

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - UTFPR
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA - DAELT
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

ERIK MURAKAMI

GUILHERME MARTINS LOPES

LUIZ FERNANDO BAUER

**APLICAÇÃO DE FMEA – ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E
EFEITOS EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO SMT DE PLACA-MÃE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2015

ERIK MURAKAMI

GUILHERME MARTINS LOPES

LUIZ FERNANDO BAUER

**APLICAÇÃO DE FMEA – ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E
EFEITOS EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO SMT DE PLACA-MÃE**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica - DAELT – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Dr. Marcelo Rodrigues

CURITIBA

2015

ERIK MURAKAMI
GUILHERME MARTINS LOPES
LUIZ FERNANDO BAUER

**FMEA – ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E EFEITOS EM UMA LINHA DE
PRODUÇÃO SMT DE PLACA-MÃE**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de **Tecnólogo em Automação Industrial**, da **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**.

Curitiba, 09 de dezembro de 2015.

Prof. M. Eng. Ednilson Soares Maciel
Coordenador de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

Prof. M. Sc. Rafael Fontes Souto
Responsável pelo Trabalho de Diplomação da Tecnologia
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Luciane Brandalise
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Marcelo Rodrigues
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

Prof. M.Eng. Ubirajara Zoccoli
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof^a. Dra. Lilian Moreira Garcia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A Folha Assinada encontra-se na Coordenação do Curso

AGRADECIMENTOS

Agradecemos acima de tudo a Deus por iluminar nossos caminhos nesta trajetória, a ajuda de nosso orientador Marcelo Rodrigues, pela paciência e compreensão com que sempre nos atendeu, aos nossos familiares pela educação, amor e carinho, pela ajuda e apoio que sempre nos deram quando precisamos, aos professores que nos encaminharam nos estudos e a nossos colegas e amigos pelo apoio e estímulo.

RESUMO

MURAKAMI, Erik Ryuji. LOPES, Guilherme Martins. BAUER, Luiz Fernando. **FMEA – Análise de Modos de Falha e Efeitos em Uma Linha de Produção SMT de Placa-Mãe.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Tecnologia em Automação Industrial), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

As empresas procuram sempre melhorar seus processos de fabricação buscando a qualidade e confiabilidade dos seus produtos sem a ocorrência de falhas na linha de produção. Uma maneira de evitar estas falhas nos processos de fabricação é a utilização do método chamado de Análise de Modos e Efeitos da Falha - FMEA, utilizado para indicar os possíveis modos de falhas em um determinado processo atuando preventivamente para eliminação dos mesmos. Neste trabalho, procurou-se mostrar as características da metodologia FMEA e sua aplicação em uma linha de produção de placa-mãe com a Tecnologia de Montagem em Superfície – SMT (*Surface Mount Technology*), com a elaboração de uma planilha que identificou os riscos existentes. Ao final do trabalho são apresentadas ações de melhoria necessárias para diminuir os riscos de parada de produção da linha estudada.

Palavras chaves: FMEA. Confiabilidade. Qualidade. Montagem de computadores.

ABSTRACT

MURAKAMI, Erik. LOPES, Guilherme Martins. BAUER, Luiz Fernando. **FMEA - Failure Modes and Effects Analysis in A SMT Production Line Motherboard.** 2015. Completion of course work (Industrial Automation Technology Course), Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2015.

Companies often seek to improve their manufacturing processes seeking the quality and reliability of its products without the occurrence of failures in the production line. One way to avoid these flaws in manufacturing processes is the use of a method called FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), is used to indicate the possible failure modes for a given process to act preventively to disposal thereof. In this work, we tried to show the FMEA methodology characteristics and its application in a production line SMT (Surface Mount Technology) motherboard, coming to the end with the preparation of a spreadsheet that identified risks existing, ranking in order of the most likely to risk and greater severity, occurrence and detection.

Keywords: FMEA - Failure Modes and Effects Analysis. Reliability. Quality. Building computers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Indicativo de que o Modo de falha é uma ação interna e efeito uma ação externa.	20
Figura 2 - Fluxograma da linha de produção de placas eletrônicas de computadores.	37
Figura 3 - Painel contendo duas placas para corte na fresadora.	40
Figura 4 - Plataforma de testes.	42
Figura 5 - Fluxograma da metodologia do trabalho.	44
Figura 6 – Exemplo de lista dos potenciais modos de falhas.	46
Figura 7 – Exemplo de lista dos efeitos dos modos de falhas.	46
Figura 8 – Exemplo de lista das causas dos modos de falhas.	49
Figura 9 - Fluxograma do processo macro.	54
Figura 10 - Fluxograma do processo micro: etapas A, B e C.	55
Figura 11 - Fluxograma do processo micro: etapa D.	56
Figura 12 - Fluxograma do processo micro: etapas E, F e G.	57
Figura 13 - Fluxograma do processo micro: etapas H e I.	58
Figura 14 - Fluxograma do processo micro: etapa J.	59
Figura 15 - Fluxograma do processo micro: etapas K, L e M.	60
Figura 16 - Gráfico de análise do grau de risco.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplo de formulário FMEA.	26
Tabela 2 - Exemplo de tabela de Severidade.	28
Tabela 3 - Exemplo de tabela de Ocorrência.	29
Tabela 4 - Exemplo de tabela de Detecção.	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Modo de falha com abordagem funcional.	19
Quadro 2 - Modo de falha com abordagem estrutural.....	19
Quadro 3 - Índice de severidade.....	48
Quadro 4 - Índice de ocorrência.....	50
Quadro 5 - Índice de detecção.....	51
Quadro 6 - Classificação do grau de risco (NPR).	52
Quadro 7 - Número de riscos segundo o grau de risco.....	62
Quadro 8 – Ações planejadas para melhoria.	64

LISTA DE SIGLAS

FMEA - Análise dos Modos de Falha e Efeitos

SMT - Surface Mounth Technology (Tecnologia de Montagem Superficial)

SPI - Screen Printer Inspect (Inspeção de Impressora de Tela)

ESD - Eletrical Static Discharge (Descarga de energia estática)

AOI - Automatic Optical Inspect (Inspeção Ótica Automatizada)

FCT - Functional Test (Teste Funcional)

ICT - In Circuit Test (Teste de circuito interno)

PVA - Acetato de polivinil

RTC - Real Time Clock (Relógio de tempo Real)

NPR - Número de prioridade de risco

BOM - Bill of Materials (Conta de Materiais)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. TEMA	13
1.1.1. Delimitação do tema	13
1.1.2. Problema de pesquisa	14
1.2. OBJETIVOS	14
1.2.1. Objetivo geral.....	14
1.2.2. Objetivos específicos	15
1.3 JUSTIFICATIVA	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1. HISTÓRICO DO FMEA	17
2.2. DEFINIÇÕES	18
2.3. FMEA	22
2.4. TIPOS DE FMEA.....	24
2.5. FUNCIONAMENTO DO FMEA	24
2.6. ETAPAS PARA APLICAÇÃO DO FMEA.....	32
2.6.1. Etapa 1: Planejamento.....	32
2.6.2. Etapa 2: Análise de Falhas em Potencial.....	32
2.6.3. Etapa 3: Avaliação dos Riscos.....	32
2.6.4. Etapa 4: Melhoria	33
2.6.5. Etapa 5: Continuidade.....	33
3. EMPRESA	33
3.1. HISTÓRICO DA EMPRESA.....	34
3.2. LINHA DE PRODUÇÃO DE PLACA ELETRÔNICA DE COMPUTADOR. 36	
4. METODOLOGIA	44
5. APLICAÇÃO DA FMEA NA LINHA DE MONTAGEM DE PLACAS-MÃE.. 53	
5.1. PROCESSO MACRO.....	53
5.2. PROCESSO MICRO	54
6. RESULTADOS	62
6.1. AÇÕES PLANEJADAS PARA MELHORIA	63
7. CONCLUSÃO	67
7.1 TRABALHOS FUTUROS	68

REFERÊNCIAS.....	69
APÊNDICE A.....	71

1. INTRODUÇÃO

O uso de técnicas avançadas na gestão da manutenção vem proporcionando cada vez maior confiabilidade e segurança nos sistemas de produção industrial, resultando em uma maior disponibilidade dos equipamentos a um menor custo de manutenção.

A metodologia chamada Análise dos Modos de Falha e Efeitos - FMEA que se destaca através de análise das falhas potenciais (determinando causa, efeito e riscos de cada tipo de falha), diminuir as chances do produto ou do processo de apresentar problemas de falhas. Precisa-se conhecer a estrutura e o modo de execução dos processos, para que sejam bem sucedidos utilizando FMEA, obtendo em sua aplicação no desenvolvimento de projetos um melhor resultado quanto à economia e evitando desperdícios.

1.1. TEMA

Uma linha de produção pode ser entendida como uma forma de produção em série, onde operadores, com ajuda de máquinas especializadas em diversas funções, exercem atividades específicas e repetitivas. Trabalhando de forma seqüencial, resulta-se em um produto semi-acabado ou acabado, ou seja, ocorre quando um estabelecimento industrial com o auxílio de máquinas transforma as matérias-primas e produtos semi-acabados em produtos acabados destinados ao consumo.

1.1.1. DELIMITAÇÃO DO TEMA

Para produzir uma placa mãe, deve-se ter um ambiente com controle de energia eletrostática - ESD e climatizado, para evitar a oxidação e queima dos componentes. As linhas de produção possuem diversos operários, que se revezam entre as funções para garantir que todos sejam capazes de realizar

todas as tarefas e com isso melhorar o trabalho e evitar que um mesmo trabalhador fique preso em uma única função.

A linha é alimentada com os materiais, que são montados rapidamente até que o produto esteja concluído. Todos os produtos são testados na hora da montagem. Após este processo, de uma forma aleatória, uma amostra com uma quantidade considerável de equipamentos de cada lote é selecionada e enviada para auditoria para que se possa ter certeza da qualidade dos produtos antes do mesmo ir para o cliente.

1.1.2. PROBLEMA DE PESQUISA

Foi percebido que por ser um produto ainda novo nesta linha de produção, houve muitas paradas, muitos produtos defeituosos e reparos, tornado a qualidade do produto baixa.

Com esses problemas de pesquisa surgiu a seguinte pergunta: **É possível por meio de uma ferramenta de gestão identificar quais as falhas encontradas no processo de produção de placas-mãe de um renomado grupo que fabrica e comercializa hardwares?**

1.2. OBJETIVOS

Para se responder a pergunta do problema de pesquisa, foram definidos os seguintes objetivos.

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Construir uma planilha de FMEA de uma linha de produção de placas-mãe, apresentando os potenciais modos de falhas em cada posto de trabalho.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar o estudo da ferramenta do FMEA;
- Analisar o processo de montagem de uma placa-mãe por completo;
- Detalhar os principais modos de falha do processo;
- Determinar os índices de severidade, ocorrência e detecção para cada modo de falha;
- Montar a planilha FMEA;
- Sugerir ações de melhoria nos modos de falha que apresentaram maior índice de risco.

1.3 JUSTIFICATIVA

O projeto teve seu início quando um produto novo entrou na linha de produção. A experiência dos funcionários não foi o suficiente para produzir o novo projeto, resultando em inúmeras paradas de linha causando maior custo de produção. Estimativas feitas pela empresa apontam que a cada hora parada de linha causam um prejuízo de R\$ 14.000,00.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em sete capítulos que podem ser descritos da seguinte forma:

- O capítulo 1 – Introdução: compreende o enquadramento, o objeto de estudo, a motivação da escolha do tema, define os objetivos e apresenta a estrutura do trabalho.
- O capítulo 2 - Referencial Teórico: descreve sobre a metodologia FMEA, seu histórico, conceito e os seus objetivos, quais os tipos de FMEA e suas aplicações, seus benefícios. Neste capítulo é também feito

definições de alguns conceitos importantes para o estudo sobre a metodologia FMEA e uma comparação entre a FMEA e a FMECA.

- O capítulo 3 - A Empresa: descreve sobre a empresa, seu histórico, seu ramo de trabalho e também apresenta a linha de produção de placa-mãe, descrevendo cada etapa do processo.
- O capítulo 4 – Metodologia: é a descrição do método utilizado para desenvolver a planilha FMEA da linha de montagem de placas-mãe.
- O capítulo 5 - Aplicação da FMEA: é a apresentação da planilha FMEA elaborada pela equipe, aonde é possível visualizar na planilha todas as etapas do processo de montagem de placas-mãe e toda a análise da metodologia FMEA.
- O capítulo 6 – Resultados: é a análise dos resultados obtidos na elaboração da planilha FMEA da linha de montagem de placas-mãe.
- O capítulo 7: Conclusões.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo apresenta-se a metodologia do FMEA e conceitos essenciais para o entendimento desta ferramenta.

2.1. HISTÓRICO DO FMEA

A primeira referência sobre este método de análise data de 09 de Novembro de 1949 quando o exército norte-americano desenvolveu um procedimento militar MIL-P-1629 e intitulado de “*Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*” (Procedimentos para Realização de Análises do Modo, Efeitos e Criticidade da Falha). Este era usado como técnica de avaliação da confiabilidade para determinar o efeito das falhas num sistema ou num equipamento. As falhas eram classificadas de acordo com o seu impacto no sucesso da missão e na segurança do pessoal e equipamento (MARTINS PEDROSA, B. M. apud Smith, 2014).

Em meados de 1963, a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) de uma forma sistemática, desenvolveu um método para identificar potenciais falhas em sistemas, processos ou serviços, identificar seus efeitos, conseqüentemente suas causas, e assim definir ações para diminuir ou eliminar o risco associado diretamente a estas falhas. Esse método conforme citado foi chamado de Análise de Modos e Efeitos de Falha, FMEA. Mesmo tendo surgido em 1962, só depois de 1977 é que passou a ser utilizado de forma mais abrangente, quando a *Ford Motors Company* começou a usá-lo na fabricação de automóveis (GONÇALVES, 2010).

A utilização desta ferramenta passou a ser difundida e atualmente é utilizada nos mais variados ramos e atividades, tais como: empresas de componentes, automobilísticas, metal-mecânica, farmacêuticas e até mesmo em hospitais.

2.2. DEFINIÇÕES

Um dos requisitos para a utilização da ferramenta FMEA é que se tenha conhecimento sobre algumas definições. Para isso foi feito primeiramente um estudo utilizando o Dicionário de Termos de Manutenção, Confiabilidade e Qualidade (FILHO, 2004), sendo consultados os seguintes termos: MODO, FALHA e EFEITO.

- **MODO:** É a maneira como o evento falha pode ocorrer causada por um evento simples. A maneira como pode ocorrer uma perda de função. Um equipamento pode falhar de diversas maneiras diferentes, de diversos modos diferentes. A estas maneiras diferentes de falhar chamamos de modo de falha. Neste caso não importa se a falha é sobre uma função primária ou sobre uma função secundária, (FILHO, 2004).

- **FALHA:** (1) - Perda da capacidade de um item para realizar sua função específica. Pode equivaler ao termo avaria. É a diminuição total ou parcial da capacidade de uma peça, componente ou máquina de desempenhar a sua função durante um período de tempo, onde o item deverá sofrer manutenção ou ser substituído. A falha leva o item ao estado de indisponibilidade. (2) - O término da capacidade de um item desempenhar a função requerida, (FILHO, 2004).

Existem duas abordagens para levantar os modos de falha: Funcional e Estrutural. A abordagem funcional é comum, não necessita de especificações de projeto ou de engenharia. Pode ser tratada como uma não função. No quadro 1 observa-se a o modo de falha com abordagem funcional para o componente eixo.

Quadro 1 - Modo de falha com abordagem funcional.

Componente	Função	Modo de falha
Eixo	Transmitir movimento, torque.	Não transmite movimento, não transmite torque.

Fonte: (SAKURADA, E. Y. 2001).

A abordagem estrutural necessita de informações de engenharia as quais muitas vezes não estão facilmente disponíveis. Tanto na abordagem funcional como na abordagem estrutural é muito importante que se tenha, bem definida, a função do componente, pois é a referência para se verificar quando o item está em falha ou não. O quadro 2 apresenta os modos de falha para um eixo adotando a abordagem estrutural.

Quadro 2 - Modo de falha com abordagem estrutural.

Componente	Função	Modo de falha
Eixo	Transmitir movimento, torque.	Ruptura, empenamento, desgaste...

Fonte: (SAKURADA, E. Y. 2001).

• **EFEITO:** (1) - Aquilo ou o que acontece quando um modo de falha ocorre. (2) – Alterações das características do ativo físico nas características de suas funções. Seu efeito pode ser nos equipamentos, em seus sensores o no sistema como um todo, (FILHO, 2004).

Pode se afirmar que os EFEITOS do modo de falha são os resultados produzidos quando estes vêm a ocorrer, são as consequências do modo de falha. Em outras palavras, o efeito é a forma ou maneira de como o modo de falha se manifesta ou como é percebido em nível de sistema. O modo de falha

ocorre internamente, em nível de componentes, subsistemas, gerando efeitos externos, figura 1.

Na identificação dos efeitos, deve-se perguntar: O que pode acontecer com o desenvolvimento deste modo de falha? O que isto causa no sistema? O que o cliente vê? Quais os danos que isso pode causar ao ambiente?

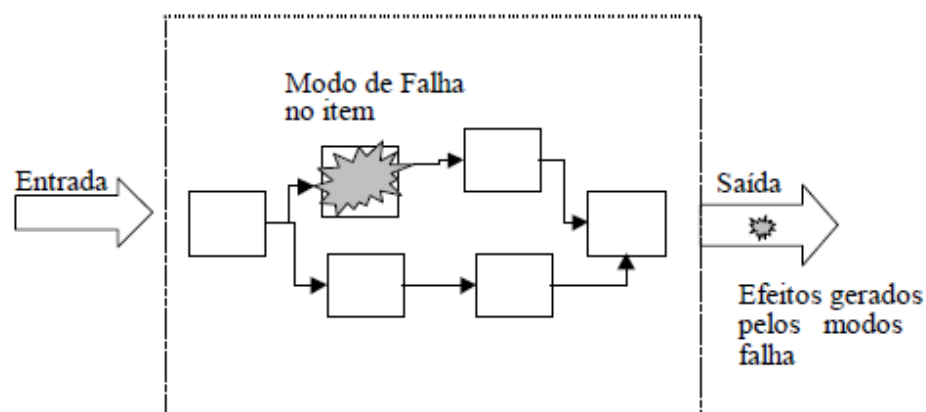


Figura 1 - Indicativo de que o Modo de falha é uma ação interna e efeito uma ação externa.
Fonte: (SAKURADA, E. Y. 2001).

- **CAUSA:** O evento ou a origem da falha, que pode estar num projeto mal feito, numa fabricação não conforme, no uso indevido ou na degradação do item devido desgaste, alteração de características ou a falta de manutenção, etc, (FILHO, 2004).

As causas do modo de falha são os motivos que levaram o modo de falha a ocorrer, podem estar nos componentes da vizinhança, fatores ambientais, erros humanos, ou no próprio componente.

Outro conceito importante para o estudo é a definição de confiabilidade. Assim, a confiabilidade pode ser definida como a probabilidade de um ativo desempenhar uma determinada função, de forma adequada, durante um intervalo de tempo, sob condições especificadas (NBR 5462, 1994).

Para Gil Branco Filho (2004)

A confiabilidade é (1) - Probabilidade de que um item ou uma máquina funcione corretamente em condições esperadas durante um determinado período de tempo ou de ainda estar em condições de trabalho após um determinado período de funcionamento. (2) - Capacidade de um item para realizar sua função específica nas condições e com o desempenho definidos durante um, período de tempo determinado. Exemplo: A máquina pode ser 100% confiável para trabalho em jornadas de até 200 horas ininterruptas, mais ser apenas 80% confiável para jornadas de até 250 horas ininterruptas. Isto quer dizer que estatisticamente, que até o momento não foram registradas, que não existe falhas até 200 horas, mais entre 200 e 250 horas cerca de 20% das máquinas falharam.

A confiabilidade está sendo cada vez mais importante para os consumidores, pois, a falha de um produto, mesmo que seja consertada pelo serviço de assistência técnica e coberta por termos de garantia, causa uma insatisfação ao consumidor ao privá-lo do uso do produto por determinado tempo. Além disso, cada vez mais são lançados produtos em que determinados tipos de falhas podem ter consequências drásticas para o consumidor, tais como aviões e equipamentos hospitalares nos quais o mau funcionamento pode significar até mesmo um risco de vida ao usuário.

Também existem outras ferramentas que ajudam no desenvolvimento da metodologia FMEA. Uma delas, utilizada neste trabalho, é o *Brainstorming*.

A ferramenta *Brainstorming* é a mais conhecida das técnicas de geração de idéias, sendo originalmente desenvolvida por Alex Faickney Osborn, em 1938. Em Inglês, quer dizer “tempestade cerebral”. Esta é uma técnica de idéias em grupo que envolve a contribuição espontânea de todos os participantes. Soluções criativas e inovadoras para os problemas, rompendo com paradigmas estabelecidos, são alcançadas com a utilização de *Brainstorming* (SEBRAE, 2005). Após a explicação do tema, as idéias são

geradas espontaneamente ou por sequência pré-definida, buscando sempre fatos que levem a identificação de problemas.

2.3. FMEA

A metodologia FMEA (do inglês *Failure Mode and Effect Analysis*), que significa Análise de Modos de Falhas e Efeitos, é uma ferramenta que busca evitar, pela análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhorias, que ocorram falhas no projeto do produto ou do processo. Este é o objetivo básico desta técnica, ou seja, detectar falhas antes que se produza uma peça e/ou produto. Pode-se afirmar que, com sua utilização diminui-se as chances do produto ou processo falhar, e assim, com o uso desta ferramenta se está querendo aumentar a qualidade e a confiabilidade (MANUAL QS 9000, 1997).

Segundo Palady (1997)

A FMEA é uma das técnicas de baixo risco mais eficiente para prevenção de problemas e identificação de soluções mais eficazes em termos de custos, oferecendo três funções distintas. É uma ferramenta para prognóstico de problemas, é um procedimento para desenvolvimento e execução de projetos, processos ou serviços, novos ou revisados e é o diário de um projeto, processo ou serviço.

Para Toledo e Amaral (2006, p. 02)

A metodologia FMEA – Análise de Modos de Falha e Efeitos (do inglês *FMEA – Failure Modes and Effects Analysis*) é uma ferramenta que busca evitar, através da análise das falhas potenciais e propondo melhorias, que ocorram falhas no projeto do produto ou do processo. Com esse objetivo pode-se dizer que, com sua utilização, se está diminuindo as chances do produto ou processo falhar durante sua operação, ou seja, estamos buscando aumentar a confiabilidade do produto/processo.

A metodologia pode ainda ser vista como uma ferramenta que segue os princípios da gestão da qualidade total, que tem como objetivo avaliar e minimizar os riscos de um produto ou processo, recorrendo à análise das possíveis falhas (determinação da causa, o respectivo efeito/risco para cada falha) e aplicação de ações corretivas para melhorar a confiabilidade e qualidade do produto ou processo, procurando aumentar a satisfação e a fidelização dos clientes (SANTOS A. C., 2011).

Alguns benefícios que a ferramenta FMEA pode gerar são: melhorar a qualidade, a confiabilidade e segurança dos produtos/processos, melhorar a competitividade e a imagem da empresa no mercado, ajudar alcançar e superar as expectativas dos clientes, também reduzir os custos e o tempo de desenvolvimento dos produtos, documentar e acompanhar as ações tomadas com o objetivo de reduzir riscos.

Também é comum a utilização da sigla FMECA (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*), que significa Análise de Criticidade, Modos e Efeitos de Falhas. A diferença entre FMEA e FMECA é que FMEA é uma técnica mais ligada ao aspecto qualitativo, sendo muito utilizada na avaliação de projetos, enquanto que FMECA inclui o que se denomina Análise Crítica (CA – *Criticality Analysis*). A Análise Crítica é um método quantitativo utilizado para classificar os modos e efeitos de falhas críticas levando em consideração suas probabilidades de ocorrência.

Esta análise de criticidade atribui um grau de importância a cada modo de falha identificado na FMEA, de acordo com a classificação da gravidade de cada modo de falha e a probabilidade de ocorrência (HAQ & LIPOL, 2011). A classificação da criticidade do modo de falha pode ser: (i) crítico, (ii) potencialmente crítico ou (iii) não crítico. Os itens críticos e potencialmente críticos devem ser incluídos nos programas de manutenção (HERPICH & FOGLIATTO, 2013).

2.4. TIPOS DE FMEA

De acordo com Palady (1997), existem dois tipos distintos de FMEA:

- FMEA de Projeto (DFMEA *Design Failure Modes and Effects Analysis*): “Considera as falhas que poderão ocorrer com o produto dentro das especificações do projeto. O objetivo desta análise é evitar falhas no produto, decorrentes do projeto”.

- FMEA de Processo (PFMEA *Process Failure Mode and Effects Analysis*): “Considera as falhas no planejamento e execução do processo, ou seja, o objetivo desta análise é evitar falhas no processo, tendo como base as não conformidades do produto com as especificações do projeto”.

Outros autores citam também mais dois tipos, FMEA de Sistema e FMEA de Serviço. O primeiro é usado para analisar sistemas e subsistemas nas fases iniciais de concepção e projeto. O FMEA de Sistema enfoca os modos potenciais de falha entre as funções do sistema, causada por algumas deficiências do sistema. Ele inclui a interação entre os sistemas e os elementos do sistema. O segundo é usado para analisar serviços antes que eles alcancem o cliente. O FMEA de Serviço enfoca os modos de falha (tarefas, erros, enganos) causados pelas deficiências do sistema ou processo.

É importante realçar que a ferramenta FMEA aqui apresentadas tem o propósito de minimizar o impacto de falhas, nos diferentes campos de atuação, promovendo a melhoria contínua.

2.5. FUNCIONAMENTO DO FMEA

Segundo Toledo e Amaral (2006, p.03)

A análise consiste basicamente na formação de um grupo de pessoas que apontam para o produto/processo em questão suas funções, os tipos de falhas que podem ocorrer, os efeitos

e as possíveis causas desta falha. Em seguida são avaliados os riscos de cada causa de falha por meio de índices e, com base nesta avaliação, são tomadas as ações necessárias para diminuir estes riscos, aumentando a confiabilidade do produto/processo.

Deve-se ter em mente que a análise FMEA é muito mais do que apenas preencher um formulário, o seu verdadeiro valor está na discussão e reflexão dos membros do grupo sobre as falhas potenciais do produto/processo e as ações de melhoria propostas pelo grupo.

Em seguida, será realizada uma breve descrição dos pontos necessários para elaboração de uma planilha FMEA com base no Manual de Referência FMEA (MOURA, 2000). A tabela 1 representa um exemplo de planilha FMEA.

Tabela 1 - Exemplo de formulário FMEA.

Sistema: _____ (1)		Participantes: _____ (2)						Página: _____ Data original: _____ Data de revisão: _____ (3)					
Componente	Função	Modo potencial de falha	Efeitos potenciais de falha	S e v	Causas / potenciais / Mecanismos de falha	O c u r	Controles atuais	D e t e c t e	A ç õ e s r e c o m e n d a d a s	Responsabilidade & data de conclusão limite	Resultado das Ações		
											S e v	O c u r	D e t e c t e
(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)

Fonte: Adaptado da SAE (2000).

Cada item apresentado na tabela significa:

- Identificação do sistema (1): Identificar o nome do Sistema ou título de FMEA;
- Participantes (2): Nome dos participantes do projeto FMEA;
- Página e datas (3): Registrar a página do formulário, a data de início do projeto de FMEA e a data de revisão do projeto;
- Componente (4): Nome do item (componente ou etapa de processo);
- Função (5): A função de cada componente deve ser indicada e caso este tenha mais do que uma função com modos de falha diferentes, devem ser todas indicadas separadamente. Para a identificação de componentes do produto devem ser usados blocos funcionais, enquanto para a identificação de processos deve-se aplicar a divisão em subprocessos. Assim se obtém tabelas mais reduzidas, com informação relativa apenas ao componente, o que facilita em termos de organização da própria informação e na análise de potenciais falhas;
- Modo potencial de falha (6): O modo de falha potencial é definido como a maneira que um componente, sistema ou subsistema, falha no cumprimento das suas funções inicialmente previstas (objetivos do projeto/processo). A identificação dos modos de falha deve ser feita através de uma análise crítica, recorrendo à consulta de problemas passados e à discussão em equipa;
- Efeitos potenciais de falha (7): Consiste no efeito da falha relativamente ao cliente final, ou seja, é a forma como o cliente final percebe a falha. Para o preenchimento deste campo é recomendável o uso de dados históricos, documentos de garantia, reclamações de clientes, dados de fiabilidade, entre outros.
- Severidade do efeito (8): A severidade traduz-se no impacto negativo provocado pelo efeito do modo de falha. No estudo da FMEA utiliza-se, para medir esta característica, um índice (S) que pode variar entre “1” e

“10”, de acordo com tabelas já definidas, como exemplificado na tabela 2.

Tabela 1 - Exemplo de tabela de Severidade.

Efeito	Critério (Severidade do efeito)	Índice de Severidade
Perigoso sem aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do produto e/ou envolve não conformidade com a legislação governamental sem aviso prévio.	10
Perigoso com aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do produto e/ou envolve não conformidade com a legislação governamental com aviso prévio.	9
Muito alto	Produto/Item inoperável, com perda das funções primárias.	8
Alto	Produto/Item operável, mas com nível de desempenho reduzido. Cliente insatisfeito.	7
Moderado	Produto/Item operável, mas com nível de conforto/ conveniência baixo. Cliente sente desconforto.	6
Baixo	Produto/Item operável, mas com nível de conforto/ conveniência e desempenho reduzido. O cliente sente alguma insatisfação.	5
Muito baixo	Itens: Forma e acabamento não conforme. Defeito notado pela maioria dos clientes.	4
Menor	Itens: Forma e acabamento não conforme. Defeito notado por alguns clientes.	3
Muito menor	Itens: Forma e acabamento não conforme. Defeito notado por clientes acurados.	2
Nenhum	Sem efeito	1

Fonte: (MOURA, 2000).

- Causas potenciais da falha (9): Define-se como uma indicação de deficiências de projeto/processo cuja consequência origina o modo de falha. Para se determinar as causas, a equipe deve questionar-se sobre o que pode impedir que o projeto/processo cumpra os seus objetivos. As causas apresentadas devem ser as mais específicas possíveis, devendo-se evitar a justificação de falhas com situações redundantes como falha do operador ou mau funcionamento da máquina.
- Ocorrência (10): A ocorrência consiste na probabilidade de uma causa potencial específica vir a ocorrer. Esta probabilidade pode ser estimada numa escala de “1” a “10”, mas tem um significado mais importante que apenas um valor. Para se reduzir efetivamente o índice de ocorrência é

necessário eliminar ou controlar um mecanismo de falha através de uma alteração no projeto/processo. É importante referir que o índice de ocorrência está relacionado com a probabilidade de ocorrência e não com a ocorrência em si. A tabela 3 é um exemplo de atribuição do índice de ocorrência (O) associando as pontuações de “0” a “10” que é correspondente à probabilidade de falhas acontecerem.

Tabela 3 - Exemplo de tabela de Ocorrência.

Efeito	Taxas de falha possíveis (número de horas)	Cpk	Índice (O)
Muito alta: A falha é quase inevitável	≥ 1 em 2	$\geq 0,33$	10
	≥ 1 em 3		9
Alta: Geralmente associada a processos similares aos anteriores que apresentaram falhas frequentes	1 em 8	$\geq 0,51$	8
	1 em 20	$\geq 0,67$	7
Moderada: Geralmente associada a processos similares aos anteriores que apresentaram falhas ocasionais, mas não em maiores proporções	1 em 80	$\geq 0,83$	6
	1 em 400	$\geq 1,00$	5
	1 em 2000	$\geq 1,17$	4
Baixa: Associada a processos similares que apresentaram poucas falhas	1 em 15000	$\geq 1,33$	3
Muito baixa: Associada a processos quase idênticos que apresentaram apenas falhas isoladas	1 em 150000	$\geq 1,50$	2
Improvável: Falha é improvável. Processos quase idênticos nunca apresentaram falhas	≤ 1 em 1500000	$\geq 1,67$	1

Fonte: (MOURA, 2000).

- Controles atuais (11): Consiste na descrição das ações de controlo que podem detectar ou prevenir, a ocorrência do modo de falha. São considerados três tipos de ações de controlo:
 - 1 – Prevenção da ocorrência da causa ou modo/efeito de falha ou redução da taxa de ocorrência destes;
 - 2 – Detecção da causa e aplicação da ação corretiva;
 - 3 – Detecção do modo de falha.
- Detecção (12): O índice de detecção (D) consiste na avaliação da eficácia dos controlos definidos, em identificar causas (controlos do tipo

2) e modos de falhas (controles do tipo 3), antes de se dar início à produção do respectivo componente. A escala deste índice (que pode variar de “1” a “10”) exibe uma ordem de grandeza inversa às da Severidade e Ocorrência, uma vez que é atribuída a pontuação mais baixa ao maior nível de detecção. Na tabela 4 é apresentado um exemplo de tabela que correspondente ao índice de detecção de uma potencial falha.

Tabela 2 - Exemplo de tabela de Detecção.

Detecção	Critério (Probabilidade de Detecção pelo Controle de Projeto/Processo)	Índice de Detecção
Quase Impossível	Não é conhecido controlo disponível para detetar o modo de falha.	10
Muito remota	Probabilidade muito remota de que o controlo atual irá detetar o modo de falha.	9
Remota	Probabilidade remota de que o controlo atual irá detetar o modo de falha.	8
Muito baixa	Probabilidade muito baixa de que o controlo atual irá detetar o modo de falha.	7
Baixa	Probabilidade baixa de que o controlo atual irá detetar o modo de falha.	6
Moderada	Possibilidade moderada que o Controle de Projeto irá detetar um causal mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	5
Moderadamente alta	Probabilidade moderadamente alta de que o controlo atual irá detetar o modo de falha.	4
Alta	Probabilidade alta de que o controlo atual irá detetar o modo de falha.	3
Muito alta	Probabilidade muito alta de que o controlo atual irá detetar o modo de falha.	2
Quase certamente	Controlo atual quase certamente irá detetar o modo de falha. A confiança nos controlos de detecção é conhecida em processos similares.	1

Fonte: (MOURA, 2000).

- Número de prioridade de risco (13): O número prioritário de risco resulta do produto dos três índices referidos anteriormente (S – Severidade; O – Ocorrência; D – Detecção).

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

O objetivo do NPR é priorizar a eliminação dos modos de falha. Este número pode variar entre “1” e “1000”. Analisando cada uma das tabelas dos índices, verifica-se que atribuindo o valor máximo de cada índice obtém-se um NPR de 1000 que é completamente indesejável. Isto porque o valor máximo de índice de severidade, ocorrência e detecção corresponde respectivamente a “efeito perigoso sem aviso prévio”, “falha quase inevitável” e “quase impossível”. Para NPR’s altos a equipe deve concentrar esforços a fim de reduzir o risco calculado através de ações corretivas. De modo geral, deve ser dada atenção especial quando o índice de severidade é alto, independentemente do valor de NPR.

- Ações recomendadas (14): Após a classificação dos modos de falha através NPR, devem ser propostas ações corretivas para os itens críticos e com altos índices de NPR. O objetivo das ações recomendadas é reduzir o índice de ocorrência (O), de severidade (S) ou de detecção (D). Desta forma deve ser promovida a necessidade de efetuar ações corretivas, específicas, com resultados quantificáveis, recomendando ações para outras atividades e acompanhando todas as recomendações. Um FMEA bem executado e bem desenvolvido não terá valor significativo sem que as ações corretivas sejam efetuadas. Como tal é da responsabilidade de todas as áreas afetadas elaborarem programas de acompanhamento efetivos para contemplar todas as recomendações.
- Responsabilidade e data de conclusão limite (15): Preenchimento dos dados referentes às pessoas responsáveis pela aplicação das ações de correção que foram decididas e os respectivos prazos.
- Ações tomadas (16): Deve-se preencher este campo após a aplicação da ação de correção com uma breve descrição da mesma ação e a data em que foi aplicada.
- Número de prioridade de risco revisado (17): Finalmente, após a aplicação das ações corretivas, calculam-se os novos índices de severidade(S), ocorrência (O) e detecção (D). Estes devem ser inferiores

aos que existiam antes da realização das ações corretivas descritas pelo ponto anterior.

2.6. ETAPAS PARA APLICAÇÃO DO FMEA

Para aplicar-se a análise FMEA em um determinado produto/processo, seguem-se as etapas abaixo:

2.6.1. Etapa 1: Planejamento

Esta primeira etapa é realizada pelo responsável pela aplicação da metodologia e compreende: descrição dos objetivos e abrangência da análise em que se identifica qual (ais), produto (s) / processo (s) será (ao) analisado (s), formação dos grupos de trabalho em que se definem os integrantes do grupo, que deve ser preferencialmente pequeno e multidisciplinar (contando com pessoas de diversas áreas como qualidade, desenvolvimento e produção); planejamento das reuniões que devem ser agendadas com antecedência e com o consentimento de todos.

2.6.2. Etapa 2: Análise de Falhas em Potencial

Esta etapa é realizada pelo grupo que discute e preenche o formulário FMEA (figura 2), definindo função (ões) e característica (s) do produto / processo, tipo (s) de falha (s) potencial (is) para cada função, efeito (s) do tipo de falha, causa (s) possível (is) da falha e controles atuais;

2.6.3. Etapa 3: Avaliação dos Riscos

Após o preenchimento do formulário FMEA, deve ser definido pelo grupo os índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D) para cada causa de falha. Depois são calculados os coeficientes de prioridade de risco (RPN), por meio da multiplicação dos índices (S)x(O)x(D);

2.6.4. Etapa 4: Melhoria

Terminado a avaliação dos riscos e efetuados o cálculo RPN, passa para a etapa onde é realizada a listagem de todas as ações que podem ser realizadas para diminuir os riscos. Essas medidas são:

- Medidas de prevenção total ao tipo de falha;
- Medidas de prevenção total de uma causa de falha;
- Medidas que dificultam a ocorrência de falhas;
- Medidas que aumentam a probabilidade de detecção do tipo ou da causa de falha.

2.6.5. Etapa 5: Continuidade

O formulário FMEA é um documento “vivo”, ou seja, uma vez realizada uma análise para um produto/processo qualquer, esta deve ser revisada sempre que ocorrerem alterações neste produto/processo específico. Além disso, mesmo que não haja alterações deve-se regularmente revisar a análise confrontando as falhas potenciais imaginadas pelo grupo com as que realmente vêm ocorrendo no dia-a-dia do processo e uso do produto, de forma a permitir a incorporação de falhas não previstas, bem como a reavaliação, com base em dados objetivos, das falhas já previstas pelo grupo.

3. EMPRESA

Na sequência é apresentada a empresa escolhida para aplicar a metodologia FMEA, descrevendo um pouco do seu histórico, ramo de trabalho e detalhando das etapas do setor escolhido para o estudo de caso.

3.1. HISTÓRICO DA EMPRESA

A Empresa escolhida para o trabalho é o maior grupo do segmento de educação no Brasil. Fundado em 1972, a partir da criação de uma escola e de uma gráfica, o Grupo possui atualmente empresas líderes nos três segmentos em que atua: educacional, gráfico-editorial e informática. A partir do grande sucesso de sua inovadora metodologia de ensino desenvolvida, aprimorada e sistematizada pelos conceituados professores fundadores do grupo, a rede de escolas próprias foi ampliada para os demais níveis educacionais e, em 1979, o grupo iniciou a venda de livros e serviços a outras escolas em todo Brasil.

A empresa foi criada em maio de 1989 com o objetivo inicial de fabricar e vender computadores para escolas clientes do Grupo em todo Brasil. No ano seguinte, a Companhia identificou a oportunidade de fornecer computadores e soluções de informática para empresas e instituições do poder público, por meio de licitações públicas.

Em 2004, a Companhia estreou no mercado de varejo vendendo computadores para as principais redes do País, e em nove meses se tornou a maior fabricante de computadores do Brasil, permanecendo nessa posição até hoje. Ao final de 2005 iniciou a venda para o mercado corporativo de hardware, com uma linha de desktops, notebooks e servidores, e ultrapassou a marca de 500 mil computadores produzidos. Em 2006, recebeu o importante prêmio de melhor empresa do setor de tecnologia e computação pela revista, Exame edição Melhores e Maiores, e, no mesmo ano, ultrapassou a marca de um milhão de computadores produzidos.

Em 2008, a companhia inaugurou a verticalização da produção de placas-mãe de desktops na planta industrial de Curitiba (PR) e da fabricação de monitores LCD em sua nova unidade em Ilhéus (BA).

Em 2009, dando sequência aos projetos de verticalização, teve início a fabricação de placas-mãe de notebooks e de placas de memória de desktops. Em dezembro, a companhia adquiriu a marca de computadores *Kennex*, que veio a complementar sua já bem sucedida estratégia de venda no varejo.

Em 2010, a companhia inaugurou a verticalização de gabinetes e, em dezembro, iniciou seu processo de internacionalização por meio de uma aliança com a BGH, um importante *player* do segmento de consumo da Argentina. Foram adquiridos 50% do capital social da Informática Fueguina S.A. (IFSA), veículo para a *joint venture*, que tem como objetivo a comercialização de desktops, notebooks, *all-in-ones*, *e-readers* e *tablets* nos mercados argentino e uruguaio. A administração da sociedade é compartilhada entre a empresa e BGH.

Já em 2011, a Companhia aplicou uma série de medidas para incrementar sua eficiência, tendo obtido resultados importantes no decorrer do ano. Além disso, após extensa pesquisa e desenvolvimento, foi lançado o primeiro Tablet desenvolvido exclusivamente para o consumidor brasileiro com conteúdo digital em língua portuguesa. No segundo semestre do mesmo ano, a marca iniciou as vendas no mercado argentino, tendo atingido a liderança do mercado local desde seus primeiros meses de operação.

Ao final de 2012, a empresa estreou no mercado de celulares, atualmente a empresa é líder no mercado brasileiro de computadores há mais de oito anos consecutivos, com 13,5% do mercado total e 17,6% do mercado oficial (base: 2012), e um dos principais *players* no Segmento de Tecnologia Educacional, sendo reconhecida pela inovação no desenvolvimento de softwares e mesas educacionais. Adicionalmente, a marca é uma das mais vendidas na Argentina, com participação de 15,4% no mercado total de 2012.

3.2. LINHA DE PRODUÇÃO DE PLACA ELETRÔNICA DE COMPUTADOR

A tecnologia SMT (Tecnologia de Montagem Superficial) é uma tecnologia relativamente nova, que envolve processos, sistemas e métodos diferentes àqueles já conhecidos no método convencional *PinThru-Hole*, no qual é a tecnologia de componentes que atravessam a placa.

No método convencional temos uma placa furada, trilhas unindo esses furos, componentes com grande espaçamento entre os terminais, sendo esses terminais longos o suficiente para atravessarem a placa e serem soldados do outro lado. Basicamente componentes de um lado e solda do outro, o que facilitava muito os métodos de soldagem (solda a onda, por exemplo, ou solda com um ferro convencional).

No método SMT, a diferença mais aparente é o formato dos componentes e dos terminais. O material isolante nos componentes diminuiu drasticamente, o que por consequência diminuiu o tamanho dos mesmos. Isso não quer dizer que a parte interna também tenha diminuído, pois sabemos que a parte funcional de um componente eletrônico é muito pequena. Na SMT os terminais não atravessam a placa, eles têm formato que faz com que possam ser soldados na superfície da mesma.

Portanto um dos lados da placa fica sem uso, ou pelo menos ficaria, já que este método permite que tenhamos componentes dos dois lados da placa, ou seja, um melhor aproveitamento do espaço que teoricamente traz este método. Daí vem o porquê do nosso mundo eletrônico ter diminuído tanto de tamanho. Os aparelhos eletrônicos são cada vez menores e também com mais qualidade.

O setor da empresa que será aplicado à metodologia FMEA será a fábrica de montagem de placas eletrônicas de computadores e notebooks. Este setor está dividido conforme mostra a figura 2.

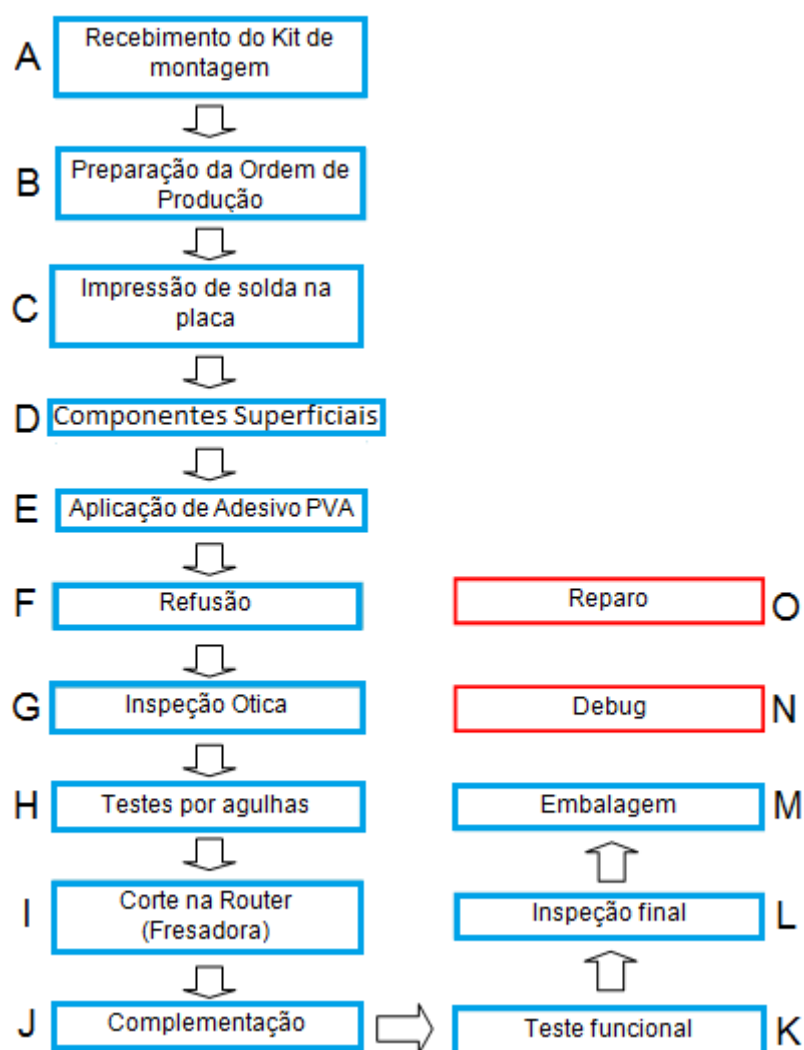


Figura 2 - Fluxograma da linha de produção de placas eletrônicas de computadores.
Fonte: Autores, 2015.

A seguir, o detalhamento de cada item do fluxograma:

O processo inicia-se com o recebimento do Kit de Montagem (A), que é quando o conjunto de componentes de placas chega da China em um container, geralmente este conjunto é para a montagem de 5.000 ou 10.000 unidades de placa, no qual também é verificado o estado do material, pois ocorrem extravios, roubos e danos materiais nos conjuntos durante a viagem.

Na próxima fase do processo realiza-se a preparação da ordem de produção (B), onde ocorre a conferência da B.O.M. (*Bill of Materials*), no qual é

uma lista que possui todos os componentes, que estão no estoque, e a quantidade que serão montados na placa, sendo esta disponibilizada pelos fornecedores da China.

Também é verificada a quantidade de material disponível e se há condições de suprir toda a linha. Outra verificação nesta etapa é a das embalagens, pois é preciso ver se não há umidade nos componentes.

Nesta etapa começa a funcionar a linha de produção na máquina de Impressão de solda na placa (C), pois a placa eletrônica é desembalada e em seguida já é identificada com uma etiqueta com um número de série para possível rastreamento. Posteriormente a placa é inserida na máquina, através de um suporte que sustenta a placa na esteira, sendo a mesma posicionada abaixo de um gabarito, onde o mesmo permitirá que a máquina deposite pasta de solda em pontos determinados no projeto da placa.

Após este processo a placa seguirá por uma esteira rolante até a próxima máquina, na qual realizará uma inspeção da quantidade de solda depositada no processo anterior, pois se a placa estiver com muita solda, à mesma poderá ter vários curtos de solda e se estiver com pouca solda, à mesma poderá não soldar os componentes de maneira correta e gerar intermitências no funcionamento.

Depois da aplicação da pasta de solda, realiza-se a Montagem dos componentes superficiais (D), no qual é a fase em que os componentes são posicionados em seus respectivos locais em que foram programados, com extrema precisão.

As máquinas para inserção de componentes têm capacidade de montar até 100 placas por hora, sendo que cada placa possui em torno de 1500 componentes.

Dando sequência ao processo, é aplicada uma cola PVA (acetato de polivinil) (E), a mesma é aplicada devido às placas possuírem uma envergadura e certa flexibilidade, os componentes como *chipset*, processadores e até mesmo a solda não podem sofrer torções e

empenamentos, pois os mesmos são quebradiços e acabam impedindo o funcionamento da placa. Por isso este processo necessita da aplicação da cola PVA, pois a mesma realiza a fixação do componente na placa, evitando a quebra da solda e a torção do componente. A cola PVA possui uma densidade mediana entre a flexibilidade da placa e a dureza da solda, assim mantém a condição de funcionamento dos componentes mesmo em estado de impactos e alteração de temperatura brusca.

No estágio de refusão (F), a placa entra no forno de refusão, a pasta de solda anteriormente aplicada se torna solda em estado sólido, assim fixando os componentes.

Neste processo precisa-se de muito cuidado, pois existe um perfil para cada modelo de placa, onde cada modelo de placa possui uma espessura e quantidade de componentes diferentes. No entanto cada zona de temperatura deve estar em uma temperatura específica, para que a solidificação da solda seja homogênea e a placa não sofra empenamentos. Os perfis de solda são disponibilizados pelo fornecedor das placas.

Passando para a inspeção ótica automatizada (G), que são equipamentos que fazem inspeção automática através de lentes óticas e de uma programação específica, onde técnicos especializados atuam na manutenção do equipamento e realizam ajustes na programação do software. Este equipamento serve para identificar erros de montagem, como exemplo, componentes deslocados, invertidos, com curto de solda, insuficiência de solda e ausência de componente.

Após a inspeção, a placa é transportada até o teste por agulhas (H), no qual realiza teste dos circuitos internos de uma placa eletrônica através de uma plataforma de agulhas, pois uma placa eletrônica de circuito impresso de um computador possui sete camadas de circuito, onde não se consegue ser analisada e diagnosticada a olho nu. Uma plataforma de agulhas tem capacidade média de 2.500 agulhas. Para o funcionamento de tantas agulhas, precisamos de um conjunto de Hardware com um Software para a realização do controle, diagnósticos e coleta de dados. Com esta máquina também é

possível medir a maioria dos componentes montados na placa, para detectar erros no abastecimento de componentes e funcionalidade dos mesmos, através da programação do software, no qual é específico da máquina. Com este software é possível medir resistências, indutâncias, capacitâncias, diodos, circuitos abertos, curtos de solda e alterar os valores para cada tipo de medição, a partir de uma placa referência, no qual possui todos os componentes em perfeito estado, que geralmente é enviado pelo fornecedor para construir a plataforma, como também para construir o programa de testes da placa.

Depois de o teste ser sucedido à placa segue até a etapa de corte na *Router* (Fresadora) (I), no qual é uma máquina fresadora programada por um técnico que possui uma broca que realiza os cortes no painel de forma precisa e rápida dividindo o mesmo em duas placas, conforme a figura 3.



Figura 3 - Painel contendo duas placas para corte na fresadora.
Fonte: Autores, 2015.

Após o processo de corte, o operador deve passar um ar comprimido na placa para retirar a poeira que gera na hora do corte, este ar comprimido deve ser ionizado para evitar a queima de componentes por energia eletrostática.

Seguindo com o processo, chega-se até a complementação (J), onde a placa estando separada inicia-se a colocação dos últimos componentes e peças tais como: baterias no qual é responsável em alimentar o relógio interno da placa mãe, mais conhecido como RTC (*Real Time Clock* / Relógio de tempo real), realizar solda em alguns componentes de alimentação de circuitos específicos no qual auxiliando diagnóstico de uma placa quando a mesma possui defeito.

Ainda neste posto de complementação também é feito a colocação de adesivos para proteção dos contatos elétricos com relação à carcaça metálica e colada a etiqueta de *MAC Address* (etiqueta que contém os números da identidade da placa para acesso à rede)

Dando sequência à produção, as placas chegam ao setor de teste funcional (K), onde a placa é montada em uma plataforma de testes conforme a figura 4, para garantir o funcionamento completo de uma placa de computador, no qual são testados vários componentes.

Também são testados os barramentos que são soldados em uma placa, mesmo que estes não sejam utilizados na montagem do produto que sai como padrão de fábrica, porém da mesma forma que foi montado, o mesmo deverá ser testado, pois o usuário poderá realizar modificações de melhorias no computador, assim podendo utilizar os barramentos.

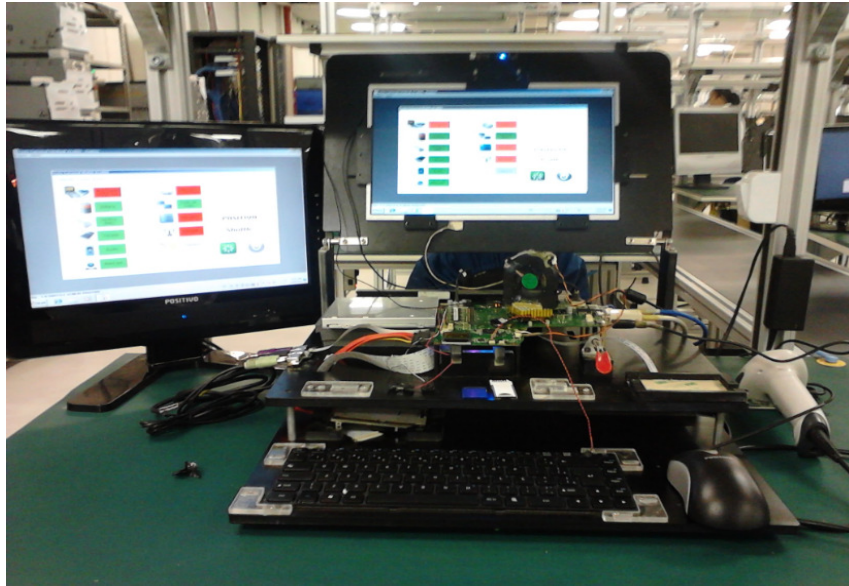


Figura 4 - Plataforma de testes.
Fonte: Autores, 2015.

Após todo o ciclo de testes, através de uma esteira rolante, as placas são transportadas até a o setor de inspeção final (L), composto por funcionários da qualidade, que realizam uma inspeção de toda placa, para evitar o envio da mesma com componentes deixados durante os testes e também para filtrar defeitos que afetam a estética da placa eletrônica de computadores.

E ao lado do setor de inspeção final, fica o setor de embalagem (M), pois com o produto finalizado, o mesmo é registrado no sistema através de seu número de série, assim não podendo ser alterados, pois a alteração dos mesmos consiste no sucateamento ou perda da placa. Após este processo a placa recebe uma embalagem que a protege de descargas elétricas e então é armazenada em lotes de 300 placas em caixas específicas para possíveis localizações e identificações.

No setor de Debug (N), que é quando uma placa é identificada com algum tipo de defeito ou falha em qualquer fase do processo de produção, a mesma é encaminhada para este setor, no qual é responsável em identificar o problema da placa e verificar se não há uma epidemia na linha de produção. Após a identificação do problema a placa pode seguir por dois caminhos, voltar

para a linha de produção ou ir ao setor de reparo. Todas as análises são realizadas por um técnico especializado.

Quando a placa chega ao setor de reparo (O) que é responsável em realizar a troca dos componentes danificados, retirada de curto de solda, reconstruir trilhas que foram rompidas ou falha de fabricação. Toda placa que passa por reparo é registrada para o controle do estado da placa, pois se a mesma passar por este setor mais de quatro vezes a placa deverá ser sucateada e descartada, segunda a determinação da qualidade.

4. METODOLOGIA

No capítulo Metodologia será abordado o método utilizado pela equipe para atingir os objetivos deste trabalho, descrevendo as etapas do estudo e da aplicação da metodologia FMEA na linha de montagem SMT de placas-mãe.

O método utilizado para elaboração da planilha FMEA da montagem de placas-mãe, que é um dos objetivos deste trabalho, foi o estudo de caso. Na figura 5 observa-se o fluxograma do estudo realizado para elaboração do trabalho.

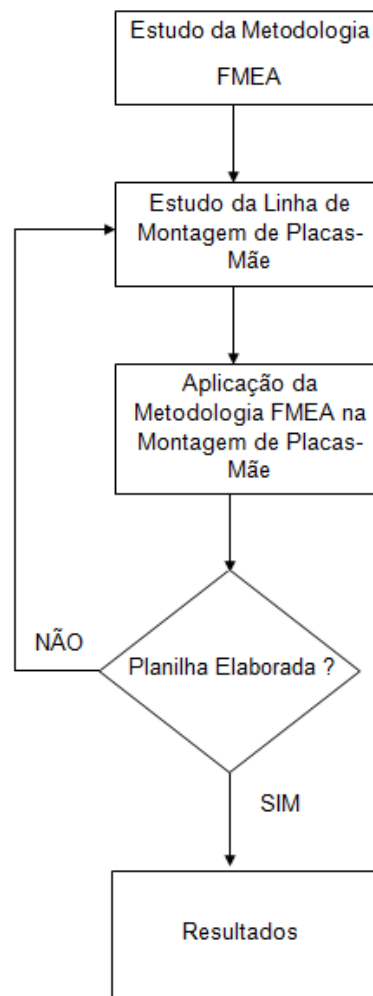


Figura 5 - Fluxograma da metodologia do trabalho.

Fonte: Autores, 2015.

Primeiramente iniciou-se pelo estudo sobre a ferramenta FMEA, buscando referências bibliográficas a respeito do assunto para maior compreensão, assim como, definições importantes para o entendimento desta ferramenta.

Após o estudo da FMEA, passou-se para a análise do processo de montagem de placas-mãe, analisando cada etapa do processo para posteriormente aplicar a metodologia FMEA.

Terminado a análise do processo, iniciou o levantamento dos potenciais modos de falha relacionados às etapas do processo que poderiam ocorrer na montagem da placas-mãe. Os modos de falhas foram levantados pelos integrantes do trabalho dentro das reuniões por meio do *Brainstorming* com os técnicos e líderes de linha seguindo o fluxograma do processo, e pela análise de relatórios de histórico de falhas.

Foram considerados os potenciais modos de falha que poderiam ocorrer relativos aos materiais, componentes e peças, fornecidos pelos fornecedores da empresa, falhas decorrentes as máquinas do processo, à mão de obra e ao método de trabalho. Para cada etapa de montagem, a equipe apontava os potenciais modos de falha que poderiam ocorrer durante o processo de montagem. Na figura 6 é possível visualizar um exemplo de lista dos potenciais modos de falhas.

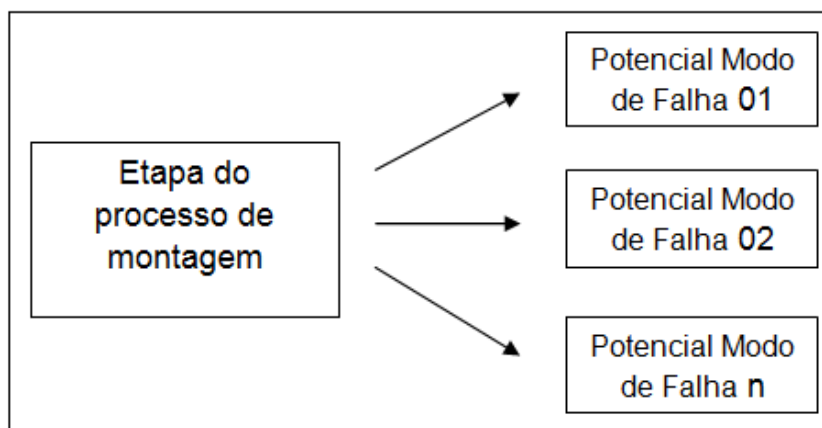


Figura 6 – Exemplo de lista dos potenciais modos de falhas.
Fonte: Autores, 2015.

Com os modos de falha levantados, a equipe começou o processo de identificação dos potenciais efeitos para os modos de falha listados anteriormente, conforme exemplifica a figura 7. Os efeitos para os modos de falha foram preenchidos na planilha de FMEA na coluna ao lado dos respectivos modos de falha.

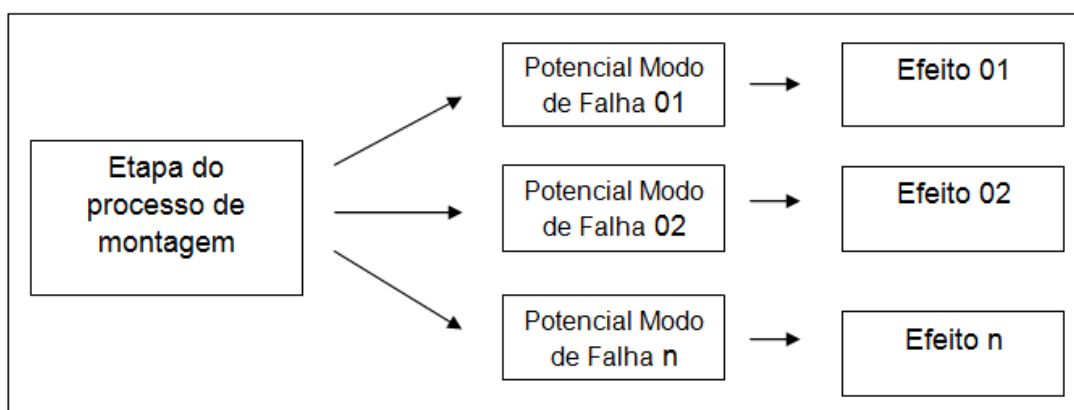


Figura 7 – Exemplo de lista dos efeitos dos modos de falhas.
Fonte: Autores, 2015.

Na sequência a equipe pontuou a severidade, sendo esta baseada no grau do potencial efeito caso a falha ocorresse para o cliente externo ou interno. A pontuação foi baseada em uma tabela de referência com os critérios correspondendo ao grau de severidade para cada efeito. As pontuações dadas

pela equipe foram registradas no formulário na coluna de severidade e a tabela pode ser visualizada no quadro 3.

Quadro 3 - Índice de severidade.

Ranking de SEVERIDADE		Definição da Severidade do Efeito	
Pontuação	Descrição	(Efeito no Cliente)	(Efeito na Manufatura ou na montagem)
		Este ranqueamento resulta quando uma falha em potencia afeta o cliente e/ou manufatura/montagem gerando um defeito. O cliente final também pode ser considerado em primeiro lugar na análise, e se ambos forem afetados utilize a maior das duas severidades.	
10	Falha em atender requisitos de segurança e/ou Requisitos Legais	Modo de falha potencial afeta operação segura do veículo e / ou envolve não-conformidade com a regulamentação do governo, sem aviso prévio.	Pode pôr em perigo operador (máquina ou montagem) sem aviso
9		Modo de falha potencial afeta operação segura do veículo e / ou envolve não-conformidade com a regulamentação do governo com aviso.	Pode pôr em perigo operador (máquina ou montagem) com aviso
8	Perda ou degradação da função primária.	A perda da função primária (veículo inoperável, não afeta operação segura do veículo)	100% do produto pode ter de ser sucata Linha parada ou suspensão das entregas.
7		Degradação da função primária (veículo operável, mas pelo nível reduzido de desempenho).	Uma parte da produção vira scrap. Desvio de processo primário com a redução velocidade linha de produção e/ou uso de mão de obra adicional
6		A perda da função secundária (veículo operável, mas as funções de conforto / conveniência inoperáveis).	100% da produção precisa ser retrabalhada offline para tornar-se aceitável.
5	Perda ou degradação de função secundária	Degradação da função secundária (veículo operável, mas as funções de conforto / conveniência no reduzido nível de desempenho).	Uma parte da produção precisa ser retrabalhada para tornar-se aceitável.
4		Aspecto ou ruído audível, veículo operável, item de não conformidade e notado pela maioria dos clientes (> 75%).	100% da produção corrente precisa ser retrabalhada em um processo produtivo subsequente antes de ser processado.
3	Aborrecimentos que irão impactar o cliente / manufatura.	Aspecto ou ruído audível, veículo operável, inciso não se conforma e notado por muitos clientes (50%).	uma parte da produção corrente precisa ser retrabalhada em um processo produtivo subsequente antes de ser processado.
2		Aspecto ou ruído audível, veículo operável, inciso não se conforma e notado por discriminar clientes (<25%)	Singela inconveniência para operador, processo ou operação.
1	Sem efeito	Defeito não discernível	Defeito não discernível

Fonte: Adaptado de Adaptado de Chrysler LLC (2008).

Para cada potencial modos de falha foram listadas todas as causas possíveis que poderiam resultar neste modo de falha, conforme exemplo na figura 8. Depois de listadas as causas, estas foram preenchidas na coluna de causas da planilha FMEA.

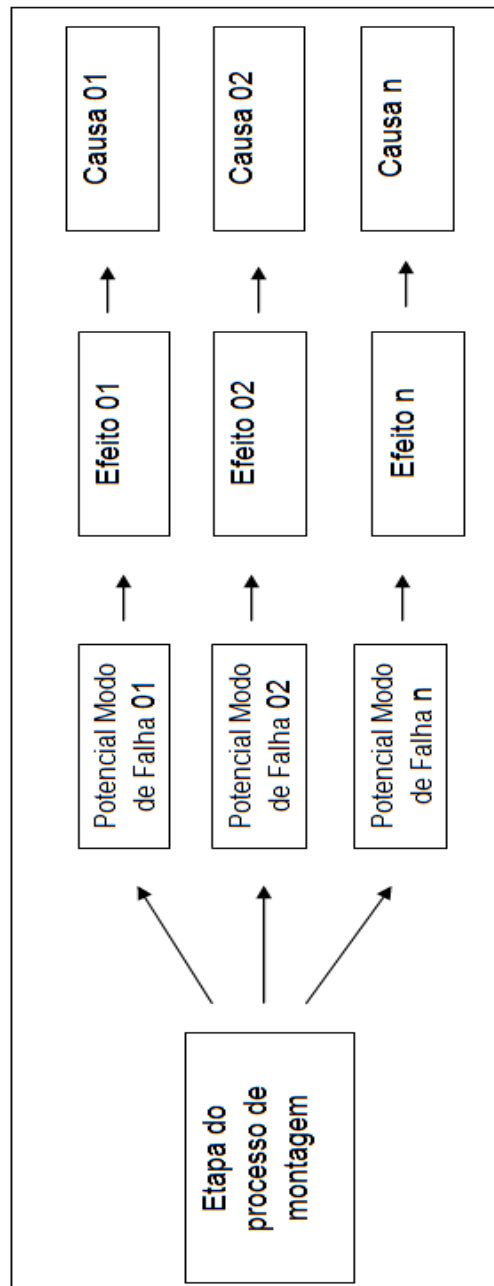


Figura 8 – Exemplo de lista das causas dos modos de falhas.

Fonte: Autores, 2015.

A pontuação para probabilidade de ocorrência foi baseada na pesquisa com o histórico de falhas em processos de montagem. As pontuações de ocorrência foram preenchidas na planilha FMEA na coluna de ocorrência e no quadro 4 é possível visualizá-las.

Quadro 4 - Índice de ocorrência.

Escala de classificação de ocorrência		
Pontuação	Descrição	Índice potencial de falha
10	Muito Alto	≥ 100 em mil ≥ 1 em 10
9	Alto	50 em mil 1 em 20
8		20 em mil 1 em 50
7		10 em mil 1 em 100
6	Moderado	2 em mil 1 em 500
5		0.5 em mil 1 em 2.000
4		0.1 em mil 1 em 10.000
3	Baixo	0.01 em mil 1 em 100.000
2		≤ 0.001 em mil 1 em 1.000.000
1	Muito Baixo	Falha é eliminada através de controles preventivos.

Fonte: Adaptado de Chrysler LLC (2008).

As pontuações para detecção, quadro 5, de cada modo de falha foram dadas conforme os métodos de detecção do processo e preenchidas no formulário.

Quadro 5 - Índice de detecção.

Escala de classificação de Detecção			
Oportunidade de detecção	Probabilidade de Detecção pelo Controle de Processos	Rank	Likelihood of Detection
Sem oportunidade de detecção	Não há processo atual de detecção ; Não pode ser detectado ou não foi analisado.	10	Quase impossível
Difícil de ser detectado em todos os estágios	Modo de falha e/ou causa não é fácil de ser detectada (ex: auditorias amostrais e aleatórias)	9	Muito Remoto
Detecção do problema após processamento ou etapa de processo	Detecção do Modo de falha após o processamento pelo operador através de meios como (visão/tato/audição).	8	Remoto
Detecção do problema na fonte	Detecção do modo de falha em estações cuja o operador utiliza visão/audição ou tato ou após a montagem utiliza um dispositivo passa não passa manual, medição de torque manual, check, etc..)	7	Muito Baixo
Detecção do problema após processamento ou etapa de processo	Detecção do modo de falha após processamento pelo operador com o uso pelo operador de medição de dados variáveis em dispositivo ou na estação com uso de detecção por atributo utilizando ferramenta passa não passa, verificação de torque manual, check list, etc...	6	Baixo
Detecção do problema na fonte	Modo de falha ou causa detectada na estação pelo operador através do uso de instrumento de medição por dados variáveis com controles automáticos que irão detectar um defeito e alertar o operador (luz, alarme, etc.). Medição realizada no setup ou verificação de primeira peça (aplica-se para o set-up apenas).	5	Moderado
Detecção do problema após processamento ou etapa de processo	Detecção do modo de falha após o processamento por controles automatizados que irão detectar uma situação discrepante e segregar a peça para evitar que siga no processo produtivo.	4	Moderado alto
Detecção do problema na fonte	Detecção do modo de falha na estação com controles automatizados que irão detectar discrepâncias e automaticamente travar a peça na estação para prevenir o processamento.	3	Alto
Detecção do erro e/ou prevenção do problema	Falha (causa) detectada na estação por controles automatizados que irão detectar o erro e prevenir que discrepâncias ocorram na peça.	2	Muito Alto
Detecção não aplicada; Prevenção do erro	Falha (causa) prevenida como resultado de design do fixture, máquina ou peça. Peças discrepantes não podem ser feitas pois um dispositivo a prova de erro foi implementado.	1	Quase Certo

Fonte 1: Adaptado de Chrysler LLC (2008).

E por fim, a equipe realizou a classificação do grau de risco representado no quadro 6. O objetivo é organizar o NPR para obter informações de quais os modos de falha que precisam maior atenção e também para a realização posterior de ações de melhoria de forma a diminuir o risco associado a cada uma das falhas.

Quadro 6 - Classificação do grau de risco (NPR).

Número de Prioridade de Risco (NPR)	Grau de Ação
NPR \leq 99 (Risco Baixo)	Devem tomar ações sem grau de urgência.
$100 \leq$ NPR \leq 500 (Risco Moderado)	Devem ser tomadas ações logo que possível.
NPR $>$ 500 (Risco Elevado)	Devem ser tomadas ações imediatas para diminuir o risco.

Fonte: Autores, 2015.

5. APLICAÇÃO DA FMEA NA LINHA DE MONTAGEM DE PLACAS-MÃE

Neste capítulo será apresentada a planilha FMEA elaborada pela equipe.

Na aplicação da metodologia FMEA, a equipe encontrou dificuldades na identificação dos potenciais modos de falha das várias etapas do processo de montagem de placas-mãe, bem como as suas respectivas causas e efeitos. A planilha FMEA demonstra o resultado de um trabalho de *Brainstorming*, efetuado entre a equipe deste trabalho e os funcionários da empresa, e pela análise e discussões do histórico de falhas que ocorreram na linha de montagem.

Em seguida é apresentado o processo macro e micro da planilha desenvolvida pela equipe. Para maiores detalhes, a planilha FMEA encontra-se no apêndice A deste trabalho.

5.1. PROCESSO MACRO

No processo macro, figura 9, é possível visualizar a visão geral do processo de montagem de placas-mãe, sem muitos detalhes.

O processo de montagem de placas-mãe segue uma sequência de etapas, porém possui duas etapas representadas em vermelho que são a de Reparo e Debug. O produto pode ir para estas etapas a qualquer momento do início da montagem das placas-mãe caso ocorra algum erro ou defeito.

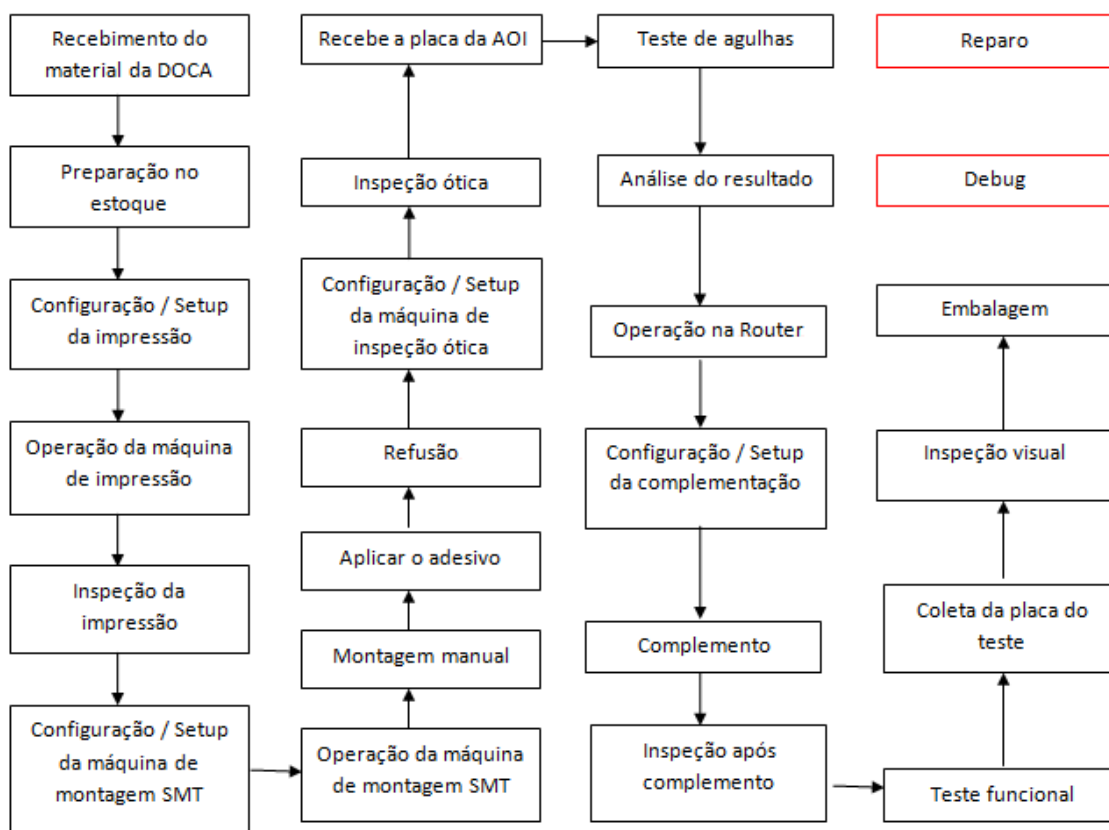


Figura 9 - Fluxograma do processo macro.
Fonte: Autores, 2015.

5.2. PROCESSO MICRO

No processo micro a diferença está que nesta representação é detalhada cada etapa do processo.

Na figura 10 a 15 pode-se observar o fluxograma do processo micro da montagem de placas-mãe elaborado pela equipe para a planilha FMEA e é possível visualizar a diferença entre a representação do processo macro e do processo micro.

- Etapa A – Recebimento do kit de montagem.
- Etapa B – Preparação da ordem de produção.
- Etapa C - Impressão de solda na placa.

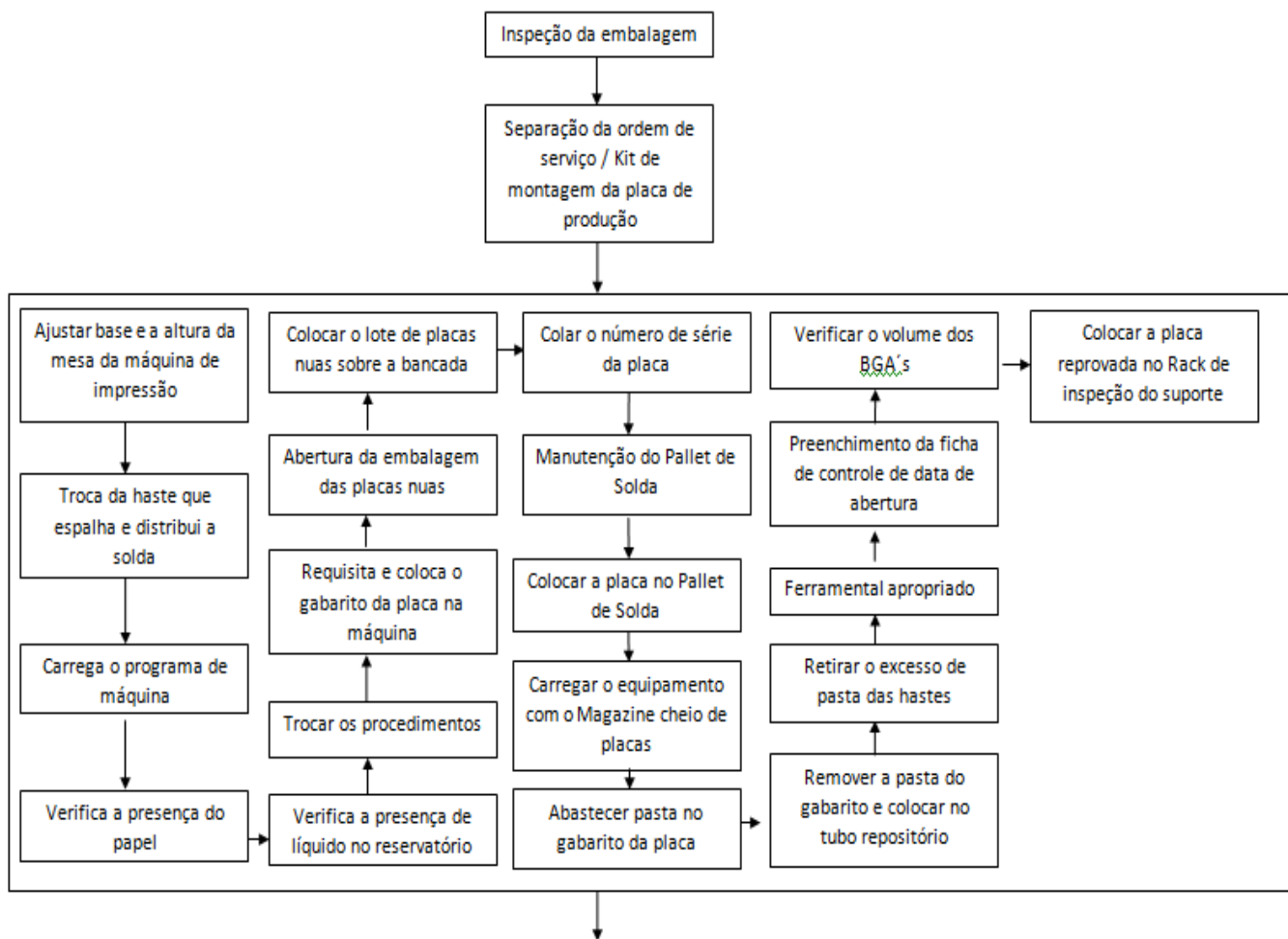


Figura 10 - Fluxograma do processo micro: etapas A, B e C.
Fonte: Autores, 2015.

- Etapa D – Montagem SMT.

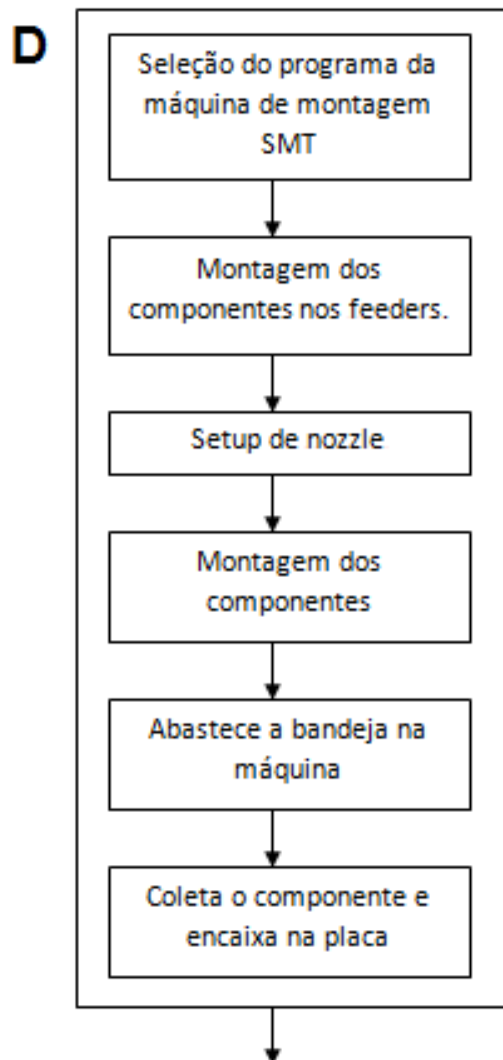


Figura 11 - Fluxograma do processo micro: etapa D.

Fonte: Autores, 2015.

- Etapa E – Aplicação do adesivo PVA.
- Etapa F – Refusão.
- Etapa G – Inspeção Ótica.

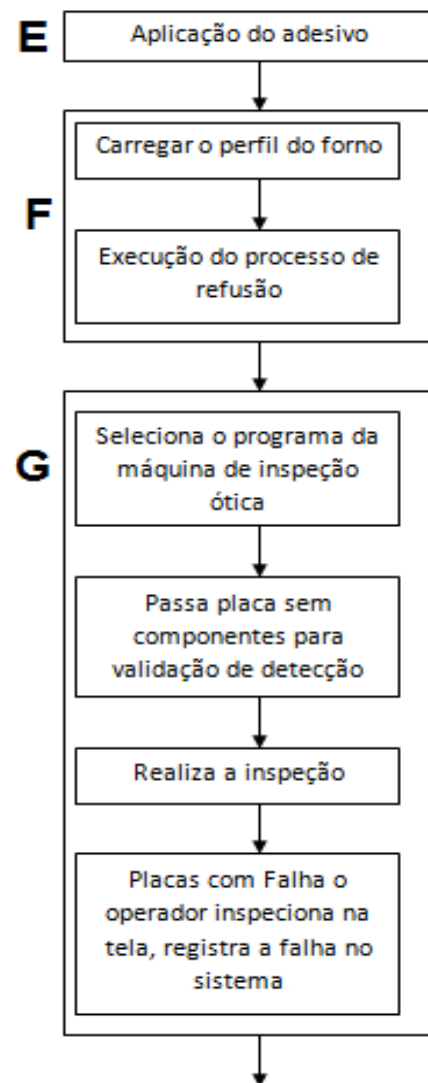


Figura 12 - Fluxograma do processo micro: etapas E, F e G.
Fonte: Autores, 2015.

- Etapa H – Teste por agulhas.
- Etapa I – Corte na Router.

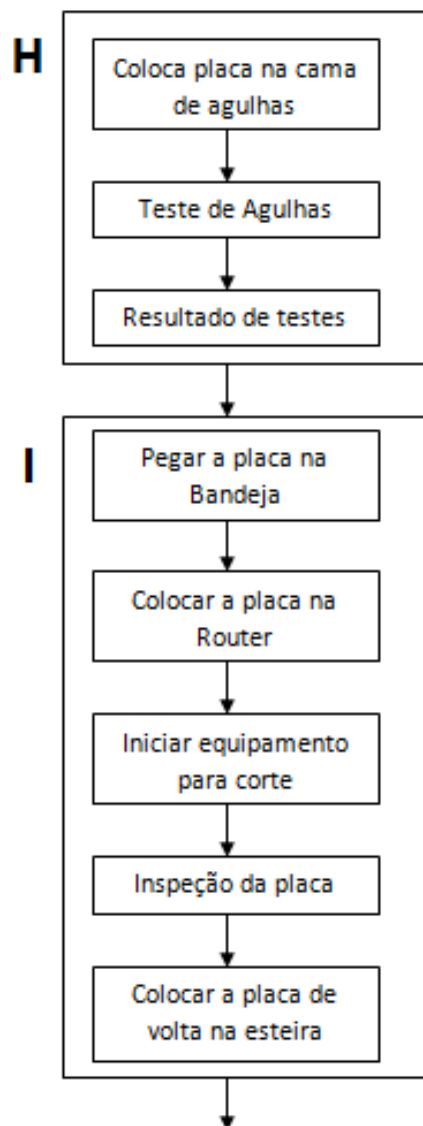


Figura 13 - Fluxograma do processo micro: etapas H e I.
Fonte: Autores, 2015.

- Etapa J – Complementação.

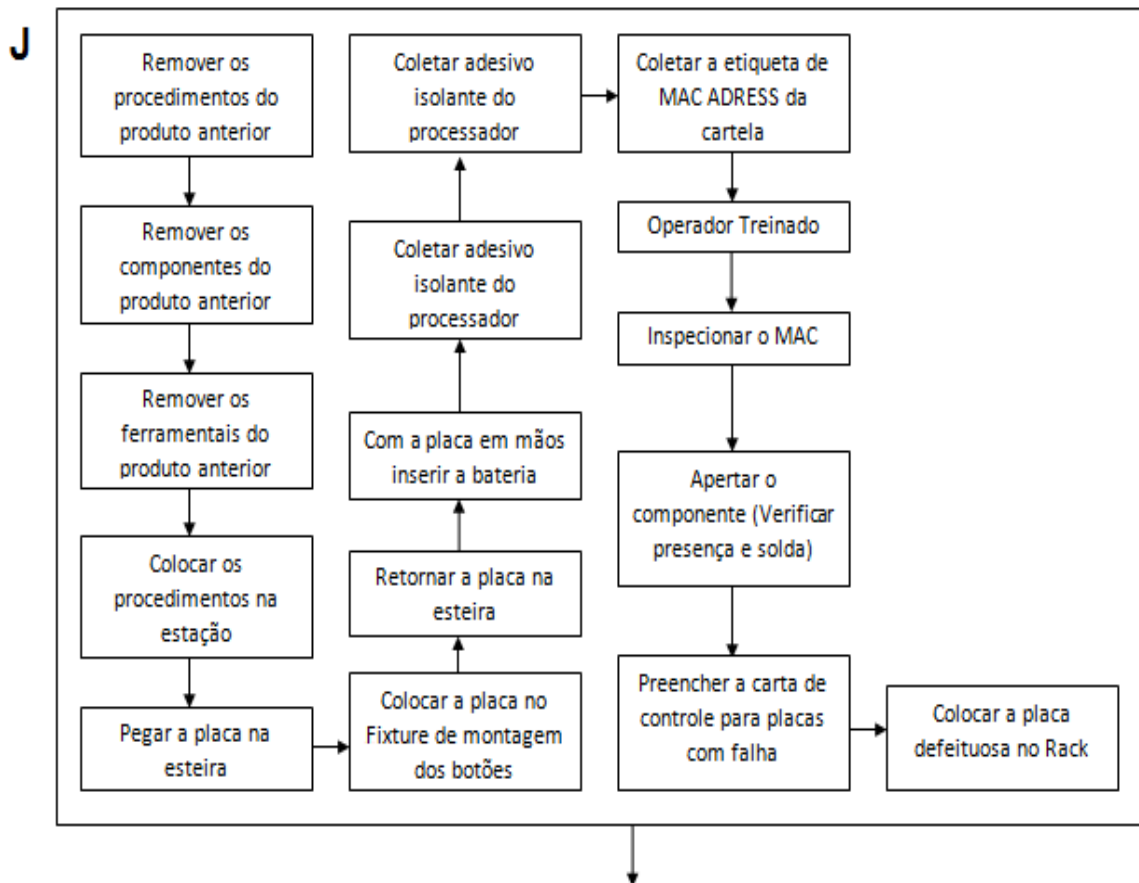


Figura 14 - Fluxograma do processo micro: etapa J.
Fonte: Autores, 2015.

- Etapa K – Teste funcional.
- Etapa L – Inspeção final.
- Etapa M – Embalagem.

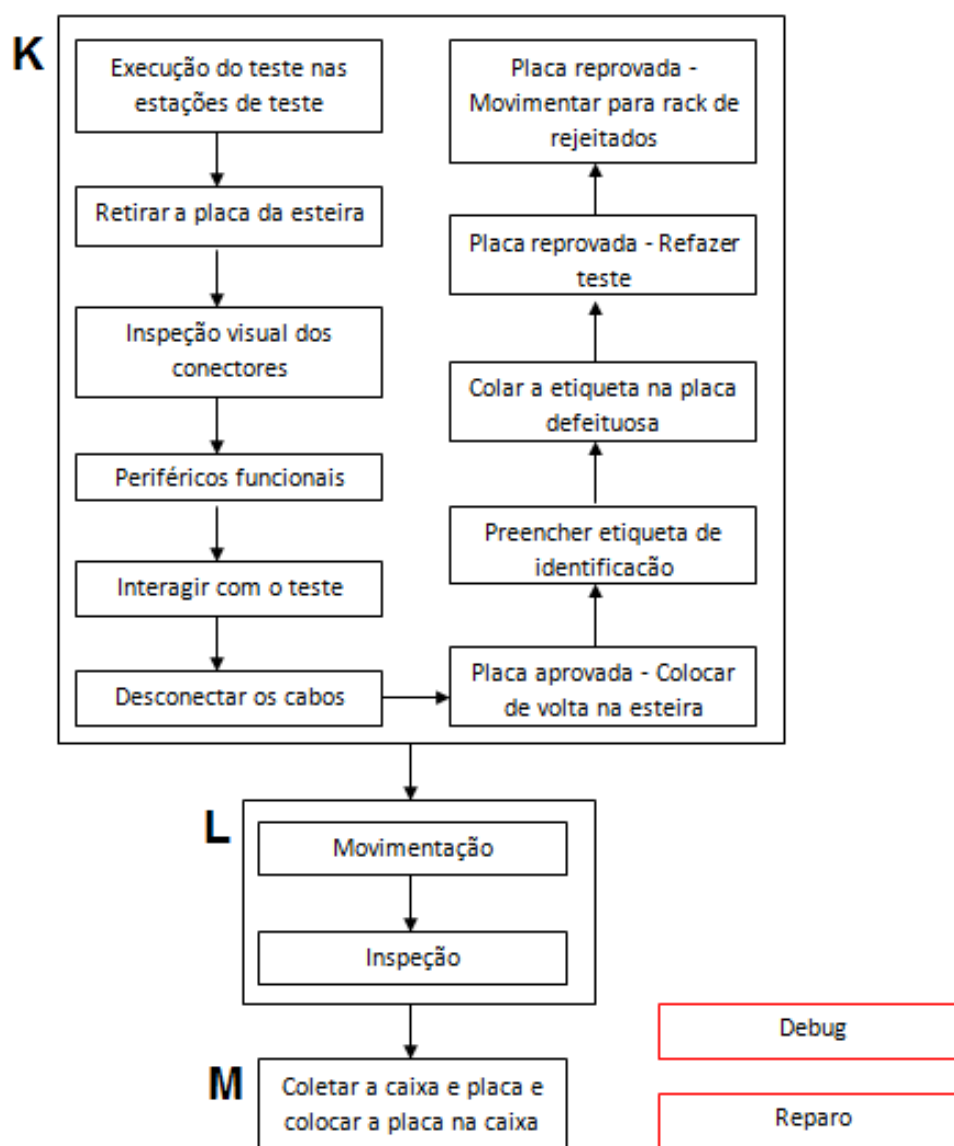


Figura 15 - Fluxograma do processo micro: etapas K, L e M.
Fonte: Autores, 2015.

Encerrado o preenchimento da planilha FMEA, é possível visualizar quais são os potenciais modos de falha mais elevados que necessitam maior atenção para que posteriormente seja realizadas ações de melhoria do processo para diminuir o risco das falhas.

Na planilha FMEA, apêndice A, é possível visualizar os 02 potenciais modos de falhas da linha de montagem SMT de placas-mãe com grau de risco elevado ($NPR \geq 500$).

6. RESULTADOS

Terminado a análise dos modos de falha e seus efeitos e realizado o preenchimento da planilha FMEA da linha de montagem SMT de placas-mãe, em seguida é realizado à análise e interpretação dos resultados obtidos.

Analisando a planilha, pode-se reduzir os resultados no quadro 7 indicando os índices de grau de risco atingidos. Dos 212 potenciais modos de falha, 95 possuem um grau de risco baixo, 115 possuem um grau de risco moderado e 02 possuem um grau de risco elevado.

Quadro 7 - Número de riscos segundo o grau de risco.

Total de Potenciais Modos de Falha	212
Com Risco Baixo	95
Com Risco Moderado	115
Com risco Elevado	02

Fonte: Autores, 2015.

Na figura 16, é possível visualizar as porcentagens de ocorrência segundo o grau de risco, sendo 44.81% com grau de risco baixo, 54.25% com grau de risco moderado e 0.94% com grau de risco elevado do total de riscos.

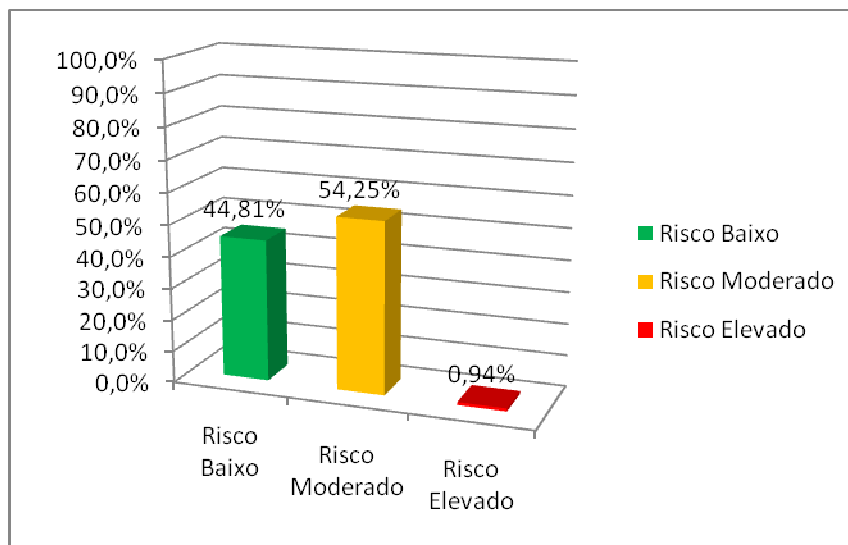


Figura16 - Gráfico de análise do grau de risco.

Fonte: Autores, 2015.

Analisando o quadro 7 e o gráfico da figura 16, conclui que menos de 1% (risco elevado) do total dos riscos relativos aos modos de falha de montagem de placas-mãe irão necessitar de uma ação imediata para diminuir o seu grau de risco.

6.1. AÇÕES PLANEJADAS PARA MELHORIA

Conforme comentado anteriormente, serão sugeridas ações imediatas de melhorias para cada potencial modo de falha com grau de risco elevado. Também serão sugeridas ações para os modos de falha com grau de risco moderado maiores que 300.

No quadro 8 estão os 02 NPR's com grau de risco elevado e o 08 com grau de risco moderado maiores que 300 (NPR>300). Logo abaixo foram sugeridas as ações para melhoria destes potenciais modos de falha.

PARA MELHORIA DO PROCESSO

EFECTOS DA FALHA	SEVERIDADE	CAUSA RAIZ	PREVENÇÃO ATUAL	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO ATUAL	DETECÇÃO	NPR	AÇÕES
Falha de soldagem da placa. Falha funcional da placa. Falha em campo.	8	Operador não treinado. Operador indisciplinado.	Nenhuma	10	Auditoria aleatória semanal da Qualidade	9	720	01
					Falha Cosmética na inspeção pós Reflow e Final	8	640	
					Falha funcional ICT	5	400	
					Falha funcional FCT	5	400	
	Parada de linha por tempo superior a 2 horas por quaisquer motivos.	5	Envio das placas para Dry Box	Auditoria aleatória semanal da Qualidade	9	360		
				Falha Cosmética na inspeção pós Reflow e Final	8	320		
Falha de soldagem da placa. Falha funcional da placa. Falha em campo.	10	Quantidade de pallets insuficiente para ter o tempo de resfriamento.	Incluído no planejamento de aquisição de 20 pallets de solda extras nos números de planejamento saindo do padrão de 40 para 60. Uso de Luvas para alta temperatura.	4	Operador pelo Tato Controle de indicador de Produtividade da linha	8	320	02
Falha funcional da placa Falha de função primária da placa	7	Muita pressão e velocidade baixa	Parâmetros de impressão no procedimento	6	ICT FCT Inspeção visual da solda	8	336	03
Falha de soldagem da placa não funciona Falha em função primária	8	Falta de disciplina por não ter uma rotina de verificação definida e procedimentada no processo de change over.	Nenhuma	6	AOI FCT ICT	8	384	04
Falha de soldagem da placa em função primária / secundária da placa Falha enviada para reparo	7	Carregamento de arquivo incorreto	Verificação do arquivo antes de iniciar a produção.				336	

Ações Planejadas 01:

- Melhorar o controle de exposição do *Rawcard*¹.
- Criar no *check list* de liberação de setup/mudança de produto da linha, a verificação da informação no procedimento e um campo para verificar que o operador está atendendo o requisito determinado no procedimento.
- Implementar controle visual para o limite de placas retiradas da embalagem original. Como por exemplo: Elaborar um suporte em L para ser utilizado na estação de impressão na área de placas com uma identificação em escala em que verde seria a quantidade de placas nuas abertas na estação dentro do permitido e a cor vermelha seria a quantidade que excede de *Rawcard* abertas na estação.
- Registrar o tempo de exposição pelo uso de etiqueta de controle no *Rawcard*, preenchimento da hora de abertura e hora de envio para *Dry Box*², que é o armário de armazenamento de componentes com risco de oxidação, onde o mesmo é ligado na tomada para manter o seu interior com o mínimo de umidade). Este podendo ser em madeira ou metal (chapa dobrada) desde que validado pelo time de controle ESD (*Electrostatic Discharge* - Descarga de eletrostática).

Ações planejadas 02:

- Validar a quantidade de pallets³ necessário para atender o requisito de tempo de resfriamento e Rate⁴ da linha.
- Revisar as proteções individuais para evitar queimadura do operador.

¹ *Rawcard*: É a placa nua, com o cobre exposto e sem os componentes.

² *Dry Box*: Armário para colocar componentes para manter os mesmos sem umidade para evitar a oxidação.

³ *Pallet*: É um estrado de madeira ou metal para cuja função é viabilizar a otimização do transporte de cargas/peças. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Palete>. Acesso: 17 de dezembro de 2015.

⁴ *Rate*: Velocidade do processo.

- Implementar produtos que não requeiram o uso de pallets de solda, através do uso de aletas.

Ações planejadas 03:

- Realizar estudo de capacidade⁵ de impressão de pasta de solda.
- Implementar o uso de controle estatístico de processo na estação de inspeção de pasta de solda SPI.

Ações planejadas 04:

- Implementação de *check list* de *Change Over*⁶ / mudança de *setup*, com a verificação da correta seleção do programa e não inicialização da produção sem confirmação que a *Profile*⁷ foi passada no forno.

⁵ *Capabilidade: Conjunto de capacidade de um equipamento. Disponível em: <http://www.dicionarioinformal.com.br/significado/capabilidade/17217/>. Acesso: 17 de dezembro de 2015.*

⁶ *Change Over: Quando ocorre alguma modificação na Linha de Produção.*

⁷ *Profile: Resultado do perfil do forno.*

7. CONCLUSÃO

O trabalho buscou demonstrar as etapas para a montagem de uma planilha FMEA do processo de fabricação de uma placa-mãe. Para realizar esta montagem foi necessário concluir o estudo da ferramenta FMEA e a análise do processo de montagem de uma placa-mãe por completo. Houve muita dificuldade da equipe em compreender o processo, devido às informações serem restritas e burocráticas.

Apesar das dificuldades no desenvolvimento do presente trabalho, os objetivos propostos inicialmente foram alcançados. Pode-se concluir através do estudo desenvolvido, que a aplicação da ferramenta FMEA é uma atividade exigente e também leva a equipe participante a adquirir um conhecimento mais detalhado sobre cada componente que faz parte do processo. Este conhecimento torna-se bastante útil para a eliminação dos modos de falha. Também a utilização desta ferramenta ajuda para a implementação de ações de melhoria com vista a diminuir o risco associado a cada modo de falha.

A respeito do processo de montagem de placas-mãe que foi o objeto de estudo do trabalho, foi possível concluir através da FMEA que os graus de risco dos modos de falha apresentam-se com grau moderado ou baixo, 115 e 95 respectivamente. E apenas 02 apresentam um grau de risco elevado, o que prova a robustez e confiabilidade do processo de montagem de placas-mãe.

As sugestões contidas neste trabalho podem contribuir com a melhoria contínua em uma fábrica de placas-mãe.

7.1 TRABALHOS FUTUROS

Como foram sugeridas ações para a melhoria do processo e estas não foram aplicadas, surge à idéia para haver a continuidade deste trabalho, para que se possa comprovar se a FMEA é uma opção para garantir a qualidade, confiabilidade e segurança do processo de montagem de placas-mãe.

Seria interessante que trabalhos futuros utilizassem o modelo proposto e aplicassem na prática as ações planejadas sugeridas neste trabalho. Também sugerir ações para os outros potenciais modos de falha para melhoria do processo por completo, sempre buscando a melhoria contínua. E assim poder-se-ia verificar se a ferramenta FMEA é mesmo eficaz.

REFERÊNCIAS

Chrysler LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation. **Potential Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Reference Manual, 4th Edition.** 2008.

FILHO, Gil Branco. **Dicionário de Termos de Manutenção, Confiabilidade e Qualidade.** Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda. 2004.

GONÇALVES, P. R. **Aplicação da FMEA no desenvolvimento de novos produtos.** Universidade de Aveiro. 2010.

HAQ, J., & LIPOL, L. S. **Risk analysis method: FMEA/FMECA in the organizations.** IJBAS/IJENS, 74-82. 2011.

HERPICH, C., & FOGLIATTO, F. S. **Aplicação de FMECA para definição de estratégias de manutenção em um sistema de controle e instrumentação de turbogeradores.** Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, 70-88. 2013.

MANUAIS DA QS 9000. **Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA):** Manual de Referência. 1997.

MARTINS PEDROSA, B. M. **Análise dos modos de falha e seus efeitos (fmea) aplicada a um secador industrial.** Trabalho (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Departamental de Engenharia Mecânica. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2014.

MOURA, C. **Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)** Manual de Referência SAE J-1739. ASQC. 2000.

NBR 5462 - **Confiabilidade e Manutenibilidade.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas– ABNT. 1994. p. 37.

PALADY, P. **FMEA: Análises dos Modos de Falhas e Efeitos;** São Paulo, IMAM, 1997.

SAE SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS - SAE J1739, **Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA).**

SAKURADA, E.Y. **As técnicas de Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos.** Programa de Pós-graduação em Eng. Mecânica, UFSC, 2001. Dissertação de Mestrado.

SANTOS, A. C. (2011). **Análise dos modos de falhas no desenvolvimento de novos produtos de SVA: Uma abordagem para a indústria de telecomunicações.** Faculdade de Economia Universidade de Coimbra.

SEBRAE. (2005). **Manual de ferramentas de qualidade**. Disponível em: <http://www.dequi.eel.usp.br/~barcza/FerramentasDaQualidadeSEBRAE.pdf>. Acesso em 29 de julho de 2015.

TOLEDO, J. C.; AMARAL, D. C. **FMEA – Análise do tipo e efeito de falha**. Grupo de Estudo e Pesquisa em Qualidade, Universidade Federal de São Carlos. Disponível em: < <http://www.gepeq.dep.ufscar.br/arquivos/FMEA-APOSTILA.pdf> > Acesso em: 06 de julho de 2015.

Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA)

Local:
Unidade de negócio
Número do FMEA #:

Fabricação de Placas-Mãe.

Equipe FMEA: Erik Ryuji Murakami; Guilherme Martins Lopes; Luiz Fernando Bauer.

Etapa #	Na. Processo Macro	Etapa do Processo (Função/Movimentação)	Requisito	Potencial modo de falha ou defeito	Potenciais efeitos da Falha	SEV	Causa Raiz em potencial (Mecanismo de falha)	Processo de controle corrente			RPN											
								Prevenção Atual	OCC	Deteção Atual		DET										
Recebimento do Kit de montagem	Recebimento do Material na DOCA	Inspeção embalagem	Caixa Amassada, molhada, aberta.	Componente quebrado. Terminal amassado. Componente oxidado. Componente molhado.	Falha funcional, falha mecânica, Rejeição cosmética	4	Fornecedor enviando material danificado.	Protocolo logístico entregue para o fornecedor.	4	Inspeção da caixa no recebimento do lote.	8	128										
							Manuseio inadequado nos aduaneiros	Na	2													
							Manuseio inadequado da transportadora	Na														
							Manuseio inadequado no recebimento	Treinamento dos operadores de recebimento				64										
Preparação da Ordem de Produção	Preparação no estoque	Separação da Ordem de Produção / Kit de montagem da placa para produção	Part Number em conformidade com B.O.M.	Part Number incorreto.	Falta de Material para Produção	2	Não há plano de reação com verificação antecipada dos itens	Leitura 100% do lote em estoque	1	Verificação na separação da ordem	3	6										
			Quantidade correta	Divergência de Inventário			Falha do Fornecedor.	Protocolo logístico entregue para o fornecedor.	2	Verificação na separação da ordem	3	12										
			Embalagem adequada com os Controles para componentes sensíveis (MSD).	Rejeição do Lote	Falha elétrica, delaminação da placa ou componente.	Fornecedor enviando quantidade superior ou inferior ao comprado	Protocolo logístico entregue para o fornecedor.	2	Verificação na separação da ordem	3	12											
				Rejeição do Lote		Fornecedor enviou fora do especificado	Protocolo logístico entregue para o fornecedor.	2	Verificação na separação da ordem	3	12											
			Em conformidade com ROHS	Componente Thin Lead (solda com chumbo)	Queima do componente. Placa não funciona.	Falha elétrica do componente Placa não funciona.	Danificada durante movimentação no transporte (Embalagem imprópria)	7	Fornecedor deve seguir a carta de recomendações Logística da Positivo	3	Verificação da embalagem na separação da Ordem	8	168									
														Rejeição do Lote	Falta de Material para Produção	2	Erro de seleção da peça pelo fornecedor	Fornecedor envia a carta de conformidade com ROHS.	3	Na	8	48
																7	Fornecedor enviou fora do especificado	Fornecedor envia a carta de conformidade com ROHS.	2	NPI há análise laboratorial da solda. Auditorias Internas - ROHS	9	126
		Ajustar Base e altura da Mesa	Posição correta da base da impressora com correto alinhamento com a placa	Excesso de solda	Curto de solda. Placa não funcional. Computador com perda de função secundária.	5	Base não alinhada com a placa posicionada para baixo.	Inspeção visual pelo técnico de processos. Placa de validação de linha (Lote Piloto)	7	Inspeção da placa na máquina de inspeção	4	140										
				Danificar o gabarito	Parada da produção. Sucateamento do stencil.								2	Base não alinhada com a placa posicionada para cima.	3	24						
				Falta de solda	Insuficiência de solda, Placa não funcional. Perda de resistência mecânica de peças. Falha intermitente Primária												7	Base não alinhada com a placa posicionada para cima ou para baixo.	5	5 Placas da corrida Piloto	4	140
				Casamento correto com o Dimensional do painel	Deformação do gabarito	Excesso de solda Insuficiência de Solda Deformação de Solda Placa com curto Falha funcional Descarte do gabarito Parada de produção	Insuficiência de solda nas extremidades	Rejeição na máquina de inspeção de solda, Placa não funcional.	5	Falta de lâmina.	Controle de Spare de Manutenção	3	Verificação visual do comprimento da Lâmina em conformidade com o procedimento.	7	105							
							Pasta seca em menor tempo	Entupir o gabarito Danificar o Stencil								2	Limpeza a cada 2 horas	3	Verificação na máquina que inspeciona solda	7	42	
											7	Uso de Lâmina maior que o recomendado por falta de lâmina.	Consta no procedimento a informação do comprimento que deve ser utilizado por placa.	3	Inspeção da placa na máquina de inspeção	8	168					
									Uso de Lâmina maior que o recomendado por especificação incorreta.	Consta no procedimento a informação do comprimento que deve ser utilizado por placa.												

Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA)

Local:
Unidade de negócio
Número do FMEA #:

Fabricação de Placas-Mãe.

Equipe FMEA: Erik Ryuji Murakami; Guilherme Martins Lopes; Luiz Fernando Bauer.

Na.							Processo de controle corrente							
	Requisita e coloca o gabarito da placa na máquina	Correta numeração conforme procedimento	Colocar o gabarito de uma versão anterior.	Falhas/melhorias de impressão que foram solucionadas irão voltar a ocorrer. Queda de performance de Qualidade (Yield).	5	Falta de atenção ou operador não treinado faz solicitação do número incorreto.	Lista de revisão de stencil ativos e obsoletos disponível na área de armazenagem de stencil	3	Alteração de PN é detectada Visualmente pelo auxiliar de almoxarifado ao separar o material e comparar com BOM Vs Invoice.	8	48			
								3	Inspeção SPI	4	60			
									Inspeção Visual	8	120			
									Teste ICT	5	75			
									Teste FCT	5	75			
									Auditoria aleatória semanal da qualidade.	9	135			
								3	Almoxarifado de ferramental não consegue localizar a ferramenta sem a numeração.	1	15			
								3	Visual pelo operador durante o processo de montagem.	8	120			
									Auditoria aleatório semanal da Qualidade	9	135			
									Colocar o gabarito de outro produto.	Máquina não Lê ponto de referência da placa Linha parada	2	Falta de atenção ou operador não treinado faz solicitação do número incorreto.	2	Lista de revisão de stencil ativos e obsoletos disponível na área de armazenagem de stencil
1	Visual pelo operador durante o processo de montagem.	8	16											
	Auditoria aleatório semanal da Qualidade	9	18											
2	Falha no processo de separação do KIT	Realização de Leitura com Scanner do Part number do fornecedor para gerar o Part number da Positivo.	1		1	2								
			3	Máquina não reconhece o fiducial.		6								
			3			6								
	Operador não treinado coletou as placas da linha ao lado, pois achou que o produto era similar.	Uso de Número de série com cor diferente para linhas diferentes.	3			6								
	Erro de identificação do fornecedor (PN externo na etiqueta correto, placa física com PN incorreto)	Treinamento operacional	3			6								
	Na	Na	3			6								
	Embalagem lacrada , Controle de umidade (silica gel e tag)	Rejeição do lote com referência ao cartão de controle de umidade.	Parada de Linha. Envio da placa para Backing Reprovação do lote de placas.	2	Falha no processo de empacotamento do fornecedor	Carta de recomendação / procedimentos logísticos.	3							
							3	FCT/ICT	5	30				
							3	Visual no almoxarifado no processo de conferência	8	48				
							8	Dano causado durante o processo de transporte (embalagem mal especificada)	Carta de recomendação / procedimentos logísticos.	2	Visual na Linha pelo operador	8	128	
											Visual no almoxarifado no processo de conferência			
										2	Visual na Linha pelo operador	8	128	
	Oxidação da placa	Falha cosmética Falha funcional Scrap da Placa Falha em campo	8	Manuseio interno inapropriado.	Treinamento operacional para manuseio de produtos sensíveis à umidade.	2	Visual na Linha pelo operador	8	128					

Impressão de solda na placa

Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA)

Local:
Unidade de negócio
Número do FMEA #:

Fabricação de Placas-Mãe.

Equipe FMEA: Erik Ryuji Murakami; Guilherme Martins Lopes; Luiz Fernando Bauer.

Na.	Abertura da embalagem das placas nuas	Ter 1 hora de placas em Buffer preparadas para impressão.	Ter mais placas que o determinado para uso fora da embalagem original.	Delaminação da placa Falha funcional da placa Falha em campo	8	Operador não treinado, Operador indisciplinado,	Processo de controle corrente			9	720																																													
							Na	10	Auditoria aleatória semanal da Qualidade																																															
Impressão - Operação da Máquina	Colocar o lote de placas nua sobre a bancada	Bancada sem contaminação	Contaminação da placa por impureza	Não solda Falha Funcional Falha em função primária	7	Local comum para manuseio dos produtos contaminantes e manuseio da placa.	Limpeza da placa com pano que não deixa resíduo.	4	SPI ICT FCT	4	112																																													
												Danificar o gabarito Entupir o gabarito	3	Impureza pretuberante ficou presa na placa e ao entrar em contato com o stencil no processo de impressão causa o dano.	4	SPI ICT FCT	4	48																																						
																			3	Falta de Solda por obstrução do furo de deposição de pasta. Falha na máquina de inspeção de solda	3	SPI Inspeção Visual pós Reflow e Final	4	16																																
																									2	Erro do operador por falta de Qualificação.	Na	2	16																											
																														3	Falha na instrução de trabalho especificando o local para colar a etiqueta.	Instrução de trabalho atual determina o local onde colar a etiqueta.	3	36																						
																																			8	Parada de linha por tempo superior à 2 hora por quaisquer motivos.	Envio das placas para Dry Box	5	Auditoria aleatório semanal da Qualidade	9	360															
																																										8	Falha de informação no procedimento.	Na	3	Operador nota que não informação e requisita para engenharia de processos.	8	192								
																																																	5	Falha funcional FCT	5	400				
																																																					5	Falha funcional ICT	5	400
5	Falha funcional ICT	5	200																																																					
				5	Falha funcional FCT	5	200																																																	
								4	Falha funcional FCT	4	112																																													

Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA)

Local:
Unidade de negócio
Número do FMEA #:

Fabricação de Placas-Mãe.

Equipe FMEA: Erik Ryuji Murakami; Guilherme Martins Lopes; Luiz Fernando Bauer.

Na.	Local e número de série da placa	Correta posição	Colar fora da posição				Processo de controle corrente				
				Curto de solda. Aumenta o volume de pasta depositada se próxima a algum componente crítico. Falha funcional da placa	5	Instrução de trabalho não especifica a forma (método e ferramental) corretos e a tolerância aceitável.	Na	3	Router ICT FCT OBA		60
	Manutenção do Pallet de Solda	Estar Plano.	Pallet empenado	Distribuição desigual da pasta de solda. Curto de solda, Insuficiência de solda, Falta de componente, Componente deslocado, Queda da placa Falha Funcional Falha do produto nas funções primárias.	7	Problema de fornecimento de ferramental onde os pallets estão com empenamento, com rebarbas, falta de abertura, pinos de fixação soltos. Desgaste natural do Pallet. Queda das travas, empenamento no forno, fita kapton descolando.	Verificação/Validação Visual do ferramental na etapa de NPI. - Rebarbas - Nivelamento da superfície	6	SPI AOI ICT FCT Inspeção Visual Final	4	168
							Na	8	OBA Operacional com detecção visual no momento da		224
	Colocar a placa no Palet de Solda	Estar em temperatura ambiente	Pallet estar em temperatura elevada acima de > 36º	Queimar a mão do operador	10	Quantidade de pallets insuficiente para ter o tempo de resfriamento.	Incluído no planejamento de aquisição de 20 pallets de solda extra nos números de planejamento saindo do padrão de 40 para 60. Uso de Luvas para alta temperatura.	4	Operador pelo Tato Controle de indicador de Produtividade da linha	8	320
			Danificar o gabarito (ondulação)	Falha de solda Insuficiência, Curto de solda Parada da linha Falha funcional	7	Falta de ferramental para resfriamento forçado.	Na	4	SPI ICT FCT Inspeção Visual Final AOI OBA	4	112
	carragar o equipamento com o magazine cheio de placas	Correto alinhamento do magazine e das placas	Carregamento incorreto	Falha de leitura de fiducial	2	Operador não qualificado. Erro ao posicionar a placa dentro do magazine.	Treinamento operacional on the JOB	3	Máquina rejeita ao realizar a leitura de fiducial.	1	6
	Abastecer pasta no gabarito da placa	Volume adequado, Local Adequado	Insuficiência de solda. Excesso de Solda.	Rejeição na Máquina de inspeção de solda. Placa não funcional. Falta de componente. Componente Deslocado. Perda de sua função primária em campo.	7	Falta de informação no procedimento.	Na	4	SPI Inspeção visual de Solda (AOI). ICT FCT OBA	4	112
	Remover a pasta do gabarito e colocar no tubo repositório	Pasta dentro do periodo de validade	Uso de pasta com validade expirada	Má formação do intermetálico Falha funcional Falha intermitente	7	Falta de identificação da data de expiração da pasta do tubo transitório	Identificação do prazo de validade no tubo original	3	Inspeção visual da solda 100% das placas Teste ICT	5	105
	Retirar o excesso de pasta das hastes	Haste sem pasta	Haste com pasta de solda	Mesa contaminada com resíduo de pasta Problema de vácuo da base por entupimento Variação de altura da placa pela presença de pasta no lado de baixo da placa Curto de solda em vias de teste no lado de baixo da placa	5	Operador não qualificado, não segue as etapas descritas no procedimento.	Manutenção Produtiva, operador realiza a limpeza interna da máquina 1 vez por turno.	6	SPI Inspeção visual de Solda (AOI). ICT FCT OBA	4	120

Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA)

Local:
Unidade de negócio
Número do FMEA #:

Fabricação de Placas-Mãe.

Equipe FMEA: Erik Ryuji Murakami; Guilherme Martins Lopes; Luiz Fernando Bauer.

Na.						Processo de controle corrente								
	Ferramental apropriado	Espátula	Espátula em local inapropriado	Pressar a espátula no módulo de buffer	2	Falta de especificação no procedimento do locais definidos para colocar os ferramentais em uso.	Na	3	Na	10	60			
Inspeção da Impressão	Preenchimento da ficha de controle de data de abertura	Colocar data de abertura, Hora e data de expiração	Não preencher as informações de abertura e expiração	Uso de pasta vencida. Falha funcional Perda de função primária da placa	8	Operador não qualificado, não segue as etapas descritas no procedimento.	Etiqueta já vem impressa no Tubo.	3	SPI FCT ICT	5	120			
	Verificar o volume dos BGA's	Volume Excesso 160War - 180Fail Falta 35War - 15Fail Altura de pasta Excesso 229War - 249Fail Falta 70War - 50Fail	Curto de Solda Insuficiência de solda Perda de propriedade mecânica da Solda Falta de solda (Open)	Falha funcional da placa Perda de função primária da placa	7	Pouca pressão e velocidade alta Muita pressão e velocidade baixa Muita pressão e velocidade baixa	Parâmetros de impressão no procedimento	6	ICT FCT Inspeção visual da solda	4	168			
												6	4	168
												6	8	336
												5	4	140
	Colocar a placa reprovada no Rack de inspeção do suporte	Rack deve estar antes da máquina de Inspeção de solda	Enviar placa reprovada para próxima estação (Máquina de montagem SMT)	Falha funcional da placa Perda de função primária da placa	7	Falta de informação no procedimento e não execução do treinamento ao operador.	Na	6	Inspeção visual AOI ICT FCT	5	210			
	Máquina de montagem SMT - Configuração / Set up	Seleção do programa da máquina.	Selecionar o programa na versão correta	Programa em versão anterior	Não montar componente incluído na nova Revisão Montar componente removido da Revisão Uso de peça com Part Number incorreto Erro de Codificação da máquina que controla descrição de componente	8	Duas versões de um programa na máquina	Leitura de componentes no Fujiflexa Uso de apenas 1 versão de programa nas máquinas.	2	Auditoria aleatória amostral da qualidade. Corrida Piloto de Liberação de linha (Teste ICT/FCT)	5	80		
		Montagem dos componentes nos feeders.	Part Number em conformidade com a posição na máquina e com	Abastecimento de um Part Number em posição incorreta na máquina	Mensagem de Erro na máquina de descrição de componente Falha funcional Queda de função primária da placa	8	Falta de atenção do operador em não seguir o procedimento de sequenciamento de troca do Fujitrax	Sistema de leitura Fujitrax permite a troca de 1 componente por vez.	2	Sistema de leitura fujiflexa AOI ICT	3	48		
		Set up de nozzle	Erro de seleção do nozzle	Máquina de montagem SMT não inicia e aponta erro.		8	Erro operacional	Na	2	Máquina não monta NXT trava e não permite montagem.	2	32		
	Monta os componentes	Montar centralizado Montar os componentes	Componente desalinhado Componente faltando	Falha funcional Falha cosmética Falha em função primária da Placa	8	Falta de calibração da Máquina	Máquina se auto calibra com frequência determinada. PAM em caso de movimentação de maquinário	8	AOI FCT ICT	4	256			
Feeder perde a calibração ou						Calibração de Feeder em	8	Nxt para a montagem caso	1	64				
Falta de calibração de Cabeça de máquina						Calibração mensal nas manutenções preventivas.	8	AOI FCT ICT	4	256				
Filtros sujo da cabeça (preventiva mal executada ou não executada).						Manutenção preventiva. Limpeza dos filtros em frequência mensal	8	AOI FCT ICT Erro de Pick up	4	256				
Válvula mecânica da cabeça (gera vácuo) travando ou solta.						Manutenção preventiva Semestral.	8	AOI FCT ICT Erro de Pick up	4	256				
Material fora de especificação						Na	8	AOI FCT ICT Erro de Pick up	3	192				
Material alternate com dimensões diferentes						Na	8	AOI FCT ICT	3	192				

Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA)

Local:
Unidade de negócio
Número do FMEA #:

Fabricação de Placas-Mãe.

Equipe FMEA: Erik Ryuji Murakami; Guilherme Martins Lopes; Luiz Fernando Bauer.

Montagem SMT	Na. máquina de montagem SMT - Fase de montagem					Processo de controle corrente						
						8	Nozzle sujo	Limpeza externa diária	8	Erro de Pick up	3	192
						8	Nozzle danificado	Inspeção em todo o setup	8	Erro de Pick up	1	64
						8	Shape (vision, velocidade, dimensional)	Na	8	AOI FCT ICT Erro de Pick up	3	192
						8	Light unit sujo.	Manutenção preventiva Semestral.	8	AOI FCT ICT Erro de Pick up Vision Error	3	192
	Abastece a bandeja na máquina	Polaridade correta da bandeja	Componente com polaridade invertida	Falha na máquina de inspeção automatizada Falha na plataforma de agulhas Falha no teste funcional Falha na inspeção visual		7	Componente simétrico, cuja a bandeja veio invertida do fornecedor	Componente não simétrico é inspecionado na máquina.	3	AOI FCT ICT	4	84
					7	Componente simétrico, cuja a bandeja foi invertida pelo operador por falta de instrução de trabalho	Componente simétrico com alguma marca poderá ser	3	AOI FCT ICT	4	84	
		Componentes não estar misturado com outros Part Number	Falha no funcional Falha na AOI	Retrabalha a placa Scrap dos componentes Possível parada de linha.		7	Operador inexperiente ou sem treinamento.	Na	3	AOI FCT ICT	4	84
		Manuseio com cuidado.	Terminal levantado	Falha funcional da placa Perda de função primária da placa		8	Manuseio inadequado pela operação.	Re-inspeção de todas as peças que retornam da caixa de rejeito	3	NXT AOI FCT	4	96
						8	Peça danificada pelo fornecedor	Na	3	NXT AOI FCT	4	96
	Montagem manual	Componente correto	Usar o componente errado. Pinos não encaixam USB2.0 na Posição do USB 3.0	Rejeição no teste funcional		5	Abatecimento errado	No estoque há a leitura de 100% das embalagens para	2	ICT FCT	5	50
					5	Mistura de peças na mesma bandeja/caixa/bin por falta de	Na	2	ICT FCT	5	50	
					5	Placa de retrabalho	Na	2	ICT FCT	5	50	
		Coleta o componente e encaixa na placa	Componente levantado Pino torto	Falha visual Falha funcional Falha visual ou de conexão na área de Hardware Bateria com falha em campo por não ser testada		8	Operador não pressionou o conector até que fosse encaixado por completo por falta de habilidade.	Na	7	Inspeção AOI ICT FCT	5	280
					5	Fornecedor fornece em bandeja, quando poderia ser em rolo.	Na	7	Inspeção AOI ICT FCT	5	175	
		Correto posicionamento.	Esbarrar na solda	Curto de solda Falta de solda Componente deslocado Falha funcional		8	Operador não qualificado.	Na	8	Inspeção AOI ICT FCT	4	256
					8	Descuido do operador.	Na	8	4		256	
	8				Fadiga do operador.	Na	8	4	256			
		Aplicar	Adesivo não aplicado	Falta de adesivo		6	Entupimento da Seringa	Na	3	Inspeção visual da placa. Auditoria aleatório amostral	8	144

Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA)

Local:
Unidade de negócio
Número do FMEA #:

Fabricação de Placas-Mãe.

Equipe FMEA: Erik Ryuji Murakami; Guilherme Martins Lopes; Luiz Fernando Bauer.

										Processo de controle corrente			
Aplicação de Adesivo PVA	Na. Aplicar o adesivo	Aplicação do adesivo	Quantidade correta	Excesso de Adesivo	Contaminação de componentes adjacentes	3	Erro na aplicação manual por falta de qualificação do operador	Treinamento on the JOB	3	Inspeção visual da placa.	8	72	
				Falta de Adesivo	Perda da função de resistência mecânica e quebra do ball por torção da placa	6				Auditoria aleatório amostral		144	
Refusão	Refusão	Carregar o perfil do forno	Não carregar o perfil correto	Queima do componente Não refusão da Solda Curto de solda	Placa não funciona Falha em função primária	8	Falta de disciplina por não ter uma rotina de verificação definida e procedimentada no processo de change over.	Na	6	Auditoria aleatória amostral da qualidade.	8	384	
										Corrida Piloto de Liberação de linha (Teste ICT/FCT)			
		Execução do processo de refusão	Placa sem curto de solda Placas sem Tombstone Placa Sem insuficiência de Solda	Falha funcional Falha na AOI	Falha em função primária / secundária da placa Placa enviada para reparo	7	Carregamento de arquivo incorreto	7	Verificação do arquivo antes de iniciar a produção.	6	AOI FCT ICT	8	336
											3		Manutenção preventiva do Forno.
Inspeção Ótica Automatizada	Configuração / Set up	Seleciona o programa da máquina.	Selecionar o programa na versão correta	Selecionar um programa em uma versão anterior.	Erro no ponto de referência	2	Falta de um controle de versão de programas rastreado.	Leitura de fiducial da placa na AOI	1	Inspeção da placa na AOI	4	8	
		Passa placa sem componentes para validação de detecção.	Simula a detecção.	Não passar a placa de liberação	Rodar a linha sem programa com alto nível de detecção de componentes faltando ou deslocamentos. Componente faltando Falha funcional Falha em campo	7	Falta de recurso dedicado para validação da máquina de inspeção de solda nos 3 turnos.	Na	4	ICT FCT	5	140	
	Inspeção	Realiza a inspeção.	Componente na posição determinada	Componente errado	Falha no teste da plataforma de agulhas Falha no teste funcional Falha em campo	8	Fornecedor enviou componente diferente da informação na etiqueta externa.	Na	3	Teste FCT Teste ICT	5	120	
										2			Teste FCT Teste ICT
			Polaridade correta	Polaridade correta	Falha no teste da plataforma de agulhas Falha no teste funcional Falha em campo	8	Programa não ajustado de forma adequada	Placa de liberação de linha	3	Inspeção pós Reflow Teste FCT Teste ICT	5	120	
										8			Máquina não montou o componente. Erro de Pick Up Erro de Placement
		Presença do componente	Componente faltando	Falha no teste da plataforma de agulhas Falha no teste funcional Falha em campo	7	Máquina montou o componente deslocado. Erro de Pick Up Erro de Placement	Controle Estatístico de processo AOI.	8	Inspeção pós Reflow AOI Teste FCT Teste ICT	4	224		
									Alinhamento do componente			Componente desalinhado	Falha no teste da plataforma de agulhas Falha no teste funcional Falha em campo
		Placas com Falha o operador inspeciona na tela, registra a falha no sistema.	Reprovar a placa com falha	Aprovar uma placa com falha.	Falha no teste da plataforma de agulhas Falha no teste funcional Falha em campo	8	Operador não qualificado.	Na		3	Teste FCT Teste ICT		
									Recebe placa da AOI		Coloca placa na cama de agulhas	Placa correta e montada	Placa não encaixa Na plataforma de agulhas
Agulhas em condições de uso	Agulha Quebrada	Falha da placa.	2	Desgaste natural da agulha	Inspeção da condição antes de iniciar o turno.	4	Operador nota que a agulha está desgastada e aciona o suporte.	9		72			
							Agulha fora da especificação		Quebra de componentes, Danificar trilha da placa Falha funcional Scrap da Placa		8	Erro de ajuste do equipamento por falta de documentação com a especificação para os técnicos.	Na

Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA)

Local:
Unidade de negócio
Número do FMEA #:

Fabricação de Placas-Mãe.

Equipe FMEA: Erik Ryuji Murakami; Guilherme Martins Lopes; Luiz Fernando Bauer.

Na.			Processo de controle corrente																			
Testes por agulhas	Teste de Agulhas	Teste de Agulhas	Solda sem resíduo de fluxo.	Excesso de resíduo de fluxo de solda Falsa falha da placa.	Falsa falha na estação de testes	2	Pasta de solda deixa muito resíduo	Limpeza da agulha.	5	Inspecção visual AOI ICT FCT	8	80										
			Não danificar trilha e componentes	Equipamento com agulhas desalinhasadas.	Quebra de componentes, Danificar trilha da placa Falha funcional Scrap da Placa	8	Agulha desalinhada por batida ou manuseio inadequado da placa pelo operador.	Controle SPC para determinar parada de linha.	3	Excesso de falhas nos testes funcionais ICT/FCT.	5	120										
			Placa montada e soldada pronta na correta estação, sequenciamento de testes.	Falha de rota no sistema	Envio da placa para estação anterior	2	Operador sem qualificação.	Na	4	Auditorias da qualidade	8	64										
	Análise de resultado	Resultado de testes	Aprovar placas dentro da tolerância especificada.	Aprovar uma falha por estar próximo ao valor esperado, sem ter uma validação técnica	Envio de placas com componentes errados para o cliente. Falha Funcional	8	Falta de rotina definida para validação técnica do critério de rejeito.	Treinamento operacional.	4	Falha no teste funcional.	5	160										
Corte na Router (Fresadora)	Router Operação	Pegar a placa na Bandeja	Bandeja e rack com proteção de energia estática	Material não anti estático, material anti estático expirou sua validade ou não é mais eficaz no controle preventivo.	Queima de componentes Falha funcional	8	RACK fora do especificado em uso na estação por falta de controle de verificação.	Programa ESD implementado com treinamento operacional	4	Auditoria da qualidade semanal aleatória.	9	288										
			Operador Treinado	Manuseio inadequado, placas batendo uma nas outras na bandeja	Componente arrancado Falha no teste funcional Falha em campo	8	Instrução de trabalho não especifica a forma (método e ferramenta) de manusear as placas em bandejas.	Na	5	Falha no teste funcional. Auditoria aleatória da Qualidade	5	200										
			2 Placas por bandeja	Mais de duas placas por bandeja																		
			Placa testada na cama de agulhas	Placa sem teste na plataforma de agulhas	Cortar a placa sem teste. Erro de rota no sistema shop Floor Não possibilita re testes na plataforma de agulhas	5	Erro do operador de ICT por falta de atenção.	Na	3	Sistema de leitura de placas evita que a unidade seja enviada para o FCT	3	45										
			Bandeja limpa	Contaminação da placa por impureza	Falha no teste funcional	5	Falta de definição de processo para limpeza de bandejas.	Na	3	Inspecção visual do operador na bandeja em	9	135										
		Colocar a placa na Router	Uso da fresa de correto diâmetro ou Ferramental apropriado	Broca incorreta, Menor espessura	Maquina vai deixar rebarba	5	Erro de setup e validação da estação	Na	3	Poka yoke no dispositivo de montagem para encaixar a placa no complemento, caso haja pretuberância a placa não encaixa no Dispositivo.	1	15										
				Broca incorreta Maior espessura	Corte de trilhas da placa	8	Erro de setup e validação da estação	Na	3	Teste FCT	5	120										
		Iniciar equipamento para corte	Programa Correto	Programa incorreto	Quebra da fresa Parada da máquina Scrap da 1ª placa de corte.	3	Operador sem treinamento no posto de trabalho por falta pessoa treinada para o posto.	Na.	3	Auditorias da qualidade	9	81										
				Pinos na posição correta Encaixe da placa nos pinos	Não encaixar pinos com a placa	Quebra da fresa Parada da máquina Scrap da 1ª placa de corte.	3	Operador sem treinamento no posto de trabalho por falta pessoa treinada para o posto.	Na. Na.	3	Auditorias da qualidade	9	81									
		Inspeção da placa	Reprovar defeituosas	Aprovar placa defeituosa (Com rebarba ou trilha danificada)	Reprovação em teste funcional	8	Broca com diâmetro maior que o especificado ou erro da programação	Na	3	Teste Funcional	5	120										
						8	Perda de referência da máquina, sensor sujo.	Manutenção preventiva diária nos sensores (TPM) limpeza e verificação.	3	Inspecção visual diária do operador Teste Funcional da placa	5	120										
		Colocar a placa de volta na esteira.	Posição correta : Placa voltada com componentes para baixo	Colocar a placa com os componentes voltados para Cima.	Operador do processo de complemento enviar a placa sem a atividade de complemento para inspeção.	5	Falta de definição da posição no procedimento.	Na	3	Inspecção em linha.	4	60										
		Complementação - Configuração / Set up	Remover os procedimentos do produto anterior	Procedimentos cópia controlada	Não remover os procedimentos	Parada de linha para troca dos procedimentos.	2	Falta de responsável definido para execução desta atividade.	Na	4	Auditoria da qualidade semanal aleatória.	9	72									
														Remover os componentes do produto anterior	Componentes na embalagem original e com identificação de Part Number	Manter os componentes do produto atual e anterior na linha.	Montar componente de Part Number incorreto. Falha funcional Falha em campo	8	Falta de processo de controle de PN na estação.	Remoção toda a troca de set up pela produção.	3	Auditoria da qualidade semanal aleatória. Teste ICT, FCT
Remover os ferramentais do produto anterior	Ferramental identificado e bem acondicionado																					

Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA)

Local:
Unidade de negócio
Número do FMEA #:

Fabricação de Placas-Mãe.

Equipe FMEA: Erik Ryuji Murakami; Guilherme Martins Lopes; Luiz Fernando Bauer.

Complementação	Na.	Processo de controle corrente										
		Colocar os procedimentos na estação	Procedimentos cópia controlada	Inserir cópia não controlada	Não conformidade ISO9000 Erro operacional ao utilizar um procedimento não correto. Falha Funcional	8	Falta de responsável definido para execução desta atividade.	Na	3	Auditoria da qualidade semanal aleatória. Teste ICT, FCT	5	120
Complemento		Pegar a placa na esteira	Placa com os componentes virados para baixo	Componentes virados para cima	Não efetuar o processo definido no posto, por achar que já foi executada a atividade	2	Falta de definição no procedimento e orientação visual.	Na	3	Posto seguinte Inspeção identifica que não foi processada a unidade na estação.	8	48
		Colocar a placa no Fixture de montagem dos botões	Pinos guia alinhados	Pinos guia não operacionais ou desalinhados.	Adesivo dos botões desalinhado	5	Ferramenta com desgaste por falta de verificação preventiva.	Na	5	Depende do operador detectar a não conformidade. Falha no teste FCT	5	125
		Retornar a placa na esteira	Componentes virados para cima	Componentes virados para baixo	Placa segue direto para estação de embalagem sem o teste funcional	8	Falta de definição no procedimento e orientação visual.	Inspeção antes do FCT	3	Teste FCT (Leitura da estação anterior), Inspeção visual.	4	96
		Com a placa em mãos inserir a bateria	Polaridade correta	Polaridade invertida	Falha funcional Rejeição na inspeção	5	Erro operacional por falta de treinamento.	Treinamento operacional.	3	Teste FCT Inspeção visual	5	75
		Coletar adesivo isolante do processador	Posição correta	Mal posicionado ou não colocar	Curto circuito e queima do processador.	5	Erro operacional por falta de treinamento.	Treinamento operacional.	3	Teste FCT Inspeção visual	5	75
Inspeção após complemento		Coletar a etiqueta de MACADDRESS da cartela	MAC address da Ordem de Produção correta	MAC address em sequência incorreta	Parada de linha e rejeição da placa no teste funcional	4	Erro operacional por falta de treinamento.	Treinamento operacional.	3	Teste FCT	5	60
		Operador Treinado	Treinamento de IPC 610	Operador sem treinamento Reprovar placas boas Aprovar defeituosas	Falha no teste da plataforma de agulhas Falha no teste funcional Falha na inspeção visual	8	Falta de rotina de treinamento definida para o posto de inspeção.	Treinamento operacional requerido	3	Teste FCT Inspeção visual	5	120
		Inspeccionar o MAC	Adesivo com código de barras legível (sem falhas)	Código de barras ilegível	Não leitura no teste funcional	2	Erro no processo de impressão de etiquetas	Na	3	Sistema de leitura de código de barras	4	24
		Apertar o componente (Verificar presença) Verificar solda	Componente soldado na posição correta	Componente alto PTH	Falha elétrica Danos ao componente Falha funcional	6	Erro de montagem no módulo da linha SMT, Componente levantou após o forno de refusão.	Operador de MDL treinado Operação de MDL determina que sejam pressionados todos os componentes.	6	Teste FCT Inspeção visual	5	180
				Falta de Solda PTH	Falha funcional	7	Placa ficou muito tempo na linha até ser passada no forno de refusão na hora de refeição.	Revezamento de linha em horário de refeição	3	Inspeção Visual Teste FCT	5	105
				Insuficiência de Solda PTH	Falha funcional	7	Maquina aplicou pouca pasta	Na	3	SPI	4	84
		Apertar o componente (Verificar presença)	Componente faltando	Componente Faltando PTH	Falha no teste da plataforma de agulhas Falha no teste funcional Falha na inspeção visual	7	Operador de Touch up não fez a montagem	Na	3	Inspeção Visual Teste FCT	5	105
		Preencher a carta de controle para placas com falha	Limites de parada definidos	Não preencher a carta de controle	Linha produz com maior índice de falhas.	2	Operador não treinado de forma eficaz	Treinamento CEP	3	Auditoria da Qualidade	8	48
		Colocar a placa defeituosa no Rack	Log no sistema	Logar como Aprovada uma placa com defeito	Falha no teste da plataforma de agulhas Falha no teste funcional Falha na inspeção visual	7				Teste FCT	5	105
		Colocar a placa defeituosa no Rack	Rack em local demarcado	Rack de defeituosos sem identificação.	Falha no teste da plataforma de agulhas Falha no teste funcional Falha na inspeção visual	7	Falta de definição de cores de identificação do solo, programa 5S.	Treinamento 5S	3	Visual pelo líder ou auditoria da Qualidade Teste FCT	5	105
			Sensor de proximidade com defeito	Placa não operacional Falha no teste funcional	6	Defeito elétrico do componente	Na	3	FCT	5	90	
						Teste não possui esta cobertura	Na	3	FCT	5	90	
						Teste não considera a variável de casamento de tolerâncias dimensionais da carcaça do computador	Na	3	FCT	5	90	
						Componente incorreto montado	Na	3	FCT e inspeção da	5	120	

Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA)

Local:
Unidade de negócio
Número do FMEA #:

Fabricação de Placas-Mãe.

Equipe FMEA: Erik Ryuji Murakami; Guilherme Martins Lopes; Luiz Fernando Bauer.

Na.	Execução do teste nas estações de teste	Teste Funcional da Placa	Falha de Rede	Placa não operacional Falha no teste funcional	8	Processo de controle corrente				120		
						Problema de solda de componente	Na	3	FCT e inspeção da Qualidade		5	
Teste funcional	FCT - Teste	Execução do teste nas estações de teste	Teste Funcional da Placa	Falha de Rede	Placa não operacional Falha no teste funcional	8	Teste não cobre teste de REDE	Na	3	FCT e inspeção da Qualidade	5	120
							Mecanismo do fixture danificado	Na	4	FCT	5	160
							Erro do operador por treinamento não eficaz	Na	3	FCT	5	120
							Placa empenada durante reflow	Na	3	inspection, Quality inspection 100%.	5	120
							Erro do operador ao logar outro SN ou MAC durante o teste de uma placa.	Na	3	FCT Sistema de controle de leitura de serial	5	105
				Mac Address e número de série não casado	Conflito de Rede Falha funcional	7	MAC e SN em etiquetas separadas.	Na	4	FCT Sistema de controle de leitura de serial	5	140
							Reimpressão de etiqueta sem o controle necessário	Na	3	FCT Sistema de controle de leitura de serial	5	105
							Placa com falha aprovada .	Falha no teste funcional ou na auditoria	8	Sem LOG de falha automático	Na	3
				Falhas de Audio	Falha no teste funcional ou na auditoria	8	Erro do operador por falta de atenção.	Na	3	FCT Sistema de controle de leitura de serial	5	120
				Conector danificado	Falha no teste funcional ou na auditoria	8	Operador não qualificado, falta de métodos de conexão com uso de ferramental para cabos ou técnicas diferenciadas.	Na	3	FCT Sistema de controle de leitura de serial	5	120
				Placa mãe queimada durante remoção do cabo de power	Falha no teste funcional ou na auditoria	8	Falta de sequenciamento para remoção dos cabos.	Inclusão de sequenciamento em instrução de trabalho	3	FCT Sistema de controle de leitura de serial	5	120
				Conector LCD danificado	Falha no teste funcional ou na auditoria	8	Falta de sequenciamento para remoção dos cabos.	Na	3	FCT Sistema de controle de leitura de serial	5	120
				No power / No vídeo	Falha no teste funcional ou na auditoria	8	Falhas causada por problemas de solda	SPI	3	FCT Sistema de controle de leitura de serial	5	120
				Placa mãe danificada.	Falha no teste funcional ou na auditoria	8	Danificada no processo de manuseio do operador, falta de treinamento eficaz.	Na	3	FCT Sistema de controle de leitura de serial	5	120
				Retirar a placa da esteira	Placa com componentes virados para cima	Placa para teste com os componentes virados para baixo	Placa com mensagem de erro ("não concluído teste funcional"), perde-se tempo	2	Falta de informação na instrução de trabalho.	Na	6	Leitura da placa no processo de embalagem. 100% das unidades
Ordem de Produção não encerra por divergência de quantidade de placas	3	Porque a última etapa de verificação de LOG sistêmico é na Embalagem	Na				3	Sistema MRP controla os números de série associados na OP. 100% das ordens e SN	4	36		
Erro de associação da placa na área do cliente	2	Falha no processo de leitura de embalagem	Leitura da placa no processo de embalagem. 100% das unidades				3	Sistema de leitura de associação em 100% das unidades produzidas	4	24		
							3	Teste Funcional verificação do MAC em 100% das unidades.	4	24		
Falha no teste de verificação de MAC address na área do cliente	3	Erro de associação na área de HW (não realizada)	Sistema de leitura de associação em 100% das unidades produzidas				3	Sistema de verificação de MAC address realizado em 100% das unidades produzidas	4	36		
Falha na entrada da embalagem individual na área do cliente	3	Erro de fluxo de processo em placas com falha	Sistema de leitura de associação em 100% das unidades produzidas.				3	Leitura 100% das placas no processo de embalagem de Hardware	4	36		

Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA)

Local:
Unidade de negócio
Número do FMEA #:

Fabricação de Placas-Mãe.

Equipe FMEA: Erik Ryuji Murakami; Guilherme Martins Lopes; Luiz Fernando Bauer.

Na.							Processo de controle corrente						
				Falha de MACADDRESS no uso em assistência técnica (falha de Rede)	6	Placa em estoque de placas não passou pelo processo de teste FCT	Sistema de leitura de associação em 100% das unidades produzidas.	3	Leitura da placa no processo de embalagem. 100% das unidades	4	72		
	Inspeção visual dos conectores	Travas íntegras	Tava danificada	Conexão intermitente Não uso da placa	7	Manuseio inadequado dos operadores por falta de conscientização.	Bandejas e racks específicos para cada linha	3	Teste funcional Inspeção Visual	5	105		
		Conectores íntegros	Conector Danificado	Conexão intermitente Não uso da placa	7	Manuseio inadequado dos operadores por falta de conscientização.	Bandejas e racks específicos para cada linha	3	Teste funcional Inspeção Visual	5	105		
	Periféricos funcionais	Correta versão	Versão incorreta	Reprovação no teste funcional	4	Falta de controle de ferramental na linha de produção.	Na.	3	Falha no teste funcional	5	60		
	Interagir com o teste	Operador não pode ser deficiente visual (cego/dautônico)	Operador dautônico	Aprovar falhas de vídeo	8	Falta de informação na ficha de funcionário	Na.	3	OBA.	8	192		
	Desconectar os cabos	Correto sequenciamento	Desconectar em sequenciamento incorreto	Queimar componentes e placas Falha funcional no cliente	8	Falta de definição em procedimento do correto sequenciamento.	Na.	3	Teste FCT OBA Teste em HW	5	120		
	Placa aprovada - colocar de volta na esteira	Componentes voltados para a esteira	Componentes voltados para cima	Testar novamente a placa	2	Falta de informação nos procedimentos	Na.	3	Teste FCT (Leitura da estação)	4	24		
	Preencher etiqueta de identificação	Código de falha	Não colocar etiqueta em placa defeituosa	Testar novamente a placa	2	Erro operacional por falta de atenção.	Na.	3	Teste FCT (Leitura da estação)	4	24		
	Colar a etiqueta na placa defeituosa	Etiqueta anti estática	Etiqueta gera estática	Danos latentes aos componentes por problemas de energia estática	8	Falta de definição de etiqueta conforme norma de controle e prevenção contra ESD.	Implementado programa de controle e prevenção contra ESD.	3	Auditoria ESD.	8	192		
	Placa reprovada - Re-testar	Placa identificada	Placa não identificada como Re-teste	Testar novamente a placa	2	Erro operacional por falta de atenção.	Na.	3	Teste FCT (Leitura da estação)	4	24		
	Placa reprovada - movimentar para rack de rejeitados	Placa identificada	Não movimentar placa reprovada para área de reprovados	Testar novamente a placa	2	Erro operacional por falta de atenção.	Na.	3	Teste FCT (Leitura da estação)	4	24		
	Placa reprovada - movimentar para rack de rejeitados	Log de falha no sistema	Não logar a falha da placa no sistema	Testar novamente a placa	2	Erro operacional por falta de atenção.	Na.	3	Teste FCT (Leitura da estação)	4	24		
Inspeção final	Coletar a placa testada	Movimentação	Manuseio com cuidado.	Manuseio inadequado, placas batendo uma nas outras.	8	Falha funcional Componente arrancado	Erro operacional por falta de atenção.	Treinamento IPC 610 , correto manuseio dos eletrônicos	3	Teste FCT (Leitura da estação)	4	96	
	Realizar a inspeção visual	Inspeção	Travas íntegras	Trava danificada	Falha funcional	8	Erro operacional, operador de teste sem treinamento ou treinamento não eficaz.	Na.	3	Inspeção Visual Teste em HW OBA	5	120	
			Solda sem resíduo de fluxo.	Resíduo de fluxo	Falha funcional e degradação da placa	8		Na.	3	Inspeção Visual Teste em HW OBA	5	120	
			Solda em conformidade	Curto de Solda	Falha funcional na área do cliente	8		Na.	3	Inspeção Visual Teste em HW OBA	5	120	
				Insuficiência de Solda	Falha funcional na área do cliente	8		Na.	3	Inspeção Visual Teste em HW OBA	5	120	
				Falta de Solda	Falha funcional na área do cliente	8		Na.	3	Inspeção Visual Teste em HW OBA	5	120	
			Conectores íntegros	Danificado	Falha funcional na área do cliente	8		Na.	3	Inspeção Visual Teste em HW OBA	5	120	
				Levantado	Falha funcional na área do cliente Não encaixa no Gabinete do produto	8		Na.	4	Inspeção Visual Teste em HW OBA	5	160	
			Montagem realizada	Componente Faltando	Falha funcional na área do cliente	8		Na.	3	Inspeção Visual Teste em HW OBA	5	120	
					Placa danificada Falha funciona	Placa não funcional	8	Posição errada em comparada com o procedimento	Na. Na.	3	Auditoria amostral Oba Teste funcional em HW	5	120

Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA)

Local:
Unidade de negócio
Número do FMEA #:

Fabricação de Placas-Mãe.

Equipe FMEA: Erik Ryuji Murakami; Guilherme Martins Lopes; Luiz Fernando Bauer.

Embalagem	Na. Embalagem	Coletar a caixa e placa e colocar a placa na caixa	Embalar placa adequadamente.					Processo de controle corrente				
				Placas de modelos diferentes na mesma embalagem	Redução de performance na área do cliente	7	Erro operacional por não seguir o procedimento.	Na.	3	Auditoria amostral Oba	7	147
				Erro de identificação da embalagem com etiqueta errada.	Erro de inventário	2	Erro operacional por não seguir o procedimento.	Na.	3	Auditoria amostral Oba	7	42
Debug	Debug	Debug	Debug	Erro de análise	Placa funciona apropriadamente	8	impossibilidade de validar o debug na bancada do técnico	Na.	5	Teste FCT	5	200
					Aumentar o nível de Scrap	3	Falta de treinamento do técnico de debug para novos produtos.	Na.	3	Teste FCT	5	45
Reparo	Reparo	Reparo	Reparo	Excesso de fluxo	Falha funcional ou redução de confiabilidade	4	Não limpar a placa após o reapro	Na.	3	Inspeção visual	8	96