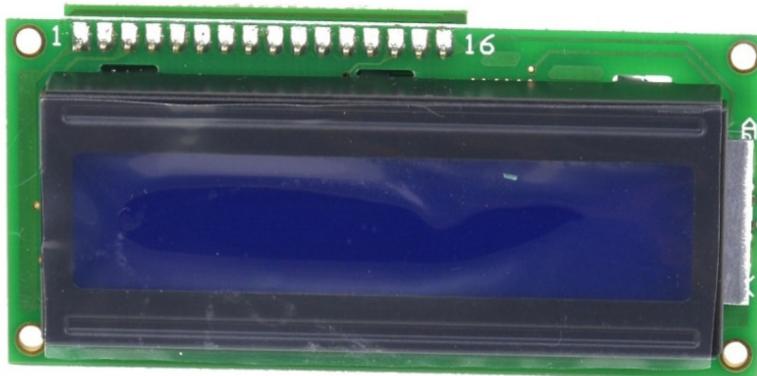


Figura 16. Display mostrador HD44780

Fonte: (THINGBITS.NET, 2014)

Conector XC1		Descrição	Especificações
		Função Padrão de Fábrica	
1	DI1	Entrada Digital 1 Habilita Geral (remoto)	4 entradas digitais isoladas Nível alto mínimo: 10 Vcc Nível alto máximo: 30 Vcc Nível baixo máximo: 3 Vcc Corrente de Entrada: -11 mA @ 0 Vcc Corrente de Entrada Máxima: -20 mA
2	DI2	Entrada Digital 2 Sentido de Giro (remoto)	
3	DI3	Entrada Digital 3 Local/Remoto	
4	DI4	Entrada Digital 4 Gira/Pára (remoto)	
5	GND	Referência 0V	Não interligado com o PE
6	AI1	Entrada Analógica 1 (corrente) Referência de Freqüência (remoto)	Em corrente 0 a 20 mA ou 4 a 20 mA. Impedância: 500 Ω. Resolução: 7bits.
7	GND	Referência 0V	Não interligado com o PE
8	AI1	Entrada Analógica 1 (tensão) Referência de Freqüência (remoto)	Em tensão 0 a 10 Vcc. Impedância: 100 kΩ. Resolução: 7bits. Tensão máxima de entrada: 30 Vcc
9	+10V	Referência para Potenciomentro	+10 Vcc, ± 5%, capacidade: 2 mA
10	NF	Contato NF do Relé 1 Sem Erro	Capacidade dos contatos: 0,5 A / 250 Vca 1,0 A / 125 Vca 2,0 A / 30 Vcc
11	Comum	Ponto Comum do Relé 1	
12	NA	Contato NA do Relé 1 Sem Erro	

Figura 17. Descrição e Especificações dos terminais do conector XC1.

Fonte: (Weg 2013)

Na Figura 17 é vista a descrição das funções padrão de fábrica de todos os terminais do conector CX1 e as especificações elétricas de cada pino. Estas informações serviram de base para o projeto e para construção dos circuitos, viabilizando uma compatibilização elétrica para o funcionamento adequado do conjunto.

3.1.6. SISTEMA DE CONTROLE DE ROTAÇÃO E TEMPORIZAÇÃO

O sistema de controle de rotação e temporização foi construído para atuar sobre o inversor de frequência CFW10 de forma a controlar o seu funcionamento durante toda a operação do equipamento desenvolvido. O sistema de controle categoriza-se em abstratamente em dois subsistemas:

1. Interface Homem-Máquina
2. Interface Máquina-Máquina

A interface homem máquina é a responsável por interagir com o operador do equipamento de forma a receber e exibir as informações necessárias para que o sistema seja operado.

A interface máquina-máquina é a responsável pela interface entre o operador e o microcontrolador responsável por configurar o CFW10.

Na Figura 18, vista abaixo, são diagramados os sistemas e subsistemas eletrônicos de forma didática para fácil entendimento da lógica de controle do equipamento.

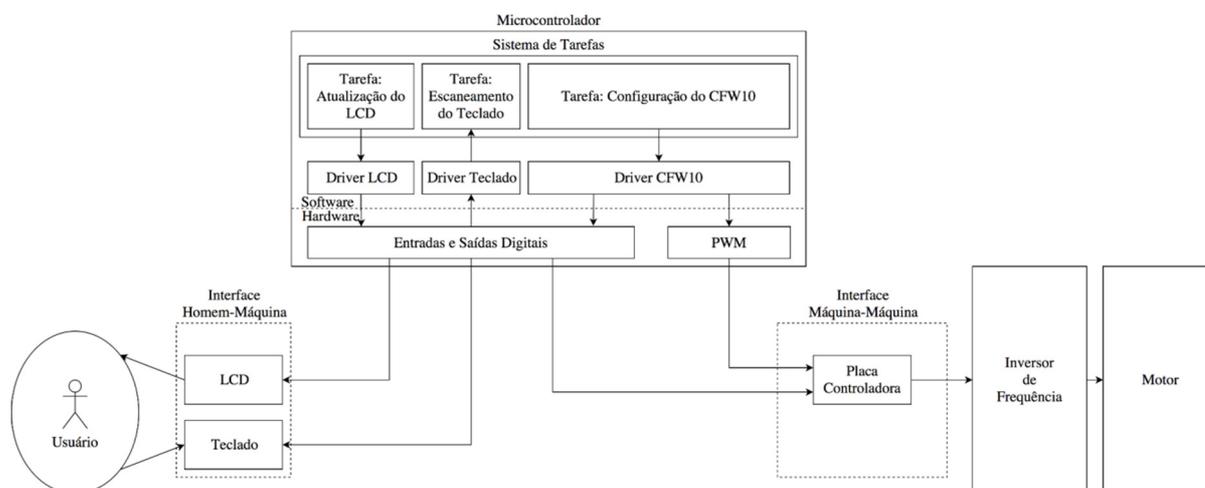


Figura 18. Relações dos sistemas e subsistemas.

Fonte: Autoria Própria.

Utilizou-se o kit de desenvolvimento Arduino Mega 2560 que possui um microcontrolador ATMEGA 2560 da Atmel. No kit de desenvolvimento estão disponíveis entradas e saídas digitais bem como várias portas PWM, suficientes para a interfae entre microcontrolador os periféricos associados.

O teclado mostrado na Figura 19, é um teclado numérico de quatro linhas por quatro colunas que consiste em uma matriz de chaves, auto-adesivo e blindado, com estrutura resistente a umidade, com poucos requisitos de manutenção e ainda com uma fácil substituição sem a necessidade de utilização de ferramentas específicas, podendo ser esta operação executada pelo próprio operador do equipamento.



Figura 19. Teclado alfanumérico com 4 linhas e 4 colunas utilizado para obtenção sinais que representam informações na interface homem-máquina.

Fonte: (PARALLAX INC., 2011)

A placa controladora, cujo diagrama esquemático pode ser visto na Figura 20 é responsável por filtrar o sinal PWM a fim de extrair o sinal médio de tensão e converter os sinais digitais de controle do nível lógico TTL para 0-10V.

O circuito de filtragem do sinal PWM consiste em um filtro ativo passa-baixa de primeira ordem. A Figura 19 ilustra a topologia do filtro. Escolheu-se os valores de R5 e C1 de forma a equação da frequência de corte (f_c) para o filtro passa-baixa de primeira ordem quando a frequência de corte aproxima-se de 60 Hz.

$$f_c = \frac{1}{2\pi R5 C1} \quad (3)$$

Fixou-se R5 de forma a, no instante inicial, quando o capacitor C1 se encontra descarregado, a corrente drenada do amplificador operacional U1B fosse menor que 1 mA. Encontrou-se assim o valor de 22 k Ω para R5 e 100 nF para C1.

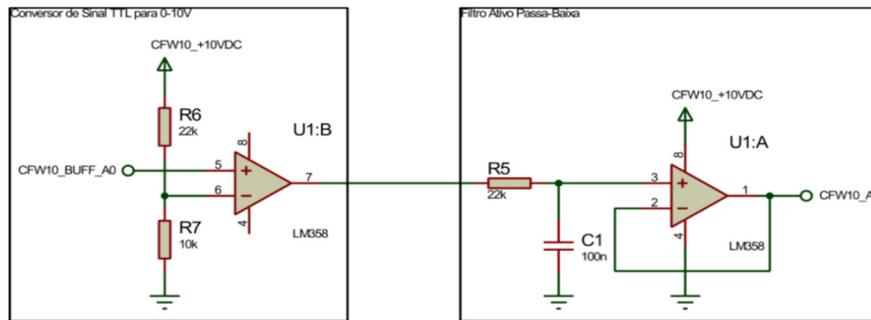


Figura 20. Filtro ativo primeira ordem, condicionador de sinal TTL para 0-10V.

Fonte: Autoria Própria.

O terminal CW10_BUFF_A0, que está conectado ao terminal do Arduino em que se encontra disponível a funcionalidade de modulação PWM. O terminal CFW10_A0 é ligado ao terminal AI do CFW10 disponível do terminal XC1 conforme mostrado na Figura 12.

A Figura 21 mostra a resposta em frequência do filtro implementado cujo diagrama esquemático é mostrado na Figura 20. Observa-se nesta imagem que na frequência fundamental do PWM (1 kHz), a atenuação é de aproximadamente -30 dB o que corresponde a 3% do valor original de amplitude do sinal. Na Figura 22 pode ser vista a resposta em frequência do sinal PWM antes da filtragem, na Figura 23 a resposta em frequência do sinal PWM após a filtragem e na Figura 23, a comparação das respostas no tempo do sinal PWM e o sinal na saída do filtro.

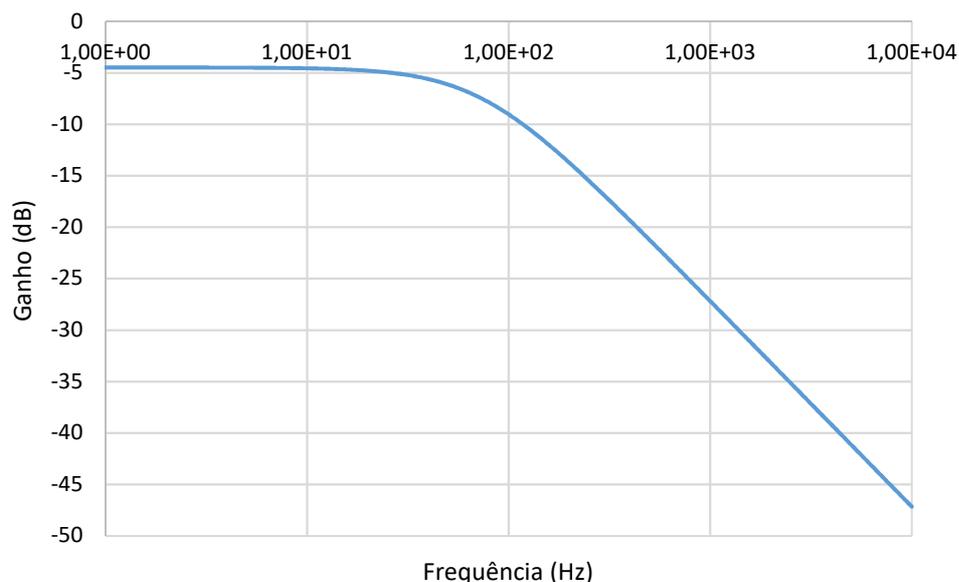


Figura 21. Resposta em frequência do filtro ativo do sinal PWM.
Fonte: Autoria Própria.

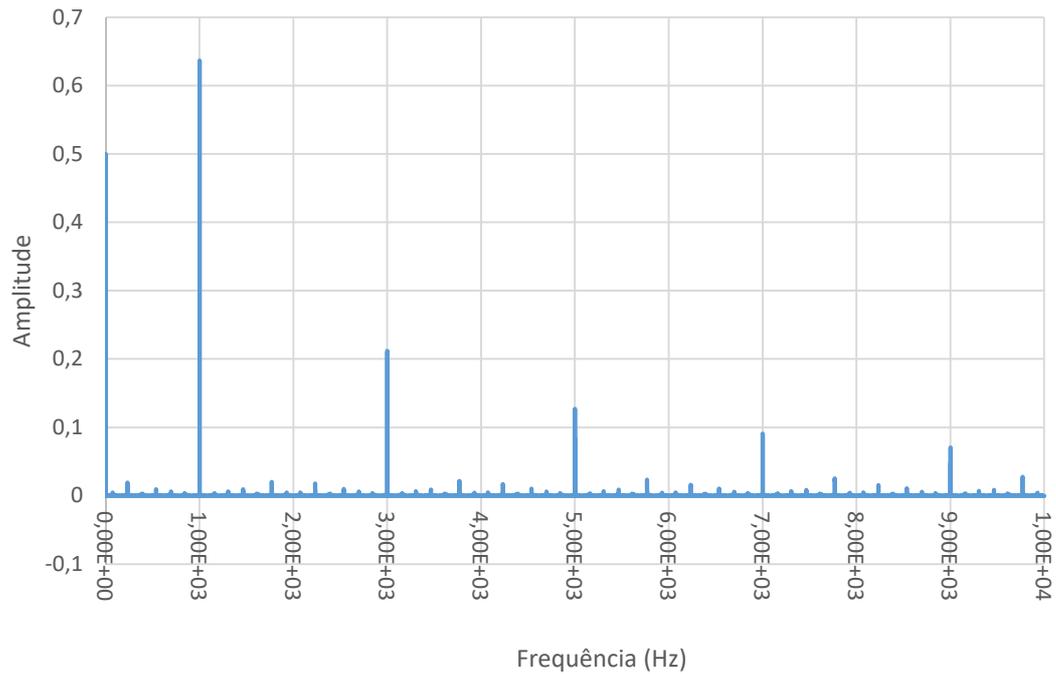


Figura 22. Resposta em frequência de um sinal PWM antes da filtragem.
Fonte: Autoria própria.

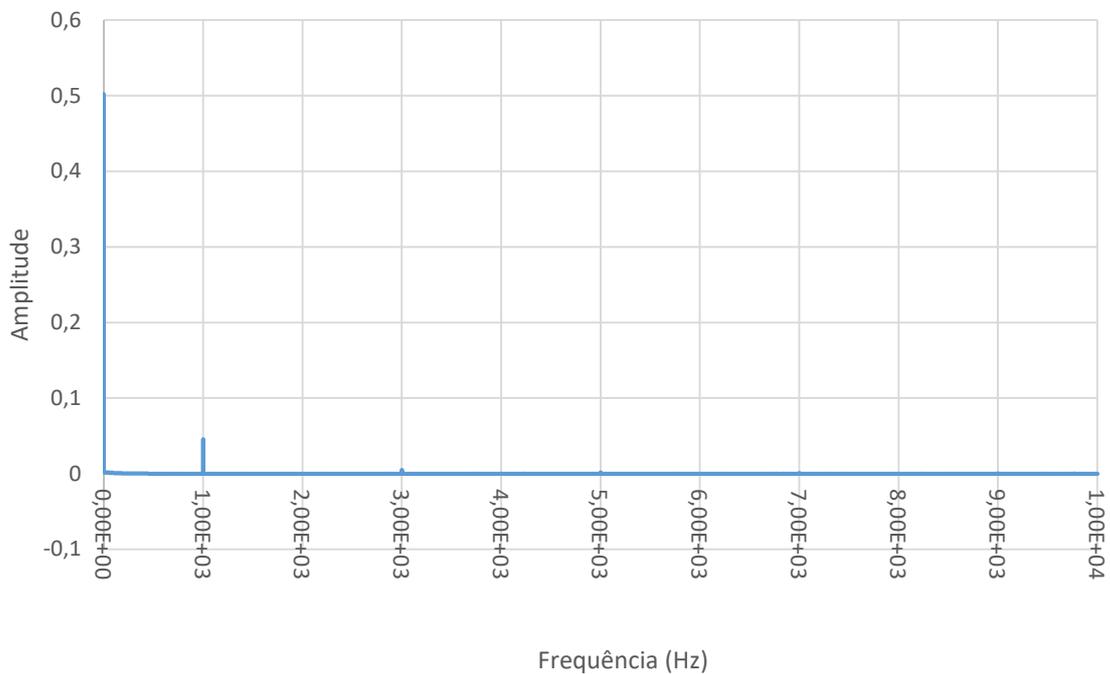


Figura 23. Resposta em frequência do sinal PWM após a filtragem.
Fonte: Autoria Própria.

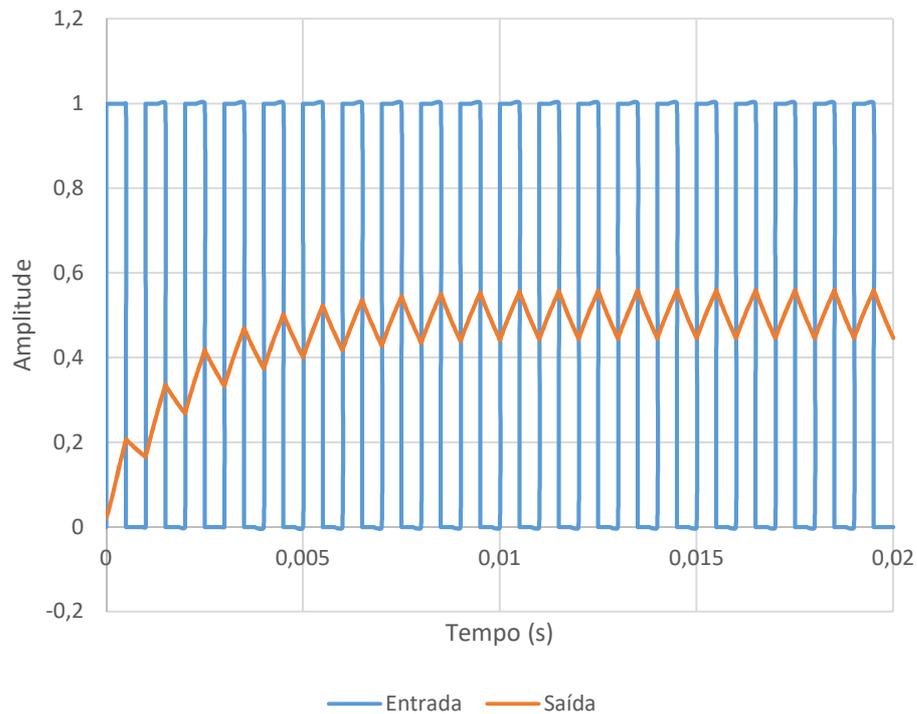


Figura 24. Comparação das respostas no tempo do sinal PWM e o sinal na saída do filtro.

Fonte: Autoria Própria.

O layout da placa de circuito impresso criado para a montagem do controlador pode ser visto na Figura 25. Esta placa foi desenvolvida de modo a posição relativa de seus terminais coincidirem com a pinagem da placa arduino formando o que denominamos de *shield*. O diagrama esquemático final para simulação e construção da placa de controle encontra-se na Figura 26.

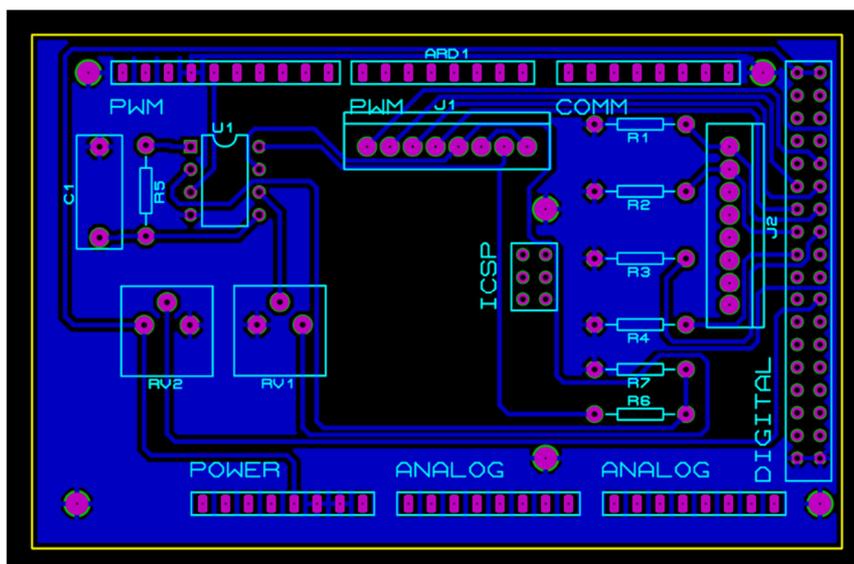


Figura 25. Placa de circuito impresso do módulo.

Fonte: Autoria Própria

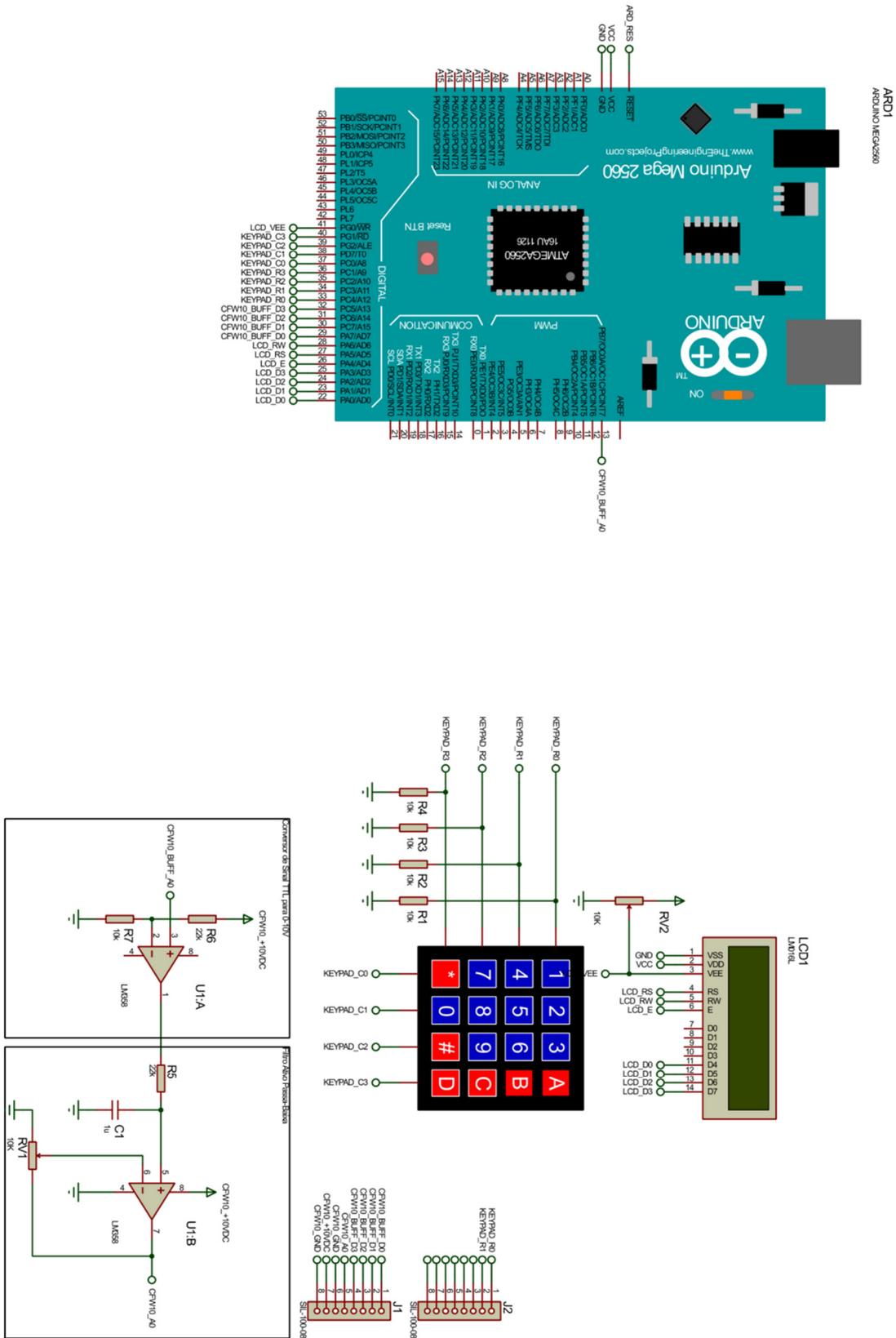


Figura 26. Esquemático de simulação da placa de controle

Fonte: Autoria Própria

3.1.7. SOFTWARE E ALGORITMO

O software embarcado consistindo de um conjunto de rotinas escritas em linguagem C/C++, compilada em ambiente PC, gravada e executada no microcontrolador foi utilizada como base para o sistema.

A rotina escrita possibilita ao sistema receber os dados provenientes de uma matriz de chaves (teclado), exibir uma interface apropriada em um visor LCD e controlar o módulo de interface entre o Arduíno e o CFW10, a fim de programar o dispositivo para a execução dos procedimentos especificados pelo usuário.

Diante da complexidade e do tamanho do código fonte, preferiu-se publicá-lo em um recurso online (FARIAS, 2017).

3.1.8. PLATAFORMA DE DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE

O firmware desenvolvido para o microcontrolador Atmega 2560 com o *bootloader* Arduino consiste em rotinas escritas em C compiladas em um ambiente de desenvolvimento instalado em um computador pessoal e posteriormente gravadas no microcontrolador com a infraestrutura disponível.

Para o desenvolvimento deste projeto foi utilizado o ambiente de desenvolvimento integrado de código aberto Eclipse associado ao plugin para desenvolvimento C/C++ CDT e o plugin para desenvolvimento para microcontroladores AVR-Eclipse uma vez que, nativamente as linguagens C e C++ são utilizadas para desenvolvimento de software para o hardware Arduíno. Todos de código aberto e disponíveis nos sites <https://eclipse.org/cdt/> e <http://avr-eclipse.sourceforge.net/>.

A rotina escrita permite o microcontrolador receber sinais provenientes de uma matriz de chaves que representam caracteres alfanuméricos. Dependendo do estado atual (contexo) da execução do firmware, o teclado permite o direcionamento do fluxo da execução para um comportamento desejado, com a exibição do contexto de execução atual sendo mostrado pelo display com informações relevantes a operação.

Conceitualmente é possível representar as relações entre os dispositivos da interface de controle segundo a figura 27, na qual esquematizamos o diagrama conceitual das relações entre os dispositivos da interface.

3.1.9. DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

O software elaborado para o microcontrolador em questão levou em consideração a construção de uma interface homem-máquina que simplificasse na operação do módulo CFW10, tornando transparente ao usuário a complexidade da configuração e operação do módulo inversor de frequência. O programa residente é responsável por controlar o tempo em que o inversor permanecerá ativo além do valor da tensão de controle fornecida ao inversor para que ele forneça os sinais necessários ao correto funcionamento do motor em qualquer valor escolhido dentro das faixas de valores dos parâmetros de operação do equipamento.

Dada a limitação tanto de memória de programa quanto de acesso aleatório, não foi possível a utilização de nenhum sistema operacional em tempo real, dado que qualquer alternativa disponível excedia os requisitos mínimos dos referidos parâmetros. Adotou-se então a construção de um sistema que imitasse as funcionalidades necessárias.

O software foi desenvolvido tomando como paradigma uma lista de execução de tarefas inseridas dinamicamente durante a execução. Toda rotina a ser executada pelo microcontrolador foi conceitualmente considerada uma tarefa. Não há prioridades entre tarefas. O contexto de execução deve ser obrigatoriamente liberado a fim de que as tarefas adicionadas posteriormente possam ser executadas. A Figura 27 mostra o diagrama de atividade do funcionamento básico do agendador de tarefas.

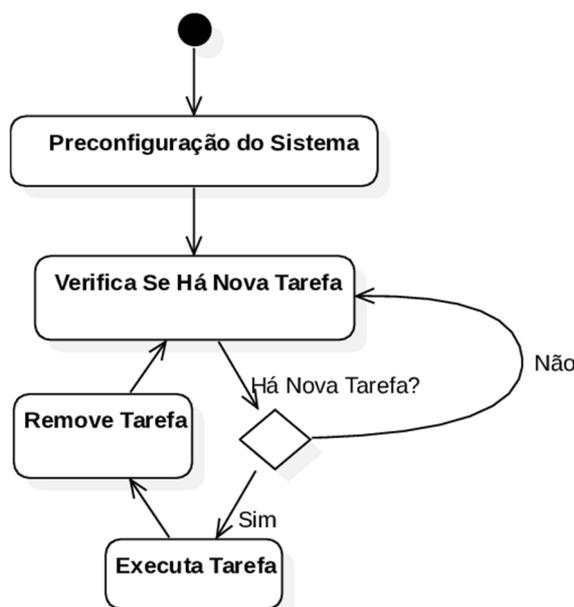


Figura 27. Diagrama básico do agendador de tarefas.

Fonte: Autoria Própria

Na configuração do sistema, além de realização das configurações iniciais dos periféricos, adiciona-se a tarefa de impressão na tela e varredura do teclado. A tarefa de varredura no teclado a partir do estado atual, verifica alguma há tecla pressionada. Caso não haja nenhuma tecla pressionada, agenda-se mais uma varredura e a atividade é encerrada. Isto resulta na liberação do contexto de execução atual. Portanto, a tarefa de impressão na tela mostra o estado atual do sistema e depois encerra a tarefa.

Caso haja uma tecla pressionada, executa-se função associada a aquela tecla, se houver uma função predeterminada para aquela tecla no estado atual do sistema. Caso não haja nenhuma função associada, procede-se como se não houvesse tecla pressionada; agenda-se uma tarefa de impressão na tela e agenda-se uma tarefa de varredura no teclado novamente. Com isso apenas quando há alterações no estado atual do sistema haverá uma impressão na tela.

Basicamente com este algoritmo simples, é possível definir tarefas específicos para cada contexto do sistema, tornando simples a solução de sistemas de interface homem-máquina que não demandam tempo-real nem prioridades.

3.1.10. OPERAÇÃO DO EQUIPAMENTO

A descrição foi construída para mostrar todos os passos da operação do equipamento, as figuras que seguem serviram de formato padrão para construção do programa de impressão na tela. Esse formato é repetido em todas as telas, com o objetivo de facilitar a automatização do procedimento de introdução dos parâmetros de operação.

1. Com o aparelho desenergizado e a câmara separada da base de tração, retire a haste central girando no sentido horário com relação a base.
2. Proceda a limpeza e secagem; reinstale a haste aplicadora com o movimento anti-horário da haste de aplicação de impacto, com relação a base;

3.1.11. ENERGIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO

Energiza-se o equipamento pressionando do botão liga/desliga.

O display mostrará a tela inicial do menu, onde se vê o conteúdo da tela exibida na Figura 28. O quadro envolvendo as duas primeiras linhas do texto representa o que será mostrado no display (# T. Func. 0 min e Vel. 0 RPM). A primeira linha mostra o tempo programado de funcionamento e a segunda linha mostra a velocidade em RPM que a máquina será programada para girar. O texto que está fora do quadro mostra o item do menu que será mostrado ao pressionar os cursores para cima ou para baixo.

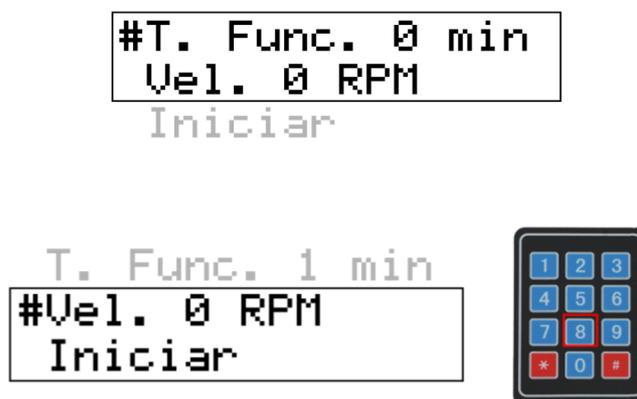


Figura 28. Tela inicial do display após energização do equipamento
Fonte: Autoria Própria

Inserir o material a ser processado pela UBS-PF na câmara de processamento. Fechar adequadamente a câmara, certificando-se que a tampa e o eixo estão devidamente encaixados.

Após a inserção do material, deve-se configurar o tempo do experimento. O primeiro caractere é #, ele indica qual o item do menu atualmente selecionado. Para modificar o valor do tempo de funcionamento do experimento, pressiona-se no teclado o botão #

Observa-se uma mudança de # para * indicando a mudança do contexto de seleção de itens do menu para o contexto de edição de parâmetros.

O contexto atual do sistema estará selecionado então para edição do parâmetro selecionado. Neste momento, o caractere # será modificado para * e nesse ponto, as funções do teclado mudam e agora, cada tecla representa o seu correspondente número impresso. Digita-se o tempo em minutos que o experimento

deverá funcionar. Logo após o término da digitação, pressiona-se o botão * para salvar o valor e voltar ao contexto de seleção de itens do menu.

Após digitado o valor do tempo desejado de funcionamento do sistema, deve-se configurar a rotação da máquina em RPM de forma análoga ao item anterior. Mas antes, deve-se entender que os caracteres 2 e 8 são utilizados para mudança de item do menu selecionado. O caractere 2 é utilizado para selecionar o item anterior do menu e 8 é utilizado para seleção do item posterior. Neste caso, partindo do pressuposto que o item atualmente selecionado é T. Func., deve-se pressionar 8. O contexto será alterado e agora, indicado por #, o contexto atual de seleção será Vel. Deve-se adotar um procedimento análogo ao item anterior para edição do parâmetro T. Func. A.



Figura 29. Representação do estado atual do menu do sistema ao pressionar a tecla 8.

Fonte: Autoria Própria.

Observa-se uma mudança de item atual indicado por #, ao pressionar o botão 8 indicado no teclado por um quadro vermelho no teclado, o estado atual do display será o indicado, isto é, o item atual do menu selecionado será Vel.

Após alterado o parâmetro Vel., muda-se novamente o contexto do menu para o item “Iniciar”. Selecionando através da tecla # o item, dar-se-á início ao funcionamento da máquina e uma tela análoga a da Figura 30 será exibida com uma contagem regressiva em segundos de quanto tempo falta para que a máquina pare o teste. O teste pode ser interrompido a qualquer momento pressionando novamente a tecla #.

Ao final do processo, com o motor parado, retire a câmara do suporte de acoplamento, descarregue as sementes processadas para o procedimento de análise.

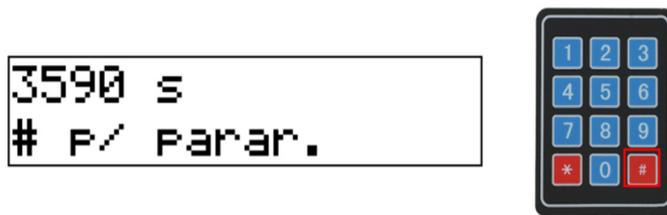


Figura 30. Representação do estado atual do menu do sistema ao pressionar a tecla #, quando iniciar for o item do menu selecionado.

Fonte: Autoria Própria.

Para uma nova simulação: Execute o procedimento de limpeza e secagem da câmara conforme o seguinte procedimento:

1. Certifique-se que não há nenhum teste em andamento.
2. Remova a câmara da simuladora de danos mecânicos e coloquea em um local de fácil manejo em uma distância segura de forma que o material submetido a testes não entre em contato com a carenagem do equipamento.
3. Abra a tampa da câmara de impacto e despeje o conteúdo em seu interior de forma a facilitar a remoção da haste de de aplicação de impacto.
4. Segure a haste de aplicação de impacto e segure-a no sentido antiorário, desparafusando a haste.
5. Com a haste removida, limpe-a de forma a não deixar restos da operação anterior nas partes da haste, assim como o interior da câmara de impacto como um todo. Lave-a se necessário, deve-se enxugar a câmara de forma a não deixar nenhum conteúdo de água.
6. Parafuse a haste novamente.
7. Abasteça a câmara, tampe e acople-a novamente ao equipamento.
8. Se, novos valores de velocidade e/ou tempo necessitam ser introduzidos, retorne ao menu da Figura 29 e em seguida ao da Figura 30 e execute o procedimento de ajuste necessário.

3.2. VALIDAÇÃO DO EQUIPAMENTO

Para o processo de validação do equipamento foram feitas as operações de uma Unidade de Beneficiamento de Sementes localizada no município de Alagoinha, Estado da Paraíba.

Foram utilizadas sementes de feijão carioca oriundas de campos de produção instalados e conduzidos tecnicamente, de acordo com as normas para produção de Sementes Básicas por produtor credenciado do município de Lajedo, PE, no ano agrícola de 2013/14, colhido com um teor de água de 28% base úmida (b.u.).

Os testes para determinação dos tempos, velocidades e rotações por minuto (rpm) de cada máquina em cada etapa da operação de beneficiamento das sementes de feijão carioca na UBS foi realizado com 100 kg de sementes, utilizando-se três repetições, totalizando 300 kg de semente no experimento.

3.2.1. DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DAS SEMENTES EM CADA ETAPA DO BENEFICIAMENTO NA UBS

Conhecidas as distâncias e o tempo percorrido pela semente em cada etapa de operação da Unidade de Beneficiamento de Sementes, obteve-se a velocidade de cada etapa do processo pela Equação 4:

$$V = \frac{D}{t} \quad (4)$$

Onde:

- V : velocidade;
- D : distância percorrida pelas sementes em cada etapa do beneficiamento;
- t : tempo gasto no percurso entre as etapas, min.

3.2.2. DETERMINAÇÃO DAS ROTAÇÕES POR MINUTO RPM DAS MÁQUINAS NA UBS

Para a determinação da velocidade de passagem das sementes pelas máquinas constituintes da UBS, foram tomados os tamanhos do percurso e o tempo gasto para a passagem de uma massa de sementes, até que o final do processo. No quadro demonstrativo da Tabela 1, podemos visualizar a etapa de processamento, o

tempo de passagem em segundos, e a velocidade equivalente em rotações por minutos.

Os dados foram obtidos a partir de ensaios na Unidade de Beneficiamento de Alagoinha-PB, foram coletadas as medidas, em metro, da altura dos elevadores e tubos de descida, como também, os tempos relativos de passagem em cada etapa de operação do beneficiamento (em segundos) e a Velocidade de passagem (rpm). Os dados obtidos, da UBS de Alagoinha-PB, são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Demonstrativo da passagem das sementes pelas máquinas da UBS.

Etapa de Operação	Tempo médio de passagem das sementes (s)	Velocidade de Passagem na UBS (r.p.m)
Material inicial	0	-
Recepção	3	170
Antes da pré-limpeza	6	490
Pós-prelimpeza	9	440
Antes da secagem	11	150
Pós-secagem	23	150
Antes da limpeza	27	150
Pós-limpeza	16	480
Antes da seleção	23	150
Pós-seleção	90	120
Antes do tratamento fúngico	12	170
Pós-tratamento Fúngico	17	130

***Dados obtidos para cada etapa realizada na UBS.**

3.2.3. SECAGEM DAS SEMENTES DE FEIJÃO CARIOCA

No processo de simulação que envolveu a secagem do feijão com três temperaturas (25°C, 35°C e 45°C) a semente utilizada tinha, inicialmente, teor de água médio de 28% (b.u.) o qual foi reduzido para 12,0 % (b.u.), em secador de circulação forçada de ar.

Para secagem das sementes de feijão, elas foram dispostas em camadas de 3 cm de altura em bandejas de 40 cm de diâmetro. A secagem foi realizada em duas etapas com uma massa inicial de 50 kg de sementes, que foi dividida em 5 partes iguais de 10 kg, para que as sementes fossem secas nas temperaturas estabelecidas previamente.

Depois da secagem das sementes retiraram-se amostras de 2000 g de semente, correspondentes a cada temperatura, as quais foram submetidas às

diferentes velocidades e rotações correspondentes a cada etapa do beneficiamento das sementes na UBS, até sua embalagem e armazenamento.

As determinações da qualidade fisiológica das sementes foram realizadas pelo Laboratório de Análises de sementes da EMBRAPA, seguindo-se as Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009) para a germinação e para cada etapa de passagem das sementes através das operações de: 1) Material inicial; 2) Recepção; 3) Antes da pré-limpeza; 4) Pós-pré-limpeza; 5) Antes da secagem; 6) Pós-secagem; 7) Antes da limpeza; 8) Pós-limpeza; 9) Antes da seleção; 10) Pós-seleção; 11) Antes do tratamento fúngico; 12) Pós-tratamento fúngico e ensaque (embalagem). O mesmo tratamento foi executado utilizando o simulador UBS-PF.

3.3. AVALIAÇÕES

3.3.1. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA INICIAL DAS SEMENTES

O teor de água foi determinado pelo método padrão da estufa a 105 ± 2 °C, em que três sub-amostras de 20 g de sementes foram colocadas em recipientes metálicos previamente secados em estufa e pesados, aí permanecendo durante 24 h, após o qual os recipientes contendo as amostras foram esfriados em dessecador por 20 minutos e pesados, obtendo-se a massa final (recipientes mais a amostra seca). Os resultados foram expressos em porcentagem de peso em base úmida, de acordo com a equação 5, conforme as recomendações das Regras para Análise de Semente (BRASIL, 2009).

$$\% X = \frac{P - p}{P - t} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

- % X: teor de água, b.u.;
- P: peso inicial (peso do recipiente + peso da semente úmida) g;
- p: peso final (peso do recipiente + peso da semente seca) g;
- t: tara (peso do recipiente) g.

3.3.2. TESTE DE GERMINAÇÃO (%)

Cento e duzentas sementes de cada etapa do beneficiamento, tomadas ao acaso, foram divididas em três repetições, as quais foram distribuídas em bandejas

de plástico de 30 x 20 x 7 cm, com 700 gramas de substrato à base de vermiculita, umedecidas com água destilada e mantidas em temperatura ambiente. As avaliações foram realizadas no quinto e oitavo dia da instalação do teste, de acordo com os critérios estabelecidos pelas Regras de Análises de Sementes (BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos em percentagens de plântulas normais.

3.3.3. ANÁLISE DE DANOS MECÂNICOS (%)

Para determinação dos danos mecânicos das sementes de feijão carioca essas foram impactadas utilizando-se o equipamento construído conforme as velocidades de operação de cada etapa do processo de beneficiamento dentro de uma UBS. Cada rpm corresponde a uma velocidade de operação que foi correlacionada com cada etapa do processo de beneficiamento.

Visando à avaliação dos danos mecânicos, amostras de 200 gramas foram coletadas e distribuídas em três repetições, antes e após cada etapa do beneficiamento. Após a passagem em cada etapa na simulação as sementes foram colocadas em uma mesa de fundo branco para facilitar a identificação dos danos nas sementes. Foram identificadas as sementes partidas ao meio, sementes com tegumento rompido, fragmentos de sementes e sementes com fissuras. A separação das sementes intactas das sementes danificadas foi efetuada manualmente. O cálculo do índice danos mecânicos foi determinado pela equação 6:

$$D = 100 \left(\frac{m_d}{m_m} \right) \quad (6)$$

Onde:

- D : índice de danos mecânicos, %;
- m_d : massa de sementes com danos mecânicos, g;
- m_m : massa total da amostra, g.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CONSTRUÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO EQUIPAMENTO PARA SIMULAR DANOS MECÂNICOS EM SEMENTES

Na Figura 31 é possível ver uma imagem do equipamento montado para esse trabalho



Figura 31. Equipamento montado para o estudo de caso.

Fonte: A autoria própria

Após os primeiros testes foi verificado que havia uma massa que se depositava no fundo da câmara e que não participava das interações. Foi adotada a solução de confeccionar uma ferramenta em forma de pá e soldá-la junto à haste com o propósito de conduzir para cima as sementes que se depositasse nessa região. O resultado foi conseguido evitando o acúmulo de sementes no fundo da câmara e o aumento da homogeneidade do material em teste. Na Figura 33 é uma vista a câmara com a haste construída.



Figura 32. Câmara de amostra e haste e tampa mancal

Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 2 encontram-se os valores de velocidade atingidas pelo motor, para cada valor de frequência da alimentação. O valor da velocidade do motor é diretamente proporcional a frequência dos sinais de alimentação e é função também, do número de polos do motor, esta relação é mostrada na equação 3. Aplicando-se os dados do motor é possível obter o valor da faixa de frequência de operação para uma faixa de velocidade desejada. Nesse projeto, para a velocidade mínima do motor é de 161 rpm e a máxima de 3900 rpm a frequência das componentes de alimentação foram de 3,0 Hz e 66,0 Hz respectivamente.

Tabela 2: Velocidade em função da frequência da excitação do motor.

Ajuste	Freq. (Hz) Alimentação	Vel. (rpm) Motor*	Vel. (rpm) Acoplamento*
1°	3	161,0	87
2°	6	343,4	214,5
3°	12	698,9	377,2
4°	24	1414	762,8
5°	36	2126	1159
6°	48	2851	1548
7°	60	3570	1940
8°	66	3900	2136

* Medições feitas utilizando-se um Tacômetro Digital de Contato, marca Minipa, modelo MDt2245B.

4.2. CONFORMIDADE DE FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO

Com a conclusão da montagem do equipamento, foram realizados alguns ajustes relativos a temporização e controle da velocidade. Como resultados dos experimentos de comprovação de funcionamento os dados foram interpretados de acordo com os critérios de baixa velocidade entre 100 a 500 rpm, velocidade intermediária de 500 rpm a 2000 rpm e velocidade alta, acima de 2000 rpm:

Na Tabela 3 encontram-se os valores da velocidade de funcionamento do equipamento para 100 rpm, valor este, considerado de baixa velocidade. Pode-se constatar nesta tabela, para um tempo ajustado de operação de 60 minutos, que no intervalo inicial de 20 minutos, com medições de 1 em 1 minuto, a temperatura do motor aumenta 8,7°C. Cresce também a temperatura do motor de 33,7°C até 38,7 °C no tempo de 20 minutos para 30 minutos, respectivamente e a partir dos 35 minutos a temperatura do rotor é estabilizada quando este atinge a temperatura de 38,8°C.

A variação da temperatura depois de 1 hora de operação é, portanto, de 13,8°C, considerado um valor aceitável para essas condições de funcionamento, pois o motor foi construído com classe de isolamento B, que o dota da capacidade de funcionamento em um ambiente até 40°C e temperatura máxima de operação de 80°C, medidos na carcaça do equipamento. Essa temperatura é 10°C abaixo da temperatura das bobinas do motor, que de acordo com a norma NBR 7094, o valor da temperatura das bobinas do estator pode atingir 120°C como limite.

Percebe-se também, nesta tabela, que a variação nominal das rotações do motor, em rpm, está bem ajustada, pois seus valores apresentam um desvio, de no máximo, 3 décimos, esse desvio é insignificante com respeito a velocidade total e não interfere no resultado da simulação.

Na Tabela 3 estão os valores experimentais para uma velocidade intermediária do motor de 500 rpm onde se observa que após praticamente 30 minutos a temperatura é estabilizada e depois de 1 hora de operação, a temperatura do motor é da ordem de 37,8°C, ficando 1°C a menos que a temperatura de regime permanente do primeiro experimento que foi de 38,8 °C, isto se deve ao fato da velocidade maior provocar um maior deslocamento de ar e manter uma ventilação melhor com relação ao primeiro experimento.

Tabela 3: Dados de funcionamento do motor. Experimento 1: Temperatura ambiente 25 °C. Velocidade 100 RPM.

Tempo (min)	Temp. (°C)	Velocidade (rpm)	Variação (ΔV)	Funcionamento
0	25	100	0	Estável
1	25,4	99,9	0,1	Estável
2	25,9	100,1	0,2	Estável
3	26,2	100,2	0,1	Estável
4	27,1	100,2	0	Estável
5	27,8	100,1	0,1	Estável
6	28,4	100,3	0,2	Estável
7	28,8	100,1	0,2	Estável
8	29,7	100,2	0,1	Estável
9	30,5	100,1	0,1	Estável
10	31,7	100,3	0,2	Estável
11	33	100,3	0	Estável
12	33,5	100,1	0,2	Estável
13	33,7	100,2	0,1	Estável
14	34,2	99,8	0,4	Estável
15	34,6	100,1	0,3	Estável
16	34,9	100,3	0,2	Estável
17	35,6	100,3	0	Estável
18	36,1	100	0,3	Estável
19	36,6	100,1	0,1	Estável
20	36,9	100,2	0,1	Estável
25	38,1	100,3	0,1	Estável
30	38,5	100,2	0,1	Estável
35	38,8	100,3	0,1	Estável
40	38,8	100,1	0,2	Estável
50	38,8	100,2	0,1	Estável
60	38,8	100,3	0,1	Estável

Os valores de todas as medidas de velocidade de funcionamento do motor, nos experimentos 1 e 2, se mantiveram estáveis, com uma variação mínima aceitável para a aplicação do equipamento construído. Isto nos permite afirmar que a estrutura de excitação do motor e as especificações do motor estão dentro dos

limites estabelecidos pela norma técnica, de forma a garantir a velocidade de funcionamento desejada.

Nessa Tabela 4, também se observa, que existe uma pequena variação do valor da rotação estipulada e a determinada experimentalmente ao longo de 1 hora de medição. Essa variação é de no máximo 0,2 pontos, portanto considerável estável.

Tabela 4: Dados de funcionamento do motor. Experimento 2. Temperatura ambiente 25°C. Velocidade 500 RPM.

Tempo (min)	Temp. (°C)	Velocidade (RPM)	Variação ΔV	Funcionamento
0	25	500	0	Estável
1	25,2	499,9	0,1	Estável
2	25,3	500,1	0,2	Estável
3	25,5	500,2	0,1	Estável
4	25,8	500,1	0,1	Estável
5	26,1	499,9	0,2	Estável
6	26,3	499,9	0	Estável
7	26,6	500	0,1	Estável
8	27	500,1	0,1	Estável
9	27,3	500,2	0,1	Estável
10	27,8	500,1	0,1	Estável
15	31,3	500,3	0,2	Estável
20	35,6	500,1	0,2	Estável
25	36,5	500,2	0,1	Estável
30	37,6	500,1	0,1	Estável
35	37,6	500,3	0,2	Estável
40	37,7	500,2	0,1	Estável
45	37,8	500,4	0,2	Estável

Na Tabela 5 para o tempo de operação do motor de 60 minutos e velocidade de rotação 2000 rpm, foi aferido e a variação da rotação para essa faixa de velocidade alta que foi de no máximo 2 rpm, considerado um comportamento estável. Observa-se nessa tabela que a temperatura do motor passa a ficar estável depois de 50 minutos de operação e a temperatura é de 34,1°C. Observa-se que esta temperatura de estabilização é inferior ao encontrado para as rotações do

motor de 100 e 500 rpm, isto se deve a melhor eficiência da ventilação de resfriamento do motor.

Tabela 5: Dados de funcionamento do motor. Experimento 3. Temperatura ambiente 25°C Velocidade 2000 RPM.

Tempo (min)	Temp. (°C)	Velocidade (RPM)	Variação (ΔV)	Funcionamento
0	25	2000	0	Estável
5	27,1	2001	1	Estável
10	28,9	2000	1	Estável
15	31,3	2002	2	Estável
20	32	2000	2	Estável
25	32,2	2001	1	Estável
30	32,1	2001	0	Estável
35	32,5	2000	1	Estável
40	33,6	1999	1	Estável
45	33,8	2000	0	Estável
50	34,1	2000	0	Estável
55	34,1	2001	1	Estável
60	34.1	2001	0	Estável

Os valores que se encontram nas Tabelas 2, 3 e 4 foram plotados relacionando a temperatura do motor em função do tempo de operação e encontram-se na Figura 33.

Analisando esse gráfico, conclui-se que o equipamento, funcionando em um ambiente com temperatura controlada em 25°C, com 60 minutos de funcionamento contínuo, após atingir a estabilidade, permanece no valor final sem superar o valor máximo de temperatura aceitável para o motor, que é de 80 °C, o que é obtido nos seus dados de placa que são normatizados pela NBR 7094.

Na representação gráfica da Figura 32 há um dado a ser observado com respeito o experimento 3, com respeito aos demais, desde a partida do motor até o tempo de 15 minutos, a temperatura do motor está mais alta que no intervalo quando acionado e operando na velocidade de 500 RPM, isso se deve ao fato de que as correntes de polarização e a tensão aplicada nas bobinas do motor tem maior intensidade e promovem uma maior dissipação, porém quando se aproxima do equilíbrio proporcionado pela ventilação o valor se estabiliza em um patamar 34,1°C com uma diferença de 3,7°C.

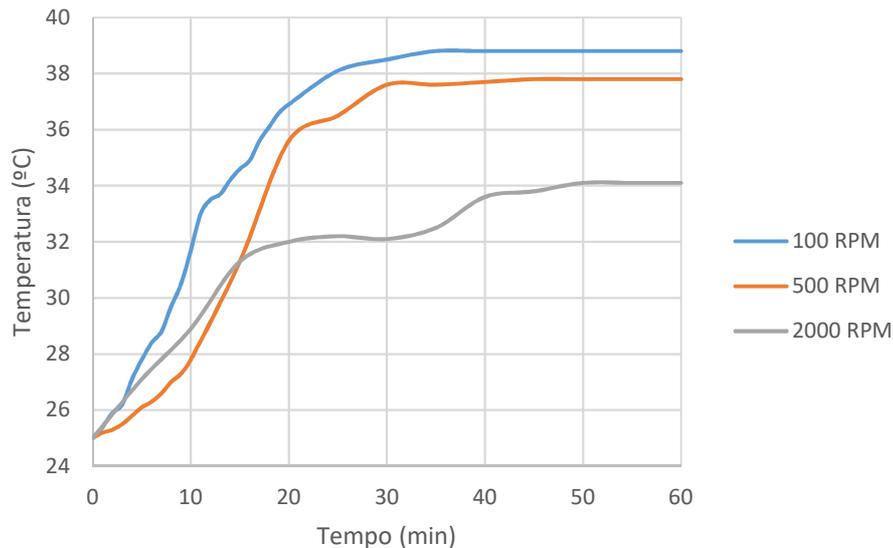


Figura 33. Gráfico da temperatura em função do tempo de operação.

Fonte: Autoraia Própria

4.3. VALIDAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DO EQUIPAMENTO SIMULADOR DE DANOS MECÂNICOS

A etapa de validação do desenvolvimento foi realizada pela colocação em funcionamento da UBS-PF, executando uma rotina de testes que inicialmente consistiu da verificação da precisão do ajuste de velocidade e tempo, e posteriormente a execução dos testes de conformidade de funcionamento do motor com respeito ao valor da temperatura em regime permanente. Em seguida foram realizados testes de funcionamento baseados nos tempos de passagem das sementes pela UBS, em suas diversas etapas, e feita a sintonia entre os tempos de danos obtidos nas etapas da UBS, com os tempos de danos obtidos na UBS-PF de modo a encontrar o tempo padrão de cada etapa de processamento no simulador.

4.3.1. DETERMINAÇÃO DAS RPM DAS MÁQUINAS DA UBS E DA MÁQUINA SIMULADORA

As determinações das velocidades de operação e a rotação por minuto (rpm) das máquinas nas etapas do processo de funcionamento da UBS, serviram para simular as velocidades e as rpm da máquina desenvolvida e utilizada no presente trabalho.

Na Tabela 6 se encontram os dados utilizados na máquina que simula a Unidade de Beneficiamento de Sementes (Simulador UBS-PF) correspondente a cada etapa.

Tabela 6: Tempo de passagem das sementes pelo equipamento simulador correspondente a cada etapa do beneficiamento em uma UBS*do processo real.

Pontos simulados de amostragem (Etapas)	Tempo de passagem (s)	r.p.m.		Desvios
		UBS	Simulador	
1-Material inicial	0	-	-	-
2-Recepção	3	170	170,2	0,2
3-Antes da pré-limpeza	6	490	490,1	0,1
4-Pós-prelimpeza	9	440	440,1	0,1
5-Antes da secagem	11	150	150,2	0,1
6-Pós-secagem	23	150	150,2	0,2
7-Antes da limpeza	27	150	150,2	0,2
8-Pós-limpeza	16	480	480,1	0,1
9-Antes da seleção	23	150	150,2	0,2
10-Pós-seleção	90	120	120,2	0,2
11-Antes do tratamento fúngico	12	170	170,2	0,2
12-Pós-tratamento Fúngico	17	130	130,2	0,2

*Dados obtidos para cada etapa realizada na UBS

4.3.2. TESTE DE GERMINAÇÃO E VIGOR

Na Tabela 7 e 8 encontram-se os resultados respectivos às alterações da germinação e do vigor das sementes de feijão carioca decorrente dos impactos sofridos pelas sementes em função do tempo de duração desses impactos em cada etapa do processo de beneficiamento. Os dados que constam nessas tabelas são relativos as etapas do beneficiamento em uma UBS e no equipamento Simulator UBS-PF conjuntamente com os efeitos das temperaturas do processo de secagem.

Observa-se que nas etapas iniciais, ou seja, até antes da secagem, as sementes de feijão sofrem os mesmos danos mecânicos, só após a secagem existem alterações que são decorrentes deste fator e dos danos mecânicos onde se pode observar que a perda de qualidade fisiológica das sementes de feijão decorre devido aos dois fatores podendo-se dizer que eles estão associados.

Tabela 7: Valores médios do percentual de germinação da semente de feijão carioca durante o processo de beneficiamento na UBS e no simulador, levando-se em consideração a secagem feita com diferentes temperaturas (25, 35 e 45°C).

Pontos de amostragem (Etapas da UBS)	UBS		Simulador	
1-Material inicial	97		98,2	
2-Recepção	94,75		96,55	
3-Antes da pré-limpeza	94,5		96,3	
4-Pós-prelimpeza	94		95,3	
5-Antes da secagem	93,75		94,65	

Secagem	Temperaturas					
	25 °C		35 °C		45 °C	
	UBS	Simulador	UBS	Simulador	UBS	Simulador
6-Pós-secagem	91	93,1	90	92,3	88	86,5
7-Antes da limpeza	89,5	91,4	89,3	90,45	87,5	86
8-Pós-limpeza	89,3	90,35	88,5	89,7	87,3	85,55
9-Antes da seleção	88	89,2	87,5	89,1	86	84,6
10-Pós-seleção	87,3	88,25	86,8	87,85	85,3	83,75
11-Antes do trat. fúngico	86,8	87,55	86	86,8	83,5	82,3
12-Pós-trat. fúngico	86	86,5	85,3	85,85	82,5	81,4

Na Tabela 8 estão os valores dos desvios entre os valores obtidos e os simulados pelo equipamento para a germinação e o vigor das sementes de feijão mulatinho.

Verifica-se na Tabela 8 que os desvios dos pontos percentuais de germinação causados pelos impactos mecânicos durante o beneficiamento das sementes de feijão carioca na UBS e as obtidas pelo simulador UBS-PF, variaram de 0,9 a 1,2 pontos percentuais positivamente para as etapas anteriores a secagem. A variação do vigor neste período foi de 1 a 1,8 pontos percentuais. Depois do período de secagem são constatadas diferenças maiores que variaram entre 2,1 a -2,5 pontos percentuais para a germinação das sementes de feijão e de 2,3 a -2,5 para o vigor dessas sementes. Foi observado também que os valores dessas diferenças caem nas etapas sequenciais do beneficiamento. Esta ocorrência pode estar associada ao fato das sementes serem produtos termosensíveis e, portanto, também sofrem alterações na sua qualidade fisiológica durante a secagem (Cavalcanti Mata et al. 2006). Desta forma, pode-se destacar que a perda de germinação e vigor das sementes de feijão não está somente correlacionada aos

impactos mecânicos, mas aos fatores associados de secagem e impactos mecânicos, que não podem ser detectados pelo simulador, sem que seja feita uma melhor investigação de modo a compensar a perda de germinação e vigor decorrente da secagem.

Tabela 8: Valores médios do percentual de vigor da semente de feijão carioca durante o processo de beneficiamento na UBS e no simulador, levando-se em consideração a secagem feita com diferentes temperaturas (25, 35 e 45°C).

Pontos de amostragem (Etapas da UBS)	UBS	Simulador
1-Material inicial	95,75	96,75
2-Recepção	94,25	96,05
3-Antes da pré-limpeza	92	93,7
4-Pós-prelimpeza	90	91,1
5-Antes da secagem	88,75	89,95

	Temperaturas						
	Secagem	25 °C		35 °C		45 °C	
		UBS	Sim.	UBS	Sim.	UBS	Sim.
6-Pós-secagem	86,75	89,05	84,75	87,05	82	79,5	
7-Antes da limpeza	85,5	87,2	83	84,6	80,75	79,25	
8-Pós-limpeza	83	84,1	80,75	81,95	78	76,4	
9-Antes da seleção	81,75	82,85	79,5	80,8	77	75,6	
10-Pós-seleção	80,25	81,25	78	79,2	74,5	72,9	
11-Antes do trat. fúngico	79	80	76,5	77,6	71,25	69,85	
12-Pós-trat. fúngico	77,25	78,15	75	75,9	69,25	68,15	

O valor positivo das diferenças entre os danos causados pelo beneficiamento das sementes na UBS e pelo simulador de danos implica em dizer que o simulador não atinge os valores reais dos danos mecânicos que ocorre nas sementes durante o seu beneficiamento dentro da UBS, por outro lado o valor negativo implica no contrário, ou seja, o simulador superestima os valores reais dos danos causados pelo impactos mecânicos na UBS. Observa-se na Tabela 6 que os valores positivos, durante a secagem e após a secagem, encontram-se nas sementes de feijão secas as temperaturas de 25 e 35°C e os valores negativos nas

sementes secas a 45°C. Assim, decorrente dessas análises pode-se sugerir que o simulador pode ser ajustado para realizar essas correções ou fazer um procedimento de calibração do equipamento para que os resultados sejam aperfeiçoados. Esse procedimento eleva o nível de precisão do equipamento, contudo esse trabalho deve ser realizado para cada produto.

Tabela 9: Diferenças entre os valores obtidos na UBS e no simulador de danos para a germinação e o vigor das sementes de feijão mulatinho, levando-se em consideração a etapa de secagem feita com diferentes temperaturas (25, 35 e 45°C)

Pontos simulados de amostragem (Etapas)	Germinação			Vigor		
	1-Material inicial	1,2			1	
2-Recepção	1,8			1,8		
3-Antes da pré-limpeza	1,8			1,7		
4-Pós-prelimpeza	1,3			1,1		
5-Antes da secagem	0,9			1,2		
Secagem	Temperatura					
	25 °C	35 °C	45 °C	25 °C	35 °C	45 °C
	Germinação			Vigor		
6-Pós-secagem	2,1	2,3	-2,5	2,3	2,3	-2,5
7-Antes da limpeza	1,9	1,2	-1,5	1,7	1,6	-1,5
8-Pós-limpeza	1,1	1,2	-1,7	1,1	1,2	-1,6
9-Antes da seleção	1,2	1,6	-1,4	1,1	1,3	-1,4
10-Pós-seleção	1	1,1	-1,5	1	1,2	-1,6
11-Antes do trat. fúngico	0,8	0,8	-1,2	1	1,1	-1,4
12-Pós-trat. fúngico	0,5	0,6	-1,1	0,9	0,9	-1,1

Nas Figuras 34 e 35 encontram-se as representações gráficas da perda de germinação e vigor, respectivamente decorrente dos danos causados pelos impactos mecânicos sofridos pelas sementes de feijão carioca em uma UBS. Nesta visualização fica caracterizado que até a etapa 5 do beneficiamento do feijão existe uma perda linear da germinação e do vigor onde estão envolvidos processos puramente de ação mecânica a qual é responsabilizada pela diminuição da germinação e do vigor. Observa-se que até esta etapa do processo as sementes de feijão perdem 3,25 pontos percentuais de germinação e 7,0 pontos percentuais de vigor. Isto indica que se deve repensar a unidade de beneficiamento de sementes para que estas perdas provocadas pelos impactos mecânicos sejam minimizadas. Na sequência se dá a secagem do produto, onde já foi discutida a existência da

associação da perda da qualidade fisiológica das sementes de feijão com a influência da temperatura de secagem devido a sementes ser um produto termosensível e a perda por impactos mecânicos.

Da etapa 6 até a etapa 12, que é a etapa posterior as secagens das sementes verificam-se que estas tiveram influência da temperatura de secagem, exceção se faz ao vigor das sementes para sementes de feijão secas a 25°C onde a perda do vigor pode ser expressa por uma equação linear descendente em função das etapas do beneficiamento.

Nas Figuras 34 e 35 percebe-se que a diminuição da germinação em função das etapas de beneficiamento e das temperaturas de secagem que podem ser expressas por equações de primeira ordem, onde seus coeficientes de determinação (R^2) estão acima de 94% indicando que elas podem ser utilizadas para representar o comportamento da germinação e do vigor das sementes de feijão carioca das etapas 6 até a 12 do beneficiamento dessas sementes em uma UBS.

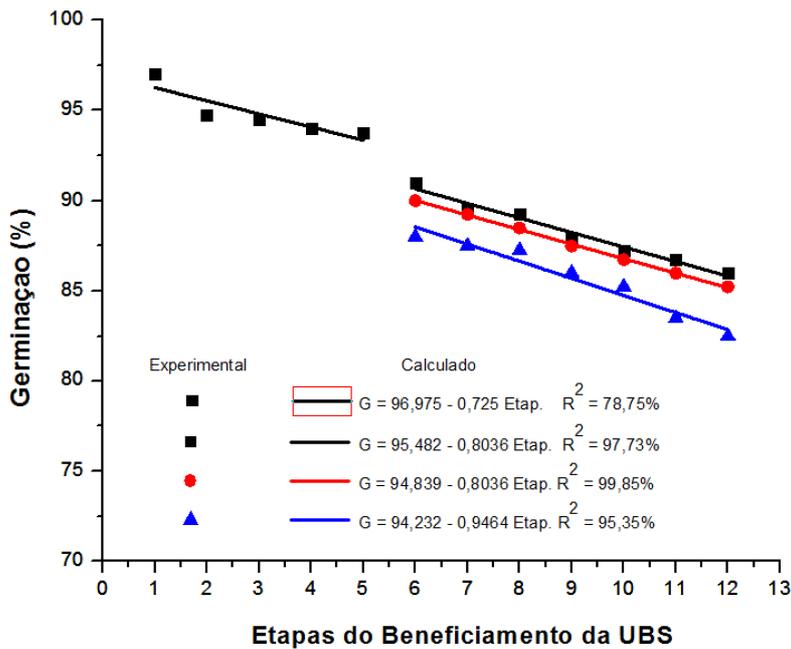


Figura 34. Representação gráfica da porcentagem de germinação das sementes de feijão carioca em cada etapa do beneficiamento, considerando-se a secagem feita nas temperaturas de 25, 35 e 45°C.

Fonte: autoria própria.

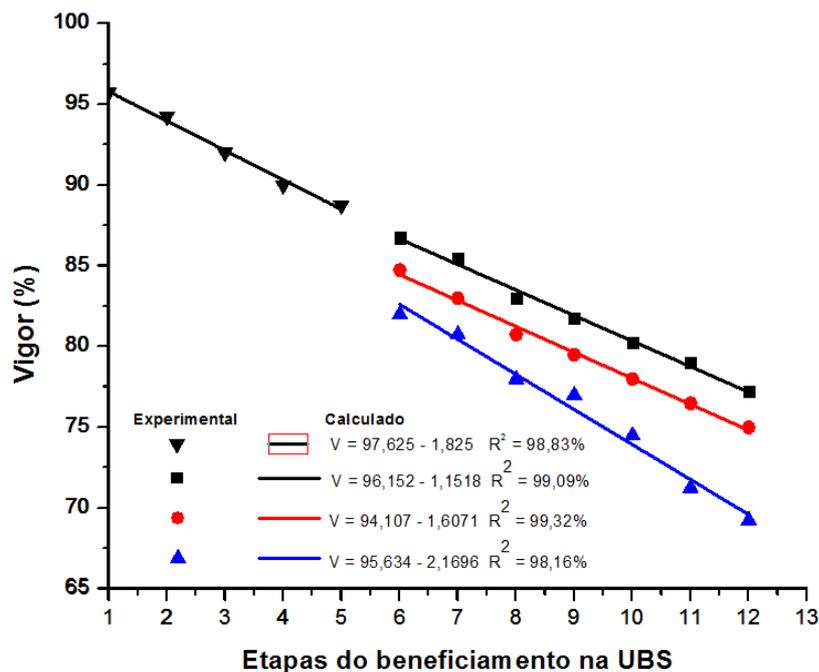


Figura 35. Representação gráfica da porcentagem de vigor das sementes de feijão carioca em cada etapa do beneficiamento, considerando-se a secagem feita nas temperaturas de 25, 35 e 45°C.

Fonte: autoria própria.

Em suma as perdas do percentual de germinação e vigor das sementes de feijão carioca em cada etapa do beneficiamento se ressentem da incidência dos impactos que resulta na redução de sua viabilidade para cada etapa do beneficiamento, indicando que os danos sofridos pelas sementes são acumulativos. Este fato também foi relatado por ZINK et al., (1966) quando comparou sementes de amendoim beneficiadas mecanicamente com sementes beneficiadas manualmente, concluindo que as maiores perdas de viabilidade das sementes de amendoim ocorrem quando elas são beneficiadas mecanicamente.

Na Tabela 6 e 7 conjugada com as Figuras 34 e 35 verifica-se que existe uma redução média da qualidade fisiológica das sementes de feijão, da 6ª etapa até a 12ª etapa, de 5 pontos percentuais para a germinação e de 9,5 pontos percentuais para o vigor, isso quando as sementes de feijão foram secas a temperatura de 25°C. Quando as sementes de feijão foram secas a uma temperatura de 35°C e foram na sequencia beneficiada, elas sofreram uma perda de germinação 4,75 pontos percentuais e de 9,75 pontos percentuais para o vigor, e quando secas a

temperatura de 45 °C essa perda de qualidade fisiológica foi de, respectivamente 5,5 pontos percentuais para germinação e de 12,75 para o vigor.

Portanto, fica clara a ação da temperatura na redução da qualidade fisiológica das sementes de feijão carioca indicando que, à medida que se eleva a temperatura de secagem de 25 para 45°C, aumenta a perda de germinação e vigor. Resultados semelhantes foram encontrados por (QUEIROZ 2011) e (LOPES 2011), respectivamente para milho e feijão, que afirmaram existir uma diminuição da qualidade fisiológica das sementes em função da elevação da temperatura de secagem.

Embora os resultados possam ser animadores, pois o simulador está respondendo com no máximo 2,5 pontos percentuais de defasagem ora subestimando os resultados reais, ora superestimando-os, esses dados podem ainda ser melhorados se introduzido no sistema curvas de calibração do aparelho. Nas Figuras 36 a Figura 39 contém as curvas de calibração do simulador para os dados de germinação e da Figura 40 a Figura 43 encontram-se os dados de vigor.

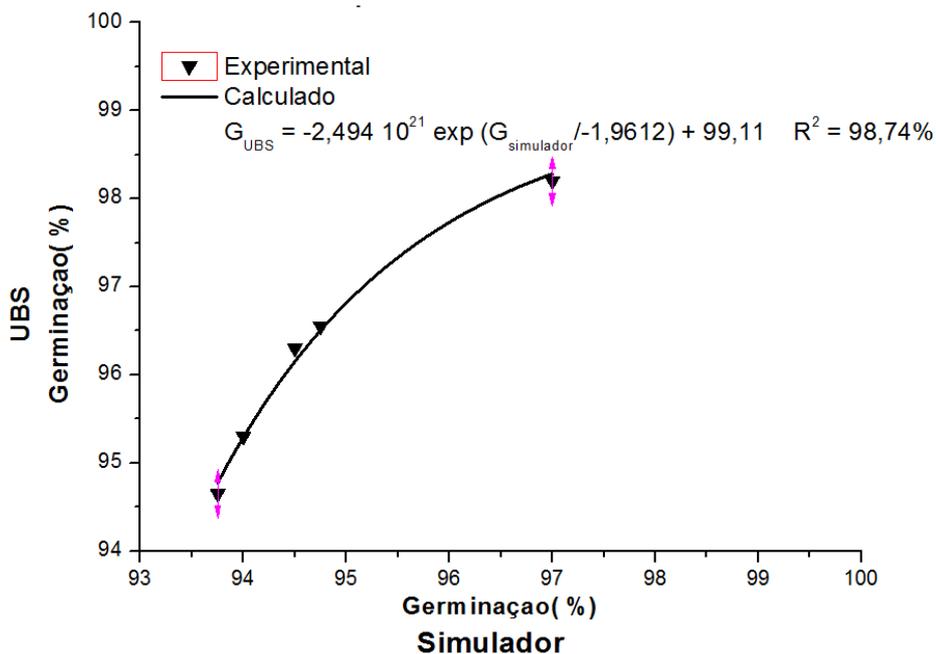


Figura 36 Curva de calibração do aparelho simulador de danos mecânicos em sementes, para a germinação das sementes de feijão carioca: Etapas de 1 a 5.

Fonte: autoria própria.

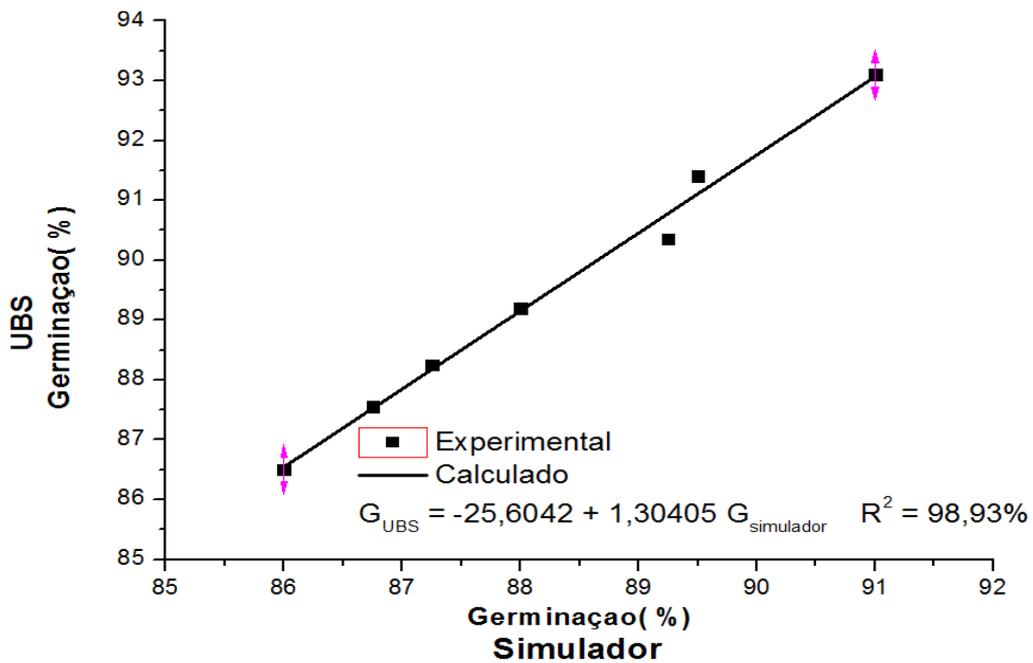


Figura 37. Curva de calibração do aparelho simulador de danos mecânicos em sementes, para a germinação das sementes de feijão carioca: Etapas de 6 a 12 com secagem a temperatura de 25°C.

Fonte: autoria própria.

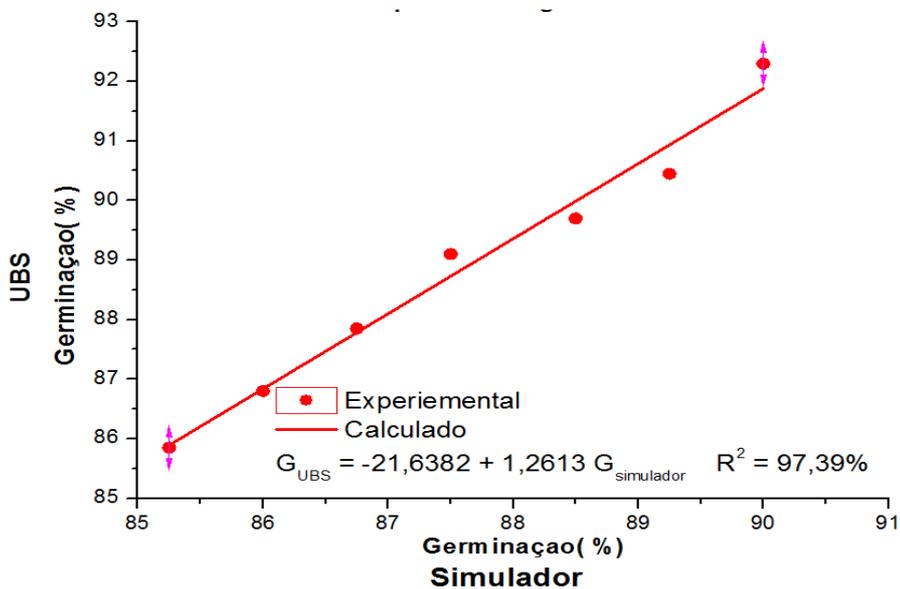


Figura 38. Curva de calibração do aparelho simulador de danos mecânicos em sementes, para a germinação das sementes de feijão carioca: Etapas de 6 a 12 com secagem a temperatura de 35°C

Fonte: autoria própria

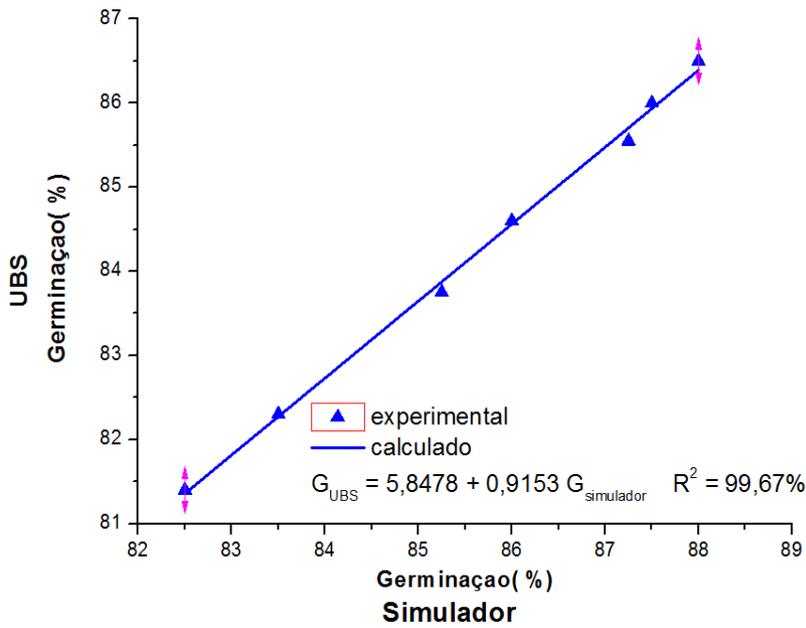


Figura 39. Curva de calibração do aparelho simulador de danos mecânicos em sementes, para a germinação das sementes de feijão carioca: Etapas de 6 a 12 com secagem a temperatura de 45°C

Fonte: autoria própria.

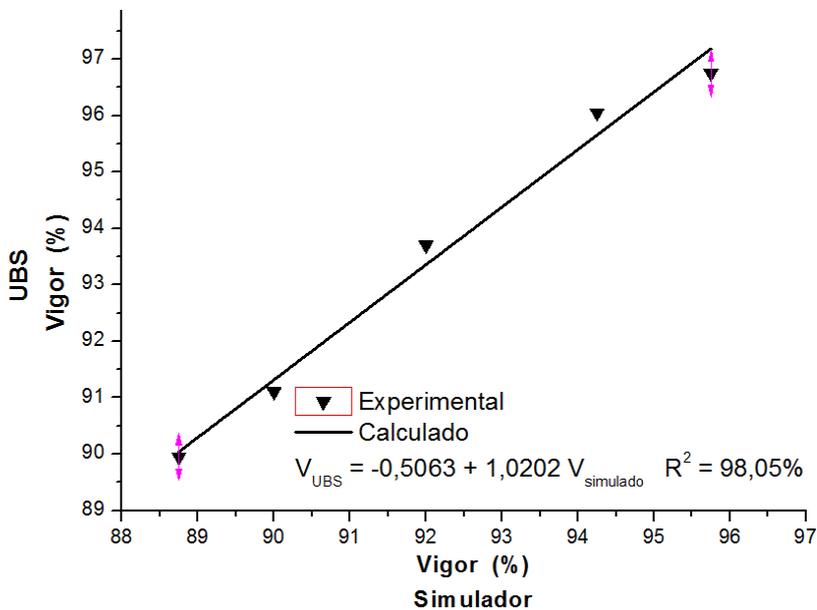


Figura 40. Curva de calibração do aparelho simulador de danos mecânicos em sementes, para o vigor das sementes de feijão carioca: Etapas de 1 a 5.

Fonte: autoria própria.

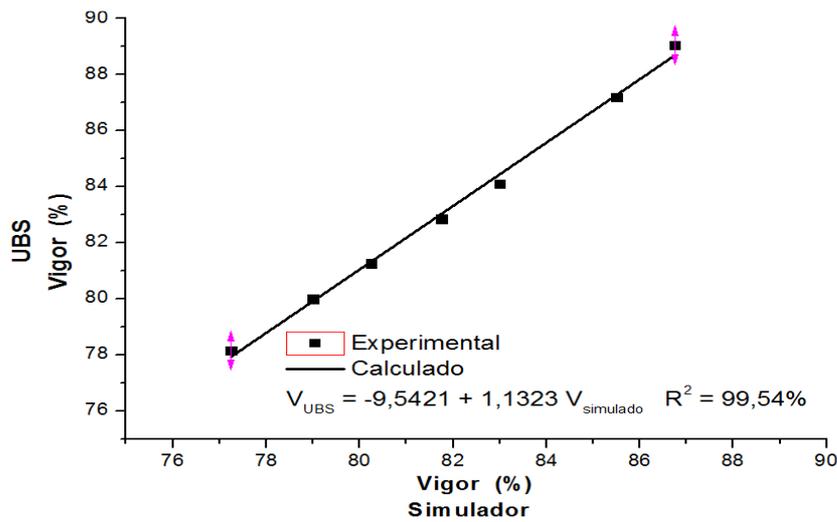


Figura 41. Curva de calibração do aparelho simulador de danos mecânicos em sementes, para o vigor das sementes de feijão carioca: Etapas de 6 a 12 com secagem a temperatura de 25 °C

Fonte: autoria própria.

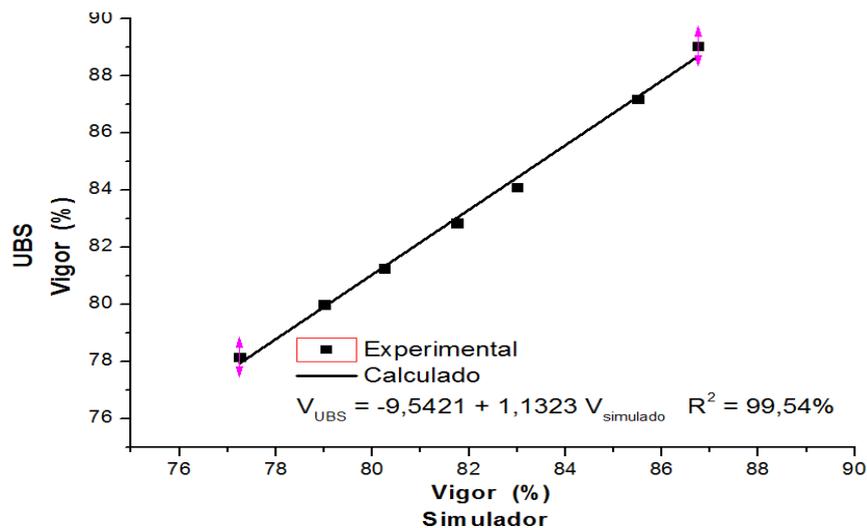


Figura 42. Curva de calibração do aparelho simulador de danos mecânicos em sementes, para o vigor das sementes de feijão carioca: Etapas de 6 a 12 com secagem a temperatura de 35 °C

Fonte: autoria própria.

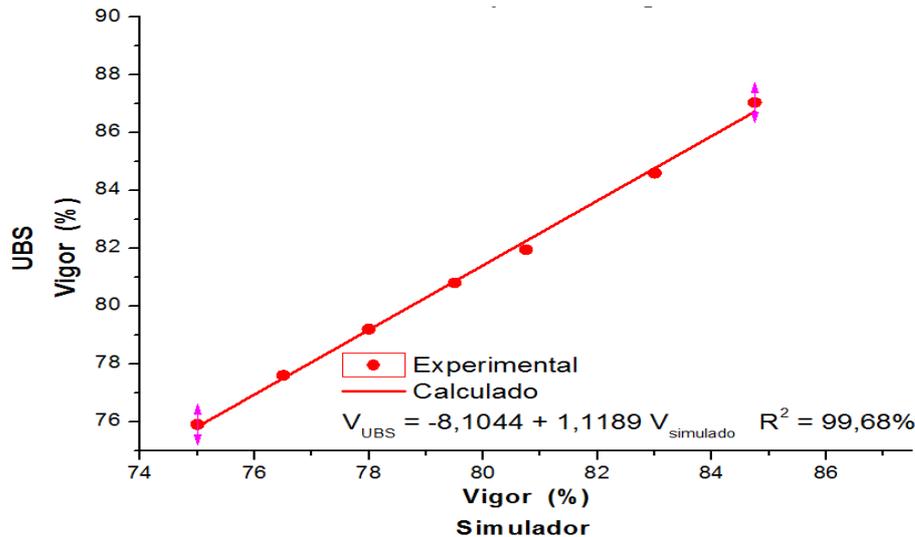


Figura 43. Curva de calibração do aparelho simulador de danos mecânicos em sementes, para o vigor das sementes de feijão carioca: Etapas de 6 a 12 com secagem a temperatura de 45°C

Fonte: autoria própria.

Com este procedimento os dados do equipamento simulam, com uma boa precisão, os impactos mecânicos que ocorrem nas sementes quando processadas em uma UBS.

4.3.3. TESTE DE DANOS MECANICOS

Na Tabela 10 encontram-se os danos mecânicos ocorridos em cada etapa do processo de beneficiamento das sementes, onde pode se constatar que os danos são cumulativos e se iniciam sem a evidência de dano, no entanto no final do processo existe um dano mecânico de 5%. Como pode ser visto nessa mesma tabela o equipamento simula com uma boa precisão, os danos mecânicos que ocorrem nas sementes quando processadas em uma UBS, contudo ao se comparar os danos experimentais com os dados simulados observa-se que as sementes depois de passar pelo processo de pré-limpeza e depois de passar pelo processo de seleção por máquina de gravidade, os dados experimentais e os dados simulados diferem entre si em nível de 5% pelo teste de F.

Como pode ser observado, ainda na Tabela 10, os danos mecânicos não ocorrem durante a secagem, pois durante este processo não existe movimentação das das sementes. De acordo com as condições climáticas do sistema de produção a secagem pode ser feita no campo desde que ela não comprometa a qualidade

fisiológica das sementes, mas se as condições climáticas não forem favoráveis a secagem artificial é inevitável e como as sementes são organismos termosensíveis elas podem ser danificadas por stress térmico provocando fissuras no interior das sementes, ocasionando uma diminuição de sua qualidade fisiológica.

Tabela 10. Danos mecânicos em função do tempo de passagem das sementes pelo equipamento simulador correspondente a cada etapa do beneficiamento em uma UBS*do processo real.

Pontos de amostragem (Etapas)	Tempo de passagem (s)	Danos Mecânicos Equipamento (%)	Danos Mecânicos Simulado (%)	Desvios
1-Material inicial	0	0	0,0	0,0
2-Recepção	3	1,0 a	1,0 a	0,0
3-Antes da pré-limpeza	6	1,5 a	1,4 a	0,1
4-Pós-prelimpeza	9	2,0 a	1,8 a	0,2
5-Antes da secagem	11	2,1 a	1,9 a	0,2
6-Secagem	variável	-	-	-
7-Pós-secagem	23	2,2 a	2,0 a	0,2
8-Antes da limpeza	27	2,3 a	2,2 a	0,1
9-Pós-limpeza	16	3,5 a	3,0 b	0,5
7-Antes da seleção	23	3,7 a	3,5 a	0,2
10-Pós-seleção	90	4,5 a	4,2 b	0,3
11-Antes do tratamentc fúngico	12	5,0 a	4,9 a	0,1
12-Pós-tratamento Fúngico	17	5,5 a	5,6 a	0,1

*Dados obtidos para cada etapa realizada na UB

Os custos listados na Tabela 11 são os valores do investimento na construção do protótipo, não são envolvidas horas de desenvolvimento do protótipo, nem custo com energia e outros insumos de fabricação. Mesmo assim acredita-se que o equipamento pode ser de baixo custo, pois muitas outras utilidades podem ser agregadas a ele com uma simples troca do copo central. Uma questão a respeito dos custos pode ser levantada na perspectiva de que sendo o protótipo funcional, porém com sugestões de modificações para a incorporação de funcionalidades e até uma variação no conceito possa existir, vamos que de um modo geral, que a apuração dos custos pode servir como referência para incentivar outros pesquisadores a adotarem a construção de dispositivos e sistemas físicos utilizando a experiência aqui relatada e poder contribuir para a melhoria contínua dos produtos

com vistas e auxiliar a lacuna existente de produtos didáticos, de fabricação nacional, para o ensino e a pesquisa.

Tabela 10. Demonstrativo de custos de materiais

ITEM	QUANT	DESCRIÇÃO	V. UNIT	V. TOTAL
1	1	Inversor de frequência WEG CFW10	R\$ 400,00	R\$ 400,00
2	1	Motor WEG	R\$ 370,00	R\$ 370,00
3	1	Placa Arduíno	R\$ 120,00	R\$ 120,00
4	1	Teclado de membrana	R\$ 12,00	R\$ 12,00
5	1	Display de LCD	R\$ 28,00	R\$ 28,00
6	1	CI – Potenciômetro Digital – MCP41010	R\$ 17,00	R\$ 17,00
7	1	CI – MC4050	R\$ 5,00	R\$ 5,00
8	1	CI – LM358	R\$ 5,00	R\$ 5,00
9	1	Componentes diversos (Resistores, capacitores, diodos, chaves, terminais, fusíveis)	R\$ 70,00	R\$ 70,00
10	2	Polias	R\$ 15,00	R\$30,00
		Câmara de aço inox	R\$ 90,00	R\$ 90,00
11	1	Usinagem, soldagem, pintura	R\$ 450,00	R\$ 450,00
12	1	Tubo ferro galvanizado 20x20mm	R\$ 82,00	R\$ 82,00
13	3	Rolamentos	R\$ 15,00	R\$ 45,00
14	2	Chapa de ferro 4 mm	R\$ 127,00	R\$ 254,00
15	1	Adesivo Painel	R\$ 120,00	R\$ 120,00
16	1	Placa de circuito impresso	R\$ 150,00	R\$ 150,00
17	1	Diversos (Fios – Terminais – Solda – Parafusos)	R\$ 180,00	R\$ 180,00
VALOR TOTAL DO ORÇAMENTO				R\$ 2.428,00

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos com o equipamento desenvolvido para simular os danos mecânicos que ocorrem em uma Unidade de Beneficamento de Sementes, UBS-PF, com seus efeitos na qualidade fisiológica das sementes de feijão carioca, levando-se ainda em consideração ao processo de simulação a existência de etapas de secagem, nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C, pode-se concluir que:

Para o protótipo

1. Os valores obtidos para temperatura do motor em condições de funcionamento em baixa, média e máxima velocidade permite o acionamento do motor, em regime de funcionamento de baixa velocidade, constatando-se que o equipamento está bem dimensionado para operar em regime de longa duração sem comprometer as características de funcionamento do motor;
2. O equipamento construído opera satisfatoriamente na função do aplicador de golpes em uma massa de sementes com finalidade de simular impactos mecânicos causadores de danos as sementes, nas etapas de processamento em uma UBS.
3. Avaliando a solução dada na construção do equipamento, podemos concluir que o sistema de controle concebido e implementado, é uma solução de controle e operação de motores para aplicações em máquinas agrícolas, que pode ser de grande auxílio em todas as aplicações que necessitem de tração motorizada com velocidade e tempo de operação variável.

Para o processo de Simulação

4. O equipamento simula adequadamente o processo em uma UBS, onde os dados experimentais indicam que a germinação e o vigor das sementes de feijão carioca diminui a medida que aumentam as etapas do processo de beneficiamento das sementes, e o aumento da temperatura de secagem provoca diminuição significativa na germinação e no vigor, de forma mais acentuada nas temperaturas mais elevadas;

5. O equipamento também simula os dados experimtnais onde os danos mecânicos das sementes de feijão são cumulativos e aumentam na proporção que aumentam as passagens dessas sementes pelas maquinas da Unidade de Beneficiamento das Sementes.
6. O equipamento pode oferecer melhores resultados se adotadas curvas de calibração.

5.1. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

O equipamento pode ser aperfeiçoado com base nos resultados obtidos e com a validação da interface básica inicialmente construída, podendo-se adicionar os seguintes sistemas:

1. Pode-se projetar uma nova estrutura física com uma entrada alimentadora e uma saída de descarga de sementes integradas, sem que para isso tenha que ser retirada a tampa mancal;
2. Introduzir no projeto da interface um circuito de monitoramento da velocidade em tempo real.
3. Dotar o equipamento de um sistema de aquisição de dados computadorizado no qual seja possível a medida da intensidade dos impactos mecânicos enquanto o processamento está acontecendo e realimentar esse sinal ao sistema de controle visando limitar ou amplificar a intensidade dos impactos, dentro de uma faixa desejável segundo uma curva de calibração.
4. Dotar a placa de controle construída de opções de medição e controle de temperatura para prover o insuflamento de ar na estrutura, submetendo a massa de grãos em teste a um fluxo de ar com temperatura controlada, o que daria uma aplicação a mais ao equipamento em uma bancada de ensaio de sementes. E poderia ser utilizado para estudar o dano durante secagem com ar aquecido ou refrigerado.
5. Projetar uma interface para o equipamento tal que ele possa ser controlado via PC em comunicação com a unidade de controle existente, este tipo de estrutura se torna mais flexível do ponto de

vista da inclusão ou modificação dos recursos e pode ser integrado a um sistema de registro dos dados obtidos durante os ensaios.

6. Desenvolver um software para registro e análise dos dados obtidos que seja dotado da capacidade de fazer todas as compensações relativas as curvas de calibração do aparelho.

6. FERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHÃO, J. T. M. **Contribuição ao estudo de efeitos de danificações mecânicas em sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*)**. 1971. 112f. Tese (Doutorado em Agronomia) ESALO. Piracicaba.

ABRASEM-Associação Brasileira de Sementes e Mudas, **ANUARIO 2015**. Disponível em: <http://www.abrasem.com.br/>

ALMEIDA, F. A. C.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. **Tecnologia de armazenamento em sementes**. DEAg: Universidade Federal de Campina Grande, 2006, 402p

ALBANEZE, RODRIGO. **Danos mecânicos em sementes de soja causado pelo uso de graneleiro no transporte durante a colheita**/Rodrigo Albaneze; /Francisco Amaral Villela, orientador. – Pelotas, 2014. 32 f.

ALMEIDA, F.A.C; FIGUEIREDO-NETO, A.; COSTA, R.F. da; GOUVEIA, J.P.G. de; OLIVEIRA, M.E.C. Danos mecânicos em sementes de feijão Vigna, causados pelas operações na unidade de beneficiamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.2/3, p.254-259, 2004

ALMEIDA, F. A. C.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. **Tecnologia de armazenamento em sementes**. DEAg: Universidade Federal de Campina Grande, 2006, 402p

ANDRADE, E.T; CORRÊA, P.C.; MARTINS, J.H.; ALVARENGA, E.M.; Avaliação do dano mecânico em sementes de feijão por meio de condutividade elétrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.3, n.1, p.54-60, 1999.

BAALBAKI, R.; ELIAS, S.; MARCOS FILHO, J.; McDONALD, M.B. **Seed vigor testing Handbook**, Association of Official Seed Analysts, (Contribution, 32 to the Handbook on Seed Testing), 2009. 346 p.

BANKS, J. **Handbook of Simulation**. [s.d] Wiley-Interscience Publication. 1998.

BARBOSA, R.M.; VIEIRA, B.G.T.L.; MARTINS, C.C.; VIEIRA, R.D. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de amendoim durante o processo de produção. **Pesquisas agropecuária brasileira**, Brasília, v.49, n.12, p.977-985, dez. 2014 DOI: 10.1590/S0100-204X2014001200008

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 183, 20 set. 2013b. Seção 1, p. 6-27

BERRY, N.K.; FIELKE, J.M.; Saunders, C.; Determination of impact energy to devitalize annual ryegrass (*Lolium rigidum*) seed from one impact using double and single sided impacts. **Biosystem Engineering**. Australia p.138-146. Jan., 2014.

BERTOLIN, D. C.; SÁ, M. E.; MOREIRA, E.R.; Parâmetros do teste de envelhecimento acelerado para determinação do vigor de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v.33, n.1 p104-112, 2011.

BRAGAGNOLO, Cassiano; BARROS, Geraldo Sant'Ana de Camargo. Impactos Dinâmicos dos Fatores de Produção e da Produtividade sobre a Função de Produção Agrícola. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília, v. 53, n. 1, p. 31-50, Março, 2015.

BRANDÃO-JUNIOR, D. S.; DINIZ, A. R.; CARVALHO, M. L. M.; VIEIRA, M. G. G. C.; OLIVEIRA, M. S.; OLIVEIRA, J. A. Avaliação de danos mecânicos e seus efeitos na qualidade fisiológica de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 21, n. 2, p.53-58, 1999.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Determinações adicionais – peso de mil sementes. In: **Regras para análise de sementes**, Brasília: SNAD/DNDV/CLAV, cap. 8, p.194-195, 2009.

CANTARELLI, L.D.; SCHUCH, L.O B.; TAVARES, L C.; RUFINO, C.A. Variabilidade de plantas de soja originadas de sementes de diferentes níveis de qualidade fisiológica. **Acta Agronômica, Palmira-Colômbia**, v. 64, n.3, p. 234-238, 2015.

CARNEIRO, H. S.; Comida e Sociedade: Significados Sociais na História da Alimentação. **História: Questões & Debates**, Curitiba, n.42, p 71-80, 2005. Editora UFPR

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, tecnologia e produção**, 4, ed, Jaboticabal: FUNEP. 2000, 588 p.

CARVARVALHO, J.J.; SAAD, J.C.C.; BASTOS, A.V.S.; NEVES, S.S.; SOARES, F.A.L.; VIDAL, V.M. Teor e acúmulo de Feijão comum em Semeadura Direta, sob Déficit Hídrico, Botucatú: **Irriga Botucatú**, Edição Especial 01, p 104-117, 2014.

Referências Bibliográficas

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. Efeitos da secagem em altas temperaturas por curtos períodos de tempo, em camada estacionária, sobre a armazenabilidade de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), variedade “carioca”: Avaliação experimental, modelagem e simulação. 1996. 229 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – UNICAMP – São Paulo.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M. Porosidade Intergranular de Produtos Agrícolas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p.79-93, 2002

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; ALMEIDA, F. A. C.; DUARTE, M. E. M. Secagem de Sementes, In: ALMEIDA, F. A. C.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. (Eds) **Tecnologia de Armazenamento em Sementes**, Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2006 p. 273-362.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento: **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo segundo levantamento**, setembro 2011, Brasília: Conab. 2011. Disponível em:<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_06_11_09_00_38_boletim_junho-2015.pdf>, acesso em: 21 agosto, 2015.

CONAB – Superintendência Regional da Paraíba – **Conjuntura Agropecuária do Feijão** - Elaboração: CONAB – Superintendência Regional da Paraíba - Carlos Renato Bastos Meira / Matheus Rodrigues Alves Sousa Supervisão Setorial: Tiane Franco Barros Mangueira Farias pb.sureg@conab.gov.br – 2015.

COPELAND, L.D. **Principles of seed science and technology**, Michigan, Michigan State University, 1976. p. 69-71.

CUNHA, F. L. DA. **Sementes da paixão e as políticas públicas de distribuição de sementes na Paraíba / Flavia Londres da Cunha, 2013. 184 f.** Orientador: John Wilkinson. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Florestas. Bibliografia: f. 174-184.

FAO. “**Crop prospects and food situation world**” n. 2, July 2013 – Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em: 23/11/2016.

Dickey, D. S., “**Mixing Equipment,**” **Food Mixing, Principles and Applications**, pp. 73-89, P. J. Cullen, Ed., Wiley-Blackwell, Ames, Iowa, 2009

FAO. “**/the State of Good and Agriculture 2014: Innovation in family farming**”, FAO, Rome, Disponível em: www.fao.org/2/a-i4040e.pdf. Acesso em: 12/12/2016.

FACCION, C. E. Qualidade de sementes de feijão durante o beneficiamento e armazenamento / Cláudio Egon Faccion. – Lavras: UFLA, 2011. 49P.: il.

FARIA, I. B. **Seleção de um redutor de engrenagens para um agitador e planeamento das ações de manutenção**, 2009, 50f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa – Monte de Caparica, Portugal.

FERNADES, C.A.; SILVA, L.C.; PEREIRA, J. O.; YAMAGUCHI, M.M. Simulação da Dinâmica Operacional de uma Linha Industrial de abate de suínos, **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 26(1): 166-170, jan. / mar. 2006.

FARIAS, Paulo de Almeida. **Firmware para Simulador de Danos Mecânicos em Sementes Repositório Github**; GitHub 2017. Disponível em: <<https://github.com/pauloafarias/sdms-firmware>>

FERREIRA, R. L. **Etapas do beneficiamento na qualidade física e fisiológica de sementes de milho**, 2010, 50f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de Engenharia – UNESP – Campus de Ilha Solteira, São Paulo.

FERREIRA, A. L. B. Desempenho de secador contínuo intermitente, 2006, 58f. Tese (Doutorado em Ciências), Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” – Universidade Federal de Pelotas – Pelotas, Rio Grande do Sul.

FESSEL, S. A.; SADER, R.; PAULA, R. C.; GALLI, J. A. Avaliação da qualidade física, fisiológica e sanitária de sementes de milho durante o beneficiamento, **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.25, n.2, p.70-76, 2003.

FLOR, Ebert Pepe Obando; CICERO, Silvio Moure; FRANCA NETO, José de Barros and KRZYZANOWSKI, Francisco Carlos. Avaliação de danos mecânicos em sementes de soja por meio da análise de imagens. **Rev. bras. Sementes** [online]. 2004, vol.26, n.1 [cited 2017-11-23], pp.68-76.

FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A. **A importância do uso de sementes de soja de alta qualidade**. Informativo ABRATES, v.20, p.037-038, 2010.

FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; PÁDUA, G.P.; COSTA, N.P. da; HENNING, A.A. **Tecnologia de produção de soja de alta qualidade** – Série Sementes. Londrina. EMBRAPA Soja, (EMBRAPA Soja Circular Técnica 40), 2007. 10.p.

Referências Bibliográficas

FRANÇA NETO, J.B.; PÁDUA, G.P.; CARVALHO, M.L.M.; COSTA, O.; BRUMATTI, P.S.R.; KRZYZANOWSKI, F.C.; COSTA, N.P. da; HENNING, A.A.; SANCHES, D.P. **Sementes esverdeadas de soja e sua qualidade fisiológica**. Londrina. EMBRAPA Soja, (EMBRAPA Soja Circular Técnica 38), 2005. 4.p.

FRIGERI, T, **Interferência de patógenos nos resultados dos testes de vigor em sementes de feijoeiro**, 2007, 77f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

GARCIA, D. C.; BARROS, A. C. S. A.; PESKE, S. T.; MENEZES, N. L. A secagem de sementes. **Ciência Rural**, v.34, n.2, p.603-608, 2004.

GAVIRA, M. O., **Simulação computacional como ferramenta de aquisição de conhecimento**. 2003, 50f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Escola de Engenharia – Universidade de São Paulo – São Carlos, Brasil.

GODA, T. J.; ERBERT, F, Three-dimensional discrete element simulation in hoppers and silos, **ELSEVIER**, v. 158, p. 58-68, 2005 Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2005.04.019>. Acesso em: 12/08/2016.

GOMES, D.P.; KRONKA, A.Z.; BARROZO, L.M.; Da SILVA, R.P.; SOUZA, A.L.; SILVA, B.M.S.; PANÍZZI, R. de C. Efeito da colhedora, velocidade e ponto de coleta na contaminação de sementes de soja por fungos, **Revista Brasileira de Sementes**. Brasília, v. 31, n. 3, p.160-166, 2009.

GONELI, A.L.D.; CORRÊA, P.C.; SANTOS, D.C.F.S.; MIRANDA, G.V.; Efeito da danificação mecânica na qualidade fisiológica de sementes de milho-pipoca durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande, v.7, n.2, p.101-111, 2005.

KAPPES, C.; ARF, O.; FERREIRA, J. P.; PORTUGAL, J. R.; ALCALDE, A. M.; ARF, M. V.; VILELA, R. G. Qualidade fisiológica de sementes e crescimento de plântulas de feijoeiro, em função de aplicações de paraquat em pré-colheita. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 1, p. 9-18, 2012

KESTING, D. R. **Manual de qualidade laboratorial: laboratório de análises de sementes florestais (LASF)**. [Recurso eletrônico]/Daiane Rigoni Kesting [et al]. Dados eletrônicos. – Colombo: Embrapa Florestas 2008. Issn 1517-536x (impresso), ed 21

KIRLEIS, A.W.; STROSHINE, R.L.; Effects of hardness and drying air temperature on breakage susceptibility and dry: Milling characteristics of yellow dent corn. **Cereal Chem**. West Lafayette, v. 67, n. 6, p.523-528, 1990.

KOLCHINSKI, E.M.; SCHUCH, L.O.B.; PESKE, S.T. Vigor de sementes e competição intra-específica em soja. **Ciência Rural**, v.35, n.6, p.1248-1256, 2005.

KOLCHINSKI, E.M.; SCHUCH, L.O.B.; PESKE, S.T. Vigor de sementes e competição intra-específica em soja. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v.2, n.6, p.163-166, abr-jun 2006

KOLLING, E. M.; TROGELLO, E.; MODOLO, A. J. Inconvenientes técnico-operacionais de uma unidade beneficiadora e armazenadora de produtos agrícolas. *Engenharia na agricultura*, v.20, n.1, p. 52-59, 2012b.

LANGSTON, P.A et al. Discrete element simulation of granular flow in 2d and 3d hoppers: dependence of discharge rate and wall stress on particle interactions. **Chemical Engineering Science**, v.50, n. 6. 1995.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. New York: McGraw-Hill, 2000.

LIMA, E. R. et al. Custo de produção e lucratividade do feijoeiro da seca no município de Pereira Barreto, SP. **Cult. Agron.**, Ilha Solteira, v. 12, n. 2, p. 131-143, 2003

LOBÃO, E. DE C.; PORTO, A.J.V. Evolução das Técnicas de Simulação. Produção. Vol.9 n° I. P.112 – **ABPRO**. Rio de Janeiro. 1999

LOPES, J.; VERREIK, A.; COSTA, E.J.X. Meios granulares e experimentos simples para a sala de aula. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 30, n. 1, 1308 (2008) www.sbfisica.org.br

LOPES, M. DE M.; PRADO, M. O. D.; SADER, R.; BARBOSA, R. M. Efeitos dos danos mecânicos e fisiológicos na colheita e beneficiamento de sementes de soja. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 230-238, Mar. /Apr. 2011

MAMBRIN, R. B.; RIBEIRO, N. D.; HENNING, L. M. M.; HENNING, F. A.; BARKERT, K, A. Seleção de linhagens de feijão com base no padrão e na qualidade de sementes. **Revista Caatinga**, v. 28, n.3, p. 147-156, 2015. Disponível em: doi: 10.1590/1983-21252015v28n317rc

MARCANDALLI, L. H.; LAZARINI, E.; MALASPINA, I. G. Épocas de aplicação de dessecantes na cultura da soja: Qualidade fisiológica de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 2, p. 241-250, 2011. Disponível em: doi: 10.1590/S0101-31222011000200006

MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Piracicaba: **FEALQ**, 2005. 495p.

MARTIN, T. N.; TOMAZELL, A. A. L.; CÍCERO, S. M.; NETO, D. D.; FAVARIN, J. L.; JÚNIOR, P. A. V. Questões relevantes na produção de sementes de milho segunda parte. **Revista da FZVA**. Uruguaiana, v.14, n.2, p. 80-101, 2007.

MATTIONI, F.; FIGUEIREDO E ALBUQUERQUE, M.C.; MARCOS-FILHO, J.; GUIMARÃES, S. C. Vigor de sementes e desempenho agrônômico de plantas de algodão. São Paulo, **Revista brasileira de sementes**, v.34, n.1, p.108-116, 2012 <http://www.producao.usp.br/handle/BDPI/38820>

MENEZES, N. L.; LERSCH-JUNIOR, I.; STORCK, L. Qualidade física e fisiológica de sementes de milho após o beneficiamento. **Revista Brasileira de Sementes**. Brasília, v. 24, n.1, p.97-102, 2002.

MENTEN, J.O.M.; NOVEMBRE, A.D.L.C.; MORAES, M.H.D.; ITO, M.F.; Qualidade das sementes de feijão no Brasil. **Pesquisa & Tecnologia**, ISSN 2316-5146, vol. 3, n.2, Jul-Dez 2006,

MILMAN, M. J., Equipamentos para pré-processamento de grãos / Mário José Milman. – Pelotas: **Ed.Universitária** /UFPeI, 2002. 206p.: il.

MONDO, V.H.V.; GOMES JUNIOR, F.G.; PUPIM, T.L.; CICERO, S.M. Avaliação de danos mecânicos em sementes de feijão por meio da análise de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 31, nº 2, p.027-035, 2009.

MOREAES, M.L.B. Efeitos de velocidade e da posição do impacto na germinação, no vigor de sementes de soja (cultivar UFV-2) com diferentes teores de umidade. 1980, 42f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). UFV, Viçosa.

NEVES, C. E. V.; Comportamento De Materiais Granulares Usando O Método Dos Elementos Discretos. Brasília. 2009.

OLIVEIRA, M.E.C.; ALMEIDA, F. de A.C.; OLIVEIRA, F. M. de M.; NETO, J.J. da S.B.; GOUVEIA, J.P.G. Danificações em sementes de milho decorrente da debulha e teor de umidade na colheita. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v.5, n.2. p. 1-12, 2005.

PAIVA, L. E.; FILHO, S. M.; FRAGA, A. C.; Beneficiamento de sementes de milho colhidas mecanicamente em espigas: Efeitos sobre danos mecânicos e qualidade fisiológica. **Ciência Agrotecnológica**, Lavras, v.24, n.4, p.846-856, out/dez. 2000.

PARALLAX INC. **4x4 Matrix Membrane Keypad (#27899)**. 2011. Disponível em: <<https://www.parallax.com/sites/default/files/downloads/27899-4x4-Matrix-Membrane-Keypad-v1.2.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

PAULSEN, M.R.; NAVE, W.R.; Gray, W.R. Soybean seed quality as affected by impact damage. *Transactions of the ASAE*. v.24 n.6, p.1577-1582, 1978.

PEREIRA, MATHEUS WEMERSON GOMES; TEIXEIRA, ERLY CARDOSO; LIMA, JOÃO EUSTÁQUIO DE. Adoção sequencial de tecnologia pós-colheita aplicada à cafeicultura em Viçosa (MG). **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília, v. 48, n. 2, p. 381-404, June 2010.

PESKE, S. T.; BAUDET, L. Treinamento em beneficiamento de sementes para encarregados de UBS da Coopervale, Abelardo Luz: Coopervale, 2003. 45p.

PESKE, S. T. Colheita: quando e como? **Seeds News**, Pelotas, v.18, n.5, p.28-34, 2014.

PINHEIRO, M. da C. **Propriedades físicas de grãos de soja UFV-1**. 1975, 29f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PINTO, T. L. F.; MONDO, V. H. V.; GOMES-JUNIOR, F. G.; CICERO, S. M. Análise de imagens na avaliação de danos mecânicos em sementes de soja. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 42, n. 3, p. 310-316, jul. / set. 2012

POPINIGIS, FLÁVIO. **Fisiologia da semente**. Brasília, 5. Ed., 1985. 289p. CDD:631.521

QUEIROZ, J.R.de.; Simulação de danos mecânicos em sementes de feijão carioca durante o processo de beneficiamento/José Ramos de Queiróz – Campina Grande, 2011. 103f.: il. Color.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M.; RODRIGUES, S. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande, v.10, n.1, p. 17-26, 2008.

RIBEIRO et al. Soybean Mechanical Properties in Function of Moisture Content. **Eng. Agríc.** vol.27 no.2 Jaboticabal May/Aug. 2007

ROCHA, F. E.; CORDEIRO, C. M.T.; GIORDANO, L. de B.; CUNHA, J. M. Danos mecânicos na colheita de sementes de ervilha, **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, p.1117-1121, 1984.

Referências Bibliográficas

RODRIGUES, G. H. P. & SCHIMIDT, A. C., Aplicação de Motores de Média Tensão dedicados acionados por inversor de frequência e utilização de um único projeto em diferentes solicitações de carga. - WEG Brasil http://catalogo.weg.com.br/tec_cat/tech_motor_sel_web.asp – 2011 Brasil

ROSA, ALEX. **Simulação de um soft-starter para acionamento de motores de indução** 2003. 67. Dissertação – Universidade Federal de Goiás, 2003.

RUFFATO, S.; COUTO, S. M.; QUEIROZ, D. M. Análise de impactos em grãos de milho pelo método de elementos finitos. **Revista Brasileira de Armazenamento**. Viçosa, v.26, n.1, p.21– 27, 2001.

SALVADOR, A. C. SEAB – **Análise da Conjuntura Agropecuária, dezembro de 2014**. Engenheiro Agrônomo Carlos Alberto Salvador, Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento DERAL - Departamento de Economia Rural Feijão. Em http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/feijao_2014_15.pdf.

SANTOS, C.; BELING, R. R.; KIST, B.; REETZ, E. **Anuário Brasileiro do Milho 2002**. Romar Rudolfo Beling (ed.). Gazeta Grupo de Comunicações, 2002. 136p.

SCHEEREN, B. R.; PESKE, S. T.; SCHUCH, L. O. B.; BARROS, A. C. A. Qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 32, nº 3 p. 035-041, 2010.

SEW-EURODRIVE, **Industrial Gear Units Training**, Manual Técnico. 2008

SHARDA, R.; HERUM, F. L. A mechanical damage susceptibility tester for shelled corn. **Am. Soc. Agric. Eng.:** St. Joseph, MI. Paper 77-3504, 1977.

SHAHBAZI, F.; DOWLATSHAH, A.; VALIZADEH, S. Breakage Susceptibility of Wheat and Triticale Seeds Related to Moisture Content and Impact Energy. **Cercetari agronomice in Moldova**, v. 45, n. 3, p. 5-13, 2012.

SHULMAN, E. Et al, Fundamentals of a motor thermal model and its applications in motor protection, **59th Anual Georgia Tech Protective realying Conference**, 2005.

SILVA, J. G. da; SOARES, D. M. **Abanadoras de sementes para pequenas lavouras**, Santo Antônio de Goiás, GO: EMBRAPA, 2003. 6p. (EMBRAPA, Circular Técnica, 59)

SILVA, L. C. Avaliação de perdas em unidades armazenadores, **Revista Grãos Brasil**, a. 8, n.38, p.18-20, 2009

SILVA, JOSÉ CARLOS L. V. **Modelagem, Controle e Simulação Dinâmica Eletromecânica de uma Micro Usina Hidrelétrica na Amazônia**/José Carlos Leão Veloso Silva. – Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2003. 136p.: Il., graf., tab. Dissertação (mestrado), Rio de Janeiro, 2003.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; DONZELLES, S. M. L. Secagem e secadores In: SILVA, J. S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**, Viçosa: Aprenda Fácil, 2000, p. 107-138.

SILVA, L. C. Avaliação de perdas em unidades armazenadores, **Revista Grãos Brasil**, a. 8, n.38, p.18-20, 2009.

SILVEIRA, L.; PETERSEN, P.; SABOURIN, E. (Orgs.) Agricultura Familiar e Agroecologia no Semi-Árido: avanços a partir do Agreste da Paraíba. Rio de Janeiro: **AS-PTA**, 2002. 356 p

SINGH, S. S.; FINNER, M. F. Acentrifugal impacter for damage susceptibility evaluation of shelled corn. **Trans. ASAE**. v.26, n.6, p.1858-1863, 1983.

SPINOLA, M. C. M.; CÍCERO, S. M.; MELO, M. Alterações bioquímicas e fisiológicas em sementes de milho causadas pelo envelhecimento acelerado. **Scientia agrícola**. Piracicaba. V. 57, n. 2, p. 263- 270, 2000.

TAVARES, Lizandro Ciciliano et al. Potássio via recobrimento de sementes de soja: efeitos na qualidade fisiológica e no rendimento. **Cienc. Rural** [online]. 2013, vol.43, n.7, pp.1196-1202. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782013000700009&lng=en&nrm=iso>. ISSN 1678-4596. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782013000700009>.

THINGBITS.NET. **Standard LCD 16x2 Display**. 2014. Disponível em: <<https://www.thingbits.net/products/standard-lcd-16x2-display>>. Acesso em: 15 jan. 2014.

TRIVELATO, G. DA CUNHA. **Técnicas de modelagem e simulação de sistemas dinâmicos**. INPE São José dos Capos, 2003.

TROGELLO, E.; NOBRE, N. A. C.; KOLLING, E. M.; MODOLO, A. J.; TROGELLO, A. G. Acompanhamento de uma unidade beneficiadora de sementes de milho – estudo de caso. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.12, n. 2, p. 193-201, 2013.

VIEIRA, E. H. N. **Sementes de feijão: produção e tecnologia** / editado por Edson Herculano Neves Vieira, Carlos Agustin Rava. – Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 200. 270p.; 1999

Referências Bibliográficas

WATSON, S.A.; HERUM, F.L. Comparison of eight devices for measuring breakage susceptibility of shelled corn. **Cereal Chem.** p.139-142, 1986.

WEG. **Inversor de Frequência CFW-10 Manual do Usuário.** 2013. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-cfw10-manual-do-usuario-0899.5860-2.xx-manual-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 1 jan. 2015.

WEG Notícias. **Oportunidades em Eficiência Energética.** 2009. 1p. Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Media-Centrer/Geral/Oportunidades-em-Eficiencia-Energética>>.

WEG. **Guia de aplicação de inversores de frequência.** Jaraguá do Sul: Beg, 2000.

ZINK, F. et al. Studies on the growth rate and nutrient absorption of onion. **California Agriculture**, v. 37, n. 8, p. 203-218, 1966.

