

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

William Vaz Belinazzo

**APERFEIÇOAMENTO DE UMA BANCADA PARA TESTE DE VIDA  
ACELERADA EM SISTEMAS ELETRÔNICOS EMBARCADOS EM  
MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

Santa Maria, RS.  
2018



**William Vaz Belinazzo**

**APERFEIÇOAMENTO DE UMA BANCADA PARA TESTE DE VIDA ACELERADA  
EM SISTEMAS ELETRÔNICOS EMBARCADOS EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola**.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Nabaes Romano  
Co-Orientador: Prof. Dr. Saul Azzolin Bonaldo

Santa Maria, RS  
2018

## FICHA CATALOGRÁFICA

Belinazzo, William Vaz  
APERFEIÇOAMENTO DE UMA BANCADA PARA TESTE DE VIDA  
ACCELERADA EM SISTEMAS ELETRÔNICOS EMBARCADOS EM MÁQUINAS  
AGRÍCOLAS / William Vaz Belinazzo.- 2018.  
155 p.; 30 cm

Orientador: Leonardo Nabaes Romano  
Coorientador: Saul Azzolin Bonaldo  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2018

1. Confiabilidade 2. Vibração 3. Choque mecânico 4. ALT  
5. Análise funcional I. Romano, Leonardo Nabaes II.  
Bonaldo, Saul Azzolin III. Título.

**William Vaz Belinazzo**

**APERFEIÇOAMENTO DE UMA BANCADA PARA TESTE DE VIDA ACELERADA EM SISTEMAS ELETRÔNICOS EMBARCADOS EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola**.

**Aprovado em 17 de agosto de 2018:**

---

**Leonardo Nabaes Romano, Dr. Eng. Mec.(UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Saul Azzolin Bonaldo, Dr. Eng. Agríc.(UFSM)**  
(Co-Orientador)

---

**César Gabriel dos Santos, Dr. Eng. Agríc.(UFSM)**  
(Avaliador interno)

---

**Antônio Carlos Valdiero, Dr. Eng. Mec.(UNIJUI)**  
(Avaliador externo)

Santa Maria, RS  
2018



## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho...

... a minha amiga, companheira e mulher Karla, que foi compreensiva e me apoia constantemente nos meus projetos.

... ao mais novo(a) integrante da nossa família que está a caminho (filho(a)).

... a minha vó e vô (*in memoriam*) que sempre me incentivaram a continuar estudando.

... aos meus pais e irmã que estiveram ao meu lado incansavelmente e me apoiaram durante esta caminhada.



## AGRADECIMENTOS

A **Deus**, por todos os acontecimentos bons que ele tem me proporcionado.

A minha incansável companheira **Karla**, que está sempre ao meu lado apoiando-me e demonstrou muita compressão nesta fase, pois para finalizar o trabalho muitas vezes tive que deixar de estar ao seu lado para dar continuidade no mesmo.

A **Universidade Federal de Santa Maria** por me proporcionar primeiramente a possibilidade de eu ser engenheiro mecânico e também em cursar o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

Ao **Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola** por me proporcionar este aperfeiçoamento profissional.

Ao **Professor Dr. Leonardo Nabaes Romano** por sua orientação, amizade e conselhos.

Ao **Professor Dr. Saul Azzolin Bonaldo** por seu apoio desde antes ao início do projeto da dissertação.

Aos Colegas de laboratório **Cesar Santos, André Bender e Maikel Schimmdt** pela amizade e momentos de descontração que me proporcionaram.

A **metalúrgica COFELMA** por em vários momentos efetuar minha liberação dos afazeres nos âmbitos da empresa para que eu pudesse resolver assuntos relacionados a dissertação.

Ao meu colega e amigo **Daniel Niederauer** que me apoiou e motivou durante essa jornada.

Aos meus amigos **Diego Carrilho e Geise Gulart Sarturi** que auxiliaram na montagem da placa eletrônica e sistema elétrico da bancada de testes.

Ao colega **Ricardo Marchesan**, pela contribuição durante a aquisição de dados dos testes na bancada de testes.



## RESUMO

### **APERFEIÇOAMENTO DE UMA BANCADA PARA TESTE DE VIDA ACELERADA EM SISTEMAS ELETRÔNICOS EMBARCADOS EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

AUTOR: William Vaz Belinazzo

ORIENTADOR: Leonardo Nabaes Romano, Dr. Eng. Mec.

CO-ORIENTADOR: Saul Azzolin Bonaldo, Dr. Eng. Agrí.

A eletrônica embarcada em máquinas agrícolas é um pacote tecnológico indispensável para o desenvolvimento da agricultura mundial. Sabe-se que os sistemas auxiliam a agricultura no aumento da produtividade e na redução de perdas na lavoura. No entanto, como o terreno em que estas máquinas agrícolas transitam é normalmente irregular, isto proporciona uma longa exposição dos sistemas eletrônicos a vibrações e choques mecânicos. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é aperfeiçoar a bancada existente para teste de vida acelerada em placas eletrônicas. O trabalho consistiu inicialmente em realizar a caracterização dos aspectos atuais da eletrônica embarcada em máquinas agrícolas. A partir desta constatação realizou-se a pesquisa de anterioridade nas bases de dados de patentes onde não encontrou-se sistema capaz de aplicar vibrações e choques mecânicos simultaneamente utilizado para testes de vida acelerada. Tendo em vista a existência da bancada de teste desenvolvida em laboratório, aplicou-se a ferramenta de análise funcional na mesma identificando a função global (prover vibrações e choques mecânicos), subfunções e os conjuntos responsáveis em desempenhá-las. Na próxima etapa fez-se a aquisição dimensional de todos os componentes, o qual possibilitou conceber o modelo digital e a construção do novo protótipo. De posse da nova bancada, realizou-se diversos testes que demonstram que esta é capaz de produzir vibrações e choques mecânicos aleatoriamente de forma automática com intensidades em torno de 10 vezes acima das encontradas nas máquinas agrícolas. Concluiu-se assim, que a bancada aperfeiçoada apresenta as condições necessárias à realização de testes de vida acelerada.

**Palavras-chaves:** Confiabilidade. Vibração. Choque mecânico. Comando eletrônico. ALT.



## **ABSTRACT**

### **IMPROVEMENT OF AN APARATUS FOR ACCELERATED LIFE TESTING IN ELECTRONIC SYSTEMS EMBEDDED IN AGRICULTURAL MACHINERY**

**AUTHOR:** William Vaz Belinazzo

**ADVISOR:** Leonardo Nabaes Romano, Dr. Eng. Mec.

**CO-ADVISOR:** Saul Azzolin Bonaldo, Dr. Eng. Agrí.

The electronics embedded in agricultural machinery is a technological package indispensable for the development of world agriculture. It is known that the systems help agriculture in increasing productivity and reducing crop losses. However, as the soil on which these agricultural machines transit is usually irregular, this provides a long exposure of electronic systems to vibrations and mechanical shocks. In this context, the purpose of this paper is to improvement of apparatus existent for accelerated life tests on electronic system. The paper consisted in initially characterizing the current aspects of the electronics embedded in agricultural machines. Based on this found, the previous research was carried out in patent databases where no system capable of applying vibrations and mechanical shocks simultaneously was used for accelerated life tests. Knowing the existence of a apparatus developed in the laboratory, the functional analysis tool was applied to it, identifying the global function (to provide vibrations and mechanical shocks), sub functions and the assembly responsible for performing them. In next stage, was realized the dimensional acquisition of all the components, which provided the digital model and construction of the new prototype. Having the new apparatus, several tests were applied, found that apparatus is can to create vibrations and mechanical shocks randomly automatically with intensities ten times higher than those found in agricultural machines.

**Keys-Words:** Reliability. Vibration. Mechanical shock. Electronic control. ALT



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Placa eletrônica desenvolvida em laboratório.....	26
Figura 2 - Trator movido a máquina a vapor. ....	30
Figura 3 - Primeiro trator movido a motor ciclo Otto.....	30
Figura 4 - Trator autônomo.....	31
Figura 5 - (a) Receptor GPS no exterior da cabine; (b) <i>Display</i> para monitoramento e controle no interior da cabine. ....	32
Figura 6 - Distribuição de sistemas eletrônicos em um trator agrícola. ....	33
Figura 7 - Primeira colhedora automotriz de grãos produzida no Brasil.....	34
Figura 8 - Distribuição dos sensores na colhedora .....	35
Figura 9 - Sistemas eletrônicos dentro da cabine (a) Vista lateral da cabine; (b) Vista superior da cabine; (c) Vista traseira da cabine. ....	36
Figura 10 - Aplicação de defensivos agrícolas por "benzedura". ....	37
Figura 11 - Um dos primeiros pulverizadores costal. ....	37
Figura 12 - Pulverizador acoplado ao trator. ....	38
Figura 13 - Primeiro pulverizador autopropelido construído no Estados Unidos. ....	39
Figura 14 - Pulverizador autopropelido. ....	39
Figura 15 - Eletrônica embarcada dentro da cabine do pulverizador autopropelido.....	40
Figura 16 - (a) Receptor de sinal GPS; (b) Sensor de velocidade.....	41
Figura 17 - Esquema da interface entre os sistemas eletrônicos embarcados em máquinas agrícolas. ....	42
Figura 18 - Alguns componentes dos GPS: (a) Antena receptora; (b) monitor LCD. ....	44
Figura 19 - Piloto automático elétrico. ....	44
Figura 20 - Piloto automático eletromecânico. ....	45
Figura 21 - Piloto automático hidráulico. ....	45
Figura 22 - Frequência constante – onda senoidal. ....	47
Figura 23 - Frequências aleatórias.....	48
Figura 24 - Vibrações rotacionais atuantes em um trator agrícola. ....	48
Figura 25 - Curva da banheira.....	50
Figura 26 - Tipos de cargas: (a) carga constante em etapas; (b) carga variável. ....	56

Figura 27 - Tipos de cargas crescentes: (a) constante; (b) variável .....	57
Figura 28 - Método de aceleração – Aumento de estresse. ....	58
Figura 29 - Estresse constante. ....	59
Figura 30 - Estresse passo-a-passo. ....	59
Figura 31 - Estresse constante. ....	60
Figura 32 - Estresse cíclico e aleatório. ....	60
Figura 33 - Vida versus estresse com diversos valores de $n$ . ....	63
Figura 34 - Gráfico do tempo de vida versus o nível de estresse aplicado. ....	64
Figura 35 - Formulação da função global do sistema .....	65
Figura 36 - Desdobramento da função global em funções mais simples. ....	65
Figura 37 - Fluxograma da metodologia utilizada neste trabalho .....	67
Figura 38 - Bancada de testes de vibrações e choques mecânicos. ....	69
Figura 39 - Esboço com dimensões para modelagem computacional (Unidades em milímetros) .....	70
Figura 40 - Sistema de códigos aplicado .....	70
Figura 41 - Esquema dos equipamentos utilizados na aquisição dos dados durante o teste .....	71
Figura 42 - Sequência de atividades para aplicação dos testes de vida acelerada. ....	73
Figura 43 - Comando eletrônico para pulverizador de parcelas: (a) Comando montado para operação; (b) Placa eletrônica do comando. ....	74
Figura 44 - Sistema de fixação: (a) Placa; (b) <i>Display</i> LCD .....	75
Figura 45 - Mapa dos países onde as patentes foram publicadas ( <i>Electronic test</i> ). ..	80
Figura 46 - Mapa dos países onde as patentes foram publicadas ( <i>Shock test</i> ). .....	80
Figura 47 - Mapa dos países onde as patentes foram publicadas ( <i>Vibration test</i> ). ..	81
Figura 48 - Mapa dos países onde as patentes foram publicadas ( <i>Reliability test</i> ). ..	83
Figura 49 - Tendência das publicações anuais. ....	84
Figura 50 - Função global do sistema com entradas e saídas. ....	85
Figura 51 - Árvore funcional da bancada de testes. ....	86
Figura 52 - <i>Display</i> para observação das configurações da bancada .....	88
Figura 53 - Conjunto vibrações (BVTC 15 10000). ....	90
Figura 54 - Conjunto pneumático (BVTC 15 20000). ....	92
Figura 55 - Conjunto suporte das placas (BVTC 15 30000). ....	93
Figura 56 - Conjunto base da bancada (BVTC 15 40000). ....	94

Figura 57 - Modelo digital da bancada de teste (BVTC 15 00000).....	95
Figura 58 - Bancada de teste: (a) Protótipo desenvolvido por Bonaldo et al.(2015); (b) Protótipo construído com melhorias .....	96
Figura 59 - Acelerômetro instalado sob a base superior da bancada de testes.....	97
Figura 60 - Fonte e Osciloscópio utilizados nos testes. ....	98
Figura 61 - Frequência da vibração.....	99
Figura 62 - Identificação dos pistões pneumáticos.....	100
Figura 63 - Intensidade máxima de 6,48G no eixo Z.....	101
Figura 64 - Intensidade máxima de 4,54G no eixo Z.....	101
Figura 65 - Intensidade máxima de 7,24G no eixo Z.....	102
Figura 66 - Intensidade máxima de 6G no eixo Z.....	102
Figura 67 - Intensidade máxima de 7,18G no eixo Z.....	103
Figura 68 - Intensidade máxima de 6,69G no eixo Z.....	103
Figura 69 - Intensidade máxima de 7,6G no eixo Z.....	104
Figura 70 - Intensidade máxima de 5,03G no eixo Z.....	104
Figura 71 - Intensidade máxima de 7,18G no eixo Z.....	105
Figura 72 - Intensidade máxima de 6,09G no eixo Z.....	105
Figura 73 - Intensidade máxima de 8,24G no eixo Z.....	106
Figura 74 - Intensidade máxima de 6,87G no eixo Z.....	106
Figura 75 - Intensidade máxima de 7,21G no eixo Z.....	107
Figura 76 - Intensidade máxima de 6,84G no eixo Z.....	107
Figura 77 - Intensidade de todos os sistemas funcionando simultaneamente. ....	108
Figura 78 - Placa eletrônica fixada na base superior da bancada.....	110



## LISTA DE QUADROS E TABELA

Quadro 1 - Análise da curva da banheira.....	50
Quadro 2 - Comparação entre técnicas de ensaios. ....	53
Quadro 3 - Exemplo de modelos de relacionamento vida-estresse. ....	62
Quadro 4 – Combinações de pistões em funcionamento.....	72
Quadro 5 – Exemplos de sistemas encontrados na busca de anterioridade.....	78
Quadro 6 - Publicações referente a <i>shock test</i> .....	81
Quadro 7 - Publicações referentes a <i>vibration test</i> .....	82
Quadro 8 – Publicações referente a <i>reliability test</i> . ....	83
Quadro 9 – Identificação do conjunto para cada função e parcial.....	86
Quadro 10 - Componentes do conjunto vibrações (BVTC 15 10000). ....	88
Quadro 11 - Componentes do conjunto pneumático (BVTC 15 20000). ....	90
Quadro 12 - Componentes do subsistema suporte das placas (BVTC 15 30000). ...	92
Quadro 13 – Componentes do conjunto base da bancada (BVTC 15 40000).....	94
Quadro 14 - Sequenciamento e combinações das medições de intensidade. ....	99
Tabela 1 - Número de patentes encontradas na busca de anterioridade.....	77



## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i> (Instituto Americano do Ferro e Aço)
ALT	<i>Accelerated Life Testing</i> (Teste de Vida Acelerada)
ANDEF	Associação Nacional de Defesa Vegetal
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ASABE	<i>American Society of Agricultural and Biological Engineers</i> (Sociedade Americana de Engenheiros Agrônomos e Biológicos)
AST	<i>Accelerated Stress Testing</i> (Ensaio de estresse acelerado)
BTVIC	Bancada de Testes de Vibrações e Choques
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CC	Corrente Contínua
CTISM	Colégio Técnico Industrial de Santa Maria
ECU	<i>Electronic Control Unit</i> (Unidade de controle eletrônico)
ESS	<i>Environmental Stress Screening</i> (Triagem por estresse ambiental)
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i> (Sistema Global de Navegação por Satélite)
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global)
HALT	<i>Highly Accelerated Life Testing</i> (Ensaio de vida altamente acelerado)
HASA	<i>Highly Accelerated Stress Audit</i> (Auditoria por estresse altamente acelerado)
HASS	<i>Highly Accelerated Stress Screening</i> (Triagem por estresse altamente acelerado)
HAST	<i>Highly Accelerated Stress Testing</i> (Ensaio de estresse altamente acelerado)
IHM	Interface Homem-Máquinas
ISSO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização)
JEDEC	<i>Joint Electron Device Engineering Council</i> (Conselho Conjunto para Engenharia de Dispositivos de Elétrons)
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> (Visor de Cristal Líquido)
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i> (Placa de fibra de média densidade)
MTBF	<i>Mean Time Between Failure</i> (Tempo Médio Entre Falhas)
MTTF	<i>Mean Time To Failure</i> (Tempo Médio Até a Falha)
MU	Modelo de Utilidade
RAM	<i>Random Access Memory</i> (Memória de Acesso Aleatório)
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i> (Sociedade Engenharia Automotiva)
SCIELO	<i>Scientific Electronic Library Online</i> (Biblioteca Eletrônica Científica Online)
SE	Sistema Eletrônico



# SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>23</b>
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>29</b>
2.1.	MÁQUINAS AGRÍCOLAS .....	29
2.1.1.	Tratores .....	29
2.1.2.	Colhedoras .....	33
2.1.3.	Pulverizadores auto propelidos .....	36
2.2.	SISTEMAS ELETRÔNICOS EMBARCADOS EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS .....	41
2.3.	NORMALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE VIBRAÇÃO E CHOQUES MECÂNICOS.....	46
2.4.	VIBRAÇÕES E CHOQUES EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS.....	47
2.5.	CONFIABILIDADE.....	49
2.6.	TESTES DE VIDA ACELERADA.....	55
2.6.1.	Fator e modelo de aceleração .....	61
2.7.	ANÁLISE FUNCIONAL DE SISTEMAS.....	64
2.8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	66
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>67</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>77</b>
4.1.	BUSCA DE ANTERIORIDADE DE SISTEMAS VIBRATÓRIOS .....	77
4.2.	ANÁLISE DO PROJETO DA BANCADA DE TESTES .....	85
4.2.1.	Análise funcional da bancada de teste .....	85
4.2.2.	Modelagem computacional da bancada de teste .....	87
4.3.	FUNCIONALIDADE DA BANCADA DE TESTE .....	97
4.4.	REALIZAÇÃO DO TESTE DE VIDA ACELERADA NA PLACA ELETRÔNICA.....	109
4.5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	111

<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>113</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>115</b>
<b>APENDICE A – LISTA DE DESENHOS DA BANCADA DE TESTES .....</b>	<b>120</b>
<b>APENDICE B – DESENHOS TÉCNICOS .....</b>	<b>122</b>
<b>APENDICE C – SOFTWARE UTILIZADO NA BANCADA DE TESTES .....</b>	<b>147</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Nos primórdios da agricultura, todo o trabalho realizado no processo de preparação, semeadura, cultivo e colheita das cultivares era realizado exclusivamente com a força humana. No entanto, aos poucos, inseriu-se a tração animal, a qual trazia significativo ganho de produção, pois operações como arar a terra exigem grande potência.

Decorrente do aumento da população e, conseqüentemente, a necessidade de uma maior produção agrícola, tornou-se necessário inserir a mecanização na agricultura. As primeiras máquinas utilizadas eram bastante rudimentares e sua potência provia de um motor a vapor. Com isso, iniciou-se a retirada da tração animal e conseqüentemente se reduziu o trabalho humano (MÁRQUEZ, 2011).

Naturalmente, a evolução da mecanização agrícola não estagnou, de forma que no final do século XIX teve-se um dos maiores marcos para a agricultura mundial: “a aplicação do motor a combustão interna como substituto para as máquinas a vapor, o que permitiu uma verdadeira revolução agrícola” (MÁRQUEZ, 2011, p.40). Tais máquinas eram compostas por motores de um ou dois pistões utilizando como combustível querosene ou gasolina. O restante da máquina era composto somente por sistemas mecânicos, inexistindo componentes ou comandos eletrônicos.

Os componentes eletrônicos somente foram inseridos nas máquinas agrícolas a partir do momento em que houve a necessidade de um maior controle e monitoramento das operações realizadas no campo. Como relatado por Jones et al. (1983), a inserção de sistemas eletrônicos na agricultura visava justamente aspectos de ganhos de produtividade somados a facilidade de operação e redução de esforços dos operadores.

A inserção dos componentes eletrônicos nas máquinas agrícolas ocorreu a partir da metade do século XX (BALESTREIRE, 2000). A disponibilidade de microprocessadores com alto poder de processamento, memórias RAM com grande potencial de armazenamento juntamente com o aumento da confiabilidade destes componentes eletrônicos foram quesitos essenciais que contribuíram para o crescente uso da eletrônica na mecanização agrícola (JONES et al., 1983).

Desde então estes componentes vêm em constante evolução até os dias atuais, encontrando-se comumente embarcados em máquinas agrícolas itens como sensores, atuadores, computadores de bordo, *softwares* e sistemas de posicionamento via

satélite (GPS) que justamente visam o monitoramento, controle e registro de dados adquiridos durante a operação (SARAIVA et al., 2006).

Segundo dados mostrados pela ANFAVEA (2018), no ano de 2017 foram produzidos no Brasil aproximadamente 47 mil máquinas agrícolas considerando tratores com rodas e colhedoras. Este número mostra claramente a importância e a demanda do meio agrícola por tais máquinas. Com isso, certamente um dos pontos críticos que se tem é a confiabilidade das máquinas agrícolas, tendo em vista o impacto econômico que uma possível interrupção no trabalho destes equipamentos pode causar ao produtor rural no decorrer do período de semeadura, controle de pragas ou colheita.

Devido ao estresse<sup>1</sup> mecânico a que as máquinas agrícolas estão expostas durante as operações realizadas na lavoura e sabendo que na maior parte das vezes os equipamentos eletrônicos apresentam características frágeis, ressalta-se a importância da confiabilidade dos componentes eletrônicos utilizados nestas máquinas.

Tendo em vista a quantificação da confiabilidade destes componentes eletrônicos embarcados, é comum fazer-se uso de técnicas que visam reproduzir fielmente o ambiente de trabalho ao qual eles são submetidos. Tais técnicas visam orientar testes que expõem corpos de prova a ambientes agressivos de forma a analisar o seu comportamento sob tais condições, proporcionando a possibilidade de realizar a extrapolação da vida útil dos mesmos.

Existem diversas técnicas passíveis de aplicação a componentes eletrônicos, no entanto, para o caso da eletrônica embarcada em máquinas agrícolas pode-se ressaltar a importância dos controles de vibrações e choques mecânicos, pois de acordo com Sun et al. (2009), este tipo de estresse influencia diretamente o desempenho e confiabilidade do produto durante sua vida útil.

Por este motivo, dentre as diversas técnicas existentes, umas das mais apropriadas para este tipo de situação denomina-se *Accelerated Life Testing* (ALT), a qual objetiva recriar um ambiente similar ao que os produtos testados estão inseridos na sua utilização normal, mas com um nível de estresse elevado. Esta exposição faz com que seja possível degradar o produto testado em um curto intervalo de tempo, acelerando sua vida útil (FELIX, 2006).

---

<sup>1</sup> A palavra estresse, neste trabalho, é utilizada para indicar qualquer agente que tenha tendência a induzir falhas aos componentes eletrônicos reduzindo a sua vida útil.

Consequente, para a realização destes testes faz-se necessário uma bancada de testes capaz de reproduzir em nível elevado as vibrações e os choques mecânicos que as máquinas agrícolas estão expostas durante as operações cotidianas. Normalmente a realização das vibrações nestes equipamentos fica a cargo de um sistema hidráulico ou elétrico.

Atualmente, sistemas capazes de proporcionar vibrações e choque mecânicos possuem um mercado restrito, com o número de fabricantes reduzidos. Estes sistemas também apresentam alto custo de aquisição e específica aplicação, ou seja, existem sistemas para proporcionar vibrações ou sistemas para proporcionar choques. Baseado nesta constatação, Bonaldo et al. (2015) desenvolveram um sistema capaz de proporcionar simultaneamente vibrações e choques mecânicos. No entanto, devido ao fato do desenvolvimento inicial da bancada ter sido realizado de forma empírica afim de provar o conceito de prover vibrações e choques mecânicos, o qual foi positivo, viu-se a necessidade do aprimoramento do equipamento em questão. Tendo em vista esta necessidade é que este trabalho tem como objetivo aperfeiçoar uma bancada de teste de vida acelerada de componentes eletrônicos embarcados em máquinas agrícolas, de forma a permitir o seu uso seguro, prático e confiável.

Consequentemente, para atingir o objetivo geral este trabalho, apresentam-se seis objetivos específicos, quais sejam:

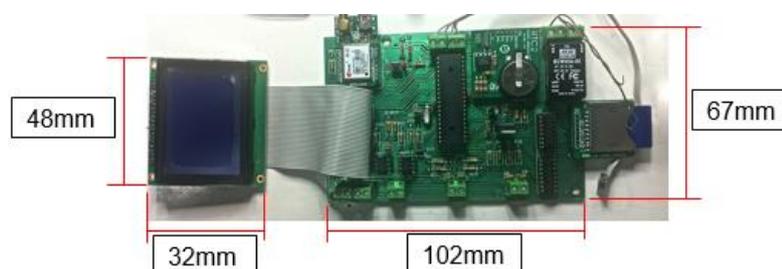
- Caracterizar a eletrônica utilizada em máquinas agrícolas;
- Realizar uma pesquisa de anterioridade de patentes referente a sistemas utilizados para testes de vibração e choques mecânicos;
- Realizar a avaliação funcional da bancada de testes de vibrações e choques mecânicos desenvolvida por Bonaldo et al.;
- Realizar a modelagem computacional e construir novo protótipo;
- Valiar a funcionalidade da nova bancada construída;
- Desenvolver um procedimento experimental para testar uma placa eletrônica;
- Testar uma placa eletrônica desenvolvida em laboratório para controle de um pulverizador de parcelas até a falha.

Por meio da caracterização da eletrônica embarcada em máquinas agrícolas atualmente, espera-se analisar qualitativamente a importância que estes sistemas têm na agricultura mundial. Sabendo que tais componentes eletrônicos representam parte essencial de uma máquina agrícola atualmente, e que estas máquinas estão expostas constantemente a altos níveis de vibrações e choques mecânicos, ressalta-se a importância de se testar as placas eletrônicas antes de enviá-las a campo (MOLIN et al., 2015). A exposição destes componentes a tais tipos de estresse por um longo período de tempo causa uma notável redução na sua vida útil (SUN et al., 2009).

Embora atualmente a maioria das máquinas agrícolas saiam de fábrica já providas de todos os comandos eletrônicos necessários para a realização e controle das tarefas pelo qual o produtor rural se depara durante as operações de plantio, pulverização e/ou colheita, em algumas situações comandos eletrônicos auxiliares são produzidos e instalados nas máquinas agrícolas por empresas terceirizadas.

Devido aos inúmeros fabricantes de implementos agrícolas atuando no mercado, sabe-se que muitas vezes os comandos eletrônicos são instalados posteriormente à aquisição do equipamento agrícola. Tais comandos eletrônicos podem ser utilizados com diversos objetivos, desde a aquisição de dados até o controle de equipamentos agrícolas, ou até mesmo os dois simultaneamente como é o caso da placa eletrônica (Figura 1) desenvolvida por Bonaldo (2014) cuja função é adquirir dados climatológicos e simultaneamente controlar um pulverizador de parcelas.

Figura 1 - Placa eletrônica desenvolvida em laboratório.



Fonte: Bonaldo (2014)

Como normalmente a aquisição destes comandos eletrônicos acontece juntamente com a aquisição das máquinas e/ou implementos agrícolas, o projeto já contempla um lugar apropriado para instalação dos comandos na cabine ou no ambiente de trabalho da máquina agrícola, de modo que as mais diversas frequências

de vibrações e choques mecânicos sejam absorvidas. No entanto, quando a aquisição e a instalação dos comandos são realizadas sem considerar os danos causados devido a exposição aos estresses como vibrações e choques mecânicos, tem-se como resultante a redução da sua vida útil.

Por este motivo é que se ressalta a importância da posse de um sistema capaz de realizar testes de vida acelerada em comandos eletrônicos afim de estimar a vida útil dos mesmos sob exposição a alto níveis de estresse. Neste contexto, justifica-se a importância do aperfeiçoamento da bancada de testes e o desenvolvimento de um procedimento experimental para realização de testes de vida acelerada em placas eletrônicas expostas a estresse como vibrações e choques mecânicos, simultaneamente.

Para isto, esta dissertação está estruturada como segue. No Capítulo 1 é esclarecido o escopo do trabalho, juntamente com o objetivo geral, objetivos específicos e justificativa.

No Capítulo 2 é realizada uma revisão bibliográfica contemplando temas tomados como importantes para o desenvolvimento deste trabalho, tais como o surgimento e estado atual de máquinas agrícolas denominadas de tratores, pulverizadores autopropelidos e colhedoras, expondo os equipamentos eletrônicos que estas máquinas possuem embarcados. Juntamente neste capítulo estão expostas as normas referentes a testes de vibração em componentes eletrônicos, a teoria de aplicação e definição da confiabilidade e testes de vida aceleradas.

No Capítulo 3 está descrita a metodologia utilizada para a pesquisa bibliográfica e pesquisa de anterioridade de patentes de bancadas de testes, esclarecendo os bancos de dados buscados e palavras chaves. Também é descrito como é realizado a análise funcional na bancada de teste existente, a modelagem computacional e construção do novo protótipo juntamente com a avaliação de funcionalidade da bancada durante o teste de vida acelerada na placa eletrônica desenvolvida em laboratório por Bonaldo (2014).

No Capítulo 4 estão relatados os resultados das patentes encontradas na busca de anterioridade, da avaliação funcional realizada na bancada de testes desenvolvida por Bonaldo et al. (2015), os resultados dos testes com o novo protótipo construído e, por fim, o teste realizado na placa eletrônica desenvolvida em laboratório.

No Capítulo 5 estão as considerações finais desta dissertação elencando pontos que poderão ser revisados em trabalhos posteriores.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica de pontos pertinentes ao desenvolvimento do trabalho, tais como máquinas agrícolas e sistema eletrônicos embarcados nas mesmas, confiabilidade, normas e testes de vida acelerada.

### 2.1. MÁQUINAS AGRÍCOLAS

A história das máquinas agrícolas começou a desenrolar-se a partir do século XVIII. Antes disso tinham-se máquinas rudimentares, que apresentavam baixa produtividade, sendo movidas na maior parte das vezes por tração animal. No entanto, com o crescimento da demanda por alimentos, foi necessário aumentar as áreas cultivadas e conseqüentemente se fez necessário máquinas que apresentassem uma maior produtividade na lavoura (FONSECA, 1990).

Com isso, as máquinas agrícolas tiveram diversas modificações, passando da tração animal para as máquinas a vapor e anos mais tarde para as máquinas movidas a motor a combustão interna. Como relatado por Márquez (2011) a inserção dos motores a combustão interna no segmento agrícola foi tomado como um marco na agricultura mundial, revolucionando aspectos como produtividade e rendimento no trabalho.

Desde então, as máquinas agrícolas vêm em crescente evolução tecnológica de forma a tomar grande abrangência no mercado de negócios mundiais e nacionais, pois estes equipamentos movimentam “um montante de US\$ 120 bilhões/ano no mercado mundial e cerca de R\$ 6 bilhões/ano no mercado brasileiro” (SILVA, 2015).

Segundo dados apresentados pela ANFAVEA (2018), a produção de máquinas agrícolas em 2015 no Brasil ultrapassou um total de 55 mil equipamentos, sendo que deste somatório cerca de 87% (48 mil) são tratores de rodas e colhedoras, demonstrando a alta demanda destas máquinas.

#### 2.1.1. Tratores

Segundo o que cita Márquez (2011, p. 10) a definição de tratores dado pelo Código OCDE para ensaios de tratores agrícolas é:

Veículo automotor de rodas, com pelo menos dois eixos, correntes (esteiras) ou construídos para realizar as seguintes operações de interesse essencial para reboques:

- Arrastar reboques;
- Levar incorporado, arrastar e empurrar implementos de máquinas agrícolas e fornecer eventualmente a este a potência necessária para seu funcionamento, tanto quando o trator está em marcha ou quando está parado

A história dos tratores agrícolas iniciou-se em meados de 1800. Neste período os equipamentos eram movidos por máquinas a vapor como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Trator movido a máquina a vapor.



Fonte: O mundo variável (2016)

As primeiras máquinas eram rudimentares, com elevada relação massa/potência, no entanto já se tinha uma grande evolução se comparado com o trabalho realizado com tração animal ou muitas vezes manual. De acordo com Vian (2010) a partir da evolução dos motores a combustão interna, já no final do século XVIII foi desenvolvido por Froelich o primeiro trator com motor a gasolina (Figura 3).

Figura 3 - Primeiro trator movido a motor ciclo Otto.



Fonte: Vian (2010)

Então, com os primeiros tratores movidos a motores de combustão interna em funcionamento, grandes empresas tiveram o interesse de produzir tais máquinas. Henry Ford, em 1917, utilizou sua experiência e conhecimento adquirido no ramo automobilístico e inseriu-se neste mundo de máquinas agrícolas desenvolvendo um trator movido a motor ciclo Diesel que apresentava uma relação peso/potência de 70kg/cv a menos que os tratores existentes (MÁRQUEZ, 2011).

Embora neste momento da história já existisse uma máquina que revolucionaria a agricultura mundial, a indústria de máquinas agrícolas no Brasil somente foi se consolidar após a segunda Guerra Mundial. Amato Neto (1985, p. 59) relata que

Pode-se afirmar, assim, que a mecanização agrícola se iniciou no país com a instalação da indústria de tratores no ano de 1959, quando foi instituído o Plano Nacional da Indústria de Tratores de Rodas, sendo que as primeiras unidades começaram a ser produzidas em 1960. Anteriormente a esse fato, várias tentativas governamentais foram realizadas no sentido de uma maior independência em relação à importação dessas máquinas, visto que, até então, nosso mercado era suprido por uma diversidade enorme de máquinas de todo tipo e de todas as nacionalidades. Em decorrência disso, havia uma série de problemas que variavam desde a falta de um mínimo de assistência técnica às máquinas importadas, passando pela inexistência de qualquer plano de dimensionamento e de controle de estoques de peças de reposição e de componentes básicos, chegando até o (natural) desconhecimento, por parte dos operadores, do manejo e da manutenção dessas máquinas (em particular dadas as péssimas traduções de catálogos e instruções da época)

Sabe-se que a partir deste momento a indústria de tratores agrícolas foi difundida, obtendo uma rápida evolução tecnológica e mercadológica, chegando até os dias atuais, onde encontram-se tratores totalmente autônomos (Figura 4) nos quais foi possível extinguir o receptáculo do condutor.

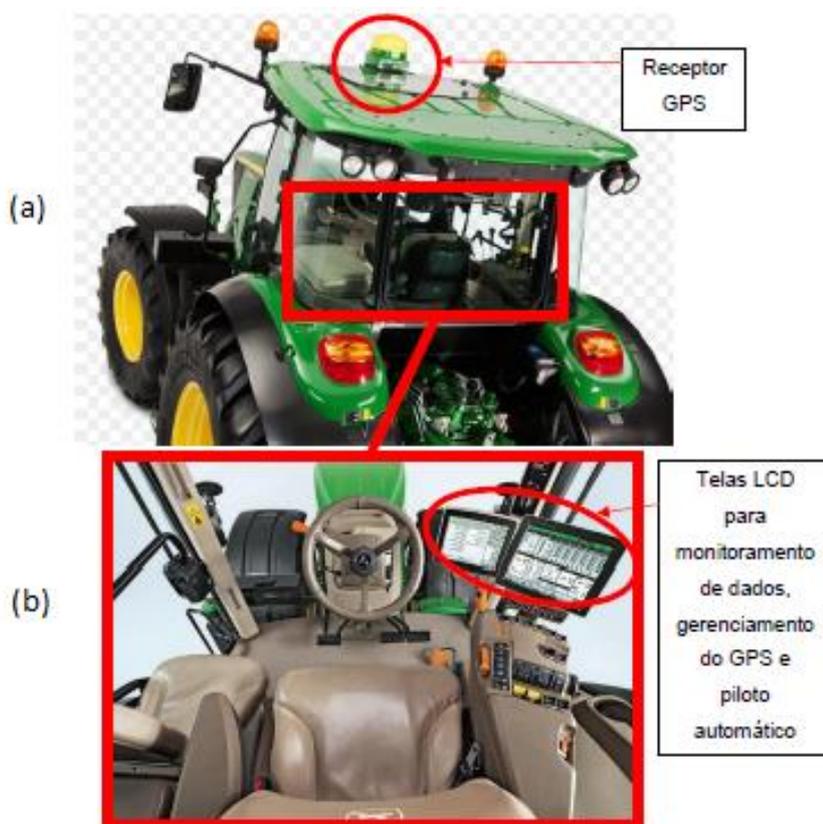
Figura 4 - Trator autônomo.



Fonte: Autoesporte (2017)

Embora estes tratores não estejam disponíveis no mercado, entende-se que o futuro destas máquinas já está traçado devido a crescente quantidade de sistemas eletrônicos embarcados (Figura 5). Tais sistemas proporcionam ao produtor rural um maior controle e monitoramento das operações realizadas na lavoura<sup>2</sup>. Este monitoramento é realizado por meio de hardwares e softwares como sistemas de posicionamento geográfico (GPS), sensores, sistemas de pilotos automáticos (normalmente integrados aos GPS).

Figura 5 – (a) Receptor GPS no exterior da cabine; (b) *Display* para monitoramento e controle no interior da cabine.

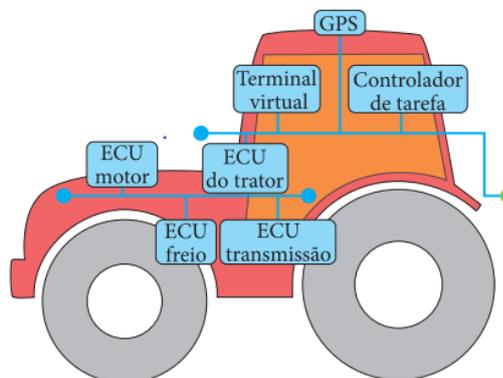


Fonte: Adaptado de (a) John Deere (2016); (b) Meccagri (2016)

O local de instalação destes sistemas depende da configuração de cada projeto (Figura 6).

<sup>2</sup> Algumas das operações realizadas na lavoura são: Preparo do solo; Semeadura; Pulverização; Colheita.

Figura 6 - Distribuição de sistemas eletrônicos em um trator agrícola.



Fonte: Adaptado de Souza et. al (2010)

Contudo, depreende-se que em diversas situações a localização é definida de acordo com a necessidade do monitoramento ou controle. Na maioria das vezes, itens como sensores, antenas, receptores, termopares, dentre outros, são instalados no exterior da cabine, ficando expostos diretamente as variações de temperatura, umidade, poeira, além de vibrações e choques mecânicos, tendo em vista que a maior parte destas máquinas não possuem suspensão.

Itens como *display* LCD (tela de cristal líquido), placas de comandos, botões, alavancas de multifunções, ECU's (Unidade de controle eletrônico) dentre outros, são instalados no interior da cabine devido à necessidade de manuseio do operador. Em tratores com cabine, a exposição as variações de temperatura, umidade, poeira, vibrações e choques mecânicos é reduzida devido ao ambiente fechado juntamente com o sistema de absorção<sup>3</sup> de vibrações presente na fixação entre a cabine e o monobloco do trator. Já em tratores sem cabines, a exposição destes sistemas aos estresses citados anteriormente é muito superior, ocasionando em certas situações a redução da vida útil dos sistemas eletrônicos instalados.

### 2.1.2. Colhedoras

O desenvolvimento das colhedoras de grãos é de longa data, tendo informações que já no século XVIII existiam mecanismos para auxiliar o produtor rural

<sup>3</sup> Este sistema de absorção é conhecido como coxim.

na debulha das cultivares colhidas. No entanto, naquela época, o corte e recolhimento da cultura ainda era realizado manualmente.

Neste mesmo século, por volta de 1780, as primeiras colhedoras de grãos foram inventadas nos Estados Unidos. Porém, sua utilização foi implantada definitivamente somente no século seguinte (FONSECA, 1990).

A utilização dos tratores agrícolas, grandes trilhadoras, e colhedoras iniciou-se nos Estados Unidos, onde tais equipamentos conseguiam executar o trabalho de vários homens em uma maior velocidade (FONSECA, 1990).

Certamente estas colhedoras fizeram uma revolução tecnológica para a época, trocando a tração animal pelas máquinas a vapor. Neste momento não era mais necessário a domesticação do equipamento de trabalho, pois por meio de mecanismos era possível operar o equipamento.

No Brasil, segundo citado por Ferreira (1995, p.21) “As colhedoras automotrizes de cereais e grãos<sup>4</sup> passaram a ser fabricadas no Brasil a partir do ano de 1965” pelo grupo Schneider Logemann S.A.. Este grupo desenvolveu a primeira colhedora modelo SLC 65-A (Figura 7), a qual era equipada com motor ciclo Otto, e seu projeto era baseado na tecnologia do modelo 55 da norte-americana John Deere.

Figura 7 - Primeira colhedora automotriz de grãos produzida no Brasil.



Fonte: John Deere (2016)

As máquinas agrícolas traziam um grande avanço tecnológico para a mecanização agrícola daquela época. Com isso depreende-se que apesar delas

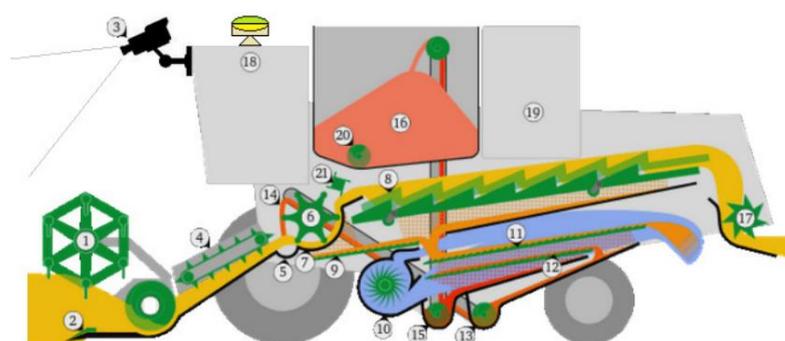
---

<sup>4</sup> A colheitadeira automotriz é uma máquina mais complexa e específica que o trator, variando de acordo com o tipo de cultura em que será utilizada. No caso das colheitadeiras automotrizes para cereais e grãos existe uma maior flexibilidade, pois mantém-se o mesmo projeto, com pequenas mudanças ela se adapta a diferentes culturas como soja, arroz, milho e trigo (MIALHE. 1980 p.21 apud FERREIRA. 1995)

reduzirem o trabalho manual, ainda eram totalmente compostas por sistemas mecânicos, o que fazia estes equipamentos apresentarem características de alta robustez mecânica<sup>5</sup>, baixo controle e aquisição das operações realizadas.

A partir da necessidade de maximizar o processo produtivo e obter um maior controle e monitoramento das operações durante a colheita, em conjunto com a disponibilidade de diversos sistemas eletrônicos no mercado, realizou-se a integração dos dois sistemas (máquina agrícola + sistema eletrônico) (COSTA et. al, 2015). Possibilitando assim, desde o controle de velocidade e posicionamento geográfico até o monitoramento da velocidade de rotores, média instantânea de produtividade e indicativos de funcionamento do sistema de trilha. Este grande número de sistemas eletrônicos está distribuído por toda a colhedora, como se pode observar na Figura 8.

Figura 8 - Distribuição dos sensores na colhedora



Peça/Parte da Máquina		Possíveis sensores associados
Rolo	(1)	Sensor de movimento / rotação / de altura do solo
Barra de corte	(2)	Sensor metálico e de rotação
Captura de imagens	(3)	Sensor de imagens / Câmera
Transportador de Grãos	(4)	Sensor de movimento de esteira / corrente
Tambor de debulhação	(6)	
Deslocador de Palha	(8)	Sensor de rotação / travamento
Bandeja de Grãos	(9)	
Ventilador	(10)	Sensor de rotação / sobre corrente (Travamento)
Peneira ajustável de cima	(11)	Sensor de inclinação / vibração / rotação
Peneira de fundo	(12)	Sensores de perda de grão
Transportadora Rejeitos	(13)	Sensores de vibração e indutivo de movimento
Redebulhador de rejeitos	(14)	Sensor de Fluxo de palha
Trado de grãos	(15)	Sensor de rotação / travamento / fluxo de grãos
Tanque de grãos	(16)	Sensor de nível de grãos, de umidade
Cortador de palha	(17)	
GPS	(18)	Sensor de posição geográfica / rádio
Motor	(19)	Sensores de pressão e nível de óleo / nível de combustível / e outros sensores atrelados ao motor e injeção eletrônica
Outras posições (para analisar solo)		Sensores ópticos (Infra Vermelho Próximo), sensores de solo para análise de pH, sensores eletromagnéticos, etc

Fonte: Costa et al. (2015)

<sup>5</sup> A alta robustez mecânica neste caso é utilizada para definir um equipamento mecânico capaz de suportar altos níveis de cargas durante longos períodos.

Devido ao fato dos sistemas eletrônicos estarem distribuídos por toda a colhedora entendeu-se a preocupação com a exposição à diversos estresses como a variação de temperatura, poeiras, vibrações e choques mecânicos. Esta exposição afeta com maior intensidade aqueles componentes que estão no exterior da cabine. Apesar dos componentes no interior da cabine (Figura 9) possuírem uma maior proteção devido ao enclausuramento e à instalação de sistemas para absorver vibrações, os estresses aos quais estes sistemas eletrônicos são submetidos podem causar a redução da vida útil.

Figura 9 - Sistemas eletrônicos dentro da cabine (a) Vista lateral da cabine; (b) Vista superior da cabine; (c) Vista traseira da cabine.



Fonte: Adaptado de Farias (2015)

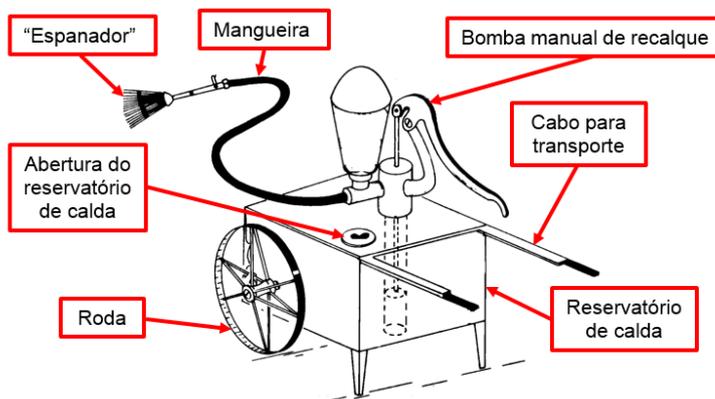
### 2.1.3. Pulverizadores auto propelidos

Segundo ANDEF (2004 apud CASALI, 2015, p.30) “Pulverização é processo físico-mecânico de transformação de uma substância líquida em partículas ou gotas”. E de acordo com JACTO01 (2000 apud BUGATTI, 2007, p.02) “Pulverizador é todo equipamento capaz de produzir gotas, em função de uma determinada pressão exercida sobre a calda (produto químico mais água)”.

Segundo Chaim (1999) os equipamentos utilizados para a aplicação de defensivos químicos nas lavouras nos anos anteriores a meados do século XIX eram equipamentos similares a regadores ou vassouras, onde, pelo princípio do aumento

de pressão, conseguia-se realizar o lançamento dos líquidos sobre as plantas desejadas, processo denominado “benzedura” (Figura 10).

Figura 10 - Aplicação de defensivos agrícolas por "benzedura".



Fonte: Adaptado de Ankesson & Yates (1979)

No entanto, estes equipamentos ainda apresentavam baixa produtividade, fazendo os desenvolvedores buscarem novos sistemas. De acordo com Souza et al. (2010) a Jacto foi uma das fabricantes que buscou diferentes soluções, apresentando em meados do século XIX um pulverizador costal denominado polvilhador (Figura 11), nome dado devido ao equipamento lançar pó nas plantações.

Figura 11 - Um dos primeiros pulverizadores costal.



Fonte: Souza et al. (2010)

Conseqüentemente, a evolução destas máquinas não estagnou, sendo desenvolvidos posteriormente pulverizadores para culturas diversas, culturas arbóreas de grande alcance e culturas perenes. Também conseguiu-se aumentar a qualidade e a autonomia de aplicação (SOUZA et al., 2010). No entanto, todos estes pulverizadores eram movidos a tração animal ou trator (Figura 12), o que implicava na existência de um segundo equipamento para a aplicação dos defensivos agrícolas.

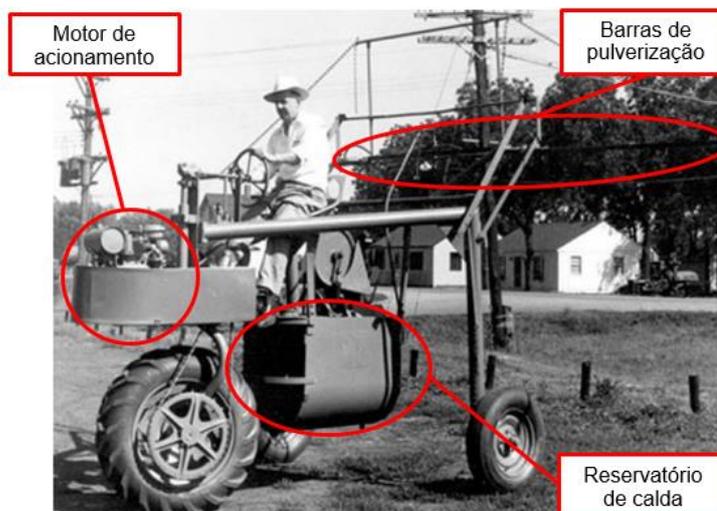
Figura 12 - Pulverizador acoplado ao trator.



Fonte: Cicillini (2016)

Visando desenvolver um equipamento capaz de realizar a aplicação do defensivo químico juntamente com a locomoção do conjunto, desenvolveu-se o denominado pulverizador autopropelido ou autopropulsado. A criação do pulverizador autopropelido se deu nos Estados Unidos por Ray Hagie na década de 1940. Este primeiro produto (Figura 13) era provido de um motor com 8,71 cv, 6 metros de barras e reservatório de calda com capacidade máxima de armazenamento de 454 litros (CASALI, 2015).

Figura 13 - Primeiro pulverizador autopropelido construído no Estados Unidos.



Fonte: Adaptado de Casali (2015)

Analisado o desenvolvimento dos pulverizadores autopropelidos depreende-se que a evolução tecnológica destes componentes é verídica. Aspectos como aumento do tamanho do reservatório de calda, aumento da potência do motor, maior número de rodas tracionadoras, maior comprimento das barras de aplicação, maior número de componentes eletrônicos proporcionando monitoramento instantâneo e controle das operações são encontrados na maioria nestas máquinas, como ilustrado na Figura 14.

Figura 14 – Pulverizador autopropelido.



Fonte: Adaptado de Schlosser (2013)

Máquinas deste porte apresentam alta produtividade para o produtor rural, conseguindo transportar em seu reservatório de calda em torno de 2,5 mil litros, podendo se locomover a uma velocidade de aplicação de até 40 km/h com largura de aplicação por deslocamento de até 27 metros (SCHLOSSER, 2013).

Além dos itens citados anteriormente, estas máquinas são providas de diversos componentes eletrônicos dispostos em várias partes do equipamento, o que proporciona maior controle durante as aplicações. Na Figura 15 observa-se sistemas como GPS, piloto automático, alavanca multifunção e *display* LCD, os quais estão posicionados no interior da cabine da máquina.

Figura 15 - Eletrônica embarcada dentro da cabine do pulverizador autopropelido.



Fonte: (a)(b) Schlosser (2013); (c) Schlosser et al. (2011); (d) Schlosser (2011)

No exterior da cabine encontram-se componentes eletrônicos responsáveis pelo recebimento de sinais, monitoramento de velocidades de deslocamento, dentre outros. Na Figura 16 observam-se exemplos de sistemas instalados na parte externa da cabine.

Figura 16 – (a) Receptor de sinal GPS; (b) Sensor de velocidade.



Fonte: (a) Schlosser (2011); (b) Schlosser (2013)

Sabendo que estas máquinas transitam em terrenos irregulares, é indiscutível que estes sistemas eletrônicos estão expostos constantemente a estresses como vibrações e choques mecânicos. Estas vibrações podem ser causadas pelo funcionamento do motor ou pelas irregularidades do terreno. Sabe-se que a exposição dos sistemas eletrônicos a estes estresses podem causar reduções na sua vida útil (SUN et al., 2009).

## 2.2. SISTEMAS ELETRÔNICOS EMBARCADOS EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS

O desenvolvimento dos componentes eletrônicos se acelerou a partir da década de 1970. Isto se deve principalmente a utilização destes sistemas em produtos da “linha branca”<sup>6</sup> e automóveis. A utilização da eletrônica nos automóveis forneceu uma base para a aplicação dos componentes eletrônicos nas máquinas agrícolas (JONES et al., 1983).

Segundo Balestreire (2000), na década de 1970, a eletrônica embarcada em máquinas agrícolas iniciou sua introdução na agricultura brasileira de maneira discreta devido ao baixo nível de desenvolvimento da eletrônica da época e ao elevado custo dos componentes eletrônicos. No entanto, na década de 1980 já eram percebidas algumas tecnologias e recursos que proporcionavam um maior recurso ao operador, mas que ainda tinham algumas fragilidades e deficiências juntamente com elevado custo de aquisição e manutenção (BUGATTI, 2007).

---

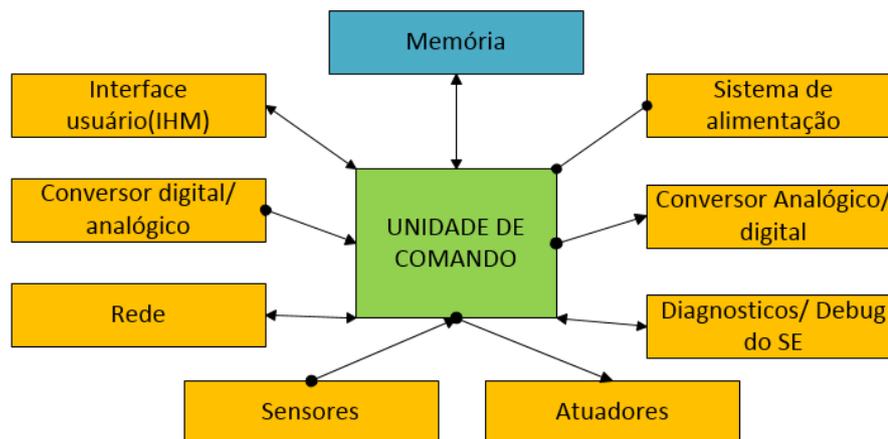
<sup>6</sup> Linha branca é o nome dado aos produtos utilizados na cozinha, como micro-ondas, fornos, batedeiras, dentre outras.

Entre os anos de 1990 e 2000, o avanço da eletrônica e a popularização dos microcontroladores tornaram possível a disseminação da eletrônica embarcada. O uso de controladores eletrônicos em larga escala para monitoramento e controle de equipamentos agrícolas tem se disseminado rapidamente o que de acordo com Baio e Antuniassi (2011), pode ser considerado uma revolução em termos gerenciais e operacionais.

Atualmente, pode se encontrar comumente embarcados em máquinas agrícolas sensores, atuadores, computadores de bordo, softwares e sistemas de informações geográficas via satélite (GPS) que justamente visam o monitoramento, controle e registro de dados adquiridos durante a operação (SARAIVA et al., 2006).

A configuração destes sistemas eletrônicos na maior parte das vezes pode ser representada pelo esquema mostrado na Figura 17.

Figura 17 - Esquema da interface entre os sistemas eletrônicos embarcados em máquinas agrícolas.



Fonte: Adaptado de Delai (2013)

Onde:

- ←→ O fluxo de sinal é simultâneo, para ambos os lados;
- As informações e/ou comandos são enviadas de acordo com o sentido da seta;
- Não existe envio de sinal, somente envio de energia.

A unidade de comando é responsável pela realização de todos os cálculos necessários e tomadas de decisões referente às ações do conjunto. A memória se

encarrega de armazenar as instruções referentes aos procedimentos a serem realizados juntamente com o armazenamento de dados adquiridos durante a operação, e os periféricos são responsáveis por aquisições de dados, intervenções nas operações, alimentação do sistema, entrada e alteração de dados, comunicação com outros sistemas, entre outras funções (DELAÍ, 2013).

No caso específico de máquinas agrícolas, Saraiva et al. (2006) exemplificam a aplicação de sistemas eletrônicos na geração de informações ao operador. No caso relativo a variáveis do motor, os autores citam temperatura, pressão e rotação. Com relação a operação agrícola, velocidade de deslocamento e taxa de semeadura.

Além destes equipamentos utilizados para a verificação das variáveis do funcionamento do motor, atualmente encontram-se embarcados em máquinas agrícolas sistemas eletrônicos encarregados do monitoramento e controle da velocidade e direção de deslocamento, como também monitoramento e controle do posicionamento geográfico espacial e gerenciamento do funcionamento de implementos agrícolas.

O sistema de navegação conta com um conjunto de diversos satélites orbitando no planeta, os quais possibilitam o posicionamento e navegação de qualquer equipamento situado na crosta terrestre. O sistema em questão apresenta uma estrutura composta por três itens básicos: O satélite, o controle e o usuário (SENAR, 2011).

O sistema de posicionamento global (GPS) é um dos sistemas de navegação por satélite que objetiva obter a localização exata de um objeto em qualquer horário ou condição climática. Estes sistemas são utilizados no campo para garantir a exata aplicação de agrotóxicos, semeadura e/ou colheita evitando perdas nas operações através de sobreposições das passadas ou falhas (CARVALHO e ARAUJO, 2009).

Os GPS são apresentados em diversas configurações, no entanto na maior parte das vezes estes sistemas são compostos por itens como monitor LCD, antena e receptor, cabos, conectores e acessórios<sup>7</sup> (Figura 18).

---

<sup>7</sup> Os acessórios são itens como, sistemas de fixação, dentre outros.

Figura 18 – Alguns componentes dos GPS: (a) Antena receptora; (b) monitor LCD.

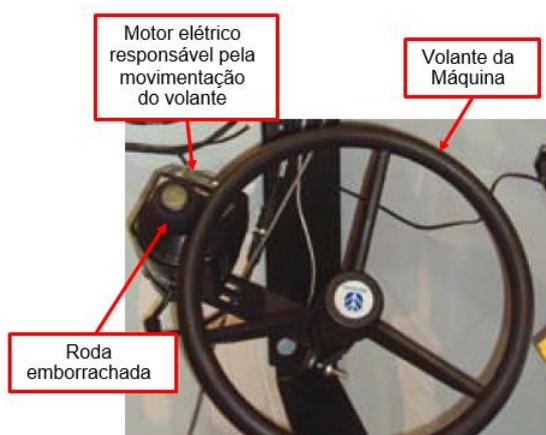


Fonte: SENAR (2011)

O sistema de piloto automático objetiva a realização do direcionamento automático da máquina e/ou a regulação da velocidade de deslocamento (BAIO, 2013). Os pilotos automáticos podem ser apresentados em diferentes configurações, tais como: elétrico, eletromecânico e hidráulico.

O piloto automático elétrico é um equipamento que possui uma roda emborrachada diretamente no eixo de um motor elétrico de passo. O funcionamento baseia-se no contato da roda emborrachada com o volante da máquina agrícola (Figura 19). Este sistema é bastante simples, no entanto não deixa de ser eficaz. Possui como principal vantagem a fácil adaptação na grande maioria das máquinas agrícolas (BAIO, 2013).

Figura 19 - Piloto automático elétrico.



Fonte: New Holland (2011)

O piloto automático eletromecânico é um componente no qual a instalação é realizada junto à coluna de direção da máquina agrícola (Figura 20). Diferentemente do sistema mostrado no item anterior, este sistema utiliza um motor elétrico acoplado na coluna de direção. A vantagem deste sistema está no enclausuramento de todos os mecanismos moveis.

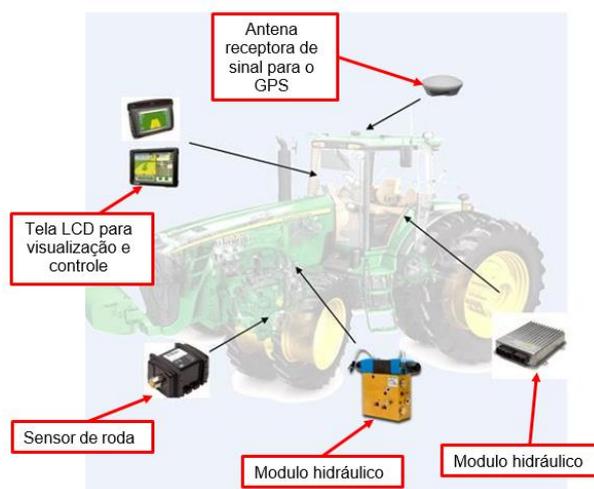
Figura 20 - Piloto automático eletromecânico.



Fonte: New Holland (2018)

O piloto automático hidráulico é um sistema de direcionamento integrado ao sistema de direção da máquina agrícola. Este atua diretamente na válvula responsável por regular o fluxo de óleo do pistão da direção (Figura 21). Tais sistemas proporcionam rápida resposta no direcionamento em relação aos outros modelos. (BAIO, 2013).

Figura 21 - Piloto automático hidráulico.



Fonte: Geo Agri (2016)

### 2.3. NORMALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE VIBRAÇÃO E CHOQUES MECÂNICOS

Todo produto industrial exige a necessidade da constatação de falhas de processos ou produtos antes e posteriormente ao lançamento no mercado. Um método utilizado para validar o tempo de vida útil de um produto qualquer é o teste de vida acelerada, o qual visa reproduzir e expor o produto ensaiado a situações semelhantes às enfrentadas cotidianamente.

Naturalmente, para a realização de um ensaio ter validade perante as leis vigentes, é necessário que a metodologia utilizada siga uma norma específica para o tipo de ensaio.

Atualmente existem uma grande variedade de normas vigentes, as quais são elaborados por órgãos como ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), ASABE (*American Society of Agricultural and Biological Engineers*), AISI (*American Iron and Steel Institute*), ISO (*International Organization for Standardization*), JEDEC (*Joint Electron Device Engineering Council*), dentre outros.

As normas orientam como os ensaios devem ser realizados e quais os parâmetros ambientais devem ser controlados e/ou monitorados durante o período de realização dos ensaios.

No caso de testes de vibrações para componentes eletrônicos, a norma elaborada pelo JEDEC, classifica os componentes eletrônicos de acordo com a sua utilização e nível de estresse ao qual estão expostos.

A confiabilidade de juntas soldadas de placas eletrônicas, classificam-se em três classes. A classe 1 refere-se a produtos eletrônicos em geral, os quais possuem baixa ameaça de falha. A classe 2 abrange produtos eletrônicos industriais que caso a solda venha a falhar, causará o impedimento do funcionamento. Por fim, a classe 3 trata sobre os produtos de alta performance, nos quais se a solda dos componentes eletrônicos falharem além da interrupção do funcionamento, o operador do equipamento terá sua vida colocada em risco (HNATEK, 2003).

Também segundo Hnatek (2003) os produtos da classe 1 tem normalmente uma vida útil curta, variando de 2 a 3 anos. Já os produtos pertencentes às classes 2 e 3 são desenvolvidos para desempenharem uma vida mais longa, chegando em alguns casos a 20 anos.

Após realizada a pesquisa em diversos bancos de dados da área, nota-se a carência ao tratar-se de normas específicas para componentes eletrônicos

embarcados em máquinas agrícolas, considerando choques mecânicos nos testes. Desta maneira, na maior parte das vezes a avaliação destes componentes fica a cargo de cada fabricante. Assim, cada fabricante planeja e executa seus testes estipulando os níveis de confiabilidade dos seus sistemas.

A norma denominada JESD22-B103B (*Revision of JESD22-B103-A*) – *Vibration, Variable Frequency*, elaborada pela instituição JEDEC *Global Standardization for the Microelectronics Industry*, descreve a metodologia que deve ser seguida para a realização de testes em componentes eletrônicos expostos a vibrações mecânicas de um modo geral, classificando apenas de acordo com o nível de estresse ao qual o componente está submetido.

#### 2.4. VIBRAÇÕES E CHOQUES EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Toda máquina na qual sua potência é originada por motor a combustão interna é exposta constantemente a diversos níveis de vibração. Isto normalmente ocorre devido ao movimento giratório das partes internas do motor e caixa de transmissão, além das vibrações causadas pelas irregularidades do terreno. Nas máquinas agrícolas estas vibrações são descritas como senoidais e aleatórias (PRASAD et al., 1995).

Conforme descrito por Roth (2010), as vibrações senoidais são de natureza regular e previsíveis, normalmente geradas pelo motor e sistema de transmissão. Este tipo de vibração apresenta frequência e amplitude constante, como se observa na

Figura 22.

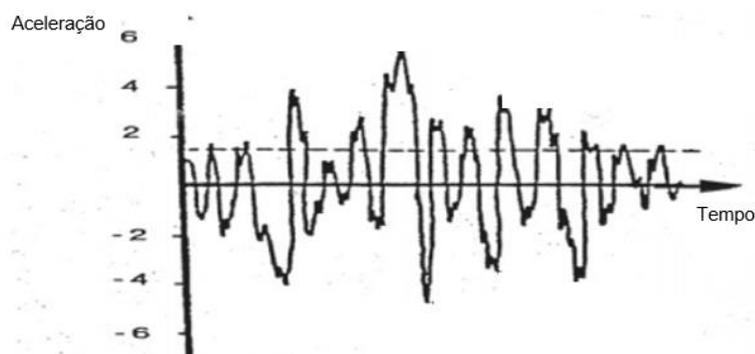
Figura 22 - Frequência constante – onda senoidal.



FONTE: Roth (2010)

Roth (2010) também relata que as vibrações aleatórias ou choques mecânicos são irregulares e imprevisíveis (Figura 23), e são proporcionadas pelas irregularidades do terreno onde as máquinas agrícolas se movimentam.

Figura 23 - Frequências aleatórias.



FONTE: Roth (2010)

Devido à variedade de vibrações que uma máquina agrícola está exposta, pode-se dizer que existem dois tipos principais de vibrações: as retilíneas e as rotacionais (SANTOS, 2002). As vibrações retilíneas são aquelas que causam um deslocamento no sentido vertical ou horizontal, já as vibrações rotacionais são aquelas causadas principalmente por desnivelamento brusco no terreno onde transitam as máquinas agrícolas (Figura 24) (FRANCHINI, 2007).

Figura 24 - Vibrações rotacionais atuantes em um trator agrícola.



Fonte: Adaptado de John Deere (2016)

Franchini (2007) também constatou em seu trabalho que as intensidades das vibrações em máquinas agrícolas são diretamente dependentes de variáveis como velocidade de deslocamento, pressão de insuflagem dos pneus, e das irregularidades do terreno no qual as máquinas agrícolas transitam. Franchini (2007) testou diversas combinações das variáveis citadas anteriormente visando justamente realizar a medição dos valores de intensidades das vibrações em dois pontos no interior da cabine de um trator agrícola.

Sabendo que os sistemas eletrônicos embarcados em máquinas agrícolas estão na maior parte das vezes instalados dentro da cabine de operação, os resultados obtidos por Franchini (2007) referente às intensidades de vibrações na base do assento do operador são importantes para o desenvolvimento deste trabalho.

Segundo Franchini (2007), a medição na posição comentada anteriormente foi realizada através da instalação de um acelerômetro, o qual registrou variação máxima de pico a pico de aproximadamente 1G no eixo z.

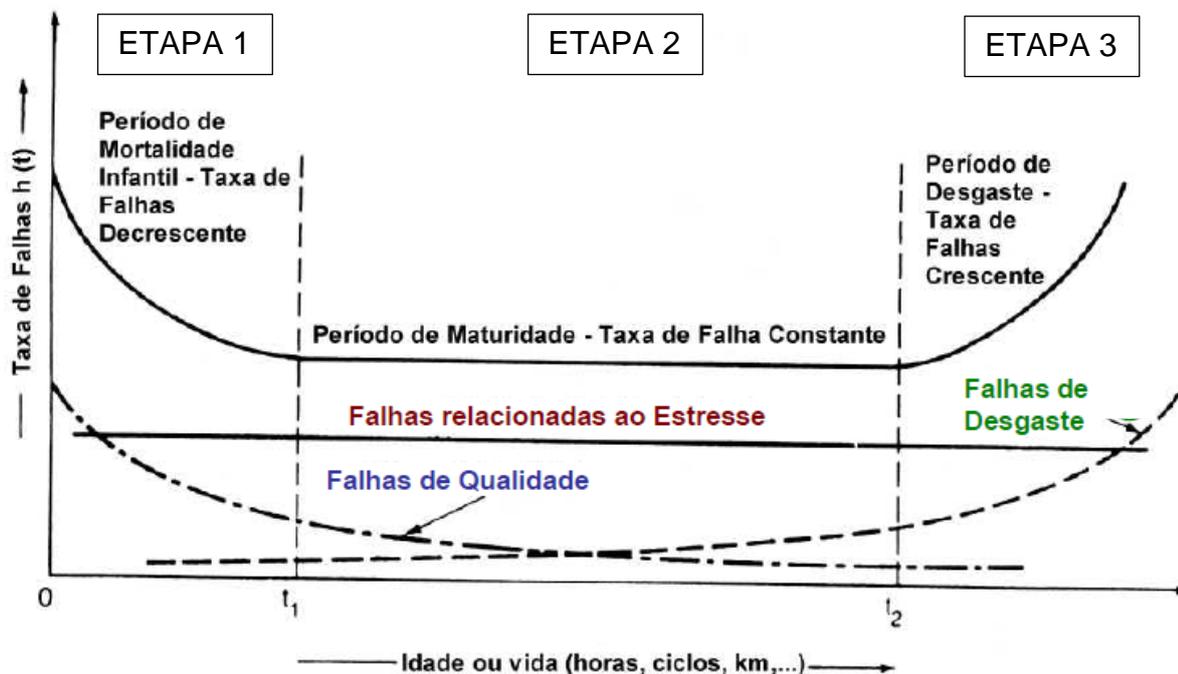
## 2.5. CONFIABILIDADE

Atualmente, com a concorrência mercadológica de sistemas eletrônicos, uma das características que os diferencia é a confiabilidade. Tal característica é apresentada na indústria com sendo um elemento essencial para sucesso de um produto (DIAS et al., 2013).

No processo de desenvolvimento de um produto eletrônico, é normal a existência de uma ou mais fases que se preocupam com a análise da confiabilidade do produto. Nesta análise são inseridos diversos aspectos de projeto, desde as propriedades mecânicas dos materiais utilizados quanto a disposição de montagem e interação dos componentes entre si (DIAS et al., 2013).

Sabe-se que os estudos sobre o comportamento da vida de um produto não é algo recente, tendo o início nos anos 50, quando Clifford M. Ryerson, baseado em dados reais coletados em diversas empresas, elaborou a denominada curva da banheira (Figura 25), curva esta que representa a relação entre a taxa de falhas e o tempo de vida útil (LUCA, 2004).

Figura 25 - Curva da banheira.



Fonte: Adaptado de Luca (2004)

No Quadro 1 observa-se a relação entre os tipos de falhas com o período da vida de um produto.

Quadro 1 - Análise da curva da banheira.

PERÍODO	TIPO DE FALHA		
	Falhas de qualidade	Falhas devidas ao estresse	Falhas devidas ao desgaste
<b>Mortalidade infantil</b>	Alta e Decrescente	Constante	Desprezível
<b>Maturidade</b>	Decrescente	Constante	Crescente
<b>Desgaste</b>	Pequena	Constante	Crescente

Fonte: Bonaldo (2014)

Na Figura 25 observa-se que basicamente a vida útil de um produto se divide em 3 etapas, sendo elas: Mortalidade infantil, Maturidade e Desgaste. Na primeira etapa as falhas tendem a diminuir com o passar do tempo e as principais causas são problemas de fabricação e baixo nível de controle da qualidade. Na segunda etapa, o número de ocorrências das falhas tende a permanecer estável com o decorrer do tempo. Destacam-se como causas destas falhas a sobrecarga do produto, o nível de

estresse que o produto está exposto, o baixo coeficiente de segurança e as cargas maiores do que o esperado. Por fim, a última etapa mostra que o número de ocorrências de falhas tende a crescer continuamente (LUCA, 2004). Sabe-se que neste período as falhas são ocasionadas principalmente pela deterioração<sup>8</sup> dos componentes (KECECIOGLU, 2002).

Com isso afirma-se que a análise desta curva mostra o comportamento da vida de um produto, identificando qual das fases no decorrer da utilização do produto são críticas e em que momento provavelmente o mesmo desempenhará um resultado satisfatório.

Sabendo-se que a satisfação de desempenho de um produto é uma “sensação” que pode ser interpretada de diferentes maneiras, Elsayed (1996) apresenta alguns elementos que visam definir a confiabilidade de um produto:

- Desempenho;
- Durabilidade;
- Manutenibilidade;
- Estética;
- Características;
- Qualidade;
- Conformidade com o projeto.

Todo e qualquer produto, quando desenvolvido, em determinado período da macrofase projeção é definida sua função global juntamente com as funções elementares (ROMANO, 2003). Neste caso não será considerada como falha prematura aquela que ocorrer com o produto exercendo uma operação na qual não está englobada na sua função global.

Ao realizar o desenvolvimento de um produto, são especificadas as condições de operação ao qual o produto deverá realizar suas operações. Se o produto vier a falhar operando dentro destas condições, significará que o mesmo apresenta uma baixa confiabilidade (DIAS et al., 2013).

---

<sup>8</sup> Esta deterioração ocorre pelo envelhecimento, corrosão e oxidação dos materiais utilizados na fabricação dos componentes.

A definição de desempenho satisfatório de um produto poderá ser baseada na função global e nas funções elementares do produto. A satisfação será total quando o produto desempenhar plenamente a função global a qual foi projetado (BERGAMO, 1997).

Naturalmente, assim como todos os objetos da natureza, os produtos desenvolvidos em projetos são providos de uma vida útil, ou seja, sua operação com desempenho satisfatório será realizada somente por um determinado período de tempo (DIAS et al., 2013).

A análise do desempenho é apresentada por meio da confiabilidade do produto. Segundo Assis (1997), a confiabilidade pode ser expressa através da taxa de falha  $F(t)$  e a taxa de sobrevivência  $R(t)$ . Tais indicadores representam primeiramente o quociente do número de componentes que apresentaram falhas pelo número de componentes que não falharam. Isso indicará qual a probabilidade de o componente vir a falhar durante operação em determinado período de tempo baseado no resultado da taxa de falha. Em segundo momento trata-se da taxa de sobrevivência, a qual apresenta o quociente entre o número de componentes que não falharam pelo número de componentes total utilizado nos testes. A taxa de sobrevivência indica qual a taxa de itens que sobreviveram aos testes durante período de tempo dos testes.

A taxa de falha e a taxa de sobrevivência são apresentados pelas equações (1) e (2), respectivamente:

$$F(t) = \frac{N_{F(t)}}{N_{0(t)}} \quad (1)$$

$$R(t) = \frac{N_{S(t)}}{N_0} \quad (2)$$

Onde:

$N_{F(t)}$  = Número de componentes que falharam durante o período de tempo dos testes;

$N_{S(t)}$  = Número de componentes que não apresentaram falhas durante o mesmo período de tempo.

$N_0$  = Número de componentes total utilizado nos testes.

Quando se analisa as funções da taxa de falha juntamente com função da taxa de sobrevivência pode-se observar que a medida que uma curva decresce a outra curva cresce.

Segundo Oliveira (2012), quando os componentes testados apresentam uma mesma distribuição, pode-se expressar esta relação pela equação (3).

$$F(t) + R(t) = 1 \quad (3)$$

A determinação da vida útil de um produto é estimada durante o desenvolvimento do projeto. No entanto, também existem técnicas utilizadas para comprovação e constatação da vida destes produtos como observa-se no Quadro 2.

Quadro 2 - Comparação entre técnicas de ensaios.

<b>Técnica</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Estresse</b>	<b>Abrangência</b>	<b>Duração dos testes</b>
AST	Identificar modos de falhas	-	Amostral	Fixa
ALT	Identificar tempos para falhas	-	Amostral	Indeterminada
HAST	Identificar modos de falhas em componentes	Umidade e Temperatura	Amostral	Fixa
HALT	Identificar modos de falhas	Degrau	Amostral	Indeterminada
HASS	Triagem	-	Total	Fixa
HASA	Auditoria/Verificação	-	Amostral	Fixa
ESS	Triagem	Temperatura constante	Total	Fixa
<i>Burn-in</i>	Triagem	Temperatura constante	Total	Fixa ou Indeterminada

Fonte: Luca (2004)

O teste de estresse acelerado (AST) é a técnica de aplicar um alto nível de estresse por um curto período de tempo pré-definido a um componente qualquer. Esta técnica tem como objetivo a identificação dos possíveis modos de falhas que o produto poderá apresentar durante sua vida útil (THERMOTRON, 1998).

O teste de vida acelerada (ALT) consiste na técnica de aplicar um alto nível de estresse a um produto até que o mesmo venha à apresentar algum tipo de falha. Através da aplicação desta técnica é possível determinar o tempo médio entre falhas (MTBF) e o tempo médio até a falha (MTTF) (LUCA, 2004).

O teste de estresse altamente acelerado (HAST) é uma técnica onde são aplicados ao produto estresses simultâneos em níveis elevados. Normalmente nestes testes são aplicados estresses como ciclagem térmica, alta umidade ambiental e variação de pressão. Os níveis de aplicação desta técnica geralmente excedem os limites de projetos dos produtos testados (LUCA, 2004).

O teste de vida altamente acelerada (HALT) é uma técnica que visa a exposição de um produto a vários estresses simultaneamente em níveis elevados. Os resultados obtidos nos testes são utilizados para determinar a robustez<sup>9</sup> visando aumentar o tempo de vida útil do produto (HSU et al., 2012).

A triagem de estresse altamente acelerado (HASS) é uma técnica onde o componente testado é exposto a estresse com limites abaixo dos limites destrutivos. Estes testes são aplicados por período de tempo ou número de ciclos pré-determinados em normalmente 100% dos produtos. O objetivo principal deste teste é realizar a identificação de produtos defeituosos na linha de montagem (LUCA, 2004).

A auditoria por estresse altamente acelerado (HASA) é uma técnica similar ao HASS, no entanto nesta técnica os testes são realizados em amostras escolhidas por meio de análises estatísticas.

A triagem de estresse ambiental (ESS) é um teste que envolve a aplicação de estresses ambientais para produtos de forma acelerada. Normalmente este tipo de teste é realizado em sistemas eletrônicos ou eletromecânicos. Estes testes incluem ciclagem térmica, vibração aleatória e tensões elétricas. Esta técnica objetiva a identificação de defeitos latentes que não poderão ser visualizados ou detectados eletricamente (VASSILIOU e METTAS, 2002).

*Burn-in* ou teste de queima é considerado por muitos um caso especial do ESS. O objetivo desta técnica é a detecção de defeitos ocasionados por falhas durante o processo de fabricação, o que normalmente causa aos produtos tempo de vida útil variável de acordo com o estresse aplicado (VASSILIOU e METTAS, 2002).

---

<sup>9</sup> A expressão robustez neste trabalho é utilizada representando um produto forte, robusto e resistente a falhas.

Tendo em vista que os principais estresses sofridos pelos componentes eletrônicos embarcados em máquinas agrícolas são as vibrações e os choques mecânicos, sabe-se que a realização dos testes de durabilidade nestes componentes levará a estimativa de sua vida útil. Para que esta estimativa seja válida é necessária a utilização da técnica de teste adequada para a devida situação.

Sabendo-se que os estresses tratados neste trabalho são as vibrações e os choques mecânicos, e que o objetivo dos testes é determinar o tempo de falha do componente, definiu-se após análise das técnicas citadas anteriormente que a mais adequada para esta situação é o ALT. Esta técnica como falado é responsável por expor os componentes testados a níveis elevados de estresse até que uma falha ocorra.

## 2.6. TESTES DE VIDA ACELERADA

Os testes de vida acelerada são ensaios que, por meio da exposição de um corpo de teste a elevados níveis de estresse, faz com que a vida útil deste seja reduzida. O principal objetivo desta exposição é determinar a vida útil do produto e detectar as falhas que o produto possa vir a apresentar durante a operação em níveis de estresse normal (FELIX, 2006).

A maioria dos produtos são desenvolvidos para ter uma longa vida útil. Por este motivo, muitas vezes torna-se difícil estimar a distribuição dos tempos até a ocorrência de alguma falha no desempenho do produto ao longo de sua vida útil sem a utilização de alguma ferramenta responsável pela aceleração deste período (FELIX, 2006; VASSILIOU e METTAS, 2002).

De acordo com Raheja e Gullo (2012, p.169, tradução nossa), a definição de testes de vida acelerada é

...um método utilizado para a rápida aceleração da precipitação e detecção de mecanismos de falha, defeitos latentes de fabricação, e pontos fracos do projeto ao longo do tempo.

Os resultados destes testes de vida acelerada são utilizados como importante informação para demonstrar a confiabilidade dos componentes ou sistemas testados, além de detectar possíveis modos de falhas não observados nas fases de projeção do produto (FELIX, 2006).

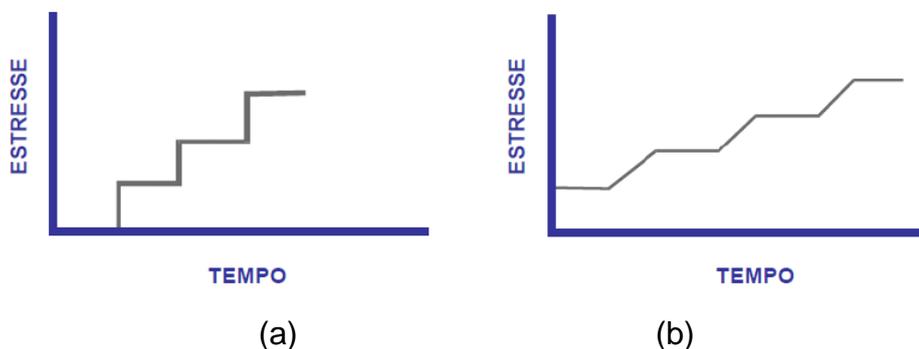
Uma particularidade dos testes de vida acelerada é a realização de testes com somente um estresse atuante <sup>10</sup> no produto ou com diferentes estresses simultaneamente<sup>11</sup> durante o mesmo teste. Isso permite a reprodução aproximada do ambiente real em que o componente ou sistema estará inserido durante sua operação. No entanto, segundo RELIASOFT CORPORATION (2003 *apud* LUCA, 2004, p.48) para a aplicação deste método

...uma atenção deve ser dada ao carregamento de estresse. Diferentes tipos de carregamentos podem ser considerados e a sua classificação pode ser feita de acordo com a dependência do estresse em relação ao tempo. Sob este aspecto, existem dois esquemas possíveis de carregamentos: Carregamentos em que o estresse é dependente do tempo e carregamentos no qual o estresse é independente do tempo. O tratamento matemático, modelos e suposições variam de acordo com a relação entre estresse e tempo.

Pode-se dizer que quando o estresse simulado depende do tempo, todos os possíveis modos de falhas e nível de estresse têm uma ligação direta com o tempo e consequentemente terão variações ao longo do teste. No entanto, esta dependência pode ocorrer parcialmente ou continuamente (LUCA, 2004).

Quando o carregamento depende parcialmente do tempo pode-se observar que o mesmo se mantém constante por um instante de tempo e logo sofre uma alteração para um próximo nível de estresse (Figura 26).

Figura 26 – Tipos de cargas: (a) carga constante em etapas; (b) carga variável.



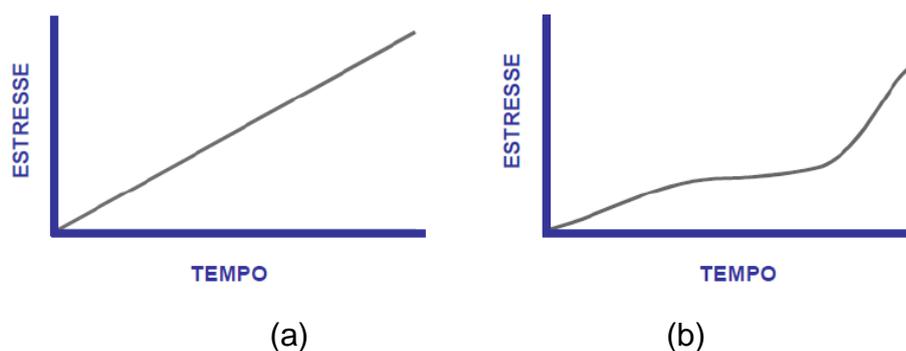
Fonte: Luca (2004)

<sup>10</sup> Um estresse atuante refere-se à exposição do corpo de teste a um tipo de estresse por vezes durante a realização do teste.

<sup>11</sup> Diferentes estresses simultaneamente referem-se à exposição do corpo de prova a diferentes tipos de estresse ao mesmo tempo.

Quando se trata do carregamento dependendo continuamente do tempo pode-se observar na Figura 27 a contínua variação do nível de estresse em que o produto está submetido.

Figura 27 – Tipos de cargas crescentes: (a) constante; (b) variável



Fonte: Luca (2004)

Quando se aplica as técnicas de teste de vida acelerada em um produto, comumente não se consegue fazer com que todas os componentes venham a falhar no mesmo instante. Isto acontece devido ao número e à variedade de componentes ou peças em um mesmo produto. Quando maior for este número, geralmente maior será a disparidade entre os tempos de falhas<sup>12</sup>. Então, sempre ocorrerá uma falha de unidade antes da outra, acarretando na chamada sobrevivência de componentes.

A duração de um teste de vida acelerada é dada pelo tipo de censura<sup>13</sup> definida. Estes tipos são divididos de duas maneiras distintas como mostrado abaixo:

- O primeiro tipo de censura requer que o teste tenha sua duração por um período de tempo pré-determinado. Durante este tipo de teste faz-se os testes em um número  $n$  de componentes ou sistemas por um determinado intervalo de tempo  $t$ . Durante o decorrer do tempo de teste registra-se todos os tempos-até-falha das unidades que virem a falhar. Pode-se dizer que o número de unidades que falharão é uma variável aleatória, pois depende do tempo de teste e do nível de estresse a que os sistemas estão submetidos durante o teste (ELSAYED, 1996).
- No segundo tipo de censura, são colocados um número qualquer de sistemas ou componentes para teste, os quais serão testados até que seja atingindo um número

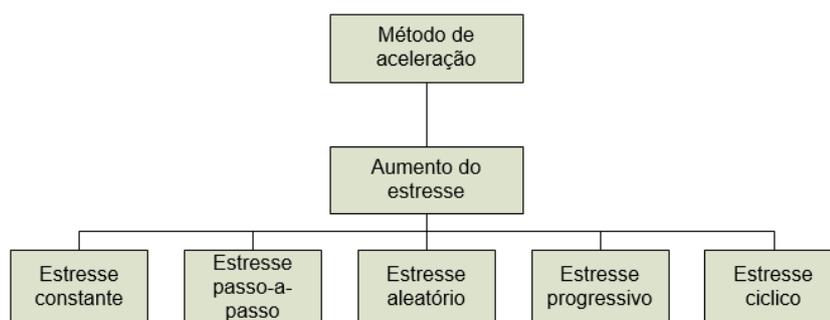
<sup>12</sup> Este tempo de falhas é o tempo entre a primeira e a última falha de unidade ocorrida.

<sup>13</sup> Tipo de censura é a definição do tempo de duração do teste.

pré-determinado de falhas. Conseqüentemente neste caso o tempo até a falha ocorrer em cada sistema ou componente testado é uma variável dependente da duração do teste e do nível de estresse aplicado (ELSAYED, 1996).

Além da definição do tipo de censura, para um teste de vida acelerada é fundamental a aplicação de algum tipo de método de aceleração objetivando acelerar a vida útil do sistema testado. Existem vários tipos de métodos de aceleração, dentre os quais elenca-se o aumento do estresse (Figura 28) como sendo o indicado para os testes de vida acelerado com aplicação dos estresses vibrações e choques mecânicos (YANG, 2007).

Figura 28 - Método de aceleração – Aumento de estresse.



Fonte: Adaptado de Yang (2007)

De acordo com Yang (2007), o aumento de estresse é o mais comum e utilizado, baseando-se no aumento do nível de estresse aplicado ao sistema se comparado com os níveis normais de trabalho. Pode-se utilizar esta metodologia para tais tipos de estresse: temperatura<sup>14</sup>; ciclagem térmico<sup>15</sup>; umidade<sup>16</sup>; radiação eletromagnética, cósmica ou nuclear<sup>17</sup>; tensão elétrica<sup>18</sup>; corrente elétrica<sup>19</sup>; vibração e choque mecânico<sup>20</sup>.

<sup>14</sup> Temperatura: são aplicações de elevados ou baixos níveis de temperatura durante determinado período de tempo.

<sup>15</sup> Ciclagem térmica: são aplicações de variações de temperatura, ou seja, determinado período de tempo com temperatura alta e determinado período de tempo com temperatura baixa.

<sup>16</sup> Umidade: Exposição de um sistema a ambiente com alto nível de umidade.

<sup>17</sup> Radiação: Aplicações de níveis elevados de radiações durante determinado nível de tempo.

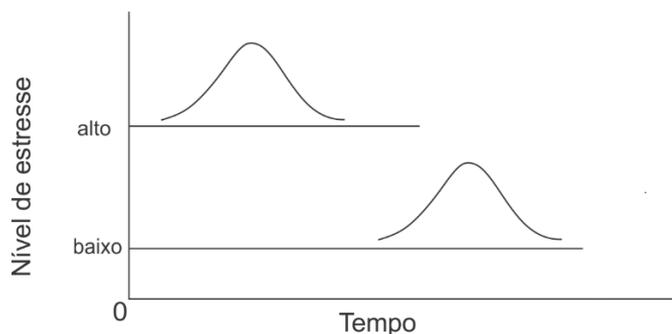
<sup>18</sup> Tensão elétrica: Aplicações de transientes de tensões por determinado período de tempo.

<sup>19</sup> Corrente Elétrica: Aplicações de níveis elevados de corrente elétrica durante determinado período de tempo.

<sup>20</sup> Vibrações e choques mecânicos: Aplicações de combinações de vibrações com frequência fixa e choques mecânicos em níveis elevados por determinado período de tempo.

Dentre deste método ainda pode-se realizar a aplicação do estresse ao sistema testado de cinco formas distintas. A primeira forma é baseada no nível de estresse constante, onde durante todo o intervalo de testes mantêm-se constante os parâmetros de teste (Figura 29) (YANG, 2007).

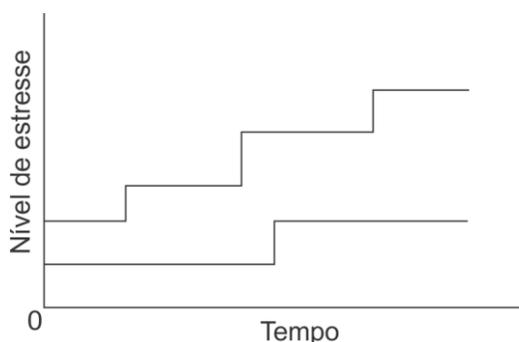
Figura 29 - Estresse constante.



Fonte: Yang (2007)

A segunda forma é o estresse passo-a-passo, onde os níveis e a duração de cada estresse utilizado durante o teste são definidos anteriormente ao início dos testes. Durante o teste, é aplicado um nível de estresse constante por um intervalo de tempo predefinido, fazendo com que a representação gráfica deste método se assemelhe a uma escada (Figura 30) (YANG, 2007).

Figura 30 - Estresse passo-a-passo.

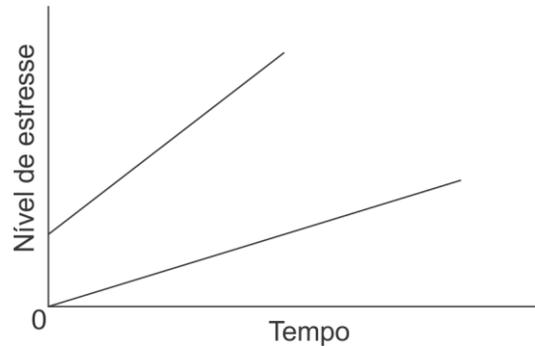


Fonte: Yang (2007)

Na terceira forma apresenta-se o estresse progressivo, onde o nível de estresse aumenta constantemente até o limite definido para o teste, como pode-se

observar na Figura 31, podendo ser este limite especificado de acordo com o número de falhas ocorrentes ou pela especificação do produto testado (YANG, 2007).

Figura 31 - Estresse constante.

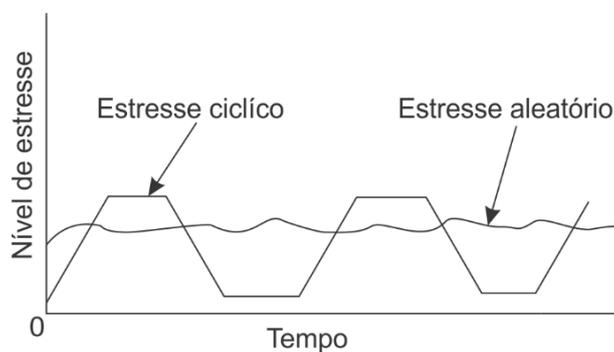


Fonte: Yang (2007)

A quarta forma é o estresse cíclico, no qual o nível de estresse se alterna entre máximos e mínimos em tempo determinados (Figura 32). Utiliza-se este tipo de estresse para representação de ciclagem de temperatura e vibrações constantes (YANG, 2007).

Por fim, é mostrado o estresse aleatório, onde os níveis de estresse aplicado ao sistema não seguem um parâmetro constante como observa-se na Figura 32. Neste caso um exemplo usualmente utilizado são as vibrações aleatórias (YANG, 2007).

Figura 32 - Estresse cíclico e aleatório.



Fonte: Yang (2007)

### 2.6.1. Fator e modelo de aceleração

A determinação do fator de aceleração é imprescindível para a correta aplicação dos testes de vida acelerada (ALT) (YANG, 2007). Como citado por Moura (1992, *apud* FELIX 2006), a definição do fator de aceleração é dada como sendo a razão entre o percentual de falhas da distribuição de vida nas condições aceleradas e a mesma porcentagem pelos mesmos mecanismos nas condições normais de utilização.

Desta maneira, pode-se obter o valor responsável por representar o fator de aceleração através do quociente do tempo médio até a falha em condições normais pelo tempo médio até a falha em condições de estresse acelerado, como observado na equação (4).

$$FA = \frac{MTTF_{\text{Condições normais}}}{MTTF_{\text{Condições aceleradas}}} = \frac{L_{\text{normais}}}{L_{\text{acelerados}}} = \left( \frac{V_{\text{acelerados}}}{V_{\text{normais}}} \right)^n = \frac{\frac{1}{KV_{\text{normais}}^n}}{\frac{1}{KV_{\text{acelerados}}^n}} \quad (4)$$

Onde:

$FA$  = Fator de aceleração;

$MTTF_{\text{Condições normais}}$  = Tempo médio até a falha em condições normais;

$MTTF_{\text{Condições aceleradas}}$  = Tempo médio até a falha em condições aceleradas;

$L_{\text{normais}}$  = Tempo médio de vida normal do componente/produto testado;

$L_{\text{acelerados}}$  = Tempo médio de vida acelerada do componente/produto testado;

$V_{\text{acelerados}}$  = Nível de estresse acelerado;

$V_{\text{normais}}$  = Nível de estresse normal;

$L$  = Tempo médio de vida do componente/produto testado;

$V$  = Nível de estresse;

$K$  = Parâmetro a ser determinado ( $K > 0$ );

$n$  = Parâmetro a ser determinado

Os modelos de aceleração são definidos pelo tipo de estresse ao qual deseja-se realizar os testes de vida acelerada. Segundo Nelson (2005), existem diversos modelos passíveis de utilização, como observado no Quadro 3.

Quadro 3 - Exemplo de modelos de relacionamento vida-estresse.

<b>Tipo de estresse de aceleração</b>	<b>Modelo de relacionamento</b>
Temperatura	Arrhenius
Temperatura para degradações químicas	Eyring
Fadiga de materiais sujeitos a ciclos térmicos	Coffin-Manson
Não-térmicos	Inverse Power Law
Temperatura-umidade	Peck
Temperatura-estresse elástico	Zhurkov

Fonte: Nelson (2005)

A existência de uma variedade de modelos de aceleração viabiliza a descrição de diversos fenômenos naturais, tais como os terremotos, juntamente com a descrição de modos de falhas de produtos submetidos a testes de vida aceleradas. No caso do modelo da Lei da Potência Inversa é possível descrever falhas em equipamentos em geral (CLAUSET et al., 2009; NEWMAN, 2005). No entanto, segundo Bonaldo et al. (2015), este modelo tem um ótimo desempenho quando se tem como principal modo de falha a fadiga dos componentes. Conseqüentemente, este modelo não deve ser utilizado para estresse do tipo térmico.

Com a utilização deste modelo é possível a determinação do tempo, número de ciclos ou até mesmo o número de falhas que um produto apresentará quando solicitado a um determinado estresse por um determinado período de tempo (KECECIOGLU, 2002).

Neste modelo utiliza-se a tensão elétrica como uma das principais variáveis de aceleração do teste (NELSON, 2005). Utiliza-se comumente este modelo para descrever o comportamento de sistemas eletrônicos expostos a estresses como vibrações e choques mecânicos.

O modelo da lei da potência inversa é dado pela equação (5), onde a vida do componente/produto ( $L$ ) é inversamente proporcional ao nível de estresse ( $V$ ) elevado na potência ( $n$ ). Este expoente ( $n$ ) depende expressamente do tipo de produto ou material testado. A constante  $K$  depende expressamente dos parâmetros de teste.

$$L(V) = \frac{1}{KV^n} \quad (5)$$

Onde:

$L$  = Tempo médio de vida do componente/produto testado;

$V$  = nível de estresse;

$K$  = parâmetro a ser determinado ( $K > 0$ );

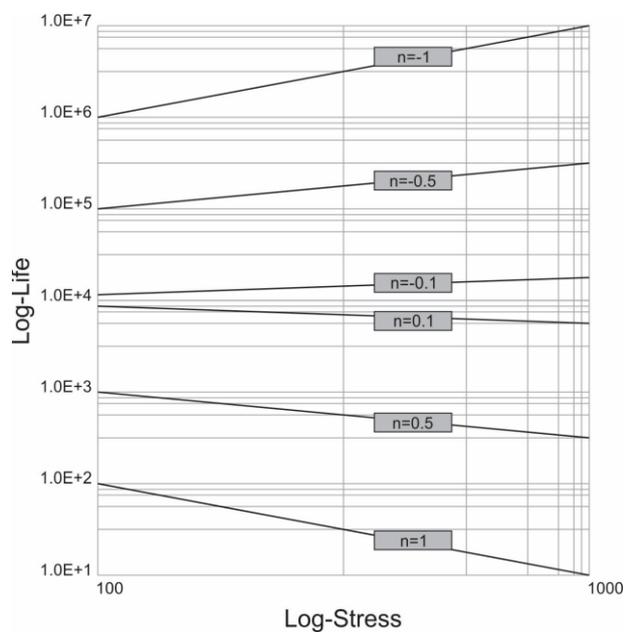
$n$  = parâmetro a ser determinado.

O parâmetro  $n$  da equação (5) é definido segundo Bonaldo et. al (2015) como

...a medida do efeito do estresse no tempo de vida do produto. A medida que o valor de  $n$  aumenta, maior será o efeito do estresse sobre a vida do produto. Valores negativos de  $n$  indicam um aumento da vida do produto. Com  $n = 0$  tem-se o mínimo efeito do estresse sobre a vida do produto.

Na Figura 33 é mostrado a variação da vida útil de um produto de acordo com a variação de diversos valores de  $n$ .

Figura 33 - Vida versus estresse com diversos valores de  $n$ .



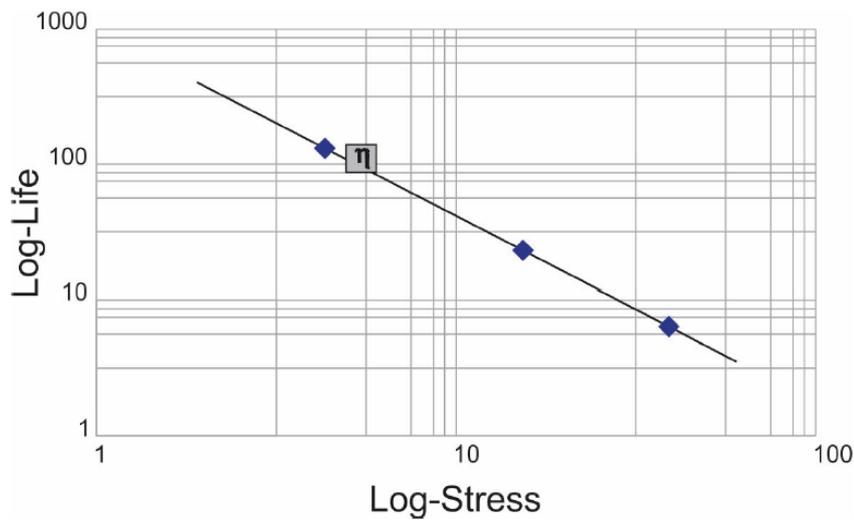
Fonte: Bonaldo et al. (2015)

De acordo com Bonaldo et al. (2015) através da equação (6) pode-se obter o gráfico *log-life versus log-stress* (Figura 34) que representa a lei da potência inversa.

$$\ln(L) = -\ln(K) - n \ln(V) \quad (6)$$

Para a determinação dos coeficientes  $K$  e  $n$ , o método mais simples é plotagem do gráfico *log-life*<sup>21</sup> versus *log-stress* (Figura 34) no qual através do cruzamento de pontos realiza-se a obtenção destes valores acima citados.

Figura 34 - Gráfico do tempo de vida versus o nível de estresse aplicado.



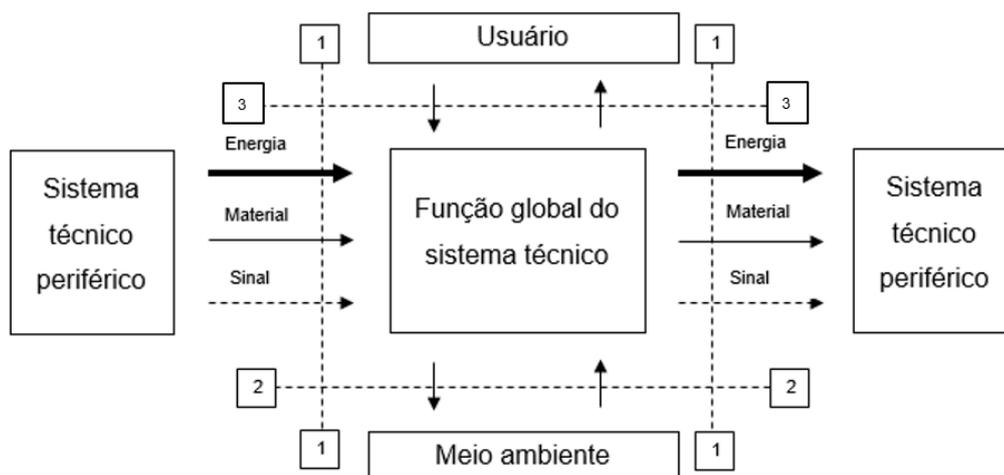
Fonte: Bonaldo et al. (2015)

## 2.7. ANÁLISE FUNCIONAL DE SISTEMAS

De acordo com Back et al. (2008), a análise funcional é responsável pela identificação da função global de um sistema, juntamente com a elaboração de uma estrutura ou fluxo de funções ou processos dos quais pode ser fazer uso para criar princípios de soluções para cada função como mostrado na Figura 35.

<sup>21</sup> Gráfico em escala logarítmica que apresenta a relação entre a vida do componente/produto e o nível de estresse a que ele está submetido.

Figura 35 - Formulação da função global do sistema

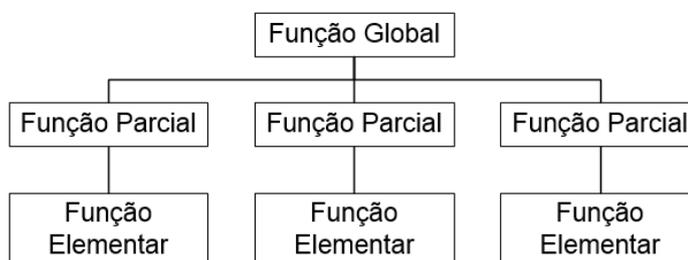


Fonte: Back et al. (2008)

O esquema mostrado na Figura 35 também é responsável por apresentar todo o fluxo de energia<sup>22</sup>, material<sup>23</sup> e sinal<sup>24</sup> entre a função global e os sistemas técnicos periféricos (1), meio ambiente (2) e usuário (3).

Definido a função global do sistema e identificado as interações a sua volta, pode-se realizar o desdobramento da função global na estrutura funcional do sistema, como mostrado na Figura 36.

Figura 36 - Desdobramento da função global em funções mais simples.



Fonte: Adaptado de Pahl e Beitz (1988)

<sup>22</sup> Frequentemente especificada pela sua forma manifesta, ou seja, do tipo, mecânica, elétrica, óptica, etc (BACK et al., 2008).

<sup>23</sup> Consideram-se as suas propriedades, tais como, peso, cor, estados, características, etc (BACK et al., 2008).

<sup>24</sup> É a forma física na qual a informação é conduzida (BACK et al., 2008).

Para produtos já existentes, sabe-se que a função global e funções parciais estão definidas. Nestes casos a utilização da análise funcional é utilizado como auxílio pela engenharia reversa (DIAS et al., 2013). A função global e as funções parciais são possíveis de sua identificação após a identificação de cada subsistema (DIAS et al, 2013).

## 2.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, neste capítulo de referencial teórico conseguiu-se concluir que a tecnologia embarcada nas máquinas agrícolas encontradas no mercado atual proporciona um total monitoramento e controle das operações realizadas na produção agrícola. Isto possibilita a integração entre a agricultura e a mecanização que nela está inserida de forma que sejam possíveis soluções que aumentam a produtividade, como a agricultura de precisão. Para isso, estas máquinas estão providas de sistemas eletrônicos como: pilotos automáticos, sistemas de navegação por localização via satélite, sensores, comandos eletrônicos, dentre outros.

Devido à importância que estes sistemas representam para as máquinas agrícolas tal como para a agricultura, também concluiu-se que a confiabilidade destes itens é imprescindível para um bom resultado na realização das operações. Com base neste cenário e sabendo que estes maquinários estão inseridos em ambientes responsáveis por causar diversos estresses como vibrações e choques mecânicos, ressalta-se a importância dos testes de vida acelerada nos sistemas eletrônicos. Tais testes são responsáveis pela determinação da vida útil de um equipamento submetido a um alto nível de estresse por um determinado período de tempo, resultado este que pode ser extrapolado para as condições normais de operação do sistema.

Por fim, constatou-se que para a realização dos testes faz-se necessário uma bancada capaz de reproduzir estresses similares aos que os sistemas eletrônicos estão expostos durante as operações agrícolas.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho dividiu-se em seis etapas como observa-se na Figura 37.

Figura 37 – Fluxograma da metodologia utilizada neste trabalho

Objetivos Específicos	Metodologia	Resultado Esperado
Caracterizar a eletrônica utilizada em máquinas agrícolas	Pesquisa nos bancos de dados utilizando determinadas palavras chaves	Entendimento de qual é o cenário da eletrônica embarcada em máquinas agrícolas
Realizar uma pesquisa de anterioridade de patentes referente a sistemas utilizados para testes de vibração e/ou choques mecânicos	Pesquisa nos bancos de dados de patentes a nível mundial por meio do software ORBIT	Constatação da existência ou não de patentes relacionadas a sistemas capazes de proporcionar Vibrações e/ou choques mecânicos
Realizar a análise funcional da bancada de testes de vibrações e choques mecânicos desenvolvida por Bonaldo et al. (2015)	Aplicar a engenharia reversa na bancada de testes existente	Identificação da função global, as funções parciais e os subsistemas que compõe a bancada de teste
Realizar modelagem computacional 3D e construir novo protótipo	Realizar aquisição dimensional dos componentes da bancada, realizar a modelagem computacional por meio do software SOLIDWORKS e construir a nova bancada de testes	Obtenção dos desenhos para construção da bancada de teste. Montagem do novo protótipo
Avaliar a funcionalidade da bancada de testes	Medir as intensidades das vibrações e choques mecânicos	Constatação que o novo protótipo da bancada de testes proporciona níveis elevados de choque e vibrações mecânicos
Desenvolver um procedimento para testar uma placa eletrônica	Entender e desenvolver as etapas necessárias para realizar testes de vida acelerada	Obtenção de um sequenciamento de atividades para teste
Testar uma placa eletrônica desenvolvida em laboratório	Realizar o teste de vida acelerada na placa eletrônica desenvolvida em laboratório até falhar	Constatação que a bancada de testes é capaz de acelerar a vida de uma placa eletrônica

Fonte: Próprio Autor

Primeiramente realizou-se uma pesquisa bibliográfica, visando um melhor entendimento e aquisição de dados referente à situação atual da eletrônica embarcada nas máquinas agrícolas. Para a busca deste material portador de conhecimento relativo a essas tecnologias utilizou-se palavras-chaves em língua portuguesa e inglesa visando ampliar o alcance da pesquisa.

Esta pesquisa foi realizada em diversas fontes digitais e impressas, tais como livros, revistas com Qualis em Ciências Agrárias, bancos de dissertações e teses de universidades nacionais e internacionais, portal de busca da CAPES, portal de busca Scielo, entre outras fontes de pesquisa. As palavras-chaves utilizadas na busca foram: eletrônica + embarcada + máquinas + agrícolas (*embedded + electronics + agricultural + machinery*), componentes + eletrônicos (*electronics + components*) e máquinas + agrícolas (*agricultural + machinery*).

Finalizada a coleta de material referente ao tema de pesquisa, fez-se uma leitura preliminar do material, classificando-o e separando-o de acordo com itens pré-definidos. Tais itens foram definidos para compor a revisão bibliográfica e metodologia deste trabalho e assim obter todo o embasamento teórico necessário referente aos objetivos específicos e principal do trabalho. Por fim, realizou-se a leitura daqueles materiais que foram julgados relevantes, retirando assim os conceitos, princípios e conhecimentos que auxiliaram no desenvolvimento e alcance do objetivo deste trabalho.

A segunda etapa envolveu a realização da busca de anterioridade das patentes de bancadas de vibrações e/ou choques mecânicos registradas em algumas bases de dados. Esta busca foi realizada com o *software* ORBIT<sup>25</sup>. Este é capaz de realizar a busca em diversos bancos de dados ao redor do mundo, ampliando assim a magnitude da pesquisa. Através da inserção de palavras-chaves em diferentes línguas é possível realizar uma ampla pesquisa.

O ORBIT possibilita a apresentação dos resultados da pesquisa de diversas maneiras, tais como: Gráficos das publicações de patentes e/ou modelos de utilidades, podendo assim ser definidos períodos de tempos específicos caso necessário; Gráficos dos países onde as patentes e/ou MU foram publicadas; Arquivos em forma de planilha constando informações relativo a cada uma das patentes e/ou MU encontradas.

---

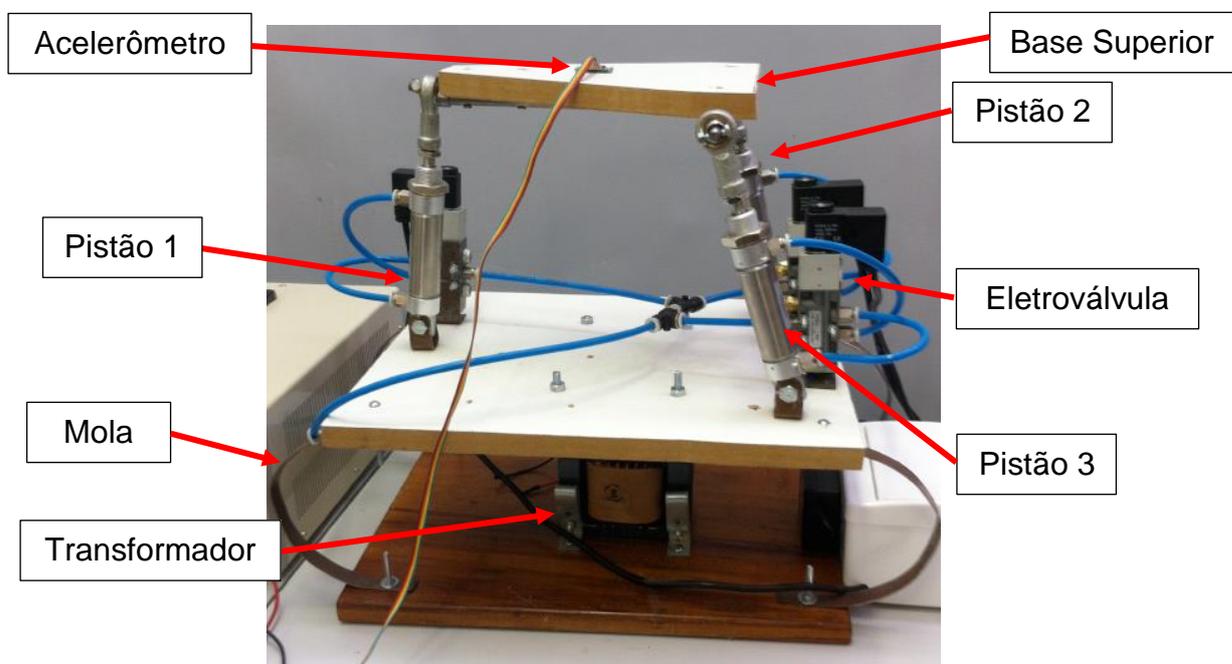
<sup>25</sup> A pesquisa no software ORBIT foi realizada em maio de 2016 na AGITTEC (Agência de Inovação e Transferência de Tecnologia) localizada na UFSM.

Com todas as possibilidades de buscas e apresentações de resultados fornecidos pelo ORBIT, optou-se então por realizar a constatação da existência de sistemas responsáveis em reproduzir vibrações e choques mecânicos através da utilização de palavras-chaves nas línguas portuguesa e inglesa, tais como: teste + vibração (*test + vibration*), teste + choque (*test + shock*), teste + comandos + eletrônicos (*test + comands + eletronics*) e teste + confiabilidade (*test + reliability*).

Para apresentação dos dados, decidiu-se que seriam apresentados o total de publicações encontradas de patentes e/ou modelos de utilidades, o local de publicação, juntamente com a citação daqueles mecanismos encontrados cujo conceito vinham ao encontro do sistema desenvolvido por Bonaldo et al. (2015).

Na terceira etapa, realizou-se a aplicação do método denominado engenharia reversa, onde através do sequenciamento de atividades é possível obter a estrutura funcional da bancada de testes de vibrações e choques mecânicos desenvolvida (Figura 38), obtendo o desmembramento e identificação de todo o sistema.

Figura 38 - Bancada de testes de vibrações e choques mecânicos.

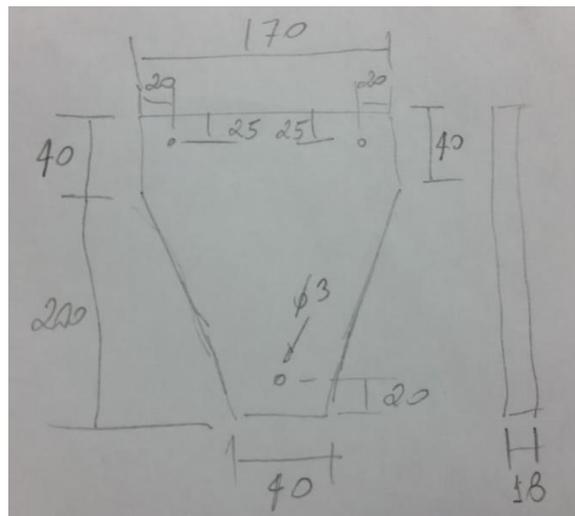


Fonte: Bonaldo et al. (2015)

De posse da bancada, realizou-se a desmontagem dos componentes identificando-os de acordo com o subsistema correspondente. Posteriormente, por

meio da utilização de equipamentos de medição como trena STANLEY–5m com resolução de 1mm e paquímetro MITUTOYO-200mm com resolução 0,1mm realizou-se a aquisição dimensional de todos os componentes. Para identificação das dimensões de cada componente foram elaborados esboços como mostrado na Figura 39.

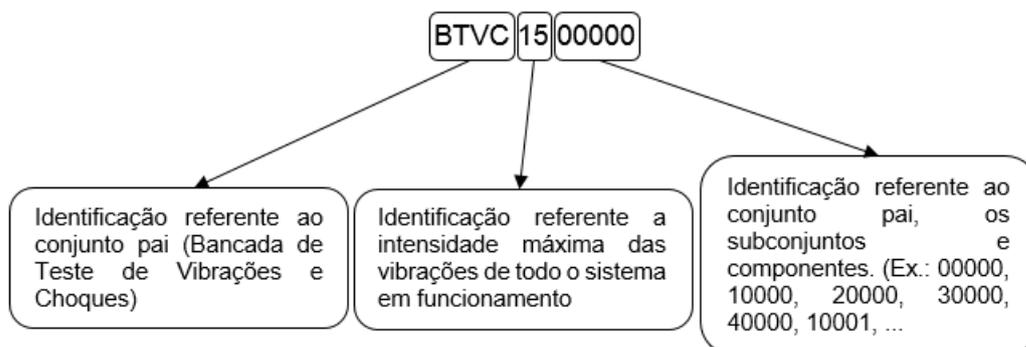
Figura 39 - Esboço com dimensões para modelagem computacional (Unidades em milímetros)



Fonte: Próprio Autor

Visando a identificação dos componentes foi definido um sistema de codificação composto por números e letras conforme observa-se na Figura 40.

Figura 40 - Sistema de códigos aplicado



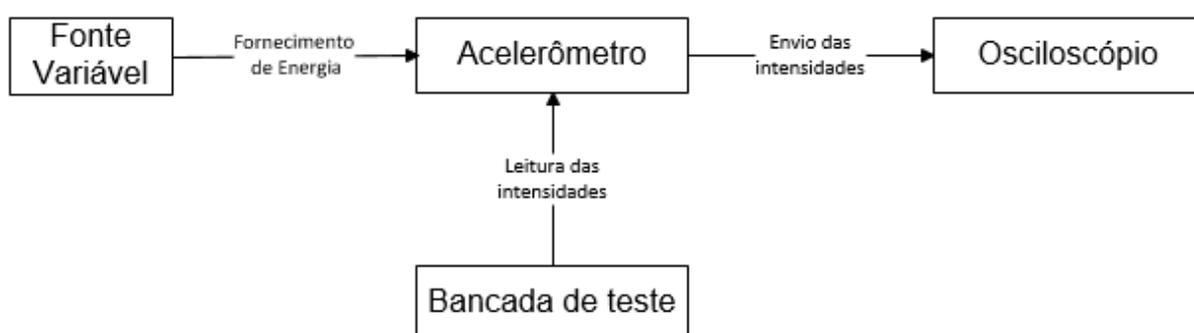
Fonte: Próprio Autor

Com os esboços e as dimensões dos componentes adquiridos juntamente com o sistema de codificação definido, foi desenvolvido a quarta etapa deste trabalho, onde realizou-se a modelagem computacional dos componentes, montagem dos subconjuntos e conjunto principal. Esta modelagem foi realizada com a utilização do *software* 3D denominado *SolidWorks*. De posse dos desenhos, foi construído o novo protótipo. Para a fabricação das peças reconstruídas utilizou-se diversos processos de fabricação mecânica, tais como, corte, usinagem, soldagem e conformação a frio. Estes processos foram executados no Núcleo de Automação e Fabricação Mecânica (NAFA) e no CTISM ambos localizados na UFSM.

Com a construção do novo protótipo finalizado e visando analisar a funcionalidade do sistema, partiu-se para a quinta etapa deste trabalho, na qual foram realizados uma sequência de testes para evidenciar as intensidades proporcionadas durante o teste.

Para identificar os diferentes níveis de vibrações e/ou choques mecânicos optou-se pela utilização de um acelerômetro 3 eixos modelo ADXL 330<sup>26</sup> com faixa de leitura de -3,6G a +3,6G sendo alimentado por uma fonte modelo digital dupla 30V/5A MPC-3005. A aquisição dos dados foi realizada por meio de um osciloscópio modelo Agilent MSOX3034A como observa-se na Figura 41.

Figura 41 – Esquema dos equipamentos utilizados na aquisição dos dados durante o teste



Fonte: Próprio Autor

<sup>26</sup> Acelerômetro utilizado nos testes é fabricado por ANALOG DEVICES

A execução dos testes iniciou-se pela vibração de frequência fixa. Neste caso, tinha-se como objetivo identificar a frequência fixa que o sistema é capaz de proporcionar sem que os pistões pneumáticos estejam em funcionamento.

Para constatação das intensidades dos choques mecânicos criou-se um sequenciamento de funcionamento dos pistões como mostrado no Quadro 4. Nestes testes utilizou-se uma pressão de ar comprimido de aproximadamente 8 Bar.

Quadro 4 – Combinações de pistões em funcionamento

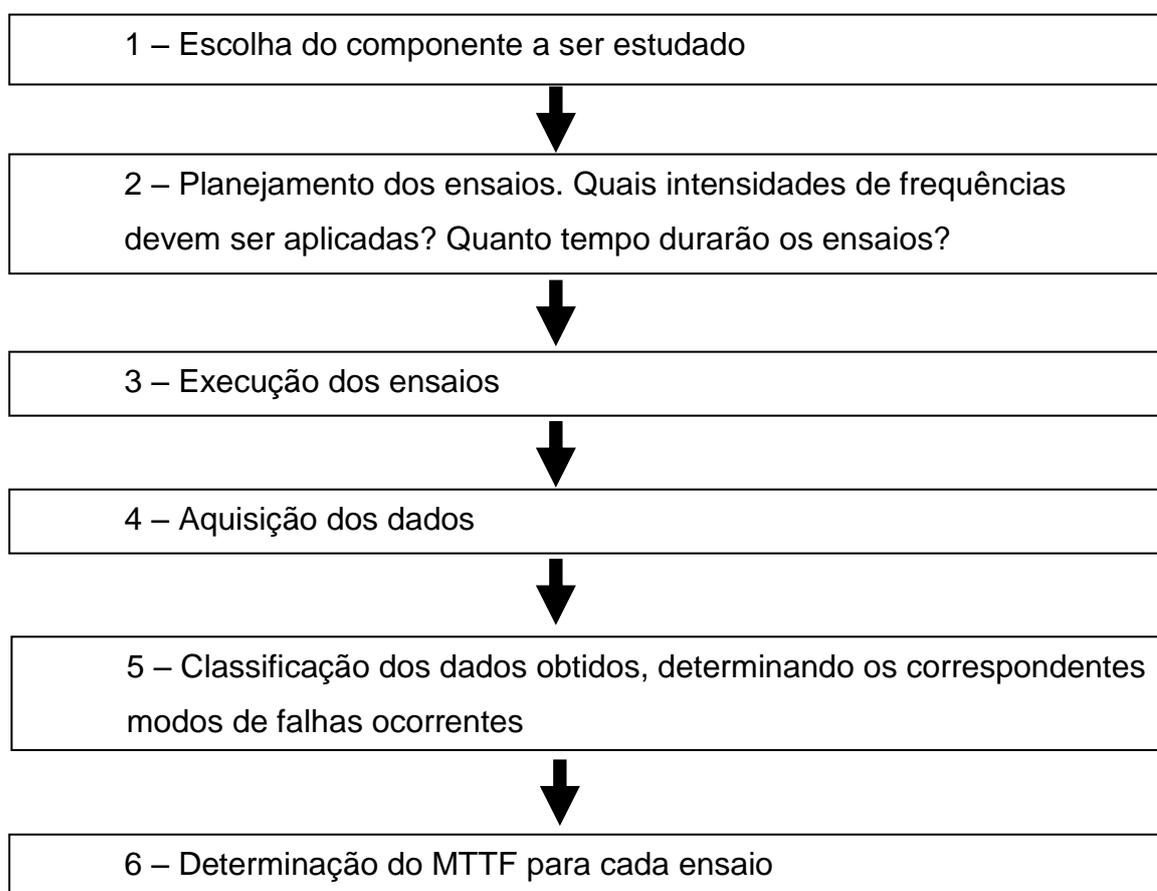
<b>UNIDADES EXPERIMENTAIS (n)</b>	<b>COMBINAÇÃO DE PISTÕES</b>
1	1 subindo
2	1 descendo
3	2 subindo
4	2 descendo
5	3 subindo
6	3 descendo
7	1 e 2 subindo
8	1 e 2 descendo
9	1 e 3 subindo
10	1 e 3 descendo
11	1, 2 e 3 subindo
12	1, 2 e 3 descendo
13	2 e 3 subindo
14	2 e 3 descendo

Fonte: Próprio Autor

A leitura dos gráficos das vibrações e choques mecânicos foi realizada com o auxílio do osciloscópio modelo Agilent MSOX3034A, o qual proporciona a captura das imagens de cada combinação.

Tendo em vista a obtenção da rastreabilidade das ações e a padronização do teste, na sexta etapa definiu-se um plano de atividades como observa-se na Figura 42, onde as ações que devem ser realizadas encontram-se em ordem cronológica.

Figura 42 – Sequência de atividades para aplicação dos testes de vida acelerada.



Fonte: Adaptado de Felix (2006)

A realização do teste ocorreu até a etapa 6 onde é determinada o tempo médio até a falha<sup>27</sup> (MTTF). Por este motivo o tipo de censura utilizado no teste determinou que o mesmo devia ter duração até que a placa eletrônica falhasse.

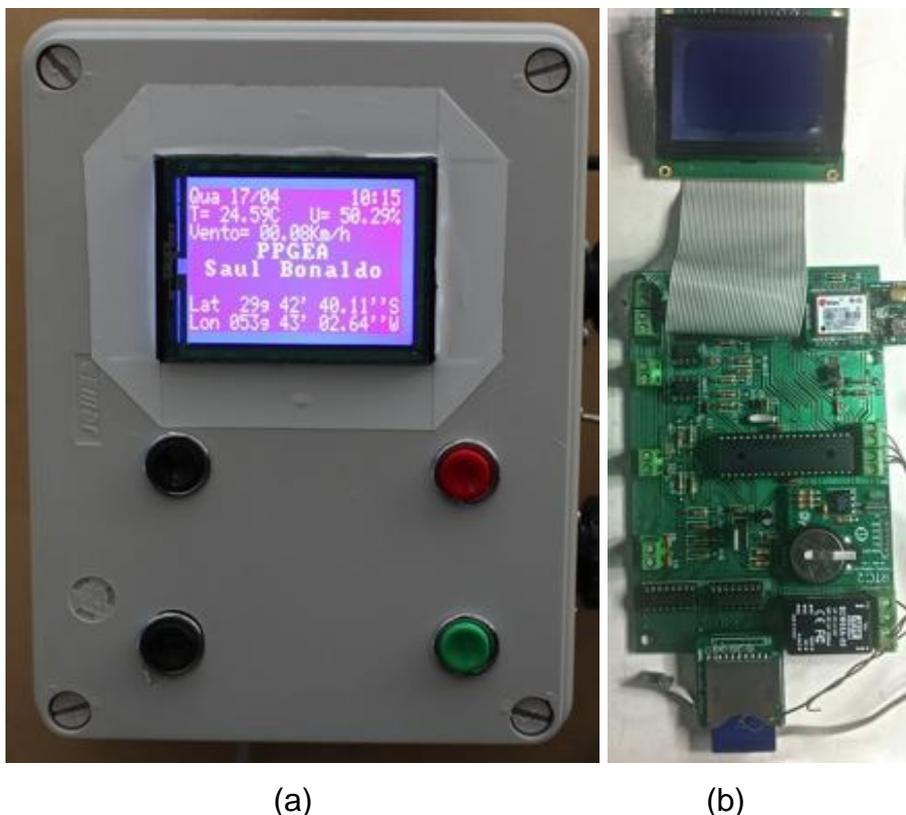
Por fim, na sétima etapa, realizou-se o teste de vida acelerada na placa eletrônica (Figura 43) desenvolvida por Bonaldo (2014). Esta placa foi elaborada pelo grupo de pesquisa NIGHTWIND<sup>28</sup>, objetivando o controle de um sistema automatizado de pulverização de parcelas<sup>29</sup>, sendo responsável pelo controle de todo o sistema hidráulico, abrindo e fechando eletroválvulas e fazendo a leitura e aquisição de dados como posicionamento global, velocidade do vento, umidade do ar, distância percorrida, dentre outras.

<sup>27</sup> Neste caso como o teste foi realizado somente em uma placa eletrônica, tomou-se como valor de MTTF o tempo obtido até a primeira falha apresentada pela placa.

<sup>28</sup> Grupo de pesquisa localizado no CTISM/UFMS e sob direção do Professor Dr. Saul Azzolin Bonaldo.

<sup>29</sup> Pequenos talhões onde são cultivadas algumas culturas para testes de produtos fitossanitários.

Figura 43 - Comando eletrônico para pulverizador de parcelas: (a) Comando montado para operação; (b) Placa eletrônica do comando.



Fonte: Bonaldo (2014)

A frequência de vibração fixa utilizada no teste foi de 36Hz. Esta frequência foi definida a partir da vibração proporcionada pelo motor de um trator agrícola trabalhando a rotação de máxima potência<sup>30</sup> 2200 rpm. Para atingir essa frequência de vibração foi utilizado um transformador alimentado por uma corrente elétrica de 10 Amperes e uma tensão de 12 Volts.

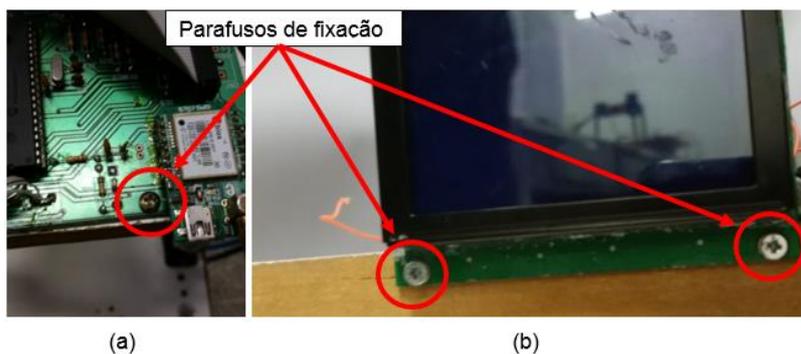
A intensidade máxima de pico a pico dos choques mecânicos utilizados nos testes foi de aproximadamente 8,24G<sup>31</sup>, sendo que a amplitude variou de -4,1G a +4,14G. A definição da utilização desta intensidade máxima foi baseada nas características construtivas da bancada de testes. Para atingir essa intensidade nos pistões pneumáticos foi utilizada uma pressão de ar comprimento na rede de aproximadamente 8 bar.

<sup>30</sup> Esta rotação de potência máxima é dada pelos fabricantes de máquinas agrícolas

<sup>31</sup> Valores acima de 7,2G são uma aproximação devido a faixa de medição do acelerômetro.

Para fixação da placa eletrônica na base da bancada de testes definiu-se que a mesma seria realizada por meio de parafusos inseridos nos furos que a placa possui nos seus quatro cantos. Esta fixação também será realizada com o display LCD conforme observa-se na Figura 44.

Figura 44 – Sistema de fixação: (a) Placa; (b) *Display* LCD



Fonte: Próprio Autor



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresenta-se os resultados encontrados referente aos sistemas pesquisados na busca de anterioridade, os resultados da análise funcional da bancada de testes e por fim os resultados dos testes realizados na placa eletrônica desenvolvida em laboratório.

### 4.1. BUSCA DE ANTERIORIDADE DE SISTEMAS VIBRATÓRIOS

Na pesquisa de anterioridade com o *software* ORBIT foram encontradas 1056 publicações em diversos países. Esta pesquisa utilizou-se quatro palavras-chaves em língua inglesa: *Electronic test*, *Shock test*, *Vibration test* e *Reliability test*.

Finalizada a pesquisa de anterioridade com base nas quatro palavras-chave definidas, chegou-se a um total de 656 publicações distintas encontradas. Também constatou-se que em várias situações a mesma publicação foi encontrada em países distintos.

Com os dados obtidos na pesquisa de anterioridade montou-se a Tabela 1, onde foram considerados somente as publicações distintas.

Tabela 1 - Número de patentes encontradas na busca de anterioridade.

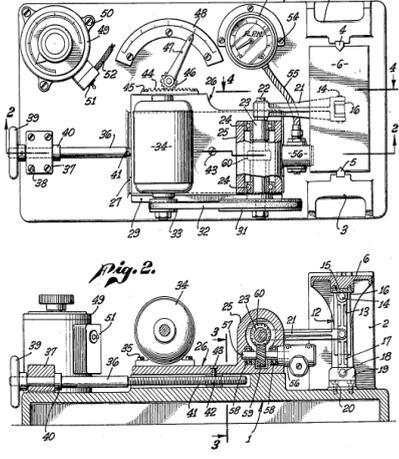
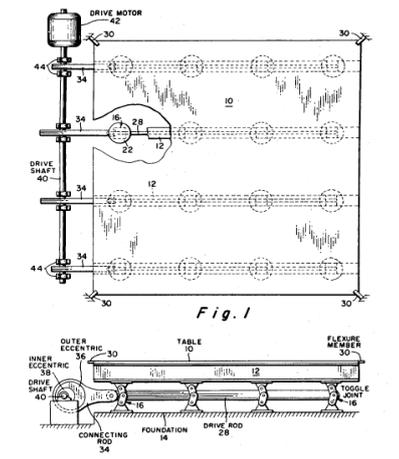
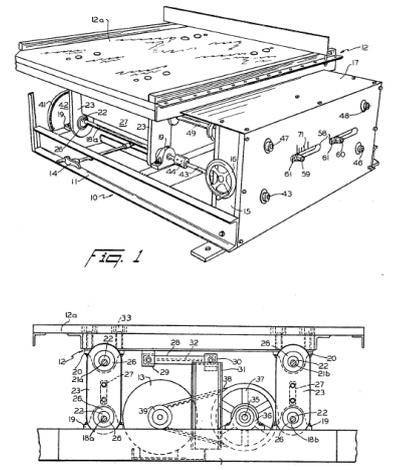
<b>Palavra-Chave</b>	<b>Total de publicações distintas</b>	<b>Publicações relacionadas ao trabalho</b>
<i>Eletronic test</i>	4	0
<i>Shock test</i>	129	2
<i>Vibration test</i>	261	11
<i>Reliability test</i>	262	11
Total de patentes	656	24

Fonte: Próprio autor

No entanto, apesar deste número ser relativamente alto, as publicações de patente e modelos de utilidade que apresentam alguma característica relacionada a bancadas de testes de vibrações e choques mecânicos somam um total de 24 publicações. No Quadro 5 são mostrados alguns exemplos de sistemas encontrados na busca de anterioridade junto com a explicação do funcionamento do sistema.

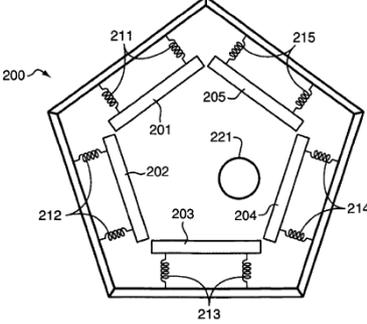
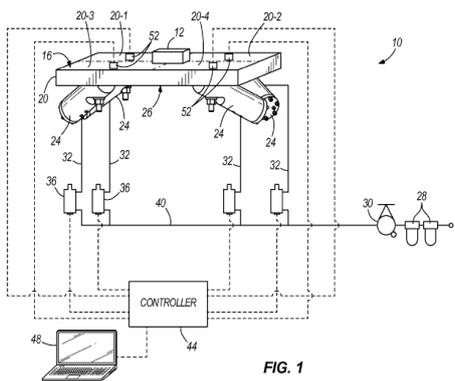
Quadro 5 – Exemplos de sistemas encontrados na busca de anterioridade.

(continua)

Número da publicação	Princípio de funcionamento	Imagem do sistema
<p>OR 2348189</p>	<p>Neste sistema a vibração é proporcionada pelo movimento oscilatório de uma alavanca somente acoplada a um braço articulado em sua metade.</p> <p>O movimento retilíneo oscilatório da alavanca é proporcionado por um mancal excêntrico acoplado diretamente ao eixo de um motor elétrico.</p>	 <p>The drawing shows a cross-sectional view of a mechanical assembly. A motor shaft (21) is connected to an eccentric sleeve (22) which is mounted on a lever arm (23). The lever arm is pivoted at one end and has a curved end (24) that provides the oscillatory motion. Various other components like bearings and housing parts are labeled with numbers.</p>
<p>OR 3044292</p>	<p>Neste sistema a vibração é realizada a partir de movimentos retilíneos de 4 alavancas, as quais estão ligadas a diversos elos de corrente sob a mesa de testes.</p> <p>O movimento retilíneo oscilatório das alavancas é proporcionado por um virabrequim ligado ao eixo de um motor elétrico.</p>	 <p>The drawing illustrates a drive mechanism. A drive motor (42) is connected to a drive shaft (40) which has a crankshaft (38). This crankshaft is linked to four levers (34) via a chain mechanism (30). The levers are positioned under a table (10) to provide vibration. Labels include DRIVE MOTOR, DRIVE SHAFT, OUTER ECCENTRIC, INNER ECCENTRIC, TABLE, FLEXURE MEMBER, TOGGLE ARM, DRIVE ROD, FOUNDATION, and CONNECTING ROD.</p>
<p>OR 3277697</p>	<p>Nesta bancada as vibrações são realizadas devido a um sistema de eixos excêntricos interligado a base de testes.</p> <p>Também é existente um mecanismo que proporciona a possibilidade de variação da amplitude das vibrações.</p> <p>O acionamento deste sistema é realizado por um motor elétrico e transmitido até os eixos por correias dentadas.</p>	 <p>The drawing shows a perspective view of a vibration table (10) mounted on a base. It features a drive motor (42) connected to a gear system (30) that includes eccentric shafts (36, 38) to generate vibration. A mechanism for adjusting vibration amplitude is also shown. Labels include 10a, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100.</p>

Quadro 5 – Exemplos de sistemas encontrados na busca de anterioridade.

(conclusão)

Número da publicação	Princípio de funcionamento	Imagem do sistema
US2006/0174709 A1	<p>Neste sistema para cada par de mola acoplado na parede interna do sistema é ligada uma mesa formando um pentágono fechado.</p> <p>Sendo o responsável pela vibração, uma esfera de massa <math>M</math> que se choca contra as paredes do pentágono central. O movimento desta esfera é proporcionado por correntes controladas de ar comprimido.</p>	
US2013/0305828 A1	<p>Este sistema é dotado de uma variedade de cilindros hidráulicos acoplados diretamente sob a mesa de testes.</p> <p>Consegue-se neste modelo, simular vibrações e choques simultaneamente, pelo fato do acionamento ser eletro hidráulico.</p> <p>O comando eletrônico do sistema proporciona uma ampla gama de frequências para testes de vibrações.</p>	

Fonte: Próprio Autor

Com a utilização da palavra-chave *electronic test* foram encontrados somente 4 publicações, sendo 2 patentes de invenção e 2 modelos de utilidade em países como China, Estados Unidos, Reino Unido e Rússia de acordo com o observado na Figura 45.

Figura 45 - Mapa dos países onde as patentes foram publicadas (*Electronic test*).



Fonte: (ADAPTADO DE ORBIT, 2016)

Constatou-se que estas quatro publicações tratam sobre sistemas para testar a funcionalidade de sistemas eletrônicos em automóveis, sensores para monitoramento de falhas em tubulações e câmaras térmicas para testes em sistemas eletrônicos. No entanto, não se encontrou nenhum sistema relativo a teste de vibrações e choques mecânicos utilizados para testar sistemas eletrônicos.

Utilizando a palavra-chave *shock test* foram encontrados um total de 129 publicações depositadas em diversos países distintos (Figura 46).

Figura 46 - Mapa dos países onde as patentes foram publicadas (*Shock test*).



Fonte: (ADAPTADO DE ORBIT, 2016)

No Quadro 6 são apresentadas as publicações que se referem a algum tipo de testes de choques mecânicos.

Quadro 6 - Publicações referente a *shock test*.

TITULO DA PUBLICAÇÃO	NUMERO DA PATENTE
Aparelhos de ensaio para durabilidade estrutural de roda e suspensão	US 2006/0218999 A1
Ensaio de montagem e método	US 7555930 B2

Fonte: Próprio autor

Conforme constatou-se não foi encontrada nenhuma publicação referente a bancada de teste de vibrações e choques mecânicos para sistemas eletrônicos.

Ao utilizar a terceira palavra-chave denominada *vibration test* durante a pesquisa de anterioridade encontrou-se 261 publicações. Este total de publicações está distribuído em diversos bancos de dados em aproximadamente 25 países como observa-se na Figura 47.

Figura 47 - Mapa dos países onde as patentes foram publicadas (*Vibration test*).



Fonte: (ADAPTADO DE ORBIT, 2016)

No Quadro 7 pode-se observar um resumo das publicações onde constatou-se alguma relação com sistemas ou métodos para testes de vibrações.

Quadro 7 - Publicações referentes a *vibration test*.

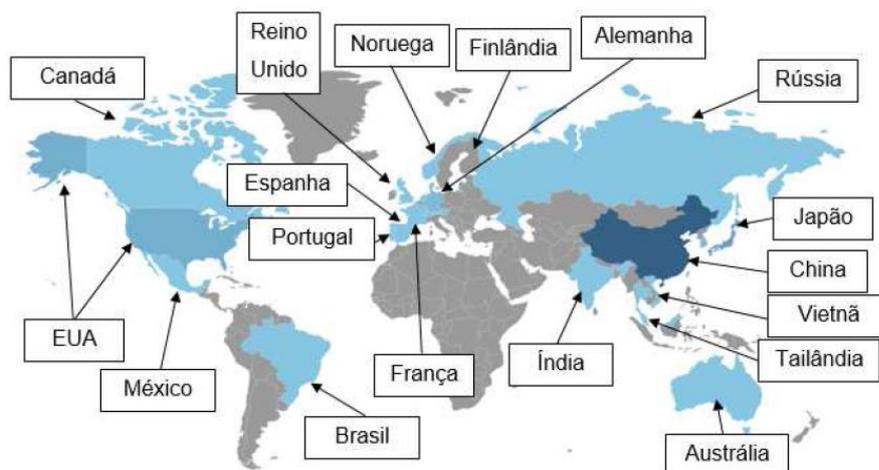
TÍTULO DA PUBLICAÇÃO	NÚMERO DA PATENTE
Dispositivos de vibração multi-eixos	OR 3712120
Teste de vibração do sistema multi-eixo	US 4875374
Mesa vibratória	OR 3044292
Módulo de teste de vibração com atributos de vibração controláveis – vibração	US 2006/0174709 A1
Dispositivo de teste de vibração	OR 2348189
Máquina de teste de vibração com amplitude ajustável continuamente e frequência	OR 3277697
Sistema e método de teste de vibração	US 2013/0305828 A1
Método e aparelho para o teste de estresse de recipientes de vidro dispostos pendurados	US 4760731
Método para otimizar um teste de estresse escalonado acelerado	US 2009/0198470 A1
Aparelho de vibração com meios de flexão	US 4440026
Método de teste de vibração, aparelho de teste de vibração e meio de gravação que armazena um programa de teste de vibração	US 2007/0245828 A1

Fonte: Próprio autor

Embora tenham sido encontrados alguns mecanismos responsáveis por proporcionar diferentes níveis de vibrações como o dispositivo de teste de vibração, o dispositivo de vibração multi-eixos, a mesa vibratória, a máquina de teste de vibração com amplitude ajustável continuamente e frequência e o sistema e método de teste de vibração, não foi encontrado nenhum mecanismo ou sistema que proporcione vibrações e choques mecânicos simultaneamente de acordo com o necessário para realizar os testes nos sistemas eletrônicos embarcados em máquinas agrícolas.

Finalizando quando se utilizou a quarta palavra-chave *reliability test* foram identificadas 262 publicações sendo 207 patentes de invenção e 55 modelos de utilidades. Estas publicações estão distribuídas em países como observar-se na Figura 48.

Figura 48 - Mapa dos países onde as patentes foram publicadas (*Reliability test*).



Fonte: (ADAPTADO DE ORBIT, 2016)

Das publicações encontradas apenas 11 referem-se a métodos, dispositivos e sistemas para teste de confiabilidade de sistemas como apresentado no Quadro 8.

Quadro 8 – Publicações referente a *reliability test*.

(continua)

TÍTULO DA PUBLICAÇÃO	NÚMERO DA PATENTE
Aparelho e método para testar dispositivo de memória de semicondutores	US 2006/0041804 A1
Dispositivo e método para detectar uma confiabilidade de componentes semicondutores integrados em alta temperatura	US 2003/0020131 A1
Estrutura de semicondutores integrada para testes de confiabilidade de dielétricos	US 2004/0188678 A1
Sistema de confiabilidade do processo de fornecedor baseado na Internet	US 6675129 B1
Método e aparelho para testes de confiabilidade	US 2006/0208754 A1
Método para gerar testes de confiabilidade baseados em matrizes ortogonais e dados de campo	US 8019049 B2
Estrutura inferior modificada para aumentar a confiabilidade	US 2006/0081986 A1
Sistema modular de teste de confiabilidade semicondutora	6097200
Teste de defeito de confinamento de sistema multiprocessador em linha	US 2009/0241124 A1
Teste de confiabilidade para circuitos de verificação de computador	3405258

Quadro 8 – Publicações referente a *reliability test*.

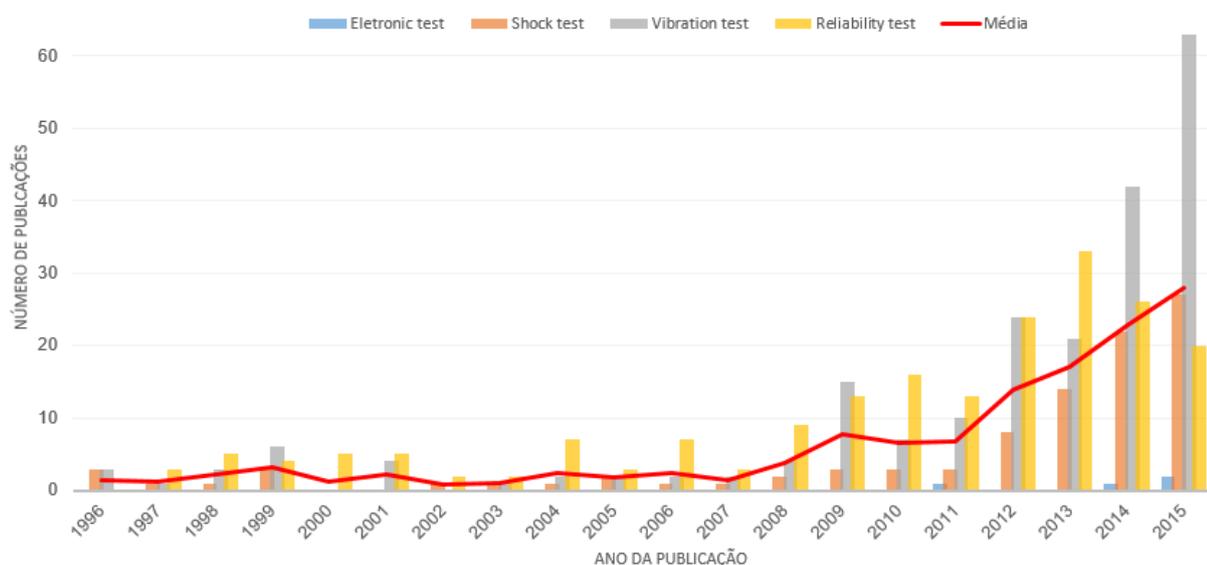
(conclusão)

TÍTULO DA PUBLICAÇÃO	NÚMERO DA PATENTE
Sistema de teste e método de operação, incluindo um dispositivo de teste para testes elétricos de chips semicondutores de uma temperatura limiar térmica de um material dielétrico entre camadas	US 6762613 B1

Fonte: Próprio autor

A partir da análise dos dados também constatou-se o crescente aumento do número de publicações nos últimos 5 anos (Figura 49). Este fato vem ao encontro da importância deste trabalho, mostrando o crescente aumento de sistema eletrônico no mercado mundial. Isso demonstra claramente o aumento da inserção destas tecnologias nas máquinas agrícolas.

Figura 49 - Tendência das publicações anuais.



Fonte: Próprio autor

Dentre as patentes encontradas pode-se observar que haviam sistemas e/ou mecanismos como também procedimentos de testes, no entanto em nenhum momento durante a pesquisa encontrou-se uma patente que englobasse vibrações e choques mecânicos simultaneamente, ressaltando assim a importância da bancada de testes de vibrações e choques mecânicos tratada neste trabalho.

## 4.2. ANÁLISE DO PROJETO DA BANCADA DE TESTES

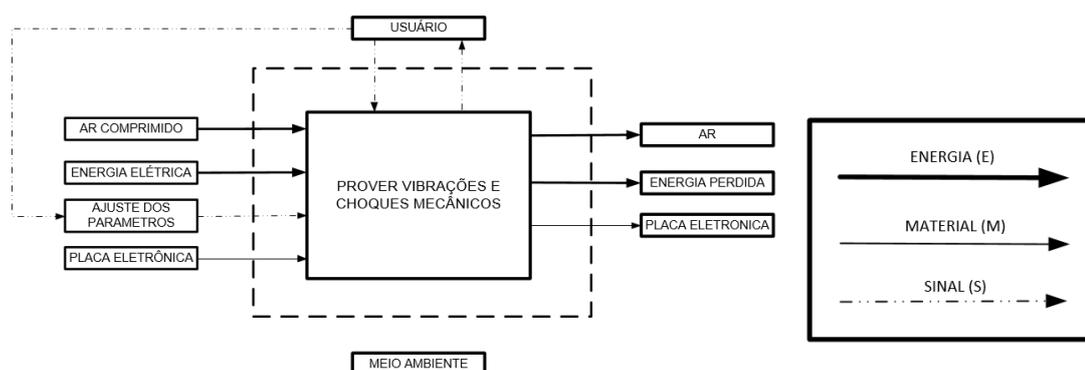
Nesta etapa do projeto foi realizada a análise funcional da bancada desenvolvida, elencando a função global, parciais e elementares, juntamente com cada componente responsável pela realização da respectiva função.

### 4.2.1. Análise funcional da bancada de teste

Como a bancada de teste é um equipamento existente, sua função global é conhecida. A partir da função global é possível realizar o esquema funcional baseado no diagrama de blocos. É realizada a análise do sistema como um todo, elencando as entradas e saídas (material, sinal e energia) (Figura 50). É possível observar que o equipamento possui 4 entradas distintas, tais como energia elétrica (Energia) responsável pela alimentação do transformador, sistema microcontrolado e placa eletrônica; ar comprimido (Energia) responsável pela alimentação dos pistões pneumáticos; Ajuste de Parâmetros (Sinal) onde o usuário é responsável por definir os padrões de vibrações que serão testados e Placas Eletrônicas (Material) as quais deverão ser testadas visando analisar sua confiabilidade.

Também constatou-se a existência de 3 saídas distintas, tais como Ar (Energia) que, após realizar o movimento do cilindro pneumático, é expelido para o ambiente; Placas Eletrônicas (Material) a qual deve ser analisada ao final dos testes visando constatar a ocorrência ou não de danos, e Energia Térmica (Energia) resultante das perdas por ineficiência no transformador. Além das entradas e saídas ainda pode-se elencar a interação do usuário com o equipamento e/ou entradas.

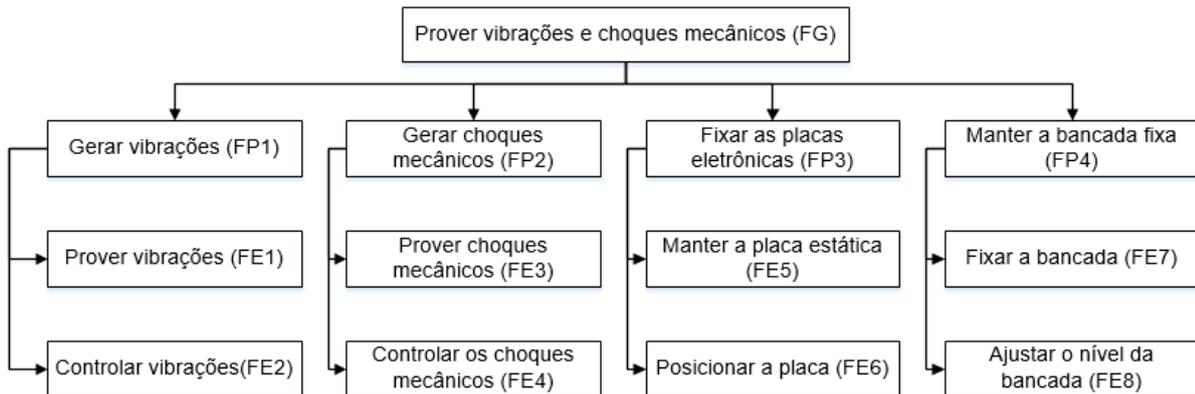
Figura 50 - Função global do sistema com entradas e saídas.



Fonte: Próprio autor

Durante o desenvolvimento de um projeto, seja ele de pequeno, médio ou grande porte, uma importante etapa é a definição da função global e das funções parciais. Desta forma, após a finalização do diagrama de blocos elaborou-se a árvore de funções da bancada de teste, conforme observado na Figura 51.

Figura 51 - Árvore funcional da bancada de testes.



Fonte: Próprio autor

Além de formar a árvore de funções, nesta etapa do trabalho também foi possível identificar os conjuntos responsáveis por desempenhar tais funções parciais. No Quadro 9 apresenta-se o nome de cada conjunto responsável por desempenhar as 4 funções parciais do sistema.

Quadro 9 – Identificação do conjunto para cada função e parcial

NOME DO CONJUNTO	FUNÇÃO PARCIAL	FUNÇÃO ELEMENTAR
Conjunto vibrações	Gerar vibrações (FP1)	Prover vibrações (FE1)
		Controlar vibrações (FE2)
Conjunto choques mecânicos	Gerar choques mecânicos (FP2)	Prover choques mecânicos (FE3)
		Controlar os choques mecânicos (FE4)
Conjunto suporte das placas	Fixar as placas eletrônicas (FP3)	Manter a placa estática (FE5)
		Posicionar a placa (FE6)
Conjunto base	Manter a bancada fixa (FP4)	Fixar a bancada (FE7)
		Ajustar o nível da bancada (FE8)

Fonte: Próprio Autor

Para finalizar esta seção pode-se dizer que foram identificados itens como, função global, funções parciais e elementares juntamente com os respectivos conjuntos responsáveis por desempenha-las. Estas identificações foram utilizadas como guia para que na seção 4.2.2. pudesse realizar-se a modelagem computacional dos componentes e seus respectivos conjuntos.

#### 4.2.2. Modelagem computacional da bancada de teste

Com os quatro conjuntos identificados, anteriormente ao início da modelagem fez-se a aquisição dimensional de todos os componentes. Os conjuntos identificados foram o conjunto vibrações, conjunto pneumático, conjunto suporte das placas e conjunto base da bancada.

O conjunto vibrações tem como objetivo desempenhar a função elementar prover vibrações, possuindo uma relação funcional com o conjunto pneumático. Foi utilizado um transformador de um No-break com potência de 1kVA, com núcleo ferromagnético laminado e composto por diversas lâminas em formato E e I montados de maneira intercalada, a fim de diminuir as perdas magnéticas. Na montagem do protótipo, o núcleo ferromagnético foi desmontado e remontado a fim de separar os núcleos em formato E dos núcleos em formato I, para desta forma construir um eletroímã. Os indutores do transformador foram reposicionados na parte central do núcleo formado pelos perfis em formato E, e os perfis em formato de I foram agrupados e montados a uma distância de aproximadamente 5 mm.

Para manter a distância de 5 mm entre o I de ferro e o transformador são utilizadas quatro molas em formato de C com constante K igual a 1962 N/m. Estas estão posicionadas nos cantos da base inferior ligando-a à base mediana. A utilização destas molas também proporciona a elasticidade que o sistema necessita para vibrar.

O campo magnético gerado pela corrente que percorre os indutores posicionados na parte central dos núcleos com perfil E atua no núcleo formado pelos perfis em I, fazendo com que a parte superior da bancada vibre de maneira proporcional à corrente que percorre os enrolamentos dos indutores. Um circuito de comando especialmente desenvolvido é responsável pelo controle das vibrações e proporcionar os choques mecânicos aleatoriamente de forma automática. O desenvolvimento desta placa foi uma melhoria em relação ao protótipo apresentado por Bonaldo et al. (2015), no qual não se tinha controle sobre a amplitudes das

vibrações e os choques mecânicos eram acionados manualmente. O software (Apêndice B) responsável pelo funcionamento da placa eletrônica junto com a confecção desta foram realizados pelo grupo de pesquisa NIGHTWIND.

Outras duas melhorias desenvolvidas para este novo protótipo foram, a confecção de uma proteção que enclausura toda a parte elétrica do conjunto e conseqüentemente reduz o risco de choque elétrico e a instalação de um display que proporcionada a leitura das configurações da bancada de teste (Figura 52).

Figura 52 – *Display* para observação das configurações da bancada



Fonte: Próprio Autor

No Quadro 10 observa-se todos os componentes que formam o conjunto vibrações.

Quadro 10 - Componentes do conjunto vibrações (BVTC 15 10000).

(continua)

ITEM	COMP.	CONJ.	FUNÇÃO PARCIAL	CODIGO CONJUNTO	CÓDIGO ITEM	QUANT. DE COMP.
1	Base inferior	Conjunto vibrações	Prover vibrações mecânicas	BVTC 15 10000	BTVTC 15 10001	1
2	Mola				BTVTC 15 10002	4
3	Transformador				-	1
4	Suporte transformador				BTVTC 15 10003	2
5	Proteção				BTVTC 15 10006	1
6	Proteção				BTVTC 15 10007	1

Quadro 10 - Componentes do conjunto vibrações (BTV 15 10000).

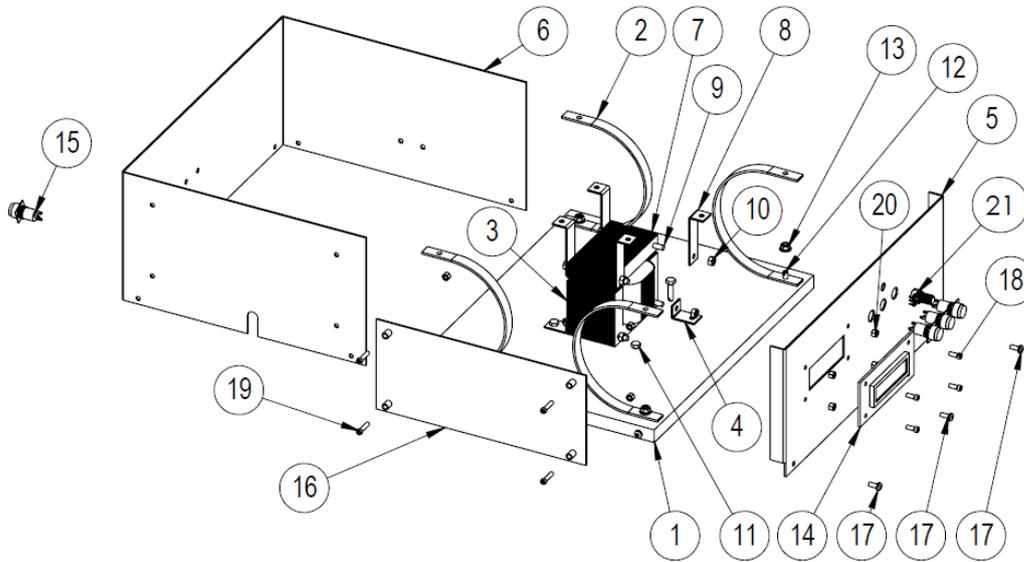
(conclusão)

ITEM	COMP.	CONJ.	FUNÇÃO PARCIAL	CODIGO CONJUNTO	CÓDIGO ITEM	QUANT. DE COMP.
7	I de Ferro	Conjunto vibrações	Prover vibrações mecânicas	BTV 15 10000	-	1
8	Suporte I de Ferro				BTV 15 10004	4
9	Barra Roscada				BTV 15 10005	4
10	Porca M6				-	8
11	Parafuso Sextavado M6x25				-	4
12	Parafuso Sextavado M6x30				-	4
13	Porca Flangeada M6				-	8
14	<i>Display</i> LCD				-	1
15	Botão				-	4
16	Placa Eletrônica				-	1
17	Parafuso Soberbo 4,5x12				-	9
18	Parafuso Sextavado Interno M5x12				-	4
19	Parafuso Sextavado Interno M5x20				-	4
20	Porca M5				-	8
21	Potenciômetro				-	1

Fonte: Próprio autor

Na Figura 53 observa-se os componentes que compõem o conjunto vibrações após a modelagem computacional.

Figura 53 - Conjunto vibrações (BVTC 15 10000).



Fonte: Próprio Autor

O conjunto pneumático é responsável por proporcionar à bancada de teste os choques mecânicos em intensidades variadas. Para que isso seja possível, são utilizados 3 pistões pneumáticos posicionados em forma de triângulo, o qual representam os três pontos de sustentação<sup>32</sup> de uma máquina agrícola em geral. Este conjunto tem relação funcional com o suporte das placas e com o conjunto vibrações.

Para controle dos pistões pneumáticos, são utilizadas 3 eletroválvulas pneumáticas 5/2 vias, as quais controlam a saída e a entrada do ar comprimido. Estas eletroválvulas são acionadas pela placa eletrônica citada no conjunto vibrações. O abastecimento do ar comprimido é realizado por meio da rede de ar no qual seja possível manter a pressão em torno de 8 Bar.

No Quadro 11 observa-se os componentes que formam o conjunto pneumático.

Quadro 11 - Componentes do conjunto pneumático (BVTC 15 20000).

ITEM	COMP.	CONJ.	FUNÇÃO PARCIAL	CODIGO CONJUNTO	CÓDIGO ITEM	QUANT. DE COMP.
1	-	Conjunto Pneumático	Prover choques mecânicos	BVTC 15 20000	BTVTC 15 20001	1
2	Cilindro Pneumático				-	3

(continua)

<sup>32</sup> Os três pontos de sustentação citados no texto referem-se primeiramente ao eixo traseiro onde são instalados uma roda cada extremidade (2 pontos) e o ponto de fixação do eixo dianteiro (1 ponto).

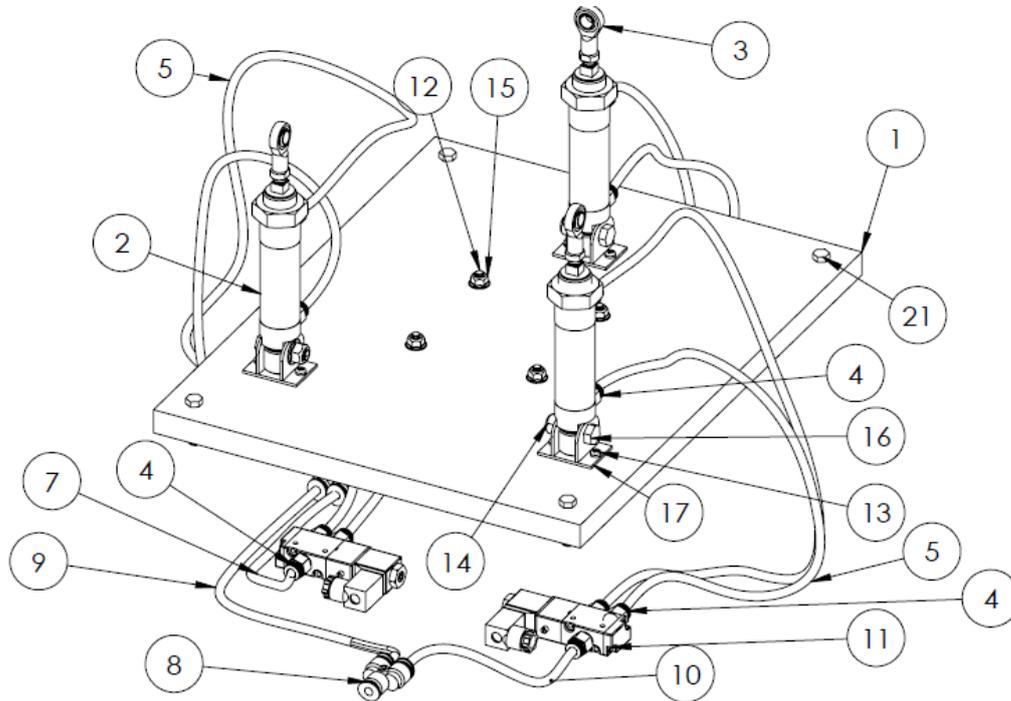
Quadro 11 - Componentes do conjunto pneumático ((BTVC 15 20000).

(conclusão)						
ITEM	COMP.	CONJ.	FUNÇÃO PARCIAL	CODIGO CONJUNTO	CÓDIGO ITEM	QUANT. DE COMP.
3	Terminal Rotular	Conjunto Pneumático	Prover choques mecânicos	BTVC 15 20000	-	3
4	Conexão Pneumática Reta				-	15
5	Mangueira Pneumática 6mm x 300				-	6
6	Mangueira Pneumática 6mm x 150				-	1
7	Mangueira Pneumática 6mm x 160				-	1
8	Conexão Pneumática Y				-	2
9	Mangueira Pneumática 6mm x 330				-	1
10	Mangueira Pneumática 6mm x 210				-	1
11	Eletroválvula 5/2 vias 24DC				-	3
12	Parafuso Sextavado M6x30				-	4
13	Parafuso Soberbo 4,5x12				-	6
14	Porca M8				-	3
15	Porca Autotravante M6				-	8
16	Parafuso Sextavado M8x30				-	3
17	-				BTVC 15 20100	3

Fonte: Próprio autor

Na Figura 54 apresenta-se o modelo digital dos componentes que compõem o conjunto pneumático.

Figura 54 - Conjunto pneumático (BVTC 15 20000).



Fonte: Próprio autor

O conjunto suporte das placas é responsável por suportar e fixar as placas eletrônicas que serão testadas, além de servir como base de conexão para os pistões pneumáticos. A estrutura de aço carbono SAE 1020 em forma de T é fixada na base superior por meio de parafusos com rosca soberba. Do mesmo modo, para fixação dos pistões pneumáticos, nas extremidades da estrutura T são utilizados parafusos cabeça sextavada M4x16 com porca travante.

No Quadro 12 apresenta-se os componentes que compõe o conjunto suporte das placas e desempenham a função fixar as placas eletrônicas.

Quadro 12 - Componentes do subsistema suporte das placas (BVTC 15 30000).

(continua)

ITEM	COMP.	CONJ.	FUNÇÃO PARCIAL	CODIGO CONJUNTO	CÓDIGO ITEM	QUANT. DE COMP.
1	Base superior	Conjunto suporte das placas	Fixar placas eletrônicas	BVTC 15 30000	BVTC 15 30001	1
2	Parafuso rosca soberba 4,5 x 20				-	3

Quadro 12 - Componentes do subsistema suporte das placas (BVTC 15 30000).

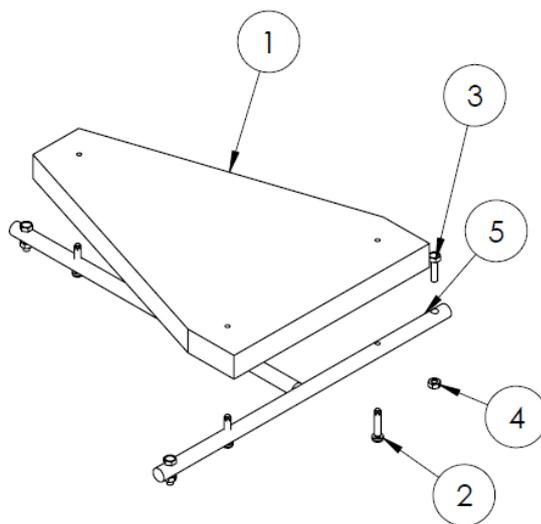
ITEM	COMP.	CONJ.	FUNÇÃO PARCIAL	CODIGO CONJUNTO	CÓDIGO ITEM	QUANT. DE COMP.
3	Parafuso M4 x 16	Conjunto suporte das placas	Fixar placas eletrônicas	BVTC 15 30000	-	3
4	Porca autotravante M4				-	3
5	Estrutura T				BVTC 15 30100	1

(conclusão)

Fonte: Próprio Autor

Na Figura 55 observa-se a modelo digital do conjunto suporte das placas e seus respectivos componentes.

Figura 55 - Conjunto suporte das placas (BVTC 15 30000).



Fonte: Próprio autor

Por fim, o conjunto base da bancada é responsável por manter a bancada de teste imóvel durante a realização do teste de vida acelerada. Para isso desenvolveu-se uma base formada por uma chapa de aço de espessura 12,7mm, a qual eleva a massa do conjunto e faz com que a frequência natural do conjunto se distancie da frequência de teste. Desta forma, o conjunto não corre o risco de entrar em ressonância durante os testes. Também são utilizados como pés de apoio 3

componentes denominados *vibra stop*, os quais reduzem a transmissibilidade das vibrações do conjunto para o ambiente.

O desenvolvimento desta base foi uma melhoria em relação ao protótipo apresentado por Bonaldo et al. (2015), pois devido aos níveis de vibrações e choques mecânicos causavam a movimentação da bancada.

No Quadro 13 são apresentados os componentes responsáveis por compor o conjunto base da bancada.

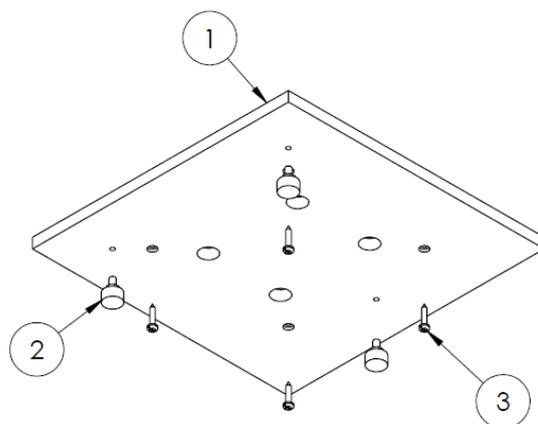
Quadro 13 – Componentes do conjunto base da bancada (BVTC 15 40000).

ITEM	COMP.	CONJ.	FUNÇÃO PARCIAL	CODIGO CONJUNTO	CÓDIGO ITEM	QUANT. DE COMP.
1	Base	Base da bancada	Manter a bancada fixa	BVTC 15 40000	BVTC 15 40001	1
2	Vibra stop				-	3
3	Parafuso soberbo 4,8 x 25				-	4

Fonte: Próprio Autor

Na Figura 56 observa-se o modelo digital dos componentes referente ao conjunto base da bancada.

Figura 56 - Conjunto base da bancada (BVTC 15 40000).

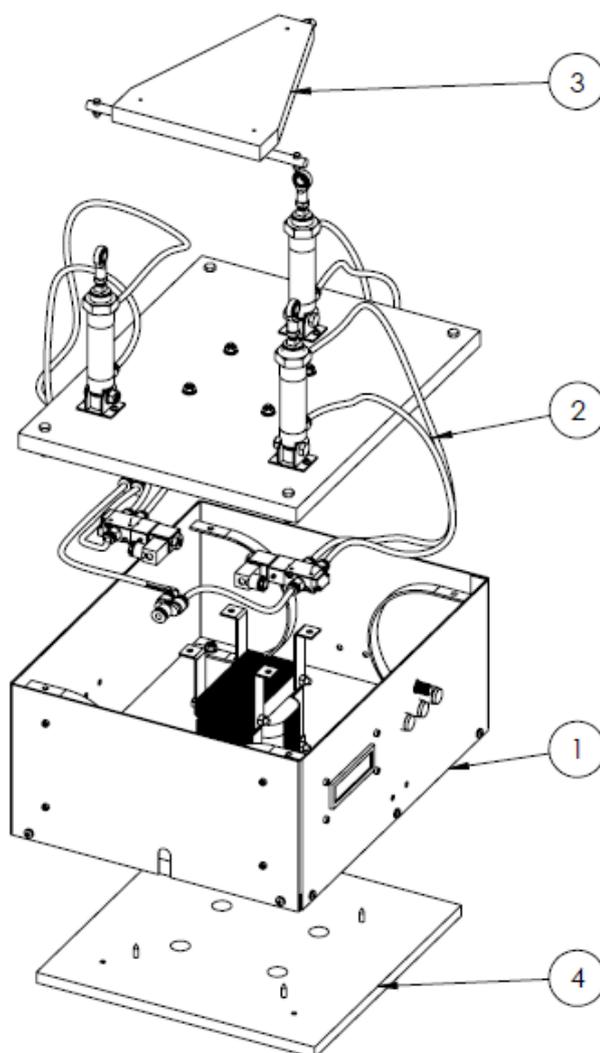


Fonte: Próprio autor

Finalizado os modelos digitais dos conjuntos, realizou-se a montagem dos mesmos formando a bancada de teste como observa-se a Figura 57. Nesta figura são

apresentados em (1) o conjunto vibrações (BVTC 15 10000), em (2) o conjunto pneumático (BVTC 15 20000), em (3) o conjunto suporte das placas (BVTC 15 30000) e em (4) o conjunto base da bancada (BVTC 15 40000).

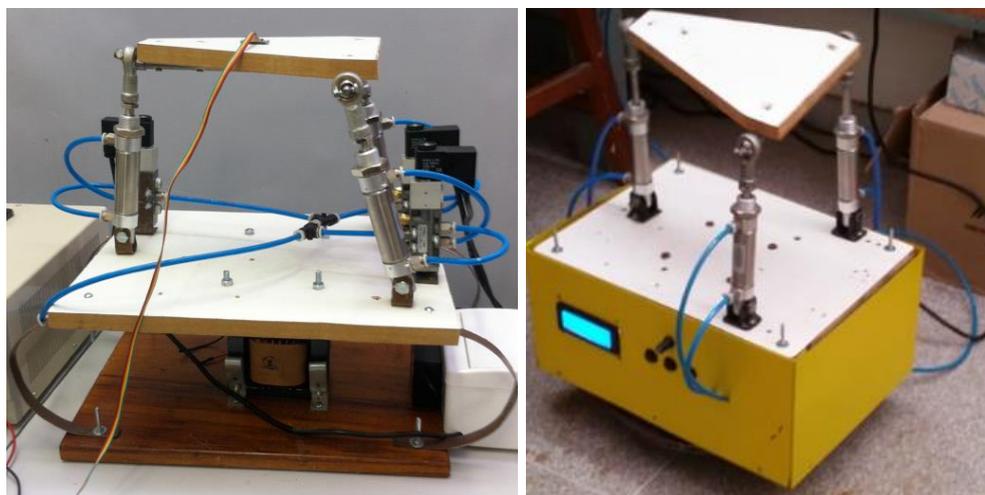
Figura 57 - Modelo digital da bancada de teste (BVTC 15 00000).



Fonte: Próprio Autor

Com os desenhos dos componentes realizados e as melhorias finalizadas foi possível construir o novo protótipo da bancada de teste. Na Figura 58 (a) observa-se o equipamento desenvolvido por Bonaldo et al. (2015) e na Figura 58 (b) o equipamento construído após implantado as melhorias proposta no presente trabalho.

Figura 58 – Bancada de teste: (a) Protótipo desenvolvido por Bonaldo et al.(2015); (b) Protótipo construído com melhorias



(a)

(b)

Fonte: (a) Bonaldo et al. (2015); (b) Próprio Autor

As melhorias realizadas na bancada de teste desenvolvida por Bonaldo et al. (2015) e apresentadas na Figura 58 (b) foram: Desenvolvimento da proteção para as partes elétricas; Instalação do *display* LCD; Instalação das eletroválvulas na base inferior; Desenvolvimento de um software para controle aleatório dos choques mecânicos.

O desenvolvimento da proteção ocorreu devido ao fato da clara exposição dos componentes elétricos do conjunto vibrações, o que proporcionava um eminente risco de choque elétrico aos operadores da bancada. Desta forma utilizou-se uma chapa de aço espessura 2mm e conformada e fixada ao redor da base inferior.

A instalação do *display* LCD ocorreu visando facilitar a leitura dos parâmetros de testes como, modo de teste (manual ou automático), amplitude de vibração e rotação do motor da máquina agrícola<sup>33</sup>.

As eletroválvulas foram reposicionadas na base inferior de forma que as mesmas não fossem expostas aos estresses dos testes, o que poderia causar danos e problemas no funcionamento. O desenvolvimento do software possibilita prover os choques mecânicos de forma automática e aleatória reproduzindo de forma similar o estresse enfrentado pelas máquinas agrícolas durante as operações no campo.

<sup>33</sup> A rotação do motor é convertida para a frequência de vibração de teste.

#### 4.3. FUNCIONALIDADE DA BANCADA DE TESTE

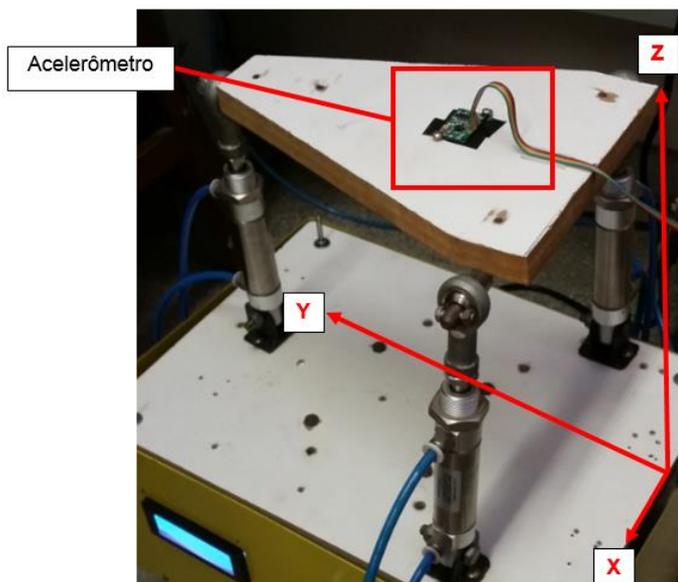
Anteriormente à realização do teste na placa eletrônica definida, foram realizadas algumas medições na bancada de testes, visando identificar as frequências de vibrações e as intensidades dos choques mecânicos que o equipamento é capaz de proporcionar. Desta forma é possível constatar a funcionalidade da bancada de testes.

Para realizar a medição da frequência das vibrações e as intensidades dos choques mecânicos instalou-se sobre a base superior da bancada um acelerômetro, conforme mostrado na Figura 59.

A leitura realizada pelo acelerômetro<sup>34</sup> é apresentada em V (Volts). De acordo com o especificado pelo fabricante do acelerômetro (ANALOG DEVICES, 2007), a conversão de V para intensidade gravitacional é:

$$0,33V = 1G$$

Figura 59 - Acelerômetro instalado sob a base superior da bancada de testes.

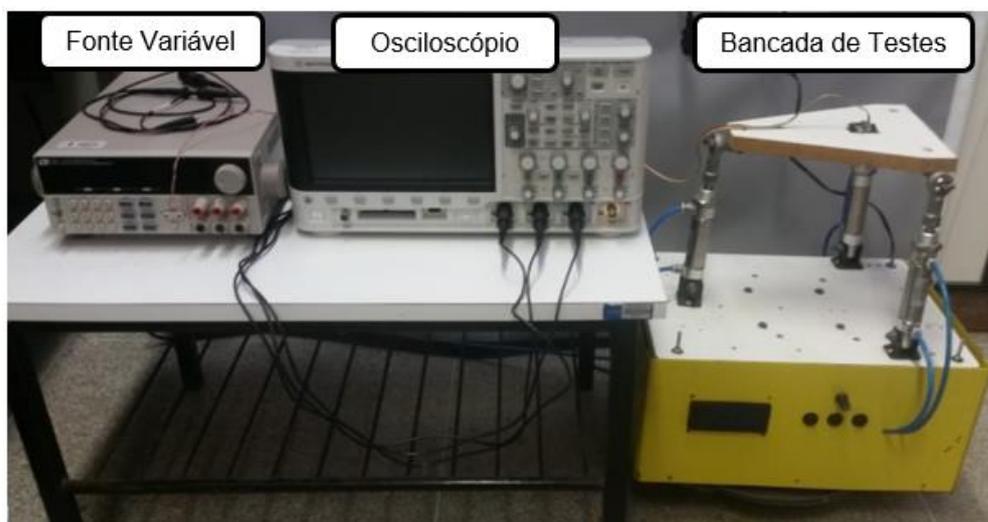


FONTE: Próprio autor

<sup>34</sup> O local de instalação do acelerômetro foi definido baseado no ponto onde a maioria dos sistemas eletrônicos estão instalados, ou seja, na cabine da máquina agrícola.

Na Figura 60 observa-se a aparato experimental utilizado durante o teste de funcionalidade da bancada. A fonte de alimentação ITECH modelo IT6302 foi utilizada para fornecer energia ao acelerômetro e o osciloscópio modelo Agilent<sup>35</sup> MSOX3034A serviu para realizar a leitura das frequências de vibrações e intensidades dos choques mecânicos.

Figura 60 - Fonte e Osciloscópio utilizados nos testes.



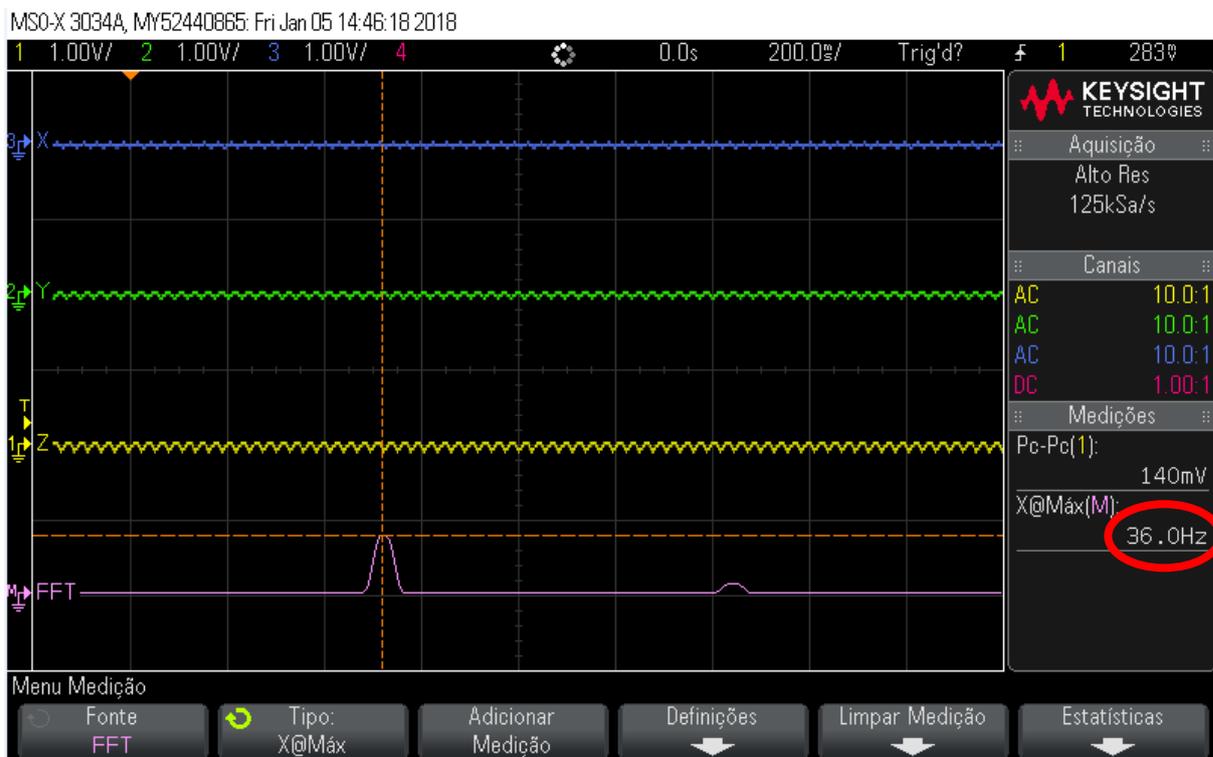
FONTE: Próprio autor

Iniciou-se os testes pela vibração de frequência fixa, no qual ligou-se e regulou-se o conjunto vibrações para operar em potência máxima. Com somente o conjunto vibrações em funcionamento realizou-se a leitura da frequência de vibração gerada como observa-se na Figura 61. Pode-se então verificar que a bancada de teste é capaz de proporcionar uma frequência de vibração de 36Hz.

---

<sup>35</sup> Nota-se que nas imagens obtidas no osciloscópio o nome do fabricante mostrado é a Keysight o que se difere do nome mostrado na carcaça do osciloscópio (Agilent). Isso é decorrente, pois em 2014, a Agilent Technologies se dividiu em duas empresas, sendo uma delas a Keysight, que ficou responsável pela produção, comercialização e suporte a equipamentos de teste e medição eletrônica

Figura 61 - Frequência da vibração.



FONTE: Próprio autor

Posterior a verificação da frequência de vibração, foram testadas as intensidades dos choques mecânicos. Sabendo-se que há três pistões pneumáticos (Figura 62) atuando aleatoriamente, realizou-se as medidas das intensidades em diversas combinações, como descrito no Quadro 14.

Quadro 14 - Sequenciamento e combinações das medições de intensidade.

(continua)

UNIDADES EXPERIMENTAIS (n)	COMBINAÇÃO DE PISTÕES	INTENSIDADES MEDIDAS (1G=0,33V)
1	1 subindo	6,48G (2,14V)
2	1 descendo	4,54G (1,50V)
3	2 subindo	7,24G (2,39V)
4	2 descendo	6,00G (1,98V)
5	3 subindo	7,18G (2,37V)
6	3 descendo	6,69G (2,21V)
7	1 e 2 subindo	7,60G (2,51V)
8	1 e 2 descendo	5,03G (1,66V)

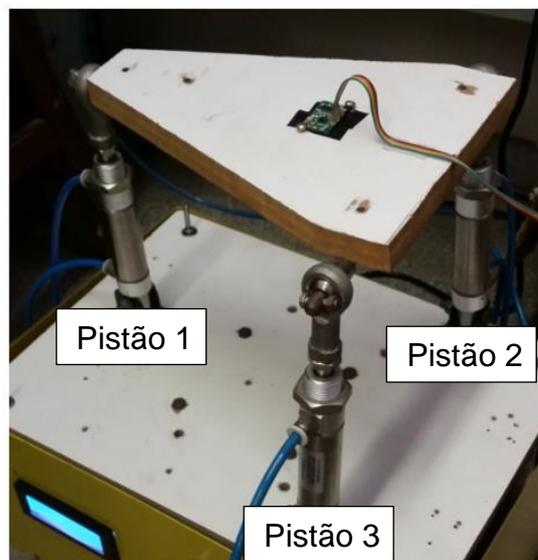
Quadro 14 - Sequenciamento e combinações das medições de intensidade.

UNIDADES EXPERIMENTAIS (n)	COMBINAÇÃO DE PISTÕES	INTENSIDADES MEDIDAS (1G=0,33V) (conclusão)
9	1 e 3 subindo	7,18G (2,37V)
10	1 e 3 descendo	6,09G (2,01V)
11	1, 2 e 3 subindo	8,24G (2,72V)
12	1, 2 e 3 descendo	6,87G (2,27V)
13	2 e 3 subindo	7,21G (2,38V)
14	2 e 3 descendo	6,84G (2,26V)

FONTE: Próprio autor

No entanto para realizar as combinações descritas no Quadro 14 foi necessário realizar definições referente ao posicionamento dos pistões pneumáticos como mostrado na Figura 62.

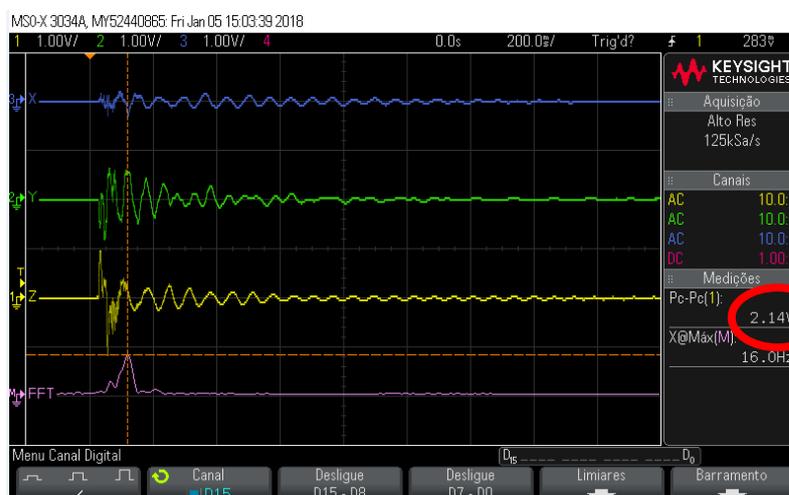
Figura 62 - Identificação dos pistões pneumáticos.



FONTE: Próprio autor

Na medida 1 foi constatada a intensidade do choque mecânico com o movimento do pistão 1 subindo. Esta intensidade é mostrada na Figura 63 como sendo de 6,48G (2,14V) de pico a pico no eixo Z.

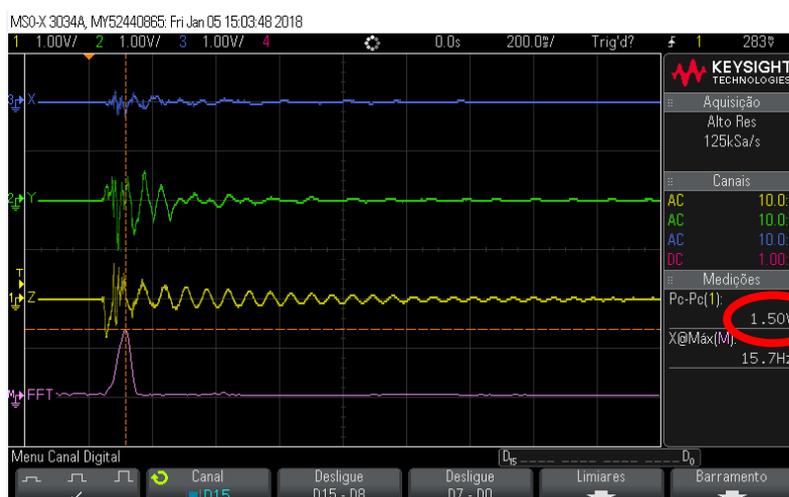
Figura 63 – Intensidade máxima de 6,48G no eixo Z.



FONTE: Próprio autor

Na medida 2 foi constatada a intensidade do choque mecânico com o movimento do pistão 1 descendo. Esta intensidade é mostrada na Figura 64 como sendo 4,54G (1,5V) de pico a pico no eixo Z.

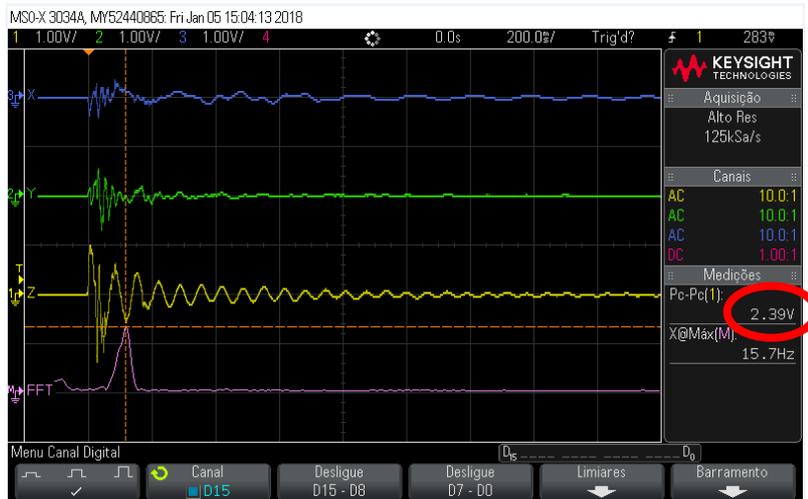
Figura 64 – Intensidade máxima de 4,54G no eixo Z.



FONTE: Próprio autor

Na medida 3 foi constatada a intensidade do choque mecânico com o movimento do pistão 2 subindo. Esta intensidade é mostrada na Figura 65 como sendo 7,24G (2,39V) de pico a pico no eixo Z.

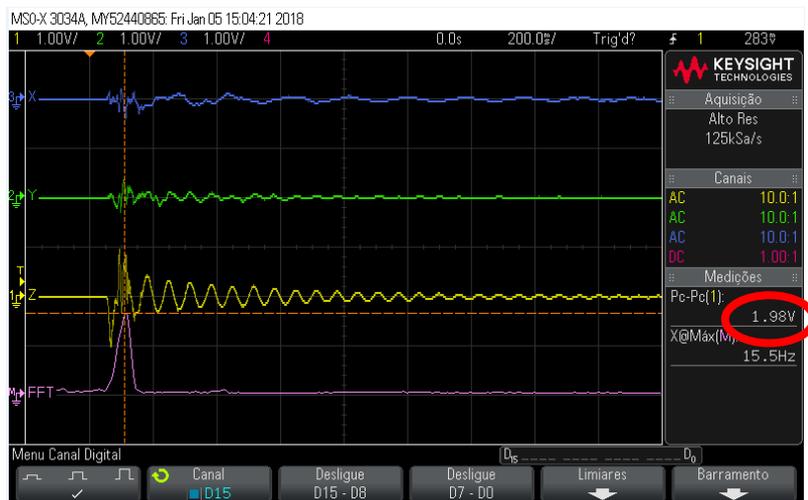
Figura 65 – Intensidade máxima de 7,24G no eixo Z.



FONTE: Próprio autor

Na medida 4 foi constatada a intensidade do choque mecânico com o movimento do pistão 2 descendo. Esta intensidade é mostrada na Figura 66 como sendo 6G (1,98V) de pico a pico no eixo Z.

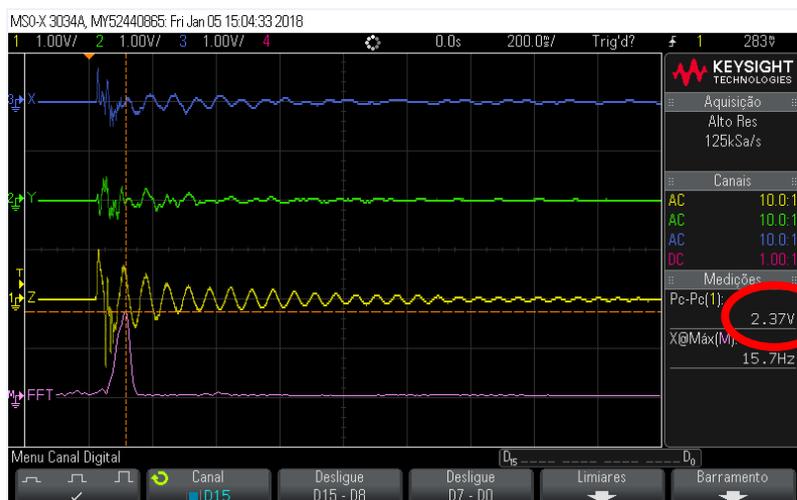
Figura 66 – Intensidade máxima de 6G no eixo Z.



FONTE: Próprio autor

Na medida 5 foi constatada a intensidade do choque mecânico com o movimento do pistão 3 subindo. Esta intensidade é mostrada na Figura 67 como sendo 7,18G (2,37V) de pico a pico no eixo Z.

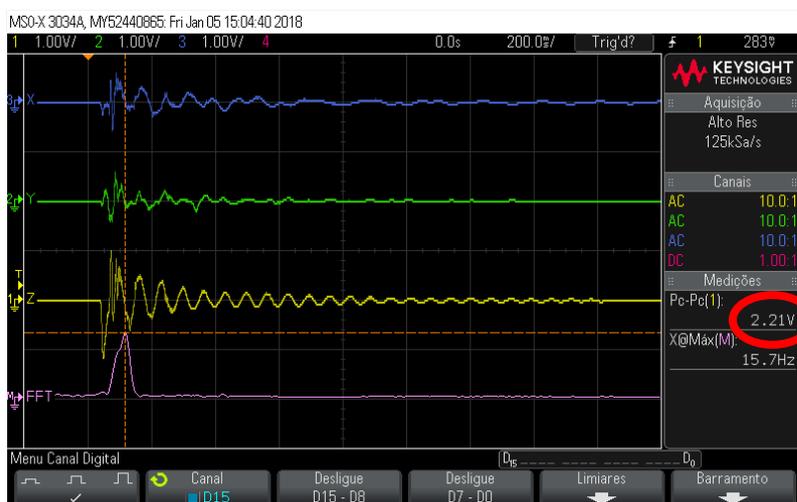
Figura 67 - Intensidade máxima de 7,18G no eixo Z.



FONTE: Próprio autor

Na medida 6 foi constatada a intensidade do choque mecânico com o movimento do pistão 3 descendo. Esta intensidade é mostrada na Figura 68 como sendo 6,69G (2,21V) de pico a pico no eixo Z.

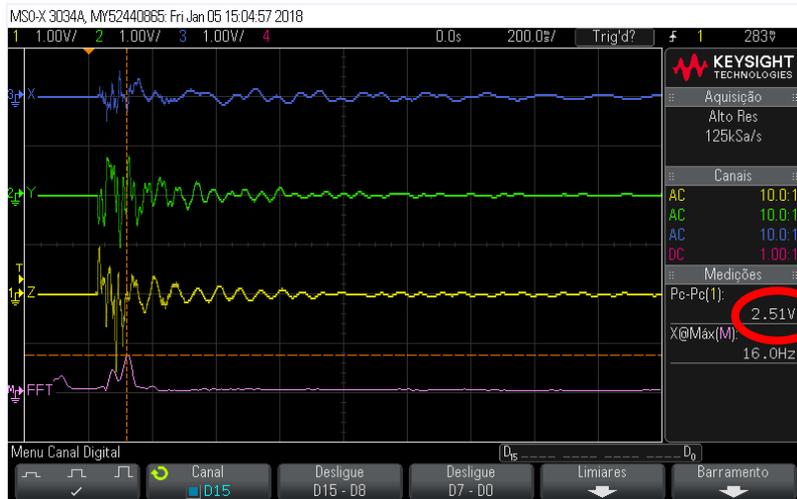
Figura 68 - Intensidade máxima de 6,69G no eixo Z.



FONTE: Próprio autor

Na medida 7 foi constatada a intensidade do choque mecânico com o movimento do pistão 1 e 2 subindo. Esta intensidade é mostrada na Figura 69 como sendo 7,6G (2,51V) de pico a pico no eixo Z.

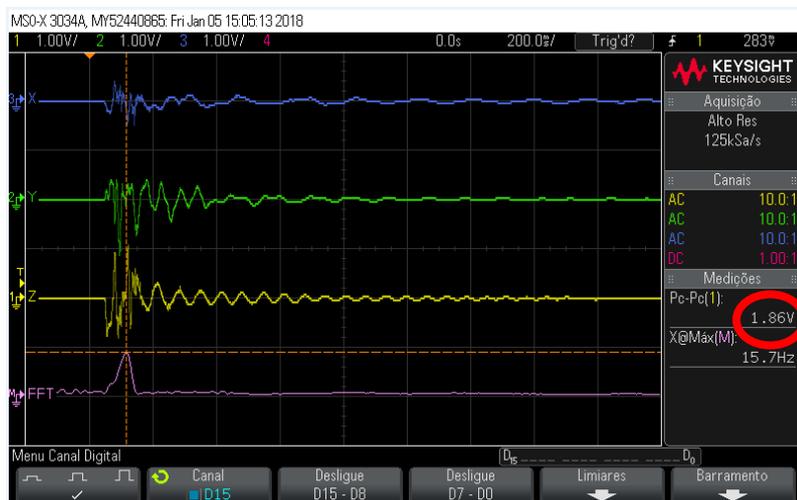
Figura 69 - Intensidade máxima de 7,6G no eixo Z.



FONTE: Próprio autor

Na medida 8 foi constatada a intensidade do choque mecânico com o movimento do pistão 1 e 2 descendo. Esta intensidade é mostrada na Figura 70 como sendo 5,63G (1,86V) de pico a pico no eixo Z.

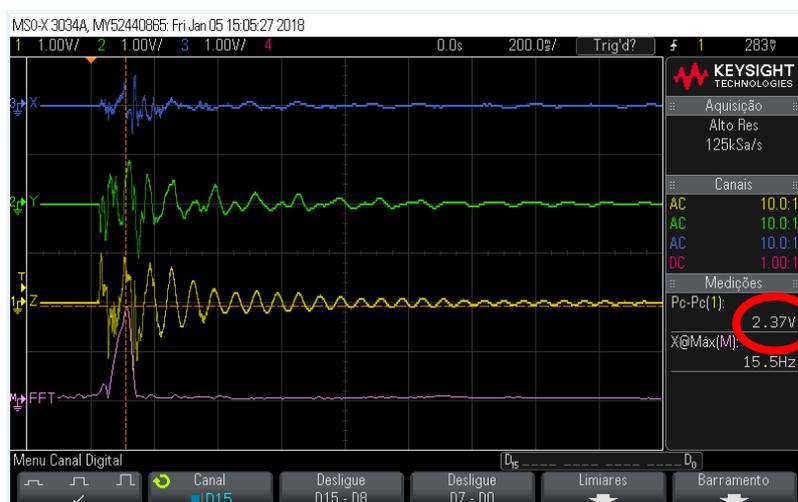
Figura 70 - Intensidade máxima de 5,03G no eixo Z.



FONTE: Próprio autor

Na medida 9 foi constatada a intensidade do choque mecânico com o movimento do pistão 1 e 3 subindo. Esta intensidade é mostrada na Figura 71 como sendo 7,18G (2,37V) de pico a pico no eixo Z.

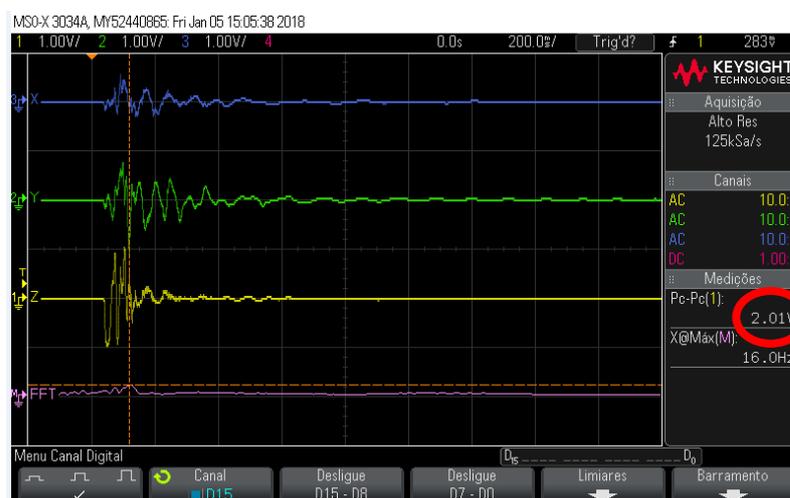
Figura 71 - Intensidade máxima de 7,18G no eixo Z.



FONTE: Próprio autor

Na medida 10 foi constatada a intensidade do choque mecânico com o movimento do pistão 1 e 3 descendo. Esta intensidade é mostrada na Figura 72 como sendo 6,09G (2,01V) de pico a pico no eixo Z.

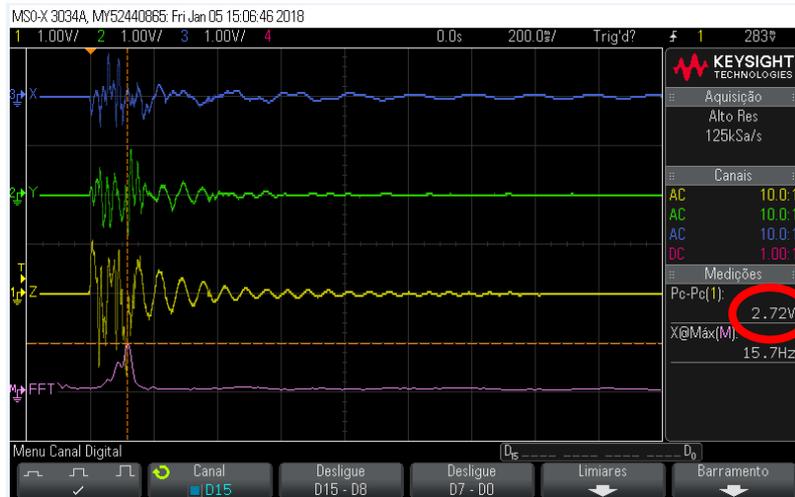
Figura 72 – Intensidade máxima de 6,09G no eixo Z.



FONTE: Próprio autor

Na medida 11 foi constatada a intensidade do choque mecânico com o movimento de todos os pistões subindo. Esta intensidade é mostrada na Figura 73 como sendo 8,24G (2,72V) de pico a pico no eixo Z.

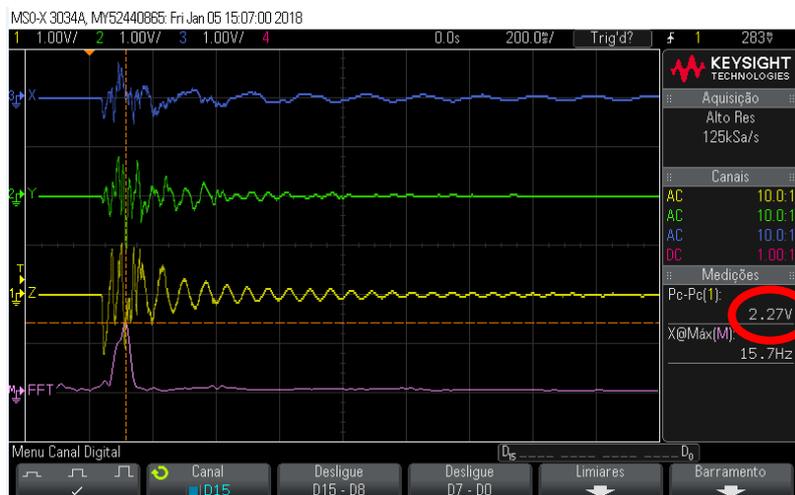
Figura 73 – Intensidade máxima de 8,24G no eixo Z.



FONTE: Próprio autor

Na medida 12 foi constatada a intensidade do choque mecânico com o movimento de todos os pistões descendo. Esta intensidade é mostrada na Figura 74 como sendo 6,87G (2,27V) de pico a pico no eixo Z.

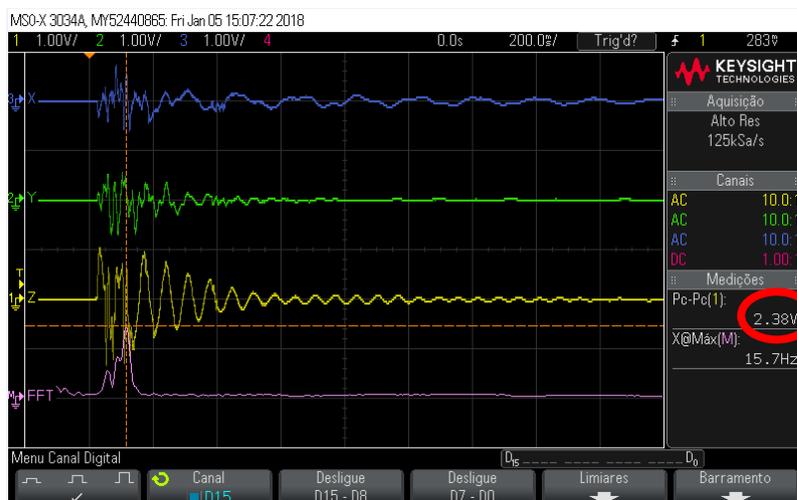
Figura 74 - Intensidade máxima de 6,87G no eixo Z.



FONTE: Próprio autor

Na medida 13 foi constatada a intensidade do choque mecânico com o movimento do pistão 2 e 3 subindo. Esta intensidade é mostrada na Figura 75 como sendo 7,21G (2,38V) de pico a pico no eixo Z.

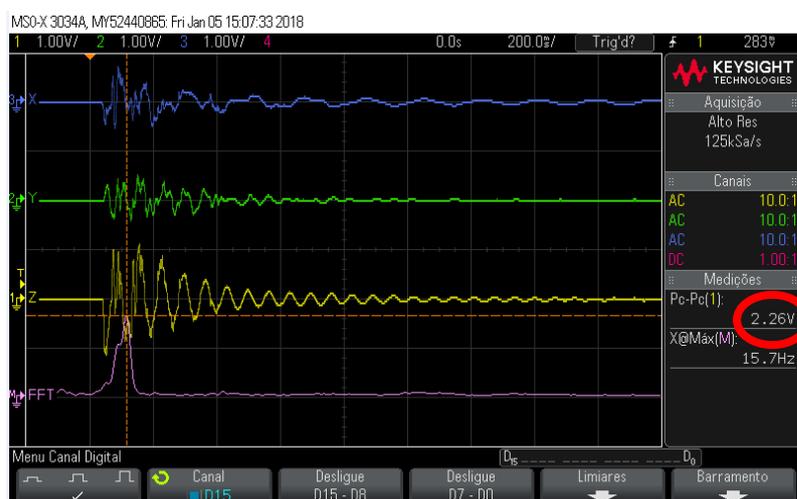
Figura 75 - Intensidade máxima de 7,21G no eixo Z.



FONTE: Próprio autor

Na medida 14 foi constatada a intensidade do choque mecânico com o movimento do pistão 2 e 3 descendo. Esta intensidade é mostrada na Figura 76 como sendo 6,84G (2,26V) de pico a pico no eixo Z.

Figura 76 - Intensidade máxima de 6,84G no eixo Z.



FONTE: Próprio autor

Por fim, realizou-se a constatação da intensidade da vibração randômica atuando junto aos choques mecânicos, como pode-se observar na Figura 77.

Figura 77 - Intensidade de todos os sistemas funcionando simultaneamente.



FONTE: Próprio autor

Observa-se que embora a bancada de teste seja simétrica em relação ao eixo y e o acelerômetro tenha sido instalado sobre este eixo, nas medições 7 e 9, 8 e 10, 3 e 5, 4 e 6 não foram encontrados os mesmos valores. Isso ocorreu devido ao conjunto vibrações estar em funcionamento durante os testes nos pistões pneumáticos. As variações nos valores encontrados são decorrentes da soma ou subtração da frequência de vibração no momento do choque mecânico.

Nesta medição constatou-se que a frequência máxima atingida com os sistemas funcionando simultaneamente é de 14,21Hz. Também foi possível identificar que a bancada de testes é capaz de proporcionar choques mecânicos no eixo X com intensidade máxima de 5,45 G (1,8V), no eixo Y de 7,57 G (2,5V) e no eixo Z de 8,12 G (2,68V) considerando nos três eixos a intensidade máxima de pico a pico.

Segundo relatado por Matthews (1996 *apud* SANTOS, 2002) os níveis de vibração do qual um trator lastrado se movimentando sobre uma pastagem está exposto é de 0,3G na direção Z, 0,12 G na direção Y e 0,2 G na direção X. Já Roth

(2010) em seu trabalho relata que durante os testes a campo o valor máximo encontrado das intensidades dos choques foi de aproximadamente 0,37G na direção Z. Nas demais direções Roth (2010) não apresentou resultado de suas medições. Por fim, apresenta-se o valor encontrado por Franchini (2007), o qual após a realização de seus testes encontrou como valor máximo das intensidades cerca de 1G.

Comparando os valores das intensidades proporcionadas pela bancada de testes e os valores encontrados por Matthews (1996 *apud* SANTOS, 2002), Roth (2010) e Franchini (2007) é possível concluir que a bancada de testes é capaz de proporcionar choques mecânicos em níveis elevados, tornando-a capaz da realização de testes de vida acelerada.

#### 4.4. REALIZAÇÃO DO TESTE DE VIDA ACELERADA NA PLACA ELETRÔNICA

Para realização do teste de vida acelerada em um sistema eletrônico utilizou-se o procedimento desenvolvido neste trabalho (Figura 42).

Inicialmente realizou-se a definição da placa eletrônica a ser estudada. O componente escolhido foi a placa eletrônica (Figura 1) desenvolvida por Bonaldo (2014), a qual é responsável por controlar e monitorar as operações do pulverizador de parcelas. Sua instalação é realizada dentro da cabine ou estrutura de proteção do trator agrícola.

No planejamento do teste, identificou-se as frequências e intensidades que foram aplicados a placa eletrônicas juntamente com a determinação da duração do teste.

A frequência de vibração utilizada foi de 36Hz e as intensidades dos choques mecânicos foram de 5,45G, 7,57G e 8,12G nos eixos X, Y e Z respectivamente. O tempo de duração do teste não foi pré-determinado, sendo que o mesmo teve sua duração até a placa eletrônica falhar.

A execução do teste ocorreu no laboratório do Grupo de Pesquisa NIGHTWIND do CTISM/UFSM. A placa eletrônica foi fixada na base superior da bancada de teste por meio de parafusos inseridos nos quatro cantos da mesma conforme observa-se na Figura 78. O *display* LCD foi fixada por dois parafusos na parte inferior.

Figura 78 - Placa eletrônica fixada na base superior da bancada.



FONTE: Próprio autor

Durante o teste, a placa eletrônica esteve energizada com 5V por meio de uma fonte de alimentação CC. Este fornecimento de energia é responsável por deixar todos os componentes eletrônicos em funcionamento, tais como: *Display* LCD, GPS, leitor de cartão de memória, dentre outros. Desta forma foi possível identificar quando o *display* LCD parou de funcionar, após decorrer 140 segundos de testes.

O momento em que a *display* LCD parou seu funcionamento foi detectado devido a instalação de uma câmera fotografa em frente ao conjunto de teste. Assim também se identificou os primeiros sinais como sendo a interferência no *display* LCD, ocasionando na obstrução da leitura dos dados obtidos instantaneamente. Estas interferências tiveram um aumento gradativo rapidamente até o total colapso do *display*.

Finalizado o teste, realizou-se algumas inspeções na placa eletrônica testada a fim de detectar se a falha ocorreu somente no *display* LCD, ou também em outras partes do circuito.

O mau funcionamento no *display* LCD foi ocasionado pelos altos níveis de vibrações. Os primeiros indícios de defeito constatados no *display* foi o embaralhamento dos dígitos e conseqüentemente o desaparecimento dos mesmos, impossibilitando a leitura. A partir disto, pode-se dizer que a priori este é o primeiro item a falhar durante a operação em níveis de estresse normal.

Além da inspeção visual que detectou o mau funcionamento do *display LCD*, também realizou-se a inspeção de continuidade para detectar se ocorreu algum tipo de micro-trinca, solda de soldas frias, ou defeitos nos componentes eletrônicos. Nesta inspeção não foi possível detectar nenhuma situação anormal, o que retrata a robustez da placa eletrônica.

Por fim, após identificado o tempo de duração do teste e sabendo que para este caso pode-se dizer que para este caso o tempo médio até a primeira falha ocorrida no sistema representa o MTTF, pode-se dizer que:

$$\text{MTTF} = 140 \text{ segundos}$$

#### 4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram apresentados os resultados referentes à busca de anterioridade, nos quais constatou-se que há uma grande quantidade de sistemas capazes de proporcionar vibrações ou choques mecânicos. No entanto, não se constatou a existência de um sistema que proporcione simultaneamente os dois tipos de estresse em níveis elevados.

Em um segundo momento realizou-se a análise funcional da bancada de testes desenvolvida por Bonaldo et al. (2015), onde pode-se montar a árvore de funções e identificar a função global do sistema (Prover vibrações e choques mecânicos). A partir destas informações, montou-se a descrição de cada conjunto, onde foi relatado cada subfunção e os itens responsáveis por desempenhar a mesma. Conhecendo todos os componentes e as funções da bancada de teste e visando a otimização da bancada existente, elaborou-se a modelagem computacional e os desenhos necessários para a fabricação dos itens.

Com as alterações na bancada de teste definidas e realizadas construiu-se o novo protótipo do sistema verificando que todas as melhorias implantadas tiveram sucesso. Também realizou-se uma sequência de testes onde verificou-se que a bancada é capaz de proporcionar níveis de vibrações e choques mecânicos acima dos níveis encontrados nas máquinas agrícolas.

Para finalizar, realizou-se a aplicação do teste de vida acelerada em uma placa eletrônica desenvolvida em laboratório. A aplicação deste teste baseou-se em um sequenciamento de atividades pré-definidas anteriormente, as quais tinham por

objetivo monitorar, controlar, registrar os parâmetros de testes juntamente com a estimativa da vida útil de placa similares a testada em operação com níveis de estresse normal.

## 5. CONCLUSÃO

O trabalho de pesquisa tratado nesta dissertação é originado a partir da necessidade da realização de teste de vida acelerada em sistemas eletrônicos embarcados em máquinas agrícolas juntamente com o aperfeiçoamento da bancada de testes existente.

Inicialmente, fez-se uma caracterização dos sistemas eletrônicos embarcados em máquinas agrícolas no mercado atual identificando que sistema como GPS, pilotos automáticos, computadores de bordo, dentre outros são itens comumente instalados em colhedoras, pulverizadores autopropelidos e tratores. A partir desta pesquisa concluiu-se que estes sistemas são importantes para o desenvolvimento da agricultura de alta produtividade, devido a estes possibilitarem o monitoramento, controle e registro dos índices de adubação, pulverização, plantio e colheita. Também constatou-se que estes sistemas estão expostos constantemente a estresses como vibrações e choques mecânicos, os quais tendem a reduzir a vida útil dos componentes eletrônicos.

Com base nesta constatação, realizou-se uma pesquisa de anterioridade de patentes referente a sistemas utilizados para testes de vibração e/ou choques mecânicos, identificando um total de 656 patentes, dentre das quais apenas 25 são relacionadas a testes de vida acelerada. No entanto, nenhum destes 25 sistemas é capaz de reproduzir vibrações e choques mecânicos simultaneamente, o que vem ao encontro da importância de uma bancada de teste capaz de reproduzir estes estresses.

Sabendo que a bancada de teste descrita em Bonaldo et al. (2015) é capaz de proporcionar estes dois tipos de estresse de forma simultânea, realizou-se a análise funcional do equipamento existente, identificando a função global (Prover vibrações e choques mecânicos), as subfunções (Prover choques mecânicos, prover vibrações, manter a bancada fixa e fixar as placas eletrônicas) e os respectivos conjuntos (Vibrações, pneumático, suporte das placas e base da bancada) responsáveis por desempenhá-las.

Com os conjuntos identificados fez-se a aquisição dimensional de todos os componentes existentes realizando assim a modelagem computacional dos mesmos. Durante a modelagem do novo protótipo realizou-se melhorias na bancada de teste tais como, o desenvolvimento de uma proteção isolando as partes elétricas,

confeccionada em chapa 2mm, conformada e fixada ao redor da base inferior da bancada, fazendo com que desta forma os riscos de choques elétricos sejam reduzidos; a instalação de um *display* na bancada de teste, a qual proporciona ao operador a visualização das configurações de teste; reposicionamento das eletroválvulas para a base inferior onde não estão expostas ao estresse vibração e o desenvolvimento de um software para controle de forma automática e aleatória dos choques mecânicos fazendo com que o ambiente de teste seja similar ao ambiente em que as máquinas agrícolas estão inseridas.

Após a construção do novo protótipo e a realização dos testes de frequências e intensidades dos choques mecânicos constatou-se que o sistema é capaz de proporcionar um teste de vida acelerado a sistema eletrônicos.

Por fim, realizou-se o teste de vida acelerada na placa eletrônica desenvolvida em laboratório e constatou-se que de fato a bancada acelerou a vida útil da placa testada, pois esta falhou com 140 segundos após o início do teste.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMATO NETO, J. A indústria de máquinas agrícolas - origens e evolução. **Revista de Administração Empresarial**. 1985. Disponível em: < <https://rae.fgv.br/rae/vol25-num3-1985/industria-maquinas-agricolas-no-brasil-origens-evolucao>>. Acesso em: 20 Ago. 2017.

ANALOG DEVICES, Massachusetts, EUA. Disponível em: <<http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL330.pdf>>. Acesso em: 27 Ago. 2018.

ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Anuário da Indústria automobilística brasileira 2018**. São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/>>. Acesso em: 19 Ago. 2018.

ANKENSSON, N. B.; YATES, W. E. **Pesticide application equipment and techniques**. Roma: FAO, 1979. 257 p. (FAO Agricultural Services Bulletin)

ASSIS, R. **Manutenção centrada na fiabilidade: Economia das decisões**. Lisboa: Lidel. 1997

AUTOESPORTE. **Case IH apresenta trator autônomo no Brasil**. 2017. Disponível em: <<https://revistaautoesporte.globo.com/Noticias/noticia/2017/05/case-ih-apresenta-trator-autonomo-no-brasil.html>>. Acesso em: 10 Ago. 2017.

BACK, N., OGLIARI, A., DIAS, A., & SILVA, J. C. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, SP: Manole, 2008.

BAIO, F. H. R. Direção certa. **Cultivar máquinas**. p. 14-17. 2013.

BAIO, F. H., & ANTUNIASSI, U. R. Sistemas de controle eletrônico e navegação para pulverizadores. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**, Botucatu, p.123-142, 2011.

BALESTREIRE, L. A. O estado da arte da agricultura de precisão no Brasil. **II Simpósio sobre Agricultura de Precisão**. Piracicaba: Ed. do Autor, 2000. 224 p.

BERGAMO, V. F., **Confiabilidade básica e prática**. São Paulo: Edgar Blucher LTDA, 1997.

BONALDO, S. A. **Projeto e desenvolvimento de um sistema automatizado para ensaios de aplicação de insumos**. 2014. 385 f. Tese de doutorado. (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

BONALDO, S. A., LAGO, A., SANTOS, C. G. dos, MARCHESAN, R. N., BALARDIN, R. S. A new low-cost mixed vibration and repetitive shock. 2015. **Anais...** Santa Maria: 9º SEPOC, 2015.

BUGATTI, I. G. **Automação e controle de pulverização em máquinas**. 2007. 14 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Curso de ciências da computação). Centro Universitário Eurípedes de Marília, Marília, 2007.

CARVALHO, E. A. de, ARAUJO, P. C. de, **Noções básicas de sistema de posicionamento global GPS**. Notas de aula - Leituras Cartográficas e Interpretações Estatísticas II. Paraíba. 2009. Disponível em: <[http://www.ead.uepb.edu.br/arquivos/cursos/Geografia\\_PAR\\_UAB/Fasciculos%20-%20Material/Leituras\\_Cartograficas\\_II/Le\\_Ca\\_II\\_A08\\_MZ\\_GR\\_260809.pdf](http://www.ead.uepb.edu.br/arquivos/cursos/Geografia_PAR_UAB/Fasciculos%20-%20Material/Leituras_Cartograficas_II/Le_Ca_II_A08_MZ_GR_260809.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2016.

CASALI, A. L., Caracterização, avaliação e classificação dos pulverizadores autopropelidos produzidos no Brasil. 2015. 127 f. Tese de doutorado. (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria. 2015.

CHAIM, A. **História da pulverização**. Embrapa Meio Ambiente. 1999. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Chaim\\_historialD](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Chaim_historialD)>. Acesso em: 07/07/2018.

CICILLINI, F. Jacto leva para Show Rural Coopavel novos modelos de pulverizadores. **Grupo Cultivar**. Pelotas. 2016. Disponível em: <<https://www.grupocultivar.com.br/noticias/jacto-leva-para-show-rural-coopavel-novos-modelos-de-pulverizadores>>. Acesso em: 18 Nov. 2017.

CLAUSET, A.; SHALIZI, C. R.; NEWMAN, M. E. J. Power-Law Distributions in Empirical Data. **Siam Review**, p. 661-703. Philadelphia . 2009. Disponível em: <<https://epubs.siam.org/doi/abs/10.1137/070710111>>. Acesso em: 15 Out. 2016.

COSTA, F. T., SCHIELBELBEIN, L. M., SANTOS, M. D., STEVAN Jr., S. L. Evolução de sensores em máquinas agrícolas. **X Congresso Brasileiro de Agroinformática**. 21 a 23 de Outubro de 2015. Ponta Grossa. 2015. Disponível em: <[http://eventos.uepg.br/sbiagro/2015/anais/SBIAgro2015/pdf\\_resumos/13/13\\_felipe\\_tozetto\\_costa\\_93.pdf](http://eventos.uepg.br/sbiagro/2015/anais/SBIAgro2015/pdf_resumos/13/13_felipe_tozetto_costa_93.pdf)>. Acesso em: 10 Abr. 2017.

DELAI, A. L., Sistemas Embarcados: a computação invisível. **Guia do hardware.net**. 2013. Disponível em: <<http://www.hardware.com.br/artigos/sistemas-embarcados-computacao-invisivel/conceito.html>>. Acesso em: 20 Set. 2016.

DIAS, A., CALIL, L.F.P., RIGONI, E., SAKURADA, E.Y., OGLIARI, A., KAGUEIAMA, H.A. **Metodologia para análise de risco**: Mitigação de perda de SF6 em disjuntores. Florianópolis: Ed. Studio S. 2011.

ELSAYED, E. A. **Reliability engenering**. New Jersey: Wiley. 1996.

FARIAS, M. S. de, As maiores. **Cultivar Máquinas**, 2015. P. 18-27.

FELIX, E. P. **Análise de confiabilidade de sistema eletrônicos complexos baseada em ensaios acelerados de vida**. 2006. 154 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Mecânica). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006.

FERREIRA, M. J., **A industria brasileira de tratores agrícolas e colheitadeiras: As estratégias de suas empresas e o desenvolvimento de vantagens competitivas**. 1995. 126 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Economia). Universidade Federal de Campinas, Campinas. 1995.

FONSECA, M. D., **Concorrência e progresso técnico na indústria de máquinas para a agricultura**. 1990. 249 f. Tese de doutorado. (Doutorado em Economia). Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1990.

FRANCHINI, D., **Análise do nível de vibrações verticais no assento de um trator agrícola**. 2007. 139 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2007.

GEO AGRI. **Piloto Automático Elétrico CFX-750 Drive XP**. Disponível em: <<http://www.lojageoagri.com.br/piloto-automatgico-eletrico-cfx-750-drive-xp/>>. Acesso em: 18 Jul. 2016.

HNATEK, E. R., **Practical reliability of electronic equipment and products**. San Diego: Marcel Dekker. 2003.

HSU A., HUANG D. L., CHANG G., YANG J. Understanding Halt Application In Desktop, Nb And Server. **IEEEExplore**. 2012. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6175460/>>. Acesso em: 20 Jun. 2016.

JEDEC. JEDEC SOLID STATE TECHNOLOGY ASSOCIATION. **JESD22-B103B. Vibration, variable frequency**. 2006.

JOHN DEERE. Disponível em: Tratores médios. <[https://www.deere.pt/pt\\_PT/products/equipment/tractors/6r\\_small\\_mid\\_frame/6155r/6155r.page](https://www.deere.pt/pt_PT/products/equipment/tractors/6r_small_mid_frame/6155r/6155r.page)>. Acesso em: 07 Jul. 2016.

JONES, T. O., KOPP, K. A., & FLEMING, W. J. Status of Agricultural Electronics. **33rd IEEE Vehicular Technology Conference**. 1983. Disponível em: <[https://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?&filter%3DAND%28p\\_IS\\_Number%3A34065%29&searchWithin=status&pageNumber=1&resultAction=REFINE](https://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?&filter%3DAND%28p_IS_Number%3A34065%29&searchWithin=status&pageNumber=1&resultAction=REFINE)>. Acesso em: 19 Jul. 2016.

KECECIOGLU, D. B. **Reliability & Life Testing Handbook**. Pensilvania: Inc. Lancaster. 2002.

LUCA, L. V. de., **Recomendações para a implementação de ensaios de estresse térmico voltados à confiabilidade de hardwares eletrônicos**. 2004. 125 f. Dissertação de mestrado. (Mestrado em Metrologia Científica e Industrial). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2004.

MÀRQUEZ, L. **Tractores Agrícolas: Tecnología y utilizacion**. Madrid: B&H. 2011.

MECCAGRI. John Deere rinnova la serie 7R com la versione 2014. **Meccagri: il portale della meccanizzazione agricola**. Disponível em: <

<http://www.meccagri.it/john-deere-rinnova-la-serie-7r-con-la-versione-2014/>>. Acesso em: 07 Jul 2016.

MOLIN, J. P., AMARAL, L. R. de, COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de texto. 2015.

NELSON, W. B. A bibliography of accelerated test plans. **IEEE Transactions on Reliability**. 2005. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/1435710/>>. Acesso em : 16 Out. 2017.

NEW HOLLAND, **Carpal Tratores**. Disponível em: <<http://www.carpalnewhollandagricola.com.br/pml-agricultura-de-precisao---19559---?>>. Acesso em: 08 Fev. 2018.

NEW HOLLAND. O Show de 2011. **Cultivar Máquinas**. p. 28-32. 2011.

NEWMAN, M. E. Power laws, Pareto distributions and Zipf's law. **Contemporary Physics**. 2005. pp. 323-351. Disponível em: <<http://www.thp.uni-koeln.de/krug/teaching-Dateien/WS2011/Newman.pdf>>. Acesso em: 20 Out. 2017.

O MUNDO VARIÁVEL. Tratores a vapor. Disponível em: <<http://omundovariavel.blogspot.com/2015/08/tratores-vapor.html>>. Acesso em: 10 Jan. 2017.

OLIVEIRA, F. M. **Determinação de Dados Fiabilísticos Baseados em Testes Acelerados de Vida**. 2012. 153 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Mecânica) Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa. 2012.

PAHL, G., BEITZ, W. **Engineering design: a systematic approach**. Berlin: Springer - Verlag, 1988.

PRASAD, N., TEWARI, V. K., YADAV, R. Tractor ride vibration: a review. **Journal of Terramechanics**, Silsoe, p. 205-219. 1995.

RAHEJA, D., & GULLO, L. J. **Design for reliability**. New Jersey: John Wiley & Sons. 2012.

ROMANO, L. N. **Modelo de referencia para o processo de desenvolvimento de máquina agrícolas**. 2003. 321 f. Tese de doutorado. (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2003.

ROTH, C. W. **Transmissibilidade da vibração e distribuição da pressão na interface assento-operador de tratores agrícolas em condições dinâmicas**. 2010. 142 f. Tese de doutorado. (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2010.

SANTOS, P. F. **Avaliação dos níveis de ruído e vibração vertical no assento de um trator agrícola de pneus utilizando um sistema de aquisição automática de dados**. 2002. 62 f. Dissertação de Mestrado. (Dissertação em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2002.

SARAIVA, A. M., CUGNASCA, C.E., HIRAKAWA, A.R. **Aplicação em taxa variável de fertilizantes e sementes**. p. 109 -145. 2006. In: Princípios em agricultura de precisão. GIÚDICE, M.P.; QUEIROZ, D.M.; MANTOVAN. 2006

SCHLOSSER, J. F. Defensor SP 2500. **Cultivar máquinas**. p. 18-24. 2013.

SCHLOSSER, J. F. PLA H3000I. **Cultivar máquinas**. p. 18-23. 2011.

SCHLOSSER, J. F., FARIAS, M. S. de, RODRIGUES, F. A. Imperador 3100. **Cultivar máquinas**. p. 16-21. 2011.

SENAR. Pompéia Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. 2011. Disponível em: <[http://www.fatecpompeia.edu.br/arquivos/arquivos/apostila\\_senar\\_ap.pdf](http://www.fatecpompeia.edu.br/arquivos/arquivos/apostila_senar_ap.pdf)>. Acesso em: 19 Jul. 2016.

SILVA, R. P. **A indústria de máquinas agrícolas: formação de um oligopólio, internacionalização e poder de mercado**. 2015. 114 f. Dissertação de mestrado. (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2015.

SOUZA, A. D., LOURENZANI, W. L., QUEIROS, T. R. Análise da evolução da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. In: XXX Encontro nacional de engenharia de produção, São Carlos, 2010. **Anais...** São Carlos: ENEGEP, 2010. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010\\_TN\\_STO\\_113\\_739\\_16705.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_TN_STO_113_739_16705.pdf)>. Acesso em: 15 Mai. 2017.

SUN F.; LI X.; JIANG T.; ZHANG W.; A multi-axis vibration fixture based on electromagnetic shaker. 8th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety, 2009, Chengdu, China.

THERMOTRON A VENTUREDYNE. 1998. Disponível em: <<http://thermotron.com/>>. Acesso em: 15 Fev. 2017.

VASSILIOU, P., METTAS, A. Understanding Accelerated Life - Testing Analysis. In: Annual reliability and maintainability symposium, 2002, Seattle. **Anais...** Seattle: Annual reliability and maintainability symposium, 2002. Disponível em: <[https://docuri.com/download/understanding-accelerated-life-testing-analysis\\_59a8d6c2f581719e12adbbce\\_pdf](https://docuri.com/download/understanding-accelerated-life-testing-analysis_59a8d6c2f581719e12adbbce_pdf)>. Acesso em: 20 Abr. 2017.

VIAN, C. E.. Evolução histórica da indústria de máquinas agrícolas no mundo: origens e ciências. In: Congresso Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2010, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SOBER, 2010. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/15/1208.pdf>>. Acesso em: 19 Mar. 2017.

YANG, G. **Life Cycle Reliability Engineering**. New Jersey: John Wiley & Sons. 2007.

## APENDICE A – LISTA DE DESENHOS DA BANCADA DE TESTES

(continua)

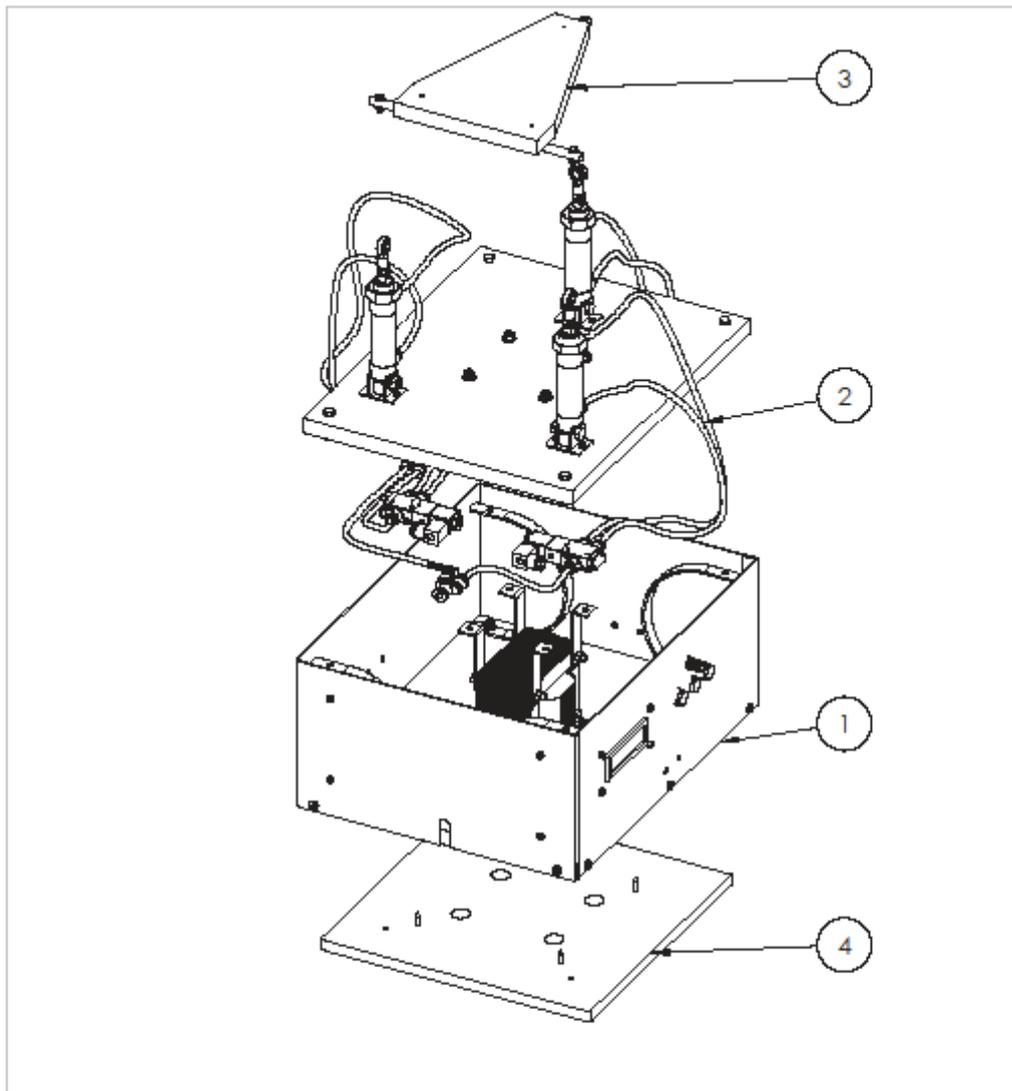
CONJUNTO	SUBCONJUNTO	Nº DA PEÇA	QUANTIDADE
BTVC 15 00000	BTVC 15 10000	BTVC 15 10001	1
		BTVC 15 10002	4
		Transformador	1
		BTVC 15 10003	2
		BTVC 15 10006	1
		BTVC 15 10007	1
		I de ferro	1
		BTVC 15 10004	4
		BTVC 15 10005	4
		Porca M6	8
		Par. Sext. M6x25	4
		Par. Sext. M6x30	4
		Porca Flang. M6	8
		<i>Display</i> LCD	1
		Botão	4
		Placa Eletrônica	1
		Par. soberbo 4,5x12	9
		Par. Sext. Int. M5x12	4
		Par. Sext. Int. M5x20	4
		Porca M5	8
	Potenciômetro	1	
	BTVC 15 20000	BTVC 15 20001	1
		Pistões Pneumático	3
		Terminal Rotular	3
		Conexão Pneumática Reta	15
		Mangueira pneum. 6mmx300mm	6
		Mangueira pneum. 6mmx150mm	1
		Mangueira pneum. 6mmx160mm	1
		Conexão pneumático Y	2
		Mangueira pneum. 6mmx330mm	1
		Mangueira pneum. 6mmx210mm	1
		Eletrovalvula	3
		Par. Sext. M6x30	4
Par. Soberbo 4,5 x 12		6	
Porca M8	3		
Porca autot. M6	8		

(conclusão)

CONJUNTO	SUBCONJUNTO	Nº DA PEÇA	QUANTIDADE
BTVC 15 00000	BTVC 15 30000	BTVC 15 30001	1
		Par. soberbo 4,5 x 20	3
		Par. Sext. M4 x 16	3
		Porca M4	3
		BTVC 15 30100	1
		BTVC 15 30001	1
		Par. soberbo 4,5 x 20	3
	BTVC 15 40000	BTVC 15 40001	1
		Vibra-Stop - rosca 6,35	3
		Par. soberbo 4,8 x 25	4

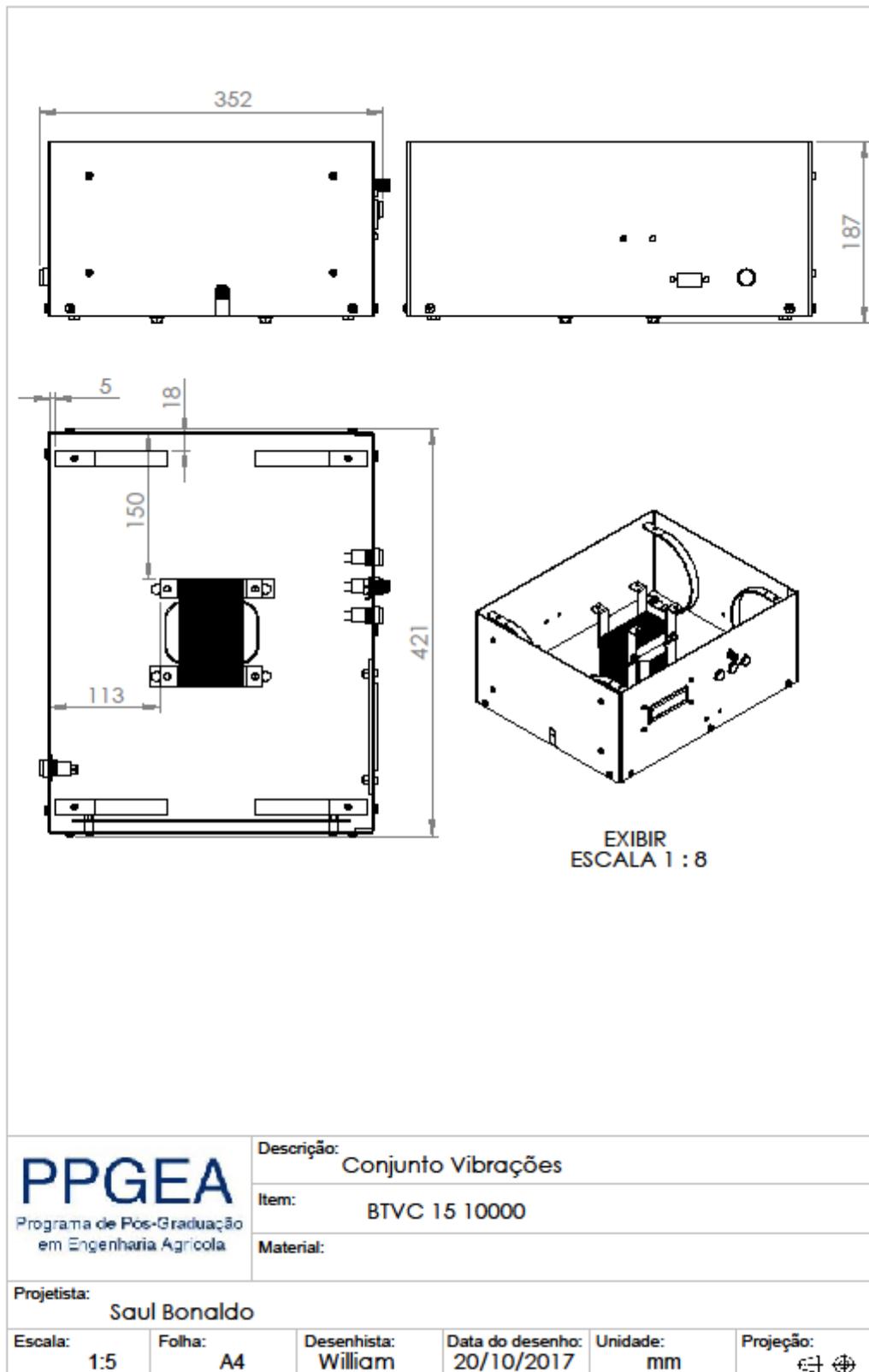
## APENDICE B - DESENHOS TÉCNICOS

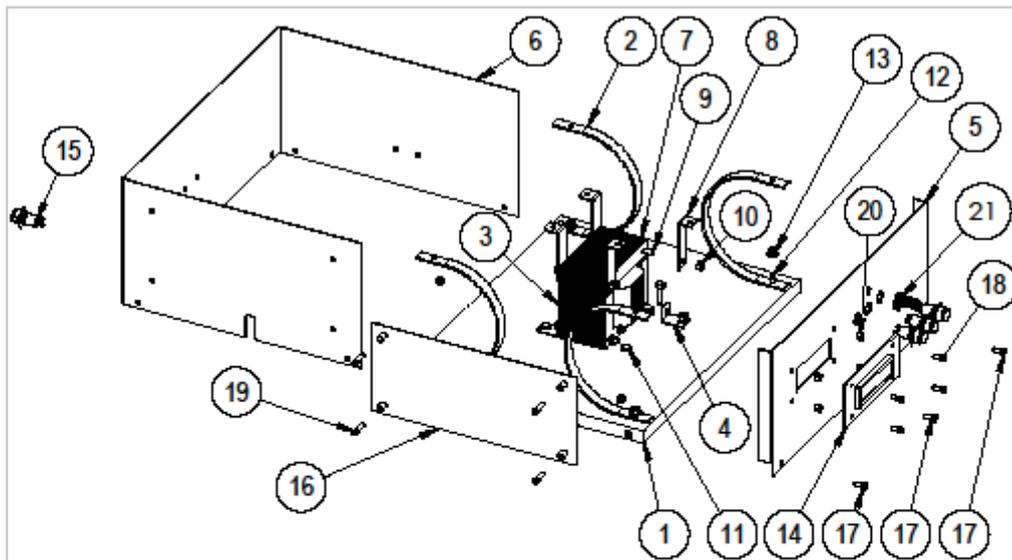
Os desenhos a seguir estão com os tamanhos ajustados para ilustração.



Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
1	BTVC 15 10000	Conj. Vibrações	1
2	BTVC 15 20000	Conj. Pneumático	1
3	BTVC 15 30000	Conj. Suporte Placas	1
4	BTVC 15 40000	Conj. Base	1

<b>PPGEA</b> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola	Descrição: Bancada de Testes de Vibrações e Choques Mecânicos				
	Item: BTVC 15 00000				
	Material:				
Projetista: <b>Saul Bonaldo</b>					
Escala: 1:6	Folha: A4	Desenhista: William	Data do desenho: 10/08/2017	Unidade: mm	Projeção: 





Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
1	BTVC 15 10001	Base inferior	1
2	BTVC 15 10002	Chapa SAE 1020 2,65 x 15 x 311	4
3	Transformador	Transformador	1
4	BTVC 15 10003	Chapa SAE 1020 2 x 20 x 46	2
5	BTVC 15 10006	Chapa SAE 1020 2 x 180 x 444,5	1
6	BTVC 15 10007	Chapa 2 x 180 x 1072	1
7	I de ferro	I de ferro	1
8	BTVC 15 10004	Chapa SAE 1020 2 x 20 x 84	4
9	BTVC 15 10005	SAE 1020 M6 x 87	4
10	Porca M6	Porca M6	8
11	Par. Sext. M6x25	Par. Sext. M6x25	4
12	Par. Sext. M6x30	Par. Sext. M6x30	4
13	Porca Flang. M6	Porca Flang. M6	8
14	Display LCD	Display LCD	1
15	Botão	Botão	4
16	Placa Eletrônica	Placa Eletrônica	1
17	Par. soberbo 4,5x12	Par. soberbo 4,5x12	9
18	Par. Sext. Int. M5x12	Par. Sext. Int. M5x12	4
19	Par. Sext. Int. M5x20	Par. Sext. Int. M5x20	4
20	Porca M5	Porca M5	8
21	Potenciometro	Potenciometro	1

**PPGEA**

Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Agrícola

Descrição: Conjunto Vibrações

Item: BTVC 15 10000

Material:

Projetista:  
**Saul Bonaldo**

Escala:  
1:7

Folha:  
A4

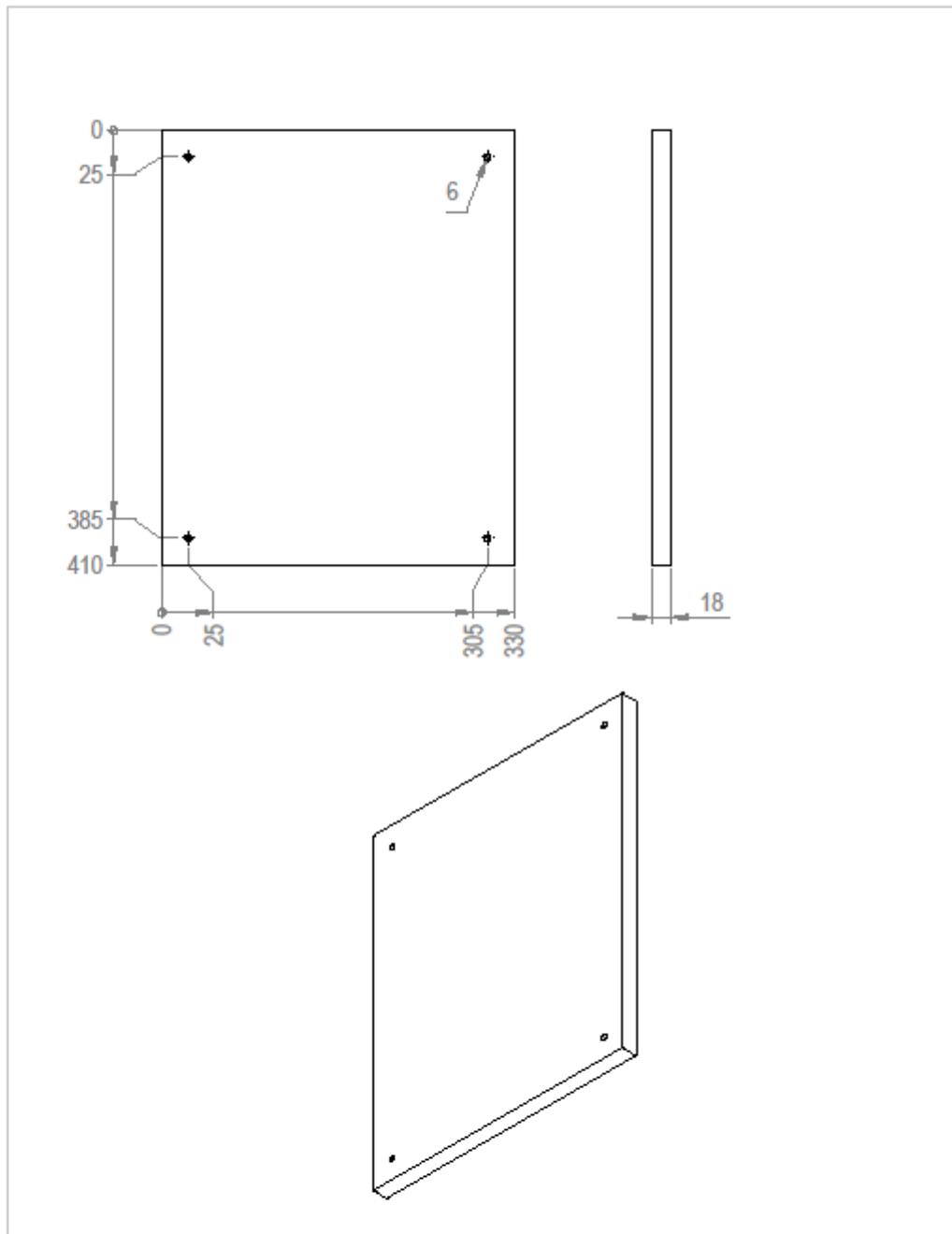
Desenhista:  
William

Data do desenho:  
20/10/2017

Unidade:  
mm

Projeção:  





**PPGEA**  
Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Agrícola

Descrição: Base inferior

Item: BTVC 15 10001

Material: MDF

Projetista: Saul Bonaldo

Escala: 1:5

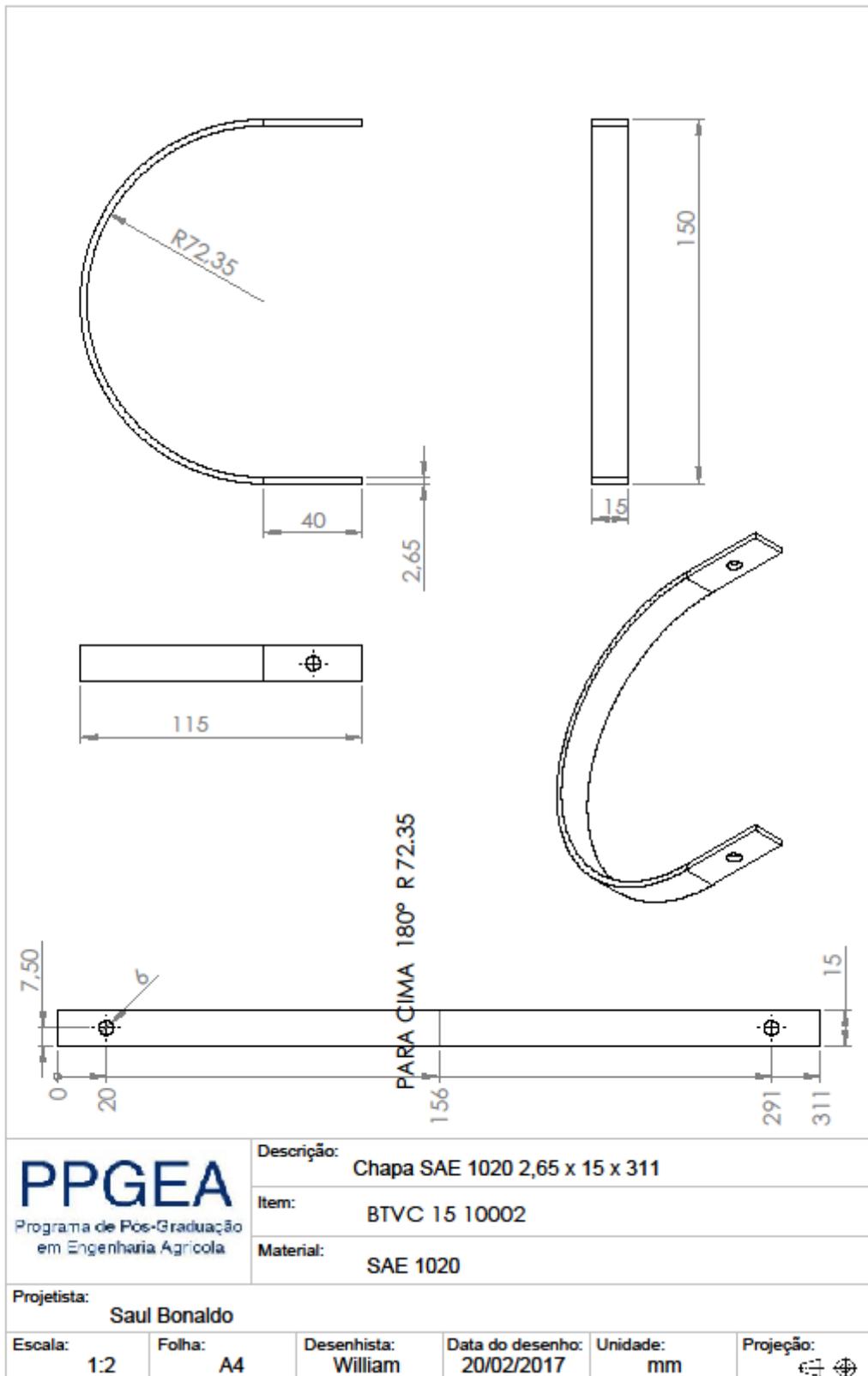
Folha: A4

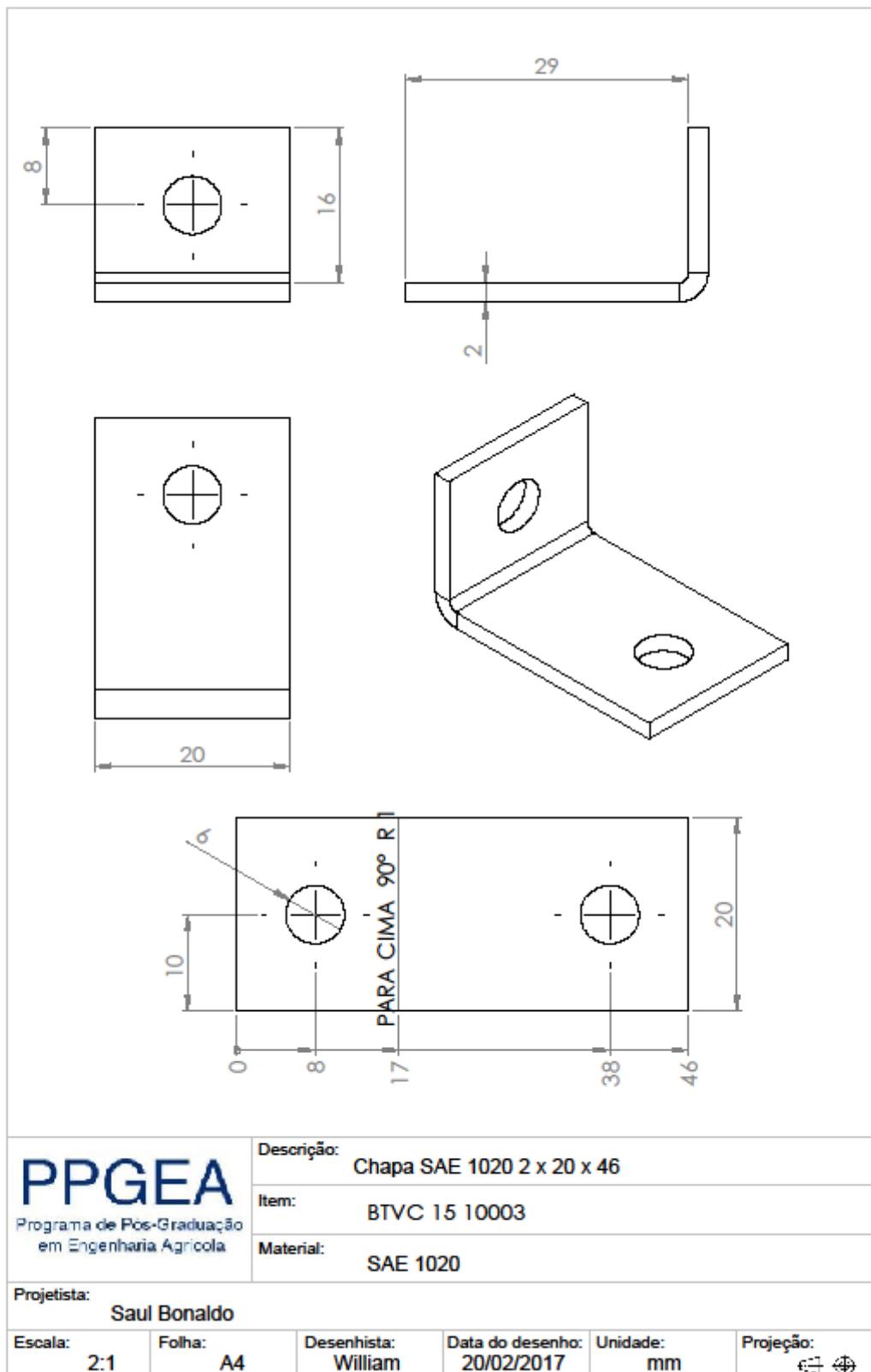
Desenhista: William

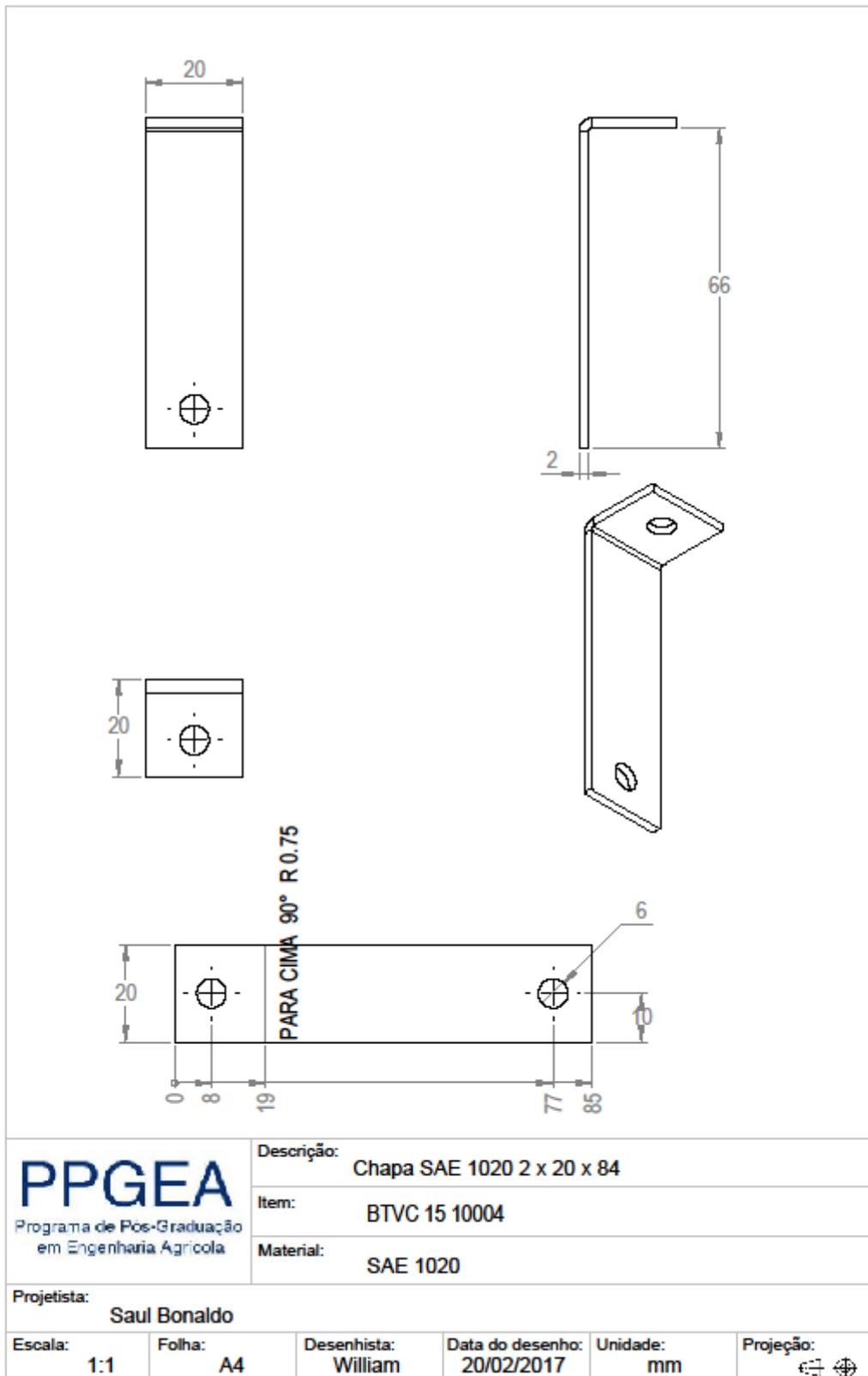
Data do desenho: 10/07/2017

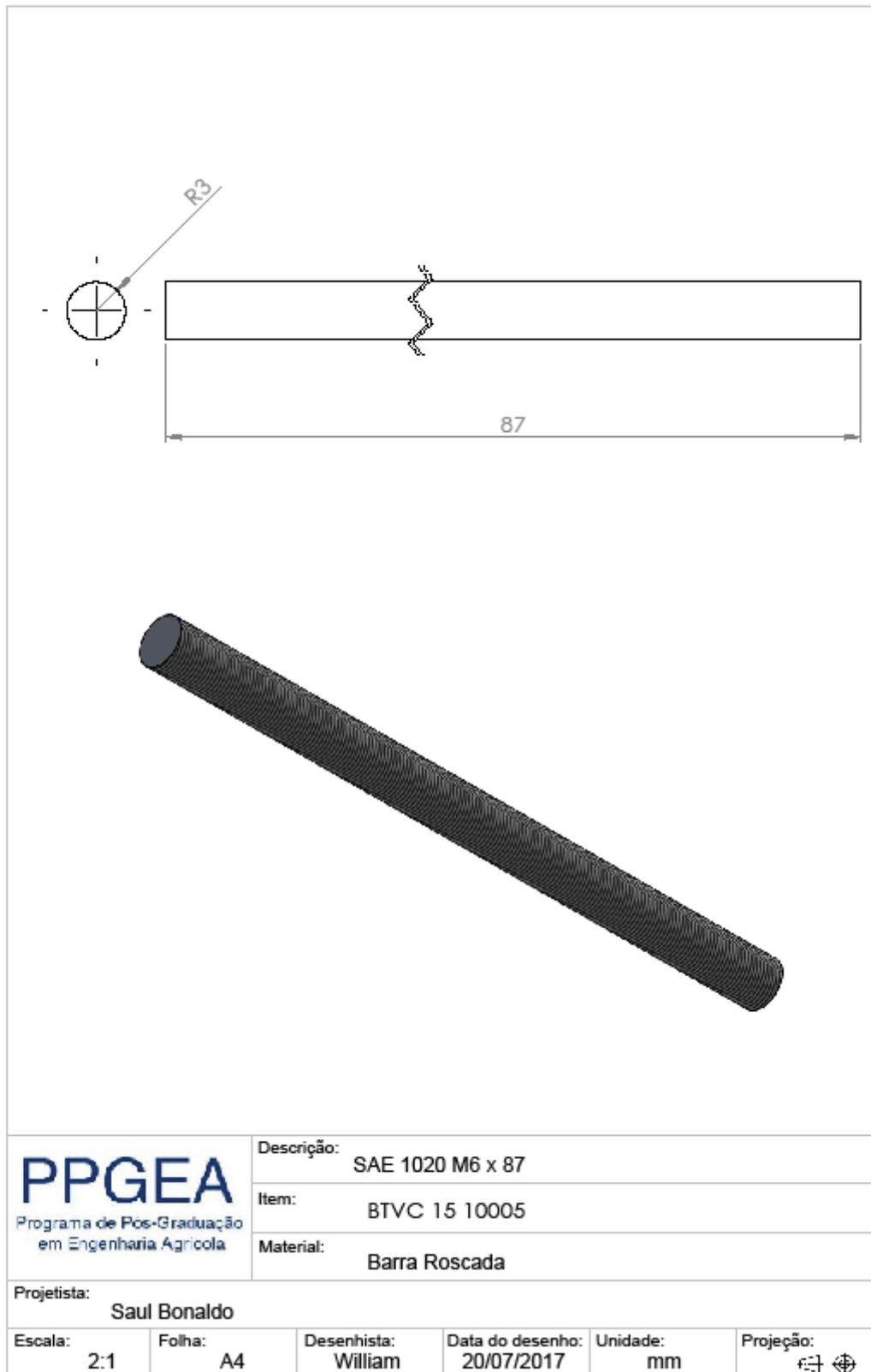
Unidade: mm

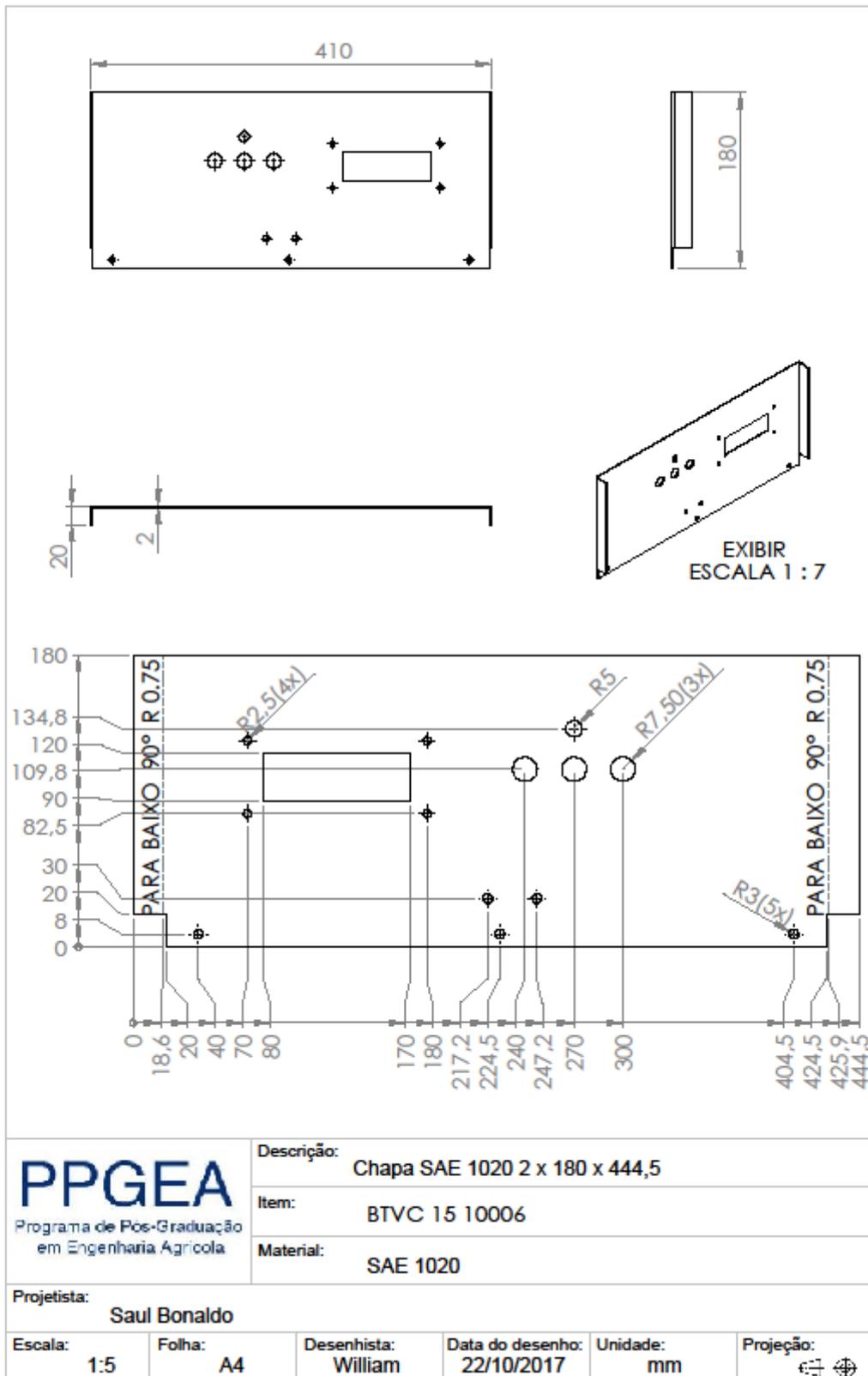
Projeção:

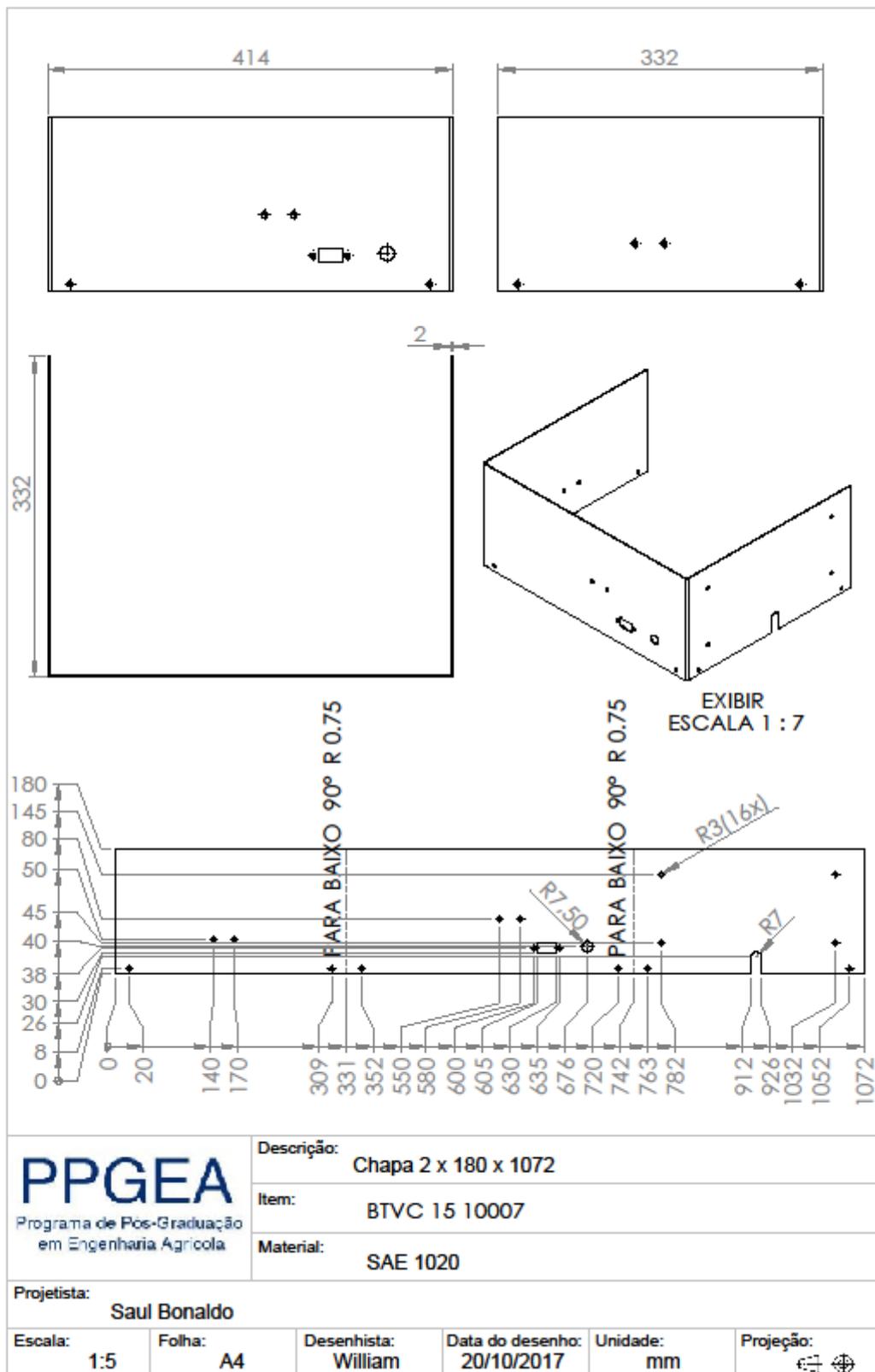


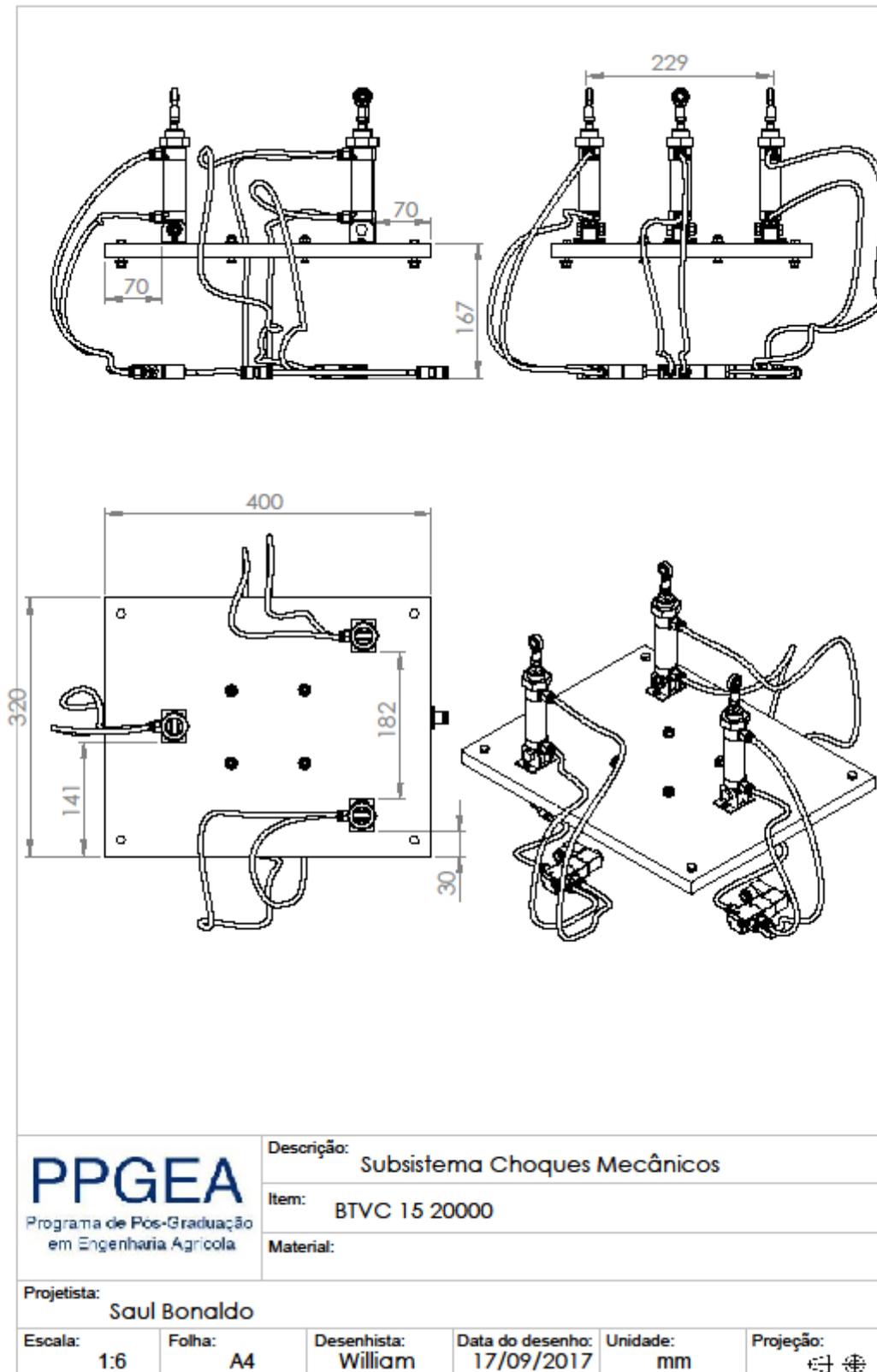


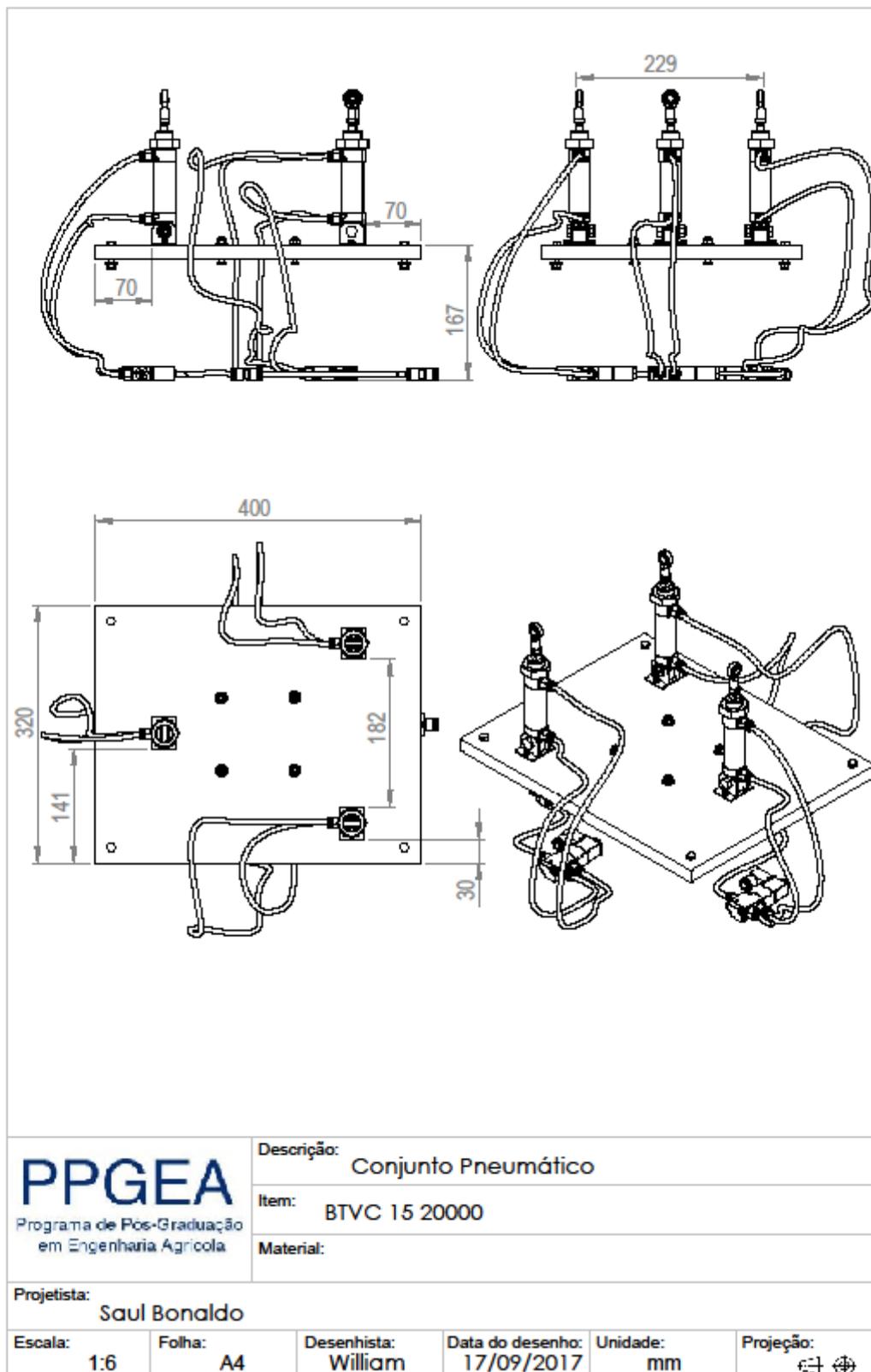


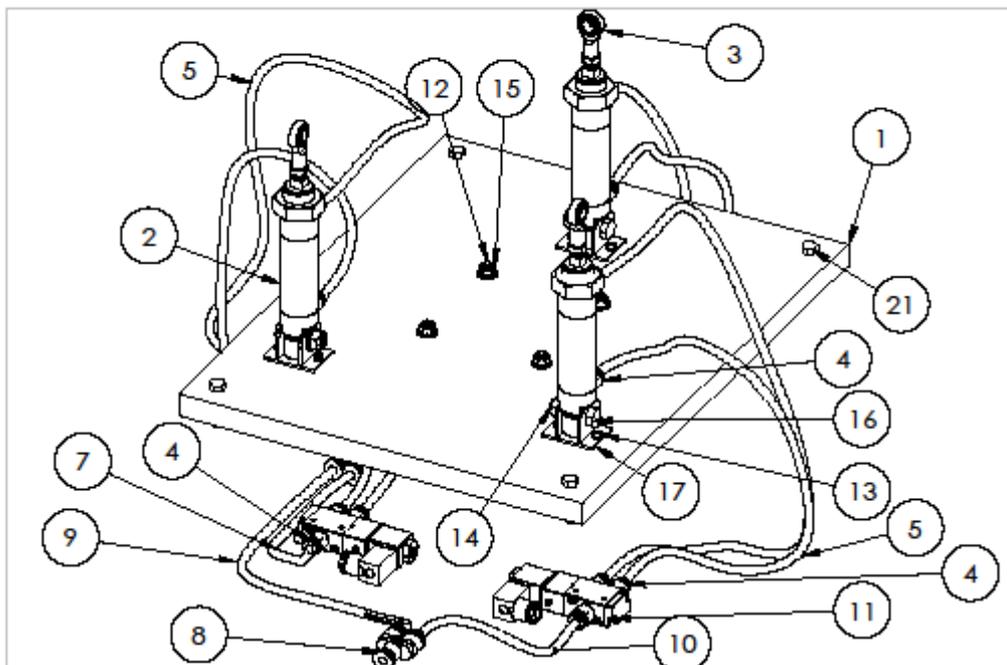












Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
1	BTVC 15 20001	Chapa 18 x 320 x 400	1
2	Cilindro Pneumático	Cilindro Pneumático	3
3	Terminal Rotular	Terminal Rotular	3
4	Conexão Pneumática Reta	Conexão Pneumática Reta	15
5	Mangueira pneum. 6mm	Mangueira 6 x 300	6
6	Mangueira pneum. 6mm	Mangueira 6 x 150	1
7	Mangueira pneum. 6mm	Mangueira 6 x 160	1
8	Conexão pneumático Y	Conexão Pneumático Y	2
9	Mangueira pneum. 6mm	Mangueira 6 x 330	1
10	Mangueira pneum. 6mm	Mangueira 6 x 210	1
11	Eletrovalvula 5/2 vias 24DC	Eletrovalvula 5/2 vias 24DC	3
12	Par. Sext. M6x30	Par. Sext. M6x30	4
13	Par. Soberbo 4,5 x 12	Par. Soberbo 4,5x12	6
14	Porca M8	Porca M8	3
15	Porca autot. M6	Porca autot. M6	8
16	Par. Sext. M8 x 30	Par. Sext. M8x30	3
17	BTVC 15 20100	Conj. Suporte Cilindro	3

**PPGEA**

Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Agrícola

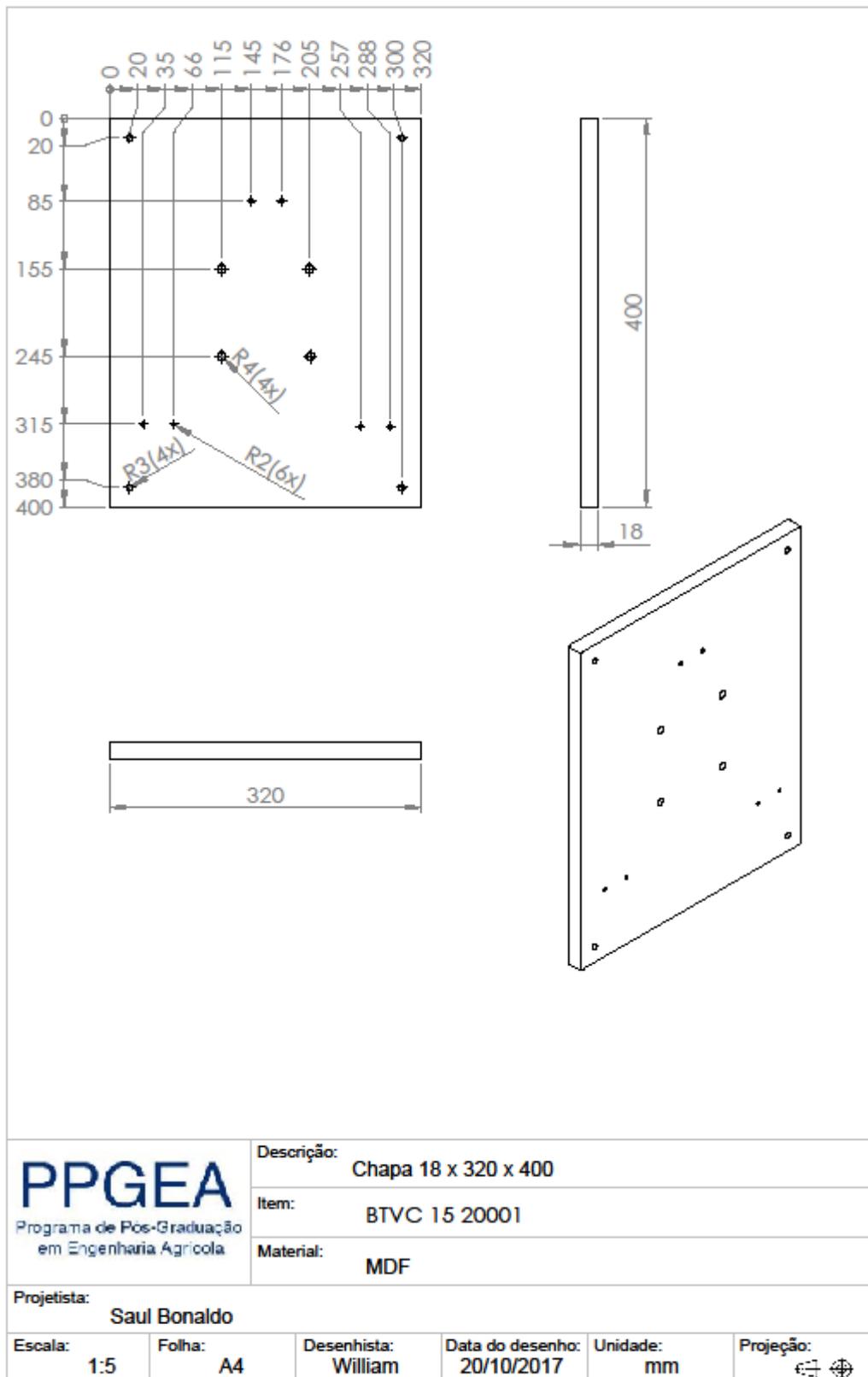
Descrição: Conjunto Pneumático

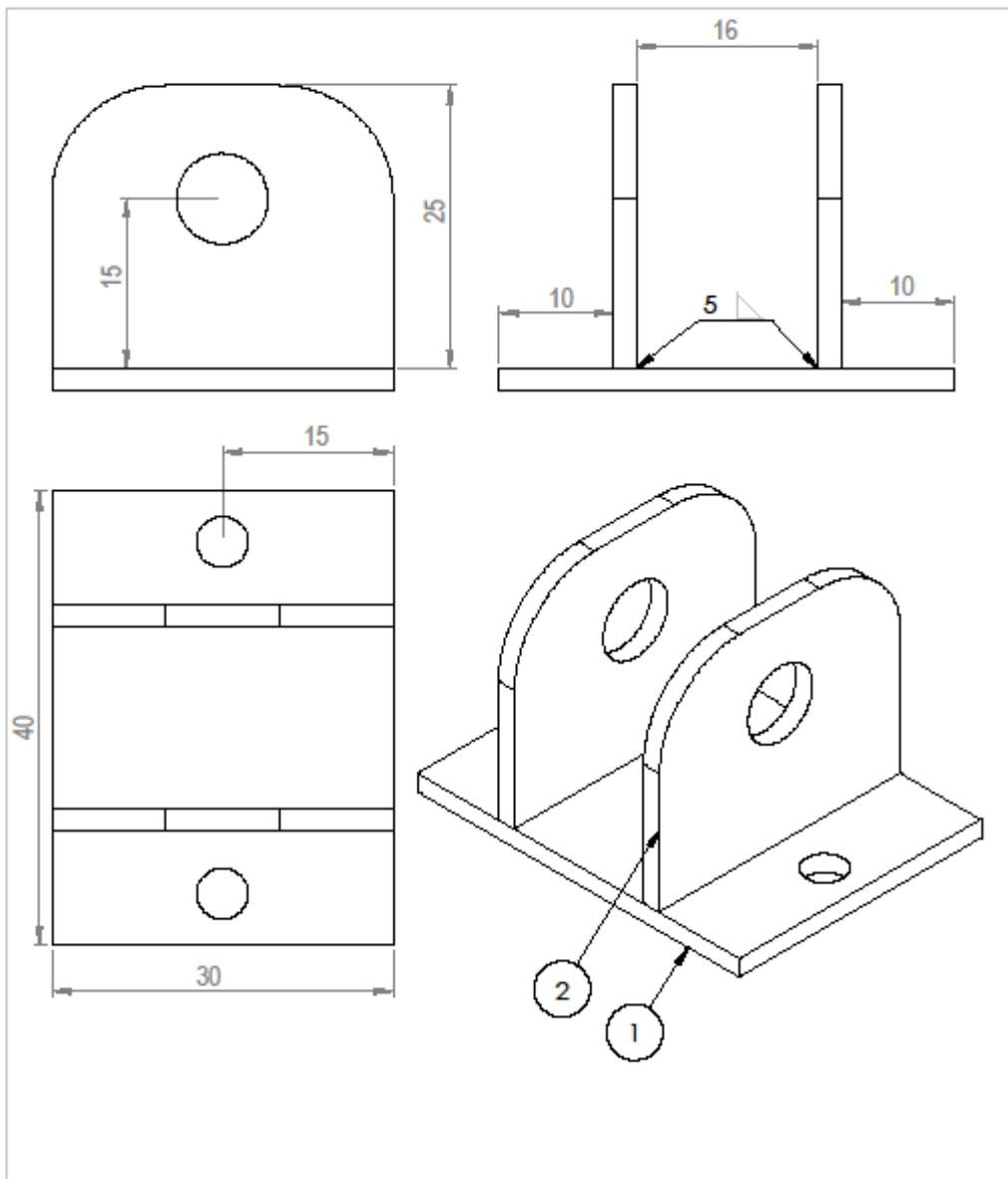
Item: BTVC 15 20000

Material:

Projetista:  
Saul Bonaldo

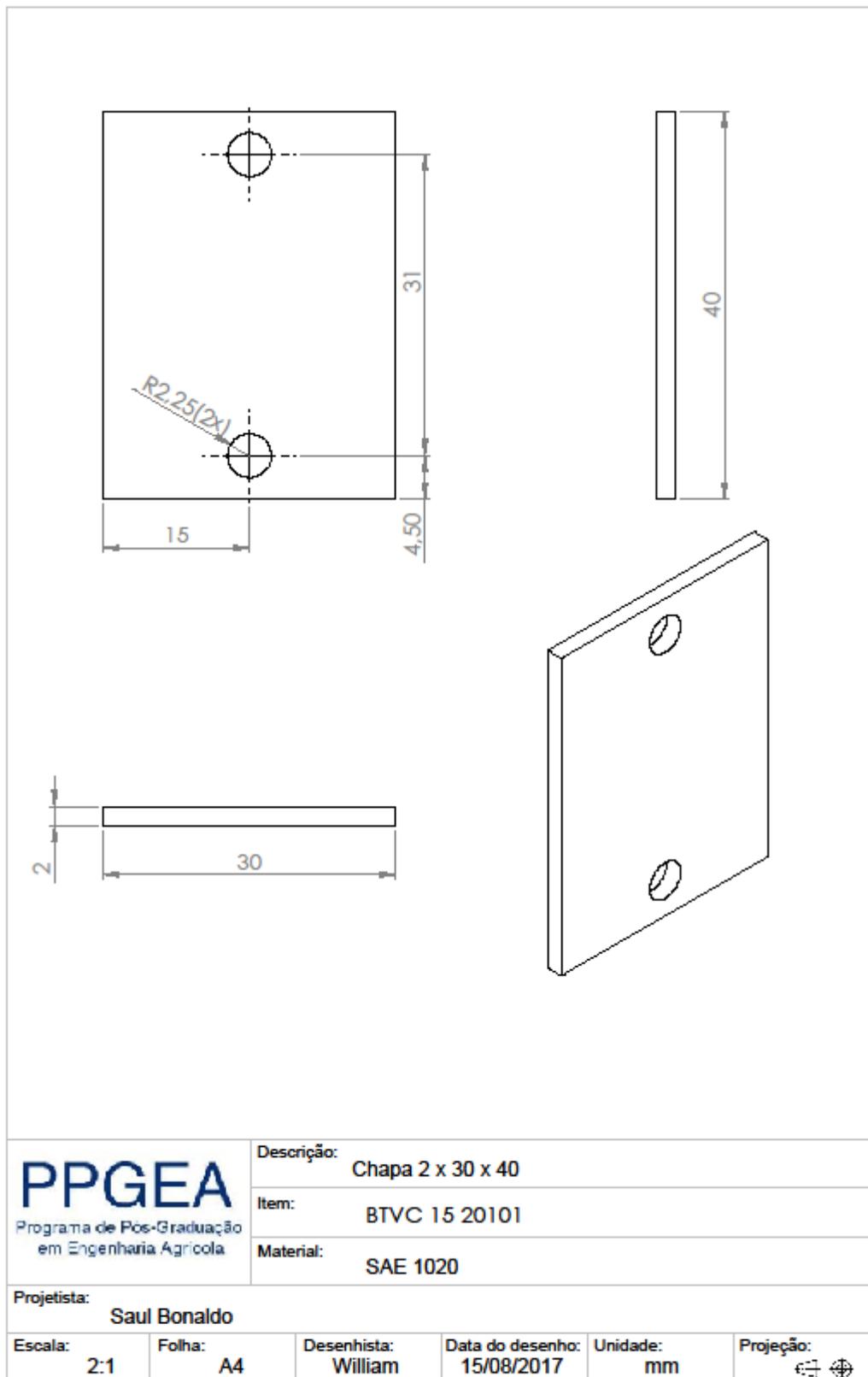
Escala: 1:4	Folha: A4	Desenhista: William	Data do desenho: 17/09/2017	Unidade: mm	Projeção: 
----------------	--------------	------------------------	--------------------------------	----------------	---------------

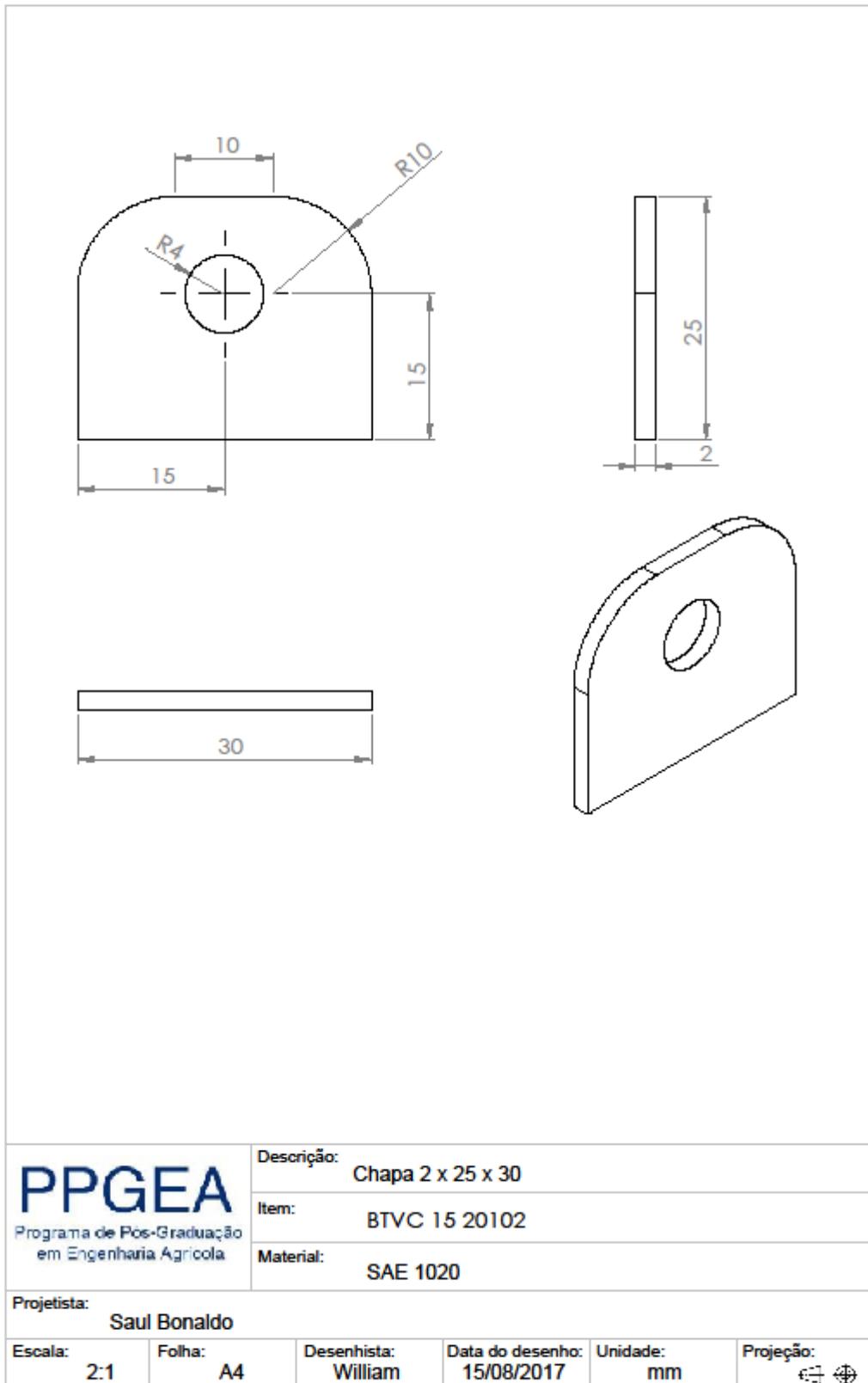


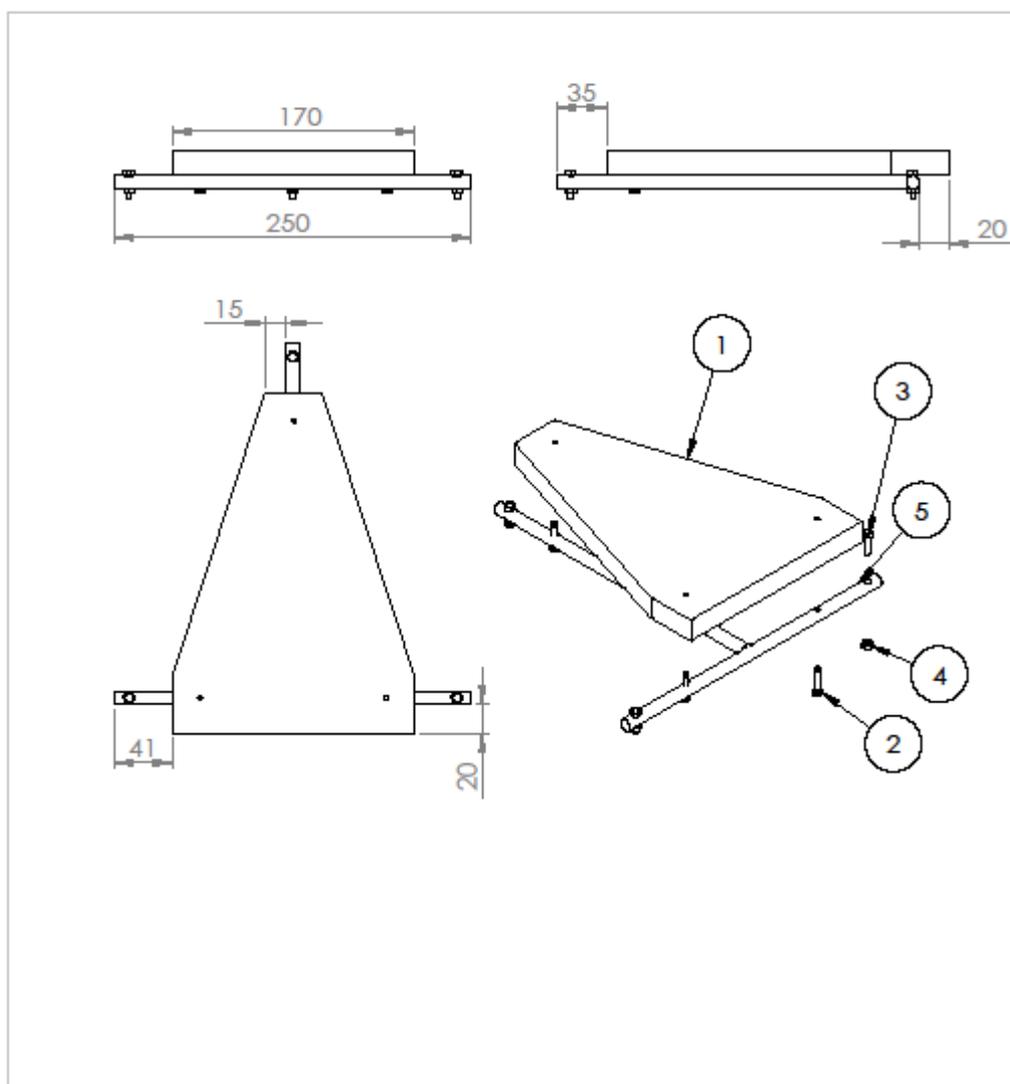


Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
1	BTVC 15 20101	Chapa 2 x 30 x 40	1
2	BTVC 15 20102	Chapa 2 x 25 x 30	2

<b>PPGEA</b> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola	Descrição: Suporte do cilindro				
	Item: BTVC 15 20100				
	Material:				
Projetista: Saul Bonaldo					
Escala: 2:1	Folha: A4	Desenhista: William	Data do desenho: 15/08/2017	Unidade: mm	Projeção:







Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
1	BTVC 15 30001	Chapa 18 x 170 x 240	1
2	Par. soberbo 4,5 x 20	Par. soberbo 4,5 x 20	3
3	Par. Sext. M4 x 16	Par. Sext. M4 x 16	3
4	Porca M4	Porca M4	3
5	BTVC 15 30100	Conj. estrutural	1

**PPGEA**

Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Agrícola

Descrição:

Conjunto Suporte da Placa

Item:

BTVC 15 30000

Material:

Projetista:

Saul Bonaldo

Escala:

1:4

Folha:

A4

Desenhista:

William

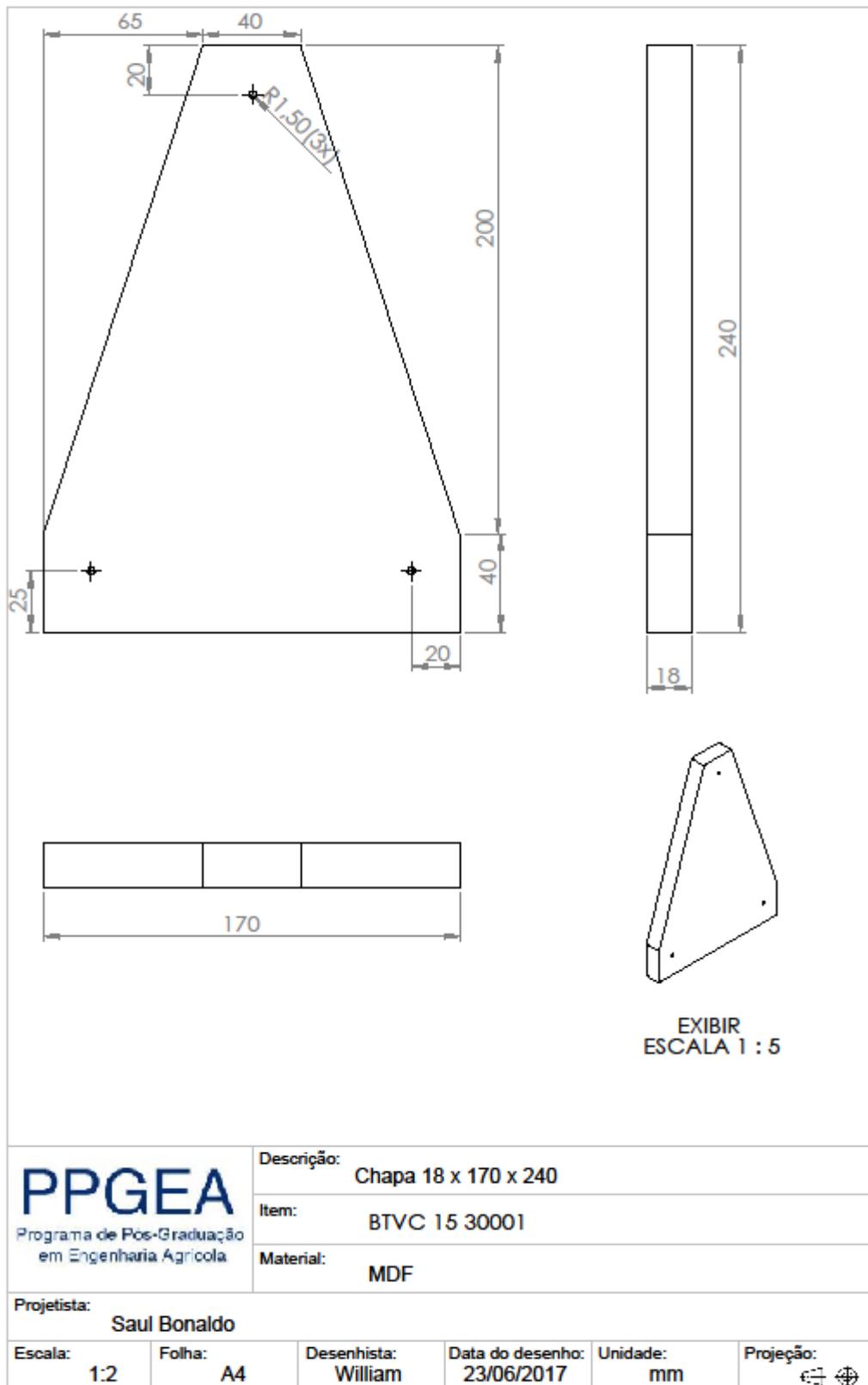
Data do desenho:

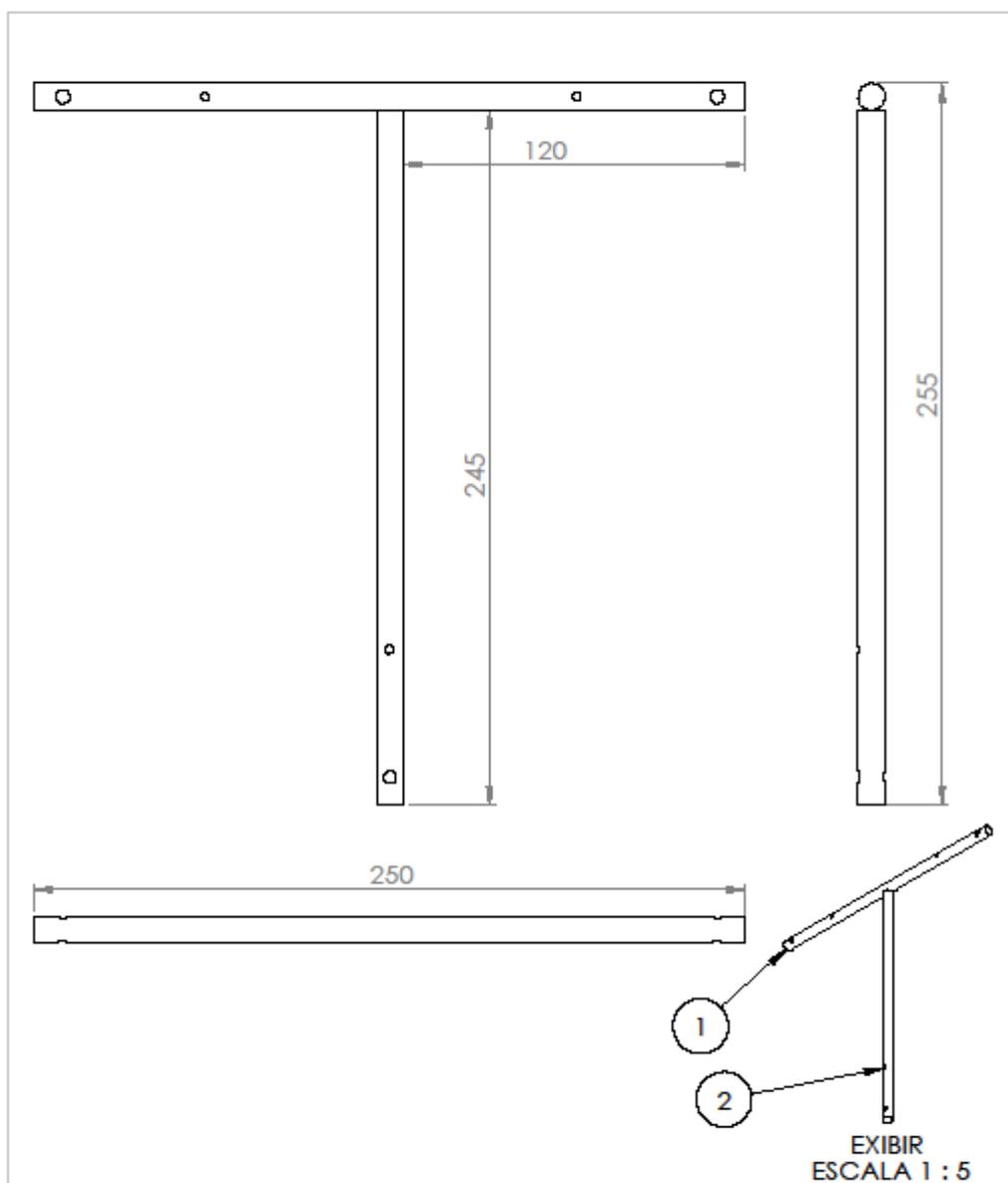
20/10/2017

Unidade:

mm

Projeção:





Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
1	BTVC 15 30101	Aço Redondo 9,5 x 250	1
2	BTVC 15 30102	Aço Redondo 9,5 x 245	1

**PPGEA**

Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Agrícola

Descrição:

Conjunto estrutural

Item:

BTVC 15 30100

Material:

Projetista:

Saul Bonaldo

Escala:

1:2

Folha:

A4

Desenhista:

William

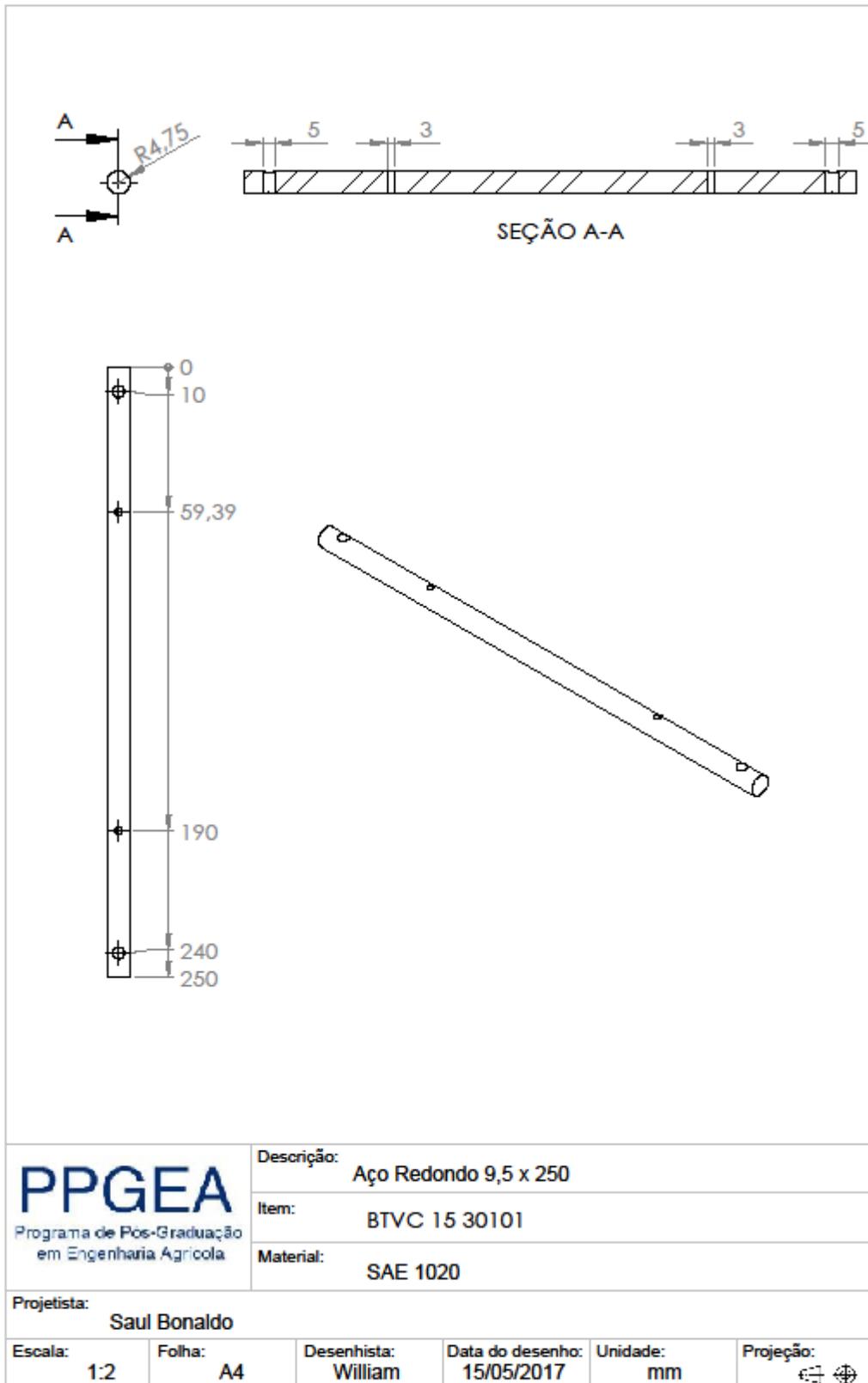
Data do desenho:

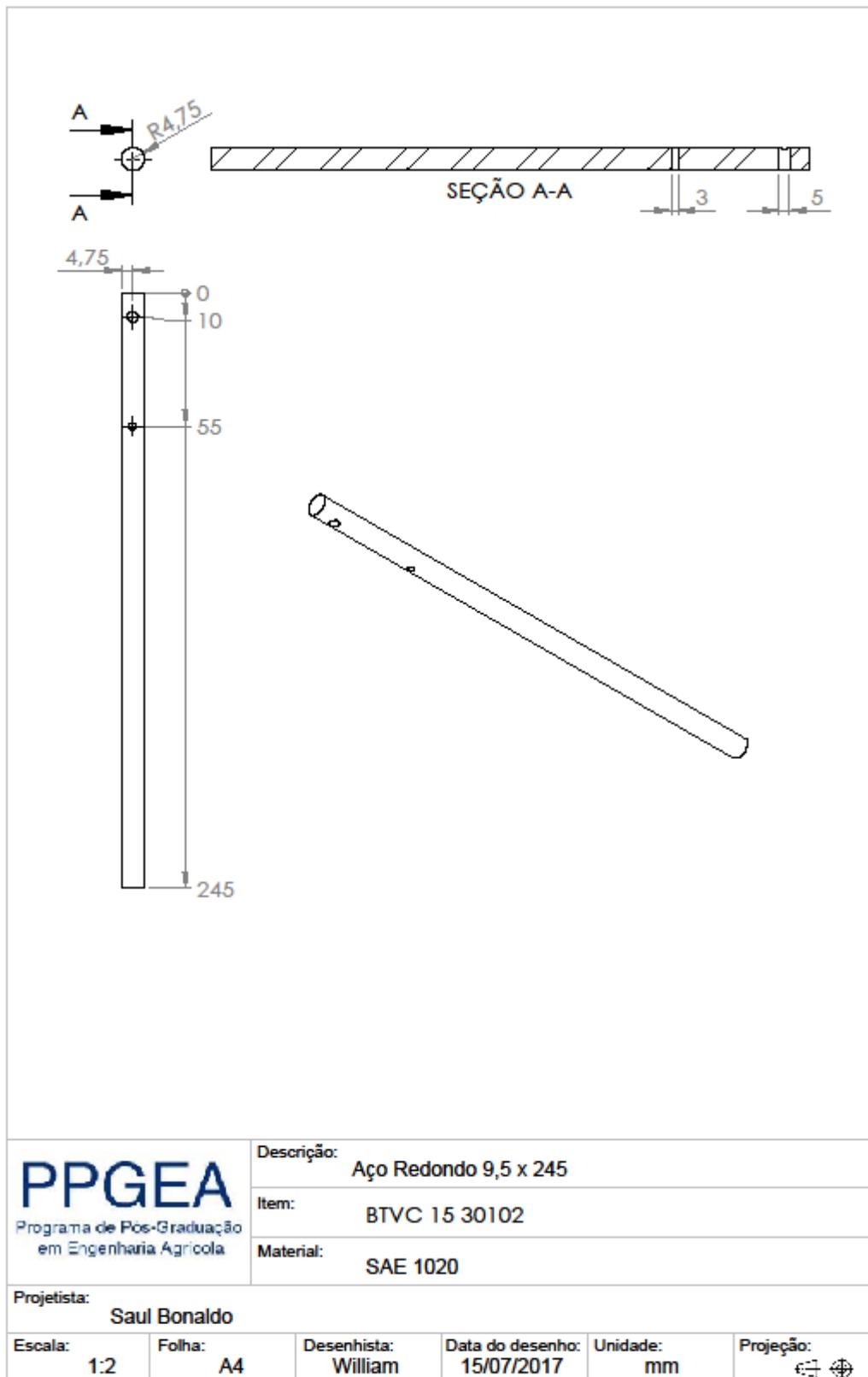
23/06/2017

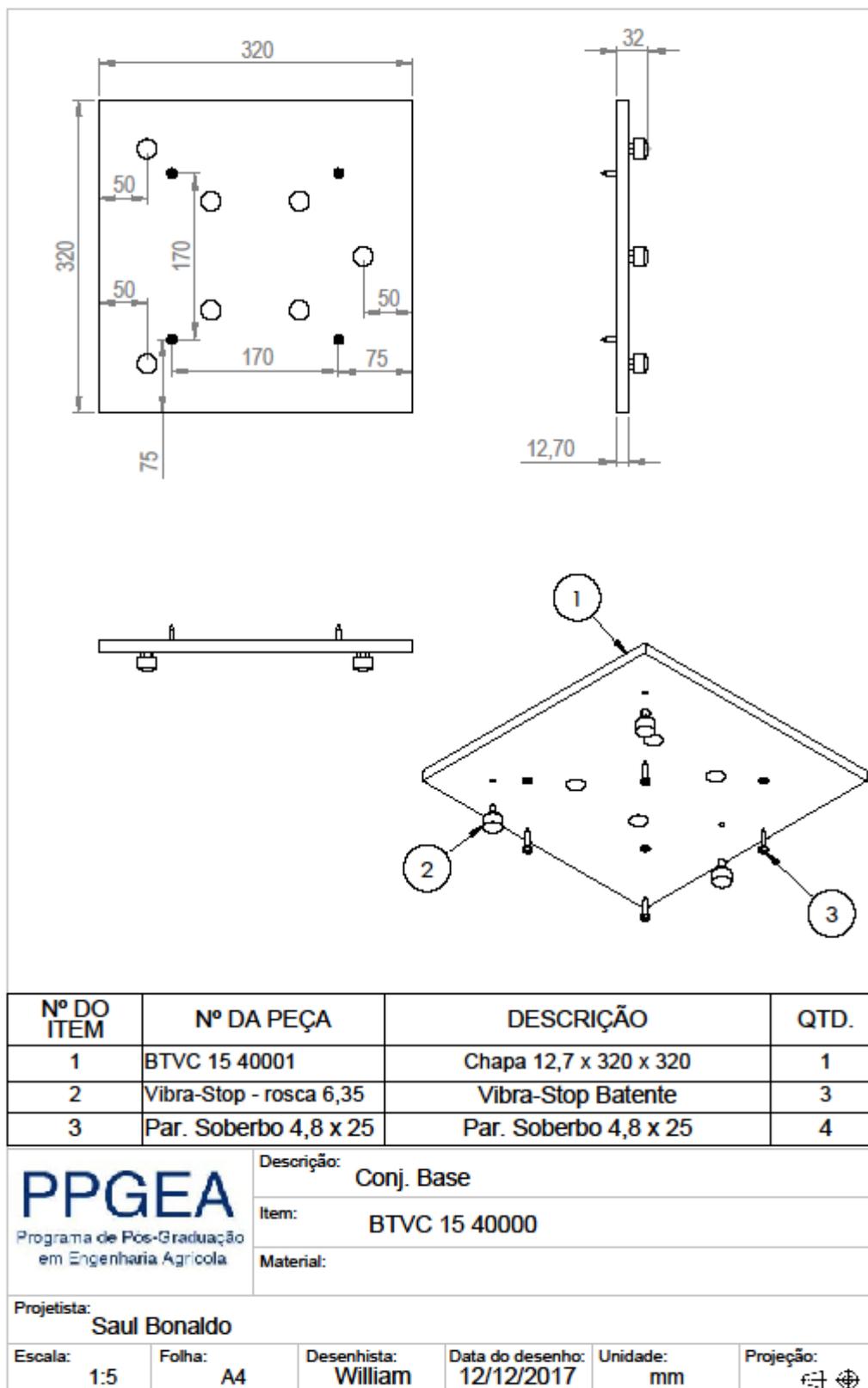
Unidade:

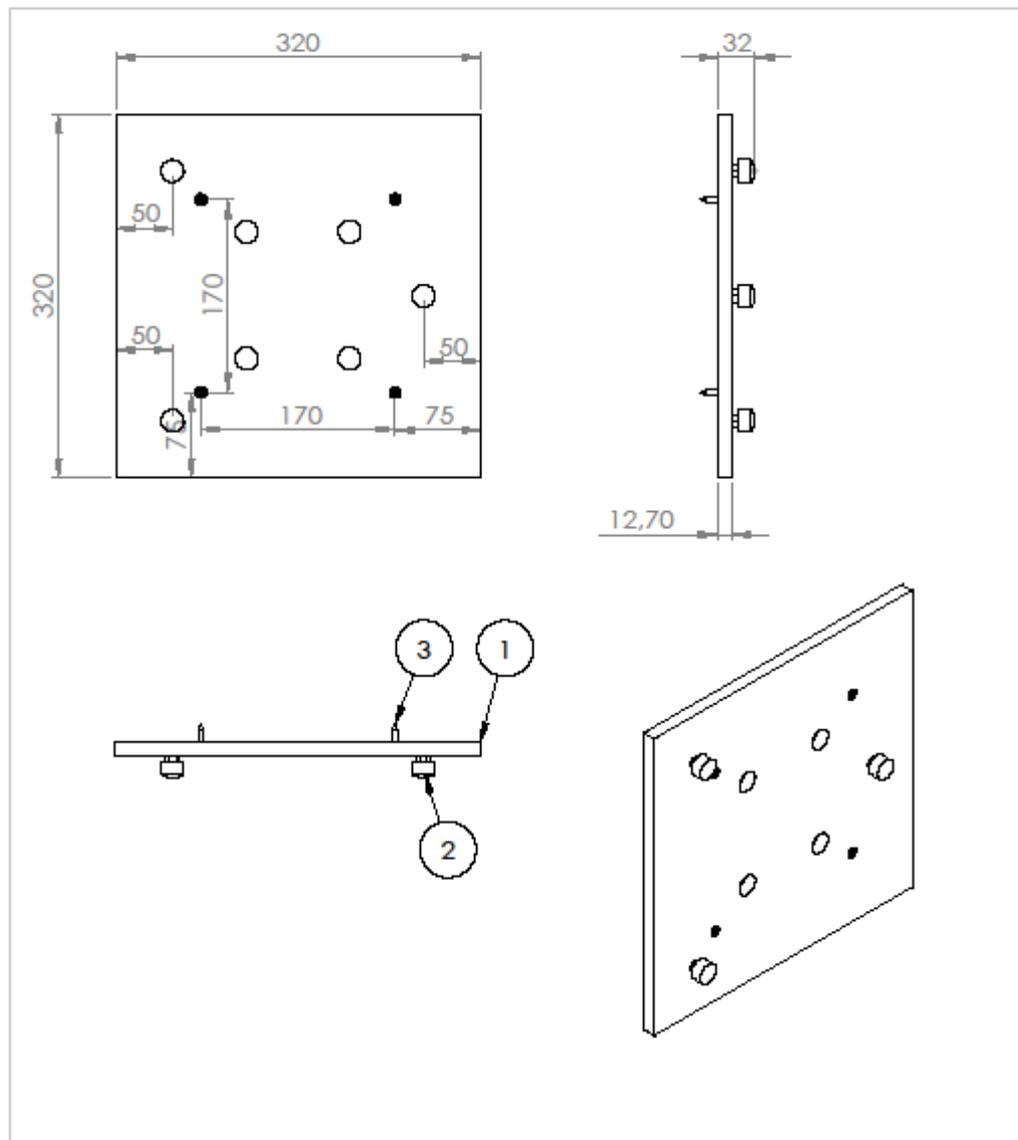
mm

Projeção:









Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
1	BTVC 15 40001	Chapa 12,7 x 320 x 320	1
2	Vibra-Stop - rosca 6,35	Vibra-Stop Batente	3
3	Par. Soberbo 4,8 x 25		4

**PPGEA**  
Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Agrícola

Descrição:

Conj. Base

Item:

BTVC 15 40000

Material:

Projetista:

Saul Bonaldo

Escala:

1:5

Folha:

A4

Desenhista:

William

Data do desenho:

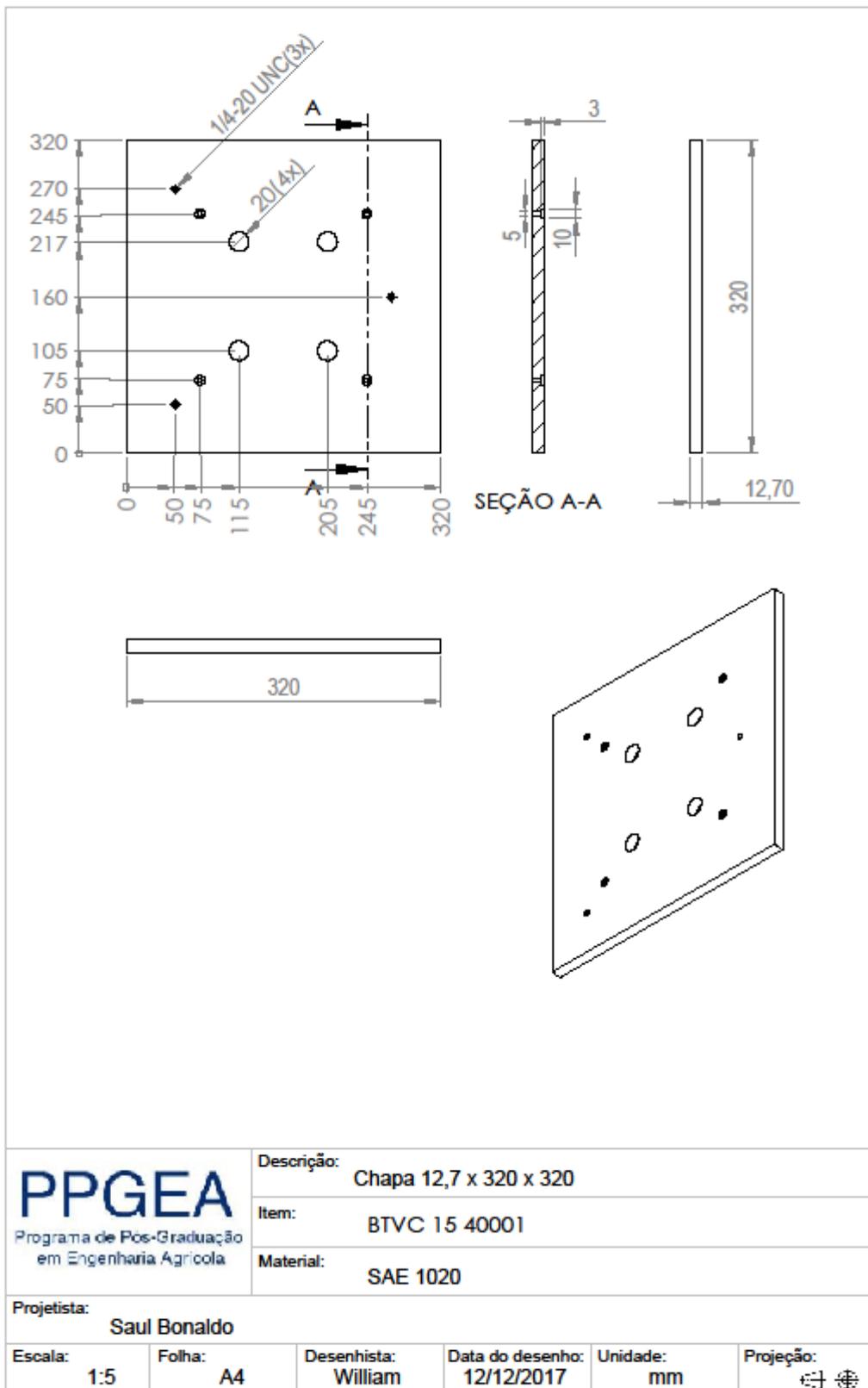
12/12/2017

Unidade:

mm

Projeção:

↺ ↻



## APENDICE C – SOFTWARE UTILIZADO NA BANCADA DE TESTES

Version:0.9 StartHTML:0000000105 EndHTML:0000050089  
StartFragment:0000001499 EndFragment:0000050073

```
/*
  configuracoes para trabalhar na placa dedicada
  utilizando o PIC18F4520 e cristal de 8MHz
  comando para a giga de teste mecanico
  entradas: portD
  potenciometro: portA.ra0
  saídas: portC
  display LCD: portB
  ajustar parametros e mandar rodar
*/

// definicoes LCD
sbit LCD_RS at RB0_bit;
sbit LCD_EN at RB1_bit;
sbit LCD_D4 at RB4_bit;
sbit LCD_D5 at RB5_bit;
sbit LCD_D6 at RB6_bit;
sbit LCD_D7 at RB7_bit;

sbit LCD_RS_Direction at TRISB0_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISB1_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISB4_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISB5_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISB6_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISB7_bit;
// fim das definicoes LCD

// definicoes de variaveis globais
char contador = 0;
char x = 0;
char y = 0;
int leitura_ad = 0;
char razao_ciclica = 0;
char percentagem = 0;
char tempo = 0;
char razao [21];
```

```

// fim das definicoes de variaveis globais

//Funcao de inicializacao do Timer0
//Prescaler 1:4; TMR0 Preload = 120; Tempo : 272 us
void InitTimer0(){
    TOCON          = 0xC1;
    TMR0L          = 0x78;
    GIE_bit        = 1;
    TMR0IE_bit     = 1;
}

// interrupções
void Interrupt(){
    if (TMR0IF_bit){
        TMR0IF_bit = 0;
        TMR0L      = 0x78;

        if (y == 1) {
            tempo++;
        }

        if (tempo == razao_ciclica) {
            portc.rc3 = 0;
        }

        if (tempo == 100) {
            portc.rc3 = 1;
            tempo = 0;
        }
    }
}

// funcoes especiais
void display_reset (){
    lcd_out (4,1, "  RESET                "); // joga para o display
}

void display_inicio (){
    lcd_out (1,1, "  Selezione Ensaio "); // joga para o display
    lcd_out (4,1, "  INICIO MODO OK  "); // joga para o display
}

```

```

    }

    void display_manual () {
        lcd_out (1,1, "    Modo Manual    "); // joga para o display
    }

    void display_automatico () {
        lcd_out (1,1, "    Modo Automatico    "); // joga para o display
    }

    void comando_vibracao () {
        y = 1;
        leitura_ad = adc_read (0);
        percentagem = leitura_ad/10;
        if (percentagem > 100) {
            percentagem = 100;
        }

        razao_ciclica = leitura_ad/29;
        if (razao_ciclica < 1) {
            razao_ciclica = 1;
        }

        wordtostr (percentagem, razao);
        lcd_out (2,1, "2160 rpm");
        lcd_out (2,15, razao);
        lcd_out (2,20, "%");
    }

    // funcao inicializacao
    void inicializacao () {

        // vetores de configuração
        InitTimer0(); // inicialização do timer0

        ADCON0 = 0B00000011; // conversor a/d ligado
        ADCON1 = 0B00001110; // somente an0
        ADCON2 = 0B00010101; // 16Tad, fosc/16

        // definicoes de entradas e saídas
        trisa.ra0 = 1; // entrada analógica - potenciometro
    }

```

```

    trisb = 0;           // 0 para LCD
    trisc = 0;          // saidas
    trisd = 0b00001111; // botoes

    // condicoes iniciais das saídas
    porta = 0;
    portb = 0;
    portc = 0;
    portd = 0;

    // inicialização do LCD
    LCD_INIT ();
    LCD_CMD (_LCD_CLEAR);
    LCD_CMD (_LCD_CURSOR_OFF);

}
// fim da funcao inicializacao

// inicio da função principal void main
void main() {

    inicializacao ();           // chama a função
    display_inicio ();         // chama a função

    while (1){                 // inicio do laço de repetição

        if ((x == 0) && (portd.rd1 == 0)) {
            delay_ms (200);
            display_inicio ();
        }

        if ((portd.rd2 == 0) && (x == 0)){
            delay_ms (200);
            display_manual ();
            x = 1;
        }

        if ((portd.rd2 == 0) && (x == 1)){
            delay_ms (200);
            display_automatico ();
            x = 2;
        }
    }
}

```

```
}

if ((portd.rd2 == 0) && (x == 2)){
delay_ms (200);
x = 0;
}

if ((x == 1) && (portd.rd1 == 0)){
delay_ms (200);
x = 4;
}

if ((x == 2) && (portd.rd1 == 0)){
delay_ms (200);
x = 5;
}

if (x == 4){
display_manual ();
display_reset();
comando_vibracao ();

    if (portd.rd1 == 0){
    delay_ms (20);
    portc.rc0 = 1;
    }

    if (portd.rd1 == 1){
    delay_ms (2000);
    portc.rc0 = 0;
    }

    if (portd.rd2 == 0){
    delay_ms (20);
    portc.rc1 = 1;
    }

    if (portd.rd2 == 1){
    delay_ms (20);
    portc.rc1 = 0;
    }
}
```

```
    if (portd.rd3 == 0){
        delay_ms (20);
        portc.rc2 = 1;
    }

    if (portd.rd3 == 1){
        delay_ms (20);
        portc.rc2 = 0;
    }
}

if (x == 5){
    display_automatico ();
    display_reset();
    comando_vibracao ();
    trisc.rc0 = 0;
    portc.rc0 = rand()%2+1;
    delay_ms (100);
    trisc.rc1 = 0;
    portc.rc1 = rand()%2+1;
    delay_ms (100);
    trisc.rc2 = 0;
    portc.rc2 = rand()%2+1;
    delay_ms (100);
}

} // fecha o laço de repetição

} // fecha a função principal
```