

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

FRANCISCO TERTO RODRIGUES JÚNIOR

**CONTROLADOR PARA AUTOMATIZAÇÃO DE UM SISTEMA  
ELETROPNEUMÁTICO UTILIZADO PARA TESTE DE BLANK**

MANAUS - AMAZONAS

2019

FRANCISCO TERTO RODRIGUES JÚNIOR

**CONTROLADOR PARA AUTOMATIZAÇÃO DE UM SISTEMA  
ELETROPNEUMÁTICO UTILIZADO PARA TESTE DE BLANK**

Projeto de pesquisa desenvolvido durante a disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II submetido à Coordenação de Engenharia de Controle e Automação da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas como requisito parcial necessário para o Trabalho de Conclusão de Curso II.

Orientador: Prof. Dr. José Ruben Sicchar Vilchez

MANAUS - AMAZONAS

2019

FRANCISCO TERTO RODRIGUES JÚNIOR

**CONTROLADOR PARA AUTOMATIZAÇÃO DE UM SISTEMA  
ELETROPNEUMÁTICO UTILIZADO PARA TESTE DE BLANK**

Projeto de pesquisa desenvolvido durante a disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II submetido à Coordenação de Engenharia de Controle e Automação da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas como requisito parcial necessário para o Trabalho de Conclusão de Curso II.

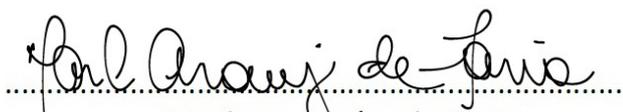
BANCA EXAMINADORA



.....  
Jose Ruben Sicchar Vilchez



.....  
Moisés Pereira Bastos



.....  
Marlene Araújo de Faria

MANAUS - AMAZONAS

2019

## RESUMO

A constante modernização da indústria mundial na utilização de tecnologias de ponta e automatização dos processos tornam o mercado cada vez mais competitivo impondo às empresas do Polo Industrial de Manaus - PIM a necessidade de se adequarem a esse novo cenário, denominado por indústria 4.0. Devido a essa necessidade e a ausência de um dispositivo de teste automatizado do *blank* da fonte chaveada de 12W produzido por uma determinada empresa do PIM, este trabalho propõe o desenvolvimento desse dispositivo de automatização já adequado à Indústria 4.0 utilizando o Raspberry Pi 3 B como sistema de controle. Foi primeiramente levantado um estudo sobre o sistema de manufatura enxuta dentro da indústria, fontes chaveada, Internet das Coisas e o funcionamento de Teste Funcional em PCIs. No desenvolvimento do dispositivo optou-se por dividir o projeto em 3 partes: módulo mecânico-pneumático onde foi adaptado um sistema pneumático em um sistema manual para o automatizar; hardware eletrônico em que foram desenvolvidas PCIs para acionamento utilizando o CI expensor de portas PCF8574, leitura analógica com o CI de 12 bit MCP3208 e um sistema de carga resistiva controlada eletronicamente com o MOSFET limitador de corrente IRF540; e por último o software o qual irá controlar o sistema eletropneumático e disponibilizar os dados de teste em um servidor FTP. O desenvolvimento dessas três partes conseguiu atender os objetivos especificados, resultando em um sistema flexível que pode ser facilmente adaptável para outros modelos de fonte chaveada. Para sua devida validação foi realizada uma Análise de Sistema de Medição em que obteve bons resultados de repetibilidade.

Palavras-chaves: Fonte chaveada. Raspberry. IoT. Automatização.

## ABSTRACT

The constant modernization of the world industry in the use of state-of-the-art technologies and automation of processes makes the market increasingly competitive by imposing on the companies of the Industrial Pole of Manaus - PIM the need to adapt to this new scenario, called industry 4.0. Due to this need and the absence of an automated 12W switched source blank testing device produced by a particular PIM company, this work proposes the development of this automation device already suitable for Industry 4.0 using Raspberry Pi 3 B as a system of control. It was first raised a study on the lean manufacturing system within the industry, switched sources, Internet of Things and Functional Test operation on PCIs. In the development of the device it was decided to divide the project into 3 parts: mechanical-pneumatic module where a pneumatic system was adapted in a manual system to automate it; electronic hardware in which PCIs have been developed for drive using the PCF8574 port expander IC, analog readout with the 12-bit MCP3208 IC and an electronically controlled resistive load system with the IRF540 current limiter MOSFET; and finally the software which will control the electro-pneumatic system and make test data available on an FTP server. The development of these three parts has been able to meet the specified objectives, resulting in a flexible system that can be easily adapted to other switched source models. For its validation a Measurement System Analysis was performed in which it obtained good repeatability results.

Key-words: Power supply. Raspberry. IoT. Automation

## LISTA DE SIGLAS E SIMBOLOS

- $\mu$  - Média Amostral
- A/D – Analógico/Digital
- CAD – *Computer Aided Design*
- CC – Corrente Contínua
- CI – Circuito Integrado
- Cp – Largura da Amplitude do Processo
- Cpk – Centralização do Processo
- DfT – *Design for Testability*
- FTP – *File Transfer Protocol*
- GPIO – *General Purpose Inputs Output*
- I/O – *Input/Output*
- IHM – Interface Homem Máquina
- IIoT – *Industrial Internet of Things*
- IoT – *Internet of Things*
- JIT – *Just in Time*
- LIE – Limite Inferior Especificado
- LSE – Limite Superior Especificado
- N – Número de amostras
- PCI – Placa de Circuito Impresso
- PIM – Polo Industrial de Manaus
- PPM – parte por milhão
- STP – Sistema Toyota de Produção
- T – Valor nominal (target)
- TF – Teste Funcional
- $\sigma$  – Desvio Padrão
- $\sigma^2$  - Variância

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Comparação de layout das linhas .....                              | 16 |
| Figura 2 - Sequenciamento de etapas de teste .....                            | 17 |
| Figura 3 - Montagem interna .....   | 17 |
| Figura 4 - Montagem externa .....   | 18 |
| Figura 5 - Diagrama de Bloco da Planta Industrial Inteligente .....           | 19 |
| Figura 6 - PCI desenvolvida por Merchant .....                                | 19 |
| Figura 7 - Página WEB desenvolvida por Merchant .....                         | 20 |
| Figura 8 - Modelo do Sistema Toyota de Produção .....                         | 22 |
| Figura 9 - Fluxo de Produção Tradicional versus Fluxo Unitário Contínuo ..... | 23 |
| Figura 10 - Funcionamento do <i>Jidoka</i> .....                              | 24 |
| Figura 11 - Gabinete .....  | 25 |
| Figura 12 - Cabo .....  | 25 |
| Figura 13 - <i>Blank</i> .....  | 26 |
| Figura 14 - PCI fonte chaveada de 12W .....                                   | 26 |
| Figura 15 - Evolução da Tecnologia Industrial .....                           | 27 |
| Figura 16 - Fluxograma da Metodologia Aplicada .....                          | 28 |
| Figura 17- Módulo Manual .....  | 29 |
| Figura 18 - Rolamento Linear .....  | 30 |
| Figura 19 - Perfil de Alumínio .....  | 30 |
| Figura 20 - Chapa de Fenolite .....   | 31 |
| Figura 21 - Cilindro pneumático .....   | 32 |
| Figura 22 - Válvulas pneumáticas .....  | 32 |
| Figura 23 - FluidSIM .....  | 33 |
| Figura 24 - Caminho de aprendizagem .....                                     | 34 |
| Figura 25 - Modelagem do Hardware Eletrônico .....                            | 35 |
| Figura 26 - Raspberry Pi 3 Model B .....                                      | 36 |
| Figura 27 - Módulo relé 2 canais .....  | 37 |
| Figura 28 - Arquitetura de rede da comunicação I <sup>2</sup> C .....         | 38 |
| Figura 29 - IRF540N .....   | 39 |
| Figura 30 - Circuito típico de controle do AD5220 .....                       | 40 |
| Figura 31 – Diagrama simples de um Amplificador Operacional .....             | 40 |
| Figura 32 - Resistor de Potência .....  | 41 |
| Figura 33 - Aba do Esquemático do Circuito- Proteus .....                     | 41 |
| Figura 34 - Aba do Desenvolvimento da PCI - Proteus .....                     | 42 |
| Figura 35 - Fonte 02 .....  | 43 |
| Figura 36- Agulha Cabeça Serrada .....  | 43 |
| Figura 37 - Fluxograma de avanço do cilindro .....                            | 44 |
| Figura 38 - Fluxograma de recuo do cilindro .....                             | 44 |
| Figura 39 - Fluxograma do <i>software uploader</i> .....                      | 45 |
| Figura 40 - IDLE Python 3.7.1 .....   | 45 |
| Figura 41 - Curva da Distribuição Normal .....                                | 47 |
| Figura 42 - Distribuição normal centrada em T .....                           | 48 |
| Figura 43 - Sistema pneumático .....  | 52 |
| Figura 44 - Base inferior 01 (visão superior) .....                           | 53 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 45 - Base inferior (visão inferior) .....                  | 54 |
| Figura 46 - Base superior .....                                   | 54 |
| Figura 47 - Berço .....   | 55 |
| Figura 48 - Sistema de fixação do <i>blank</i> .....              | 56 |
| Figura 49 - Análise de tensão estática Chapa de alumínio 02 ..... | 57 |
| Figura 50 - Análise de tensão estática da Base dedais .....       | 58 |
| Figura 51 - Módulo Mecânico modelado .....                        | 58 |
| Figura 52 - Berço construído .....                                | 59 |
| Figura 53 - Vista lateral Módulo Mecânico construído.....         | 59 |
| Figura 54 - Vista frontal Módulo Mecânico construído .....        | 60 |
| Figura 55 – Circuito Eletrônico da PCI Expansor de I/Os .....     | 61 |
| Figura 56 – <i>Layout</i> da PCI Expansor de I/Os.....            | 61 |
| Figura 57 - PCI Expansor I/Os montada .....                       | 61 |
| Figura 58 - Circuito da PCI Carga Eletrônica .....                | 62 |
| Figura 59 - <i>Layout</i> PCI Carga Eletrônica.....               | 63 |
| Figura 60 - Dissipador .....                                      | 63 |
| Figura 61 - PCI Carga Eletrônica Montada.....                     | 64 |
| Figura 62 - Placa de Curto Circuito.....                          | 64 |
| Figura 63 - Circuito da PCI de Leitura Analógica.....             | 65 |
| Figura 64 - <i>Layout</i> PCI de Leitura Analógica .....          | 65 |
| Figura 65 - PCI de Leitura Analógica Montada .....                | 66 |
| Figura 66 - Hardware Eletrônico montado .....                     | 67 |
| Figura 67 - Lâmpadas alógenas .....                               | 67 |
| Figura 68 - Bibliotecas importadas.....                           | 68 |
| Figura 69 - Inicialização da comunicação com o servidor FTP ..... | 68 |
| Figura 70 - Definição dos GPIOs no código .....                   | 69 |
| Figura 71 - Definição das variáveis globais no código .....       | 69 |
| Figura 72 - Rotina do controlador .....                           | 70 |
| Figura 73 - Rotina de envio do LOG .....                          | 70 |
| Figura 74 - LOGs enviados .....                                   | 71 |
| Figura 75 - Fluxograma do teste do <i>blank</i> .....             | 74 |
| Figura 76 - Relatório de Capabilidade.....                        | 80 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Classificação dos Índices de Avaliação do MSA por Atributo .....           | 50 |
| Tabela 2 - Classificação dos Índices de Avaliação do MSA por Dados das Variáveis..... | 51 |
| Tabela 3 - Descritivo de materiais pneumático .....                                   | 52 |
| Tabela 4 - Definição dos GPIOs.....   | 68 |
| Tabela 5 - Definição das variáveis globais.....                                       | 69 |
| Tabela 6 - Resultado dos Testes .....   | 72 |
| Tabela 7 - Análise de Estabilização da Fonte.....                                     | 74 |
| Tabela 8 - Resultado da segunda análise do Cm .....                                   | 76 |
| Tabela 9 -Resultado da Transformada Box-Cox .....                                     | 78 |
| Tabela 10 - Análise do ANEXO A.....   | 80 |
| Tabela 11 - Índices Calculados do MSA por Atributo .....                              | 81 |
| Tabela 12 - Análise ANOVA com Um Fator .....  | 82 |
| Tabela 13 - Componentes de Variância.....   | 82 |
| Tabela 14 - Avaliação das Medições .....  | 82 |
| Tabela 15 - Índices Calculados do MSA por Dados das Variáveis.....                    | 83 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1 - Dispersão de Erros vs Lote da 1ª Análise .....             | 73 |
| Gráfico 2 - Tempo de estabilização .....                               | 75 |
| Gráfico 3 - Dispersão de Erros vs Lote da 2ª Análise .....             | 76 |
| Gráfico 4 - Análise de Normalidade.....                                | 77 |
| Gráfico 5 - Análise de Normalidade após Transformada de Box-Cox.....   | 79 |
| Gráfico 6 - Ensaios de Medição dos Dados Coletados.....                | 81 |
| Gráfico 7 - Percentual de Influência dos Componentes de Variação ..... | 83 |
| Gráfico 8 - $\sigma^2$ Produto vs $\sigma^2$ Total.....                | 84 |
| Gráfico 9 - Classificação Incorreta Devido ao Erro de Medição .....    | 84 |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....  | 13 |
| 1.1. PROBLEMÁTICA.....  | 13 |
| 1.2. HIPÓTESE.....  | 14 |
| 1.3. JUSTIFICATIVA.....   | 14 |
| 1.4. OBJETIVO GERAL.....  | 14 |
| 1.4.1. OBJETIVO ESPECÍFICOS.....                                    | 15 |
| 1.5. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....                                   | 15 |
| <b>2. TRABALHOS RELACIONADOS</b> .....                              | 16 |
| 2.1. MELHORIA DE PROCESSO PRODUTIVO: JIGA DE TESTES DE PRODUTO..... | 16 |
| 2.2. INDUSTRIAL AUTOMATION USING IOT WITH RASPBERRY PI.....         | 18 |
| <b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....                                 | 21 |
| 3.1. SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO.....                                | 21 |
| 3.1.1. <i>JUST IN TIME</i> .....                                    | 22 |
| 3.1.2. <i>JIDOKA</i> .....  | 23 |
| 3.2. Fontes chaveadas.....  | 24 |
| 3.2.1. Gabinete.....  | 25 |
| 3.2.2. Cabo.....  | 25 |
| 3.2.3. PCI.....   | 26 |
| 3.3. Internet das Coisas.....                                       | 26 |
| 3.4. Teste Funcional.....   | 27 |
| <b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....                                 | 28 |
| 4.1. Módulo Mecânico.....   | 29 |
| 4.1.1. Automação.....   | 31 |
| 4.1.2. PNEUMÁTICA.....  | 32 |
| 4.1.3. <i>Softwares</i> de suporte.....                             | 33 |
| 4.1.3.1. FluidSIM.....  | 33 |
| 4.1.3.2. Inventor®.....   | 33 |
| 4.2. Pré-requisitos do teste do <i>Blank</i> .....                  | 34 |
| 4.3. Hardware Eletrônico.....                                       | 34 |
| 4.3.1. Sistema de Controle.....                                     | 35 |
| 4.3.1.1.1. Raspberry Pi 3 Model B.....                              | 35 |
| 4.3.2. Hardware Periférico.....                                     | 36 |

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| 4.3.2.1.     | Placa de Circuito Impresso - PCI.....    | 36        |
| 4.3.2.1.1.   | Módulo Relé .....                        | 36        |
| 4.3.2.1.2.   | Expansor I/Os .....                      | 37        |
| 4.3.2.1.2.1. | I <sup>2</sup> C.....                    | 37        |
| 4.3.2.1.3.   | Leitura Analógica .....                  | 38        |
| 4.3.2.1.4.   | Simulador de Carga .....                 | 38        |
| 4.3.2.1.5.   | Proteus .....                            | 41        |
| 4.3.2.2.     | QEletro Tech .....                       | 42        |
| 4.3.2.3.     | Fonte de Alimentação CC .....            | 42        |
| 4.3.2.4.     | Agulhas de Teste .....                   | 43        |
| 4.4.         | Software .....                           | 43        |
| 4.4.1.       | <i>Python</i> .....                      | 45        |
| 4.4.2.       | Servidor FTP.....                        | 46        |
| 4.5.         | Método de Validação .....                | 46        |
| 4.5.1.       | Valor Nominal e Limites .....            | 46        |
| 4.5.2.       | Média Amostral e Desvio Padrão .....     | 46        |
| 4.5.3.       | Distribuição Normal .....                | 46        |
| 4.5.4.       | Normalização de Dados .....              | 47        |
| 4.5.4.1.     | Transformação de Box-Cox .....           | 47        |
| 4.5.5.       | Six-Sigma.....                           | 48        |
| 4.5.6.       | Minitab.....                             | 48        |
| 4.6.         | Análise dos Sistemas de Medições.....    | 48        |
| 4.6.1.       | MSA por Dados de Atributos .....         | 49        |
| 4.6.2.       | MSA por Dados de Variáveis .....         | 50        |
| 4.6.3.       | Software SPC XL.....                     | 51        |
| <b>5.</b>    | <b>RESULTADOS</b> .....                  | <b>52</b> |
| 5.1.         | Sistema Eletropneumático.....            | 52        |
| 5.2.         | Modelagem no CAD .....                   | 53        |
| 5.2.1.       | Base Inferior .....                      | 53        |
| 5.2.2.       | Base Superior .....                      | 54        |
| 5.2.3.       | Berço .....                              | 55        |
| 5.2.4.       | Sistema de Fixação do <i>Blank</i> ..... | 56        |
| 5.2.5.       | Módulo Mecânico Montado.....             | 58        |
| 5.2.6.       | Módulo Mecânico Construído .....         | 59        |
| 5.3.         | PCIs .....                               | 60        |

|   |           |
|---|-----------|
| 5.4. Elaboração do Esquema Elétrico.....                              | 66        |
| 5.5. Software .....   | 68        |
| 5.5.1. Teste de Comunicação com o Servidor e Controlador .....        | 70        |
| <b>6. VALIDAÇÃO E TESTES .....</b>                                    | <b>72</b> |
| 6.1. Primeira Análise.....  | 72        |
| 6.1.1. Identificação do Problema .....                                | 73        |
| 6.1.2. Solução do Tempo da Verificação de Tensão.....                 | 75        |
| 6.2. Segunda Análise.....   | 76        |
| 6.3. Terceira Análise .....   | 77        |
| 6.3.1. Normalização dos Dados .....                                   | 78        |
| 6.3.2. Cálculo dos Índices Cps e Cpk .....                            | 79        |
| 6.4. Análise MSA do Dispositivo .....                                 | 80        |
| <b>7. CONCLUSÃO .....</b>   | <b>85</b> |
| <b>TRABALHOS FUTUROS.....</b>   | <b>86</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>  | <b>87</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>   | <b>90</b> |
| <b>ANEXO A – RELATÓRIOS DOS TESTES REALIZADO NO DISPOSITIVO .....</b> | <b>90</b> |
| <b>ANEXO B – TABELA DE PROBABILIDADE DE FALHAS EM PPM .....</b>       | <b>91</b> |
| <b>APÊNDICES.....</b>   | <b>93</b> |
| <b>APÊNDICE A – ESQUEMA ELÉTRICO DO DISPOSITIVO .....</b>             | <b>93</b> |
| <b>APÊNDICE B – SCRIPT PARA TESTE DA FONTE .....</b>                  | <b>95</b> |
| <b>APÊNDICE C – RELATÓRIO DE MEDIÇÕES.....</b>                        | <b>97</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

O cenário atual da indústria está cada vez mais moderno abrangendo novas filosofias de processos industriais, novas tecnologias de automação, novas ferramentas produtivas, entre outros. Para acompanhar esse desenvolvimento, tem-se a necessidade de adequar as linhas produtivas presentes no PIM (Polo Industrial de Manaus) nesse cenário evolutivo.

A competitividade do mercado na busca cada vez mais crescente pela melhor qualidade do produto e menor custo torna o meio industrial mais acirrado. Isso impõe sobre a indústria a necessidade de utilizar filosofias de sistema de produção como o *Lean Manufacturing* para reorganizar seu modo produtivo, de forma a alcançar a redução de desperdícios e maior produtividade.

Juntamente à evolução dos softwares e hardwares empregados na indústria surge também o aumento da exigência da confiabilidade dos testes realizados nas Placas de Circuito Impresso – PCI (do inglês, *PCBA – Printed Circuit Board Assembly*). Para alcançar esse requisito acaba por ter a necessidade de tirar da responsabilidade direta do operador e dar início a utilização de sistemas automatizados.

Dentro da última revolução industrial, surge a Internet das Coisa (em inglês *Internet of Things – IoT*) para tornar possível a conexão em tempo real entre o ambiente do chão de fábrica e a central de análise de dados. Isso acaba resultando em maior agilidade no processamento de dados e maior controle sobre o processo produtivo.

Utilizando essas novas ferramentas de auxílio e filosofia ditas anteriormente, esse trabalho visa desenvolver um dispositivo para realização de teste funcional em PCIs de fonte chaveada.

### 1.1. PROBLEMÁTICA

Uma empresa montadora de produtos eletrônicos do PIM está em fase de implementação de uma nova linha de montagem de fontes chaveadas. Dessa forma há a ausência de um dispositivo para automatizar os testes funcionais das PCIs da fonte chaveada de 12W enquanto ainda estão montadas em um conjunto de 5 placas (*blank*).

## 1.2. HIPÓTESE

Observando as filosofias e tecnologias atuais empregadas na indústria moderna é possível desenvolver um dispositivo para automatizar os processos de teste de *blank* utilizando um sistema eletropneumático, placas de teste e o microcomputador Raspberry Pi 3 B+ para controle e coleta de dados implementando o princípio da *IoT*. Com utilização desses conceitos e ferramentas será possível alcançar menor tempo de produção e maior qualidade do produto resultando, dessa forma, maior lucratividade à empresa. Além do mais, tem-se a possibilidade de utilizar o dispositivo para testes de outros produtos do mesmo gênero realizando poucas modificações mecânicas e de software.

## 1.3. JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento desse dispositivo auxiliará na automatização do teste funcional do *blank* de fonte chaveada de 12W de forma a resultar na otimização do teste do produto com maior qualidade e um novo modelo de sistema de testes funcionais de PCIs que pode servir como modelo para outros setores.

O curso de Engenharia de Controle e Automação tem um grande peso para a realização de um projeto nesse nível devido a sua grade curricular ser a mais completa quando se trata do fluxo e automatização de processos industriais. Ao decorrer do projeto haverá a utilização de conhecimentos adquiridos em disciplinas como: Introdução ao Projeto de Sistemas Mecânicos, Automação e Supervisão de Processos, Introdução à Ciências dos Materiais, Processos de Transformação, Gestão de Operações, Mecânica I, Mecânica dos Sólidos I, Comandos Eletropneumáticos e Hidráulicos, Projeto do Produto e Processo, Instrumentação Industrial. O projeto irá gerar grandes resultados na solidificação de conhecimentos absorvidos no âmbito acadêmico e reavaliação da visão global que outras regiões têm sobre a capacidade tecnológica que possuímos na nossa região.

## 1.4. OBJETIVO GERAL

Desenvolver um dispositivo para automatizar o teste funcional do *blank* de PCIs da fonte chaveada de 12W de forma a obter um sistema de teste enxuto e com alto rendimento produtivo.

#### 1.4.1. OBJETIVO ESPECÍFICOS

- a) Pesquisar e estudar a ferramenta *Jidoka* aplicada à sistema mecânico-pneumáticos;
- b) Projetar o sistema mecânico-pneumático de um dispositivo para testar o *blank* utilizando o *software* de CAD Inventor da empresa AUTODESK;
- c) Desenvolver um controlador, para o sistema eletropneumático, em Python voltado para o microcomputador Raspberry Pi 3 B+;
- d) Disponibilizar os dados coletados no teste para a rede interna da empresa;
- e) Desenvolver placas de circuitos eletrônicos para simulação de carga eletrônica, leitura dos valores de tensão e corrente, e acionamentos de relés;
- f) Avaliar a confiabilidade do sistema por meio da Análise de Sistemas de Medição.

#### 1.5. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho tem a sua divisão realizada em cinco capítulos, são eles:

- a) Introdução (Capítulo I);
- b) Trabalhos Relacionados (Capítulo II);
- c) Referencial Teórico (Capítulo III);
- d) Materiais e Métodos (Capítulo IV);
- e) Resultados (Capítulo V).
- f) Conclusão (Capítulo VI)

No Capítulo I é realizada uma breve apresentação sobre a modernização de linhas de montagem no estágio atual da indústria realizando um resumo das filosofias e tecnologias a serem utilizadas no desenvolvimento do projeto apresentadas por meio da problemática, hipótese, justificativa e objetivos.

O Capítulo II apresenta trabalhos já realizados na área industrial voltados para a automatização de testes de produtos eletrônicos utilizando microcomputadores portáteis.

O Capítulo III é responsável por apresentar os fundamentos teóricos e conceitos básicos utilizados para embasar o trabalho dessa forma tornando possível alcançar os objetivos definidos no Capítulo I.

O Capítulo IV irá apresentar a metodologia a ser aplicada no desenvolvimento envolvendo as ferramentas necessárias para a realização do trabalho.

O Capítulo V apresenta os resultados obtidos no desenvolvimento do projeto.

Enfim, o Capítulo VI irá apresenta a conclusão obtida no final do projeto.

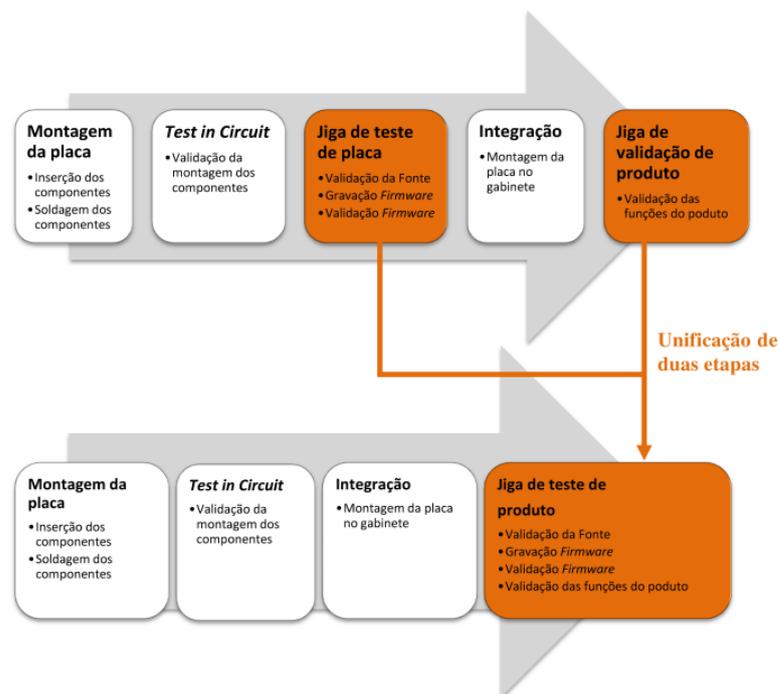
## 2. TRABALHOS RELACIONADOS

Nesse capítulo iremos apresentar alguns trabalhos científicos já realizados no tema proposto nessa dissertação. Serão apresentados de forma resumida abordando objetivos, metodologia e resultados, bem como minhas considerações quando comparado a essa dissertação.

### 2.1. MELHORIA DE PROCESSO PRODUTIVO: JIGA DE TESTES DE PRODUTO

O Trabalho de Conclusão de Curso de Brum e Wegener (2018) teve como objetivo desenvolver o dispositivo de teste e validação, JIGA, do produto videoporteiro de forma a reduzir o número de processos da linha de produção resultando na redução dos custos de processos e melhoria da eficiência de produção da fábrica. A Figura 1 compara os processos de fabricação original e a proposta dos autores.

Figura 1 - Comparação de layout das linhas



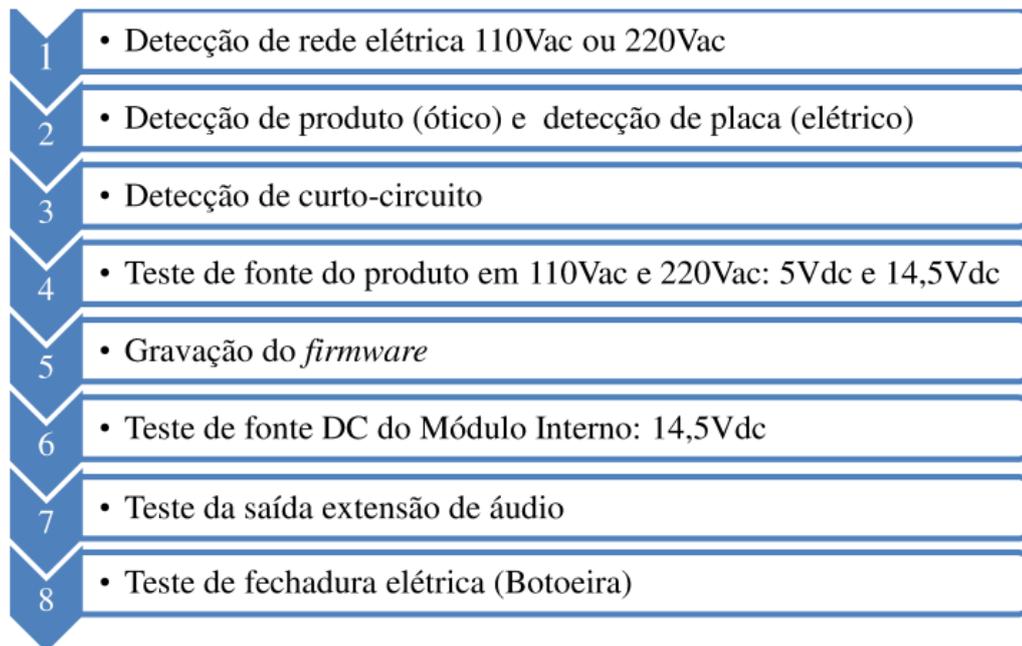
Fonte: Brum e Wegener, 2018

Em primeira estância Brum e Wegener realizaram um levantamento de informações do processo atual para então formularem as especificações do dispositivo de teste. Para tal foi definido realizar todos os testes de placa e produto final das duas partes do videoporteiro (unidade interna e externa) no mesmo dispositivo, o qual conta com dois módulos: o Módulo Mecânico, desenvolvido por um terceiro, responsável pela fixação do produto a ser testado bem

como os sensores, suportes de câmeras e etc e o Módulo Eletrônico onde foram utilizadas placas de circuitos padrões de mercado, circuitos eletrônicos auxiliares desenvolvidos pelos próprio autores e o *software* de controle do sistema.

Para a realização do teste automático do produto, os autores elaboraram um sequenciamento de etapas a serem realizadas, como é mostrado na Figura 2.

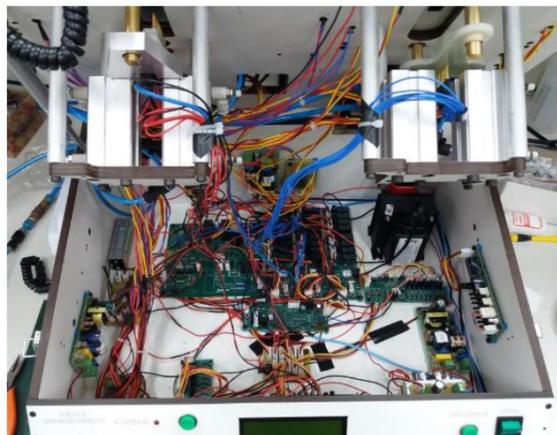
Figura 2 - Sequenciamento de etapas de teste



Fonte: Brum e Wegener, 2018

Após a realização do desenvolvimento mecânico e eletrônico foi realizada a montagem do dispositivo e então os testes funcionais do mesmo, na Figura 3 está a montagem interna e na Figura 4 a montagem externa.

Figura 3 - Montagem interna



Fonte: Brum e Wegener, 2018

Figura 4 - Montagem externa



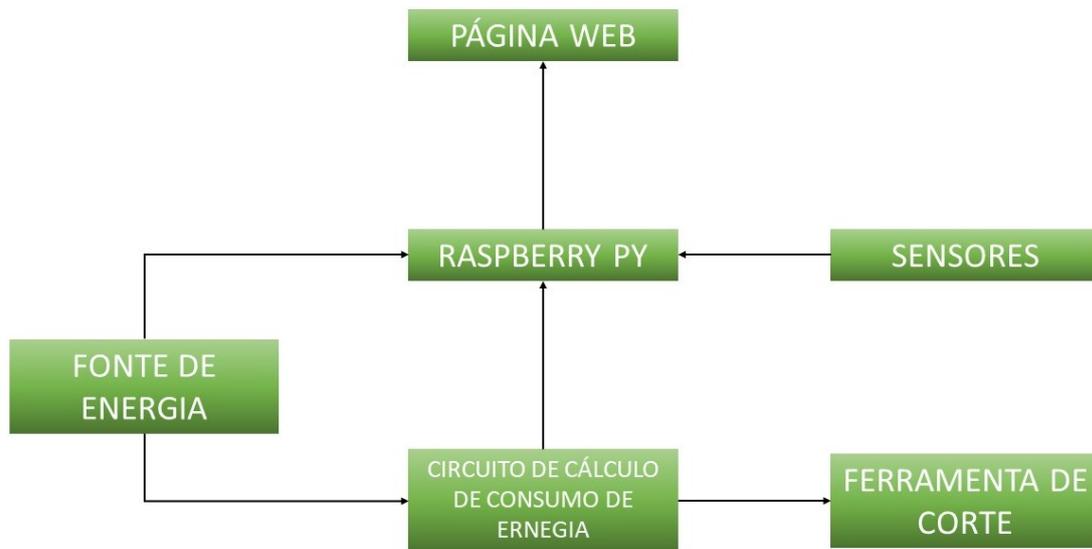
Fonte: Brum e Wegener, 2018

O dispositivo foi então implantado no processo produtivo resultando na redução de 43% dos custos de processo e 45% no tempo de manufatura. Dessa forma a empresa elevou a sua produção de 342 produtos diários para 627. Brum e Wegener poderiam ter implementado na JIGA um sistema que disponibilizasse os resultados dos testes na rede interna da empresa de forma a poder minimizar a intervenção humana na comunicação dos dados de teste para análise e controle interno da empresa. Esse último quesito será o diferencial a ser implementado no sistema de controle a ser desenvolvido nessa dissertação.

## 2.2. INDUSTRIAL AUTOMATION USING IOT WITH RASPBERRY PI

O artigo de Merchant (2017) visou desenvolver uma micro planta industrial inteligente, utilizando um *Raspberry Pi*, para monitorar uma estação de trabalho de corte por meio de sensores e disponibilizar os dados em uma página WEB. Dessa forma é possível analisar quando necessária a troca das lâminas desgastadas, controlar a iluminação e ventilação do ambiente evitando assim o gaste energético desnecessário e por fim monitorar a segurança local contra possíveis indícios de incêndio. Na Figura 5 está representado o diagrama de bloco referente a planta de controle do sistema desenvolvido por Merchant.

Figura 5 - Diagrama de Bloco da Planta Industrial Inteligente



Fonte: Adaptado de Merchant, 2017

Merchant utilizou sensores de presença para verificação de pessoas presentes no posto de trabalho, dessa forma ativando a circulação de ar e iluminação apenas quando necessária. Para monitoramento de segurança foi utilizado sensor de fumaça e o sensor de temperatura LM35. Como solução para a verificação do desgaste das lâminas de corte foi analisada corrente utilizada pela máquina de corte por meio do sensor ACS712. Na Figura 6 está a PCI desenvolvida por Merchant para montagem dos sensores e do conversor AD MCP3208 para então os dados serem coletados pelo *Raspberry Pi*.

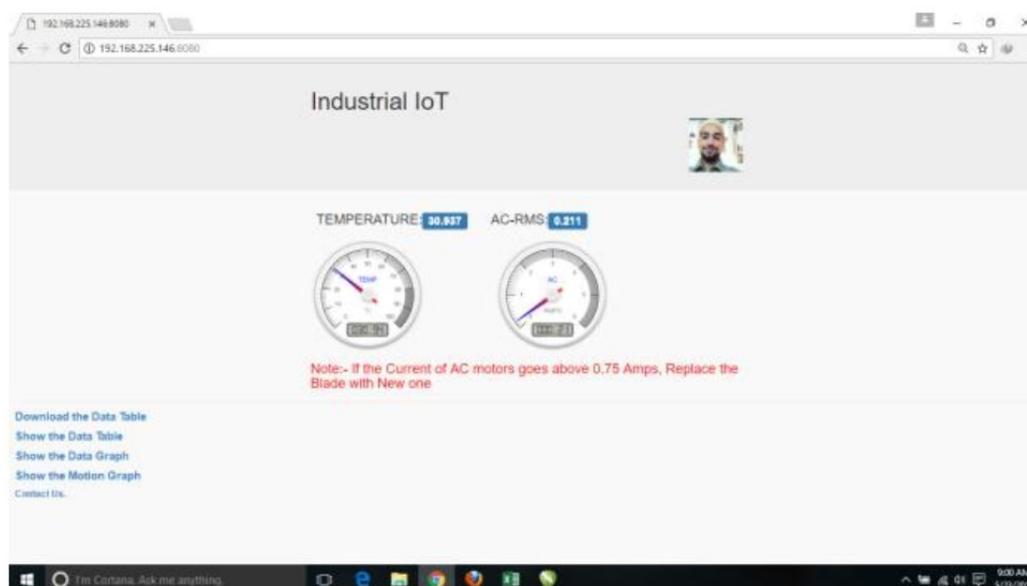
Figura 6 - PCI desenvolvida por Merchant



Fonte: Merchant, 2017

Foi desenvolvido um programa principal para a coleta e armazenamento de dados dos sensores em *Python*. Já para o desenvolvimento da página WEB, Merchant utilizou as linguagens de programação HTML e CSS. Como intermédio entre o programa principal e a página WEB, foi utilizado um programa em JQuery para buscar os dados no programa principal e *framework* Flask para comunicação entre eles. A página WEB desenvolvida por Merchant para acompanhamento da corrente consumida pela máquina e a temperatura está presente na Figura 7.

Figura 7 - Página WEB desenvolvida por Merchant



Fonte: Merchant, 2017

Merchant verificou que a máquina de corte aumenta seu consumo de corrente de 0,65A para 0,75A quando há desgaste em sua lâmina. Por fim, pode-se concluir que é possível desenvolver um sistema fabril inteligente conectado em rede utilizando o *Raspberry Pi* para que a análise de dados seja possível de ser realiza a distância e também a redução do gasto energéticos pela automação da estação de trabalho.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo iremos apresentar uma revisão da literatura presente nos assuntos abordados nessa dissertação, como: *Lean Manufacturing*, Fontes Chaveadas e IoT. Prontamente, iremos nos aprofundar em cada um deles para poder escolher as melhores técnicas de cada um para o desenvolvimento da metodologia. Como visto no Capítulo 2, temos ciência que essas entidades já foram utilizadas por outros pesquisadores obtendo respostas positivas e assim validando a sua utilização.

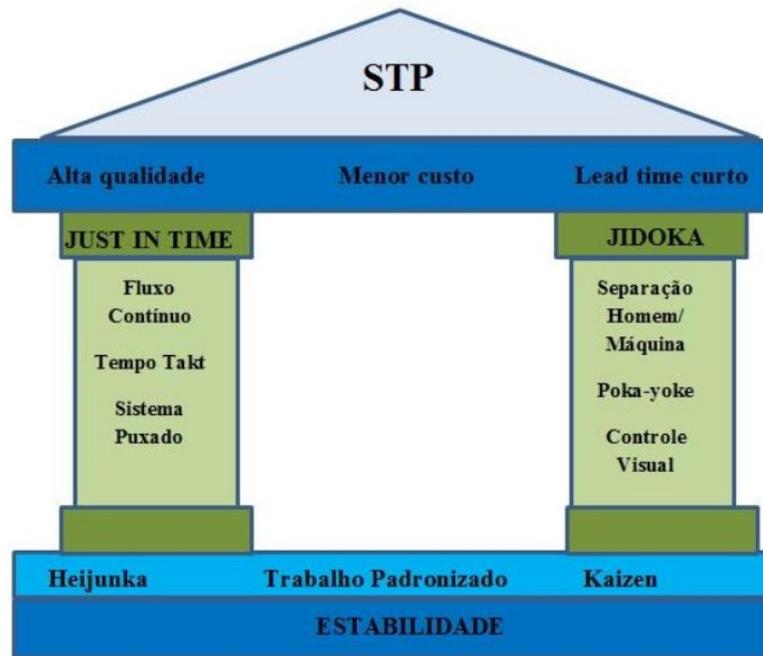
#### 3.1. SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

Sistema de Produção Enxuta, como também poder ser chamado o Sistema Toyota de Produção (STP), passou a existir junto a indústria automobilística japonesa quando o Japão logo após a Segunda Guerra Mundial teve a necessidade de reerguer a sua economia.

Engenheiros japônês realizaram um estudo sobre o sistema de produção em massa que era utilizado pela indústria estadunidense no intuito de adaptá-la à realidade japonesa. Devido ao país não ter recursos financeiros para investir em tecnologia suficiente para produção em massa e estar necessitando de uma vasta variedade de produtos, os engenheiros desenvolveram um sistema em que utilizasse a sua mão de obra altamente qualificada juntamente a ferramentas flexíveis para que pudessem produzir justamente o que o consumidor necessitava de forma que tivesse baixo custo de produção e elevada produtividade.

A eliminação de desperdício vinha a se tornar o maior enfoque da Toyota. Dessa forma deram início a filosofia de produção puxada, Sistema Toyota de Produção, deixando de lado a produção empurrada, produção em massa. Conforme OHNO (1997), o objetivo mais importante do STP foi aumentar a eficácia produtiva realizando a eliminação completa de desperdícios. Na Figura 8 podemos ver o Modelo do Sistema Toyota de produção onde seus pilares necessários para sua sustentação são: o *Just in Time* e a Automação (*Jidoka*) (OHNO, 1997). De acordo com Slack (2009), O *Jidoka* objetiva a paralização do fluxo de materiais em caso de anomalias e o *Just in Time* busca manter a continuidade do fluxo de atividades em processo.

Figura 8 - Modelo do Sistema Toyota de Produção



Fonte: Adaptado de Léxico *Lean*, 2003

### 3.1.1. *JUST IN TIME*

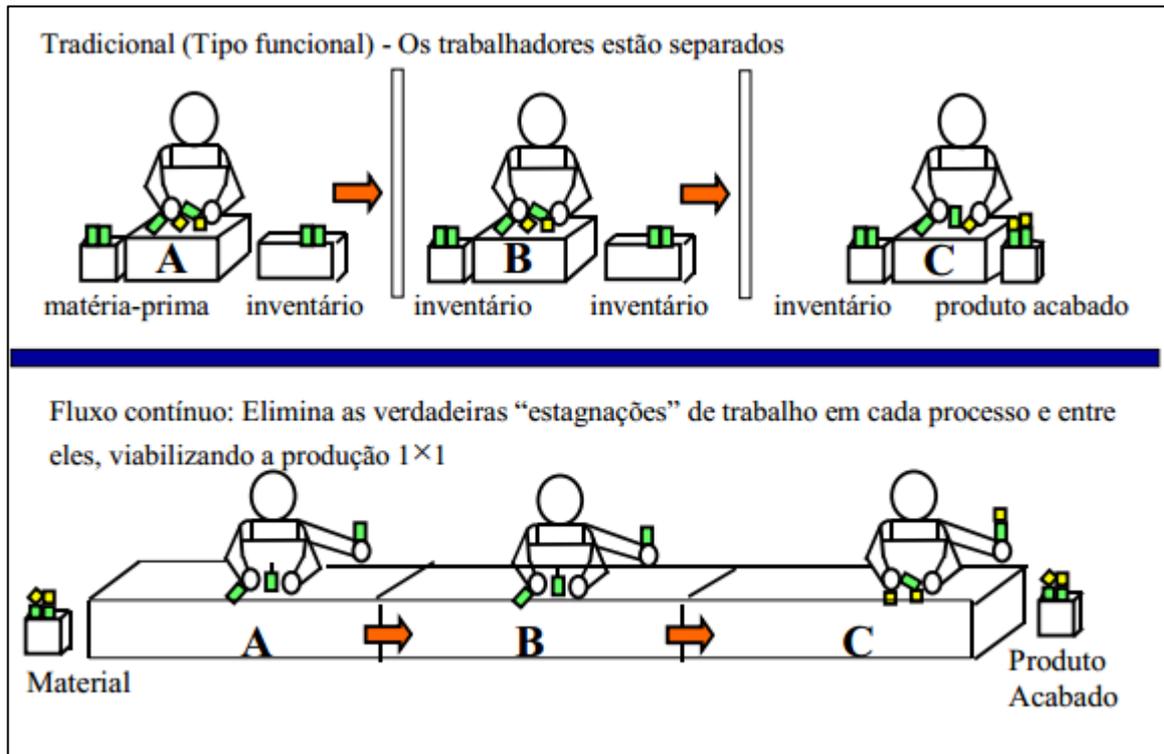
O *Just in Time (JIT)*, por meio da eliminação de perdas, tem a capacidade de colocar em prática o princípio da redução de custos (INVERNIZZI, 2006).

Devido o STP ter seu maior foco direcionado ao princípio da eliminação de perdas acabou direcionando maior atenção ao *JIT*. Esse fato acabou criar uma ideia que ele seria o próprio o STP quando na verdade ele é apenas uma técnica de gestão igualmente o *Jidoka* destacando-se como os pilares que sustenta o sistema.

De acordo com INTERVERNIZZI (2006) define que o *JIT* está intrinsecamente relacionado a três fatores: produção puxada, *takt time* e fluxo contínuo.

Fluxo contínuo: surge devido a necessidade de redução do *lead time*, tempo entre a liberação da ordem de produção e o momento de início. Uma linha de produção com fluxo contínuo pode ser vista na Figura 9 em que o compara com o fluxo tradicional.

Figura 9 - Fluxo de Produção Tradicional versus Fluxo Unitário Contínuo



Fonte: Ohno (1997)

*Takt time*: é o tempo utilizado para produzir uma unidade de um determinado produto baseando-se na demanda. O *Takt time* pode ser calculado pela Equação (1).

$$Takt\ time = \frac{\text{Tempo disponível}}{\text{Demanda}} \quad (1)$$

Produção puxada: o conceito de produção puxada tende a confundir-se com a definição de Just-In-Time, pois rege os mesmos princípios que são: produzir somente os itens certos; produzir na quantidade certa; e produzir no momento certo (INVERNIZZI, 2006). Dessa forma a demanda do cliente influencia diretamente desde o processo produção até os fornecedores evitando dessa forma a superprodução.

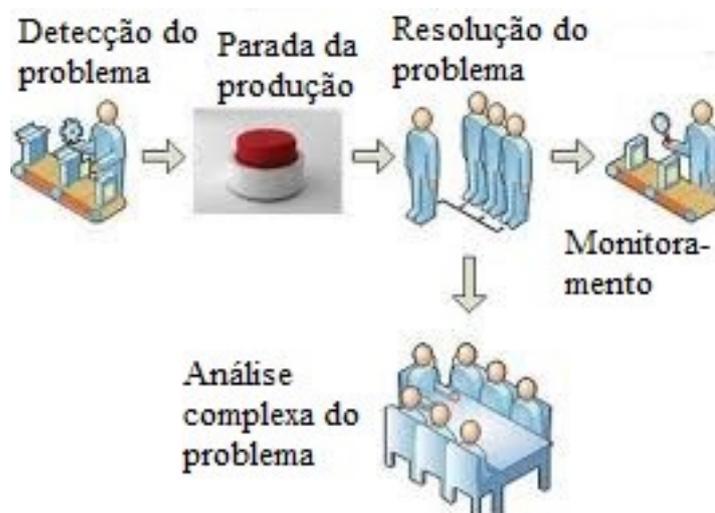
### 3.1.2. JIDOKA

Segundo INTERVERNIZZI (2006) o conceito de *Jidoka* ou *autonomia* teve sua origem devido a invenção de Sakichi Toyoda. Como a família Toyoda atuava na área têxtil e havia a necessidade constante de cada tear ser monitorado por um operador para caso houvesse necessidade de uma parada de emergência ou de conclusão de operação. Sakichi inventou um

tear realizava a parada automática quando ocorresse alguns dos casos citados anteriormente, assim um único operador poderia monitorar de 40 a 50 teares ao mesmo tempo. O conceito dessa invenção acabou influenciando o engenheiro da Toyota, Taiichi Ohno, a desenvolver um *layout* para as linhas de forma que um operador pudesse operar várias máquinas ao mesmo tempo influenciando diretamente na redução do *lead time*. Então esses conceitos derivados de Sakichi foram batizados por Ohno (1997) de *Jidoka*. Onde dentro da engenharia, *Jidoka* passou a significar “automação com toque humano”.

De acordo com GHINATO (1996) o *Jidoka* consiste em dar ao operador ou à máquina autonomia total de parar o processamento no momento em que for detectada qualquer irregularidade de processo (*apud* DA SILVA, 2016). A visualização das paradas de máquina é permitida devido a utilização do *Andon*, que é um painel luminoso instalado em um local que possa ser visto por toda a linha. Ele informa o *status* da linha e as chamadas de emergência. Na Figura 10 podemos observar a utilização do *Andon* e como os operados se comportam diante do problema detectado.

Figura 10 - Funcionamento do *Jidoka*



Fonte: Adaptado de CEOpedia

### 3.2. Fontes chaveadas

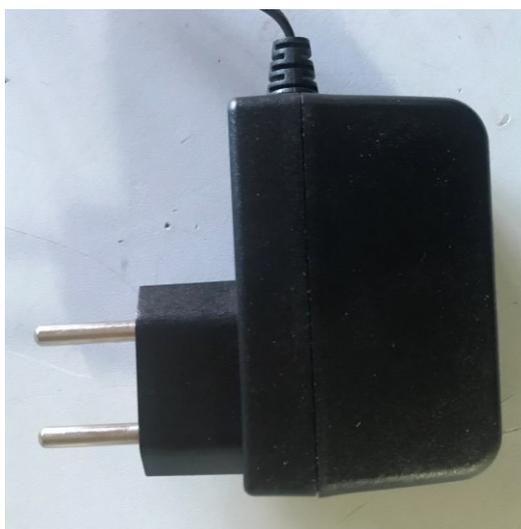
Uma fonte chaveada ou comutada é um periférico utilizado para alimentação de dispositivos eletrônicos. Ela é composta por um circuito interno que chaveia a corrente rapidamente de forma a manter a tensão fornecida estável. Além do mais o seu circuito permite que ela funcione com alimentações 127Vca e 220Vca convertendo para uma tensão de corrente contínua em sua saída. Os seus reguladores chaveados admitem a fonte menor tamanho e maior

eficiência. Em contrapartida acaba por exigir um projeto mais complexo para que não haja ruídos na saída do sistema, o que poderia acarretar no baixo fator de potência. A fonte chaveada em teste nesse projeto é composta por três partes: gabinete, cabo e a PCI.

### 3.2.1. Gabinete

O Gabinete, vide Figura 11, é uma peça feita em plástico injetado responsável por proteger a PCI e facilitar o manuseio da fonte.

Figura 11 - Gabinete



Fonte: Autor

### 3.2.2. Cabo

O cabo é composto por dois fios responsável por levar a energia elétrica até o dispositivo a ser alimentado. A Figura 12 mostra a imagem do cabo utilizado pela fonte.

Figura 12 - Cabo

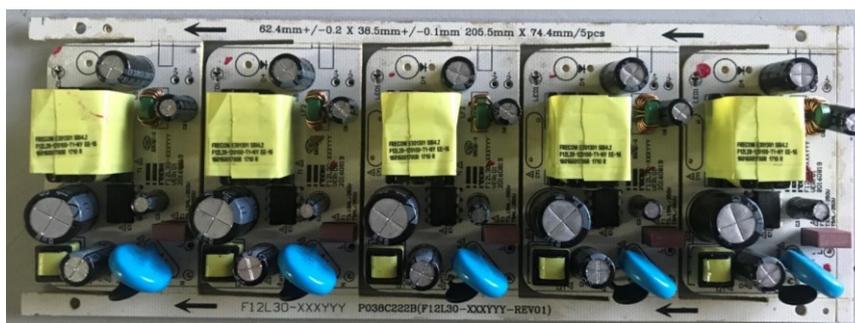


Fonte: Autor

### 3.2.3. PCI

No caso presente de estudo a PCI da fonte é responsável por realizar a conversão de corrente alternada para corrente contínua de acordo com as especificações da fonte, que são: tensão de 12Vdc e corrente de 1A. Quando em fase de montagem dos componentes eletrônicos da fonte, a PCI está em forma de *blank*, como é mostrado na Figura 13.

Figura 13 - *Blank*



Fonte: Autor

Após realizar o teste funcional (teste a ser desenvolvido nessa dissertação) é então que o *blank* é desmembrado restando as PCIs a serem montadas junto as demais partes que compõe a fonte. Na Figura 14 está a PCI da fonte chaveada de 12W.

Figura 14 - PCI fonte chaveada de 12W



Fonte: Autor

### 3.3. Internet das Coisas

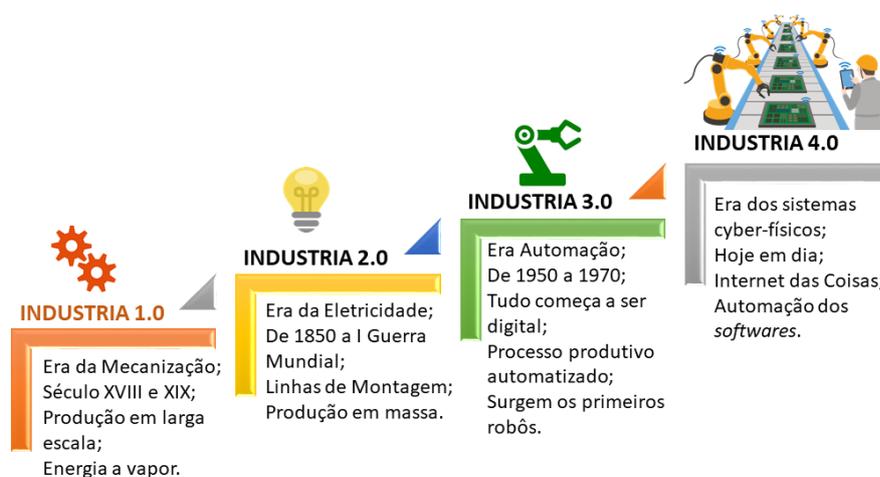
A Internet das Coisas, mais comumente conhecida como *IoT* que é abreviação da expressão em inglês *Internet of Things*, procura melhorar os meios de comunicação que são utilizados pela sociedade visando chegar a um ponto em que a intervenção ou interação humana com a máquina seja nula, dessa forma a comunicação se torna exclusiva entre os dispositivos (ALOI, 2016).

Uma das vertentes da *IoT* é a *Industrial Internet of Things (IIoT)*, a qual é voltada para aplicações industriais. A *IIoT* é representada por outros termos criados por grandes

empresas de nível mundial que investem nessa área de inovação, como: GE – “*Industrial Internet*”, Cisco – “*Internet of Everything*”, e outros que chamam de “*Internet 4.0*” (GILCHRIST, 2016).

A Internet Industrial visa prover maior discernimento e visibilidade nas operações dentro da indústria e nas integrações entre máquinas, sensores, banco de dados, *software* e *middleware*, isso acaba tornando o sistema de análise mais ágil, aumentando a produtividade e reduzindo os custos operacionais (GILCHRIST, 2016).

Figura 15 - Evolução da Tecnologia Industrial



Fonte: Autor

Na Figura 15 podemos ver o desenvolvimento da tecnologia industrial que teve início no Século XVIII com a mecanização dos processos, onde resultou no menor esforço humano para realizar atividades até o estado atual da Indústria 4.0 em que os processos passaram a se comunicar havendo otimização na análise dos processos e maior eficiência das linhas produtivas.

### 3.4. Teste Funcional

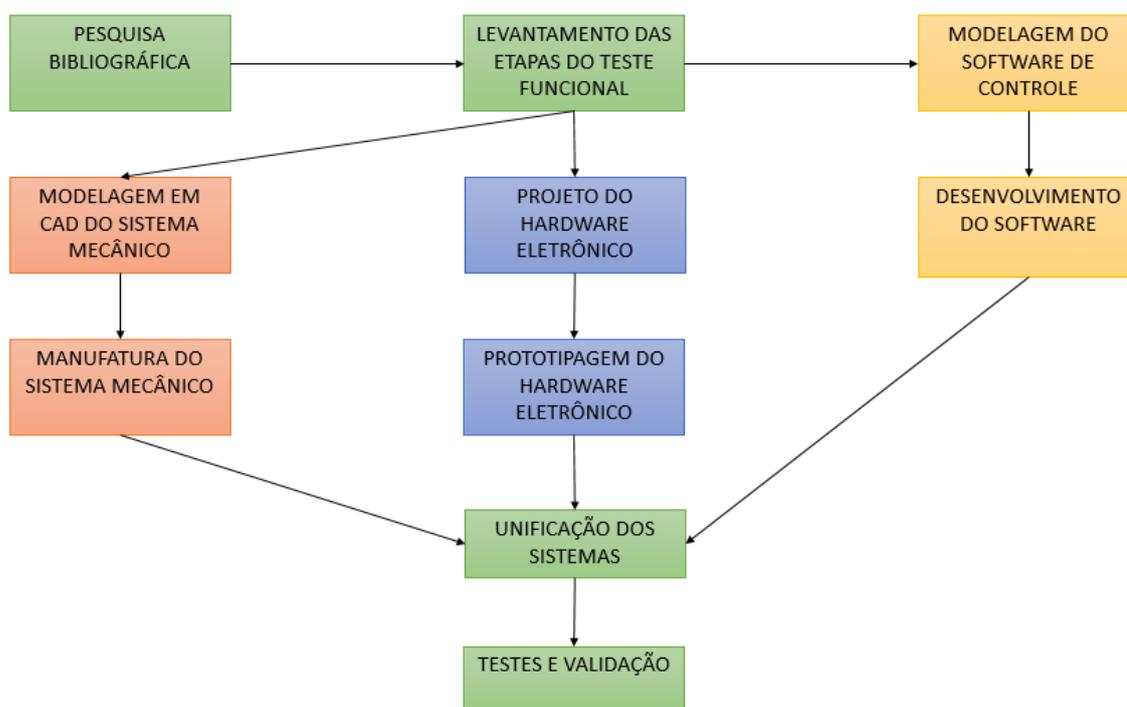
De acordo com Jutman (et al., 2014) o Teste Funcional (TF) é um teste que só depende das portas de entrada e saída, e não da estrutura interna de DfT (*apud* JUNIOR, 2017).

O TF de uma PCI visa verificar se a placa está exercendo corretamente as suas funções dentro dos parâmetros estabelecidos em seu projeto. Especificamente nos casos das PCIs de fonte chaveada, esse teste se dá por meio da energização da placa e aplicação de uma carga resistiva em sua saída. Então é verificado o comportamento da placa. Os testes variam de acordo com as exigências de cada fabricante do produto.

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos técnicos a serem utilizados no presente projeto irão desde sua pesquisa bibliográfica até simulações computacionais para validação dos conceitos e técnicas aplicadas. O fluxograma na Figura 16 apresenta como irá ser desenvolvido o projeto.

Figura 16 - Fluxograma da Metodologia Aplicada



Fonte: Autor

O trabalho se iniciará pela realização de pesquisas bibliográficas abrangendo a filosofia *Lean Manufacturing*, Internet das Coisas, modelos de TF de PCIs, e modelagem mecânica em *software CAD*. As pesquisas nessas áreas serão sempre voltadas a utilização no setor industriário.

A partir dos dados obtidos serão desenvolvidos os sistemas mecânico-pneumático, as placas eletrônicas e o software de controle do sistema.

O processo de modelagem mecânica em CAD será realizado utilizando o *software Inventor®* da Autodesk devido os conhecimentos prévios sobre o sistema. Enquanto que o desenvolvimento eletrônico será no programa *Proteus*. E por fim o *software* de controle na linguagem *Python* devido ao programa que a empresa desenvolveu para realização de teste ser

nessa mesma linguagem, dessa forma facilitando a comunicação entre o sistema de controle dos acionamentos a ser desenvolvido com o sistema já existente.

Como finalização dos sistemas individuais. Será realizada a montagem do sistema completo e realização dos testes funcionais do sistema para sua devida validação.

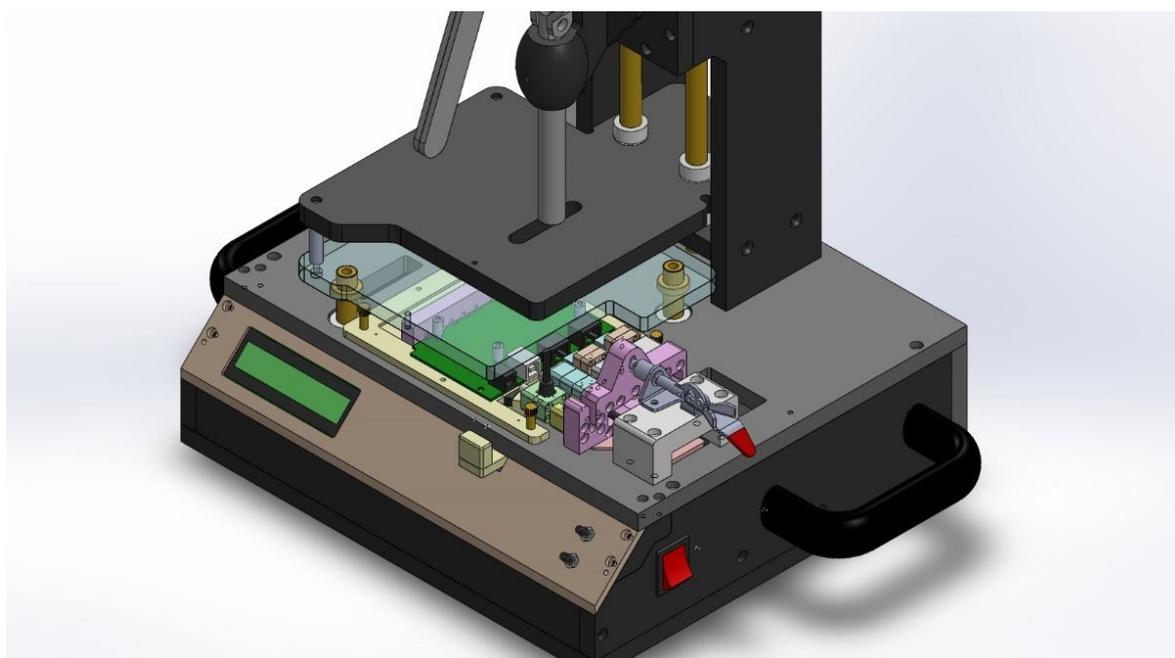
No desenvolvimento desse capítulo iremos abordar mais profundamente as técnicas e materiais utilizados no desenvolvimento de cada etapa do projeto visando sempre deixar as informações mais claras possíveis.

#### 4.1. Módulo Mecânico

O desenvolvimento Módulo Mecânico é uma etapa muito importante, pois ele deve ser ideal para o *blank* e dimensionado no tamanho disponível na linha de produção. Nessa fase também deve ser avaliado a melhor forma de operação do dispositivo para evitar possíveis problemas ergonômico ao operador.

Os módulos mecânicos para testes de PCIs, também conhecido como *fixtures*, estão presentes no mercado em vários modelos. Porém, em sua maioria seus sistemas são de acionamento manuais como é visto na Figura 17. No exemplo mostrado, a PCI fica fixada em uma base desenvolvida para ela, essa base é fixada a base principal por meio de parafusos guias e molas de forma a existir um determinado espaçamento entre elas e que a base da PCI possa ser empurrada contra a principal. Um sistema de alavanca realiza a compressão da base da PCI contra a principal, onde está presente uma “cama” de agulhas de teste.

Figura 17- Módulo Manual



Fonte: Mercado Livre

Utilizando o princípio do módulo manual, será desenvolvido um sistema de prensa pneumática automatizado em substituição ao sistema de alavanca. Nesse sistema irá ser utilizado um cilindro pneumático, como visto na Figura 21, para realizar a compressão da base da PCI e guias de eixos lineares para que durante a atuação do cilindro a base não gire e desça de forma uniforme.

As guias de eixos lineares são compostas pelo eixo guia que será fixada na base da PCI e rolamento lineares, os quais serão fixados na base de suporte ao cilindro. Na Figura 18 está presente esse conjunto.

Figura 18 - Rolamento Linear



Fonte: Soluções Industriais

A estrutura principal do módulo será composta por perfil tubular de alumínio, Fenolite e chapas de alumínio.

Perfil de montagem de alumínio: também conhecido como perfil de montagem, ele é um perfil feito por meio da extrusão do alumínio, A sua utilização é ampla no setor industrial devido a sua flexibilidade de montagem. Na Figura 19 tem-se uma amostra de montagem de perfil de alumínio.

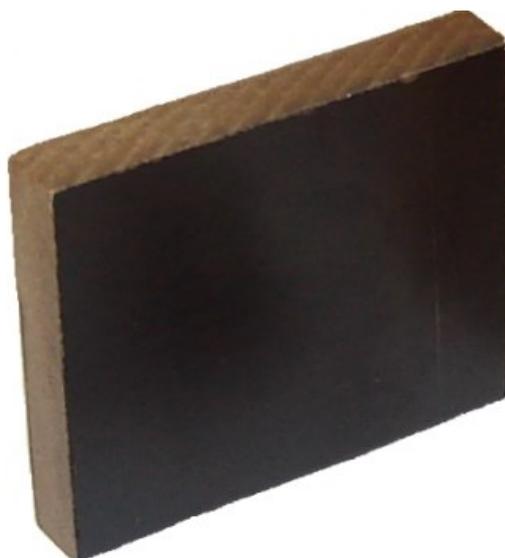
Figura 19 - Perfil de Alumínio



Fonte: adaptada de TORQUE

Fenolite: é uma placa laminada de plástico industrial fabricado sobre alta pressão dando a ele características duras e densas com alta resistência e bom isolamento elétrico. No mercado ele é encontrado com diversas características que variam de acordo com a forma de produção.

Figura 20 - Chapa de Fenolite



Fonte: Fertemp

Para o desenvolvimento desse sistema temos a necessidade de ter alguns conhecimentos prévios da tecnologia pneumática a ser utilizada, conceitos de automação, bem como as ferramentas computacionais de suporte na modelização do projeto.

#### 4.1.1. Automação

“Automação é um conjunto de técnicas destinadas a tornar automáticas a realização de tarefas, substituindo o gasto de bio-energia humana, com esforço muscular e mental, por elementos eletromecânicos computáveis” (SILVEIRA, 2003). Vale lembrar que automação é diferente de mecanização a qual é a utilização de um maquinário capaz de diminuir ou substituir o esforço humano.

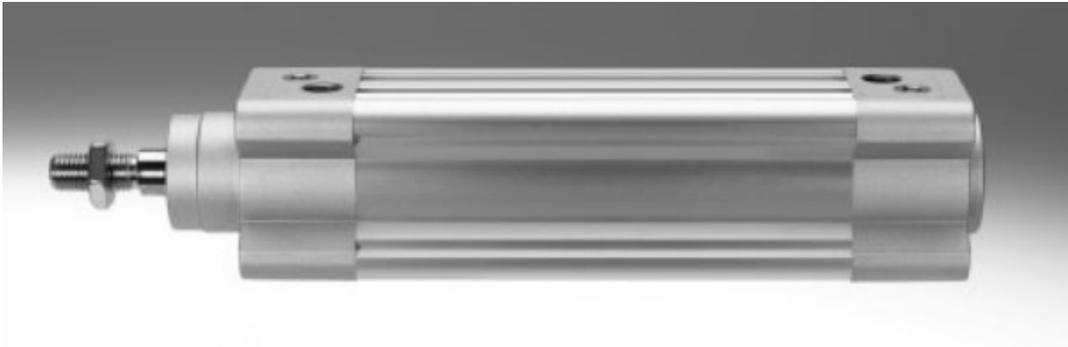
Sistemas industriais automatizados estão cada vez mais presente na indústria atual. Isso decorrer da filosofia *Lean*, já explicada anteriormente. Essa mudança acaba gerando reduções de custos e aumento de qualidade do produto final. Porém, a automação não vem somente para suprir essas necessidades produtivas, mas também para atender as altas demandas de produtos pelo mercado consumidor (TEIXEIRA; VISOTO; PAULISTA, 2016).

#### 4.1.2. PNEUMÁTICA

A pneumática é a tecnologia que realiza trabalho utilizando a energia do ar comprimido. Os sistemas pneumáticos estão cada vez mais presentes em processo de automação industrial devido ter custo acessíveis, boa confiabilidade, robustez, além de outras características. A pneumática é composta por muitos elementos, mas precisamos ter noção de alguns deles que estarão presentes no desenvolvimento do projeto, são eles:

Cilindro pneumático: é um elemento de trabalho que tem atuação linear. Devido à expansão de gás em sua câmara é possível obter-se energia mecânica utilizada na movimentação de objetos. Na Figura 21 temos um exemplo de cilindro pneumático.

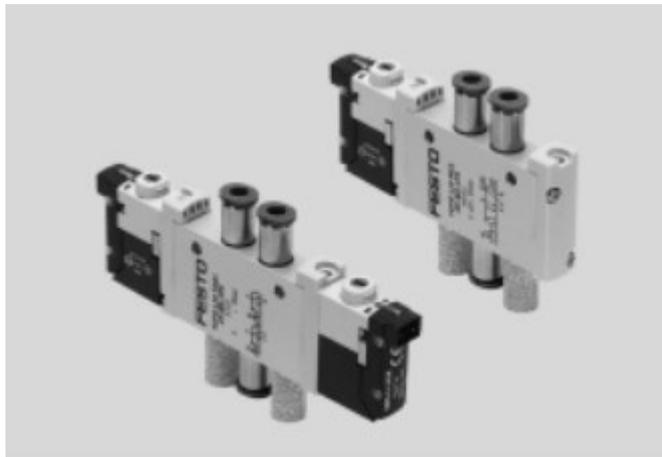
Figura 21 - Cilindro pneumático



Fonte: FESTO

Válvulas pneumáticas: são componentes responsáveis pelo controle do fluxo de ar. Na Figura 22 vemos dois exemplos de válvulas pneumáticas de cinco vias e duas posições.

Figura 22 - Válvulas pneumáticas



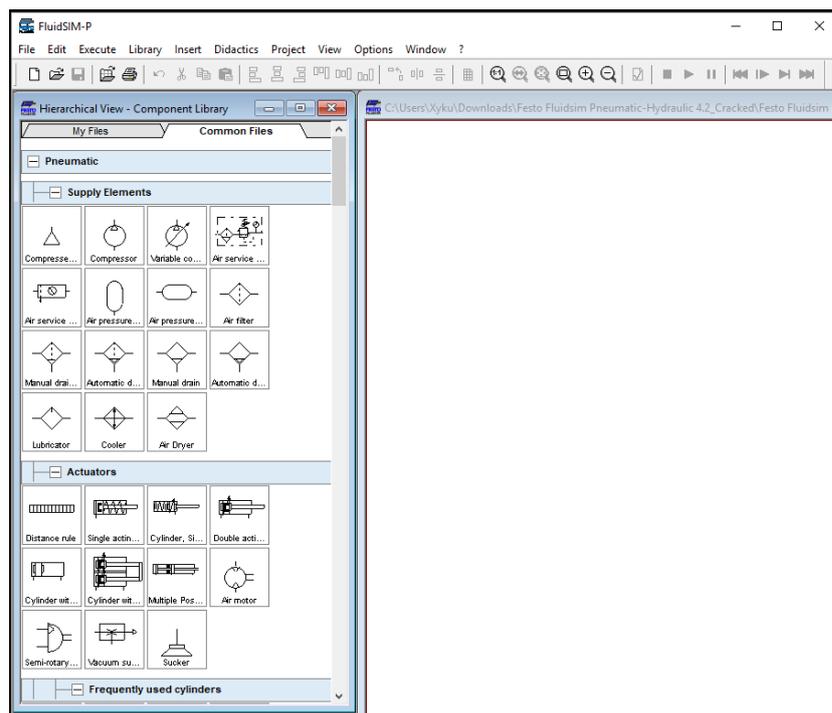
Fonte: FESTO

### 4.1.3. Softwares de suporte

#### 4.1.3.1. FluidSIM

O FluidSIM é um software desenvolvido pela FESTO para elaboração de projetos pneumáticos. Nele é possível realizar simulação do projeto em desenvolvimento e conta com uma grande variedade de componentes a serem utilizados de forma a tender até mesmo projetos de grande complexidade. Na Figura 23 vemos a interface inicial do FluidSIM.

Figura 23 - FluidSIM



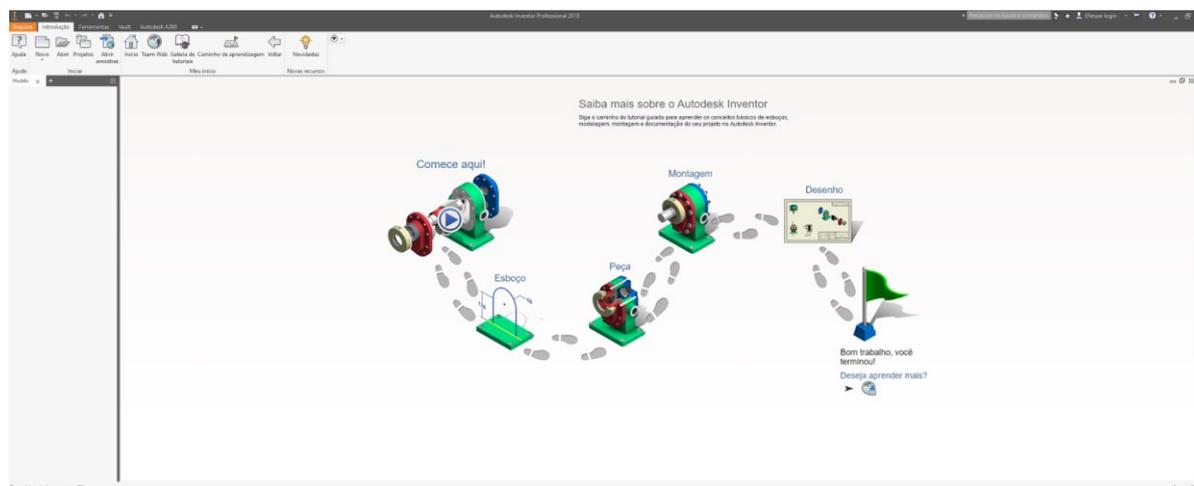
Fonte: Autor

#### 4.1.3.2. Inventor®

O Inventor® é um *software* de *Computer Aided Design* (CAD) ou em português Desenho Assistido por Computador (DAC) desenvolvido pela Autodesk. Ele foi escolhido para utilização devido haver uma versão gratuita para estudantes, onde atendem as necessidades para a modelagem realizada nessa dissertação. Além do mais a interface do Inventor® é mais amigável para utilização e é fácil obter vídeo aulas gratuitas na internet. O software também conta com uma ferramenta chamada Caminho de aprendizagem onde o usuário tem acesso a tutoriais de conceitos básicos dentro do próprio software.

Nessa modelagem foi utilizado o Autodesk Inventor Professional 2018 com assinatura estudantil onde pode ser utilizada por três anos gratuitamente.

Figura 24 - Caminho de aprendizagem



Fonte: autor

#### 4.2. Pré-requisitos do teste do *Blank*

Para a realização do teste do *blank* o cliente disponibilizou uma lista de teste e parâmetros para avaliação da conformidade das fontes em teste funcional. Foram solicitados quatro testes a serem realizados, são eles:

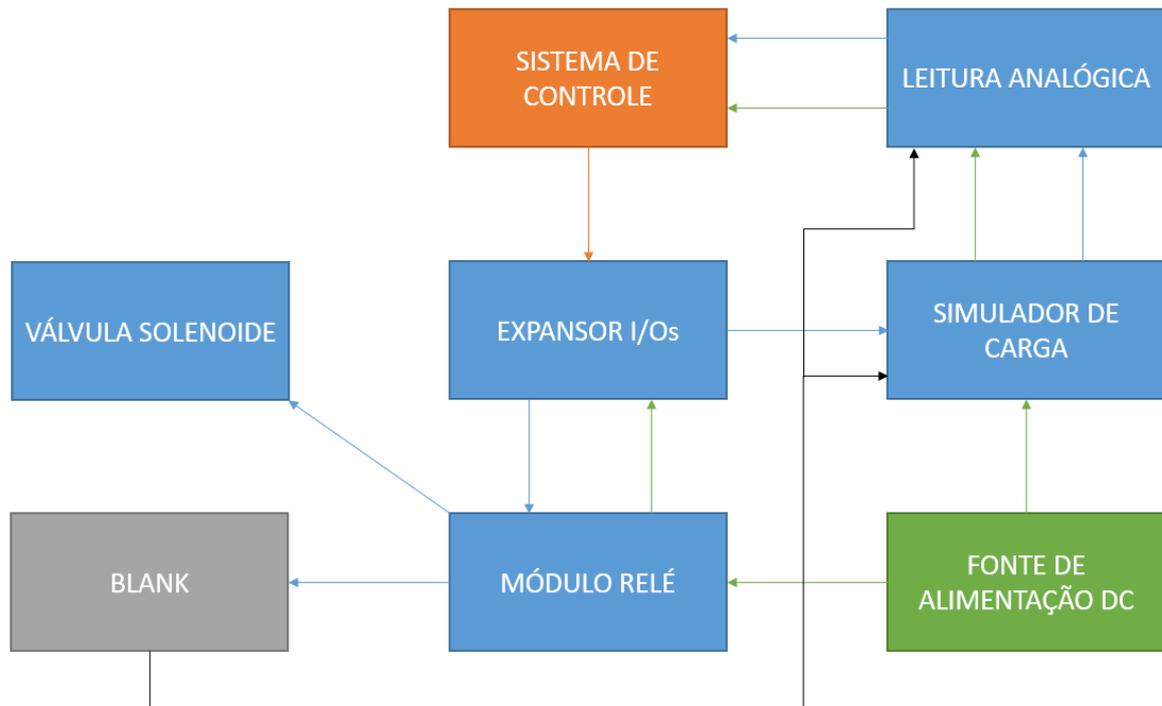
- **Teste sem carga:** o teste é realizado sem aplicação de carga resistiva na fonte. Nesse teste a fonte deverá fornecer uma tensão entre  $11,4V_{CC}$  e  $12,6V_{CC}$ ;
- **Teste com carga completa:** esse teste se dá pela aplicação de uma carga de 100% sobre a fonte, ou seja, uma carga suficiente para drenar a corrente de 1A da fonte. Em resposta, o dispositivo deve manter a mesma faixa de tensão apresentada no teste anterior;
- **Teste de curto circuito:** nesse teste é aplicado uma carga resistiva de cerca de  $0,1\Omega$  na saída da fonte. Dessa forma a fonte deve apresentar uma tensão menor que  $1V_{CC}$ ;
- **Teste de sobre carga:** o teste de sobre carga é realizado por meio de aplicação de uma carga resistiva que drene de  $1,2A$  a  $2A$  da fonte. Durante o teste a fonte deverá apresentar em sua saída uma tensão não maior que  $6V_{CC}$ .

#### 4.3. Hardware Eletrônico

O hardware eletrônico desse projeto tem a finalidade de realizar os testes funcionais do *blank* estipulados no tópico 4.2 e também ter a capacidade de transmitir os resultados para o sistema interno do cliente. Dessa forma há a necessidade de utilizar um sistema de controle

que seja capaz de realizar a transmissão dos dados e controlar o *Hardware* periférico de auxílio a realização dos testes. Na Figura 25 está presente a modelagem do hardware eletrônico de forma a termos uma visão mais ampla de como o sistema irá interagir internamente.

Figura 25 - Modelagem do Hardware Eletrônico



Fonte: Autor

#### 4.3.1. Sistema de Controle

Para o sistema de controle foi resolvido utilizar um dispositivo *IoT*, o qual é capaz de interagir com o *hardware* e se comunicar com outros sistemas/dispositivos. No mercado há muitos dispositivos que atendam a essas necessidades como: a família Rasp, família BeagleBone, ASUS Tinker Board S, Arduino YÚN, entre outros.

Ao desenvolvimento desse projeto foi escolhido o Raspberry Pi 3 Model B devido ter funcionalidades que atenda às necessidades e também ter sido utilizado por Merchant (2017) de forma a constatar que esse microcomputador irá ser adequado ao seu uso.

##### 4.3.1.1.1. Raspberry Pi 3 Model B

O Raspberry Pi, vide Figura 26, é um microcomputador que permite realizar uma grande parte das atividades que um computador normal é capaz de realizar e ao mesmo tempo capaz de realizar projetos eletrônicos (RAMIÃO, 2017). Esse dispositivo conta com um processador de 4 núcleos ARMv8 1.2GHz de arquitetura 64 bits, memória RAM de 1 GB, slot

para cartão de memória micro SD, 4 entradas USB, entrada HDMI. Além do mais tem comunicação Ethernet e wireless Bluetooth e LAN 802.11b/g/n. E para a realização de projetos eletrônicos ele conta com 40 pinos GPIO onde é possível realizar comunicações SPI, I2C, UART, entre outras comunicações industriais.

Figura 26 - Raspberry Pi 3 Model B



Fonte: Raspberry

#### 4.3.2. Hardware Periférico

Em auxílio para realização dos testes terá a necessidade de utilizar PCIs, fonte conversora AC/DC para alimentação do sistema e agulhas de teste para a interface do hardware eletrônico com o *blank*.

##### 4.3.2.1. Placa de Circuito Impresso - PCI

A PCI é uma placa não condutora responsável por servir de suporte para montagem de diversos componentes eletrônicos. Nela existem finas trilhas feitas de material condutor dispostas tanto na superfície da placa quanto em seu interior, variando de acordo com as especificações de projetos. Essas trilhas têm por função realizar a conexão entre os componentes presentes na PCI (DA SILVA, 2016).

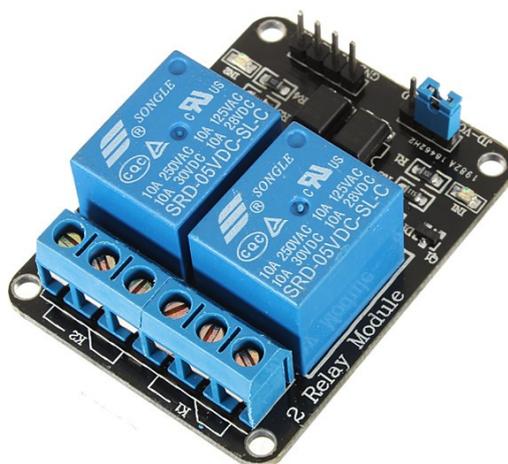
Nos itens abaixo será apresentado cada PCI que será utilizada no desenvolvimento como apresentado na Figura 25 e a ferramenta de desenvolvimento Proteus.

##### 4.3.2.1.1. Módulo Relé

A PCI módulo relé é uma placa padrão comercial composta por relés de acionamento por tensão de 5Vdc ou 12Vdc. Essa placa pode ser encontrada com apenas um

relé até 16 relés. O módulo é equipado com LEDs para indicar o acionamento dos relés e foto acopladores para evitar corrente reversa à saída do dispositivo de acionamento. Na Figura 27 temos um módulo relé composto por dois canais (relés).

Figura 27 - Módulo relé 2 canais



Fonte: FilipeFlop

#### 4.3.2.1.2. Expansor I/Os

A PCI de expansão das entradas e saídas (do inglês Inputs/Outputs – I/Os) será desenvolvida como precaução do Raspberry não ter GPIOs suficientes para os acionamentos. Dessa forma será utilizado o Circuito Integrado (CI) PCF8574 desenvolvido pela Texas Instruments que é um expansor de 8 bits I/O capaz de se comunicar via I<sup>2</sup>C. Seu endereçamento é formado por 3-bit, dessa forma é capaz de haver até 8 PCF8574 em uma mesma rede de comunicação I<sup>2</sup>C.

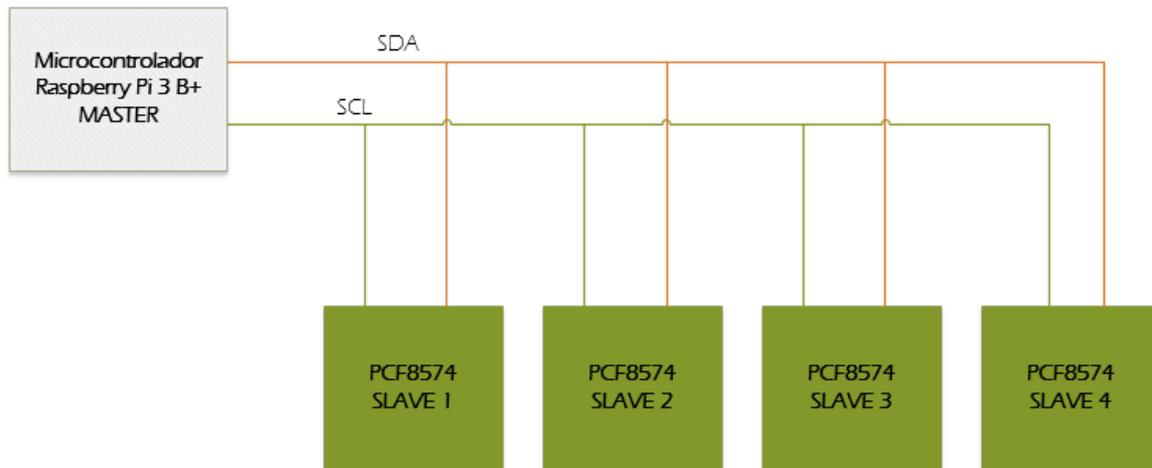
##### 4.3.2.1.2.1. I<sup>2</sup>C

O I<sup>2</sup>C é um protocolo de comunicação entre circuitos integrados desenvolvido pela Philips Semicondutores. Os dispositivos nesse protocolo têm seu próprio endereço podendo receber ou transmitir dados independentemente de sua classificação, que são: master e slave. O dispositivo definido como master inicia a comunicação por meio da transmissão de uma mensagem contendo o endereço do slave e as instruções das ações a serem tomadas. Essa mensagem é enviada a todos os slaves, devido haver endereçamento não ocorre o risco de outro dispositivo realizar as ações que não são destinadas a ele, evitando possíveis conflitos. E para evitar os conflitos entres masters, eles têm um sistema de detecção em que é verificado se outro

master está utilizando o meio de comunicação, ao detectar esse caso ele para a sua comunicação e espera a conclusão da comunicação que está em andamento (PEREIRA 2017).

Para realizar a comunicação o I2C utiliza apenas duas linhas: SDA responsável pela transmissão de dados e SCL responsável por manter o master e o slave sincronizados por meio de um relógio comum. A Figura 28 mostra o diagrama de conexão entre os dispositivos.

Figura 28 - Arquitetura de rede da comunicação I<sup>2</sup>C



Fonte: Autor

#### 4.3.2.1.3. Leitura Analógica

De forma a haver maior resolução de leitura analógica das tensões e não utilizar os GPIOs de conversão Analógico/Digital (A/D) do Raspberry, foi optado por utilizar o CI MCP3208 da Microchip. Esse CI conta com 8 canais de leitura analógica de 12-bit e comunicação SPI. A leitura pode ser por simples canal, onde o valor da leitura é em relação ao GND ou de forma diferencial em que o valor é a diferença entre os canais 0 e 1, 2 e 3, e assim por diante. A conversão A/D é dada pela seguinte Equação (2)

$$Saída\ digital = \frac{4096 \times V_{in}}{V_{ref}} \quad (2)$$

Onde:  $V_{in}$  = Tensão lida na entrada;

$V_{ref}$  = Tensão utilizada como referência.

#### 4.3.2.1.4. Simulador de Carga

A simulação de cargas pode ser feita de duas formas diferente:

Cargas variáveis: onde a corrente de carga pode ser variada de forma a ser possível utilizar em fontes de potências diferentes;

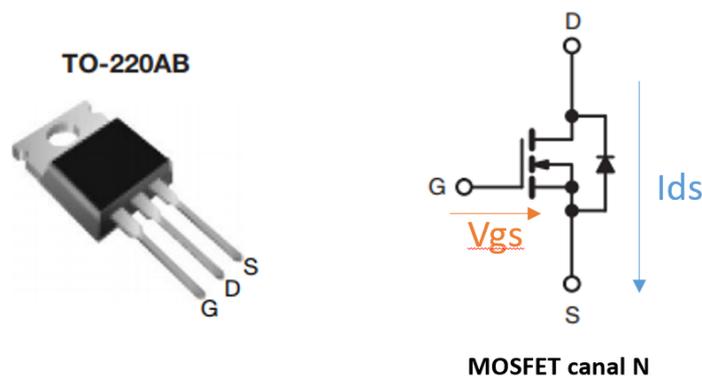
Cargas estática: nesse caso são utilizados resistores com resistências fixas, assim sendo possível testar apenas fontes de mesma potência.

Após analisar as duas formas de realizar a simulação, foi optado pelo desenvolvimento com carga variável (carga eletrônica). Pois torna o sistema mais flexível e preciso, duas características importantes no ambiente industrial.

A PCI Carga Eletrônica irá simular as cargas por meio do controle de corrente que será consumida por uma carga resistiva de aproximadamente 0,1 ohm. Para que seja possível realizar o seu desenvolvimento será utilizado CIs e Mosfet, a seguir segue alguns dos componentes que se deve ter ciência:

IRF540N: é um transistor de campo, Mosfet, de potência desenvolvido pela Vishay. Esse componente tolera tensões de até 100V e corrente de 28A, sendo possível chegar até 50W de potência de dissipação, onde iremos utilizar em torno de 24W. Diferentemente dos transistores bipolares, a corrente de dreno (D) em relação a fonte (S) é uma função da tensão de comporta (G) como visto na Figura 29.

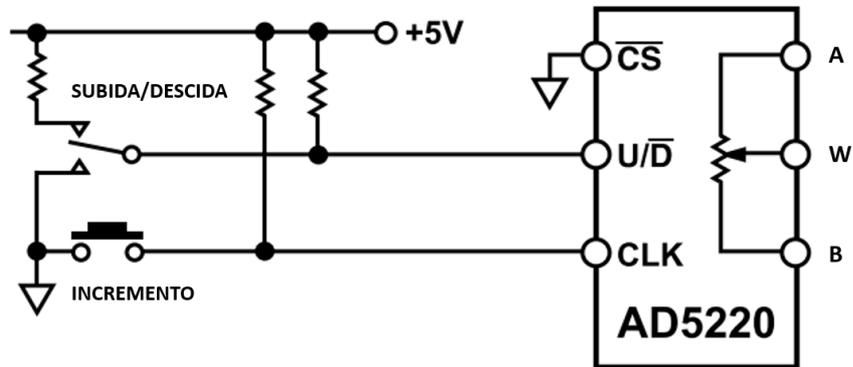
Figura 29 - IRF540N



Fonte: Adaptado do manual do fabricante

AD5220: é um potenciômetro digital de 128 posições controlado por meio de pulsos. Tem-se a necessidade de sua utilização para controlar a tensão destinada à comporta do IRF540N. Na Figura 30 temos um circuito típico de controle desse CI por meio de botão onde o incremento é realizado pela descida do sinal enviado a entrada CLK quando a entrada U/D está em nível alta e o decremento é realizado pelo mesmo sistema, porém com a entrada U/D em nível baixo.

Figura 30 - Circuito típico de controle do AD5220



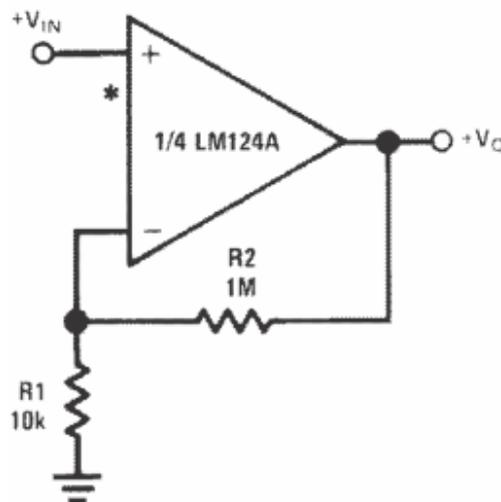
Fonte: Adaptado do manual do fabricante

LM324: é um CI composto por quatro amplificadores operacionais. Devido ao IRF540N necessitar de uma tensão maior que 5Vdc na comporta para que possa ser possível simular a potência desejada, teve-se a necessidade de amplificar o sinal proveniente do AD5220. O ganho do LM324 é regido pela Equação (3).

$$Av = 1 + \frac{R2}{R1} \quad (3)$$

Onde os resistores R1 e R2 são apresentados na Figura 31 sendo  $V_{in}$  a tensão de entrada e  $V_o$  a tensão de saída amplificada. O valor máximo de  $V_o$  é proporcional a tensão de alimentação do LM324 que pode ser de até 32Vdc.

Figura 31 – Diagrama simples de um Amplificador Operacional



Fonte: Manual do fabricante

Para simulação de circuito exigida pelo cliente, será realizada uma carga fixa com valor de resistência igual a 0,1 ohm utilizando resistores de 0,27 ohm com potência de 10W, como é visto na Figura 32.

Figura 32 - Resistor de Potência

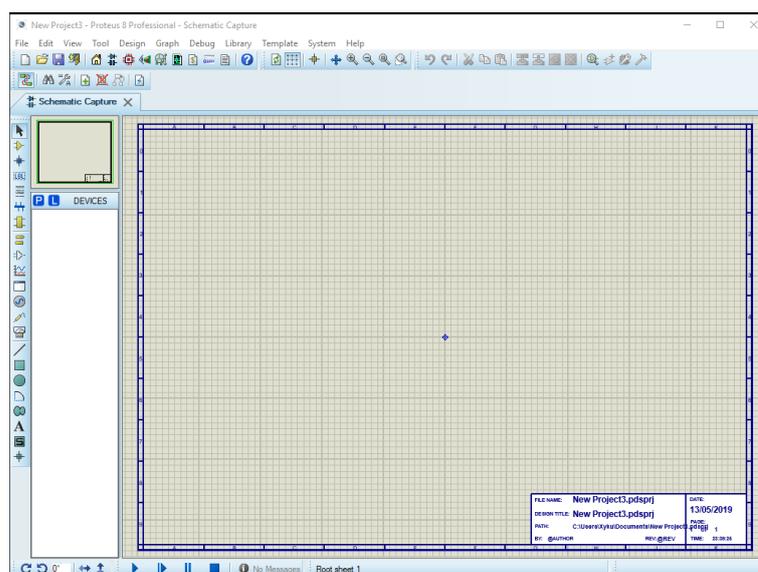


Fonte: Diy Audio Parts

#### 4.3.2.1.5. Proteus

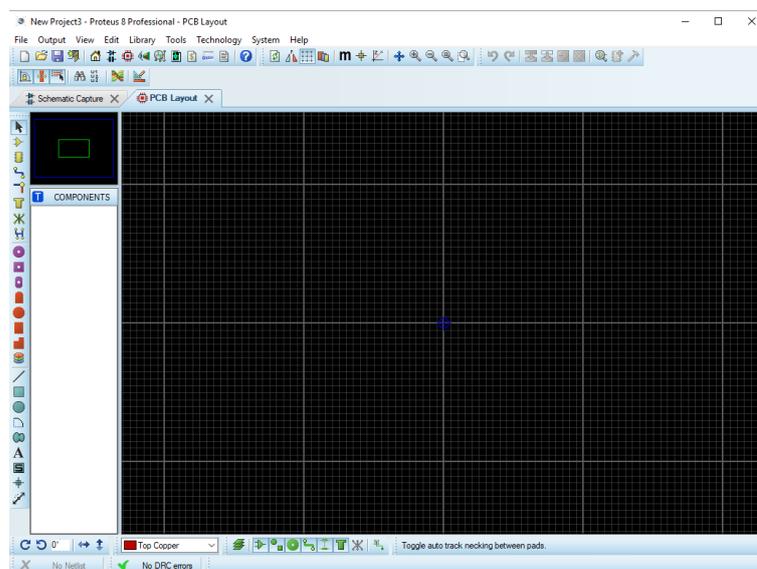
O Proteus é um *software* desenvolvido pela Labcenter destinado ao desenvolvimento e simulação de circuitos eletrônicos e a criação de PCIs. Esse software foi escolhido devido ser um software já utilizado ao decorrer do curso e ter uma vasta gama de componentes eletrônicos em suas bibliotecas digitais. Na Figura 33 podemos visualizar a aba de desenvolvimento e simulação do circuito eletrônico no Proteus e na Figura 34 está a aba de desenvolvimento da PCI.

Figura 33 - Aba do Esquemático do Circuito- Proteus



Fonte: Autor

Figura 34 - Aba do Desenvolvimento da PCI - Proteus



Fonte: Autor

#### 4.3.2.2. QEletro Tech

O QEletro Tech é um software francês gratuito utilizado para o projeto de diagramas elétricos. Ele servirá de suporte para o desenvolvimento do esquema elétrico desse projeto. Apesar de sua tradução para português não ser de excelência, ele é um software com boa usabilidade provendo grande partes dos componentes já presente em sua biblioteca e possibilidade de criação das próprias representações de componentes como foi criado nos casos da PCIs desenvolvidas.

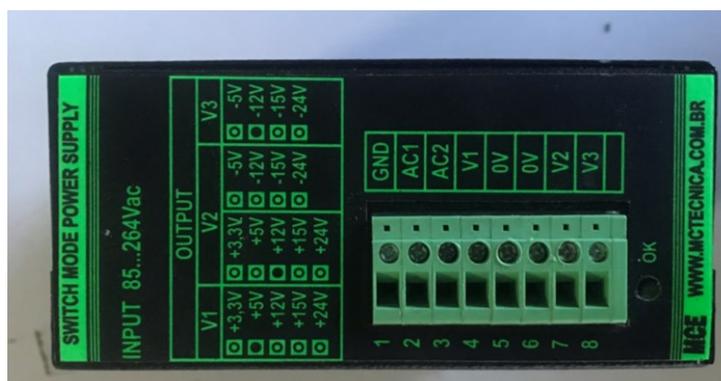
#### 4.3.2.3. Fonte de Alimentação CC

A fonte de alimentação CC é um periférico responsável por energizar os demais componentes presentes no hardware eletrônico. Será utilizada duas fontes:

Fonte 01: responsável por energizar apenas o Raspberry devido ele ter um conector mini USB para energização;

Fonte 02: é uma fonte com três valores de tensão de saída diferentes (-12Vdc, 12Vdc e 5Vdc). A sua necessidade decorreu-se devido aos CIs utilizados terem tensão de alimentação diferentes. Conforme a Figura 35.

Figura 35 - Fonte 02



Fonte: Autor

#### 4.3.2.4. Agulhas de Teste

Para o teste de PCIs é necessário realizar conexão entre ela e o sistema que irá realizar o teste. Na maioria dos casos há a necessidade de realizar muitas conexões as quais são em algumas vezes de difícil acesso. Conectar ponto a ponto todas as vezes que é necessário realizar um teste se torna algo inviável devido à dificuldade e o tempo. Dessa forma são utilizadas agulhas de testes as quais são fixas nos locais onde há a necessidade de realizar conexão elétrica. Essas agulhas variam em espessura, comprimento, força da mola interna de compressão e o tipo de cabeça. Após realizada uma análise dos locais onde haveriam contato com a agulha no *blank*, foi escolhida uma agulha F100 que é destinada a pontos com 2,54mm entre furos, força da mola de 0,1 N e cabeça do tipo Cabeça Serrada. Ela pode ser conferida na Figura 36.

Figura 36- Agulha Cabeça Serrada



Fonte: Autor

#### 4.4. Software

O software nada mais é do que um produto lógico e conceitual, ou seja, ele é um programa de computador composto por soluções algorítmicas desenvolvidas em uma linguagem de programação. Ele vai desde sistemas com soluções puramente virtuais como

Interface Homem-Máquina (IHM) até programas que contenha entradas e saídas de um sistema físico.

O software a ser utilizado para controlar o dispositivo desenvolvido é dividido em três partes: software de teste funcional; controlador do sistema eletropneumático; e o *uploader* do resultado dos testes.

Software de teste funcional: esse software é desenvolvido por terceiros dentro da própria empresa. Ele é responsável por realizar todos os testes funcionais do *blank* utilizando o hardware eletrônico desenvolvido nessa dissertação. O seu desenvolvimento foi realizado na linguagem de programação Python e conta com uma IHM para inserir os dados de rastreabilidade do *blank*, informar o status dos testes, configurar os parâmetros a serem avaliados e gerar um arquivo de texto contendo um log com os resultados dos testes realizados.

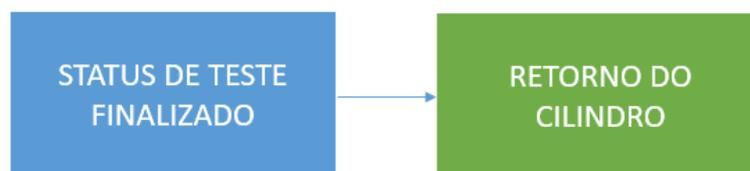
Controlador do sistema pneumático: para realizar o controle do sistema pneumático será desenvolvido um software em Python onde ele terá duas funções distintas: avanço do cilindro após receber o comando do usuário e do software de teste funcional havendo um retorno de ação concluída como apresentado no fluxograma da Figura 37 , e o retorno do cilindro após receber o status de teste finalizado do software principal visto no fluxograma da Figura 38.

Figura 37 - Fluxograma de avanço do cilindro



Fonte: Autor

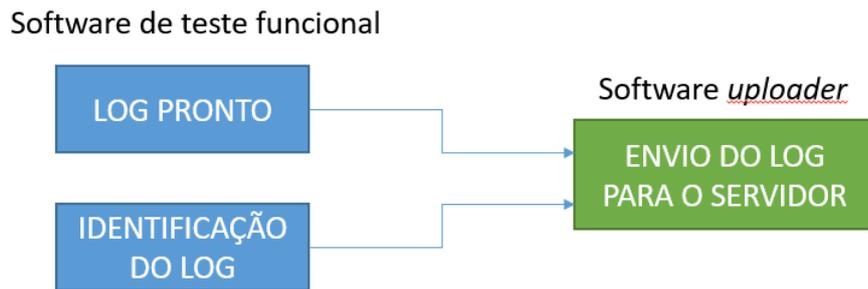
Figura 38 - Fluxograma de recuo do cilindro



Fonte: Autor

Software uploader: esse software ficará a cargo de enviar os logs para um servidor FTP, exigido pelo cliente, presente na rede wireless interno do cliente. O software de teste funcional após gerar o log irá indicar que o log está pronto e o seu nome de identificação. Tendo recebido essa informação, o *uploader* irá coletar esse arquivo e enviar ao servidor. O fluxograma desse processo está na Figura 39. O sistema interno do cliente ficará a cargo de coletar os dados do log e pagar o arquivo enviado para que não haja superlotação de arquivos.

Figura 39 - Fluxograma do *software uploader*



Fonte: Autor

#### 4.4.1. Python

O Python é uma linguagem de programação criada em 1989-1990 pelo holandês Guido van Rossum. Essa linguagem foi fortemente inspirada na linguagem ABC que era utilizada por Rossum antes de criar o Python.

Atualmente o Python é uma linguagem de programação livre e fortemente utilizada na comunidade. Devido a sua sintaxe ser mais simples e amigável acaba por ter uma curva de aprendizado mais rápida.

Para o desenvolvimento do software de controle será utilizada IDLE disponibilizada pela própria empresa, vide Figura 40.

Figura 40 - IDLE Python 3.7.1

A imagem mostra a interface do IDLE Python 3.7.1. O título da janela é 'Python 3.7.1 Shell'. O menu de opções inclui 'File', 'Edit', 'Shell', 'Debug', 'Options', 'Window' e 'Help'. O conteúdo da janela de texto mostra o seguinte código Python executado:

```
Python 3.7.1 (v3.7.1:260ec2c36a, Oct 20 2018, 14:05:16) [MSC v.1915 32 bit (Intel)] on win32
Type "help", "copyright", "credits" or "license()" for more information.
>>> a=2
>>> b=3
>>> a+b
5
>>> |
```

Na barra de status inferior direita, é exibido 'Ln: 7 Col: 4'.

Fonte: Autor

#### 4.4.2. Servidor FTP

*File Transfer Protocol* – FTP (em português, Protocolo de Transferência de Arquivos), de forma mais sucinta, é um tipo de conexão que possibilita a troca de arquivos entre dois computadores conectados à internet. Logo, o servidor FTP é um ambiente virtual que fornece o acesso a um local específico de um disco rígido utilizando o protocolo FTP.

#### 4.5. Método de Validação

De acordo com MONTGOMERY (2007) há vários elementos específicos em conjunto que descrevem a qualidade de um produto. Dessa forma, a partir desse conjunto irá ser avaliado a qualidade do dispositivo a ser projetado para sua devida validação. Para isso será realizado um estudo para avaliar os índices de Capabilidade de Processo:  $C_{pk}$  que avalia se o processo está centrado; e  $C_p$  (o qual trataremos por  $C_{ps}$  devido termos em nossa análise apenas limite superior) correspondente amplitude das tolerâncias.

##### 4.5.1. Valor Nominal e Limites

Um dispositivo ou produto é desenvolvido para alcançar um determinado valor específico como resultado, valor nominal (T). Esse valor é em geral limitado por um intervalo de valores julgado suficiente para não comprometer a função especificada do dispositivo sendo a borda inferior denominada Limite Inferior Especificado (LIE) em oposto temos o Limite Superior Especificado (LSE) (MONTGOMERY, 2007).

##### 4.5.2. Média Amostral e Desvio Padrão

A média amostral ( $\mu$ ) é a tendência central em uma distribuição onde podemos calcular por meio da somatória de todas as amostras dividida pelo número de amostras (N) de acordo com a Equação (4).

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (4)$$

O desvio padrão ( $\sigma$ ) é uma medida de dispersão da amostrada dentro da curva de desvio padrão. Dessa forma amostragens com mesma média amostral podem ter diferentes desvio padrão. Ela é calculada pela Equação (5).

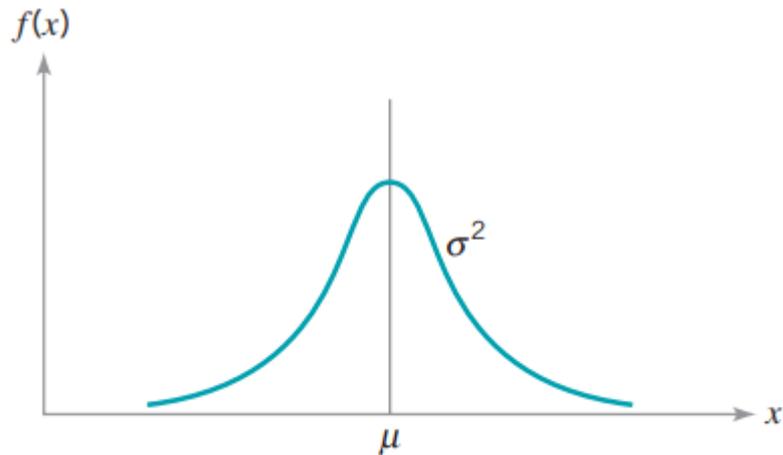
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}} \quad (5)$$

##### 4.5.3. Distribuição Normal

A distribuição normal também conhecida como distribuição gaussiana é uma distribuição estatística que defini uma curva simétrica definida pela variância ( $\sigma^2$ ) em torno do

seu ponto médio ( $\mu$ ). Essa curva tem um formato de sino como apresentado na Figura 41. Essa distribuição vem a ser limitada por LIE e LSE.

Figura 41 - Curva da Distribuição Normal



Fonte: MONTGOMERY (2007)

Para constatar a normalidade de uma distribuição é necessário realizar testes. Dentre as opções de testes há os de Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling, Shapiro-Wilk e Ryan-Joiner. Para essa dissertação foi escolhido utilizar, em caso necessário, o teste de Anderson-Darling por ser simples de utilizar e ser o teste padrão realizado pelo Minitab.

#### 4.5.4. Normalização de Dados

Em alguns casos os dados acabam por não ter distribuição normal. Dessa forma, torna-se necessário à sua normalização. A normalização pode ser realizada por dois métodos: transformação de Johnson; e transformação de Box-Cox a qual será aplicada nessa dissertação.

##### 4.5.4.1. Transformação de Box-Cox

Em resumo, a transformação de Box-Cox visa encontrar um valor para  $\lambda$  tal que o valores transformados se aproximem de uma distribuição normalizada. A transformação é dada pela Equação (6).

$$Y_i(\lambda) = \begin{cases} \ln(X_i), & \text{se } \lambda = 0, \\ \frac{X_i^\lambda - 1}{\lambda}, & \text{se } \lambda \neq 0. \end{cases} \quad (6)$$

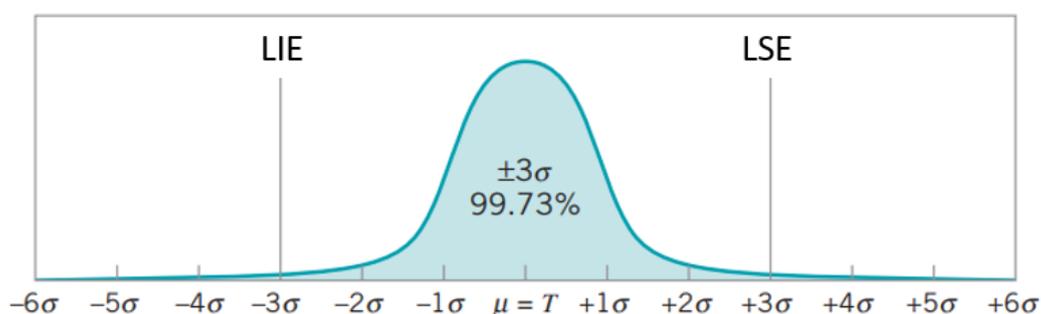
Após definido o valor de  $\lambda$  é calculado o novo valor para LSE por meio da Equação (6) e então os valores de Cps e Cpk pela equação (7).

$$C_{pk} = C_{ps} = \frac{LSE - \mu}{\sigma} \quad (7)$$

#### 4.5.5. Six-Sigma

O six-sigma ( $6\sigma$ ) (em português, seis sigmas) foi um programa de qualidade desenvolvido pela Motorola na década de 1980 a fim de diminuir a variabilidade de seus produtos, como consequência o aumento da qualidade (MONTGOMERY, 2007). A partir da análise da Figura 42 resolveu-se adotar a qualidade de performance  $\pm 3\sigma$ , a qual é julgada como muito boa por Montgomery. Ela garante 99,73% de confiança sobre o dispositivo a ser desenvolvido, dessa forma havendo a possibilidade 2700 testes não conformes entre um milhão.

Figura 42 - Distribuição normal centrada em T



| Performance de qualidade | % de conformidade | ppm de não conformidade |
|--------------------------|-------------------|-------------------------|
| $\pm 1$ Sigma            | 68.27             | 317300                  |
| $\pm 2$ Sigma            | 95.45             | 45500                   |
| $\pm 3$ Sigma            | 99.73             | 2700                    |
| $\pm 4$ Sigma            | 99.9937           | 63                      |
| $\pm 5$ Sigma            | 99.999943         | 0.57                    |
| $\pm 6$ Sigma            | 99.999998         | 0.002                   |

Fonte: Adaptado de MONTGOMERY (2007)

#### 4.5.6. Minitab

O Minitab é um software voltado para análise estatísticas que permite realizar todas as análises bem como o desenvolvimento de gráficos. Para o desenvolvimento desse projeto foi utilizado a sua versão de avaliação do Minitab 19.

#### 4.6. Análise dos Sistemas de Medições

Análise dos Sistemas de Medição (em inglês, *Mesurement System Analysis* – MSA) é uma ferramenta utilizada para quantificar e identificar as diferentes fontes de variação que podem afetar um sistema de medição (REAGAN E KIEMELE, 2008). Essa análise se torna necessária devido não haver variabilidade somente nas medidas do produto, mas também no sistema que realizar a sua medição (erro de medição).

De acordo com REAGAN E KIEMELE (2008) o MSA torna possível aprender o suficiente sobre um processo de medição em um curto período de tempo. Muitas vezes essa ferramenta é conhecida por R&R (abreviação de Repetibilidade e Reprodutibilidade).

Antes de continuar. Deveremos definir o conceito utilizado para “operador”. Quando se tratamos da utilização da MSA, podemos definir o “operador” como uma pessoa que realiza as medições ou um conjunto de testes. Durante a nossa análise iremos utilizar a segunda definição.

Existem variações da MSA: por atributo de dados; e por variáveis de dados.

#### 4.6.1. MSA por Dados de Atributos

Essa variável da ferramenta é realizada por uma análise binária dos dados, onde é levado em consideração apenas se a peça/produto passou ou falhou no teste. Para a realização desse estudo deve-se seguir a regra do tamanho de amostragem definida por: número de produtos multiplicado pelo número de operadores deverá ser maior ou igual a 60.

A tabela de dados para essa análise deverá conter a real condição do produto e os resultados dos seus testes. A partir disso é então calculado os indicadores de efetividade, probabilidade falso-negativo, probabilidade de falso-positivo e a tendência.

Efetividade (E): esse indicador representa a capacidade de distinguir corretamente se o produto está bom ou ruim. É calculado pela Equação (8).

$$E = \frac{\text{n}^\circ \text{ de produtos avaliados corretamente}}{\text{n}^\circ \text{ de produtos avaliados}} \quad (8)$$

Probabilidade de Falso-Negativo (FN): como o próprio nome explicita, irá definir a probabilidade que o sistema de medição poderá identificar um objeto em bom estado como defeituoso. Essa probabilidade é definida pela Equação (9).

$$FN = \frac{\text{n}^\circ \text{ de produtos bons definidos como ruins}}{\text{n}^\circ \text{ de produtos bons}} \quad (9)$$

Probabilidade de Falso-Positivo (FP): com ideia inversa ao índice anterior, nesse caso temos a probabilidade que um produto ruim pode ser caracterizado como bom, onde a definimos pela Equação (10).

$$FP = \frac{\text{n}^\circ \text{ de produtos ruins definidos como bons}}{\text{n}^\circ \text{ de produtos ruins}} \quad (10)$$

Tendência (B): do inglês Bias, é a tendência de classificar um produto como bom ou ruim. Ela é definida na Equação (11).

$$B = \frac{FN}{FP} \quad (11)$$

Para avaliar os índices expostos anteriormente, utilizamos a Tabela 1 como referência.

Tabela 1 - Classificação dos Índices de Avaliação do MSA por Atributo

| ÍNDICE    | ACEITÁVEL | MARGINAL               | NÃO ACEITÁVEL  |
|-----------|-----------|------------------------|----------------|
| <b>E</b>  | > 0,90    | 0,80-0,90              | <0,80          |
| <b>FN</b> | <0,05     | 0,05-0,10              | >0,10          |
| <b>FP</b> | <0,02     | 0,02-0,05              | >0,05          |
| <b>B</b>  | 0,8-1,20  | 0,50-0,80 ou 1,20-1,50 | <0,50 ou >1,50 |

Fonte: Adaptado de REAGAN E KIEMELE (2008)

#### 4.6.2. MSA por Dados de Variáveis

Esse tipo de MSA é realizado por meio da análise dos dados das variáveis de medição de um produto. O que acaba por prover muito mais informações que simplesmente trabalharmos pela verificação de que o produto está ou não dentro das especificações (REAGAN E KIEMELE, 2008). Como regra para essa análise, a amostragem deverá seguir a seguinte regra: nº de produtos multiplicado pelo nº de operadores deverá ser maior ou igual a 20.

Quando adotamos essa ferramenta, temos que avaliar três propriedades:

1. Acuracidade: define-se pela capacidade de medir um valor médio de acordo com o valor real ou padrão utilizado;
2. Precisão: capacidade de medir o mesmo produto e obter os mesmos resultados;
3. Estabilidade: capacidade de medir o mesmo produto ao longo do tempo e obter a mesma média de valores medidos;

Outro fator importante do uso da MSA por variáveis de dados é a possibilidade de podermos ter a cesso a variância do sistema de medição a qual é dividida em variância de repetibilidade e de reprodutibilidade. Dessa forma temos a Equação (12) e (13) que mostra a variância total e a de medição, respectivamente.

$$\sigma_{\text{total}}^2 = \sigma_{\text{produto}}^2 + \sigma_{\text{medição}}^2 \quad (12)$$

$$\sigma_{\text{medição}}^2 = \sigma_{\text{repetibilidade}}^2 + \sigma_{\text{reprodutibilidade}}^2 \quad (13)$$

Repetibilidade é a variância obtida quando se tem um único operador utilizando o mesmo processo para medir um mesmo produto por retidas vezes. Já a reprodutibilidade é a variância obtida devido a diferença de medição entre operadores que realizam a medição de um mesmo produto.

Ao adotar a MSA por variáveis de dados, são necessários avaliar as seguintes três medições:

1. Controle de Produto: relação entre a variabilidade do sistema de medição (RR) e a tolerância, vide Equação (14).

$$\frac{RR}{TOL} = \frac{6*\sigma_{medição}}{LSE-LIE} \quad (14)$$

2. Controle de Processo: relação entre a variabilidade do sistema de medição (RR) e a variabilidade total, definimos essa relação pela Equação (15).

$$\frac{RR}{VT} = \frac{\sigma_{medição}}{\sigma_{total}} \quad (15)$$

3. Número de Categorias Distintas (ndc): este índice tem por função discriminar o número de faixas que a variação do processo nos permite dividir. Ele é dado pela equação (16).

$$ndc = \frac{\sigma_{produto}}{\sigma_{medição}} * 1,41 \quad (16)$$

Os dados obtidos podem ser avaliados a partir da Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação dos Índices de Avaliação do MSA por Dados das Variáveis

| <b>Índice</b>               | <b>Aceitável</b> | <b>Marginal</b> | <b>Não aceitável</b> |
|-----------------------------|------------------|-----------------|----------------------|
| <b>Controle de Produto</b>  | < 0,10           | 0,10-1,30       | >0,30                |
| <b>Controle de Processo</b> | < 0,10           | 0,10-1,30       | >0,30                |
| <b>ndc</b>                  | ≥5               | -               | -                    |

Fonte: Autor

#### 4.6.3. Software SPC XL

O SPC XL é um software de análise estatística desenvolvido pela SigmaZone. Esse software trabalha como uma integração do MS Excel. Nessa dissertação foi utilizado uma versão gratuita de testes, a qual atende perfeitamente as necessidades requeridas.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Sistema Eletropneumático

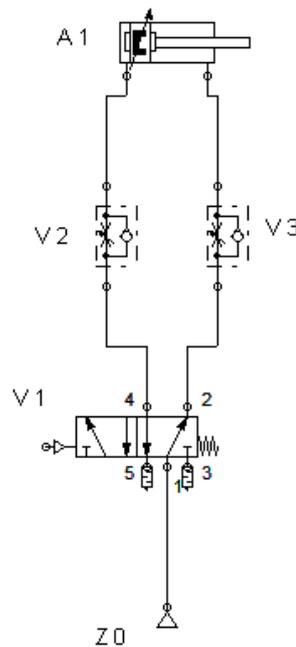
O sistema eletropneumático foi desenvolvido objetivando a minimização de componentes e segurança do sistema par haver um sistema confiável e de fácil manutenção. O projeto do sistema pneumático está exposto na Figura 43 e a descrição de cada componente na Tabela 3.

Tabela 3 - Descritivo de materiais pneumático

| Componente    | Descrição  | Função   |
|---------------|--|--|
| <b>Z0</b>     | Entrada de ar  | Alimentação de ar do sistema                                 |
| <b>V1</b>     | Válvula 5/2 vias, acionamento por solenoide e retorno por mola | Realizar o controle do cilindro                              |
| <b>V2, V3</b> | Válvula de controle de fluxo unidirecional                     | Controlar a velocidade do cilindro para avanço e recuo       |
| <b>A1</b>     | Cilindro pneumático com embolo de 32mm e haste de 100mm        | Realizar a locomoção da base de dedais contra o <i>blank</i> |

Fonte: Autor

Figura 43 - Sistema pneumático



Fonte: Autor

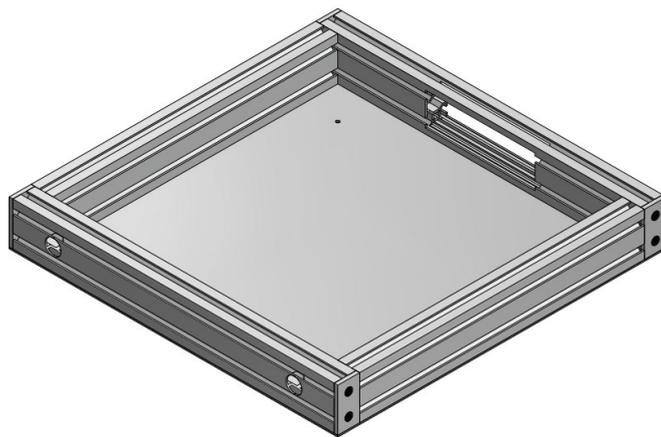
## 5.2. Modelagem no CAD

O Módulo Mecânico foi dividido em quatro partes: base inferior, base superior, berço e sistema de fixação do *blank*.

### 5.2.1. Base Inferior

Após realiza a avaliação do espaço disponível para o dispositivo na linha, foi possível realizar a modelagem da base inferior onde tem 450mm de largura e 450mm de profundidade. Para a sua estrutura foi utilizado perfil tubular de alumínio para as laterais e uma chapa de alumínio com 3mm de espessura para o fundo. Na Figura 44 podemos visualizar a modelagem da base inferior, onde foram realizados dois furos na parte frontal para inserir botoeiras e um rasgo na parte posterior para passagem do cabeamento.

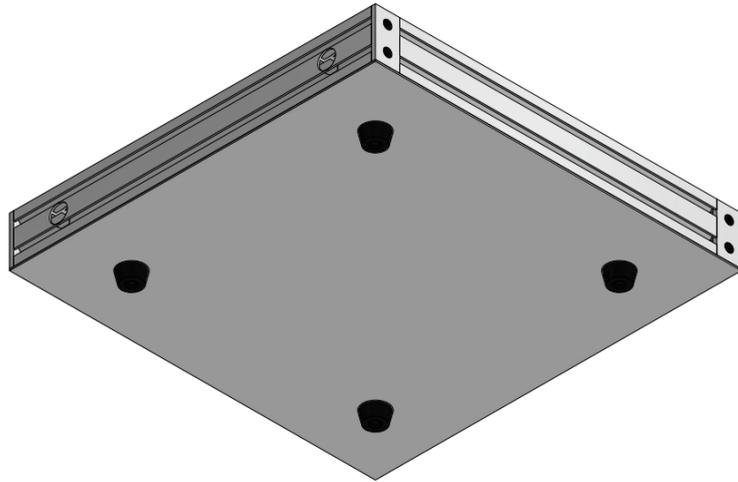
Figura 44 - Base inferior 01 (visão superior)



Fonte: Autor

A Figura 45 mostra a visão inferior dessa parte do dispositivo. Nela podemos ver os pés de plástico para suporte, as tampas em alumínio fixadas no final do perfil tubular para encobrir quaisquer partes cortantes e o fundo em alumínio citado anteriormente.

Figura 45 - Base inferior (visão inferior)

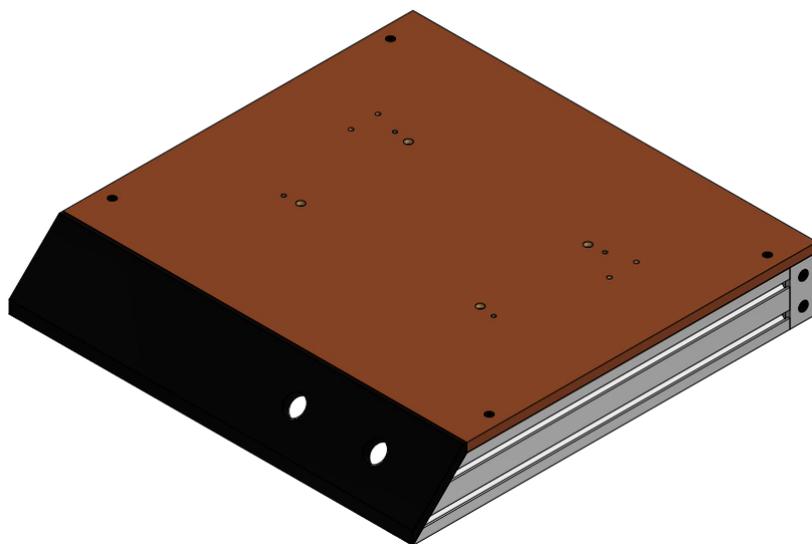


Fonte: autor

### 5.2.2. Base Superior

A segunda parte a ser modelada foi a base superior onde são utilizadas as mesmas dimensões da base inferior. Na Figura 46 podemos ter uma visão na modelagem, a peça nomeada “Base” é em chapa de 10mm de Fenolite, um plástico industrial de resina fenólica que tem uma boa isolamento elétrica, e a parte frontal em chapa de acrílico com furos para fixação das botoeiras.

Figura 46 - Base superior



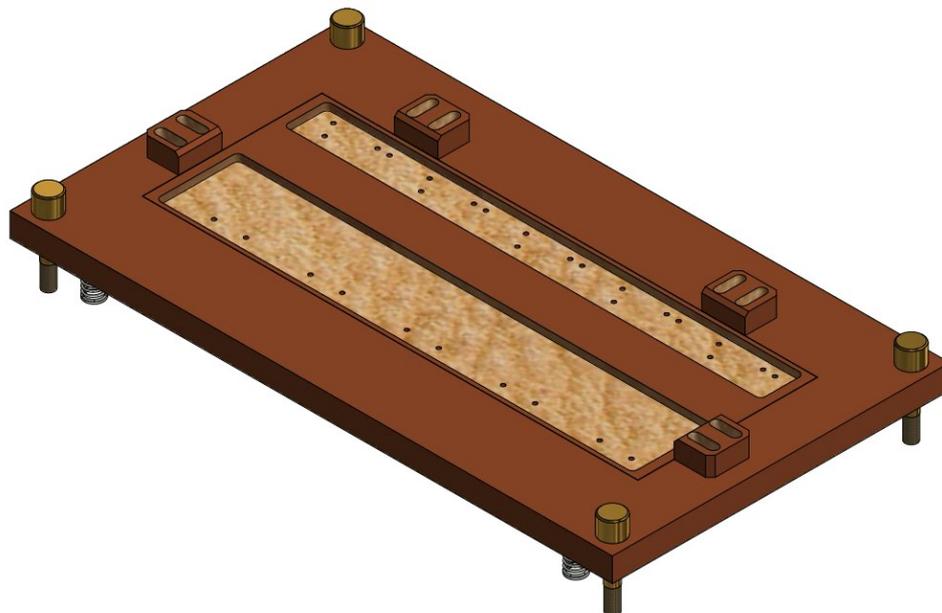
Fonte: autor

### 5.2.3. Berço

O berço é a parte do Módulo Mecânico que exige maior atenção, pois é onde ficará o *blank*. Ele é composto pelas parte apresentadas na Figura 47, que são:

- **Parafuso de fixação do berço:** utilizado para fixar o berço na base superior de forma que ele possa ser verticalmente móvel;
- **Molas:** ela faz com que o berço não fique em contato direto com a base superior e as agulhas de contato, dessa forma havendo contato apenas quando o berço é pressionado durante o teste;
- **Apoio placa:** são limitadores usinados em chapa de Fenolite que tem por função auxiliar o operador a encaixar o *blank* no berço;
- **Rasgos:** os rasgos têm por função evitar que os terminais dos componentes não permaneçam em contato direto com o berço, algo que poderia influenciar em um desnivelamento da placa;
- **Furos para o receptáculo:** esses furos têm como função a passagem dos receptáculos das agulhas que serão fixados na Base superior.

Figura 47 - Berço



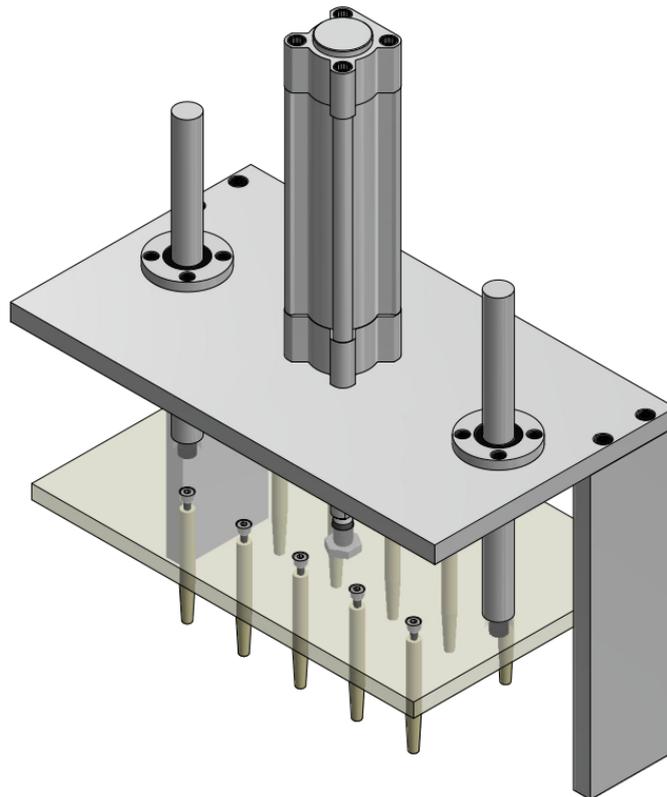
Fonte: autor

Devido ao cliente não fornecer o arquivo *Gerber* da placa, formato padrão universal composto por comandamos e coordenadas utilizadas para realizar a furação do berço em CNC, haverá a necessidade de o torneiro mecânico realizar manualmente os rasgos presente no berço e a furação para inserção dos receptáculos.

#### 5.2.4. Sistema de Fixação do *Blank*

Para que haja contato em as agulhas e os terminais presentes no *blank*, há a necessidade de que o *blank* junto ao berço sejam pressionados contra a Base superior. Para isso foi desenvolvido um sistema pneumático-mecânico, tal sistema é composto por um cilindro pneumático que ao avançar pressiona uma chapa de acrílico com dedais contra o *blank*. A placa de acrílico é fixada em dois eixos laterais, os quais são guiados por rolamento lineares aparafusado na parte fixa do sistema, dessa forma há um movimento linear e controlado. E os dedais construídos em náilon são localizados em partes estratégicas para que não haja contato com os componentes e somente na PCI. A Figura 48 está exposto os sistema, onde as partes identificas com “Chapa de Alumínio 1 e 2” são as partes fixas do sistema, seu material é Alumínio 6061 e sua espessura 12mm.

Figura 48 - Sistema de fixação do *blank*



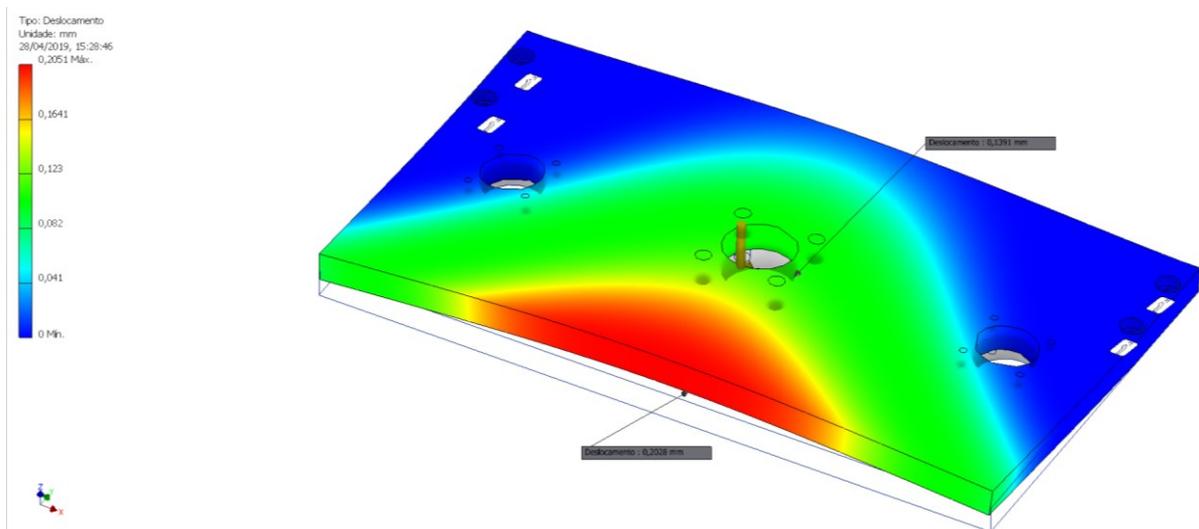
Fonte: autor

Foi considerado a Chapa de alumínio 01 e a Base dedais com sendo as partes que devem ter atenção devido ao esforço do cilindro sobre elas. O cilindro tem embolo de 32mm e 100mm de atuação, de acordo com o fornecedor ele exerce uma força de avanço de 492,29N. A

partir desses dados foi realizado uma análise de tensão estática nas peças utilizando o próprio Inventor® para verificar se as peças teriam alguma deformação agravante em sua estrutura.

Na Figura 49 está a análise de tensão estática da Chapa de alumínio 02. Foram considerados em sua análise como pontos fixos os locais de parafusamento com a Chapa de alumínio 01, a gravidade  $9,8\text{m/s}^2$  e o ponto de conexões aparafusadas com o cilindro como local de aplicação da força de avanço do cilindro. Como resultado da análise, houve uma maior deformação na parte medial da borda frontal da chapa chegando a  $0,2051\text{mm}$  de deslocamento, deslocamento esse não agravante a estrutura.

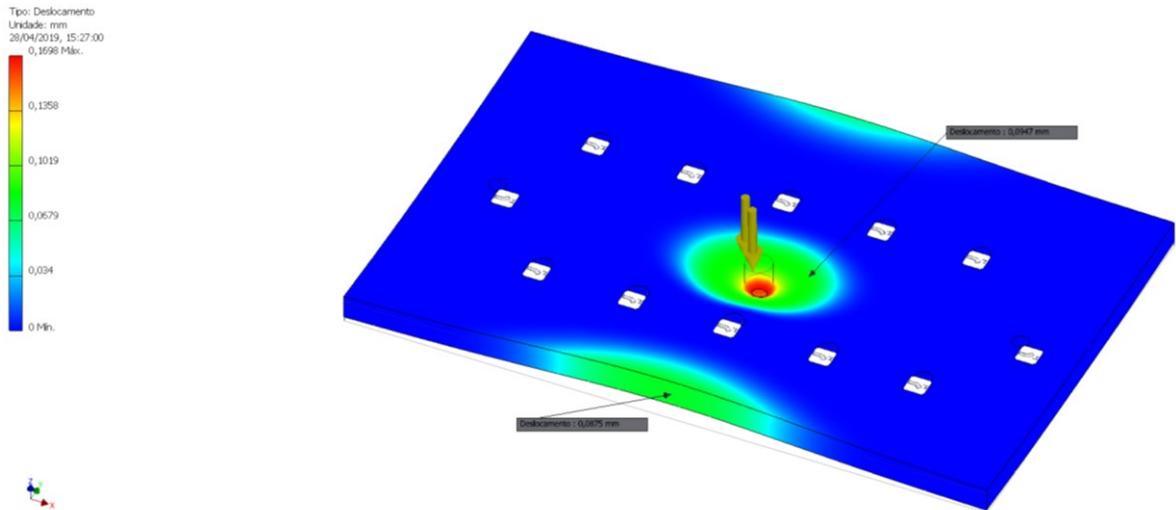
Figura 49 - Análise de tensão estática Chapa de alumínio 02



Fonte: Autor

Na análise de tensão da Base dedais, foram escolhidos como pontos fixos os furos onde serão fixados os eixos guias e os dedais e ponto de esforço do cilindro o furo onde sua haste será fixada (centro da face superior da peça). Na Figura 50 podemos verificar que o local onde está fixado a haste é onde há maior deformação,  $0,1698\text{mm}$ , que também não se torna agravante a estrutura da peça.

Figura 50 - Análise de tensão estática da Base dedais

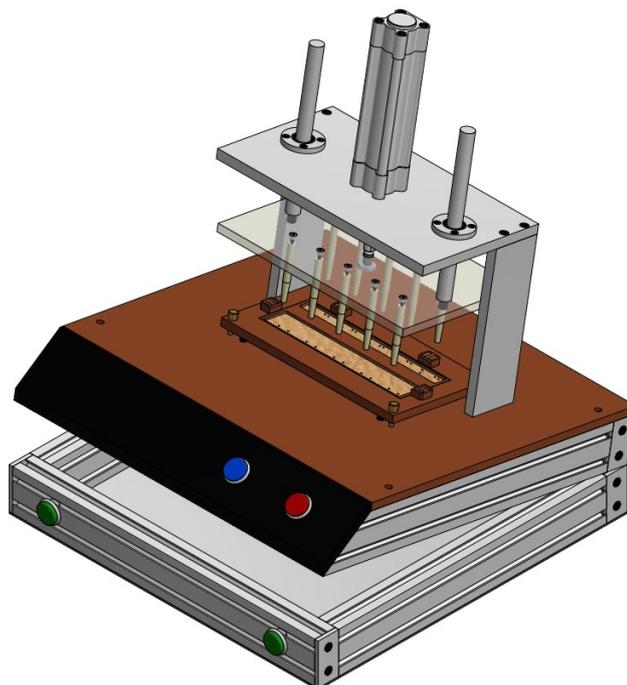


Fonte: Autor

#### 5.2.5. Módulo Mecânico Montado

Após a modelagem e análise das partes estruturais que compõe o módulo, foi então realizada a montagem deles. Na Figura 51 está exposto a montagem referente ao Módulo Mecânico, a união entre a Base superior e a Base inferior foi utilizada duas fechaduras para que o módulo possa ser aberto com facilidade para montagem do circuito elétrico interno e futuras manutenções.

Figura 51 - Módulo Mecânico modelado



Fonte: autor

### 5.2.6. Módulo Mecânico Construído

Com todo o sistema já modelado o projeto foi enviado ao setor responsável da empresa para ser construído. Na Figura 52 está o resultado do berço após ser construído, os furos são realizado com um diâmetro maior para que não haja contato com os terminais do componentes ou com a cabeça da agulha.

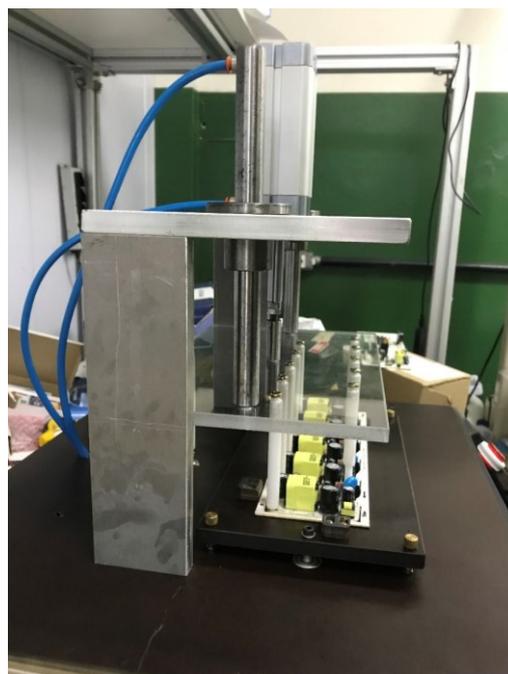
Figura 52 - Berço construído



Fonte: autor

A Figura 53 e a Figura 54 está o Módulo Mecânico após a sua montagem completa. Foi necessário inserir um pino guia na lateral do berço para uniformizar a sua descida quando estivesse sendo prensado.

Figura 53 - Vista lateral Módulo Mecânico construído



Fonte: autor

Figura 54 - Vista frontal Módulo Mecânico construído



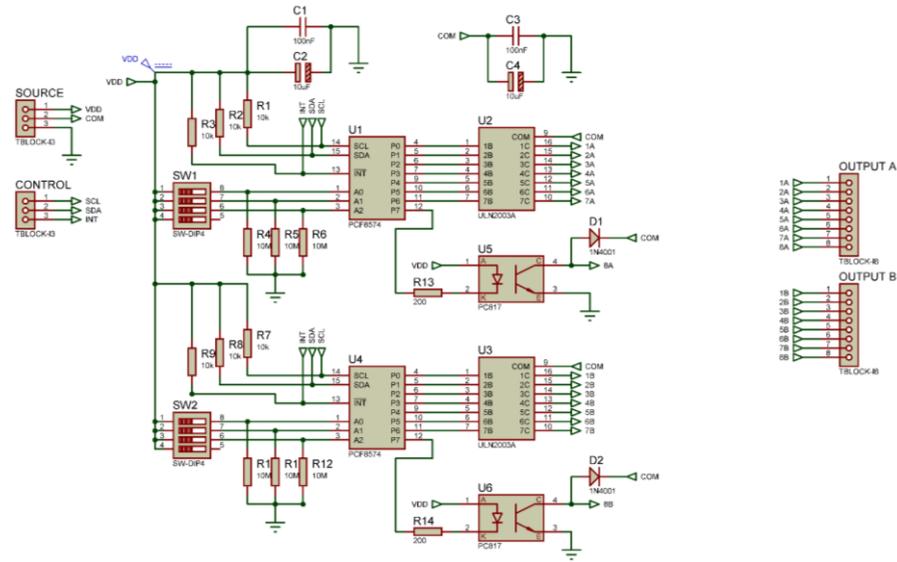
Fonte: autor

### 5.3. PCIs

A primeira PCI desenvolvida foi o Expansor de I/Os. Utilizando o Proteus, foi projetado o circuito eletrônico utilizando dois PCF8574 para acionamento das saídas do ULN2008 devido esse CI suportar uma corrente maior em suas saídas. Devido ao ULN2008 haver somente setes portas, foi utilizado um PC817 em cada circuito de PCF8574 para completar suas oito portas. A Figura 55 podemos verificar o resultado do circuito projetado e na Figura 56 tem-se o resultado do desenvolvimento do *layout* da PCI.

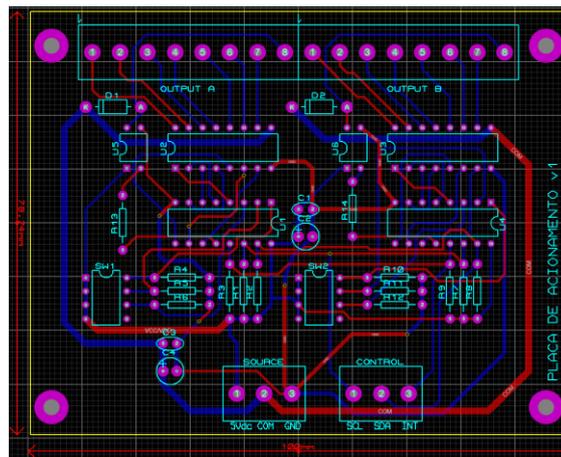
Após realizado todo o projeto da PCI, ela foi enviada para fabricação e então montada. Durante os testes foi verificado que as saídas do ULN2008 iniciavam em estado alto devido seu circuito interno ser inversor. Dessa forma foi retirado essa parte do circuito juntamente com PC817. O resultado da placa final é apresentado na Figura 57.

Figura 55 – Circuito Eletrônico da PCI Expansor de I/Os



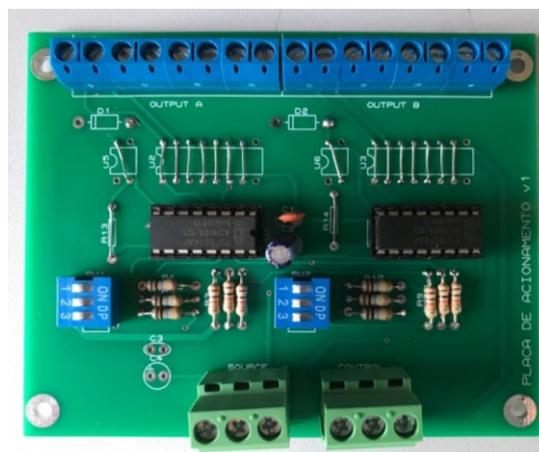
Fonte: Autor

Figura 56 – Layout da PCI Expansor de I/Os



Fonte: Autor

Figura 57 - PCI Expansor I/Os montada



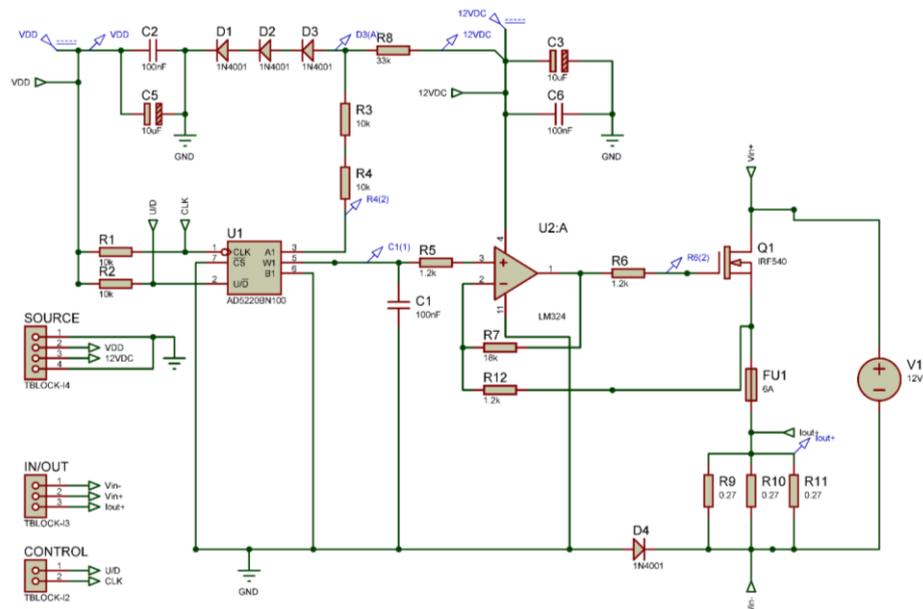
Fonte: Autor

A segunda placa desenvolvida foi a Carga Eletrônica, conforme a Figura 58. A placa teve necessidade duas alimentações VDD onde há 5Vdc para energizar o CI AD5220 e 12Vdc para energizar o amplificador LM324 que amplificará a tensão de saída do AD5220, isso se deve ao fato do MOSFET IRF540 entrar na zona de passagem de corrente somente a partir de 6Vdc no seu Gate. O controle da carga eletrônica será realizado pelo conjunto de entradas *Control* onde temos CLK que receberá o pulso, o qual será para incrementar ou decrementar o valor do potenciômetro digital AD5220 de acordo com o nível lógico da entrada U/D. Os três resistores de 0,27ohm em paralelo servirão como resistor *shunt* onde será medido o valor da corrente, na saída *Iout+*, a partir da tensão sobre esses resistores. A entradas *Vin-* e *Vin+* são destinadas a ligação com a PCI do *blank* a ser testada. O *layout* desse circuito é visto na Figura 59.

Para o cálculo de amplificação a tensão de saída foi utilizada a equação (3). Dessa forma obtemos o seguinte valor de amplificação:

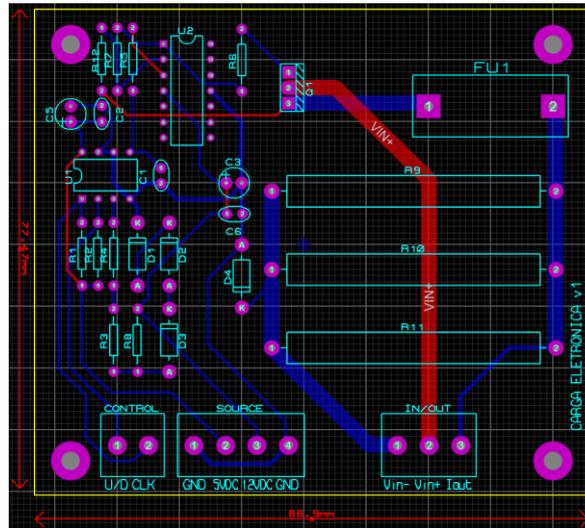
$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{18K}{1,2K} = 16 \text{ vezes}$$

Figura 58 - Circuito da PCI Carga Eletrônica



Fonte: Autor

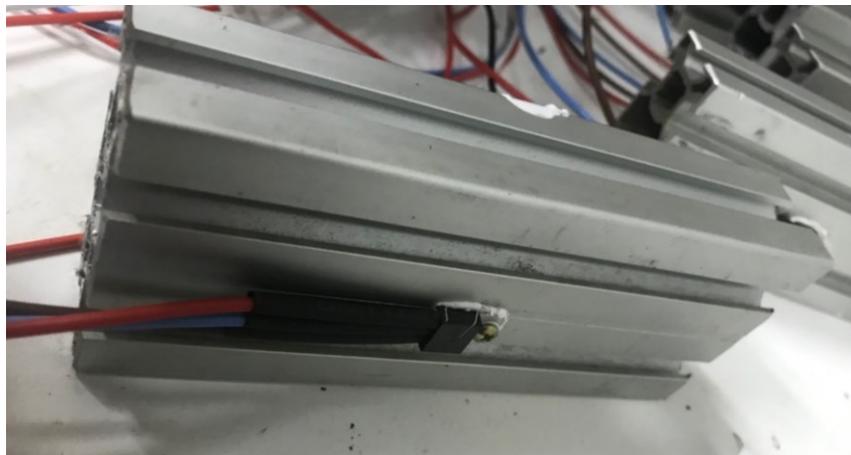
Figura 59 - Layout PCI Carga Eletrônica



Fonte: Autor

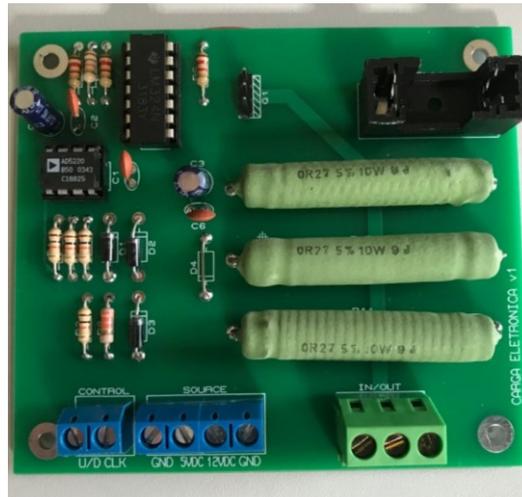
Durante os testes iniciais o amplificador operacional não estava respondendo aos incrementos da tensão de entrada, isso ocorreu devido a diodo D4 que estava interferindo no *Ground* comum da placa. Dessa forma foi retirado e inserido um *jumper* em seu local. Outro obstáculo enfrentado foi a constante queima do MOSFET que não estava suportando a utilização constante durante os testes na fábrica. Então foi identificado que isso ocorria devido ao superaquecimento que estava ocorrendo sobre ele. Como solução foi realizado uma extensão do MOSFET e fixado em um pedaço de perfil de alumínio que serviu como dissipador de calor como é visto na Figura 60. A montagem da placa com as modificações ficou de acordo com a Figura 61.

Figura 60 - Dissipador



Fonte: Autor

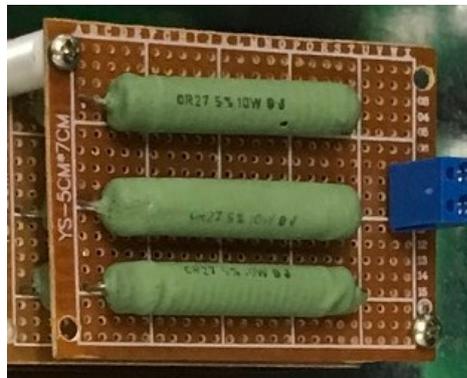
Figura 61 - PCI Carga Eletrônica Montada



Fonte: Autor

Para a realização do teste de curto circuito exigido pelo cliente. Foi desenvolvida uma placa com três resistores de 0,27ohm em paralelo resultado em uma resistência pouco menor que 0,1ohm como especificado anteriormente. Devido a simplicidade do circuito, a sua montagem foi realizada em uma placa perfurada como visto na Figura 62.

Figura 62 - Placa de Curto Circuito

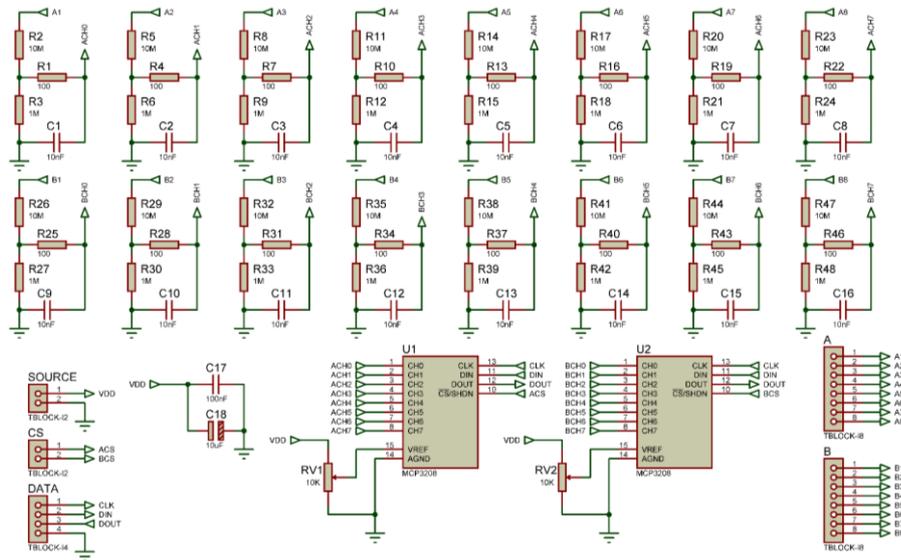


Fonte: Autor

A última placa desenvolvida foi a PCI de Leitura Analógica. Visualizando a Figura 63, vemos que a alimentação dessa placa é realizada pelo bloco *Source* tendo a entrada VDD 5Vdc. As entradas ACS e BCS são responsáveis por ativar o *Chip Select* do CI conversor A/D MCP3208 enquanto o bloco DATA estão as entradas e saídas de comunicação com o *Raspberry*. Nas entradas analógicas do MCP3208 foi inserido um circuito típico muito utilizado nesse CI. Tendo como exemplo a entrada do canal ACH0: A1 é a entrada de tensão a ser lida; R2 e R3 são os resistores utilizados para realizar a divisão de corrente em 10 vezes devido a leitura máxima possível de ser realizada na entrada do CI é de 4,5Vdc, a qual é inserida como

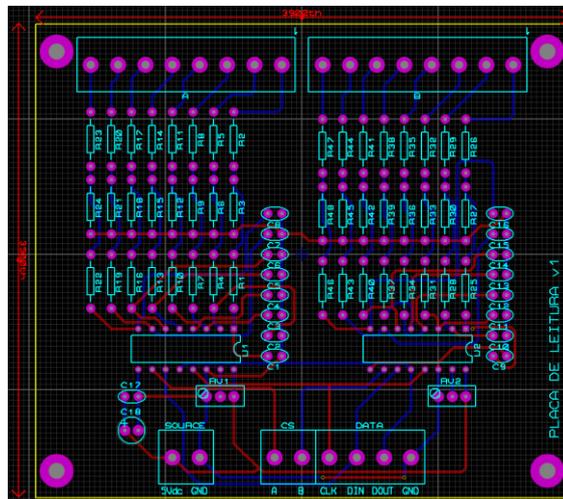
valor de referência no pino 15 e ajustada pelos potenciômetros de 10Kohm; o capacitor C1 tem por função filtrar os picos de tensão durante a realização de leitura. Na Figura 64 está o resultado do *layout* da PCI.

Figura 63 - Circuito da PCI de Leitura Analógica



Fonte: Autor

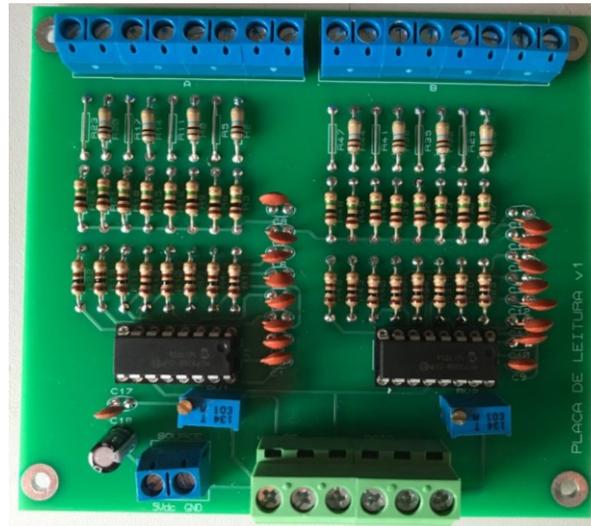
Figura 64 - Layout PCI de Leitura Analógica



Fonte: Autor

Tendo montado a PCI, foi então realizado as leituras. Para ler a tensão sobre os resistores de shunt teve dificuldades devido a tensão ser baixa, ficando em torno de 90mV que equivale a aproximadamente a 1A drenado da PCI do *blank* em teste. Devido ao divisor de tensão, esse valor fica em 9mV. Assim, foi optado por retirar os resistores de 1Mohm do divisor de tensão onde fosse lida as tensões dos resistores de *shunt*. A placa final é vista na Figura 65.

Figura 65 - PCI de Leitura Analógica Montada



Fonte: Autor

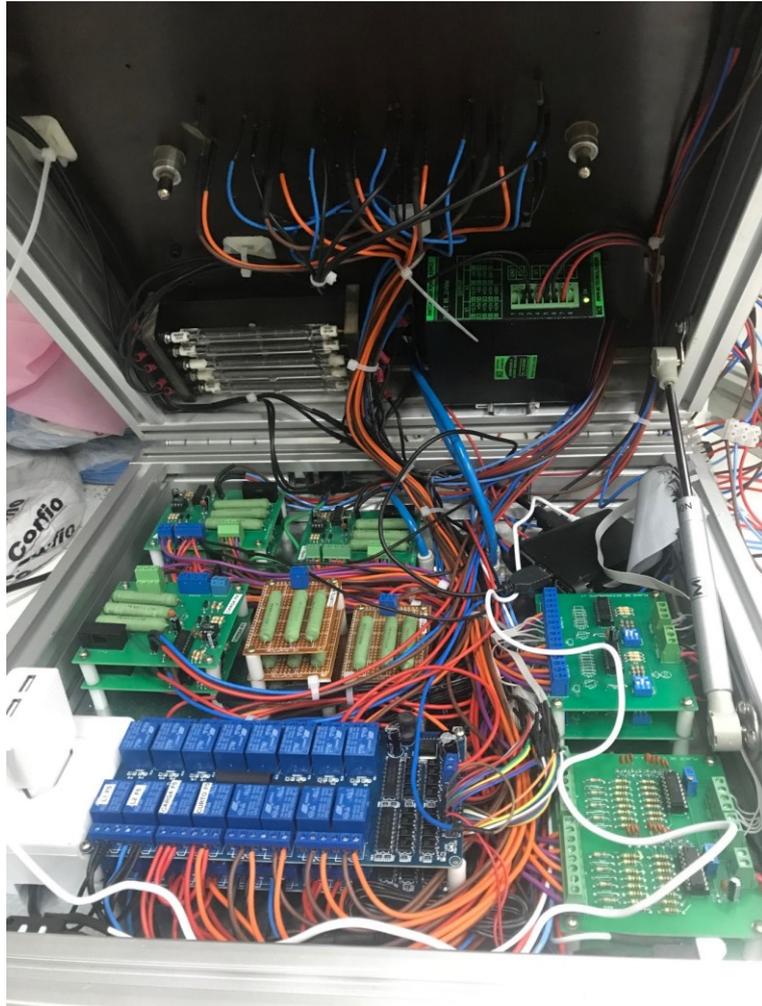
#### 5.4. Elaboração do Esquema Elétrico

Tendo todas as placas desenvolvidas e confeccionadas. Foi então projetado o circuito elétrico do sistema completo seguindo a modelação realizada no item 4.2. O esquema elétrico está no APÊNDICE A.

Após o projeto do circuito elétrico foi realizada a montagem. A montagem está presente na Figura 66. Diferentemente módulo relé apresentado no esquema elétrico, foi utilizado dois módulos relé de 16 canais devido ocupar menos espaço.

Como forma de proteção do dispositivo contra PCI de fontes com defeito de curto circuito, foi inserido lâmpadas alógenas em série com a alimentação de cada PCI das cinco presentes no *blank*. Essa ligação pode ser vista na Figura 67.

Figura 66 - Hardware Eletrônico montado



Fonte: Autor

Figura 67 - Lâmpadas alógenas



Fonte: Autor

### 5.5. Software

Foi decidido unificar os dois softwares, controle do sistema eletropneumático e o *uploader*, para que utilizasse menos poder de processamento do Raspberry. Para o desenvolvimento do software, o primeiro passo foi realizar a importação das bibliotecas de GPIOs, do controle de tempo e a de comunicação FTP as quais estão respectivamente apresentadas na Figura 68.

Figura 68 - Bibliotecas importadas

```
import RPi.GPIO as GPIO #Biblioteca do Raspberry
import time             #Biblioteca de Tempo
from ftplib import FTP  #Biblioteca FTP
```

Fonte: Autor

Com as devidas bibliotecas importadas, foi inicializada a comunicação com o servidor FTP. Os comandos de inicialização juntamente as definições de cada um estão na Figura 69.

Figura 69 - Inicialização da comunicação com o servidor FTP

```
#Inicialização da comunicação com servidor
ftp = FTP('Testers_██████')
ftp.connect('172.22.215.128',1026)
ftp.login()
ftp.cwd('██████████') #pasta de destino
```

Fonte: Autor

O terceiro passo foi definir quais seriam os GPIOs de entrada e saída para o controle do sistema eletropneumático conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Definição dos GPIOs

| <b>GPIO</b> | <b>TIPO</b> | <b>FUNÇÃO</b>                               |
|-------------|-------------|---|
| 40          | Saída       | Acionamento da válvula                      |
| 11          | Entrada     | Comando para avançar o cilindro             |
| 12          | Entrada     | Sensor mecânico de fim de curso do cilindro |
| 38          | Entrada     | Comando para recuar o cilindro              |

Fonte: Autor

Tendo definido todas as entradas e saídas foi então realizada as suas configurações no código desenvolvido. Na Figura 70 podemos verificar como ficou definido no código.

Figura 70 - Definição dos GPIOs no código

```
#definição das entradas e saídas
GPIO.setup(40,GPIO.OUT)      # saída válvula
GPIO.output(40,GPIO.HIGH)    # Subir cilindro
GPIO.setup(11,GPIO.IN)       # Botao Descer
GPIO.setup(12,GPIO.IN)       # SELO
GPIO.setup(38,GPIO.IN)       # Botao Subir
```

Fonte: Autor

Logo após a definição dos I/Os, foi definido as variáveis globais. Elas serão responsáveis pela comunicação entre o controlador pneumático e o software de teste. Foram definidas três variáveis que são apresentas na Tabela 5 e definidas nos software desenvolvido conforme a Figura 71..

Tabela 5 - Definição das variáveis globais

| VARIÁVEL   | FUNÇÃO   |
|------------|--|
| ppt        | Indicar que o software está aguardando o avanço do cilindro.   |
| ca         | Indicar que o cilindro já está posicionado na posição final.<br>Então o software já pode realizar o teste. |
| tf         | Indicar que o teste já foi finalizado. Então pode recuar o cilindro.                                       |
| log_status | Indicar se o LOG já está pronto para envio.  |
| log_nome   | Indicar o nome do LOG a ser enviado.   |

Fonte: Autor

Figura 71 - Definição das variáveis globais no código

```
#definição das variáveis globais (comunicação com software principal)
global ppt # pronto para teste
global ca # cilindro avançado
global tf # teste finalizado
global log_status # status do LOG
global log_nome #recebe o nome do LOG
ca=0
```

Fonte: Autor

Com os GPIOs e variáveis globais definidos, foi realizado então o desenvolvimento da rotina do software de acordo com a modelização apresentada na Figura 37, Figura 38 e Figura 39. O resultado obtido é apresentado na Figura 72 onde está a rotina do controlador e na Figura 73 a rotina de envio do LOG para o servidor.

Figura 72 - Rotina do controlador

```
while 1 : # loop infinito

    #Espera o botão ser pressionado
    while GPIO.input(11) == GPIO.HIGH:
        time.sleep(0.1)

    if GPIO.input(11) == GPIO.LOW and ppt == 1:
        while GPIO.input(11) == GPIO.LOW and GPIO.input(12) == GPIO.HIGH:
            # Fica descendo o cilindro até fechar o selo
            GPIO.output(40,GPIO.LOW)

        if GPIO.input(12) == GPIO.LOW: #Verifica se o selo está fechado

            ca=1
            ppt=0
            while GPIO.input(38) == GPIO.HIGH or tf != 1: # fica no laço até comandar para subir
                print("Rotina de TESTE")
            if GPIO.input(38) == GPIO.LOW or tf == 1: #verifaca se o botão para subir foi acionado
                GPIO.output(40,GPIO.HIGH) #sobe o cilindro
                ca=0
        else :
            GPIO.output(40,GPIO.HIGH) #Sobe o cilindro
            ca=0
```

Fonte: Autor

Figura 73 - Rotina de envio do LOG

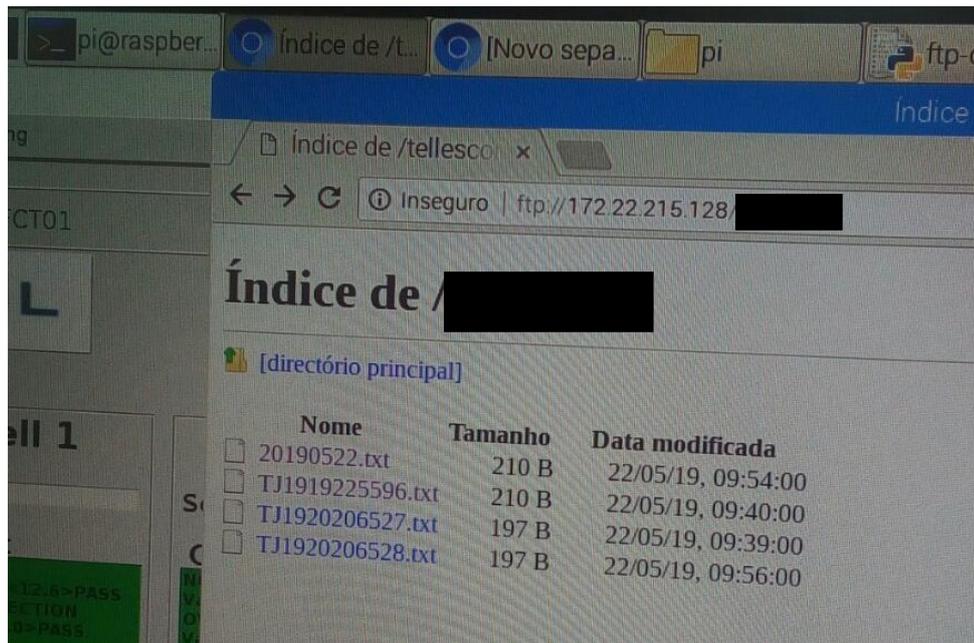
```
#Upload do LOG
if log_status == true: #condição para envio
    ftp.retrlines('LIST') #recupera a listagem de arquivos
    def uploadFile():
        filename = 'log_nome' #identifica o nome do arquivo
        ftp.storbinary('STOR '+filename, open(filename, 'rb')) #recupera o arquivo em modo binário
        ftp.quit()
```

Fonte: Autor

### 5.5.1. Teste de Comunicação com o Servidor e Controlador

Inicialmente o Raspberry não conseguiu realizar comunicação com o servidor devido ao seu horário ser diferente do servidor. Então o horário foi atualizado possibilitando a comunicação correta. Havendo a comunicação com o banco o servidor, foi realizado os testes de envio dos LOGs. A Figura 74 mostra a pasta contendo os logs enviados durante os testes. Os testes com o controlador do sistema eletropneumático agiram de forma esperada funcionando de acordo com o desenvolvido.

Figura 74 - LOGs enviados



Fonte: Autor

## 6. VALIDAÇÃO E TESTES

Durantes os testes de validação do hardware eletrônico, as PCIs necessitaram de modificações para se adequar à algumas situações não previstas. Tais modificações foram apresentadas nos resultados presentes no item 5.3. Com todos ajustes realizados, o dispositivo foi encaminhado ao cliente para *Try-out*, que consiste no teste do equipamento junto ao cliente, onde visou calcular os índices de capacidade da máquina.

### 6.1. Primeira Análise

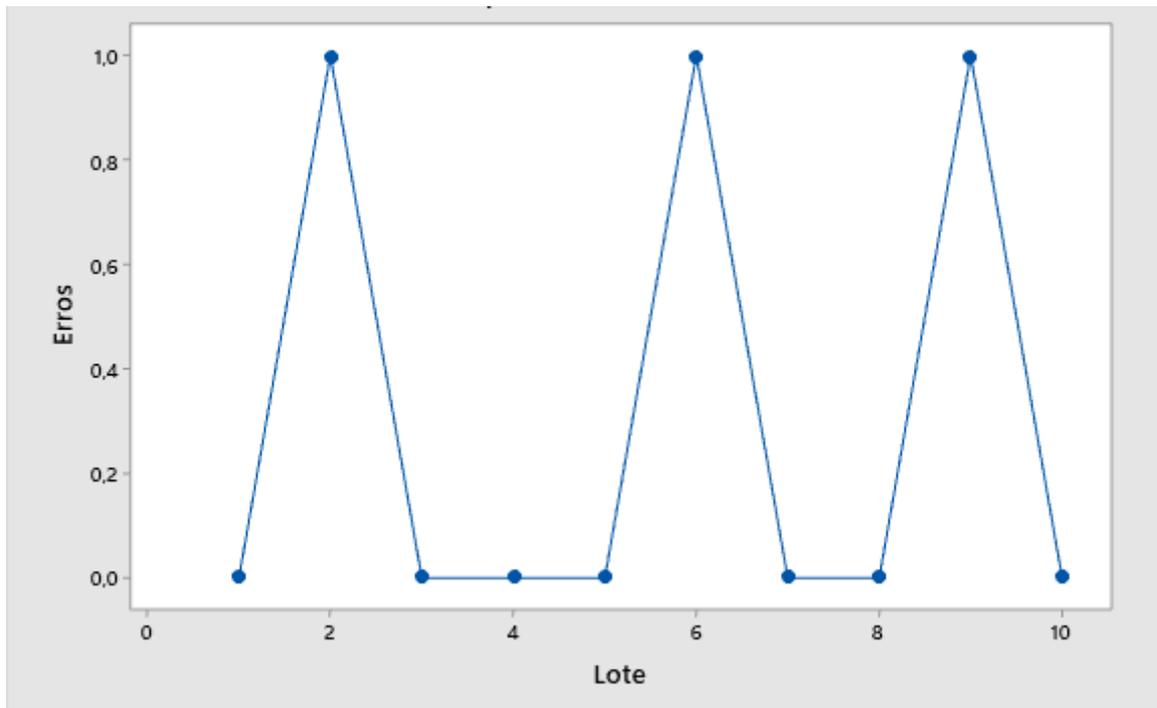
A primeira análise foi realizada durante o *trail-run*, que é uma produção de teste. Nela foram testados 10 lotes de 50 *blanks*, onde no primeiro lote foi realizado com um *blank* defeituoso para verificar o falso-positivo. O mesmo *blank* foi testado por 50 vezes consecutivas onde em todas as vezes o dispositivo de teste acusou a falha prevista constatando probabilidade zero de acusar um falso-positivo. Os demais lotes foram realizados com *blanks* diferentes sem defeito. O resultado dos erros estão contidos na Tabela 6, onde os erros que ocorreram foi durante o teste sem carga ou com carga completa. Os dados da tabela foram inseridos no Minitab para podermos gerar Gráfico 1.

Tabela 6 - Resultado dos Testes

| Lote | Erro de teste |
|------|---------------|
| 1    | 0             |
| 2    | 1             |
| 3    | 0             |
| 4    | 0             |
| 5    | 0             |
| 6    | 1             |
| 7    | 0             |
| 8    | 0             |
| 9    | 1             |
| 10   | 0             |

Fonte: Autor

Gráfico 1 - Dispersão de Erros vs Lote da 1ª Análise

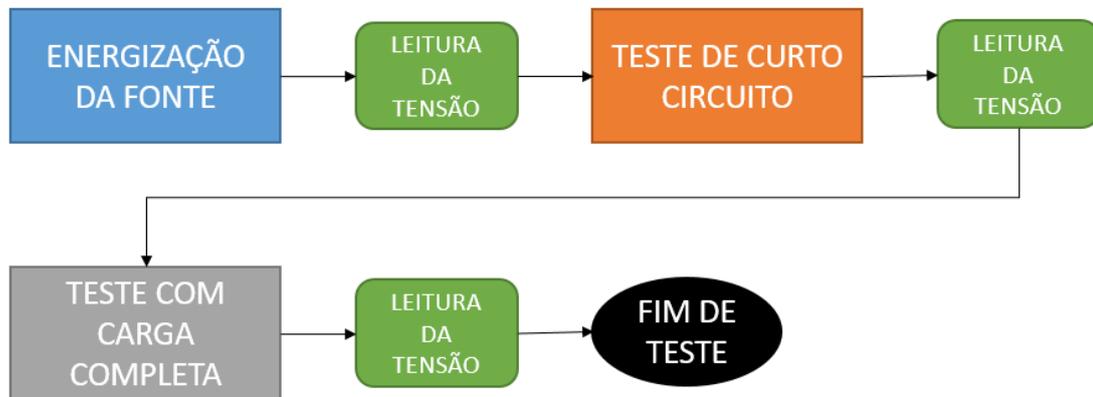


Fonte: Autor

#### 6.1.1. Identificação do Problema

Devido à alta ocorrência de erros na realização de testes foi desenvolvido um software para analisar o comportamento da fonte da posição 01 do blank em uma rotina semelhante à do teste completo. Essa rotina é representada pelo fluxograma presente na Figura 75 onde a cada teste realizado sobre a fonte será então analisado a leitura de sua tensão durante três segundos a fim de verificar como a fonte reage a cada teste. O script final do software desenvolvido está presente no APÊNDICE B. Cada teste será realizado da seguinte forma:

- **ENERGIZAÇÃO DA FONTE:** será apenas alimentado a fonte e verificado a sua tensão de saída;
- **TESTE DE CURTO CIRCUITO:** com a fonte já energizada, será colocada em sua saída a placa de simulação de curto circuito em sua saída durante 1s e então retirada.
- **TESTE COM CARGA COMPLETA:** a carga eletrônica será zerada de forma a não ser possível passar nenhuma corrente pelo MOSFET. Então ela será ligada a saída da fonte, estando ligada a carga eletrônica será ajustada para que passe 1A pelo MOSFET.

Figura 75 - Fluxograma do teste do *blank*

Fonte: Autor

Após o teste de uma amostra contendo 15 *blanks*, foi constatado que as fontes têm variação no seu tempo de estabilização tanto na energização inicial quanto para sair do estado de proteção (a fonte entra em estado de proteção quando em curto circuito). A análise desses tempos está na Tabela 7 a qual deu origem ao Gráfico 2. A partir deles analisamos que há uma grande variação no tempo de estabilização da fonte, onde verificamos um valor mínimo de 0,5s e máximo de 2,1s.

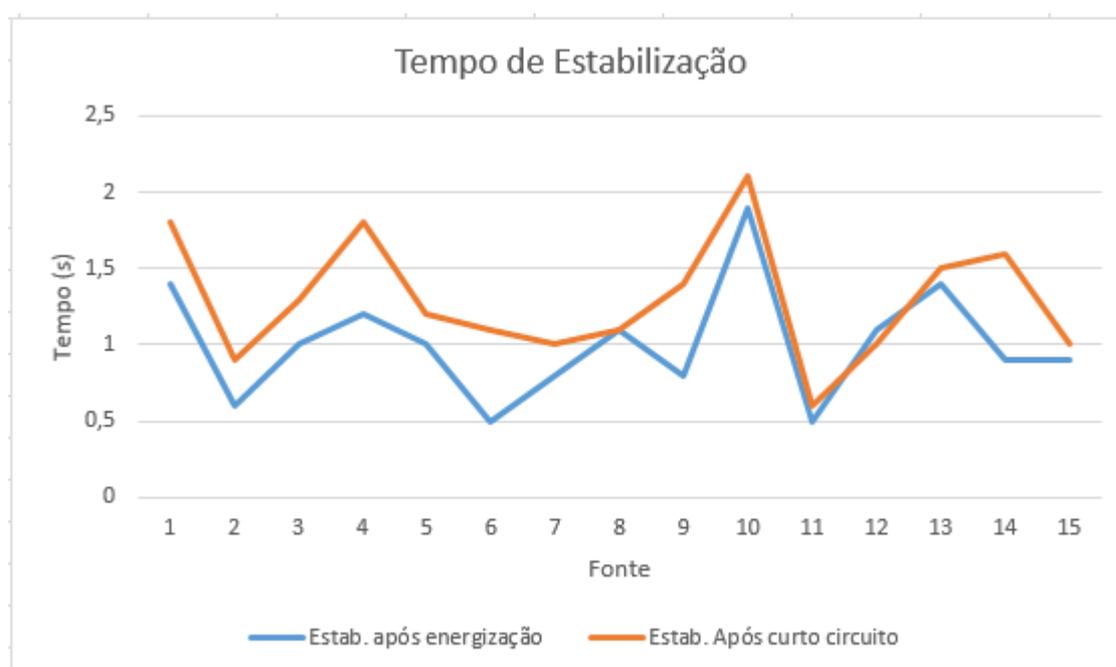
Tabela 7 - Análise de Estabilização da Fonte

| Fonte | Tempo para Estabilização após Energização (s) | Tempo para Estabilização após Teste de Curto Circuito (s) |
|-------|---|---|
| 01    | 1,4   | 1,8   |
| 02    | 0,6   | 0,9   |
| 03    | 1   | 1,3   |
| 04    | 1,2   | 1,8   |
| 05    | 1   | 1,2   |
| 06    | <b>0,5</b>                                    | 1,1   |
| 07    | 0,8   | 1   |
| 08    | 1,1   | 1,1   |
| 09    | 0,8   | 1,4   |
| 10    | <b>1,9</b>                                    | <b>2,1</b>  |
| 11    | <b>0,5</b>                                    | <b>0,6</b>  |
| 12    | 1,1   | 1   |

|    |     |     |
|----|-----|-----|
| 13 | 1,4 | 1,5 |
| 14 | 0,9 | 1,6 |
| 15 | 0,9 | 1   |

Fonte: Autor

Gráfico 2 - Tempo de estabilização



Fonte: Autor

A partir disso foi analisado o software que realiza o teste. Então verificamos que o tempo entre energizar a fonte e realizar a leitura da tensão estava em torno de 1,5 segundos enquanto que diferença entre o teste de curto circuito e a leitura de tensão estava em torno de 1,7 segundos.

#### 6.1.2. Solução do Tempo da Verificação de Tensão

Foi implementado uma rotina onde foi reduzido o tempo inicial para leitura para 0,5 segundos e em caso o valor lido estivesse fora das especificações é realizado novamente a leitura após 0,2 segundos, sendo no máximo 10 leituras adicionais.

O incremento de verificações adicionais no teste tornou o sistema mais estável e na maioria dos casos, mais rápido.

## 6.2. Segunda Análise

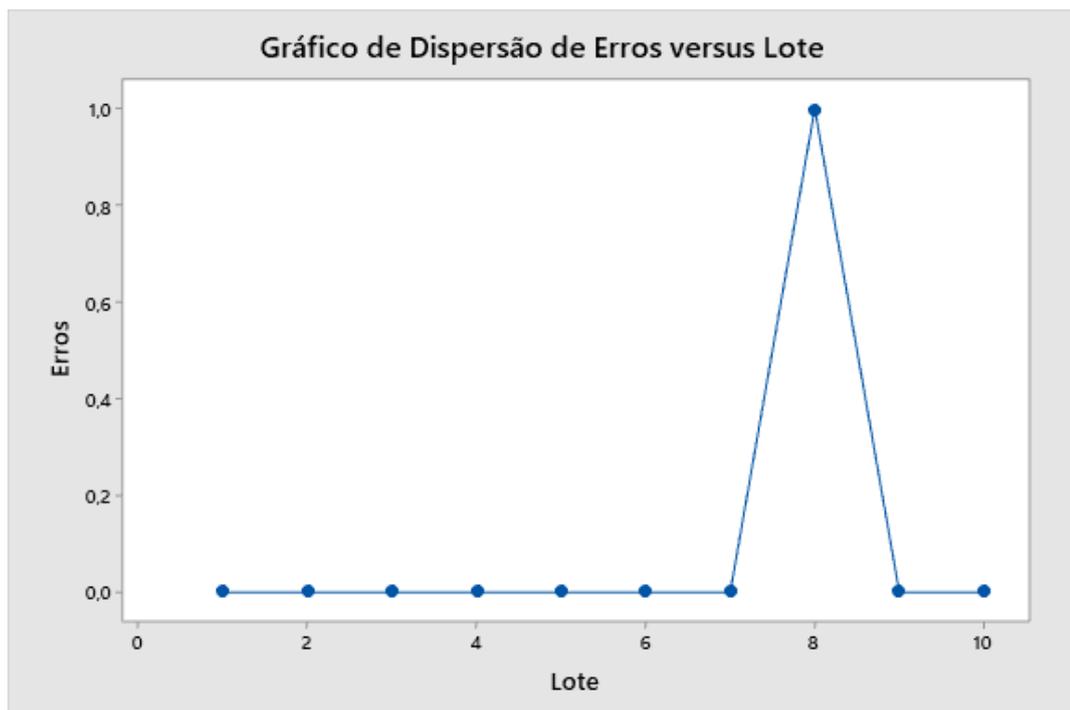
Com as modificações realizadas. Foi então realizado novo sequenciamento de teste parecido com o primeiro. Porém utilizando apenas placas sem defeito. A Tabela 8 mostra o resultado dos testes onde houve apenas um erro de teste nos 10 lotes testados. Com o auxílio do Minitab foi então plotado o Gráfico 3.

Tabela 8 - Resultado da segunda análise do Cm

| Lote | Erro de teste |
|------|---------------|
| 1    | 0             |
| 2    | 0             |
| 3    | 0             |
| 4    | 0             |
| 5    | 0             |
| 6    | 0             |
| 7    | 0             |
| 8    | 1             |
| 9    | 0             |
| 10   | 0             |

Fonte: Autor

Gráfico 3 - Dispersão de Erros vs Lote da 2ª Análise



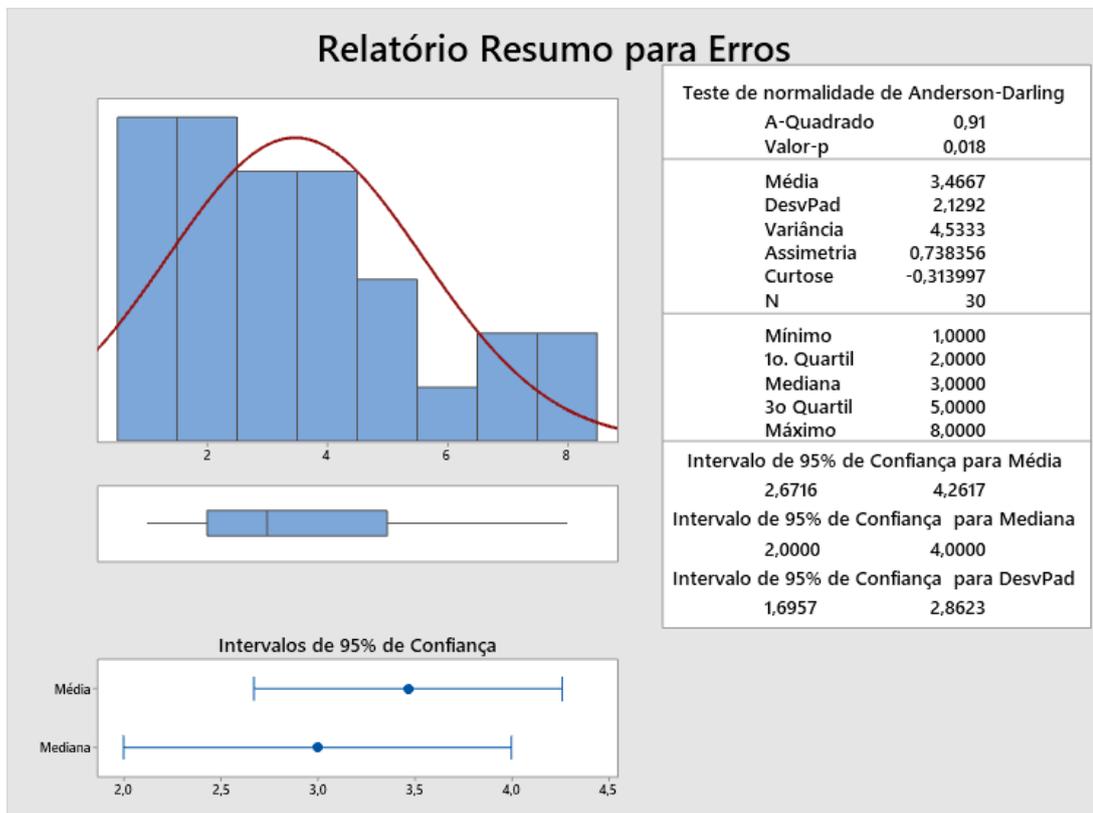
Fonte: Autor

### 6.3. Terceira Análise

Para realizar a terceira análise, foram utilizados dados dos testes que o dispositivo realizou desde o início da produção em massa. Esses dados estão presentes no Anexo A o qual foi disponibilizado pelo cliente. Atualmente, o dispositivo é utilizado durante apenas um turno havendo uma meta diária de 800 *blanks*. O *tak-time* do posto de teste é de 28 segundos, isso acaba por ter uma margem de poder realizar até 35 re-testes de blank. Afim de termos um processo com número de erros menor, foi decidido utilizar LSE igual a 20 que equivale a menos de 60% do uso de possibilidade de re-teste. Em visitas a produção, foi analisado que há o acúmulo sujeira, provinda dos *blanks*, nas pontas das agulhas o que algumas vezes acaba gerando falsos-negativos nos testes. Como medida preventiva sempre que possível é realizado a limpeza resultando em melhora relativa da performance do dispositivo.

Para podermos realizar o cálculo dos índices de capacidade. Primeiramente temos que analisar se a distribuição é normal. Para isso, foi utilizado o Minitab para realizar o teste através da estatística de Anderson-Darling. Analisando o Gráfico 4 podemos ver nitidamente a descentralização da curva gaussiana sendo o Valor-p menor que 0,05 o que confirma a não normalidade da distribuição dos dados.

Gráfico 4 - Análise de Normalidade



Fonte: Autor

### 6.3.1. Normalização dos Dados

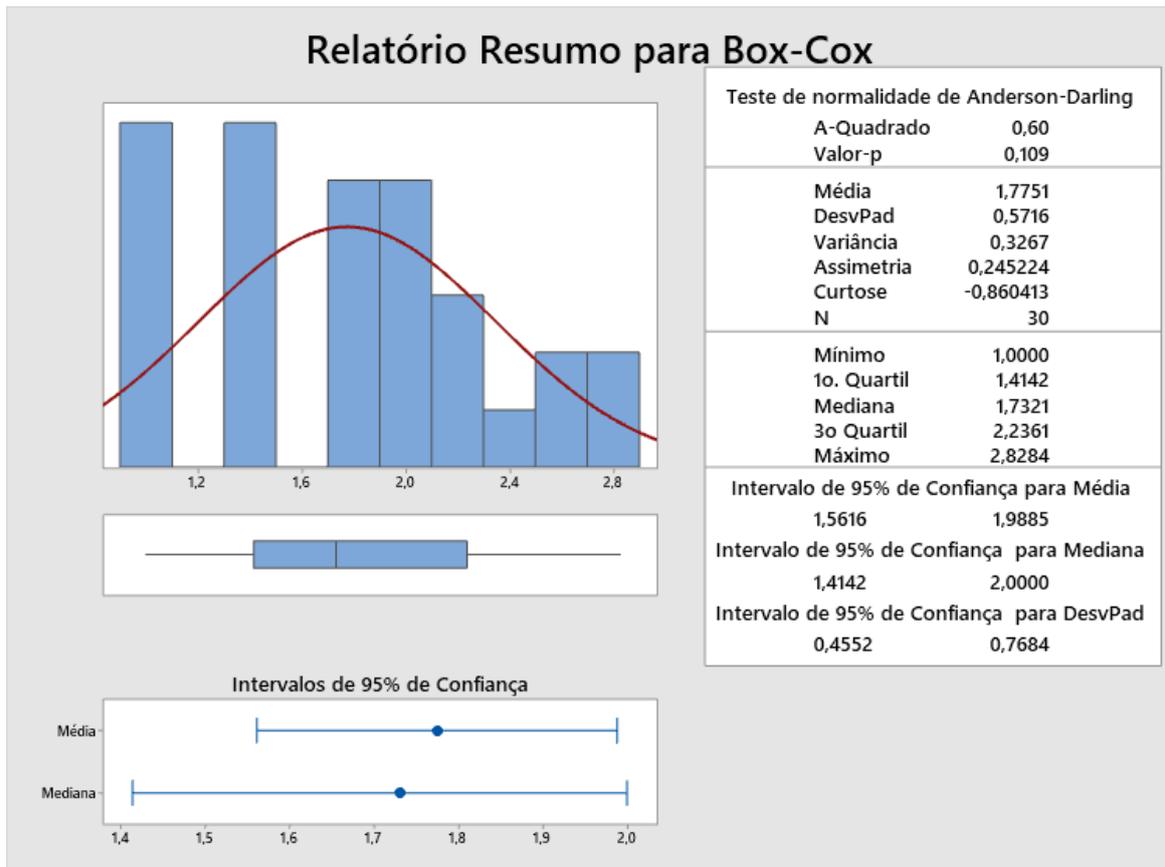
Utilizando o Minitab foi realizado a transformação de Box-Cox nas amostras de dados afim de obter a normalização dos mesmos. Os dados obtidos estão concentrados na Tabela 9. A partir desses dados foi realizada uma nova análise de normalidade, Gráfico 5, onde é verificado que o Valor-P subiu para 0,109 ficando acima do limite inferior de 0,05. Com esse valor é comprovado a distribuição normal dos dados.

Tabela 9 -Resultado da Transformada Box-Cox

| <b>Data</b>       | <b>Cox-Box</b> | <b>Data</b>       | <b>Cox-Box</b> |
|-------------------|----------------|-------------------|----------------|
| <b>23/04/2019</b> | 1,4142         | <b>21/05/2019</b> | 1,0000         |
| <b>24/04/2019</b> | 2,2361         | <b>22/05/2019</b> | 2,2361         |
| <b>25/04/2019</b> | 2,8284         | <b>23/05/2019</b> | 2,0000         |
| <b>26/04/2019</b> | 1,4142         | <b>24/05/2019</b> | 1,0000         |
| <b>29/04/2019</b> | 2,0000         | <b>27/05/2019</b> | 2,2361         |
| <b>30/04/2019</b> | 1,0000         | <b>28/05/2019</b> | 2,4495         |
| <b>01/05/2019</b> | 1,7321         | <b>29/05/2019</b> | 1,0000         |
| <b>02/05/2019</b> | 1,4142         | <b>30/05/2019</b> | 2,0000         |
| <b>03/05/2019</b> | 2,6458         | <b>31/05/2019</b> | 1,7321         |
| <b>06/05/2019</b> | 2,0000         | <b>03/06/2019</b> | 1,4142         |
| <b>07/05/2019</b> | 1,7321         | <b>04/06/2019</b> | 2,8284         |
| <b>08/05/2019</b> | 2,6458         | <b>12/06/2019</b> | 1,4142         |
| <b>09/05/2019</b> | 1,0000         | <b>13/06/2019</b> | 2,0000         |
| <b>10/05/2019</b> | 1,4142         | <b>14/06/2019</b> | 1,7321         |
| <b>20/05/2019</b> | 1,7321         | <b>15/06/2019</b> | 1,0000         |

Fonte: Autor

Gráfico 5 - Análise de Normalidade após Transformada de Box-Cox



Fonte: Autor

### 6.3.2. Cálculo dos Índices Cps e Cpk

O primeiro passo para calcular os índices é encontrar o novo valor para LSE por meio da Equação (6) onde obtivemos o resultado de 4,73271. Com e os dados normalizados e o novo valor de LSE foi utilizado o Minitab para gerar o relatório de Capabilidade de Processo utilizando o Six-Sigma. O resultado da análise está presente na Figura 76 onde temos:

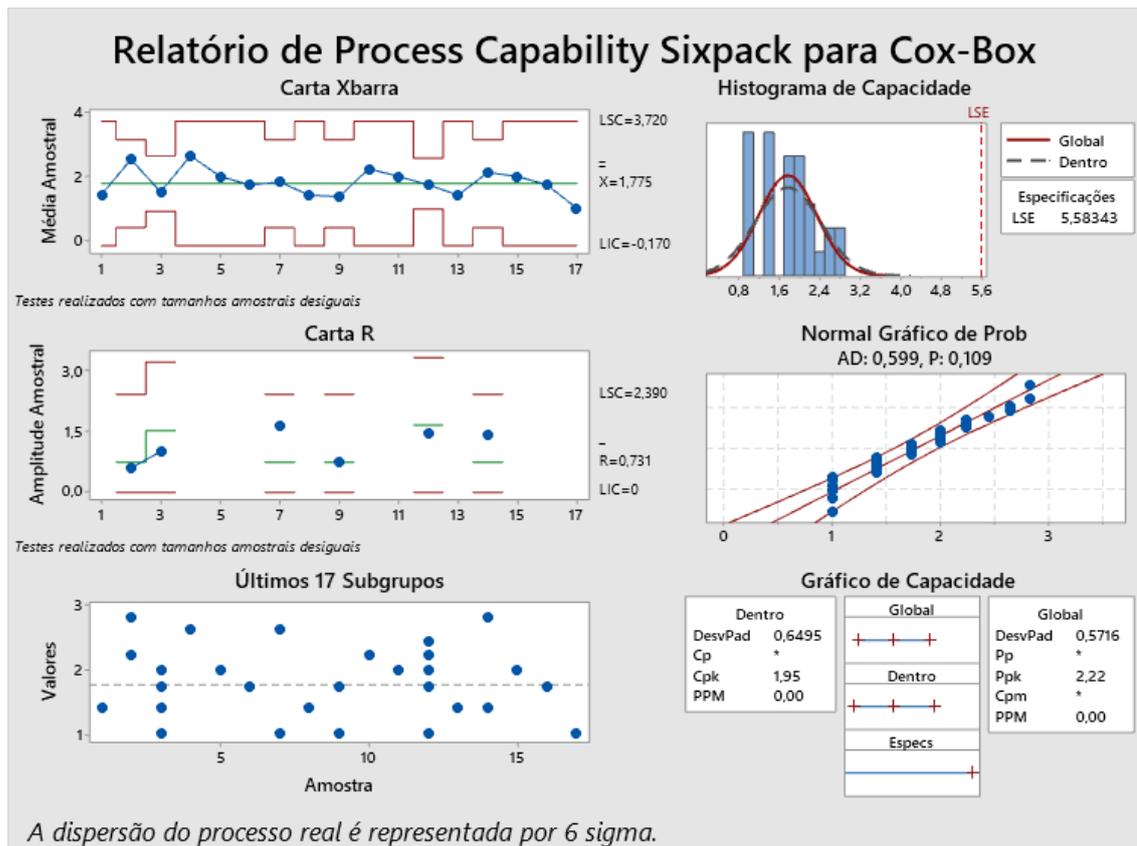
Carta Xbarra a Carta R: são gráficos que possuem uma linha central do valor médio e duas linhas de limite denominadas linhas de controle. A partir de sua análise podemos constatar que o dispositivo está sobre controle devido não haver nenhum ponto dos 30 subgrupos analisados fora dos limites de controle.

Histograma de Capabilidade: por meio da análise do histograma, podemos verificar que as dispersões dos dados estão dentro dos limites especificados dessa forma não havendo não-conformidade.

Gráfico de Capabilidade: aqui temos o valor de Cpk que ficou em 1,95. Devido haver somente o LSE, o valor de Cps é igual ao de Cpk. De acordo com o benchmark utilizado pelo Minitab as chances de ter um teste não-conforme é de 0 ppm enquanto conforme a tabela

do Anexo B temos que o valor está entre 0,03 ppm quando Cpk é igual 1,80 e 0,0009 ppm quando o Cpk é 2,0. Em análise à tabela do Anexo C podemos constatar que o Cpk do dispositivo ultrapassou o valor mínimo de 1,60 recomendando para novos processos com parâmetros críticos que é o nosso caso, devido ser um dispositivo de teste.

Figura 76 - Relatório de Capacidade



Fonte: Autor

#### 6.4. Análise MSA do Dispositivo

Utilizando os dados do ANEXO A foi possível realizamos a análise utilizando a ferramenta MSA por Atributos. Em nosso caso só temos um único operador. O primeiro passo foi fazer um levantamento das variáveis necessárias para calcularmos os índices E, FN, FP e B por meio das Equações (8), (9), (10) e (11).

Tabela 10 - Análise do ANEXO A

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| <b>Total de produtos testados</b> | 22800 |
| <b>Total de acertos</b>           | 22696 |
| <b>Total Placas Boas</b>          | 22440 |
| <b>Total Placas Ruins</b>         | 360   |
| <b>Falso-Negativos</b>            | 104   |
| <b>Falso-Positivos</b>            | 0     |

Fonte: Autor

Feito todos os cálculos podemos gerar a Tabela 11 contendo os índices calculados. Porém, devido ao número de falso-positivos serem zero, não foi possível calcular a tendência. Todos os valores ficaram dentro dos níveis aceitáveis ao compararmos com a Tabela 1.

Tabela 11 - Índices Calculados do MSA por Atributo

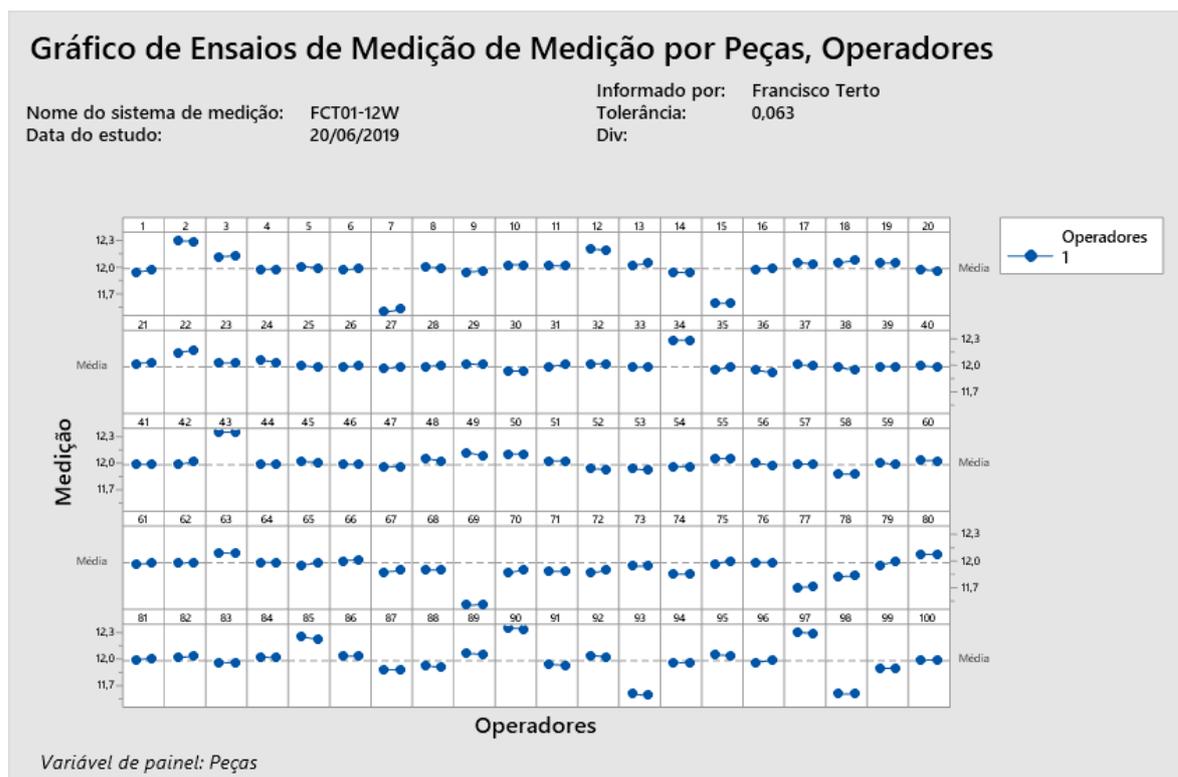
| Índice    | Valor         | Classificação |
|-----------|---------------|---------------|
| <b>E</b>  | 0,9954        | aceitável     |
| <b>FN</b> | 0,0046        | aceitável     |
| <b>FP</b> | 0             | aceitável     |
| <b>B</b>  | não calculado | não calculado |

Fonte: Autor

Para o estudo com MSA por dados das variáveis foi realizado uma coleta aleatória de das medições de 100 produtos distintos. Sendo duas medições de cada produto. Essa amostragem de dados está na tabela presente no APÊNDICE C.

Os dados do APÊNDICE C foram inseridos no Minitab para que possamos realizar o estudo do MSA utilizando o método ANOVA, o qual realiza análise por meio da variância. Esse método foi escolhido por ser mais preciso e também nos dar os valores de da variância do produto. Em primeiro momento geramos o Gráfico 6 para termos uma visão mais ampla dos dados coletados de forma a verificarmos os momentos em que tivemos maior variação do produto e do operador.

Gráfico 6 - Ensaios de Medição dos Dados Coletados



Fonte: Autor

O primeiro resultado da análise ANOVA é a Tabela 12 que contém os dados necessários para que sejam calculados os valores de variância e consequentemente realizar as avaliações das medições. O resultado do estudo de R&R está contido nas Tabela 13 e Tabela 14. Observe que devido haver apenas um operador não foi calcular os índices referentes a reprodutibilidade. Dessa forma nossos valores de R&R se baseiam apenas na repetibilidade do sistema de medição.

Tabela 12 - Análise ANOVA com Um Fator

| Fonte          | GL  | SQ      | QM        | F       | P     |
|----------------|-----|---------|-----------|---------|-------|
| Peças          | 99  | 3,90385 | 0,0394328 | 266,438 | 0,000 |
| Repetibilidade | 100 | 0,01480 | 0,0001480 |         |       |
| Total          | 199 | 3,91865 |           |         |       |

$\alpha$  para remover termo de interação = 0,05

Fonte: Autor

Tabela 13 - Componentes de Variância

| Fonte                   | CompVar   | % Contribuição<br>(de CompVar) |
|-------------------------|-----------|--------------------------------|
| Total de R&R da Medição | 0,0001480 | 0,75                           |
| Repetibilidade          | 0,0001480 | 0,75                           |
| Peça a Peça             | 0,0196424 | 99,25                          |
| Varição Total           | 0,0197904 | 100,00                         |

Tolerância do processo = 1,2

Fonte: Autor

Tabela 14 - Avaliação das Medições

| Fonte                   | DesvPad<br>(DP) | Var do<br>Estudo<br>(6 × DP) | % Var do<br>Estudo<br>(%VE) | % de<br>Tolerância<br>(VE/Toler) |
|-------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Total de R&R da Medição | 0,012166        | 0,072993                     | 8,65                        | 6,08                             |
| Repetibilidade          | 0,012166        | 0,072993                     | 8,65                        | 6,08                             |
| Peça a Peça             | 0,140151        | 0,840908                     | 99,63                       | 70,08                            |
| Varição Total           | 0,140678        | 0,844070                     | 100,00                      | 70,34                            |

Número de Categorias Distintas = 16

Fonte: Autor

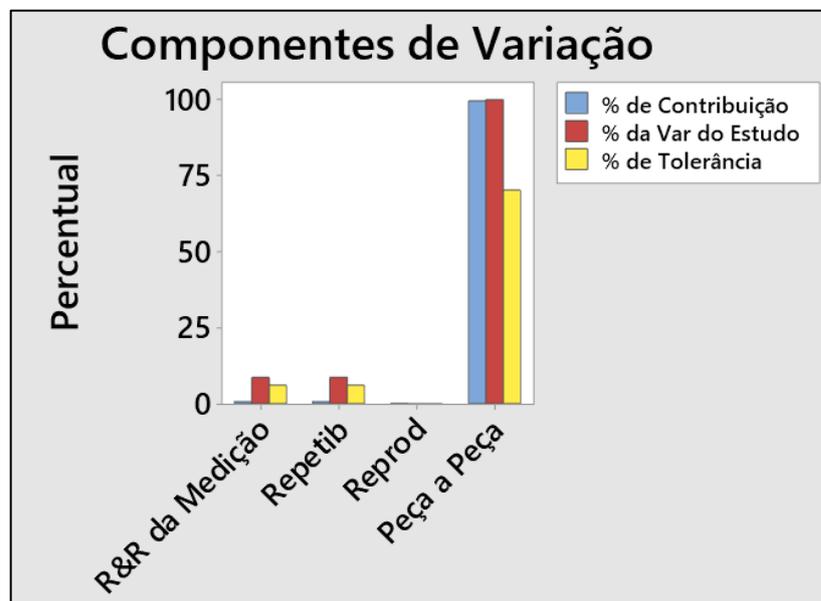
A partir dos dados obtidos pelo Minitab, foram extraídos os índices de estudos a partir da 4ª e 5ª coluna da Tabela 14 originando a Tabela 15 onde foi realizada a sua avaliação a partir da Tabela 2. E no Gráfico 7 podemos analisar a percentagem que cada componente de variação irá influenciar na medição, logo verificamos que do R&R de Medição é mínima quando comparado a influências dos produtos (Peça a Peça).

Tabela 15 - Índices Calculados do MSA por Dados das Variáveis

| Índice               | Valor  | Classificação |
|----------------------|--------|---------------|
| Controle de Produto  | 0,0608 | aceitável     |
| Controle de Processo | 0,0865 | aceitável     |
| ndc                  | 16,2   | aceitável     |

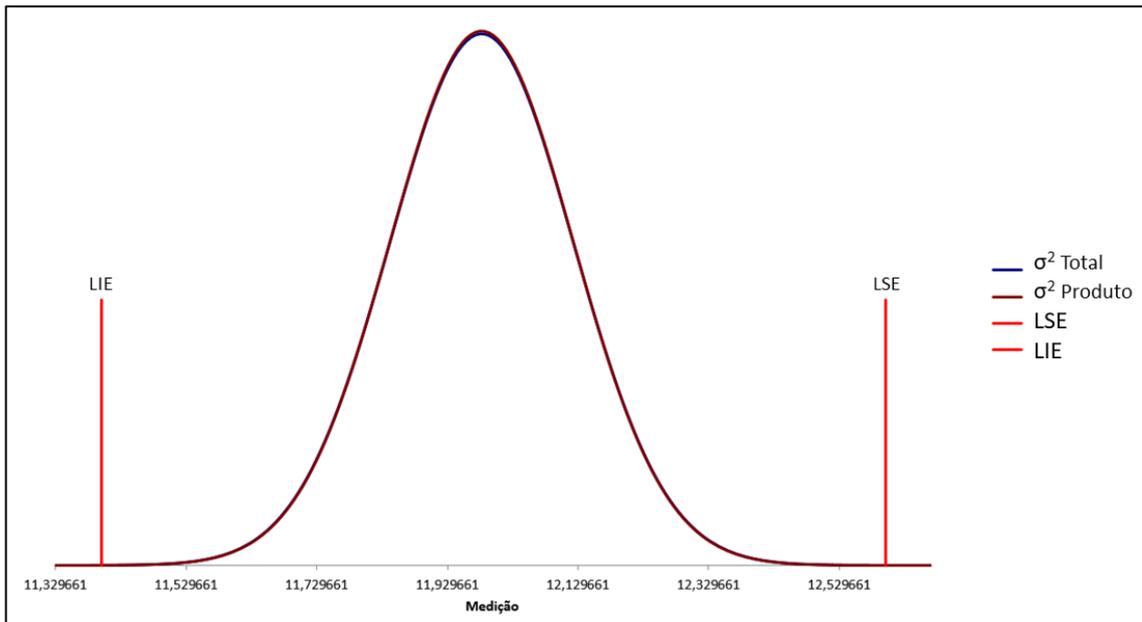
Fonte: Autor

Gráfico 7 - Percentual de Influência dos Componentes de Variação



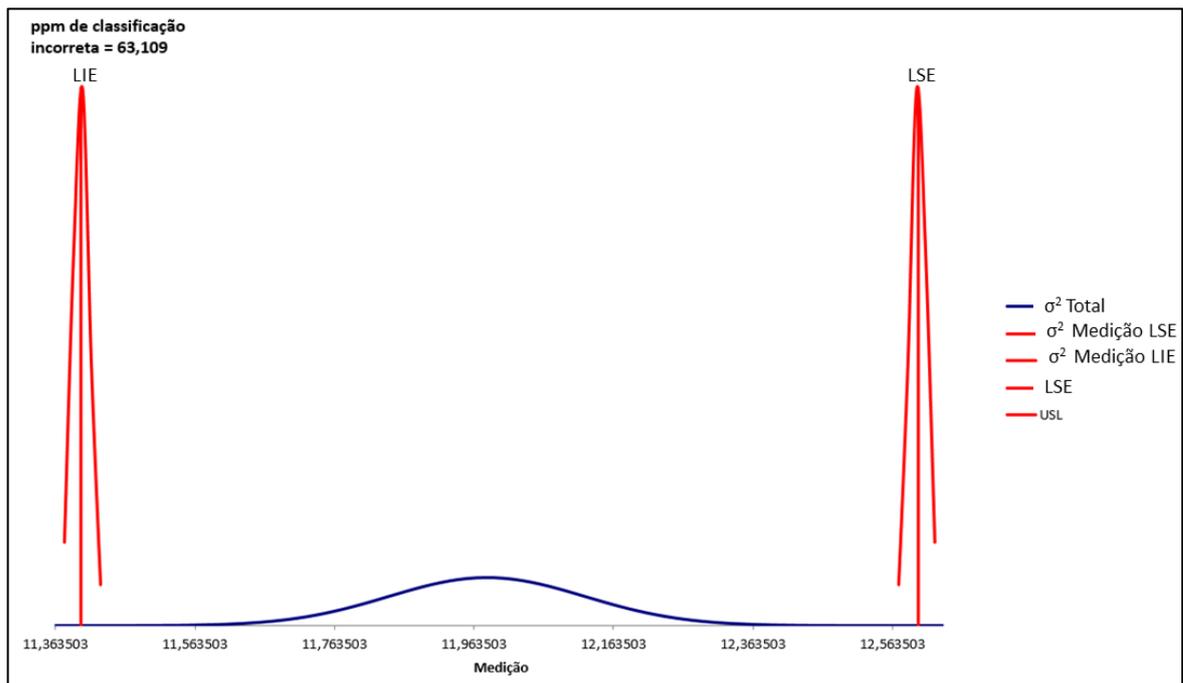
Fonte: Autor

Como análise complementar foi utilizado o SPC XL para gerar os gráficos MSA de comparação entre a variância do produto e total e a potencialidade de classificação errada do produto em ppm. Por meio desses dois gráficos podemos analisar quer a influência da variância de medição é muito baixa, como podemos ver no Gráfico 8 onde as curvas gaussianas da variância total e do produto são aproximadamente as mesmas, e no resultado do Gráfico 9 onde podemos ver que a potencialidade do sistema em medir incorretamente o produto é de aproximadamente 63,109 ppm.

Gráfico 8 -  $\sigma^2$  Produto vs  $\sigma^2$  Total

Fonte: Autor

Gráfico 9 - Classificação Incorreta Devido ao Erro de Medição



Fonte: Autor

Devido a empresa cliente utilizar como avaliação da confiabilidade do sistema apenas o MSA por atributos, de forma mais simples possível, onde eles verificam apenas se o sistema não irá gerar falsos positivos, optou-se por avaliar o sistema utilizando as tabelas presentes disponibilizadas por REGAN E KIEMELE (2008)

## 7. CONCLUSÃO

No decorrer desse trabalho foi apresentado a visão atual do setor industriário e a necessidade cada vez mais recorrente da automatização de processos visando garantir melhor qualidade do produto e maior velocidade de produção, especificamente na produção de fontes chaveadas. Além do mais também foi exposto a usabilidade da tecnologia atual que compões a indústria 4.0 de forma a mostrar a sua aplicação no chão de fábrica.

O desenvolvimento do dispositivo foi apresentado em módulos separados (mecânico, elétrico e software) de forma mostrar os resultados obtidos definidos nos objetivos específicos findando no resultado do objetivo geral.

Por meio da escolha de utilizar uma carga variável para realizar o teste da fonte chaveada, obtivemos um sistema flexível que pode ser reconfigurado facilmente para uma fonte com especificações diferentes da utilizada. O que vem a agregar valor ao dispositivo desenvolvido.

Tanto o software quanto o hardware atenderam os requisitos especificados nesse trabalho. Esse conjunto garantiu uma boa estabilidade do dispositivo tanto em fases de testes quanto em produção em massa, alcançando *takt time* de 18 segundos de teste. O *hardware* de controle, Raspberry, conseguiu ter ótimos resultados no controle dos periféricos e em enviar os resultados dos testes ao servidor FTP do cliente.

Durante os testes, acabaram por haver leituras incorretas das tensões por motivo da variação do tempo de carga findando por gerar alguns falso-negativos em testes. Porém foi implementada uma rotina para compensar essa variação. Dessa forma obtendo maior confiabilidade comprovada por meio do cálculo dos Índice  $C_p$  e  $C_{pk}$  avaliados por meio dos dados de dois meses de utilização do dispositivo. Na realização da análise MSA, obteve-se resultados onde o índice de Controle de Produto é de 6,08% e de Controle de Processo de 8,65% os quais foram avaliados como aceitáveis para a produção em estudo e a confiabilidade solicitada pela empresa cliente. Porém vale ressaltar que para os casos de uma indústria automobilísticas exige-se esses índices abaixo de 5%.

Dessa forma, conclui-se que o projeto apresentou resultados satisfatórios tanto no controle do sistema pneumático e teste do *blank* quanto no objetivo de ser um sistema adequado à *IIoT* suprimindo as necessidades principais do projeto.

## TRABALHOS FUTUROS

Apesar da utilização de tecnologias atuais no desenvolvimento desse projeto, podemos citar algumas melhorias para projetos futuros:

- Desenvolver uma carga variável com sistema de controle próprio tornando mais fácil a sua utilização com outros sistemas de controles;
- Realizar a comunicação com servidor por meio de comunicação SCP (Secure Copy Protocol) que é mais segura;
- Desenvolver uma estrutura mecânica que realize o teste *in line*.

## REFERÊNCIAS

Aloi, G. et al. (2016) **A mobile multi-technology gateway to enable IoT interoperability**, Proceedings - 2016 IEEE 1st International Conference on Internet-of-Things Design and Implementation, IoTDI 2016, pp. 259–264. doi: 10.1109/IoTDI.2015.29.

BRUM, L. S.; WEGENER, L. E. **Melhoria de Processo Produtivo: Jiga de Testes de Produto**. 2018. 93f.. Dissertação (Bacharel em Engenharia de Elétrica) – Universidade do Sul de Santa Catarina.

DA SILVA, M. G.. **Jidoka: Conceitos e aplicação da automação em uma empresa da indústria eletrônica**. Revista ESPACIOS| Vol. 37 (Nº 02) Año 2016, 2016

FERREIRA, D. F. A. **Automatização do projeto de ferramentas progressivas para minimização dos tempos de desenvolvimento**. 2016. 69f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

GILCHRIST, Alasdair. **Industry 4.0: the industrial internet of things**. Apress, 2016. (pag. 1-4)

<http://www.fertemp.com.br/3336,61,fenolite,70,placa-de-fenolite-de-baixa-tensao.html>  
(acesso em 13/05/2019).

<http://www.torquemetal.com.br/produtos/perfil-de-aluminio-bosch-rexroth/> (acesso em: 10/05/2019).

<https://pypi.org/project/mcp3208/> (acesso em 13/05/2019).

<https://www.arduinoecia.com.br/2017/03/como-usar-pcf8574-expansor-de-portas-i2c.html>  
(acesso em 13/05/2019).

[https://www.diyaudioparts.com/Jantzen-Audio-27-Ohm-10W-Audio-Grade-Superes-Resistor\\_p\\_719.html](https://www.diyaudioparts.com/Jantzen-Audio-27-Ohm-10W-Audio-Grade-Superes-Resistor_p_719.html) (acesso em 13/05/2019).

[https://www.festo.com/cat/pt-br\\_br/data/doc\\_engb/PDF/EN/DSBC\\_EN.PDF](https://www.festo.com/cat/pt-br_br/data/doc_engb/PDF/EN/DSBC_EN.PDF) (acesso em 17/11/2018).

[https://www.festo.com/cat/pt-br\\_br/data/doc\\_engb/PDF/EN/VAS\\_EN.PDF](https://www.festo.com/cat/pt-br_br/data/doc_engb/PDF/EN/VAS_EN.PDF) (acesso em 17/11/2018).

<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/> (acesso em 24/05/2019).

[https://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/instalacoes\\_e\\_equipamento\\_industrial/sul-importadora-de-rolamentos/produtos/acessorios/eixo-linear](https://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/instalacoes_e_equipamento_industrial/sul-importadora-de-rolamentos/produtos/acessorios/eixo-linear) (acesso em: 10/05/2019).

INVERNIZZI, G. **O Sistema Lean de Manufatura aplicado em uma indústria de autopeças produtora de filtros automotivos**. 2006. 98f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica / Gestão da Qualidade) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas.

JUNIOR, Antonio Carlos Luppi. **Aplicação do modelo de atores em um programa de teste e diagnóstico de circuitos eletrônico**. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

Jutman, A., Reorda, M. S., and Wunderlich, H.-J.. **High quality system level test and diagnosis**. In 2014 IEEE 23rd Asian Test Symposium, pages 298–305. IEEE, 2014

**LÉXICO LEAN. Glossário ilustrado para praticantes do Pensamento Lean**. Lean Institute Brasil. São Paulo, 2003.

MERCHANT, H. K.; AHIRE, D. D. **Industrial Automation using IoT with Raspberry Pi**. International Journal of Computer Applications, v. 168, n. 1, 2017.

MONTGOMERY, Douglas C. **Introduction to statistical quality control**. John Wiley & Sons, 2007.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção – Além da Produção em Larga Escala**. Bookman, 1997.

RAMIÃO, André Lagarto. **Sistema ciber-físico de produção modular usando Raspberry Pi**. 2017. Tese de Doutorado.

REAGAN, Lisa A.; KIEMELE, Mark Jay. **Design for Six Sigma: The Tool Guide for Practitioners**. CTQ Media, 2008.

SANTOS, Bruno P. et al. **Internet das coisas: da teoria à prática**. Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 2016.

SILVEIRA, L.; LIMA, W. L. **Um breve histórico conceitual da Automação Industrial e Redes para Automação Industrial**. 2003. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

TEIXEIRA, A. F. S.; VISOTO, N. A. R.; PAULISTA, P. H.. **Automação industrial: Seus desafios e perspectivas**. Revista Científica da FEPI-Revista Científic@ Universitas, 2016.

VIERIA, L. L. **DESENVOLVIMENTO DE INTERFACES HOMEM-MÁQUINA DE ALTA PERFORMANCE**. Dissertação (Bacharel em Engenharia de Controle e Automação) – Departamento de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, 2018.

## ANEXOS

## ANEXO A – RELATÓRIOS DOS TESTES REALIZADO NO DISPOSITIVO

Foi solicitado do cliente um relatório contendo os dados referente aos testes de *blanks* que o dispositivo realizou desde o início da produção em massa. Dessa forma obtemos a seguinte tabela.

| <b>date</b> | <b>tester</b> | <b>tests</b> | <b>approved</b> | <b>approved-retest</b> |
|-------------|---------------|--------------|-----------------|------------------------|
| 23/04/2019  | FCT12W01      | 700          | 680             | 2                      |
| 24/04/2019  | FCT12W01      | 750          | 735             | 5                      |
| 25/04/2019  | FCT12W01      | 750          | 740             | 8                      |
| 26/04/2019  | FCT12W01      | 800          | 780             | 2                      |
| 29/04/2019  | FCT12W01      | 800          | 782             | 4                      |
| 30/04/2019  | FCT12W01      | 800          | 795             | 1                      |
| 01/05/2019  | FCT12W01      | 800          | 780             | 3                      |
| 02/05/2019  | FCT12W01      | 800          | 790             | 2                      |
| 03/05/2019  | FCT12W01      | 600          | 588             | 7                      |
| 06/05/2019  | FCT12W01      | 827          | 821             | 4                      |
| 07/05/2019  | FCT12W01      | 810          | 795             | 3                      |
| 08/05/2019  | FCT12W01      | 820          | 780             | 7                      |
| 09/05/2019  | FCT12W01      | 820          | 818             | 1                      |
| 10/05/2019  | FCT12W01      | 723          | 720             | 2                      |
| 20/05/2019  | FCT12W01      | 800          | 796             | 3                      |
| 21/05/2019  | FCT12W01      | 800          | 790             | 1                      |
| 22/05/2019  | FCT12W01      | 785          | 778             | 5                      |
| 23/05/2019  | FCT12W01      | 815          | 810             | 4                      |
| 24/05/2019  | FCT12W01      | 800          | 774             | 1                      |
| 27/05/2019  | FCT12W01      | 800          | 787             | 5                      |
| 28/05/2019  | FCT12W01      | 800          | 760             | 6                      |
| 29/05/2019  | FCT12W01      | 800          | 791             | 1                      |
| 30/05/2019  | FCT12W01      | 800          | 788             | 4                      |
| 31/05/2019  | FCT12W01      | 800          | 730             | 3                      |
| 03/06/2019  | FCT12W01      | 600          | 598             | 2                      |
| 04/06/2019  | FCT12W01      | 850          | 840             | 8                      |
| 12/06/2019  | FCT12W01      | 850          | 837             | 2                      |
| 13/06/2019  | FCT12W01      | 800          | 796             | 4                      |
| 14/06/2019  | FCT12W01      | 750          | 710             | 3                      |
| 15/06/2019  | FCT12W01      | 150          | 147             | 1                      |

### ANEXO B – TABELA DE PROBABILIDADE DE FALHAS EM PPM

A tabela abaixo é uma adaptação da Tabela 8.2 de MONTGOMERY (2007). Ela correlaciona o valor do índice  $C_{pk}$  com a probabilidade de falhas em ppm.

| <b>C<sub>pk</sub></b> | <b>Limite Unilateral Especificado</b> | <b>Limite Bi-Lateral Especificado</b> |
|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>0,25</b>           | 226628                                | 453255                                |
| <b>0,50</b>           | 66807                                 | 133614                                |
| <b>0,60</b>           | 35931                                 | 71861                                 |
| <b>0,70</b>           | 17865                                 | 35729                                 |
| <b>0,80</b>           | 8198                                  | 16395                                 |
| <b>0,90</b>           | 3467                                  | 6934                                  |
| <b>1,00</b>           | 1350                                  | 2700                                  |
| <b>1,10</b>           | 484                                   | 967                                   |
| <b>1,20</b>           | 159                                   | 318                                   |
| <b>1,30</b>           | 48                                    | 96                                    |
| <b>1,40</b>           | 14                                    | 27                                    |
| <b>1,50</b>           | 4                                     | 7                                     |
| <b>1,60</b>           | 1                                     | 2                                     |
| <b>1,70</b>           | 0,17                                  | 0,34                                  |
| <b>1,80</b>           | 0,03                                  | 0,06                                  |
| <b>2,00</b>           | 0,0009                                | 0,0018                                |

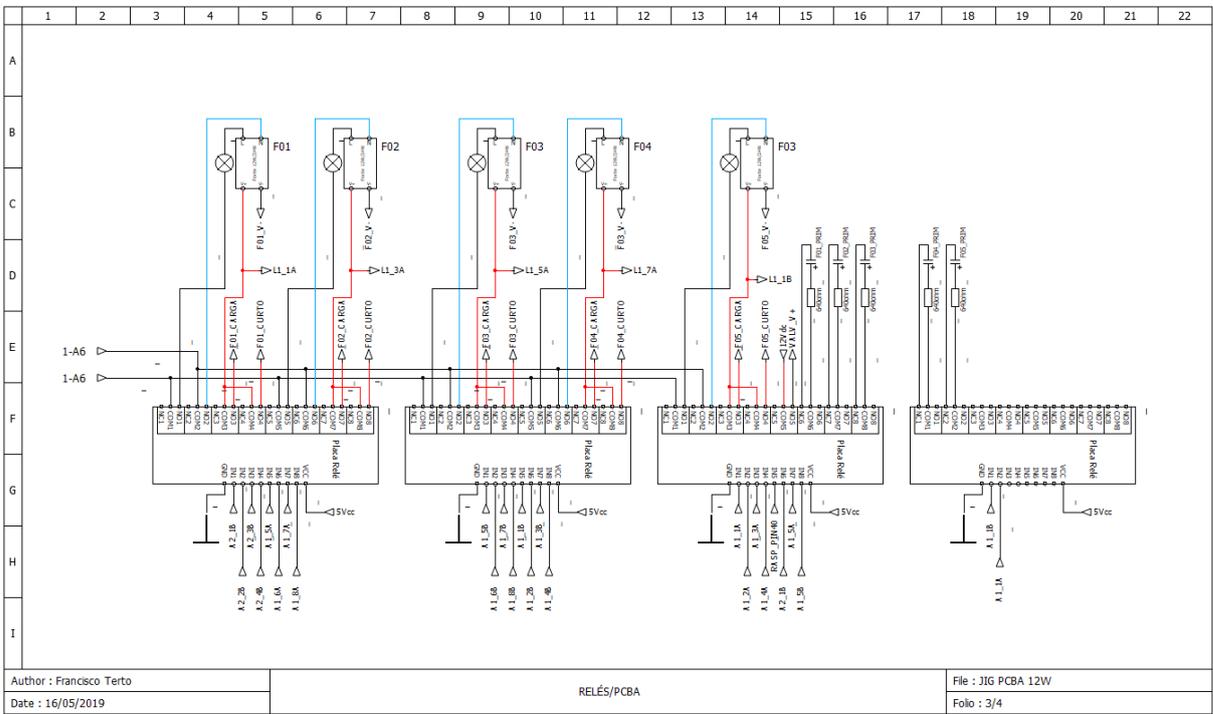
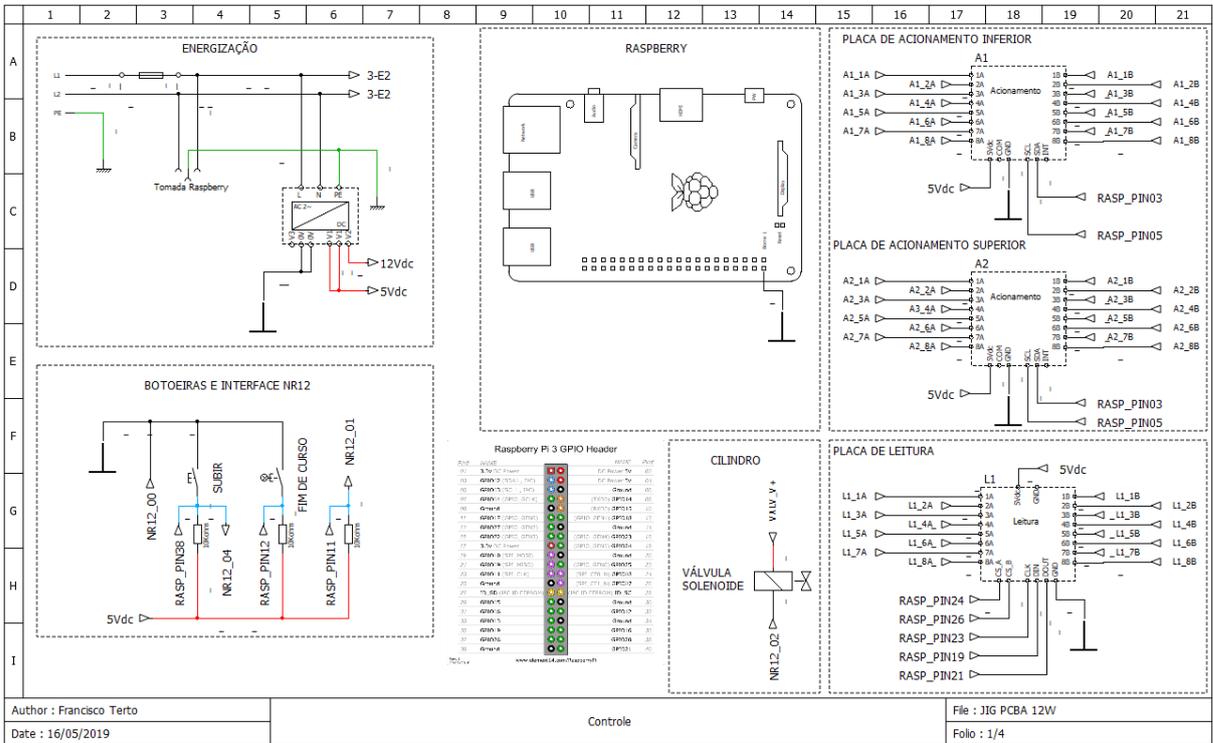
### ANEXO C – TABELA DE RECOMENDAÇÃO MÍNIMA DE $C_{PK}$

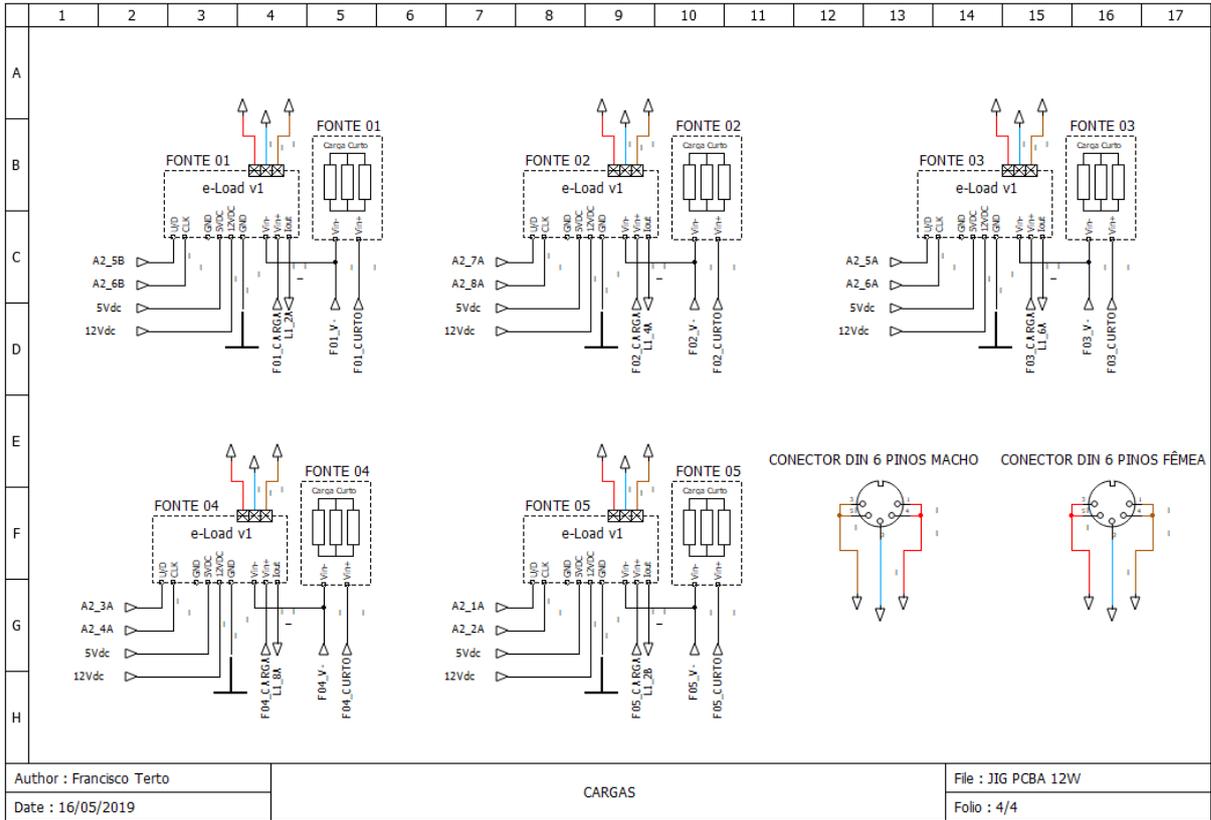
Essa tabela foi adaptada da Tabela 8.3 de MONTGOMERY (2007). Nela podemos encontrar os valores mínimos necessários de  $C_{pk}$  para determinadas situações.

|   | <b>Limite Unilateral<br/>Especificado</b> | <b>Limite Bi-Lateral<br/>Especificado</b> |
|---|---|---|
| <b>Processo já existente</b>  | 1,33                                      | 1,25                                      |
| <b>Processo novo</b>  | 1,50                                      | 1,45                                      |
| <b>Processo existente com<br/>parâmetros de segurança,<br/>forçado ou crítico</b> | 1,50                                      | 1,45                                      |
| <b>Processo novo com<br/>parâmetros de segurança,<br/>forçado ou crítico</b>      | 1,67                                      | 1,60                                      |

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – ESQUEMA ELÉTRICO DO DISPOSITIVO





## APÊNDICE B – SCRIPT PARA TESTE DA FONTE

```

IMPORT JIG
import time
from mcp3208 import MCP3208
import RPi.GPIO as GPIO

GPIO.setup(40,GPIO.OUT) #saída válvula
GPIO.output(40,GPIO.LOW) #avançar cilindro

#ENERGIZAÇÃO FONTE 01
tempo=0
print("Energização")
Jig.pcf_escrever(0x3B,0b11111100) #energiza a fonte

    #faz a leitura da tensão da fonte a cada 100ms durante 3s
while tempo < 30:
    print('Tensão: {:.2f}'.format(Jig.tensao(0,11.2,"A")))
    tempo += 1
    time.sleep(0.1)

#TESTE DE CURTO CIRCUITO
tempo=0
print("Teste de Curto Circuito")
Jig.pcf_escrever(0x3B,0b11110100) #ativa curto circuito
time.sleep(1)
Jig.pcf_escrever(0x3B,0b11111100) #desativa curto circuito

    #faz a leitura da tensão da fonte a cada 100ms durante 3s
while tempo < 30:
    print('Tensão: {:.2f}'.format(Jig.tensao(0,11.2,"A")))
    tempo += 1
    time.sleep(0.1)

#TESTE COM CARGA COMPLETA
conta=0
setcorrente=1
tempo=0
LI = setcorrente-0.05
LS = setcorrente+0.05
controle = 0

#controle da carga eletrônica
    #zera a carga eletrônica
for i in range(128):
    Jig.pcf_escrever(0x3B,0b11001111)
    time.sleep(0.0000001)
    Jig.pcf_escrever(0x3B,0b11101111)
    time.sleep(0.0000001)

    #ajusta a carga para o valor desejado

```

```

Jig.pcf_escrever(0x3B,0b11111000) #energiza a fonte e libera para teste com carga
while controle == 0 :
    corrente = tensao(1,12.50,"A")/0.9 #faz a leitura da tensão sobre o resistor shunt
    corrente = round(corrente,2) #arredonda o valor calculado
    print(corrente)

    #diminui o valor da carga
    if corrente > LS:
        pcf_escrever(0x3B,0b11001000)
        time.sleep(0.0000001)
        pcf_escrever(0x3B,0b11101000)
        time.sleep(0.0000001)
        controle = 0
        conta-= 1

    #aumenta o valor da carga
    elif corrente < LI:
        pcf_escrever(0x3B,0b11011000)
        time.sleep(0.0000001)
        pcf_escrever(0x3B,0b11111000)
        time.sleep(0.0000001)
        controle = 0
        conta+= 1
    else :
        controle = 1

    #limite de ajuste
    if conta > 128:
        controle = 1
    #faz a leitura da tensão e corrente da fonte a cada 100ms durante 3s
    while tempo < 30:
        print('Tensão: {:.2f}'.format(Jig.tensao(0,11.2,"A")))
        print('Corrente: {:.2f}'.format(Jig.tensao(1,10.3,"A")))
        tempo += 1
        time.sleep(0.1)
GPIO.output(40,GPIO.HIGH) #recuar cilindro
print("Fim de teste")

```

### APÊNDICE C – RELATÓRIO DE MEDIÇÕES

| <b>Produto</b> | <b>Medição 01</b> | <b>Medição 02</b> | <b>Produto</b> | <b>Medição 01</b> | <b>Medição 02</b> |
|----------------|-------------------|-------------------|----------------|-------------------|-------------------|
| 1              | 11,95             | 11,97             | 51             | 12,02             | 12,02             |
| 2              | 12,3              | 12,29             | 52             | 11,94             | 11,92             |
| 3              | 12,12             | 12,13             | 53             | 11,93             | 11,92             |
| 4              | 11,98             | 11,98             | 54             | 11,96             | 11,96             |
| 5              | 12,01             | 12                | 55             | 12,05             | 12,05             |
| 6              | 11,97             | 11,99             | 56             | 12                | 11,97             |
| 7              | 11,5              | 11,53             | 57             | 11,98             | 11,99             |
| 8              | 12,01             | 11,99             | 58             | 11,87             | 11,87             |
| 9              | 11,95             | 11,96             | 59             | 12                | 11,98             |
| 10             | 12,03             | 12,03             | 60             | 12,03             | 12,02             |
| 11             | 12,02             | 12,02             | 61             | 11,96             | 11,97             |
| 12             | 12,21             | 12,19             | 62             | 11,97             | 11,98             |
| 13             | 12,02             | 12,05             | 63             | 12,09             | 12,08             |
| 14             | 11,95             | 11,94             | 64             | 11,98             | 11,98             |
| 15             | 11,6              | 11,6              | 65             | 11,95             | 11,97             |
| 16             | 11,98             | 12                | 66             | 12                | 12,01             |
| 17             | 12,06             | 12,04             | 67             | 11,87             | 11,89             |
| 18             | 12,05             | 12,08             | 68             | 11,89             | 11,9              |
| 19             | 12,05             | 12,05             | 69             | 11,5              | 11,51             |
| 20             | 11,98             | 11,96             | 70             | 11,86             | 11,9              |
| 21             | 12,02             | 12,04             | 71             | 11,88             | 11,88             |
| 22             | 12,15             | 12,17             | 72             | 11,86             | 11,89             |
| 23             | 12,03             | 12,03             | 73             | 11,94             | 11,94             |
| 24             | 12,06             | 12,04             | 74             | 11,85             | 11,85             |
| 25             | 12                | 11,98             | 75             | 11,96             | 12                |
| 26             | 11,98             | 12                | 76             | 11,98             | 11,98             |
| 27             | 11,97             | 11,98             | 77             | 11,7              | 11,71             |
| 28             | 11,99             | 12                | 78             | 11,82             | 11,83             |
| 29             | 12,02             | 12,01             | 79             | 11,95             | 11,99             |
| 30             | 11,94             | 11,94             | 80             | 12,07             | 12,07             |
| 31             | 11,99             | 12,01             | 81             | 11,99             | 12                |
| 32             | 12,02             | 12,02             | 82             | 12,01             | 12,03             |
| 33             | 11,98             | 11,98             | 83             | 11,96             | 11,95             |
| 34             | 12,29             | 12,29             | 84             | 12,02             | 12,01             |
| 35             | 11,95             | 11,98             | 85             | 12,25             | 12,22             |
| 36             | 11,95             | 11,92             | 86             | 12,03             | 12,03             |
| 37             | 12,01             | 12                | 87             | 11,88             | 11,87             |
| 38             | 11,98             | 11,95             | 88             | 11,92             | 11,9              |
| 39             | 11,99             | 11,99             | 89             | 12,06             | 12,05             |
| 40             | 12                | 11,98             | 90             | 12,35             | 12,34             |
| 41             | 11,98             | 11,98             | 91             | 11,94             | 11,92             |

|           |       |       |            |       |       |
|-----------|-------|-------|------------|-------|-------|
| <b>42</b> | 11,98 | 12,01 | <b>92</b>  | 12,04 | 12,02 |
| <b>43</b> | 12,35 | 12,35 | <b>93</b>  | 11,6  | 11,58 |
| <b>44</b> | 11,98 | 11,98 | <b>94</b>  | 11,96 | 11,95 |
| <b>45</b> | 12,02 | 12    | <b>95</b>  | 12,05 | 12,03 |
| <b>46</b> | 11,98 | 11,98 | <b>96</b>  | 11,96 | 11,98 |
| <b>47</b> | 11,96 | 11,96 | <b>97</b>  | 12,3  | 12,29 |
| <b>48</b> | 12,05 | 12,02 | <b>98</b>  | 11,6  | 11,6  |
| <b>49</b> | 12,12 | 12,08 | <b>99</b>  | 11,89 | 11,89 |
| <b>50</b> | 12,1  | 12,1  | <b>100</b> | 11,98 | 11,99 |

