

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

WANDER SCHMIDT

**SISTEMATIZAÇÃO DA RECLASSIFICAÇÃO DA
OCORRÊNCIA DO *PFMEA* NA FASE DE PRODUÇÃO**

**Taubaté – SP
2016**

WANDER SCHMIDT

**SISTEMATIZAÇÃO DA RECLASSIFICAÇÃO DA
OCORRÊNCIA DO *PFMEA* NA FASE DE PRODUÇÃO**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre pelo curso de Mestrado do Departamento de Engenharia da Universidade de Taubaté.
Área de Concentração: Produção
Orientadora: Prof. Dra. Miroslava Hamzagic

**TAUBATÉ – SP
2016**

WANDER SCHMIDT

SISTEMATIZAÇÃO DA RECLASSIFICAÇÃO DA OCORRÊNCIA DO *PFMEA* NA FASE DE PRODUÇÃO

Dissertação apresentada para obtenção do
Certificado de Mestre pelo Programa de
Mestrado do Departamento de Engenharia da
Universidade de Taubaté.
Área de Concentração: Produção
Orientador: Prof. Dra. Miroslava Hamzagic

Data: _____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Miroslava Hamzagic

Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

Prof^a. Dra. Valesca Alves Corrêa

Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

Prof. Dr. Cesar Augusto Botura

DCTA – Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me amar de forma incondicional e mostrar esse amor em todos os detalhes da minha vida, incluindo a elaboração dessa dissertação, me concedendo graça, força, perseverança e disciplina;

À professora, amiga e orientadora Dra. Miroslava Hanzagic por caminhar junto comigo nesse período de trabalho intenso de construção de conhecimento, por ser um exemplo de que ensino e orientação é, antes de tudo, um trabalho de paixão e amor pelas pessoas e pelo conhecimento. Muito obrigado pela paciência, compreensão, confiança e amizade;

Aos professores que participaram da banca, pelas correções e observações, que colaboraram para a melhoria do trabalho.

À minha querida esposa Érica Rebelo Alves Schmidt por estar junto comigo em todas as nossas conquistas. Obrigado por me dar todo o suporte necessário no desenvolvimento desse trabalho, no cuidado com as crianças, com a casa, enfim, com nosso lar. Concluir essa dissertação é uma conquista e você faz parte dela. Muito obrigado!

Aos meus amados e queridos filhos, Eliézer, Eliseu e Raquel. Sei que vocês tiveram que ouvir muitos “nãos” nesse período, abrindo mão do papai para que esse trabalho pudesse ser concluído. Vocês fazem parte dessa conquista também. Muito obrigado!

Dimas Rodolfo, obrigado por me incentivar ao mestrado. Ernesto Froelich, obrigado pelo apoio desde o início dessa jornada. Aos demais colegas e amigos do Core Team e Engenharia de Produção, obrigado pelo incentivo, pelas dicas, suporte e direcionamento.

A todos que de qualquer forma me auxiliaram, mas não foram lembrados nominalmente no momento. Vocês também foram muito importantes! Obrigado!

*“Feliz o homem que acha sabedoria, e o homem que adquire
conhecimento”*

Bíblia Sagrada – Provérbios 3.13

*“Eu sei que não sou tudo o que devo ser, eu sei que não sou o
que serei, mas pela graça de Deus eu já não sou o que eu era”*

Martinho Lutero

RESUMO

Pesquisas realizadas nos últimos anos têm comprovado a eficácia da ferramenta PFMEA (Análise do Modo e Efeito de Falhas), mostrando evidências claras de melhorias efetuadas através de seu uso. A abrangência de sua aplicação, observada nas variações da ferramenta também pode ser vista em avançados sistemas auto diagnósticos, análises clínicas e outras aplicações. No entanto, no estado da arte, observa-se que há pouco material específico sobre o PFMEA durante a fase de produção regular do produto, especificamente o processo de atualização do mesmo, o que constitui uma fonte de informação fundamental na melhoria contínua e em projetos futuros.

Esse trabalho analisa o valor da informação gerada pelo PFMEA na fase de produção regular do produto e propõe a criação de um sistema informatizado para coleta e gerenciamento de dados obtidos no chão de fábrica com o objetivo de tornar o PFMEA mais preciso e sua atualização mais rápida, agregando maior valor à informação, gerando maior confiabilidade na tomada de decisões relativas à melhoria do processo atual e em investimentos futuros, garantindo menor incidência de falhas, maior eficiência e menor custo de operação.

Essa proposta se fundamenta principalmente numa revisão bibliográfica que inclui, dentre outros, o conceito de *Jidoka*, estação de verificação de qualidade do produto e sistemas de informação. Uma *Survey* exploratória foi efetuada visando definir a organização que possuísse a melhor condição para a aplicação de um estudo de caso, onde a proposta foi implementada.

Após a análise comparativa entre os resultados e a situação anterior, verificou-se que o objetivo de melhorar a precisão e velocidade da informação foi alcançado. O sistema implementado também se mostrou eficaz na detecção de novos modos de falha e na identificação da necessidade de treinamento ou reciclagem dos inspetores de qualidade. Ganhos em processo, qualidade e cultura organizacional também foram observados.

Palavras-chave: PFMEA, Estação de Verificação, *Jidoka*, Sistemas de Informação,

ABSTRACT

Research conducted in recent years have proven the effectiveness of PFMEA tool (Process Failure Mode and Effect Analysis), showing clear evidence of improvements made through its use. The comprehensiveness of its application observed in the tool variations can also be seen in advanced self diagnostic systems, medical tests and other applications. However, the state of the art, it is observed that there is little specific material on the PFMEA during regular production phase of the product, specifically the process of updating the same, which is a fundamental source of information on continuous improvement and future projects.

This paper analyzes the value of the information generated by the PFMEA in regular production phase of the product and proposes to create a computerized system for data collection and management, obtained on the shop floor in order to make the PFMEA more accurate and faster your update, adding more value to information, creating greater reliability in making decisions concerning the improvement of the current process and future investment, thus ensuring a lower failure rate, higher efficiency and lower operating costs.

This proposal is based mainly on a literature review that includes, among others, the concept of *Jidoka*, product quality check station and information systems. Exploratory Survey was conducted in order to define the organization that owned the best condition to apply a case study, where the proposal was implemented.

After the comparative analysis of the results and the previous situation, it was verified that the objective of improve the accuracy and speed of information has been achieved. The system implemented, also proved effective in detecting new failure modes and identifying the need for training or retraining of quality inspectors. Gains in process, quality and organizational culture were also observed

KeyWords: PFMEA, quality verification station, *Jidoka*, information systems,

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Representação Gráfica do Problema de Pesquisa	18
Figura 2	Ilustração da Hipótese	19
Figura 3	Alocação de EV num processo de manufatura de múltiplos estágios	26
Figura 4	Gráfico de Área para interpretação dos resultados do <i>FMEA</i>	37
Figura 5	A Estrutura do Sistema Toyota de Produção	43
Figura 6	Sistema organizacional	49
Figura 7	Exemplos de Classificação das variáveis	54
Figura 8	Estrutura da pesquisa	59
Figura 9	Estrutura do estudo de caso	64
Figura 10	Relação Planejamento e Concretização da Proposta	65
Figura 11	Fluxo de dados do Sistema de Apontamento de Defeitos anterior	70
Figura 12	Fluxo da reunião de <i>PFMEA</i> com equipe multifuncional	71
Figura 13	Ciclo de melhoria contínua através do <i>PFMEA</i>	72
Figura 14	Etapas do desenvolvimento da solução associada à hipótese de pesquisa	75
Figura 15	Dados disponibilizados no processo de inspeção do produto	76
Figura 16	Efeitos iguais para modos de falha diferentes	77
Figura 17	Fluxo de ações ao identificar falha no produto	78
Figura 18	Dados disponibilizados ao identificar e solucionar uma falha no produto	79
Figura 19	Fluxo entre Sistema de Apontamento de Defeitos e a EV	80
Figura 20	Fluxo entre engenharia e sistema gerenciador do <i>PFMEA</i>	81
Figura 21	Fluxo entre Sistemas de Apontamento de Defeitos e Gerenciador de <i>PFMEA</i>	82
Figura 22	Sistema de Apontamento de Defeitos – Detalhamento do Fluxo de Dados	83
Figura 23	Fluxo de Dados dos Sistemas	85
Figura 24	Processo de reclassificação do <i>PFMEA</i>	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Classificação do conceito de qualidade	24
Quadro 2	As eras da qualidade	25
Quadro 3	Exemplo de Mapeamento de Modos de Falhas e Efeitos	32
Quadro 4	Escala detalhada de severidade dos efeitos das falhas	33
Quadro 5	Escala qualitativa de dez níveis de detecção	34
Quadro 6	Critério de análise e ordenação para a severidade dos efeitos da falha	36
Quadro 7	Planejamento da pesquisa – Estudo de Caso	57
Quadro 8	Estrutura do Questionário	61
Quadro 9	Critérios para seleção do caso a ser estudado	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Escala simples e qualitativa de probabilidade de ocorrência	35
Tabela 2	Escala quantitativa de dez níveis de probabilidade de ocorrência	35

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Modelo de Gráfico de PPM	38
Gráfico 2	Como é feita a inspeção de qualidade do produto	66
Gráfico 3	Como é registrado o defeito quando identificado	66
Gráfico 4	Dados contemplados no registro do defeito	67
Gráfico 5	Nível de aplicação do <i>Jidoka</i> nos processos	67
Gráfico 6	Nível de autonomia do operador para parar o processo ao ocorrer falha	67
Gráfico 7	Atividades desenvolvidas na reunião de revisão do <i>PFMEA</i>	68
Gráfico 8	Fontes consultadas para determinar o modo de falha	68
Gráfico 9	Distribuição da quantidade de peças defeituosas por linha (3 meses)	73
Gráfico 10	Distribuição de peças por modo de falha por processo	74
Gráfico 11	Evolução do NPR	88
Gráfico 12	Evolução do PPM	88
Gráfico 13	Quantidade de peças com defeito	90
Gráfico 14	Distribuição de peças defeituosas por modo de falha	90

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEP	Controle Estatístico de Processos - CEP
DFD	Diagrama de Fluxo de Dados
<i>DFMEA</i>	<i>Design Failure Mode and effect Analysis</i>
EV	Estação de Verificação
<i>FMEA</i>	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
<i>FTA</i>	<i>Fault Tree Analysis</i>
<i>IMVP</i>	<i>International Motor Vehicle Program</i>
<i>ISO</i>	<i>International Organization for Standardization</i>
<i>JIT</i>	<i>Just In Time</i>
<i>MES</i>	<i>Manufacturing Execution System</i>
<i>MFMEA</i>	<i>Machinery Failure Mode and Effect Analysis</i>
<i>MIT</i>	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
<i>MRP</i>	<i>Material Requirements Planning</i>
<i>MRP II</i>	<i>Manufacturing Resources Planning</i>
NBR	Norma Brasileira (Aprovada pela ABNT)
NPR	Número de Prioridade de Risco
<i>PDCA</i>	<i>Plan, Do, Check and Act</i>
<i>PFMEA</i>	<i>Process Failure Mode and Effect Analysis</i>
PPM	Partes Por Milhão
<i>QS9000</i>	<i>Quality System Requirements</i>
SAP	Sistemas de Administração da Produção
SI	Sistema de Informação
STP	Sistema Toyota de Produção
TI	Tecnologia da Informação

SUMÁRIO

RESUMO		I
ABSTRACT		II
LISTA DE FIGURAS		III
LISTA DE QUADROS		IV
LISTA DE TABELAS		V
LISTA DE GRÁFICOS		VI
LISTA DE ABREVIATURAS		VII
SUMÁRIO		VIII
1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Contextualização.	16
1.2	Formulação do Problema	17
1.3	Hipótese	19
1.4	Justificativa	19
1.5	Objetivos	20
1.5.1	Objetivo geral	20
1.5.2	Objetivos específicos	20
1.6	Delimitação do Assunto	20
1.7	Relevância	21
1.8	Organização da Dissertação	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	Processos de Fabricação	23
2.2	Qualidade	23
2.2.1	Estações de verificação de qualidade	26
2.2.2	Ferramentas de gestão da qualidade	27
2.2.3	<i>FMEA – Failure Mode and Effect Analysis</i>	28
2.2.3.1	<i>PFMEA: FMEA de processo</i>	30
2.2.3.2	Função, modo de falha, efeito e causa	30
2.2.3.3	Severidade, ocorrência e detecção	33
2.2.3.4	Prioridade de risco	36
2.2.4	PPM – Partes por Milhão	38
2.3	Manufatura enxuta	39
2.3.1	Histórico	39
2.3.2	Princípios fundamentais da manufatura enxuta	40
2.3.3	Pilares do Sistema Toyota de Produção	42
2.3.3.1	<i>Just-In-Time</i>	44
2.3.3.2	<i>Jidoka</i>	44
2.4	Informação	46
2.5	Sistemas de Informação	47
2.5.1	Tipos de Sistemas de Informação	50

2.5.2	Sistemas de Controle da Qualidade do Produto	50
3	METODOLOGIA DE PESQUISA	53
3.1	<i>Survey</i>	53
3.2	Estudo de Caso	56
3.3	Planejamento	59
3.3.1	<i>Survey</i>	59
3.3.2	Estudo de Caso	61
4	DESENVOLVIMENTO	65
4.1	<i>Survey</i>	65
4.2	Estudo de Caso	69
4.2.1	Situação Anterior	69
4.2.1.1	Fluxo de dados e processo de reclassificação do <i>PFMEA</i>	69
4.2.1.2	Análise documental	72
4.2.2	Concretização da proposta	74
4.2.2.1	<i>Jidoka</i> e coleta de dados	75
4.2.2.2	Fluxo de dados	79
4.2.3	Aplicação da solução	86
4.2.4	Análise longitudinal	86
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	91
	REFERÊNCIAS	94

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

FMEA é uma sigla que significa *Failure Mode and Effect Analysis* e é traduzida como Análise do Modo e do Efeito da Falha. De forma geral considera-se como uma ferramenta da qualidade visando minimizar as falhas no produto, processo ou serviço, no entanto, segundo Corrêa & Corrêa (2012) trata-se de um processo sistemático cujo objetivo é:

- Identificar a falha;
- Definir a falha;
- Priorizar a falha;
- Reduzir os potenciais de falha.

Pesquisas realizadas nos últimos anos (SAKURADA 2001; YI et al. 2014) tem comprovado a eficácia da ferramenta *FMEA*, mostrando evidências claras de melhorias efetuadas através de seu uso. A abrangência de sua aplicação, observada nas variações da ferramenta também pode ser vista fora do ambiente fabril, em avançados sistemas auto diagnósticos (SNOOKE, 2012), análises clínicas (YI et al. 2014) e outros.

O *PFMEA* (*Process Failure Mode and Effect Analysis*) como uma variação da ferramenta *FMEA*, é dedicada exclusivamente à análise dos modos de falha dos processos de produção e seus efeitos no próprio processo e especialmente no produto, visando, justamente, a satisfação do cliente.

O desenvolvimento do *PFMEA* deve ser feito de forma a estar concluído no início da produção regular do produto. Nessa fase de produção, tanto as ocorrências como a identificação de novos modos de falha devem ser levantados visando retroalimentar o *PFMEA*. Dessa forma, o *PFMEA* contribui no processo de decisão gerando, por fim, melhoria dos processos e produtos, bem como da confiabilidade do sistema produtivo (JOHNSON e KHAN, 2003). Esse processo de decisão é fundamentado nas informações que o *PFMEA* gera a partir dos dados coletados ao longo da linha de produção.

1.2. Formulação do Problema

Chrysler (2008) refere-se ao *PFMEA* como um documento vivo, ou seja, a maximização do aproveitamento dessa ferramenta depende de atualização constante e dados precisos. Na fase de produção regular do produto, os dados necessários para atualizar o *PFMEA* vêm da linha de produção, onde, de fato ocorrem as falhas. O monitoramento dessas falhas pode ser feito através de um diário de bordo, onde o próprio operador registra as falhas ocorridas ou através de um sistema de informação, onde as falhas são registradas por um operador num terminal ou que pode detectar a falha automaticamente e registrá-la.

Em 2003, Johnson e Khan (2003) já haviam observado que vários fornecedores do setor automotivo não possuíam evidência de melhora nos seus processos produtivos com o uso da ferramenta *PFMEA* por adotarem a ferramenta simplesmente por força de norma instituída pelas montadoras. Esses autores afirmam ainda que “A impressão obtida é que esses fornecedores consideram o *PFMEA* apenas como mais papelada e, portanto, não têm como objetivo ou não esperam ganhar qualquer benefício a partir dele” (JOHNSON; KHAN, 2003, p.349, tradução nossa).

Além disso, tem-se observado na indústria, uma certa insuficiência e imprecisão dos dados e a ausência de um processo sistemático de detecção e inclusão de novos modos de falha no *PFMEA*, comprometendo tanto a frequência de atualização como a precisão da informação gerada. Como consequência, tem-se:

- Potencialização de decisões incorretas;
- Prejuízo em projetos futuros por falta de informação ou por falta de precisão da informação adquirida ao longo do ciclo de vida do produto;
- Ineficácia dos processos de melhoria contínua fundamentadas em informações do *PFMEA*.

O problema observado nessa pesquisa pode ser mostrado de forma gráfica conforme Figura 1.

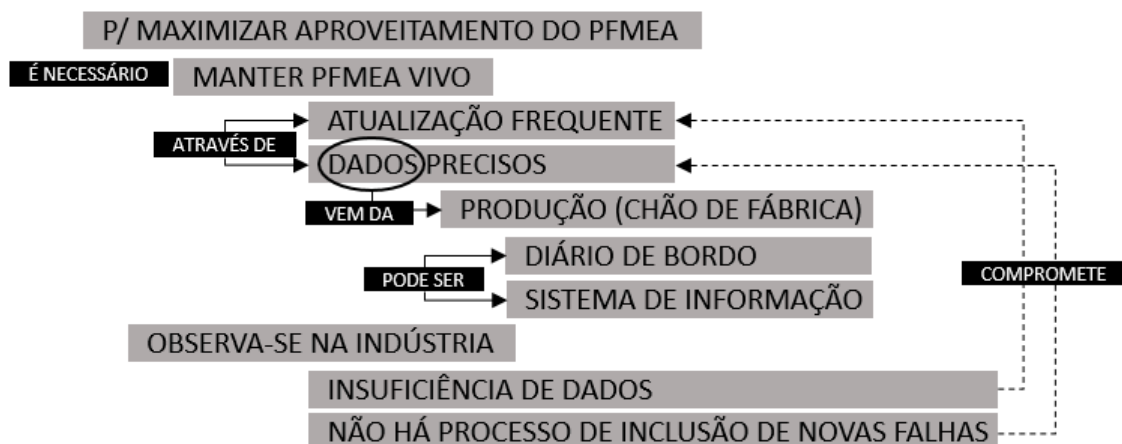


Figura 1 – Representação Gráfica do Problema de Pesquisa

Fonte - Chrysler (2008); Johnson e Khan (2003) adaptado pelo autor

No conceito do *Jidoka*, um dos pilares da manufatura enxuta, o operador tem autonomia para parar o processo quando uma falha é identificada com o objetivo de identificar a operação que gerou o defeito, a causa raiz e, por fim, solucionar o problema, quando, então, a produção é reiniciada. Além de alavancar a melhoria contínua dos processos, a implementação do *Jidoka* providencia dados suficientes para atualizar a ocorrência de falhas no *PFMEA* de forma precisa. No entanto, tem-se observado que esses dados não são contemplados quando a ocorrência do *PFMEA* é reclassificada.

Associar manualmente o *PFMEA* aos dados coletados a partir da implementação do *Jidoka* potencializa erros e demanda tempo, o que pode prejudicar a qualidade da informação. Entretanto, a utilização de recursos computacionais na coleta de dados minimiza a ocorrência de falha nos dados e na associação dos mesmos com o *PFMEA*, tornando a informação mais confiável. Também viabiliza a manutenção do mapeamento do processo e a inserção de modos de falha não contemplados no *PFMEA* original.

A partir do problema e das observações feitas, formulou-se a seguinte questão de pesquisa: adotar o conceito de *Jidoka* no processo produtivo, criar uma sistemática para coletar os dados gerados pela sua prática e associar os dados coletados ao *PFMEA* usando recursos computacionais adequados resulta num *PFMEA* mais preciso e atualizado em tempo adequado?

1.3. Hipótese

Adotar o conceito de *Jidoka* no processo produtivo, criar uma sistemática para coletar os dados gerados pela sua prática e associar os dados coletados ao *PFMEA* usando recursos computacionais adequados viabiliza a atualização da ocorrência de falhas no *PFMEA* de forma precisa e no tempo adequado, bem como a manutenção do mapeamento do processo e a inserção de modos de falha não contemplados no *PFMEA* original.

Essa hipótese pode ser compreendida de forma mais clara e resumida através da Figura 2.

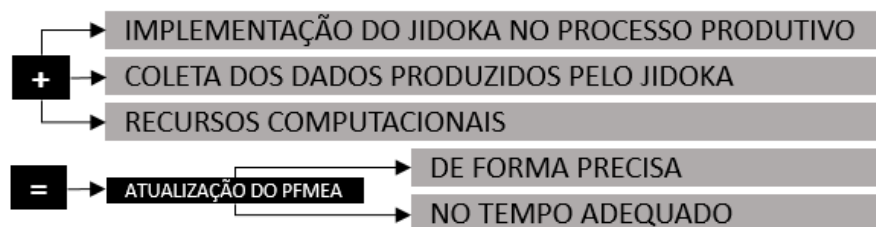


Figura 2 – Ilustração da Hipótese

Fonte – próprio autor

1.4. Justificativa

A motivação desse trabalho se dá em três áreas distintas:

- Acadêmico: no estado da arte do *FMEA*, observa-se um foco na aplicação da ferramenta em áreas distintas, porém, pouco material específico sobre o *PFMEA* durante a fase de produção regular do produto, especificamente o processo de atualização do mesmo, o que constitui uma fonte de informação fundamental na melhoria contínua e em projetos futuros.
- Empresarial: o *PFMEA* é uma ferramenta muito utilizada no meio empresarial, fornecendo uma melhor visualização de oportunidades de melhoria no processo corrente e em projetos futuros. Considerando que erros nos dados que alimentam um *PFMEA* podem acarretar em prejuízos à empresa, minimizar ou até mesmo eliminar o problema levantado constitui um ganho significativo,

- Pessoal: interesse do autor no estudo e aprofundamento no conhecimento da ferramenta uma vez que, parte de sua atuação em empresa do setor privado, constitui-se de desenvolver e manter *PFMEAs*.

1.5. Objetivos

1.5.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é desenvolver um sistema informatizado para coleta e gerenciamento de dados obtidos no chão de fábrica com o objetivo de tornar o *PFMEA* mais preciso e sua atualização mais rápida, constituindo uma base confiável para tomada de decisões gerenciais visando a melhoria do processo atual e o direcionamento correto para investimentos futuros em novos processos, garantindo menor incidência de falhas, maior eficiência e menor custo de operação.

1.5.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo proposto, tem-se como objetivos específicos:

- Efetuar uma pesquisa (*Survey*) visando identificar o problema levantado em empresas do setor automobilístico;
- Efetuar um estudo bibliográfico sobre os conceitos relevantes para o trabalho;
- Implementar a proposta em uma das empresas pesquisadas (Estudo de Caso).
- Levantar os ganhos obtidos.

1.6. Delimitação do Assunto

A ênfase desse estudo é referente ao processo de alimentação de dados de ocorrência para o *FMEA* de processo (*PFMEA*), portanto, não é objetivo

abordar outras aplicações do *FMEA*, como o *DFMEA* (*Design Failure Modes And Effects Analysis*) ou *MFMEA* (*Machinery Failure Modes and Effects Analysis*).

Considerando que o uso do *PFMEA* é comum nas indústrias automobilísticas e é uma exigência imposta aos seus fornecedores, delimitou-se trabalhar com empresas do setor automotivo.

1.7. Relevância

O *PFMEA* é uma ferramenta reconhecidamente importante no processo de melhoria contínua e fundamental no desenvolvimento de novos processos, porém, como o direcionamento que ela apresenta depende também dos dados coletados do processo produtivo, a preocupação com a qualidade desses dados é relevante. Dados imprecisos, potencializam decisões incorretas, prejuízo em projetos futuros e ineficácia do processo de melhoria contínua.

1.8. Organização da Dissertação

Essa pesquisa seguiu uma estrutura de desenvolvimento apresentada em cinco capítulos.

A introdução, no primeiro capítulo, trata das apresentações e definições introdutórias do tema, apresentando os objetivos, a hipótese de pesquisa, o problema e seu impacto na indústria, bem como os aspectos motivacionais, a relevância e as delimitações da pesquisa.

No segundo capítulo, é feita uma revisão da literatura apresentando os princípios e conceitos dos assuntos abordados e as principais fontes e conclusões obtidas em pesquisas científicas.

O terceiro capítulo aborda a metodologia da pesquisa adotada nessa presente pesquisa, fazendo uma explanação resumida dos métodos adotados, e apresentando o planejamento da pesquisa de forma detalhada.

No quarto capítulo é apresentado o desenvolvimento da pesquisa seguindo, numa sequência cronológica, a *Survey* exploratória, os resultados obtidos e a definição do caso onde foi aplicada a solução proposta na pesquisa efetuando dessa forma o teste da teoria utilizando o método de estudo de caso.

No quinto capítulo é apresentada a análise comparativa dos resultados obtidos com a aplicação da solução diante da situação anterior, fundamentada nos dados levantados ao longo do desenvolvimento. Segue-se as conclusões e ganhos obtidos, bem como as propostas de estudos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Processos de fabricação

Segundo Shetwan, Vitanov e Tjahjono (2011), o processamento dos produtos são, em geral, efetuados através de sistemas de produção com múltiplos estágios. Esses sistemas constituem uma cadeia produtiva de diferentes fases de processos onde a matéria prima é transformada em produto final. Existem diversos tipos de sistemas produtivos como:

- Sistemas de produção em série (*Serial Systems*): a matéria prima passa através de uma sequência de estações de processamento até chegar no produto final;
- Montagem (*Assembly Systems*): num certo estágio, o produto pode ser fixado ou montado com produtos oriundos de outras linhas de processamento;
- Sistemas de produção não serial (*Non-serial Systems*): são sistemas produtivos que não se encaixam na descrição de uma montagem e nem num sistema serial.

2.2 Qualidade

Qualidade não possui uma definição exata. Garvin (1987 apud Carvalho & Paladini *et al*, 2012, p. 8) efetuou uma pesquisa na literatura e no meio empresarial que resultou na classificação da qualidade em cinco abordagens distintas, apresentando aspectos diferentes do conceito. Carvalho & Paladini *et al* (2012) sintetizam as definições de Garvin no Quadro 1.

Abordagem	Definição	Frase
Transcendental	Qualidade é sinônimo de excelência inata. É absoluta e universalmente reconhecível <i>Dificuldade:</i> pouca orientação prática	"A <i>qualidade</i> não é nem pensamento nem matéria, mas uma terceira entidade independente das duas [...] Ainda que qualidade não possa ser definida, sabe-se que ela existe." (PIRSIG, 1974)
Baseada no Produto	Qualidade é uma variável precisa e mensurável, oriunda dos atributos do produto. <i>Corolários:</i> melhor qualidade só com maior custo. <i>Dificuldade:</i> nem sempre existe uma correspondência nítida entre os atributos do produto e a qualidade.	"Diferenças na qualidade equivalem a diferenças na quantidade de alguns elementos ou atributos desejados." (ABBOTT, 1955)
Baseada no usuário	Qualidade é uma variável subjetiva. Produtos de melhor qualidade atendem melhor aos desejos do consumidor. <i>Dificuldade:</i> agregar preferências e distinguir atributos que maximizam a satisfação	"A qualidade consiste na capacidade de satisfazer desejos..." (EDWARDS, 1968) "Qualidade é a satisfação das necessidades do consumidor... Qualidade é adequação ao uso." (JURAN, 1974)
Baseada na produção	Qualidade é uma variável precisa e mensurável, oriunda do grau de conformidade do planejado com o executado. Esta abordagem dá ênfase a ferramentas estatísticas (Controle do Processo). Ponto <i>fraco:</i> foco na eficiência, não na eficácia.	"Qualidade é a conformidade às especificações" "...prevenir não conformidades é mais barato que corrigir ou refazer o trabalho." (CROSBY, 1979)
Baseada no valor	Abordagem de difícil aplicação, pois mistura dois conceitos distintos: excelência e valor, destacando os <i>trade-off</i> qualidade x preço. Esta abordagem dá ênfase à engenharia / análise de valor.	"Qualidade é o grau de excelência a um preço aceitável." (BROH, 1974)

Quadro 1 – Classificação do conceito de qualidade

Fonte - Carvalho & Paladini et al (2012)

O quadro proposto por Garvin mostra que a qualidade foi se desenvolvendo ao longo da história. Carvalho e Paladini (2012) observam que alguns autores propuseram divisões na história da qualidade classificando os

períodos de acordo com as principais tendências. Dentre esses autores, a proposta de Garvin é uma das mais adotadas. As divisões históricas e as principais características da proposta de Garvin estão mostradas no Quadro 2.

Características Básicas	Interesse principal	Visão da Qualidade	Ênfase	Métodos	Papel dos profissionais da qualidade	Quem é o responsável pela qualidade
Inspeção	Verificação	Um problema a ser resolvido	Uniformidade do produto	Inspeção, de medição	Inspeção, classificação, contagem, avaliação e reparo	O departamento de Inspeção
Controle Estatístico do Processo	Controle	Um problema a ser resolvido	Uniformidade do produto com menos inspeção	Ferramentas e técnicas Estatísticas	Solução de problemas e a aplicação de métodos estatísticos	Os departamentos de fabricação e engenharia (o controle de qualidade)
Garantia da Qualidade	Coordenação	Um problema a ser resolvido, mas que é enfrentado proativamente	Toda cadeia de fabricação desde o projeto até o mercado, e a contribuição de todos os grupos funcionais para impedir falhas de qualidade	Programas e sistemas	Planejamento, medição da qualidade e desenvolvimento de programas	Todos os departamentos com a alta administração se envolvendo superficialmente no planejamento e na execução das diretrizes da qualidade
Gestão Total da Qualidade	Impacto estratégico	Uma oportunidade de diferenciação da concorrência	As necessidades de mercado e do cliente	Planejamento estratégico, estabelecimento de objetivos e a mobilização da organização	Estabelecimento de metas, educação e treinamento, consultoria a outros departamentos e desenvolvimento de programas	Todos na empresa, com a alta administração exercendo forte liderança

Quadro 2 - As eras da qualidade

Fonte - Carvalho & Paladini et al (2012)

O fato da qualidade ter evoluído ao longo dos anos não significa que todos os elementos que compõe cada era tenham sido abandonados para dar lugar a novos. Carvalho e Paladini (2012, p.7) afirmam que “vários elementos de todos esses anos estão presentes no dia a dia das empresas”, o que sugere que muitos deles são complementares.

2.2.1 Estações de verificação de qualidade

A história da qualidade aponta que o desenvolvimento do sistema de manufatura enxuta fez do processo de inspeção um alvo que deveria ser eliminado por ser considerado desperdício (CARVALHO e PALADINI, 2012, p. 5). Por isso, a alocação da EV (Estação de Verificação), bem como a determinação dos itens que serão inspecionados por ela, a frequência de inspeção, a melhor ação a se tomar entre reparar ou refugar o produto, a determinação dos limites entre “conforme” e “não conforme” entre outros tem sido objetos de diversas pesquisas e desenvolvimentos visando maximizar a eficiência e a eficácia das mesmas, reduzindo, ao mesmo tempo, o custo da qualidade. (PENN; RAVIV, 2007).

Embora seja vista como desperdício, as EVs são fundamentais na manufatura. Penn e Raviv (2007) apontam a EV como um dos itens do processo de fabricação responsável por garantir a qualidade do produto final. De forma geral, o processo de tomada de decisão numa EV, independentemente de ser o produto final ou semifinal se dá conforme ilustrado na Figura 3.

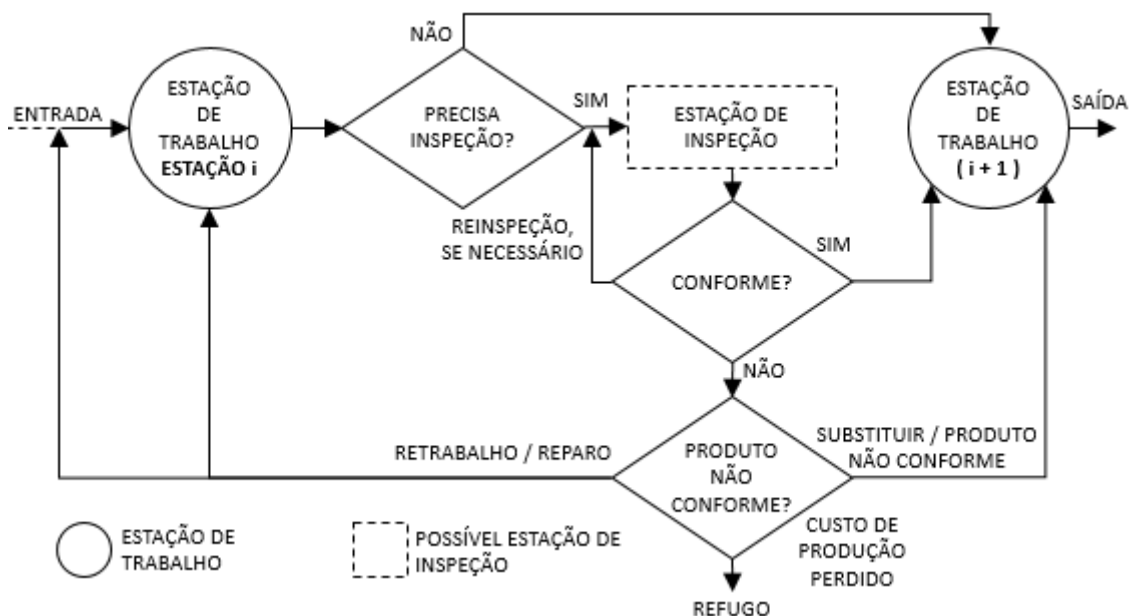


Figura 3 – Alocação de EV num processo de manufatura de múltiplos estágios

Fonte: SHETWAN; VITANOV; TJAHJONO (2011)

O uso da tecnologia visando a substituição do homem e a elevação da eficiência e eficácia no processo de inspeção tem caracterizado o estado da arte das EVs. Amza, Amza e Popescu (2012) propõem o uso de um sistema de análise automática de raios-x do produto com o objetivo de detectar contaminação do mesmo. Já Zhang et al (2014) propõem um sistema de visão que analisa a aparência de frutas e vegetais para a indústria alimentícia (cor, textura, tamanho, forma e outros aspectos visuais).

Zhang et al (2014) observam que os sistemas de visão por computador têm sido amplamente utilizados na indústria alimentícia e provado ser uma ferramenta poderosa na inspeção de qualidade de produtos agrícolas. No entanto, o alto custo da tecnologia nos processos de inspeção limita o acesso das indústrias, principalmente as de médio e pequeno porte. O uso do homem na inspeção do produto, portanto, ainda é uma realidade presente.

2.2.2 Ferramentas de gestão da qualidade

Carvalho e Paladini (2012, p. 353) definem as ferramentas de gerenciamento da qualidade afirmando que se trata de “mecanismos simples para selecionar, implantar ou avaliar alterações no processo produtivo por meio de análises objetivas de partes bem definidas deste processo” com o objetivo final de gerar melhorias.

As ferramentas de gerenciamento da qualidade não produzem a melhoria, mas orientam a ação de forma a atingir esse objetivo. Apresentam em maior ou menor grau, características comuns conforme segue:

- Quase todas possibilitam conhecer em detalhes como ocorrem as mudanças no processo produtivo abordado, através de dispositivos de avaliação das ações desenvolvidas.
- Geralmente são técnicas simples, visando sempre produzir qualidade.
- Incorporam, de modo geral, uma lógica de operação semelhante ao ciclo PDCA (*Plan, Do, Check and Act* - Planejar, Fazer, Verificar e Agir)

- Costumam envolver:
 - Procedimentos em forma de diagramas ou gráficos
 - Procedimentos numéricos
 - Esquemas para o desenvolvimento de atividades, para a realização de análises ou para tomadas de decisão
 - Estudos analíticos
 - Formulações precisas de conceitos ou diretrizes
 - Roteiros simples de ação
 - Regras de funcionamento ou de implementação
 - Planos de atividades
 - Mecanismos de operação
 - Outros

A natureza da aplicação das ferramentas e a forma como produzem qualidade são especificidades típicas de cada ferramenta. Carvalho e Paladini (2012, p. 353) trazem um complemento mais amplo à definição das ferramentas de gerenciamento da qualidade afirmando que:

“... ferramentas são métodos estruturados de modo consistente para viabilizar a definição de melhorias que possam vir a ser implantadas em partes definidas do processo produtivo. As ferramentas atuam tanto na parte anterior da implantação (listagem de opções; processos de escolha; regras de preferência, por exemplo) quanto na fase posterior (análise de resultados, avaliação de efeitos; implicações práticas; decorrências das ações, por exemplo).”

Tanto Carvalho e Paladini (2012) como Marshall (2012) apresentam várias ferramentas de qualidade. No entanto, deixam claro que sua abordagem não é exaustiva, podendo haver outras ferramentas não inclusas nessa lista. As ferramentas citadas por ambos autores incluem: Diagrama de causa e efeito, Diagrama de dispersão, Estratificação, Fluxograma, Gráfico de Pareto e Histograma

2.2.3 FMEA – Failure Mode and Effect Analysis

A sigla *FMEA* foi adotada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), na norma NBR 5462 (1994) em sua forma original, porém, é traduzida

como Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos. Mesmo sendo uma sigla autoexplicativa, vários autores procuraram conceituar o *FMEA* de forma mais ampla. No entanto, pode-se observar que, desde Palady (1997) até alguns autores mais atuais como Stamatis (2003), Inoue e Yamada (2010) e Souza (2012), as variações no conceito de *FMEA* estão associadas mais à abrangência de sua aplicação do que à semântica. Pode-se resumir o *FMEA* como sendo uma ferramenta de gerenciamento da qualidade que apresenta uma metodologia estruturada para identificar modos de falha constatada ou potencial de um processo, produto ou serviço, identificar seus efeitos no cliente e estabelecer prioridades de ação através da classificação numérica de cada modo de falha.

As vantagens da aplicação do *FMEA* para a organização acabam tomando parte da definição do mesmo, constituindo a abrangência supracitada. Palady (1997) comenta que o *FMEA* é uma das técnicas de baixo risco mais eficaz em termos de custos e mais eficiente para identificação das soluções prevenindo problemas. Stamatis (2003) acrescenta que a aplicação do *FMEA*, em última instância melhora a confiabilidade, durabilidade e qualidade de um produto ou serviço. De acordo com Inoue e Yamada (2010), o *FMEA* auxilia na identificação, priorização e melhoria de um projeto, processo ou sistema antes mesmo que falhas reais ocorram. Souza (2012) destaca o papel preventivo do *FMEA*.

Pode-se observar que o estado da arte do *FMEA* está mais focado em sua aplicação do que na variação do conceito. A integração com outras ferramentas, com sistemas informatizados e a diversidade de aplicações na indústria mostram isso de forma clara. Sakurada (2001) analisa uma bomba hidráulica integrando as técnicas *FMEA* e *FTA* (*Fault Tree Analysis*). Leal (2006) propõe o uso integrado do *FMEA* com a Teoria Grey. Degen et al (2010) propõem um método para avaliação de riscos em *FMEA* considerando o custo de ocorrência do modo de falha. Snooke (2012) utiliza o conceito de *FMEA* na indústria aeroespacial, aplicando-o num sistema diagnóstico de tempo real para identificação de falhas em voos autônomos. Yi et al (2014) aplicam o *FMEA* na determinação de margem de risco clínico e conclui ressaltando a flexibilidade da ferramenta.

A diversidade de aplicações bem-sucedidas do *FMEA* mostra não somente sua flexibilidade, como também sua eficácia na estruturação de

sistemas, na determinação dos seus respectivos modos de falha e efeitos e no suporte à decisão, providenciando um ranking dos itens mais críticos a se considerar no sistema abordado, através da análise da severidade do efeito, da capacidade de detecção e probabilidade de ocorrência da falha. Para que haja a compreensão correta desses indicadores de criticidade, buscou-se, como referencial teórico, não somente analisar esses indicadores, como também os itens que compõe o *FMEA* e que são fundamentais no entendimento do mesmo

2.2.3.1 PFMEA: FMEA de processo

Segundo Johnson e Khan (2003), o *PFMEA* é motivado pela melhoria contínua de produtos, processos, confiabilidade e, especificamente na indústria automobilística, reduzir as campanhas de garantia e de veículos, aumentando assim a satisfação do cliente. O *PFMEA* apoia a prática e a filosofia da prevenção de problemas e melhoria contínua.

Pode-se afirmar, portanto que o *PFMEA* tem, como finalidade, identificar e analisar as falhas potenciais do processo de produção de um produto ou processo, assegurando medidas preventivas e de controle do processo de forma a garantir as características do produto conforme especificadas em seu projeto, o que gera a satisfação do cliente. Sendo essa sua finalidade, um estudo de *PFMEA* não deve contar, portanto, com as alterações de projeto de produto para atenuar deficiências constatadas ou potenciais do processo.

2.2.3.2 Função, modo de falha, efeito e causa

Johnson e Khan (2003) comentam que o uso que os fornecedores da automobilística considerada em sua pesquisa fazem do *FMEA* sugere mais um mero cumprimento de norma (estabelecida pela *ISO9000* e *QS9000*) do que uma ferramenta de qualidade efetivamente em uso. Um dos motivos levantados pelos autores é a confusão feita entre os elementos que compõe o *PFMEA*. Portanto, visando um entendimento preciso dessa ferramenta, segue abaixo a descrição de seus elementos:

- **Função:** Segundo Michaelis (2000), função significa “Ação natural e própria de qualquer coisa”, “Atividade especial, serviço, encargo, cargo, emprego, missão”, ou simplesmente “Finalidade”. Segundo Souza (2012), a segunda atividade a ser feita no desenvolvimento do *FMEA*, depois do preenchimento do cabeçalho do formulário do *FMEA*, é a identificação das funções que o processo deve desempenhar para satisfazer os clientes. Para o *PFMEA*, é desejável listar os processos, ou operações que compõe o escopo do trabalho e identificar qual a função ou quais são as funções de cada uma delas, bem como os requisitos de cada uma das funções. Na prática, o resultado dessa tarefa é o mapeamento do processo considerado no escopo e todas as suas funções e requisitos.
- **Modo de Falha:** Sakurada (2001) define modo de falha afirmando que é a “maneira na qual o defeito se apresenta”, “a maneira que o componente em estudo deixa de executar a sua função ou desobedece às especificações” e aponta que o modo de falha se caracteriza baseando-se apenas no cumprimento da função”. De fato, a negação total ou parcial da função e seus requisitos caracterizam o principal caminho para levantar os modos de falha. No entanto não constitui um meio único. No *PFMEA* também deve ser considerado o modo de falha do ponto de vista do produto em transformação no processo em análise. Em outras palavras é significativo questionar qual falha o produto pode apresentar nesse processo (efeito) e como o processo contribui para isso (Modo de falha)
- **Efeito:** Sakurada (2001) define efeito afirmando que 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. ” Souza (2012) entende o efeito como “ o impacto de cada modo de falha no cliente “. Considerando esse princípio, pode-se afirmar que no *PFMEA* o modo de falha é inerente ao processo e o efeito, embora possa também ser observado no processo, deve também ser considerado no produto (cliente).
- **Causa:** “Aquilo que determina a existência de uma coisa”; “O que determina um acontecimento”; “agente, motivo, razão”; “origem, princípio” (MICHAELIS, 2000). Palady (1997 apud SOUZA 2012), considerando o

processo de elaboração do *FMEA* entende a causa como a resposta da pergunta: “ que condições provocam esse modo de falha? ”. Também recomenda não inserir todas as causas possíveis para uma falha no formulário do *FMEA*. Para esse autor, as causas devem ser analisadas em Diagramas de Ishikawa e gráficos de Pareto para determinação de quais são as principais. Embora essa seja uma boa prática, pode incorrer em ignorar uma causa que tenha ocorrência.

O Quadro 3 apresenta um exemplo de mapeamento da operação, função, os requisitos da função seguido do modo de falha e os efeitos da falha mediante ocorrência

OPERAÇÃO	REQUISITOS	MODO DE FALHA	EFEITO
Operação 20 - Anexar almofada do assento usando uma pistola de torque	Quatro parafusos	Menos que quatro parafusos	Usuário Final: perda da almofada e barulho Manufatura e montagem: interrupção de embarque, reinspeção e retrabalho devido às peças afetadas
	Parafusos especificados	Uso de parafuso não adequado (diâmetro maior)	Manufatura e Montagem: Dificuldade para instalar os parafusos restantes na estação.
	Sequência de montagem: primeiro parafuso no lado direito do furo frontal	Parafuso colocado em outro furo	Manufatura e Montagem: incapacidade de instalar o parafuso na estação
	Parafusos totalmente assentados	Parafuso parcialmente assentado	Usuário Final: perda da almofada e barulho Manufatura e montagem: reinspeção e retrabalho devido às peças afetadas
	Parafusos com torque dinâmico conforme especificado	Parafuso com torque acima do especificado	Usuário Final: perda da almofada e barulho devido à subsequente quebra do parafuso Manufatura e montagem: reinspeção e retrabalho devido às peças afetadas
		Parafuso com torque abaixo do especificado	Usuário Final: perda da almofada e barulho devido à gradual desaperto do parafuso Manufatura e montagem: reinspeção e retrabalho devido às peças afetadas

Quadro 3 – Exemplo de Mapeamento de Modos de Falhas e Efeitos

Fonte: Chrysler (2008), p.90

2.2.3.3 Severidade, ocorrência e detecção

Os elementos que permitem mensurar os itens do *FMEA*, mostrando quais tem maior prioridade, são denominados de índices e compõe o cálculo de criticalidade, NPR (Número de Prioridade de Risco) e outros indicadores elaborados por diversos autores, conforme comenta Sakurada (2001). Esses elementos são os seguintes:

- Severidade: segundo Sakurada (2001) o fator severidade avalia o impacto dos efeitos da falha, a gravidade dos efeitos e observa que todos os autores relacionam a severidade aos efeitos dos modos de falha. A pontuação da severidade é feita através de escalas diversas encontradas na literatura. Souza (2012) menciona que diversos autores como Palady (1997) e Roos et al. (2007) propõe escalas detalhadas em dez níveis qualitativos, enquanto outros autores propõem escalas mais simples. Abaixo segue modelo apresentado por Roos et al. (2007 apud SOUZA, 2012)

Escala de severidade dos efeitos dos modos de falha	Índice de Severidade
Efeito não percebido pelo cliente	1
Efeito muito insignificante, percebido por 25% dos clientes	2
Efeito insignificante, mas percebido por 50% dos clientes	3
Efeito moderado e percebido por 75% dos clientes	4
Efeito consideravelmente crítico, percebido pelo cliente	5
Efeito consideravelmente crítico, que perturba o cliente	6
Efeito crítico. Deixa o cliente um pouco insatisfeito	7
Efeito crítico. Deixa o cliente consideravelmente insatisfeito	8
Efeito crítico. Deixa o cliente totalmente insatisfeito	9
Efeito perigoso, que ameaça a vida do cliente	10

Quadro 4 - Escala detalhada de severidade dos efeitos das falhas

Fonte - Roos et al. (2007 apud SOUZA, 2012)

Nota-se, no Quadro 4, um certo grau de subjetividade na classificação da severidade, uma vez que a determinação de seu nível está condicionada a fatores subjetivos como a capacidade de percepção do cliente e o grau de satisfação do mesmo. Por outro lado, itens com severidade alta

chamam a atenção por evidenciar um alto risco para a organização. Palady (1997) complementa mencionando que a severidade igual ou superior a nove é tratada de forma distinta em algumas empresas ressaltando que se trata de uma classificação onde a segurança do cliente e a saúde financeira da empresa podem estar em risco.

- Detecção: Sakurada (2001, p.53) define a detecção como “um valor que mostra a eficiência dos controles de detecção da falha (modo de falha ou causa do modo de falha). Quanto maior for o valor atribuído ao índice de detecção significa que maior será a dificuldade de detectar a falha”. Souza (2012) destaca a diferença na classificação entre os fatores de criticidade, mencionando que a pontuação mais alta para os níveis de severidade e ocorrência significam severidade maior ou probabilidade de ocorrência maior, porém, quanto mais alta a pontuação de detecção, menor é a capacidade de detecção da falha. Para a estimativa do nível de detecção também são encontradas escalas mais simples e mais completas na literatura. Souza (2012) menciona que vários autores trabalham com as escalas qualitativas de dez níveis, como o Quadro 5 mostrado abaixo.

Detecção	Critério	Pontuação
Absolutamente incerto	Quase certo que não será detectado	10
Muito remota	Os controles provavelmente não vão detectar	9
Remota	Os controles têm uma chance muito pequena de detectar	8
Muito baixa	Os controles têm uma chance pequena de detectar	7
Baixa	Os controles devem detectar	6
Moderada	Os controles devem detectar	5
Moderadamente alta	Os controles têm boa chance de detectar	4
Alta	Os controles têm chance muito boa de detectar	3
Muito alta	Os controles quase certamente vão detectar	2
Quase certeza	Os controles vão detectar	1

Quadro 5 - Escala qualitativa de dez níveis de detecção

Fonte - Ookalkar, A.; Joshi; Ookalkar, D. (2009 apud SOUZA, 2012)

- Ocorrência: Sakurada (2001) menciona que o fator probabilidade de ocorrência é usado para avaliar as chances (probabilidade) da falha ocorrer. Observa também que alguns autores relacionam a ocorrência ao modo de falha e outros, às causas do modo de falha. No *PFMEA*, a ocorrência é relacionada à causa do modo de falha. Vários autores trabalham com classificação qualitativa (Tabela 1) na escala de ocorrência e outros com classificação quantitativa (Tabela 2), conforme Souza (2012).

Frequência de Ocorrência	
1	Muito improvável ocorrer
2	Ocorre às vezes
3	Ocorre eventualmente
4	Ocorre frequentemente
5	Muito frequente

Tabela 1 - Escala simples e qualitativa de probabilidade de ocorrência

Fonte - Inoue; Yamada (2010 apud SOUZA, 2012)

Pontuação	Taxa de Ocorrência
1	0
2	1/20.000
3	1/10.000
4	1/2.000
5	1/1.000
6	1/200
7	1/100
8	1/20
9	1/10
10	1/2

Tabela 2 - Escala quantitativa de dez níveis de probabilidade de ocorrência

Fonte - Bem-Daya; Raouf (1996 apud SOUZA, 2012)

A indústria automotiva tem desenvolvido suas próprias escalas de severidade, detecção e ocorrência e pode-se observar uma busca por minimização dos fatores subjetivos, adicionando características específicas para cada nível da classificação que podem ser obtidos de maneira exata ao se analisar o cenário envolvido (severidade e detecção) ou através da coleta de dados (ocorrência). Além do exemplo de ocorrência supracitado, onde a Tabela

1 apresenta classificação totalmente subjetiva e a Tabela 2 apresenta classificação pautada por valores exatos, a classificação da severidade proposta no Quadro 4 comparada com o Quadro 6 (adaptada da Ford Motor Company por Leal (2006)), evidencia também uma menor subjetividade dessa última.

Efeito	Severidade do efeito	Rank
Perigoso	Falha é perigosa e ocorre sem aviso. Capaz de suspender a operação dos sistemas e/ou envolve aspectos não complacentes com regulações governamentais	10
Sério	Os efeitos podem ser perigosos e/ou envolvem aspectos não complacentes com regulações governamentais	9
Importante	Produto inoperável, com perda da função básica. Sistema inoperante	8
Impactante	Desempenho do produto sofre impacto. Sistema pode não operar	7
Significativo	Desempenho do produto é degradado. Funções atreladas ao conforto podem não operar	6
Moderado	Moderado efeito no desempenho do produto. Produto requer reparos	5
Baixo	Pequeno efeito no desempenho do produto. O produto não requer reparos	4
Desprezível	Efeito desprezível no desempenho do produto ou sistema	3
Muito desprezível	Efeito muito desprezível no desempenho do produto ou sistema	2
Nenhum	Nenhum efeito	1

Quadro 6 - Critério de análise e ordenação para a severidade dos efeitos da falha

Fonte - Leal (2006)

2.2.3.4 Prioridade de risco

A forma de associar analiticamente os indicadores de criticidade não é consenso entre os diversos autores, no entanto, a forma mais comum é através do Número de Prioridade de Risco (NPR). Stamatis (2003) propõe o que se pode chamar de forma clássica na determinação do NPR, a multiplicação das pontuações de severidade, ocorrência e detecção. Palady (1997) lembra que “No *FMEA*, os valores altos são ruins e os valores baixos são bons”, ou seja, quanto maior o nível de NPR, maior é o risco para a organização. Nesse ponto, observa-se que o estado da arte do *FMEA* sofreu variações conceituais ao longo do

tempo. Segundo Souza (2012) a abordagem clássica do NPR é criticada por diversos autores os quais buscam maneiras diferentes de combinar os indicadores de criticidade.

Ben-daya e Raouf (1996) ressalta a importância do fator probabilidade de ocorrência ao propor uma escala com intervalos diferenciados para os fatores que consideram mais importantes. Sankar e Prabhu (2001) desenvolveram uma tabela com a ajuda de especialistas em escalas de risco, adotando a lógica “se-então” para determinar o NPR a partir da severidade, ocorrência e detecção. Essa tabela consiste em mil combinações possíveis, considerando uma escala de NPR de 1 a 1.000. Kumar e Chaturvedi (2011) propõem uma fórmula de cálculo diferente para o NPR considerando o uso de escalas de pontuação diferentes para os fatores detecção e ocorrência e o uso da lógica nebulosa.

Palady (1997 apud SOUZA, 2012) propõe o uso de um gráfico para a determinação da prioridade de risco. Chama a atenção o fato de que a aplicação mais aprimorada desse conceito na indústria automotiva pode ser observada nos dias atuais. Essa proposta consiste no uso dos fatores severidade e ocorrência na análise do *FMEA*, não considerando a detecção. Segundo o autor, essa é uma visão pró ativa em direção à solução de problemas. O gráfico utilizado é denominado Gráfico de Áreas (Figura 1), onde são colocados os modos de falha, considerando as pontuações de severidade e ocorrência como as coordenadas (x, y) respectivamente. O ponto em que as retas em x e y se cruzam determina a prioridade, podendo ser classificada como alta, média ou baixa.

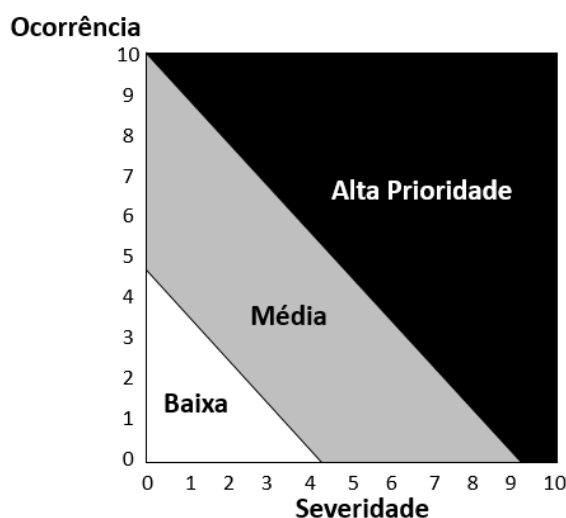


Figura 4 - Gráfico de Área para interpretação dos resultados do *FMEA*

Fonte - Palady (1997 apud SOUZA, 2012)

2.2.4 PPM – Partes por Milhão

Segundo Santos (2006), o PPM (Partes por Milhão) é uma ferramenta estatística que possui um papel fundamental no contexto do controle e gestão da qualidade. Praticamente sua formulação depende de dois dados de produção: quantidade produzida e quantidade de peças defeituosas. Santos (2006) complementa afirmando que o PPM “se refere ao número de unidades, partes de peças, ou produtos que serão defeituosos, se um milhão de itens forem produzidos. O uso desta unidade de medida é muito comum nos ambientes de manufatura de empresas”

Miguel (2008) também complementa afirmando que o PPM, além de ser uma ferramenta de controle e gestão da qualidade, também é um indicador de satisfação do cliente. O gráfico 1 mostra um exemplo de gráfico de PPM acumulado por mês.

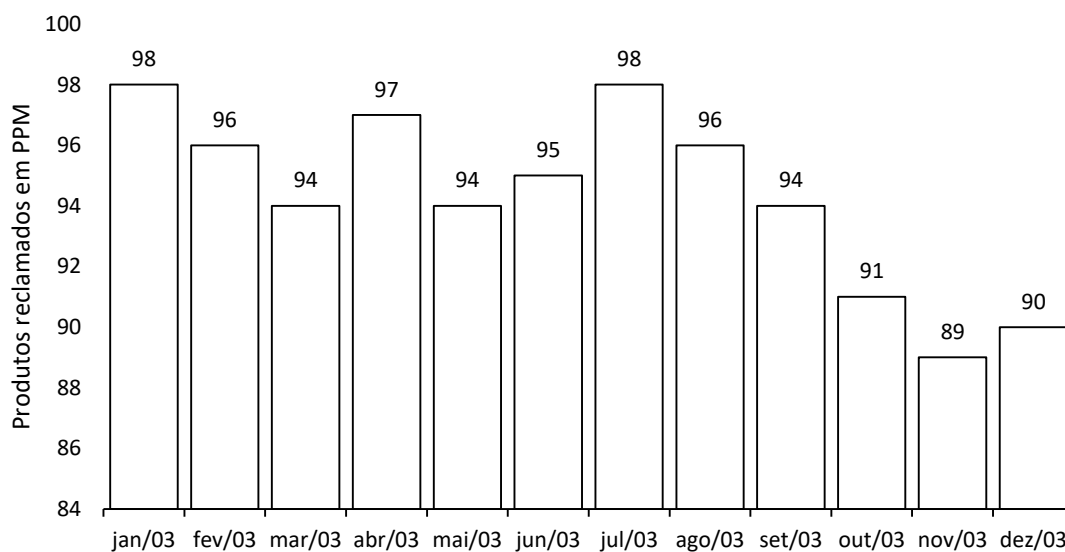


Gráfico 1 – Modelo de Gráfico de PPM

Fonte – próprio autor

2.3 Manufatura Enxuta

Segundo Almeida e Souza (2000), a manufatura enxuta consiste em:

...uma filosofia de gerenciamento que procura otimizar a organização de forma a atender as necessidades do cliente no menor prazo possível, na mais alta qualidade e ao mais baixo custo, ao mesmo tempo em que aumenta a segurança e o moral de seus colaboradores, envolvendo e integrando não só manufatura, mas todas as partes da organização.

O termo “manufatura enxuta” (do inglês *lean manufacturing*) remete ao final da década de oitenta quando pesquisadores do IMVP (*International Motor Vehicle Program*), um programa de pesquisas ligado ao MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) definiram esse termo para se referenciar a um sistema de produção que incorporasse características do inovador Sistema Toyota de Produção (STP) que se evidenciava mundialmente por viabilizar menor custo de fabricação através de uma produção otimizada (ALMEIDA e SOUZA, 2000)

2.3.1 Histórico

O histórico do STP aponta sua origem nos processos manufatureiros, portanto, entendê-lo de forma adequada requer uma análise de sua história, especificamente na indústria automobilística, onde tomou a forma como o conhecemos atualmente.

Almeida e Souza (2000) explana que a família Toyoda tinha seu foco voltado para a produção de equipamentos e máquinas para o setor têxtil, começando a cogitar a ideia de fabricar automóveis somente após a viagem de Sakichi Toyoda aos Estados Unidos em 1910. Essa ideia, no entanto, só se concretizou na gestão do filho de Sakichi, Kiichiro Toyoda, sob a qual nasceu a Toyota Motor Co. em 1937.

Inicialmente, a Toyota especializou-se na fabricação de caminhões para as forças armadas. Sua visão, porém, era produzir carros de passeio e caminhões comerciais em larga escala. Com o advento da II Guerra Mundial e o envolvimento do Japão nela, as pretensões da Toyota tiveram que ser adiadas.

O final da II Guerra em 1945 levou a Toyota a revisitar seus planos de tornar-se montadora de veículos, porém, havia uma distância significativa frente aos concorrentes americanos em termos de produtividade. Falava-se numa diferença de produtividade de aproximadamente 1000% de um trabalhador japonês comparado ao americano. A constatação dessa realidade foi o fator que alavancou a indústria japonesa a alcançar a americana (o que realmente aconteceu alguns anos depois) e também levantou questionamentos e análises visando explicar a razão dessa diferença, de onde se concluiu haviam perdas ao longo do sistema produtivo japonês. A partir dessa constatação iniciou-se a estruturação de um processo sistemático de identificação e eliminação das perdas.

Ao longo desse processo de estruturação, Taiichi Ohno, Engenheiro chefe da Toyota, em sua primeira visita às fábricas da Ford em 1956 identificou que, para o mercado japonês, discreto e de demanda variada, a produção precisava de ajustes e melhorias. Os trabalhadores não eram utilizados de forma adequada, haviam tarefas que não agregavam valor ao produto, a qualidade era deixada em segundo plano e haviam grandes estoques intermediários entre os processos.

A crise do petróleo de 1973 levou diversas empresas a grandes prejuízos e algumas até mesmo a fechar as portas. O preço do barril do petróleo atingiu níveis extremos, interferindo negativamente na economia mundial. Em meio a essa turbulência a Toyota Motor Co. foi uma das poucas empresas a escapar da crise sem sofrer quase nenhum impacto dela o que despertou organizações em todo o mundo querendo saber a fórmula que a Toyota adotou para essa realização. Foi nesse tempo que a Toyota começou a ser reconhecida mundialmente.

2.3.2 Princípios Fundamentais da manufatura enxuta

Almeida e Souza (2000) expõe que, pela lógica tradicional, o preço do produto era imposto ao mercado e era composto basicamente da soma do custo de fabricação e do lucro pretendido, ou seja, toda a ineficiência dos processos produtivos era paga pelo cliente final. No entanto, com o passar dos anos, o

cliente tornou-se mais exigente e a concorrência aumentou, o que levou o preço a ser determinado pelo mercado. A antiga equação “Custo + Lucro = Preço” foi substituída por “Preço – Custo = Lucro”. Uma vez que o preço é determinado pelo mercado, o aumento da margem de lucro está, basicamente na redução do custo de fabricação.

A essência do STP é justamente a eliminação de perdas, o que, na Toyota é conhecido como “princípio do não-custo”. Para isso, é feita uma análise detalhada de toda a sequência do processo produtivo, o que é chamado de cadeia de valor visando identificar possíveis perdas. Os componentes de trabalho de cada operação que não adicionam valor também são identificados nesse processo.

As perdas, na Toyota são definidas como “atividades completamente desnecessárias que geram custo, não agregam valor e que, portanto, devem ser imediatamente eliminadas” (ALMEIDA e SOUZA, 2000). Essas perdas são classificadas em sete grandes grupos:

- Superprodução: subdividida em dois tipos:
 - Superprodução por Quantidade: produzir além quantidade programada, gerando sobra de peças
 - Superprodução por Antecipação: produzir sem necessidade. Nesse caso, as peças produzidas ficarão estocadas até o momento de serem consumidas ou processadas em etapas posteriores.
- Espera: ocorre quando o lote fica parado aguardando liberação para prosseguir no fluxo produtivo. Há três tipos de perdas por espera:
 - Espera no Processo: o lote de peças aguarda a disponibilidade da estação seguinte para ser processada.
 - Espera do Lote: a peça aguarda o processamento do restante do lote a que pertence, para então seguir em frente no fluxo produtivo
 - Espera do Operador: ociosidade gerada quando o operador tem que permanecer junto à máquina para monitorar o processamento ou quando há desbalanceamento na carga de mão de obra.
- Transporte: é uma atividade que não agrega valor, portanto deve ser minimizado. A otimização do transporte pode ser dividida em duas etapas:

- Eliminação ou redução do transporte: geralmente obtida através de alterações de layout onde a movimentação do material é eliminada ou reduzida.
- Melhorias nas operações de transporte: uso de esteiras rolantes, transportadores aéreos, pontes rolantes, mesa de esfera, etc. As melhorias nas operações de transporte só devem ser feitas após esgotar as possibilidades de melhoria no processo visando eliminar ou reduzir a movimentação de materiais.
- Processamento: processos ou parte deles que poderiam ser eliminados sem afetar as funções e características básicas do produto. A baixa *performance* do processo seja por projeto ou por deterioração, também é considerada perda por processamento.
- Estoque: embora “alivie” os problemas de sincronia entre processos, estoque de matéria prima, material em processamento ou produto acabado constitui perda e deve ser reduzido ou, preferencialmente, eliminado. O STP adota a redução gradativa dos estoques intermediários como estratégia para identificar outros problemas que ficam escondidos por trás dos estoques.
- Movimentação: são os movimentos desnecessários realizados pelos operadores ao realizar uma operação. A redução ou eliminação dessa perda se dá, primeiramente, através do estudo de tempos e métodos e, posteriormente, da mecanização da operação, transferindo a atividade do operador para máquina.
- Fabricação de Produtos Defeituosos: produtos manufacturados com uma ou mais de suas características fora da especificação ou padrão estabelecido, e que, por isso, não satisfaça os requisitos de uso. A eliminação ou redução dessa perda no STP, se faz com a aplicação de métodos de controle na fonte, na causa raiz do problema.

2.3.3 Pilares do Sistema Toyota de Produção: *JIT* e *Jidoka*

Ao expor os pilares do STP, Almeida e Souza (2000) afirmam que a crise do petróleo da década de 70 foi um marco divisor onde as condições

concorrenciais mudaram de forma a impor restrições significativas aos ganhos obtidos com a produção em larga escala. Nesse ambiente, a Toyota Motor Co. se destacou por possuir um sistema de produção em sintonia com essas novas regras, concentrado e baseado na identificação e eliminação de perdas.

Ghinato (1995) ao abordar o *Just In Time (JIT)* afirma que há confusões entre diversos autores que trabalham o conceito do *JIT*. Almeida e Souza (2000) acrescentam que o *JIT*, pela sua forte identificação com o STP, pode ser interpretado como sendo o próprio STP, no entanto, nada mais é do que uma técnica de gestão incorporada à estrutura do STP, o qual, em conjunto com o *Jidoka*, constitui os pilares do STP. Almeida e Souza (2000) afirmam que

Segundo este modelo, o objetivo da Toyota é atender da melhor maneira as necessidades do cliente, fornecendo produtos e serviços da mais alta qualidade, ao mais baixo custo e no menor lead time possível. Tudo isso enquanto assegura um ambiente de trabalho onde segurança e moral dos trabalhadores constitua-se em preocupação fundamental da gerência.

A Figura 5 apresenta o STP com seus dois pilares e demais componentes

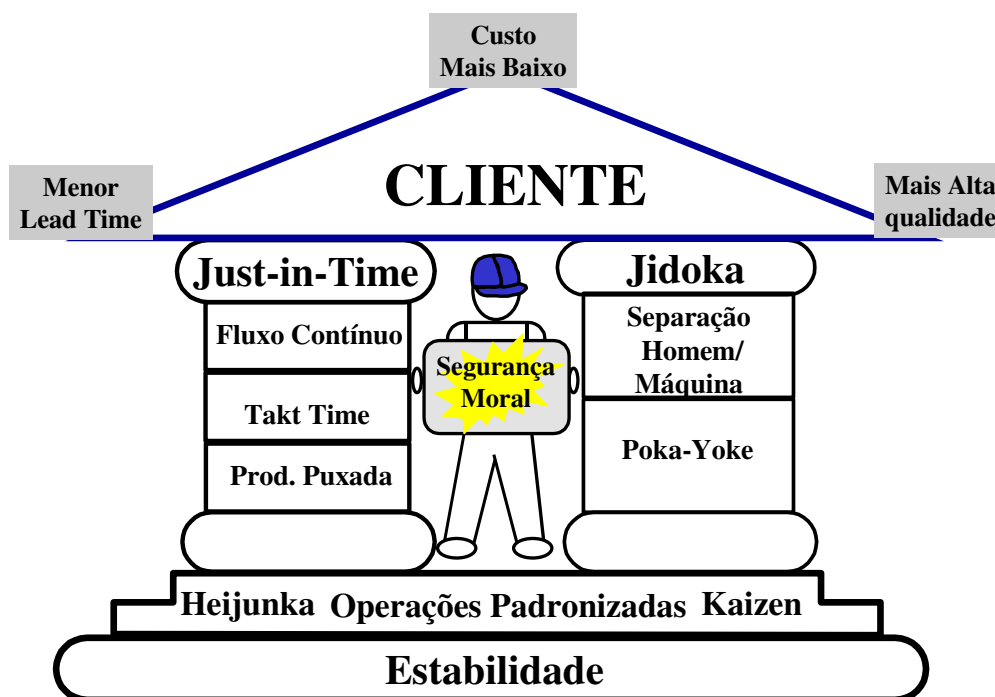


Figura 5 – A Estrutura do Sistema Toyota de Produção

Fonte: Almeida e Souza (2000)

2.3.3.1 Just-In-Time

Segundo Almeida e Souza (2000), o termo inglês "*Just-In-Time*" adotado pelos japoneses, tem uma origem incerta. Há indícios de que tenha surgido na indústria naval passando posteriormente a ser adotada nas montadoras. Outra ideia é de que o conceito *JIT* foi desenvolvido por Kiichiro Toyoda, a partir do pensamento que "numa indústria como a automobilística, o ideal seria ter todas as peças ao lado das linhas de montagem no momento exato de sua utilização"

A definição do *JIT* foi amadurecendo ao longo dos anos. Ghinato (1995) afirma que diversas publicações apresentaram o *JIT* "definido como filosofia, estratégia, sistema, projeto, abordagem, técnica e programa, entre outras", o que constitui uma "prova concreta da grande dificuldade de conceituar *JIT*". No entanto, Motta *apud* Ghinato (1995) defini *JIT* como

"...uma técnica que se utiliza de várias normas e regras para modificar o ambiente produtivo, isto é, uma técnica de gerenciamento, podendo ser aplicada tanto na área de produção como em outras áreas da empresa."

Observa-se que Almeida e Souza (2000) também definiram o *JIT* de forma semelhante, mostrando um amadurecimento e uma estabilização do conceito (citado acima). A respeito do significado e objetivo do *JIT*, Almeida e Souza (2000) também afirmam que

"*Just-In-Time* significa que cada processo deve ser suprido com os itens certos, no momento certo, na quantidade certa e no local certo. O objetivo do *JIT* é identificar, localizar e eliminar as perdas, garantindo um fluxo contínuo de produção."

Ghinato (1995) complementa: "É fundamental que se entenda que o *JIT* é somente um 'meio' de alcançar o verdadeiro objetivo do STP que é o de aumentar os lucros através da completa eliminação das perdas."

2.3.3.2 Jidoka

Segundo Ghinato (1995), o termo *Jidoka* surgiu na própria Toyota quando o engenheiro Ohno se esforçava para viabilizar a operação simultânea de mais

de uma máquina pelo mesmo operador, buscando o aumento de eficiência na produção. Almeida e Souza (2000) trazem o detalhe de que essa nova maneira otimizada de pensar o processo, fez com que Ohno formulasse a questão: “Porque uma pessoa na Toyota Motor Company é capaz de operar apenas uma máquina enquanto na fábrica têxtil Toyoda uma operadora supervisiona 40 a 50 teares automáticos? ”. Ohno concluiu que as máquinas na Toyota não estavam preparadas para parar automaticamente diante de uma anormalidade ou simplesmente quando o processamento estivesse terminado.

A automação aplicada nas máquinas da Toyota gerou o conceito de *Jidoka* ou automação, como também é conhecido. Isoladamente, a palavra *Jidoka* significa simplesmente automação. A expressão *Ninben no aru jidoka* é que indica o que realmente o conceito significa: a máquina é dotada de inteligência e toque humano.

Ghinato (1995) conclui que a automação ou *Jidoka* “consiste em facultar ao operador ou à máquina a autonomia de parar o processamento sempre que for detectada qualquer anormalidade no processamento”. Ghinato (1995) ressalta que o conceito de automação está mais associado com a autonomia do operador do que com a automação em si, tanto que o conceito se estende também para as linhas de produção manuais. Em qualquer dos casos, diante de uma anormalidade, o operador pode parar a produção.

Ghinato (1995) resume o objetivo do conceito de automação afirmando que:

A ideia central é impedir a geração e propagação de defeitos e eliminar qualquer anormalidade no processamento e fluxo de produção. Quando a máquina interrompe o processamento ou o operador para a linha de produção, imediatamente o problema toma-se visível ao próprio operador, aos seus colegas e a sua supervisão. Isto desencadeia um esforço conjunto para identificar a causa fundamental e eliminá-la, evitando a reincidência do problema e consequentemente reduzindo as paradas da linha.

O conceito do *Jidoka*, onde a produção é interrompida diante de uma anomalia para buscar a causa raiz do problema com o objetivo de corrigi-la, explicam os altos índices de qualidade das fábricas da Toyota. Almeida e Souza (2000) acrescentam:

Quando Ohno iniciou suas experiências com o *Jidoka*, as linhas de produção paravam a todo instante, mas à medida que os problemas iam sendo identificados, o número de erros começou a diminuir vertiginosamente. Hoje, nas fábricas da Toyota, o rendimento das linhas se aproxima dos 100%, ou seja, as linhas praticamente não param.

2.4 Informação

Existe uma incompreensão dos termos “dados” e “informação” no meio empresarial. É comum ouvir e até mesmo ler documentos onde um é citado no lugar do outro. No entanto, embora estejam ligados, há uma diferença significativa entre ambos. Entende-se por dados “o conjunto de elementos que expressa um fato isolado, gerado por uma atividade que pode ser controlada, ou seja, tudo o que é gerado no dia a dia da empresa” (BATISTA, 2004). Informação podemos resumir como sendo os dados processados, ou seja, organizados, classificados, mesclados. Barreto (1996 apud MORESI, 2000) define o termo informação da seguinte maneira: “estruturas significantes com a competência de gerar conhecimento no indivíduo, em seu grupo, ou a sociedade”. Dessa forma, do ponto de vista das organizações, a informação tem, basicamente, as seguintes finalidades: gerar conhecimento dos ambientes interno e externo, nortear a atuação nestes ambientes e, em muitas organizações, é também utilizada como instrumento de gestão e considerada como elemento de grande importância em sua própria estruturação. (MORESI, 2000). Segundo Batista (2004) a informação pode ser classificada da seguinte forma:

- Informações operacionais: adquiridas a partir dos controles internos da empresa no dia a dia operacional visando a manutenção do funcionamento adequado da empresa e sua evolução ao longo do tempo.
- Informações gerenciais: visa a tomada de decisões nos níveis gerenciais e estratégicos da empresa. Nesse ponto, Moresi (2000), ao classificar a informação, a divide em nível intermediário (gerencial) e nível institucional (executivo)

Dessa forma, pode-se dizer que o valor da informação está atrelado ao cumprimento de seu objetivo. Wetherbe (1987 apud MORESI, 2000) cita que “O

valor da informação é uma função do efeito que ela tem sobre o processo decisório. Se a informação adicional resultar em uma decisão melhor, então ela terá valor. Caso contrário, ela terá pouco ou nenhum valor”.

Além de possuir efeito no processo decisório, para que seja relevante, a informação também deve estar disponível, ser precisa e utilizada no momento e local certos. Quanto à disponibilização, a informação deve ser enviada às pessoas certas, na hora e local certos e na forma certa (MORESI, 2000). Bataglia (1999 apud QUEIROZ e OLIVEIRA, 2012) afirma que “informações são perecíveis, perdendo sua utilidade se não puderem ser utilizadas no momento certo” e Francais (2008) diz que “Hoje, a necessidade por informação exata e útil [...] é sobejamente reconhecida”. Pode-se resumir as características básicas da boa informação em quatro palavras: útil, precisa e disponível, porém, perecível.

2.5 Sistemas de Informação

Segundo O'Brien (2004), um Sistema de Informação (SI) é “um conjunto organizado de pessoas, hardware, software, redes de comunicações e recursos de dados que coleta, transforma e dissemina informações em uma organização”. De forma resumida, Sistema de informação é a integração de três elementos: tecnologias da informação, processos organizacionais e pessoas. (MUSSI, 2014)

Considerando que a informação tem assumido um significado diferenciado na nova realidade mundial de uma sociedade globalizada, passando a ser um recurso chave na competitividade e lucratividade das organizações (MORESI, 2000), os Sistemas de Informação surgem como resposta a esse meio, salientando o papel da organização como um todo no planejamento de sistemas de informação, como solução ou parte de solução de um problema real, imposto pelo ambiente em que a empresa opera. (SOUZA, 2000). Queiroz e Oliveira (2012) acrescenta: “acredita-se que a tecnologia da informação (TI) possa contribuir para melhorar algo que já é feito, para atender necessidades de informações existentes e novas, por meio de sistemas de informações estruturados, reduzindo a burocracia e os riscos no processo decisório”.

Tem-se, portanto, que um sistema de informações considera em seu escopo todos os produtos tangíveis (relatórios, gráficos e documentos), bem como os intangíveis (backup, indexação, gerenciamento de banco de dados, processamento de dados) relacionados à informação (MORESI, 2000). O valor atribuído ao sistema é inerente ao valor dos produtos que ele oferece o qual é medido em função de alguns atributos. Silveira (1989 apud MORESI, 2000) considera os seguintes atributos:

- Exatidão (grau de liberdade do erro da informação);
- Alcance (integralidade da informação);
- Conveniência (relevância da informação);
- Clareza (grau que a informação está livre de ambiguidade);
- Oportunidade (tempo decorrido no ciclo produtivo da informação);
- Acessibilidade (facilidade com que a informação pode ser obtida pelo consumidor).

Todo esse conjunto de produtos é resultado de uma série de processamentos efetuados no sistema. Essencialmente, um Sistema de informações é composto de entradas, processamentos e saídas. Por entradas, entende-se os insumos que o sistema recebe do seu mundo exterior para poder operar (dados, informações iniciais). As saídas são resultantes do processamento, das operações de um sistema. “Todo sistema produz uma ou várias saídas. Por meio dela, o sistema retorna o resultado de suas operações ao meio ambiente” (BATISTA, 2004)

O Sistema de Informações, como parte de uma organização, é um subsistema da mesma onde interage com outros sistemas em seu ambiente. Considerando a organização como um sistema maior, pode-se classifica-la como um sistema cibernético ou auto monitorado pela inclusão de dois componentes: feedback e controle. Segundo O'Brien (2004), feedback “são dados sobre o desempenho de um sistema” e controle “envolve monitoração e avaliação do feedback para determinar se um sistema está se dirigindo para a realização de sua meta”. Também é papel do controle fazer “os ajustes necessários aos componentes de entrada e processamento de um sistema para garantir que seja

alcançada a produção adequada”. A Figura 6 ilustra o conceito de uma organização enquanto sistema maior.

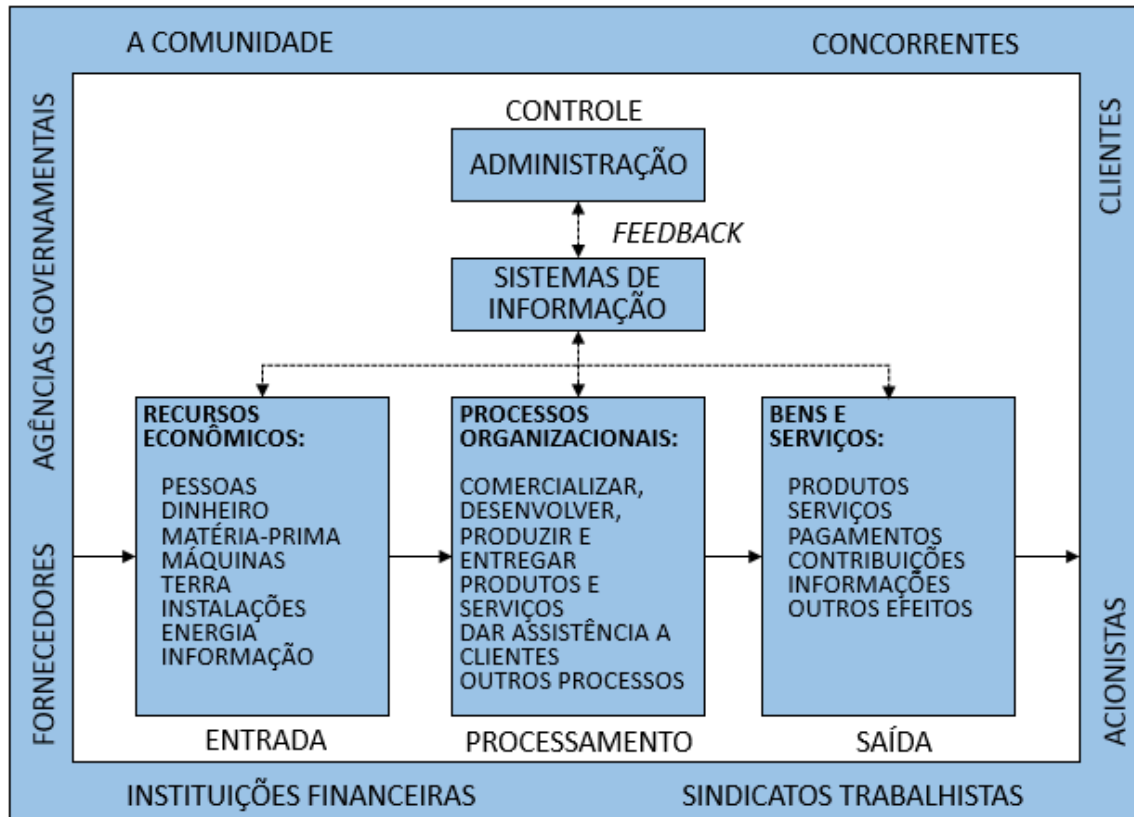


Figura 6 - Sistema organizacional

Fonte - O'Brien (2004)

É notório entre os diversos autores, como Queiroz e Oliveira (2012) e Moresi (2000) que a busca por sistemas de informação que tenham os atributos supracitados é de suma importância para as organizações nos dias atuais. Considerando que o gestor, como controle, tem um papel decisório no sistema maior, e que o sistema de informação suporta o controle com informações de todo o complexo, as falhas no sistema podem representar perdas significativas para a organização. Fatores como os métodos de coleta de dados, padronização das definições e atualização dos dados podem gerar falhas (FRANCAIS, 2008), assim como informação errada, desconexão de linha, queda do sistema ou uma resposta inapropriada representam respostas não confiáveis (DIAS, 2002).

2.5.1 Tipos de Sistemas de Informação

Considerando a organização como o sistema maior e os sistemas de informação como subsistemas da organização, Batista (2004) classifica os Sistemas de Informação de acordo com o problema organizacional que ajudam a resolver:

- Sistemas de nível estratégico: usado para a tomada de decisões. São informações que suportam os planejamentos estratégicos da organização
- Sistemas táticos: usados no controle ou planejamento operacional da empresa e define táticas ou metas a serem cumpridas. Nessa classificação encontram-se os SAPs (Sistemas de Administração da Produção), dentre eles, o MRP (*Material Requirements Planning*), MRP II (*Manufacturing Resources Planning*) e o MES (*Manufacturing Execution System*)
- Sistemas de conhecimento: focado no desenvolvimento e projeto. Transmitem conhecimento e informações entre os departamentos.
- Sistemas operacionais: voltados para o desenvolvimento das tarefas diárias da empresa. Visam aumentar a produtividade das tarefas dos profissionais de todos os departamentos

2.5.2 Sistemas de Controle da Qualidade do Produto

De forma geral, os sistemas de informação voltados ao controle de qualidade do produto são subsistemas ou módulos de sistemas maiores. Algumas empresas, no entanto, adotam sistemas específicos para esse fim. As pesquisas efetuadas por Mardegan et al. (2003) e, mais recentemente, por Berti (2010) na implementação de um sistema MES, apontam o controle de qualidade do produto como um módulo no sistema proposto.

Embora haja o uso cada vez maior da tecnologia da informação no monitoramento dos processos industriais de produção, observa-se uma certa insuficiência nos dados de qualidade do produto coletados nas estações de verificação. Uma parte significativa dos sistemas de informação atuais coletam

apenas dados básicos dos produtos e das falhas ocorridas neles. No entanto, mesmo sendo básicos, esses sistemas organizam esses dados, transformando-os em importantes informações de qualidade do produto, apresentando-os em forma de gráficos e relatórios que constituem ferramentas relevantes no processo de solução de problemas, porém, essas informações nem sempre são suficientes para definir as prioridades quanto às ações a serem tomadas visando minimizar ou eliminar o problema, uma vez que os dados coletados nem sempre apontam de forma precisa a causa raiz da falha e, mesmo se o fizesse, não há uma garantia de que a priorização das ações seguiria uma ordem que garantisse os melhores resultados para a organização.

A respeito desse assunto, Corrêa e Giansesi (1993) comentam:

A qualidade tem sido vista como o critério competitivo com menor relação com os Sistemas de Administração da Produção. Em parte, isto é devido à característica passiva dos SAP tradicionais. Nestes, a única interface entre os SAP e a qualidade, em termos práticos, são os registros de porcentagem de itens defeituosos, resultantes de cada fase do processo produtivo. Estes índices são necessários para que os SAP tradicionais possam programar as compras e a produção em quantidades maiores do que as necessidades estritas, de modo a "cobrir" os defeituosos que "irremediavelmente" resultariam do processo de aquisição e produção de itens. Esta mentalidade, entretanto, tem mudado [...] Os SAP, então, adquirem [...] um papel menos passivo e mais ativo na melhoria do processo produtivo, incluída aí a melhoria dos níveis de qualidade do processo. A redução planejada e sensata dos níveis de estoques, que está a cargo dos SAP, pode, então, funcionar como um indicador de problemas de qualidade, ajudando na priorização e nas decisões de alocação de recursos para a melhoria contínua da qualidade do processo.

Note que, mesmo sugerindo uma nova mentalidade Corrêa e Giansesi (1993) deixam claro que os dados adquiridos do chão de fábrica se limitam a uma visão macro dos problemas de qualidade, faltando detalhes que, em última instância, poderiam contribuir para um processo de melhoria contínua mais ágil e preciso. No entanto, observa-se uma evolução ao longo do tempo, de forma que, em trabalhos mais recentes, como o de Mardegan et al. (2003) e Berti (2010) pode-se observar que o progresso nesse sentido foi significativo. Referente à capacidade do sistema de produção tanto na coleta de dados, como em gerar informações, Berti (2010) comenta:

[O Sistema de Informação] fornece uma análise em tempo real de medições coletadas para garantir qualidade na produção e identificar

problemas. Detalhes referentes à gestão da qualidade: Cadastro das especificações dos produtos; cadastro da capacidade das máquinas; cadastro dos parâmetros de controle dos processos; procedimentos de inspeção; histórico da qualidade no recebimento; ferramentas estatísticas (Pareto, Controle Estatístico de Processos - CEP, Regressão, Correlação, ANOVA - Análise de Variância); monitoração dos problemas de qualidade; rastreabilidade; método de análise e solução de problemas.

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

3.1 *Survey*

Segundo Miguel *et al* (2012), na abordagem metodológica do tipo *Survey*, as conclusões são extraídas a partir da avaliação de amostras significativas de um determinado problema. Um levantamento do tipo *Survey* varia conforme seu objetivo principal, mas atende basicamente três tipos de investigação:

- Exploratória: objetiva adquirir uma visão inicial sobre um tema e fornece base para uma outra pesquisa mais detalhada. Ocorre geralmente no início de uma pesquisa.
- Descritiva: objetiva fornecer subsídios para a construção de teorias ou refinamento delas. É direcionada ao entendimento da relevância de determinado fenômeno e descreve a distribuição do fenômeno na população.
- Explanatória: nesse caso, o conhecimento teórico sobre o fenômeno já existe. O objetivo dessa pesquisa é justamente testar a adequação das variáveis relacionadas ao fenômeno, ou seja, as hipóteses de relação causal entre as variáveis.

Independentemente do tipo, uma *Survey* pode ser classificada em duas categorias:

- Observacionais: coleta de dados efetuada sem interferência do pesquisador. Podem ser classificadas em levantamentos populacionais, onde toda a população é pesquisada, e levantamentos amostrais, onde parte da população é pesquisada. Nesse último caso, alguns itens precisam ser definidos: população-alvo e população amostrada, características da amostragem visando estabelecer critérios de eleição e o instrumento de coleta de dados (Exemplo: entrevista com questionário, pesquisa por telefone, internet, mala direta, etc.). Uma vez definidos esses elementos, é necessário definir o tipo de plano amostral, que pode ser:
 - Probabilístico: pode fazer inferência dos resultados para a população, mas é caro e demanda mais tempo.

- Não probabilístico: embora muito utilizada em diversos segmentos, apresenta a impossibilidade de estender os resultados para a população.
- Experimentais: coleta de dados com intervenção do pesquisador.

De modo geral, a pesquisa pode gerar dados de dois tipos diferentes:

- Quantitativos: também chamados de numéricos, quantificam alguma característica de interesse. Podem ser classificados em:
 - Dados discretos: gerados através de contagem. Exemplo: quantidade de peças com defeito.
 - Dados contínuos: geralmente obtidos através de um instrumento de medição. Exemplo: diâmetro de furo.
- Qualitativos: também chamado de categórico, são classificados em dois tipos:
 - Nominais: as respostas não podem ser ordenadas. Exemplo: marca do último automóvel adquirido.
 - Ordinais: podem ser ordenados. Exemplo: grau de satisfação do cliente (pode ser ordenado muito satisfeito, satisfeito, insatisfeito ou muito insatisfeito)

Essa classificação pode ser melhor observada na Figura 7

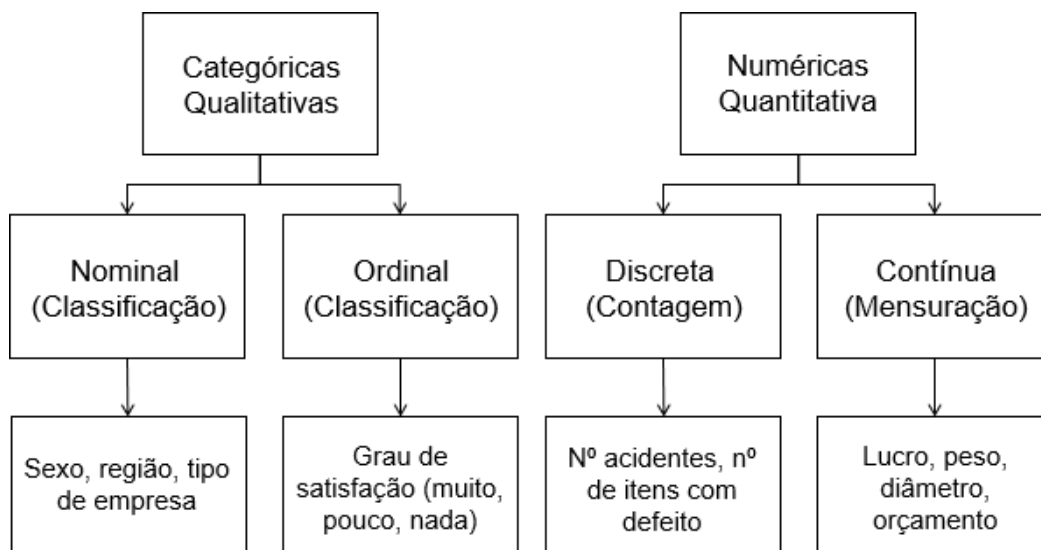


Figura 7 – Exemplos de Classificação das variáveis

Fonte – Miguel *et al* (2012)

A identificação previa do tipo de dado direcionará a escolha do tipo de análise estatística a ser efetuada.

Referente ao planejamento desse tipo de pesquisa, ele deve ser pautado nos objetivos previamente estabelecidos e contemplar decisões como: quando a pesquisa deverá ser feita, quem são e quantas são as pessoas que participarão.

Um aspecto fundamental no levantamento tipo *Survey* é o instrumento de coleta de dados. Geralmente, o questionário é usado nesse tipo de pesquisa. “É um instrumento de registro formado por um conjunto de perguntas ordenadas cujas respostas o indivíduo que responde pode ler e preencher sem a presença do interessado” (MIGUEL et al, 2012, p.97). Existem basicamente quatro tipos de questionários: estruturado não disfarçado, não estruturado não disfarçado, não estruturado disfarçado e estruturado disfarçado. O uso de questões abertas define a estrutura, ou seja, quanto maior o uso desse tipo de questão, menos estruturado é o questionário. Disfarçado ou não diz respeito ao conhecimento que o respondente tem acerca dos objetivos da pesquisa. Caso um questionário for utilizado na pesquisa, é necessário definir quantas perguntas serão feitas, como perguntar, e o que perguntar. O questionário deverá ser avaliado através de testes efetuados com vários respondentes, visando evitar perguntas com dupla interpretação antes da coleta de dados.

Após efetuada a coleta de dados, antes de inferir os resultados, é necessário efetuar a análise exploratória dos dados. Para dados quantitativos, medidas-resumo podem ser calculadas. Elas podem ser classificadas em medidas de posição e de variabilidade. Miguel *et al* (2012, p.83), comentam:

“Quando se deseja fazer descrição de quantidade de interesse de modo sucinto, medidas de posição e variabilidade são utilizadas, como média, mediana, quartis, variância, desvio-padrão, amplitude. Gráficos são empregados para verificar se a variável de interesse obedece a uma distribuição normal. Geralmente histogramas e box-plot são as representações gráficas mais comuns para dados quantitativos. Para dados qualitativos, a medida de posição usual e a moda, e gráficos de barra e diagramas circulares são as representações gráficas mais usuais.”

3.2 Estudo de Caso

Segundo Miguel *et al* (2012, p.132), o estudo de caso é um trabalho de análise profunda de um ou mais casos num cenário real, viabilizando conhecimento amplo e detalhado sobre o fenômeno, possibilitando, dentre outros, a geração de teoria. Leonard-Barton (1990 *apud* Miguel *et al*, 2012, p.132) complementa afirmando que o estudo de caso é “uma espécie de histórico do fenômeno, extraído de múltiplas fontes de evidências onde qualquer fato relevante à corrente de eventos que descrevem o fenômeno é um dado potencial para o estudo de caso, pois o contexto é importante”.

Sousa (2005 *apud* Miguel *et al*, 2012, p. 132) aponta que diversos conceitos contemporâneos na engenharia de produção e na gestão de operações foram desenvolvidos através de estudos de caso. Dessa forma, temos que os principais benefícios do estudo de caso são, justamente, o incremento do conhecimento sobre fenômenos reais e contemporâneos e a possibilidade do desenvolvimento de novas teorias.

No entanto, é de suma importância que o estudo de caso, quando adotado, esteja vinculado à literatura, trazendo a contribuição investigativa e acadêmica desejada, expressa nas questões e nos objetivos da pesquisa.

Embora se destaque, dentre outros métodos, nas investigações exploratórias e explanatórias supracitados, Voss *et al* (2002, *apud* Miguel *et al*, 2012, p. 133) mostra que o método de estudo de caso também pode ser utilizado nos seguintes tipos de investigação:

- Teste de Teoria: apenas um caso estudado tem potencial de falsificar ou identificar pontos falhos numa teoria
- Extensão/Refinamento de Teoria: Nesse caso, o estudo de caso pode estruturar de forma melhor as teorias já existentes considerando as observações coletadas como, por exemplo, investigar os limites de aplicação da teoria existente.

A condução de um estudo de caso se dá em seis passos básicos.

- Definição de uma estrutura conceitual teórica: nesse passo é necessário definir um referencial teórico, gerando um mapeamento literário sobre o tema. Esse mapeamento:
 - Indica a abrangência da literatura mostrando a influência das fontes bibliográficas sobre o tópico em estudo
 - Distingue trabalhos teóricos e caráter empíricos.
 - Traz relevância à pesquisa identificando lacunas no referencial teórico, viabilizando a construção das questões e hipóteses de pesquisa, e providenciando conceitos sobre o qual a pesquisa será efetuada empiricamente
 - Delimita as fronteiras do que será investigado
 - Constitui um indicativo da familiaridade e conhecimento do pesquisador sobre o assunto.
- Planejamento do estudo de caso: Miguel et al (2012) traz alguns passos na elaboração do planejamento da pesquisa que se resume no Quadro 7

PASSOS	POSSIBILIDADES
Escolher tipo do caso	Retrospectivo: investigação focada no passado. Coleta de dados históricos
	Longitudinal: investigação focada no presente, mas pode trazer limitações de acesso aos dados e informações
Determinar a quantidade de casos	Caso único: permite maior profundidade e riqueza na coleta de dados, porém, é limitada no grau de generalização, ou seja, existe o risco de julgamento inadequado visto ser um evento único.
	Múltiplos casos: alcança-se maior grau de generalização, porém com menor profundidade e com maior consumo de recursos
Escolher a amostra a estudar adotando estratégias de seleção adequada ao objetivo da pesquisa	Se existe caso revelador: estuda-se apenas esse caso
	Seleção de casos contrastantes: por exemplo, organizações diferentes com características semelhantes que apresentam performance diferente.
	Se é construção de teoria: usar a lógica da replicação, escolhendo casos que produzam resultados opostos por razões previsíveis ou casos em que se verifique a replicação da teoria.

Quadro 7 – Planejamento da pesquisa – Estudo de Caso

Fonte – Miguel *et al* (2012)

- Instrumentos e métodos para coleta de dados: Miguel et al (2012) enfatiza a importância do uso de múltiplas fontes de dados e apresenta instrumentos e métodos voltados à coleta de dados: entrevistas, análise documental, observações e levantamento do tipo *Survey*. Após escolhida a(s) técnica(s) de coleta de dados, deve-se desenvolver um protocolo. “Um protocolo deve conter procedimentos e regras gerais da pesquisa para sua condução, assim como a indicação da origem das fontes de informação (tipo de fontes, indivíduos, locais etc.)” (MIGUEL et al, 2012, p. 137).
- Coleta dos dados: Miguel et al (2012) aponta que a coleta de dados tem sua limitação marcada pela “saturação teórica”, ou seja, deve ser dada como concluída quando dados adicionais não tenham mais relevância para a pesquisa.
- Análise dos dados: o pesquisador deve apresentar uma narrativa geral do caso e extrair dos dados coletados, as informações que tenham estrita relação com os objetivos da pesquisa. A base da análise é a descrição detalhada do caso. É desejável a construção de um ou mais painéis (se for casos múltiplos), representando o conjunto de dados de forma visual viabilizando uma visão geral e detalhada bem como uma maior familiaridade com o conjunto de dados de pesquisa.
- Geração do relatório da pesquisa: é a sintetização das etapas anteriores em um relatório. Miguel et al (2012) traz um alerta, apontando a possibilidade de ajustar a teoria aos resultados, quando o correto é o oposto, ou seja, associar os resultados e evidências à teoria existente. Além disso, Yin (2001 apud Miguel et al, 2012) cita a importância da confiabilidade e validade da pesquisa, comentando que

“O estudo de caso deve estar pautado na confiabilidade e validade, que são critérios para julgar a qualidade da pesquisa. A confiabilidade visa demonstrar que as operações de um estudo (como, por exemplo, os procedimentos para a coleta dos dados) podem ser repetidas, apresentando os mesmos resultados”

Miguel et al (2012) define validade subdividindo-a em diversos tipos. Considera-se como validade o nível de confiança em relação à causa e efeito das variáveis (validade Interna), o grau de generalização das

conclusões da pesquisa (validade externa), a exatidão do relatório de pesquisa (validade descritiva), o quanto os dados estão de acordo com a teoria (validade teórica) e a extensão pela qual a interpretação dada representa o que está sendo estudado (validade interpretativa).

3.3 Planejamento

Essa pesquisa foi desenvolvida utilizando dois métodos distintos: *Survey* e Estudo de Caso. A *Survey*, de caráter exploratório, tem por objetivo identificar o problema de pesquisa e levantar características das amostras que suporte a seleção do ambiente adequado para a aplicação do estudo de caso. Na sequência, será aplicada a solução proposta e, posteriormente, o teste da teoria onde a pergunta de pesquisa será respondida. A Figura 8 mostra a estrutura geral da pesquisa.



Figura 8 – Estrutura da pesquisa

Fonte – próprio autor

3.3.1 Survey

Essa *Survey* tem por objetivo analisar a qualidade dos dados usados na atualização do *PFMEA*, identificando o grau de subjetividade intrínseco ao processo periódico de reclassificação de ocorrência, constatando o potencial de imprecisão dos dados utilizados no cálculo de ocorrência do *PFMEA*. Também é objetivo analisar o nível de implementação do *Jidoka* e a estrutura de qualidade das amostras selecionadas, incluindo o uso de sistemas de informação na coleta dos dados, permitindo avaliar o grau de dificuldade de implementação da estrutura prevista na hipótese da pesquisa.

A composição da amostragem deve ser constituída por empresas que desenvolveram o *FMEA* do seu processo produtivo e possuem uma rotina de visitação à ferramenta, buscando melhoria contínua e uma base consistente para

desenvolvimento de processos futuros. Visto que a *ISO9000* e a *QS9000* estabelecem como norma o desenvolvimento e o uso do *PFMEA*, adotou-se como critério da amostragem, empresas que sejam certificadas por esses sistemas de qualidade.

Como resultado, essa *Survey* fornecerá as informações necessárias para a seleção do ambiente adequado para a aplicação do estudo de caso, evidenciando seu caráter exploratório. Como não serão coletados dados experimentais (com interferência do pesquisador), essa *Survey* é observacional e o levantamento previsto é amostral.

Nessa pesquisa, o questionário será utilizado como instrumento de coleta de dados e sua estrutura será dividida em três áreas distintas: estação de verificação, nível de implementação do *Jidoka* e *PFMEA*. Todos os dados coletados serão qualitativos, no entanto, alguns nominais e outros ordinais. Os nominais correspondem aos dados que irão compor a descrição do cenário da empresa pesquisada e incluem estação de verificação e a rotina de reclassificação do *PFMEA*, enquanto que os ordinais incluem o nível de implementação do conceito de *Jidoka*. Essa estrutura pode ser melhor observada no Quadro 8.

ÁREA	QUESTÃO	OPÇÕES	TIPO	OBJETIVO
Estação de verificação	1. Como é feita a inspeção de qualidade do produto?	Manual	Nominal (única escolha)	<p>1) Verificar se a estrutura de qualidade da empresa pesquisada provê dados suficientes para a atualização precisa do <i>PFMEA</i>.</p> <p>2) Verificar a estrutura computacional da empresa na coleta de dados, o que impacta na velocidade e na precisão do processamento da informação.</p>
		Automática		
		Semi automática		
		Não existe inspeção		
	2. Como é registrado o defeito quando identificado?	Manualmente em formulário	Nominal (única escolha)	
		Manualmente num computador		
		Eletronicamente (automatico)		
		Não é registrada		
	3. Quais dados são contemplados no registro do defeito?	Descrição do defeito	Nominal (múltipla escolha)	
		Descrição do produto		
Quantidade de peças com defeito				
Causa raiz do defeito				
Operação que gerou o defeito				
Região que ocorreu o defeito				
Outros (especificar)				

ÁREA	QUESTÃO	OPÇÕES	TIPO	OBJETIVO
<i>Jidoka</i>	4. Qual o nível de aplicação do <i>Jidoka</i> nos processos?	1 (não é aplicado)	Ordinal (Likerty)	Verificar o nível de aplicação do <i>Jidoka</i> na amostra. A não aplicação potencializa falha na coleta de dados para o <i>PFMEA</i>
		10 (totalmente aplicado)		
	5. O operador possui autonomia para parar o processo ao ocorrer falha?	1 (não tem nenhuma autonomia)	Ordinal (Likerty)	
		10 (total autonomia)		
<i>PFMEA</i>	6. Quais atividades são desenvolvidas na reunião de revisão do <i>PFMEA</i> ?	Alocar os defeitos nos modos de falha	Nominal (múltipla escolha)	Verificar detalhadamente o processo de reclassificação do <i>PFMEA</i> , determinando o grau de subjetividade do processo de alocação do defeito no modo de falha. As questões anteriores fornecem subsídio para que, junto com essas, seja avaliada a exatidão desse processo.
		Determinação da ocorrência		
		Calcular NPR		
		Definir plano de ação		
		Acompanhar planos de ação		
		A reunião de <i>PFMEA</i> não é feita		
		Outros (especificar)		
	7. Quais fontes são consultadas para determinar o modo de falha do defeito?	Dados da Estação de verificação	Nominal (múltipla escolha)	
		Experiência do time multifuncional		
		Dados de manutenção		
		O <i>PFMEA</i> não é repontuado		
		Outros (especificar)		

Quadro 8 – Estrutura do Questionário

Fonte – próprio autor

3.3.2 Estudo de Caso

O objetivo desse estudo de caso é efetuar o teste da teoria num caso único, selecionado dentre as amostras pesquisadas na *Survey* a partir de critérios pré-estabelecidos.

A hipótese de pesquisa prevê sistema de qualidade, estrutura computacional e processo de reclassificação do *PFMEA* já existente. Desse modo, não é objetivo implementar essa estrutura, mas integrá-la, de forma a viabilizar a atualização do *PFMEA* de forma rápida e precisa. Por isso, os critérios estabelecidos para selecionar o caso a ser estudado são:

- Ter o *Jidoka* implementado de forma robusta: o operador da máquina deve ter autonomia para parar o processo quando detectado uma falha no produto.
- Ter estrutura computacional mínima necessária: o registro do defeito, quando identificado, deve ser feito em um computador, de forma manual ou automática e o profissional responsável pela

atualização do *PFMEA* deve ter acesso a esses dados de forma remota.

- Ter o *PFMEA* e uma rotina de reclassificação periódica consistente: considera-se que o *PFMEA* já exista e, periodicamente seja repontuado através de uma reunião com um time multifuncional.

A definição do caso a ser estudado será feita através do questionário aplicado nas empresas (*Survey*) estabelecendo critérios para cada resposta dada às perguntas. Para as perguntas nominais será utilizado um critério binário, onde as respostas serão determinantes na escolha do caso, ou seja, se a resposta dada não for a esperada, a empresa respondente não será selecionada. Já as perguntas ordinais disponibilizarão uma escala de Likerty de um a dez, onde um indica a pior situação e dez a melhor. O critério para cada questão está exposto no Quadro 9

ÁREA	QUESTÃO	OPÇÕES	TIPO	CRITÉRIO PARA SELEÇÃO DO CASO
Estação de verificação	1. Como é feita a inspeção de qualidade do produto?	Manual	Nominal (única escolha)	Deve haver verificação do produto em algum ponto do processo. Nesse caso, somente a última alternativa invalida a amostra
		Automática		
		Semi automática		
		Não existe inspeção		
	2. Como é registrado o defeito quando identificado?	Manualmente em formulário	Nominal (única escolha)	Implementar a solução num sistema que registra o defeito automático pode acarretar em custo adicional, bem como num sistema de coleta manual em formulário. Por isso, para a implementação da solução, somente a segunda alternativa (Manualmente num computador) valida a amostra
		Manualmente num computador		
		Eletronicamente (automatico)		
		Não é registrada		
	3. Quais dados são contemplados no registro do defeito?	Descrição do defeito	Nominal (múltipla escolha)	Os dados mínimos esperados ao registrar a falha é a descrição do defeito e do produto e a quantidade de peças com defeito, o que garante o mínimo necessário para o levantamento de performance retrospectivo. A seleção dos três primeiros itens (Descrição do defeito, descrição o produto e a quantidade de peças om defeito) valida a amostra.
		Descrição do produto		
Quantidade de peças com defeito				
Causa raiz do defeito				
Operação que gerou o defeito				
Região que ocorreu o defeito				
Outros (especificar)				

ÁREA	QUESTÃO	OPÇÕES	TIPO	CRITÉRIO PARA SELEÇÃO DO CASO
<i>Jidoka</i>	4. Qual o nível de aplicação do <i>Jidoka</i> nos processos?	1 (não é aplicado)	Ordinal (Likerty)	Pelo menos um processo deve ter o <i>Jidoka</i> implementado. O valor mínimo aceitável como resposta para validar a amostra é 2.
		10 (totalmente aplicado)		
<i>Jidoka</i>	5. O operador possui autonomia para parar o processo ao ocorrer falha?	1 (não tem nenhuma autonomia)	Ordinal (Likerty)	O operador tem que ter total autonomia para parar o processo ao ocorrer a falha. Somente o valor 10 como resposta valida a amostra
		10 (total autonomia)		
<i>PFMEA</i>	6. Quais atividades são desenvolvidas na reunião de revisão do <i>PFMEA</i> ?	Alocar os defeitos nos modos de falha	Nominal (múltipla escolha)	Deve haver uma reunião periódica de <i>PFMEA</i> . Somente a alternativa "A reunião de <i>PFMEA</i> não é feita" invalida a amostra.
		Determinação da ocorrência		
		Calcular NPR		
		Definir plano de ação		
		Acompanhar planos de ação		
		A reunião de <i>PFMEA</i> não é feita		
		Outros (especificar)		
	7. Quais fontes são consultadas para determinar o modo de falha do defeito?	Dados da Estação de verificação	Nominal (múltipla escolha)	O fato de consultar os dados da estação de verificação é um indicador de que há um histórico de falhas para análise retrospectiva de performance. No entanto, a questão 3 já se certifica disso. É desejável que a opção 1 (Dados da estação de verificação) seja selecionada, porém, não é classificatório para a amostra
		Experiência do time multifuncional		
		Dados de manutenção		
O <i>PFMEA</i> não é repontuado				
Outros (especificar)				

Quadro 9 – Critérios para seleção do caso a ser estudado

Fonte – próprio autor

Após definir o caso a ser estudado, um levantamento de dados históricos será efetuado com o objetivo de identificar a performance do *PFMEA* como ferramenta de melhoria de qualidade. Posteriormente, uma revisão da estrutura será feita buscando integrar a coleta de dados e o *PFMEA* utilizando recursos computacionais. Um novo levantamento de dados deverá ser efetuado, comparando o status atual do *PFMEA* com o anterior, culminando na validação da teoria.

Observa-se que esse estudo de caso tem um caráter retrospectivo, quando se refere ao levantamento de dados históricos, e longitudinal visto que, após a aplicação da solução, novos dados deverão ser coletados objetivando a validação da teoria. Essa estrutura de estudo pode ser melhor observada na Figura 9.

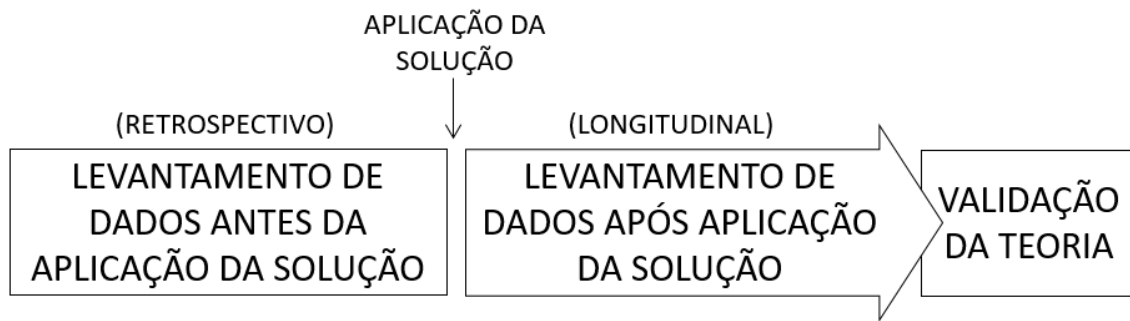


Figura 9 – Estrutura do estudo de caso

Fonte – próprio autor

Os dados coletados para efetuar a análise de performance do *PFMEA* deverão ser capazes de medir as melhorias previstas na hipótese de pesquisa e justificar eventuais investimentos em estrutura. Dessa forma os seguintes indicadores serão avaliados:

- Variação na distribuição da ocorrência entre os modos de falha do *PFMEA*: com a reestruturação da coleta de dados nas EVs, é esperada uma precisão maior no apontamento das falhas ocorridas no processo, fazendo com que as ações tomadas sejam mais eficazes. Desse modo, a ocorrência de variação só será considerada favorável à confirmação da teoria se proporcionar redução de NPR efetivamente maior mediante as ações tomadas no processo produtivo como um todo. A não variação da distribuição da ocorrência é desfavorável à confirmação da teoria. Entende-se, dessa forma, que a experiência de reestruturação da coleta de dados nas EVs não proporcionou melhoria na precisão dos dados para o *PFMEA*.
- Redução de NPR proporcionado pelo *PFMEA* no período: A redução de NPR ocorrida no período retrospectivo será comparada ao período longitudinal. Em virtude da maior velocidade de reclassificação do *PFMEA* e maior precisão do apontamento das falhas, é esperado uma maior redução de NPR no período longitudinal. Pode haver a ocorrência de casos onde as ações definidas para redução de NPR não reflitam o modo de falha apontado pelo *PFMEA* ou simplesmente não sejam implementadas por restrições estratégicas ou financeiras da empresa pesquisada. Esses casos potencializam falha na análise da eficácia da proposta, portanto, serão desconsiderados da análise.

4. DESENVOLVIMENTO

Visando uma melhor organização, esse capítulo está sequenciado em ordem cronológica, partindo da aplicação do questionário (*Survey*), até a análise dos dados coletados após aplicação da solução. A Figura 10 apresenta o planejamento, o desenvolvimento e a relação entre essas duas fases da pesquisa, destacando a ordem cronológica proposta.

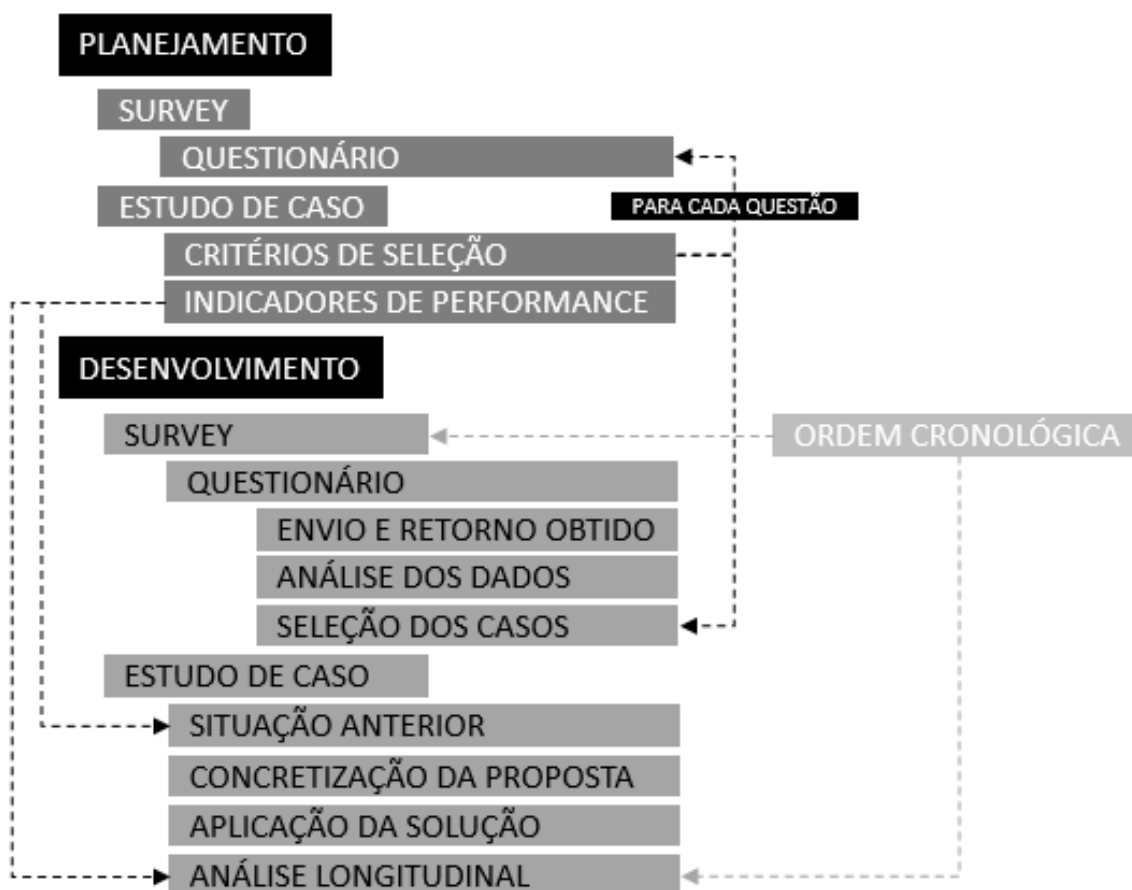


Figura 10 – Relação Planejamento e Concretização da Proposta

Fonte – próprio autor

4.1 Survey

O levantamento das empresas onde o questionário poderia ser aplicado foi feito a partir de consulta às empresas automobilísticas que possuem fábrica no estado de São Paulo (Brasil). Vários fornecedores apontados por estas empresas são comuns entre elas. O questionário foi enviado para um total de 57 empresas e 22,8% responderam à pesquisa.

Para cada questão, as respostas obtidas foram organizadas em gráficos para uma melhor visualização e análise. O Gráfico 1 apresenta a distribuição, em porcentagem, das respostas dadas para a primeira questão da pesquisa: Como é feita a inspeção de qualidade do produto?

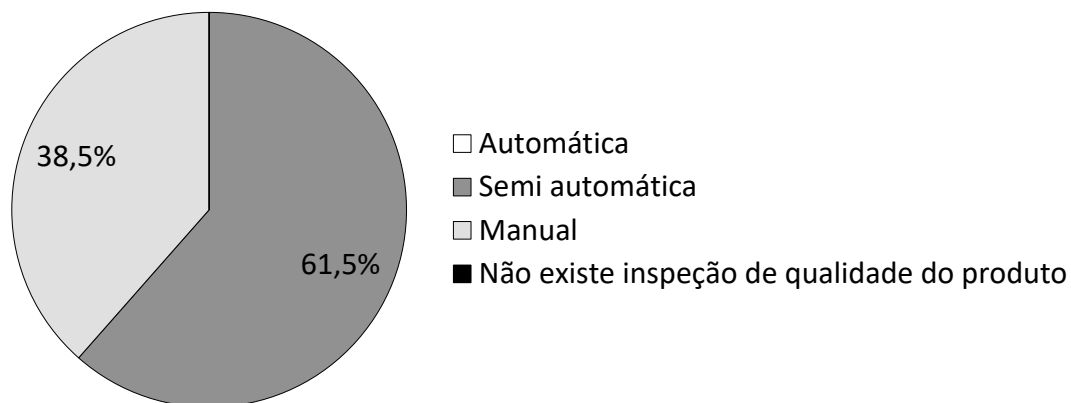


Gráfico 2 – Como é feita a inspeção de qualidade do produto

Fonte – próprio autor

O Gráfico 2 apresenta a distribuição, em porcentagem, das respostas dadas à segunda questão da pesquisa: Como é registrado o defeito quando identificado?

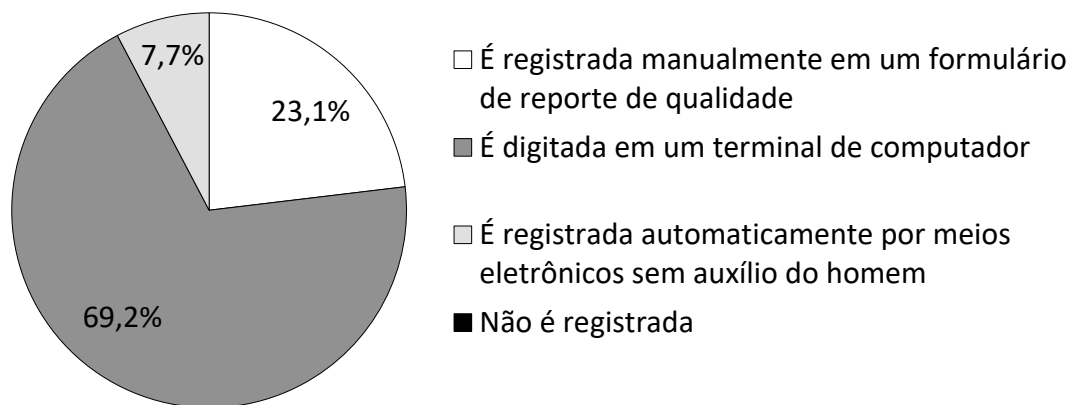


Gráfico 3 – Como é registrado o defeito quando identificado

Fonte – próprio autor

O Gráfico 3 mostra, dentre o total pesquisado, a porcentagem de empresas que coletam cada tipo de dado apresentado no questionário. Esse gráfico resulta da terceira questão da pesquisa: Quais dados são contemplados no registro do defeito?

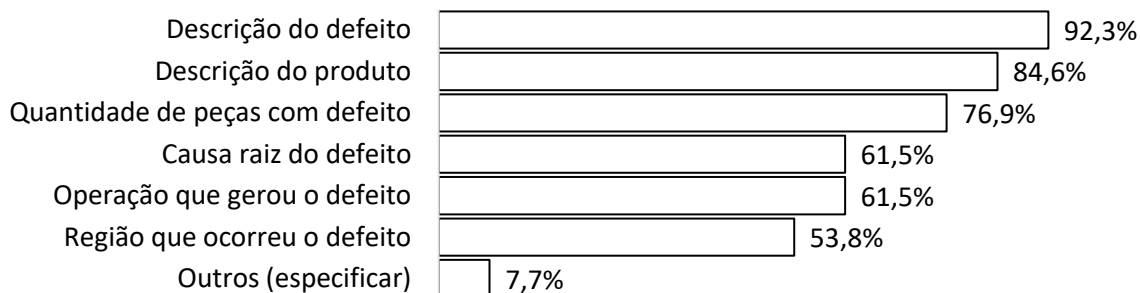


Gráfico 4 – Dados contemplados no registro do defeito

Fonte – próprio autor

O Gráfico 4 apresenta o nível de aplicação do conceito *Jidoka* nos processos das empresas pesquisadas, utilizando, para isso, o Gráfico de Likerty, onde 1 significa que o *Jidoka* não é aplicado em nenhum processo e 10 significa que o *Jidoka* é aplicado em todos os processos. Esse gráfico resulta da compilação dos resultados da quarta questão da pesquisa: Qual o nível de aplicação do *Jidoka* nos processos?

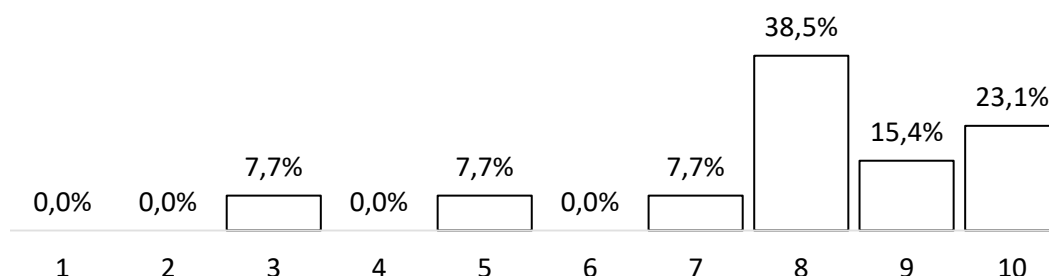


Gráfico 5 – Nível de aplicação do *Jidoka* nos processos

Fonte – próprio autor

O Gráfico 5 corresponde à compilação dos dados obtidos através da quinta questão da pesquisa: O operador possui autonomia para parar o processo ao ocorrer falha? Também foi utilizado o Gráfico de Likerty classificado de 1 (não tem nenhuma autonomia) a 10 (tem total autonomia)

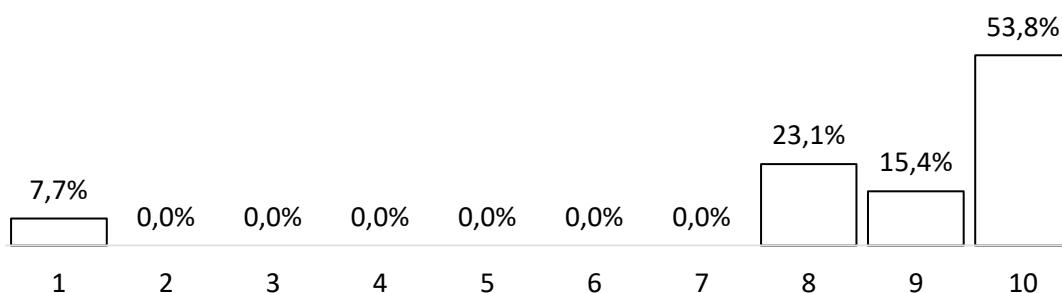


Gráfico 6 – Nível de autonomia do operador para parar o processo ao ocorrer falha

Fonte – próprio autor

O Gráfico 6 apresenta dentre o total pesquisado, o percentual de empresas que adotam as atividades apresentadas no questionário em suas reuniões de revisão do *PFMEA*. É fundamentado nas respostas da sexta questão da pesquisa: Quais atividades são desenvolvidas na reunião de revisão do *PFMEA*?

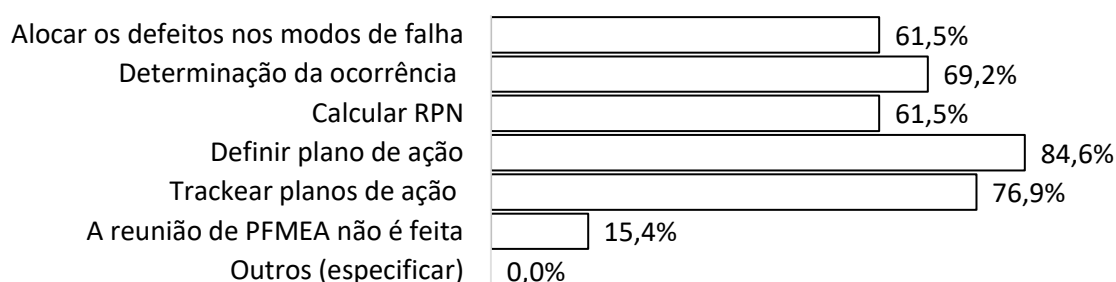


Gráfico 7 – Atividades desenvolvidas na reunião de revisão do *PFMEA*

Fonte – próprio autor

O Gráfico 7 apresenta o percentual de empresas que adotam as fontes listadas no questionário para determinar o modo de falha do defeito do produto. Baseado nas respostas obtidas através da sétima questão da pesquisa:: Quais fontes são consultadas para determinar o modo de falha do defeito?

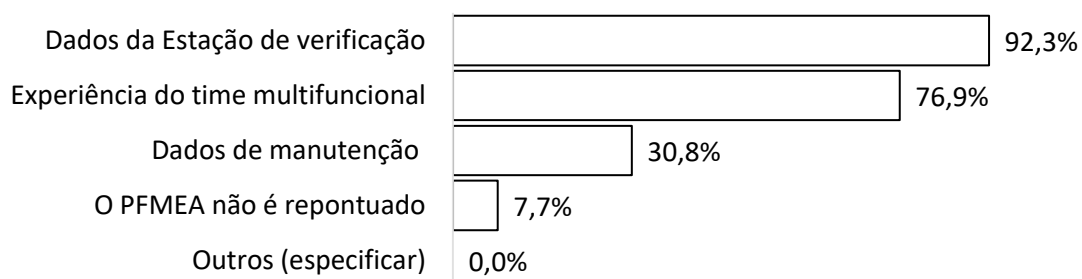


Gráfico 8 – Fontes consultadas para determinar o modo de falha

Fonte – próprio autor

Como a *Survey* é exploratória, e tem por objetivo identificar um conjunto de características que valide um caso para aplicação da proposta, foi necessário avaliar as respostas de forma individual, separando os casos que atendessem as exigências mínimas conforme estabelecido no planejamento da pesquisa. A análise individual das empresas respondentes apontou duas, cujas características atendem as especificações desejadas para o estudo de caso. No entanto, um dos casos se destacou por apresentar melhor índice de aplicação

do conceito *Jidoka*. Essa empresa foi contatada e concordou com a implantação da sistematização proposta.

4.2 Estudo de Caso

O caso selecionado, conforme estabelecido no planejamento dessa pesquisa, é uma empresa do ramo automobilístico que apresenta certificação *ISO/QS 9000* e possui o cenário adequado para a implementação da proposta, conforme resultado apresentado pela *Survey*. No entanto, a empresa apresentou restrições quanto à sua identificação e a divulgação de dados e imagens que possam aludir à mesma. Sendo assim, essa pesquisa não apresentará a identificação, seja de forma direta ou indireta, da empresa onde a solução foi aplicada.

4.2.1 Situação Anterior

A análise da situação anterior ocorreu de duas formas distintas. A primeira se deu através do acompanhamento do ciclo de melhoria contínua usando a ferramenta *PFMEA*. Nesse ciclo, dentre outras atividades, ocorre a reclassificação da ocorrência a qual foi detalhada e analisada utilizando um diagrama de fluxo de dados. A segunda forma foi a análise documental, onde foram avaliados os dados de qualidade do processo bem como o próprio *PFMEA*.

4.2.1.1 Fluxo de dados e processo de reclassificação do *PFMEA*

Ao longo do acompanhamento efetuado, observou-se que a empresa já possuía um sistema informatizado de coleta de dados de qualidade nas EVs. Esse sistema tinha uma tabela contendo os dados dos produtos que passavam pelas estações de trabalho e outra com a descrição dos defeitos potenciais. Ao ocorrer uma falha no produto, o sistema permitia entrar com um único tipo de defeito por peça. Dados adicionais que direcionariam os defeitos para o modo de falha do *PFMEA* não eram contemplados. Dessa forma a única informação

gerada por esse sistema para a reclassificação da ocorrência do *PFMEA* era um relatório de defeitos o qual, em conjunto com dados de produção, permitia o cálculo de ocorrência. A Figura 11 mostra o fluxo de dados da EV até a engenharia, responsável pela manutenção do *PFMEA*.

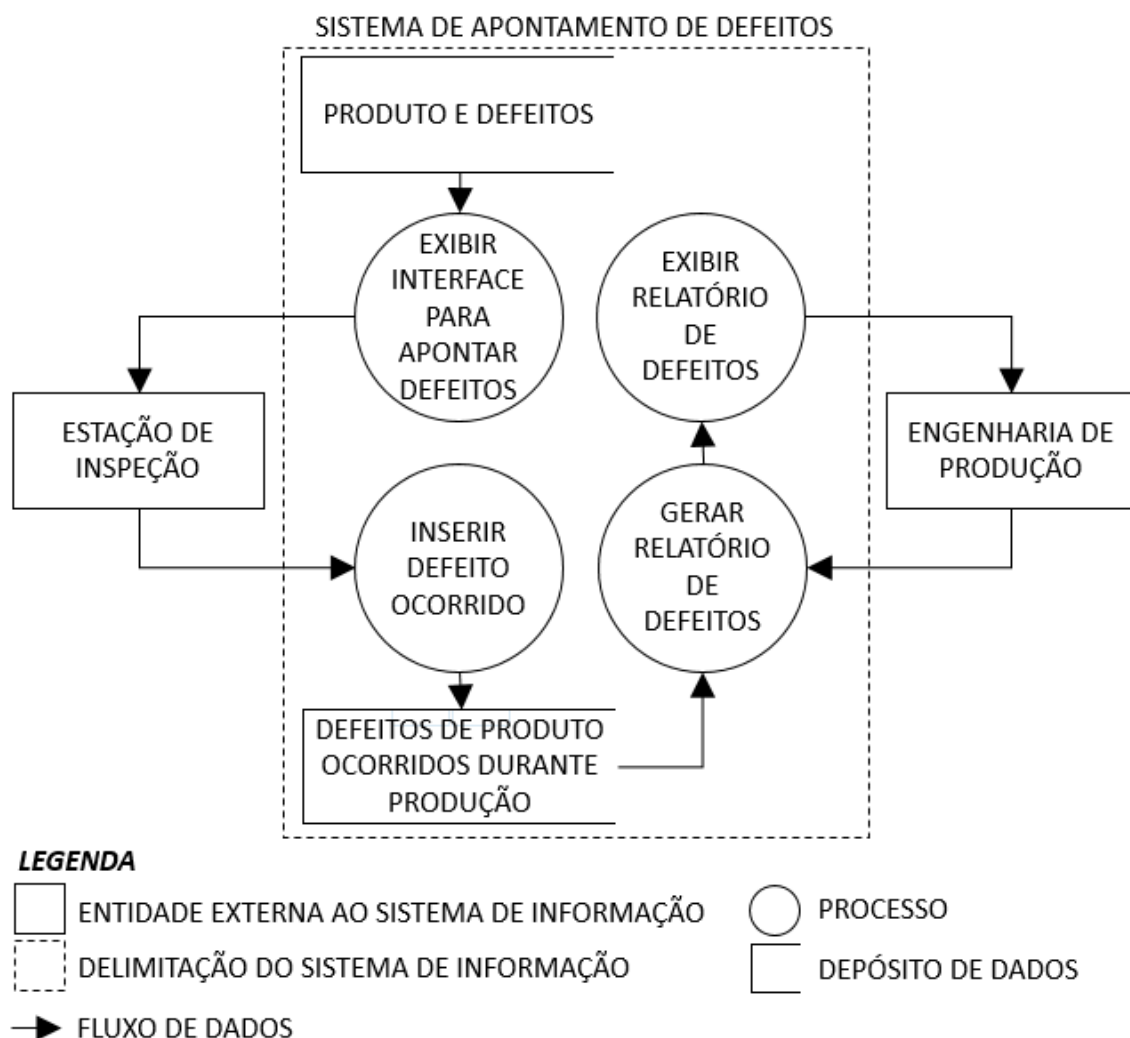


Figura 11 – Fluxo de dados do Sistema de Apontamento de Defeitos anterior

Fonte – próprio autor

No entanto, o cálculo da ocorrência não podia ser completado, visto que não estava direcionado ao modo de falha no *PFMEA*. Dessa forma, os dados eram organizados em uma planilha facilitando a determinação do índice de ocorrência assim que o modo de falha fosse identificado.

O direcionamento das falhas à operação que a gerou e à causa raiz eram efetuados numa reunião mensal com uma equipe multifuncional constituída de representantes das áreas de manutenção de máquinas, equipamentos e moldes,

qualidade, controle de qualidade de matéria prima e produção. Essa equipe, além da experiência, dispunha de informações referentes às manutenções efetuadas nas máquinas e nos moldes e as ocorrências de problemas com matéria prima.

Observou-se, portanto, que não havia uma associação direta das informações que a equipe dispunha com as falhas ocorridas. Grupos de defeitos de mesmo tipo ocorridos numa mesma data, na produção de uma mesma peça ao longo do mês eram alocados num mesmo modo de falha mediante a identificação de um problema que poderia gerar as falhas que foram registradas. Notou-se também, uma tendência de atribuir os defeitos à modos de falhas que mais se evidenciaram no período, especialmente mediante a ocorrência de problemas que possuem maior abrangência, como, por exemplo, problema com matéria prima, que pode afetar diversas peças em linhas de produção e datas distintas.

A falta de precisão na associação dos dados traz subjetividade na alocação dos defeitos ao modo de falha, colocando em dúvida, a precisão da informação gerada. O fluxo da reunião de *PFMEA* efetuada está representada na Figura 12

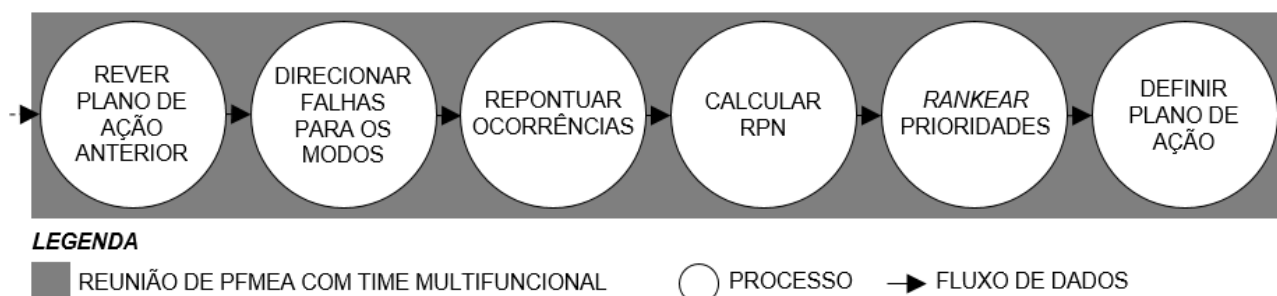


Figura 12 – Fluxo da reunião de *PFMEA* com equipe multifuncional

Fonte – próprio autor

Dessa forma, observa-se a existência do processo de melhoria contínua na empresa estudada através do uso da ferramenta *PFMEA*. No entanto, observa-se também que faltam dados para que os modos de falha que, de fato impactam no processo, sejam identificados com precisão.

Um resumo do processo é representado na Figura 13, onde se observa o ciclo de melhoria contínua alimentado com dados coletados no chão de fábrica.

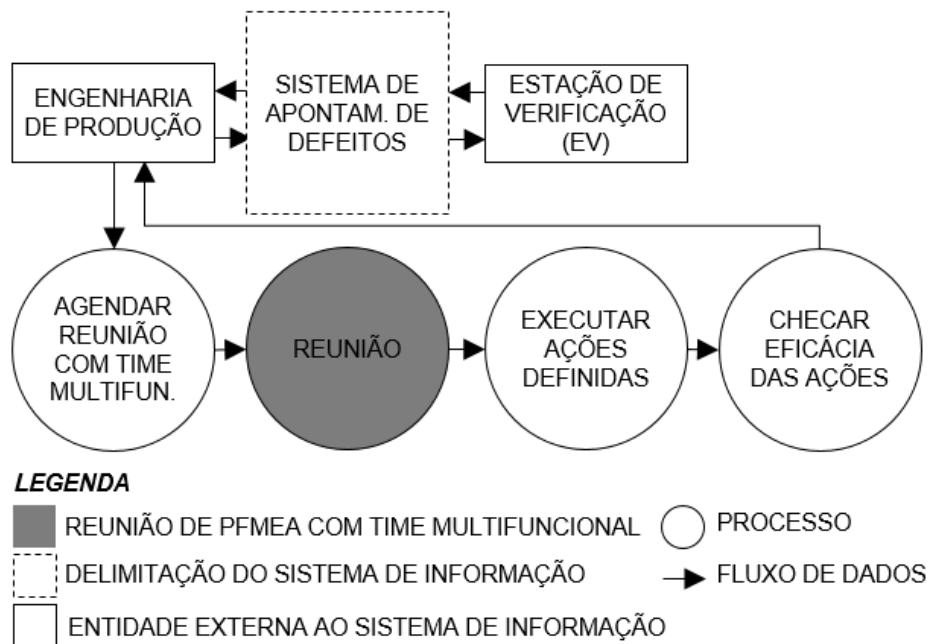


Figura 13 – Ciclo de melhoria contínua através do *PFMEA*

Fonte – próprio autor

4.2.1.2 Análise documental

A empresa estudada é uma fabricante de peças estampadas em aço. O processo é composto de cinco linhas de prensas de capacidades diferentes, onde são fabricadas peças distintas, mediante a troca dos moldes (*Setup*). Essas linhas são denominadas por letras (Linhas D, J, L, M e N). Para cada uma delas, a empresa dispunha de dados históricos de produção e qualidade e o *PFMEA* atualizado.

O cálculo da ocorrência, efetuado nas reuniões de *PFMEA*, era feito considerando três meses de dados retrospectivos a partir da data de reclassificação do *PFMEA*. Dessa forma, foram levantados, além do *PFMEA*, a quantidade de peças produzidas e a quantidade de peças com defeito no período considerado. Esses dados foram associados com o *PFMEA* e analisados considerando o cenário exposto no tópico anterior.

A quantidade de peças com defeito apresenta diferenças significativas entre as linhas de estampagem devido à natureza do produto feito em cada uma delas. As linhas com maior quantidade de peças com defeito produzem peças expostas cuja qualidade superficial é mais criteriosa que as demais peças. O Gráfico 8 mostra a distribuição de peças com defeito nas linhas de estampagem.

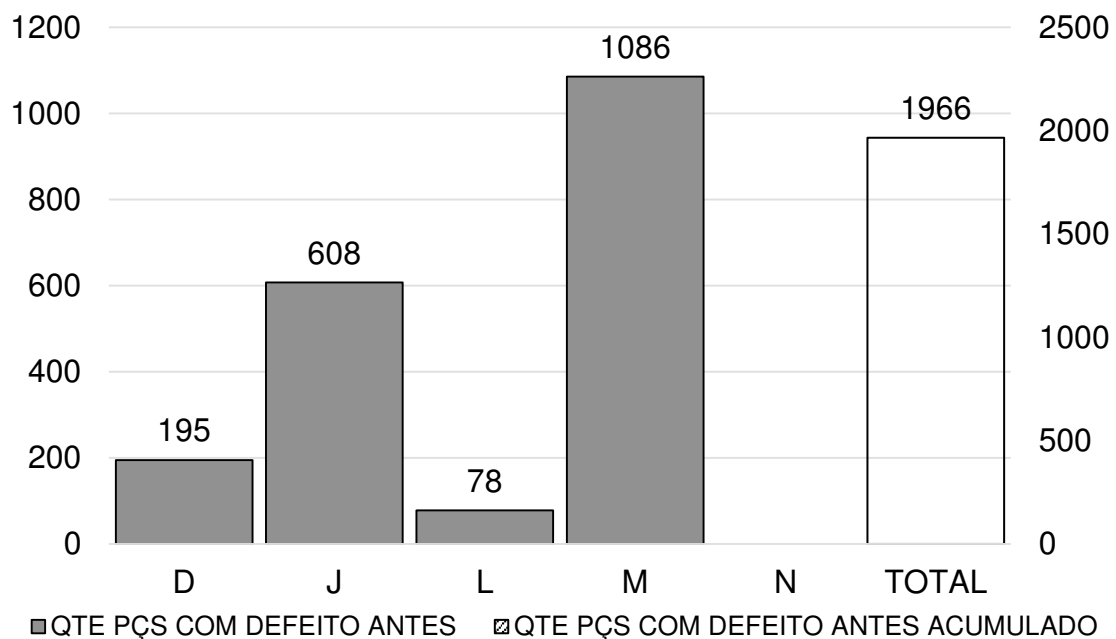


Gráfico 9 – Distribuição da quantidade de peças defeituosas por linha (3 meses)

Fonte – próprio autor

O alto índice de peças por modo de falha leva a maioria dos modos de falha a ficar com ocorrência baixa no mapeamento do processo. Esse cenário faz com que o NPR, na média, tenha a tendência de se manter baixo, trazendo a impressão de que o processo não apresenta riscos potenciais significativos para o produto e para o cliente. Da mesma forma, restringir um determinado defeito a poucos modos de falha sem dados que comprovem que o montante foi de fato gerado por aquela estação e causa, faz com que os planos de ação para redução ou eliminação do defeito sejam potencialmente ineficazes, principalmente quando, ao longo do processo, várias operações tem o potencial de gerar o mesmo tipo de defeito. A falha, em algumas peças mapeadas, pode ser gerada em estações ou por causas raízes não consideradas no momento da alocação da ocorrência nos modos de falha. O Gráfico 9 apresenta a distribuição de peças defeituosas por modo de falha para cada um dos *PFMEAs* das linhas de estampagem.

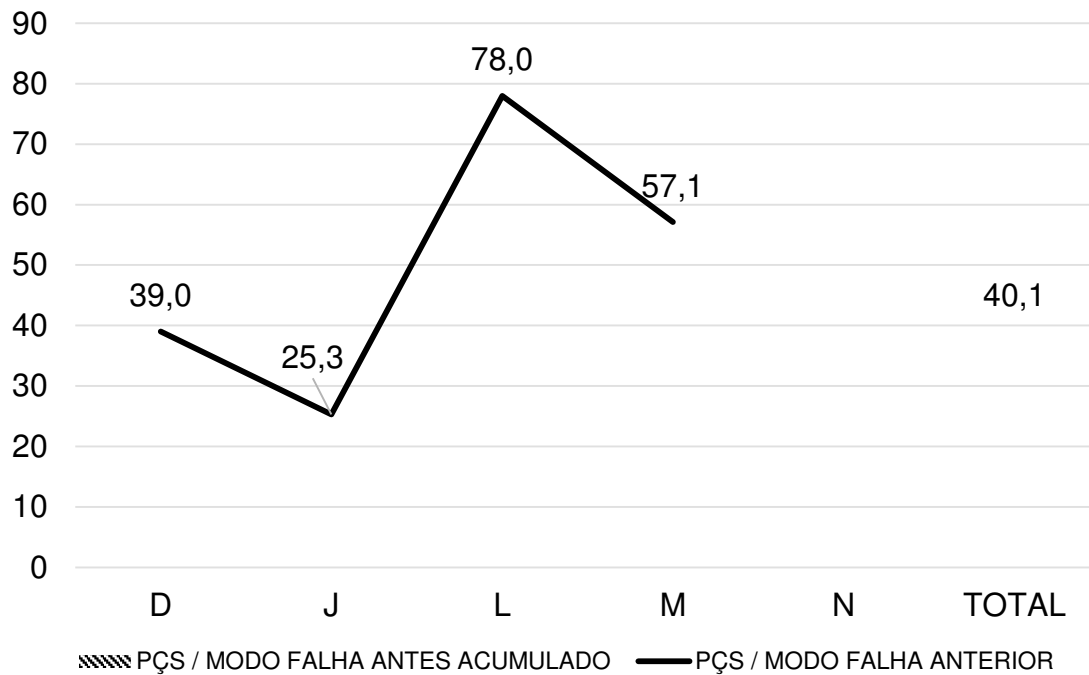


Gráfico 10 – Distribuição de peças por modo de falha por processo

Fonte – próprio autor

Como o caso estudado não apresenta histórico das reclassificações dos *PFMEAs*, a análise documental se deu sobre a última atualização do *PFMEA* de cada linha de estampagem. Foi levantado o NPR para cada modo de falha e efetuado uma média de todos os processos visando uma visão geral da fábrica. O valor calculado foi de 88,1 NPR. De todos os modos de falha mapeados pelos cinco *PFMEAs*, 1,2% apresenta ocorrência de defeito.

4.2.2 Concretização da Proposta

A hipótese de pesquisa prevê a integração do conceito de *Jidoka*, coleta de dados e recursos computacionais. Essa integração será abordada nesse tópico relacionando o conceito do *Jidoka* e da coleta de dados nas EVs e o resultado na precisão do endereçamento da ocorrência de falhas no *PFMEA*. A partir dessa análise será avaliado o fluxo de dados entre a coleta no chão de fábrica e o engenheiro responsável pelo *PFMEA*. Será construído um diagrama de fluxo de dados com o objetivo de embasar a implementação da solução utilizando recursos computacionais e aplica-lo no estudo de caso. A Figura 14

mostra, na forma de diagrama, as etapas do desenvolvimento da solução em associação com a hipótese da pesquisa.

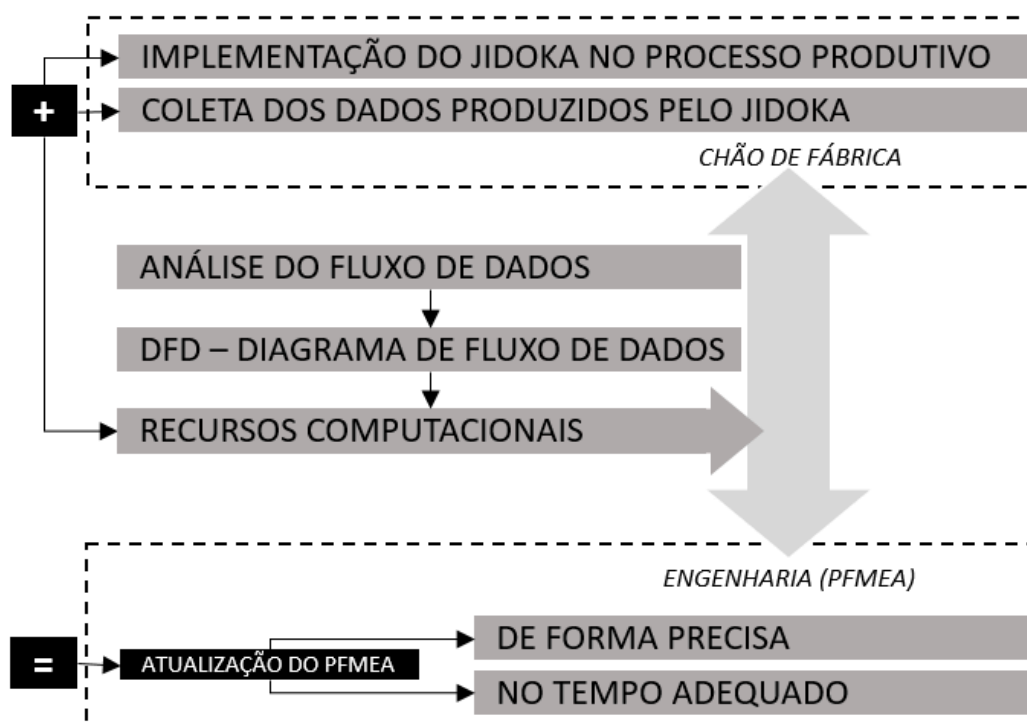


Figura 14 – Etapas do desenvolvimento da solução associada à hipótese de pesquisa

Fonte – próprio autor

4.2.2.1 *Jidoka* e Coleta de Dados

Tomando-se como base a Figura 3, observa-se um fluxo específico na EV, caso haja a detecção de falhas no produto. Esse fluxo condicional não somente determina o processo que a peça deverá seguir como também levanta informações sobre a falha ocorrida.

Num processo onde o operador não possui autonomia para parar a produção mediante a ocorrência de falhas, a causa raiz, bem como a operação que gerou a falha acabam não sendo devidamente identificados, limitando os dados disponibilizados à simples identificação da falha e à ação tomada sobre a peça com falha, conforme exposto na Figura 15.

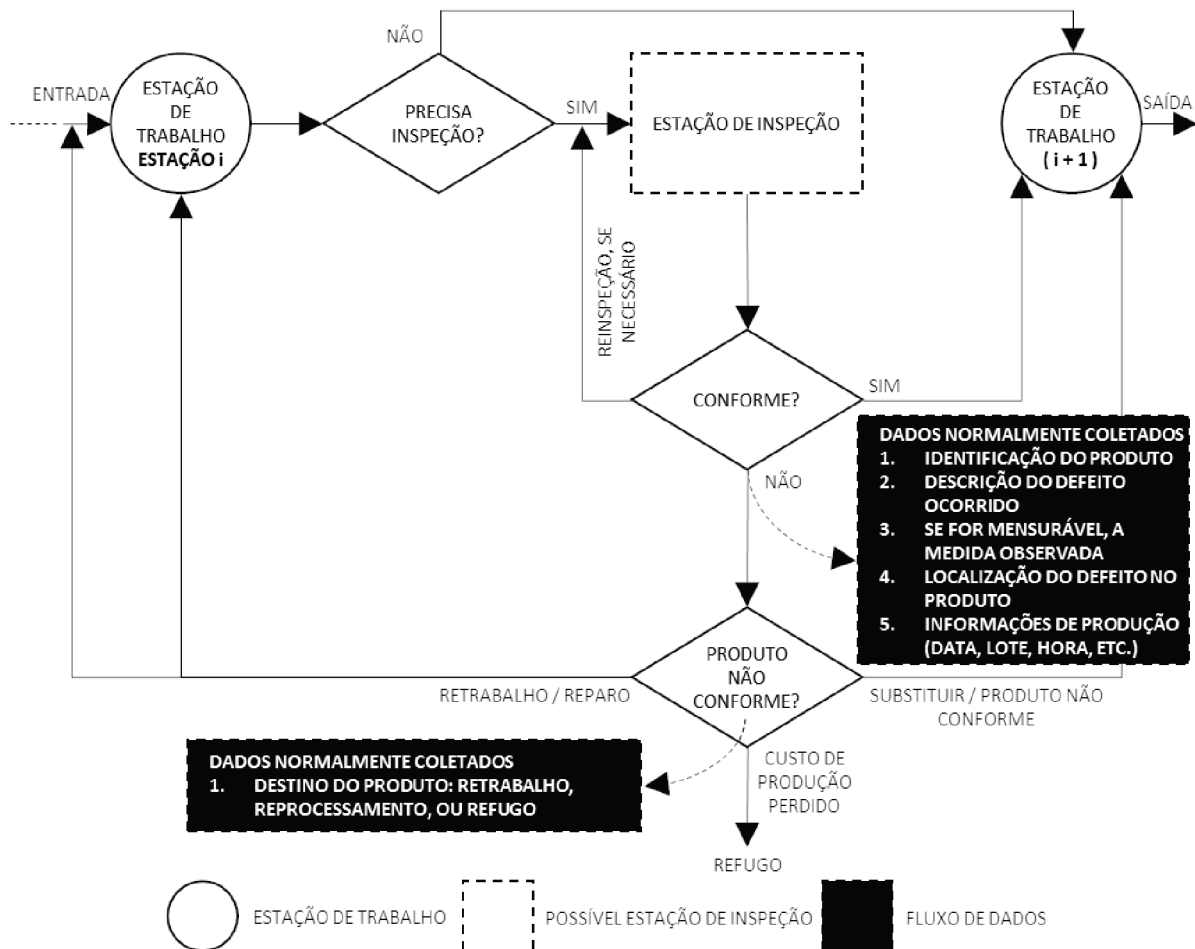


Figura 15 – Dados disponibilizados no processo de inspeção do produto

Fonte: SHETWAN; VITANOV; TJAHJONO (2011) adaptado pelo autor

O exemplo de modos de falha e efeitos do Quadro 3, mostra que uma única falha, detectada a partir de seu efeito, pode ter sido gerada por diferentes modos ao longo do mesmo processo. Isso evidencia que, num processo de reclassificação de ocorrência do *PFMEA*, onde a falha é endereçada na operação e no modo de falha que a gerou, saber apenas o tipo da falha (no caso, barulho ou perda da almofada) não é suficiente.

OPERAÇÃO	REQUISITOS	MODO DE FALHA	EFEITO
Operação 20 - Anexar almofada do assento usando uma pistola de torque	Quatro parafusos	Menos que quatro parafusos	Usuário Final: perda da almofada e barulho Manufatura e montagem: interrupção de embarque, reinspeção e retrabalho devido às peças afetadas
	Parafusos especificados	Uso de parafuso não adequado (diâmetro maior)	Manufatura e Montagem: Dificuldade para instalar os parafusos restantes na estação.
	Sequência de montagem: primeiro parafuso no lado direito do furo frontal	Parafuso colocado em outro furo	Manufatura e Montagem: incapacidade de instalar o parafuso na estação
	Parafusos totalmente assentados	Parafuso parcialmente assentado	Usuário Final: perda da almofada e barulho Manufatura e montagem: reinspeção e retrabalho devido às peças afetadas
	Parafusos com torque dinâmico conforme especificado	Parafuso com torque acima do especificado	Usuário Final: perda da almofada e barulho devido à subsequente quebra do parafuso Manufatura e montagem: reinspeção e retrabalho devido às peças afetadas
		Parafuso com torque abaixo do especificado	Usuário Final: perda da almofada e barulho devido à gradual desaperto do parafuso Manufatura e montagem: reinspeção e retrabalho devido às peças afetadas

Figura 16 – Efeitos iguais para modos de falha diferentes

Fonte – próprio autor

A simples identificação da falha, portanto, não garante a correta distribuição da ocorrência no *PFMEA*, carregando para o índice de ocorrência uma informação imprecisa, potencializando decisões equivocadas no processo de melhoria contínua e em decisões futuras de investimento.

Direcionar a ocorrência de falha corretamente no *PFMEA* implica, portanto, numa coleta de dados mais abrangente, contemplando a operação geradora e a causa raiz da falha.

O diagrama mostrado na Figura 3 apresenta o fluxo do produto no processo de produção e inspeção na EV. Considerar o conceito de *Jidoka* na EV não afeta o fluxo do produto proposto, mas gera uma interrupção na produção assim que um defeito é identificado. Durante a interrupção é feita uma busca pela estação e pela causa que gerou o defeito. Define-se e implementa-se uma solução, voltando a produzir normalmente. Esse fluxo de ações pode ser observado na Figura 17.

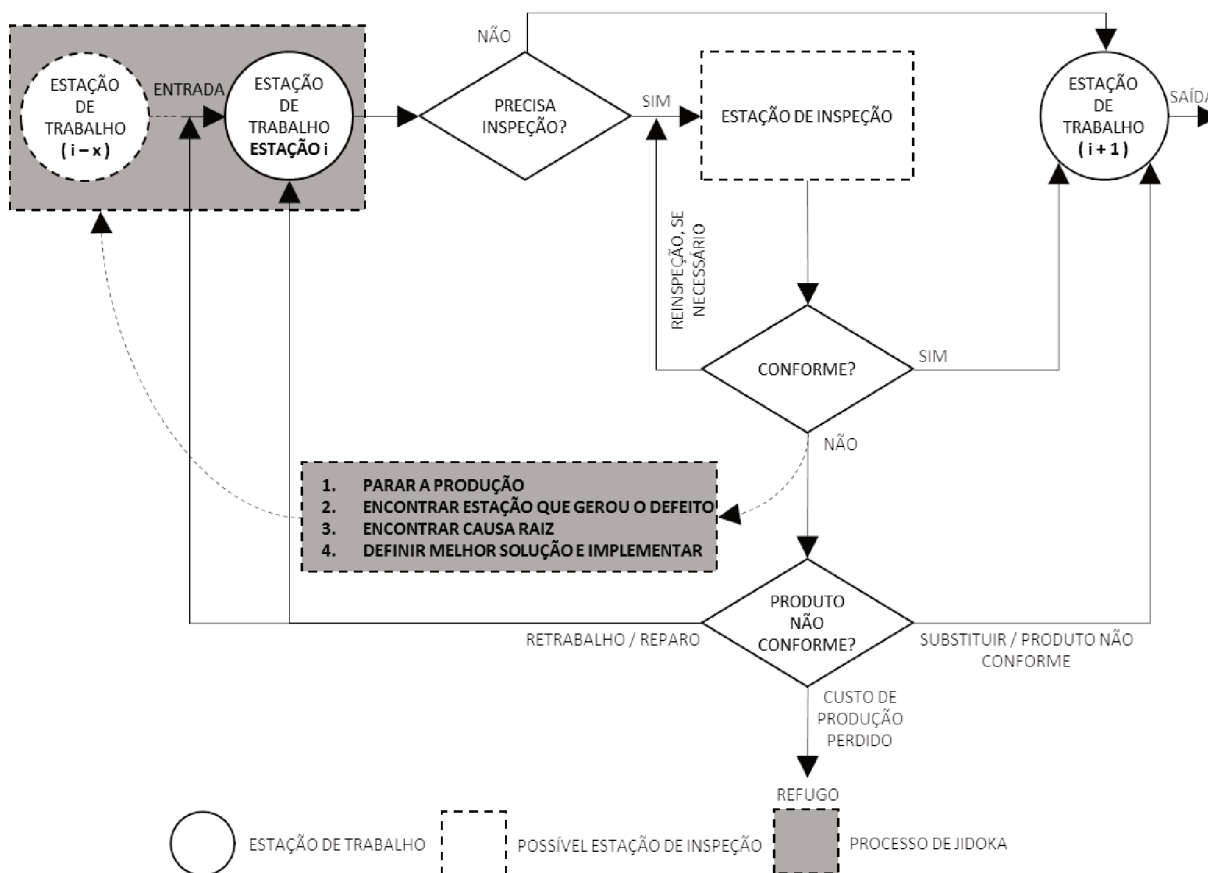


Figura 17 – Fluxo de ações ao identificar falha no produto

Fonte: SHETWAN; VITANOV; TJAHJONO (2011) adaptado pelo autor

Esse conjunto de ações que acompanham a detecção da falha no produto, conforme proposto no conceito de *Jidoka*, não somente caracteriza um processo de melhoria contínua como também explica a origem e a causa das falhas, constituindo uma informação valiosa no desenvolvimento de soluções preventivas. Para o *PFMEA*, a estação que gerou o defeito localiza a operação no mapeamento do processo. A causa raiz e o defeito gerado no produto localizam o modo de falha e o efeito, garantindo a alocação da ocorrência de forma precisa no *PFMEA*.

A Figura 18 mostra o conjunto de dados disponibilizados quando uma falha no produto é identificada e a produção é interrompida até ser encontrada e sanada a causa raiz da falha.

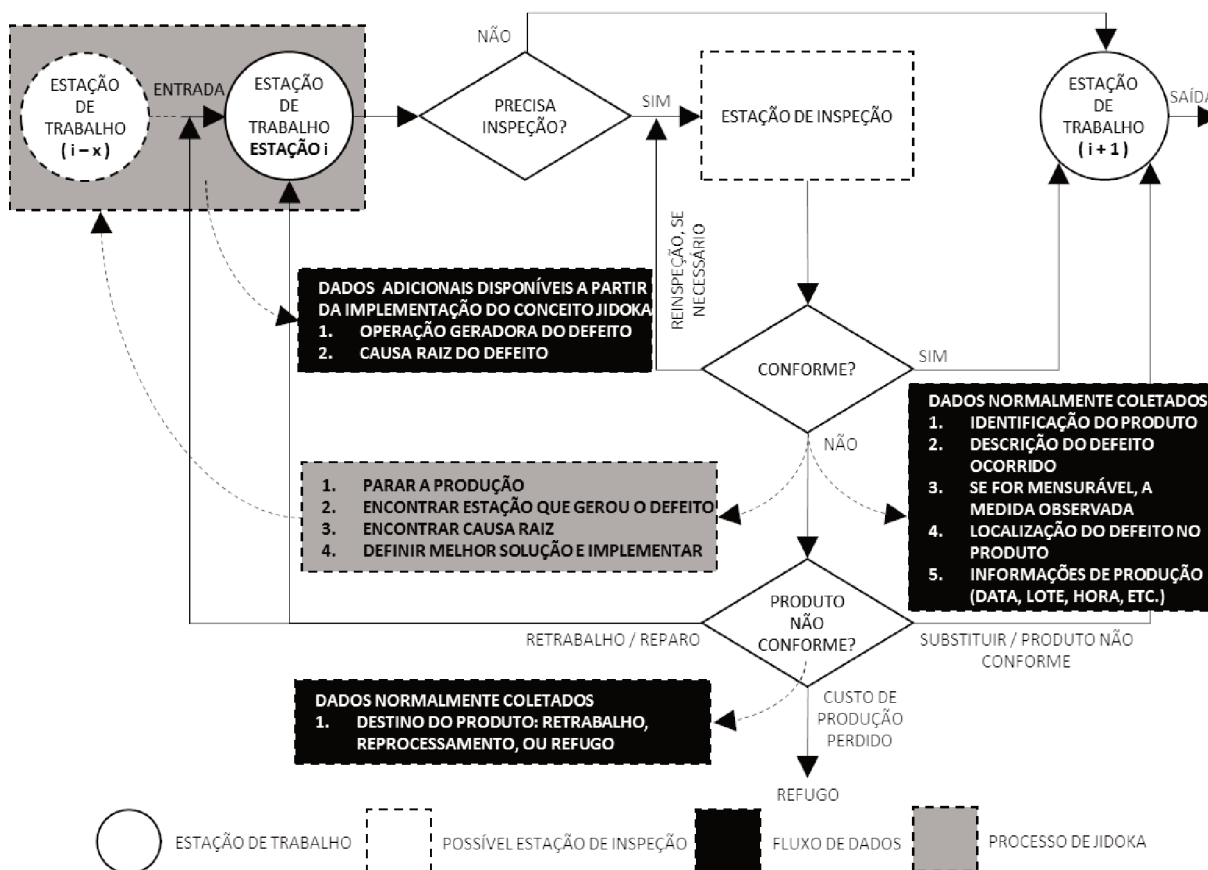


Figura 18 – Dados disponibilizados ao identificar e solucionar uma falha no produto

Fonte: SHETWAN; VITANOV; TJAHJONO (2011) adaptado pelo autor

A simples identificação da falha, portanto, não garante a correta distribuição da ocorrência no *PFMEA*, carregando para o índice de ocorrência uma informação imprecisa, potencializando decisões equivocadas no processo de melhoria contínua e em decisões futuras de investimento.

No entanto, observa-se também que a coleta dos dados necessários para o endereçamento da ocorrência no *PFMEA* depende de parar a linha e buscar a origem da falha, visando solucioná-la. A autonomia do operador para parar a linha mediante a falha e buscar corrigi-la é a essência do conceito do *Jidoka*.

4.2.2.2 Fluxo de Dados

Para trabalhar com recurso computacional, é necessário ter disponível um computador na EV com uma interface que disponibilize ao usuário recursos para que o produto e a falha ocorrida sejam identificados e os dados sejam armazenados. O caso em estudo tem uma EV no final de cada linha de

estampagem com um computador em cada uma delas ligado a uma rede interna, o que viabiliza o fluxo de dados de forma remota. Foi feito um levantamento na empresa para avaliar e definir quais os dados que serão coletados na EV e inseridos no computador, além dos dados básicos para apontamento de ocorrência no *PFMEA*. A Figura 19 mostra a relação entre EV e a interface computacional, denominada de Sistema de Apontamento de Defeitos e detalha um modelo de interface para o usuário e os dados que serão coletados nas EVs.

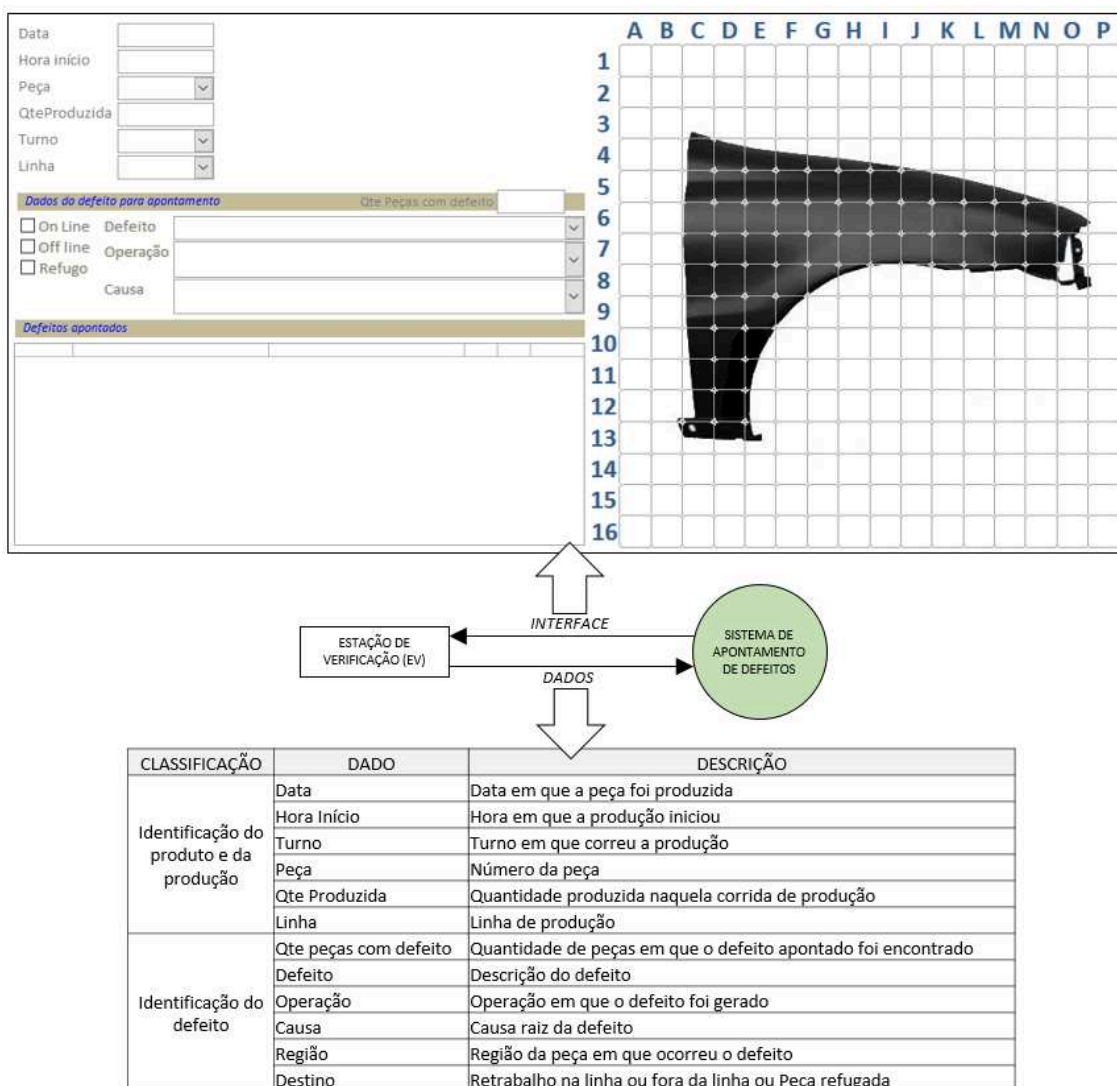


Figura 19 – Fluxo entre Sistema de Apontamento de Defeitos e a EV

Fonte – próprio autor

A precisão e a velocidade de atualização também dependem de ter o *PFMEA* inserido num sistema informatizado. Desse modo os dados coletados na EV poderão ser comparados com o *PFMEA*, o modo de falha localizado e a

ocorrência endereçada corretamente. O Engenheiro responsável pelo *PFMEA* insere o *PFMEA* nesse sistema, solicita a atualização de ocorrência e tem o *PFMEA* atualizado como retorno. Esse sistema será chamado de Sistema Gerenciador do *PFMEA*. A Figura 20 mostra a relação entre o engenheiro e esse sistema.

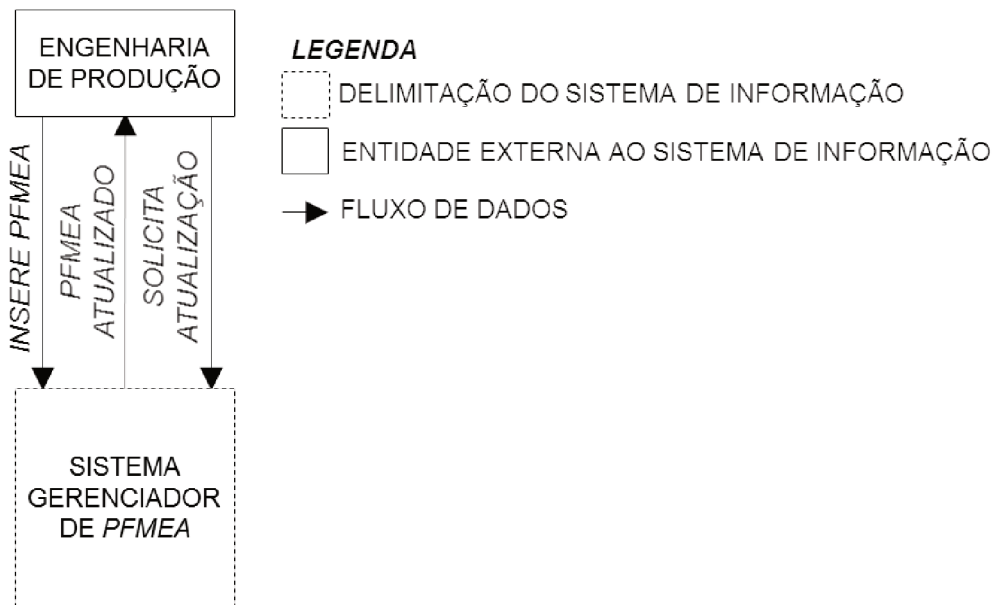


Figura 20 – Fluxo entre engenharia e sistema gerenciador do *PFMEA*

Fonte – próprio autor

A atualização do *PFMEA* é feita quando solicitado pelo engenheiro, mas depende de acesso aos dados coletados no chão de fábrica pelo Sistema de Apontamento de Defeitos. No entanto, para que o usuário possa apontar as falhas ocorridas na produção, a estação geradora, o modo de falha e a causa raiz, é preciso ter essas informações cadastradas no Sistema de Apontamento de Defeitos, ou seja, é preciso ter acesso ao *PFMEA* inserido no Sistema Gerenciador do *PFMEA*. Dessa forma se estabelece a relação entre os dois sistemas. A Figura 21 mostra essa relação.

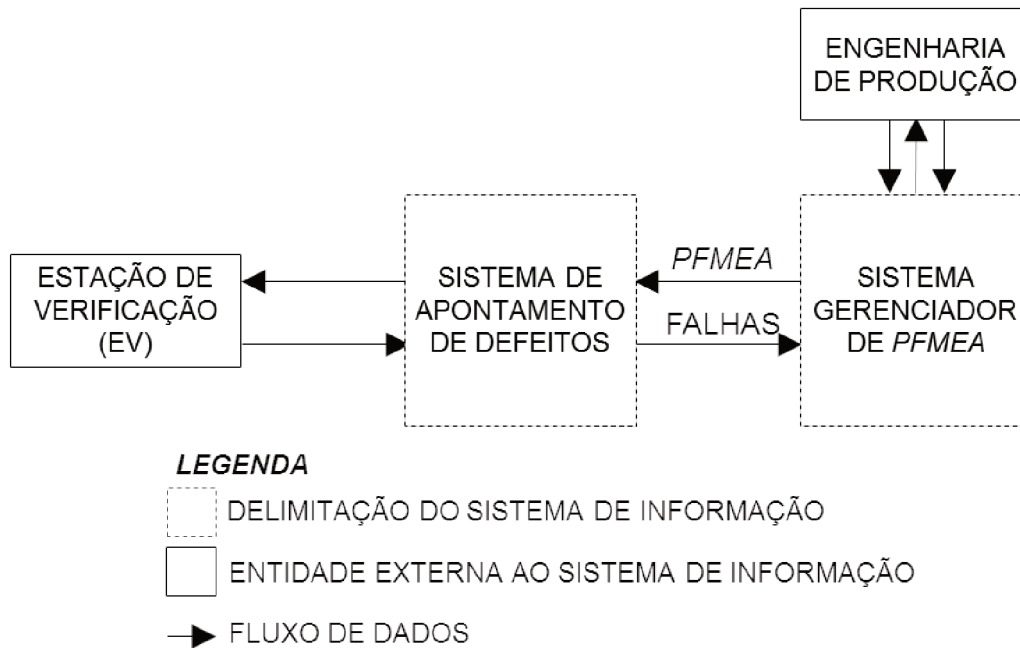


Figura 21 – Fluxo entre Sistemas de Apontamento de Defeitos e Gerenciador de *PFMEA*
Fonte – próprio autor

O Sistema de Apontamento de Defeitos, portanto, tem duas funções. A primeira é fornecer uma interface ao usuário onde os defeitos ocorridos ao longo do processo possam ser apontados. Ao efetuar o apontamento, o usuário precisa identificar o produto e a falha ocorrida, o que torna necessária a existência de uma base com dados do produto e outra com dados dos defeitos. A base de dados de defeitos deve ser extraída do *PFMEA* visando garantir que o mapeamento do processo, os modos de falha e os efeitos mapeados estejam sempre atualizados, ou seja, a ocorrência de defeito não mapeado pelo *PFMEA* deve gerar uma solicitação de análise por parte do engenheiro responsável pela atualização do *PFMEA* para que o mesmo corrija os dados do defeito, caso for verificado que o modo de falha já existia no *PFMEA* ou atualizar o *PFMEA* adicionando um novo modo de falha.

A segunda função do Sistema de Apontamento de Defeitos é armazenar os dados coletados no chão de fábrica, o que implica na necessidade de uma base de dados para esse fim. A Figura 22 mostra um detalhamento do Sistema de Apontamento de Defeitos considerando as duas funções citadas e as respectivas bases de dados.

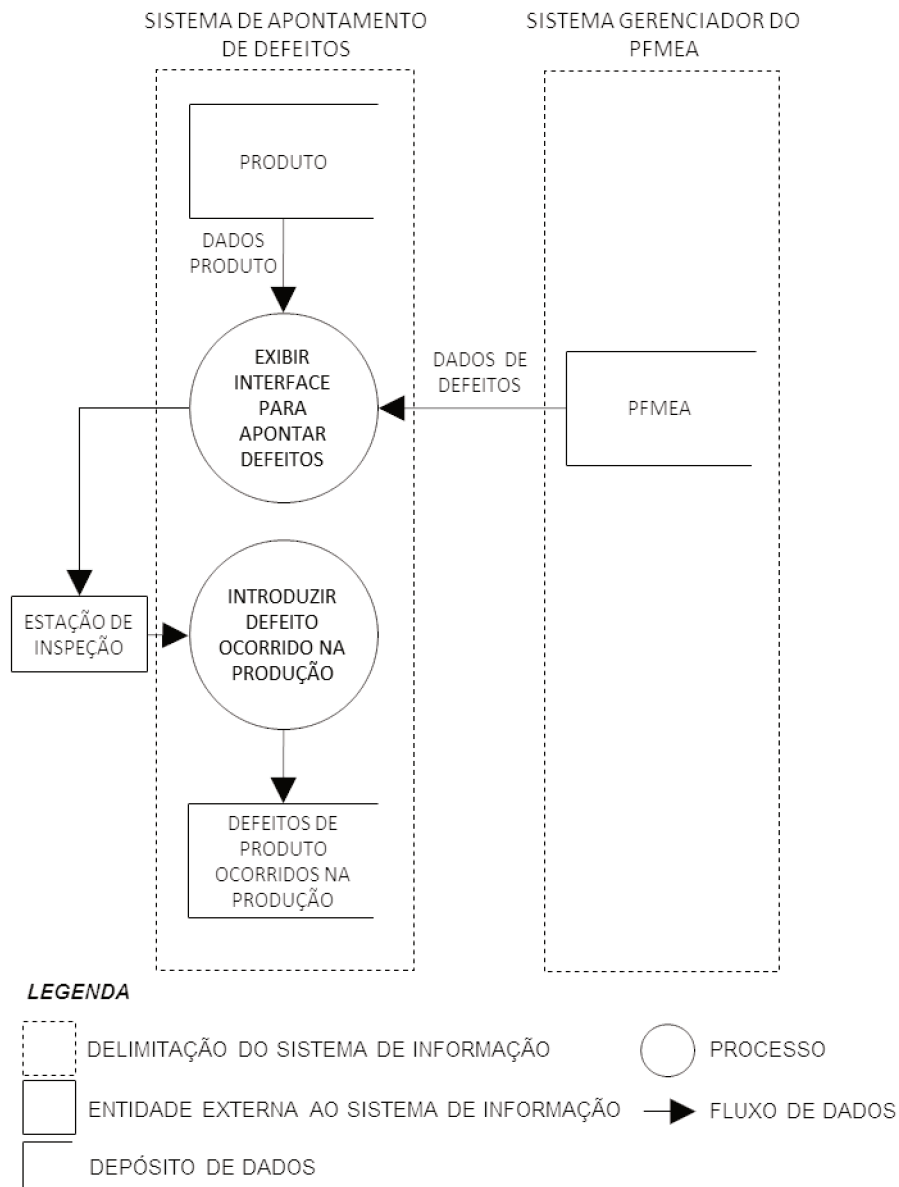


Figura 22 – Sistema de Apontamento de Defeitos – Detalhamento do Fluxo de Dados

Fonte – próprio autor

Para que o Sistema Gerenciador do *PFMEA* cumpra seu papel supracitado, algumas funções precisam ser desempenhadas:

- Prover uma interface para inserção e atualização do *PFMEA* no sistema: o engenheiro responsável deve ter acesso ao sistema de forma a poder inserir e atualizar o *PFMEA*. Para que isso seja possível, uma base de dados para armazenar o *PFMEA* é necessária. Não está incluído na atualização feita pelo engenheiro o cálculo e endereçamento da ocorrência nos modos de falha e posterior cálculo de NPR. Essa função é

desempenhada de forma automática pelo Sistema Gerenciador do *PFMEA*

- Atualizar a ocorrência conforme dados coletados no chão de fábrica: essa atualização é solicitada pelo engenheiro ao sistema e é executada em etapas:
 - Endereçamento de dados de defeitos no *PFMEA*: o sistema acessa a base de dados do Sistema de Apontamento de Defeitos e cada falha apontada no período considerado é endereçada ao respectivo modo de falha do *PFMEA*. Essa função, portanto, acessa duas bases de dados, sendo uma no Sistema de Apontamento de Defeitos (Base de dados de defeitos apontados no chão de fábrica) e outra no Sistema Gerenciador do *PFMEA* (Base de dados do *PFMEA*).
 - Verificar se todos os dados de defeitos possuem modo de falha correspondente no *PFMEA*: essa é uma função condicional. Se algum dado não possuir um correspondente no *PFMEA*, o sistema deve notificar ao engenheiro, o qual efetuará uma análise desses dados. Duas ações podem resultar dessa análise:
 - A primeira é a revisão dos dados. Nesse caso, o engenheiro identificou que os dados possuem correspondente no *PFMEA*, no entanto, quando foram inseridos no sistema, o usuário não encontrou esse correspondente, optando por descrever manualmente a operação que gerou o defeito e a causa raiz.
 - A segunda ação resultante da análise é a atualização do *PFMEA*. Nesse caso, o engenheiro identificou que, de fato, o modo de falha informado não está contemplado no *PFMEA*, gerando a necessidade de inseri-lo.
A outra condição considerada por essa função é se todos os dados possuírem correspondente no *PFMEA*. Nesse caso o sistema passa para a etapa seguinte.
 - Atualizar o *PFMEA*: calcular a ocorrência para cada modo de falha, seguido do cálculo do NPR, atualizar a base de dados do *PFMEA* e exibir o *PFMEA* atualizado ao engenheiro.
 - Correção da base de dados de defeitos: essa função, citada acima, é um acesso do engenheiro na base de dados do

Sistema de Apontamento de Defeitos com o objetivo de corrigir dados inseridos de forma manual pelo usuário para os quais não foram encontrados correspondentes no *PFMEA*. O engenheiro localiza o modo de falha correspondente à falha e atualiza a base de dados conforme *PFMEA*.

A Figura 23 apresenta as funções do Sistema Gerenciador do *PFMEA* e sua integração com o Sistema de Apontamento de Defeitos

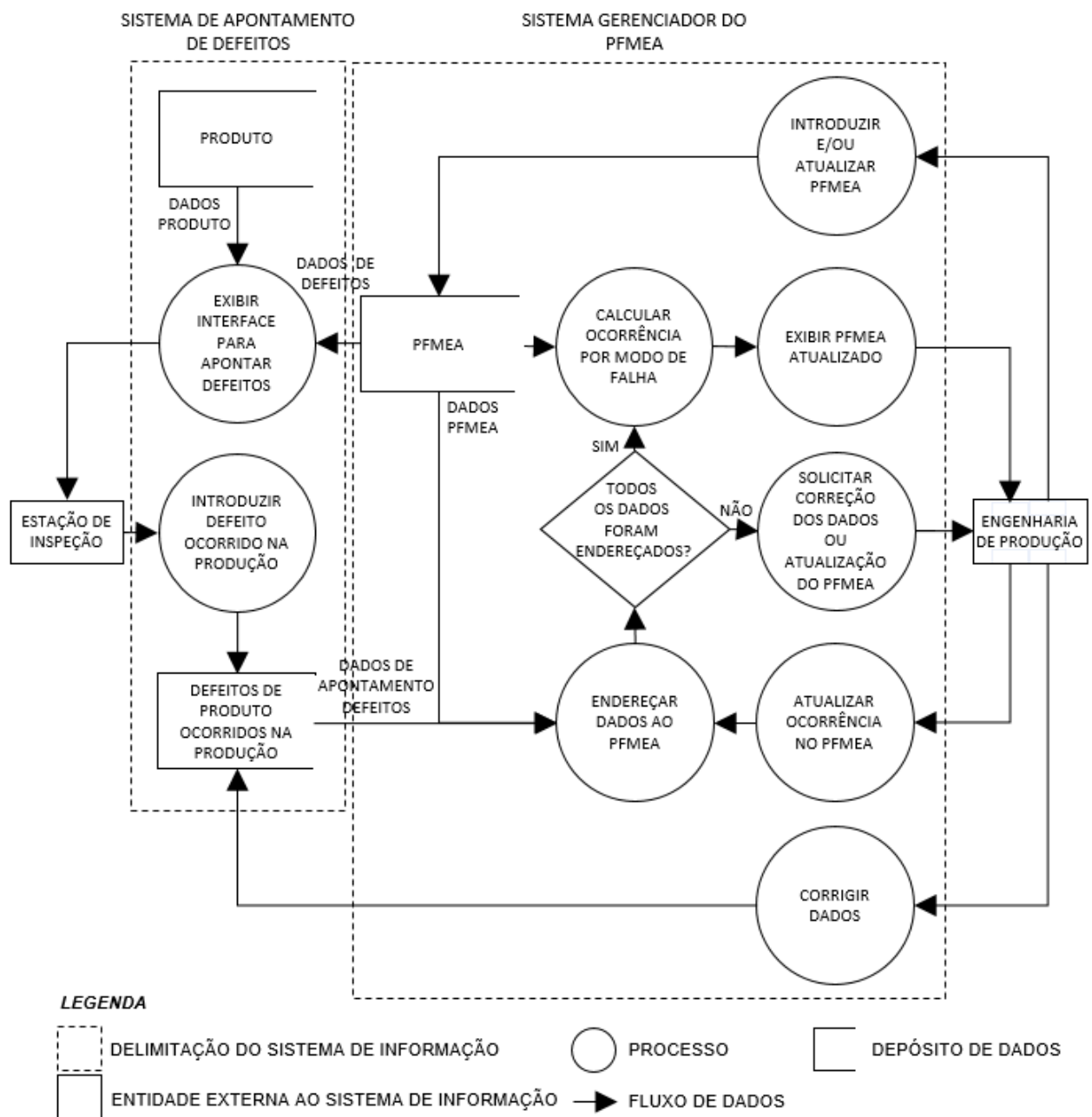


Figura 23 – Fluxo de Dados dos Sistemas

Fonte – próprio autor

4.2.3 Aplicação da solução

De acordo com as premissas estabelecidas para a escolha do caso a ser estudado, foi observado que a empresa em estudo possui a estrutura mínima necessária. Por questões de *lay out*, uma dentre as cinco linhas de estampagem tem EV exclusiva. As demais têm EV compartilhada. No entanto, todas as EVs possuem um terminal de computador ligado em rede o que permite a utilização de recurso computacional sem agregar custo. A implementação se deu em passos específicos conforme segue:

- Implementação do aplicativo: três EVs receberam o aplicativo desenvolvido conforme fluxo de dados exposto no tópico anterior. O engenheiro responsável pelo *PFMEA* também teve a aplicação instalada em seu computador para inserir o *PFMEA*, efetuar manutenção do mesmo quando requerida e solicitar atualização do *PFMEA* conforme lançamento de dados efetuado nas EVs.
- Lançamento do *PFMEA* no sistema: o engenheiro lançou o *PFMEA* das cinco linhas de estampagem no sistema. O mapeamento dos defeitos foi feito e o sistema identificou, para cada defeito, todas as operações e causas raízes, disponibilizando esses dados para os inspetores nas EVs.
- Treinamento: todos os inspetores de qualidade, responsáveis pelo lançamento de dados no sistema foram treinados e acompanhados por um período de três meses.

4.2.4 Análise longitudinal

A aplicação da solução implicou em mudanças no processo de reclassificação da ocorrência do *PFMEA*, otimizando a reunião mensal eliminando a necessidade de direcionar as falhas para os modos, repontuar ocorrência, calcular NPR e definir as prioridades de ação. A interação do engenheiro com o sistema aumentou, agregando a função de analisar dados inseridos nas EVs que não tenham correspondente no *PFMEA* e, dependendo do resultado da análise, corrigir dados no Sistema de Apontamento de Defeitos ou inserir novo modo de falha no *PFMEA*. A Figura 24 mostra o novo fluxo do

processo de reclassificação do *PFMEA* e detalha na reunião mensal, as atividades que passaram a serem feitas de forma automática pelo sistema.

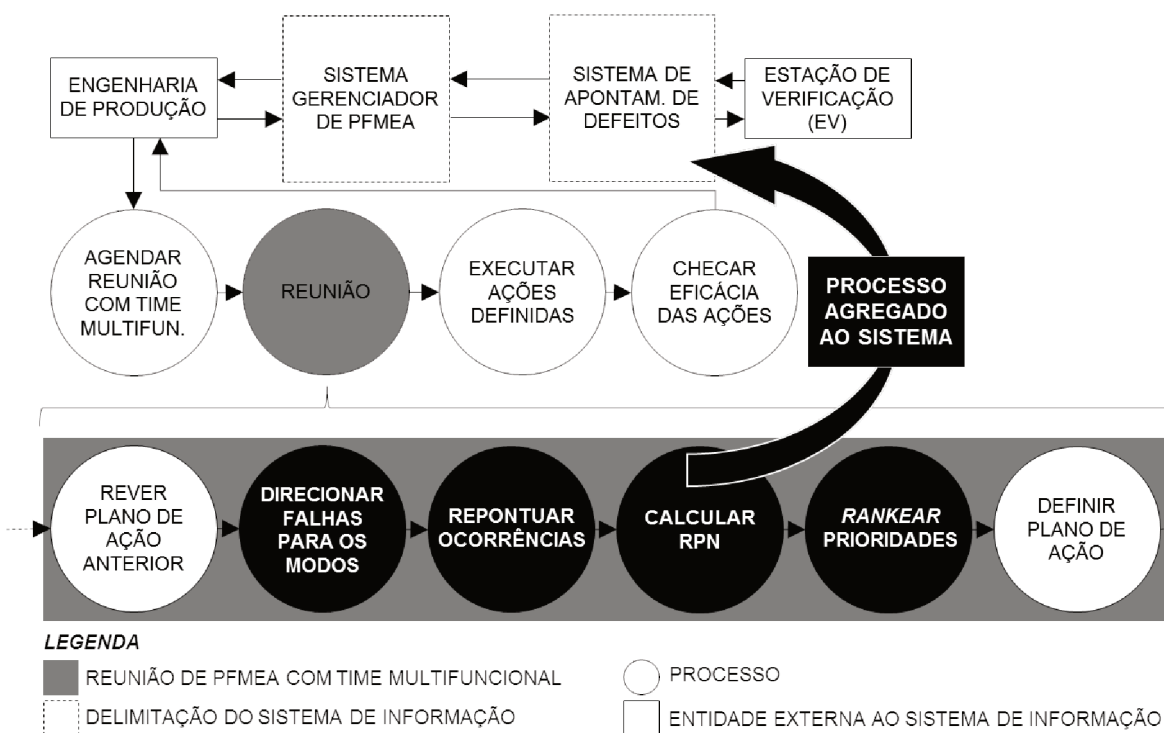


Figura 24 – Processo de reclassificação do *PFMEA*

Fonte – próprio autor

A análise longitudinal foi efetuada considerando um período de vinte e nove meses após a implementação do novo aplicativo. Ao longo desse período, o NPR foi calculado mensalmente considerando o período de três meses de dados, conforme já era praticado. Dessa forma, nos dois primeiros meses o cálculo de NPR foi efetuado com dados do sistema anterior associados com o atual. Logo no primeiro mês, observou-se uma diferença significativa entre o NPR anterior e o atual. Isso se explica principalmente pela maior distribuição de peças defeituosas pelos modos de falha. No primeiro mês foi identificada ocorrência em 6% dos modos de falha contra 1,2% no sistema anterior. À medida em que dados do sistema anterior deixaram de ser considerados, observou-se um aumento no NPR, o que ocorreu nos quatro primeiros meses. Nos meses seguintes observou-se uma queda na média do NPR alcançada pela eficácia dos planos de ação implementados com base nos dados do novo sistema. Observou-se também dois períodos posteriores em que o NPR aumentou (final de 2015 e final de 2016), o que ocorreu devido à inclusão de processos antes pertencentes

à outra unidade da empresa. No entanto, mesmo diante dessas inclusões, os planos de ação continuaram a apresentar resultados, reduzindo o NPR médio até o menor índice observado na análise longitudinal, em julho e agosto de 2016 (97,7). O Gráfico 10 apresenta a evolução do NPR detalhando os períodos anteriores, aplicação da solução, treinamento e período posterior, onde se observa a queda do NPR.

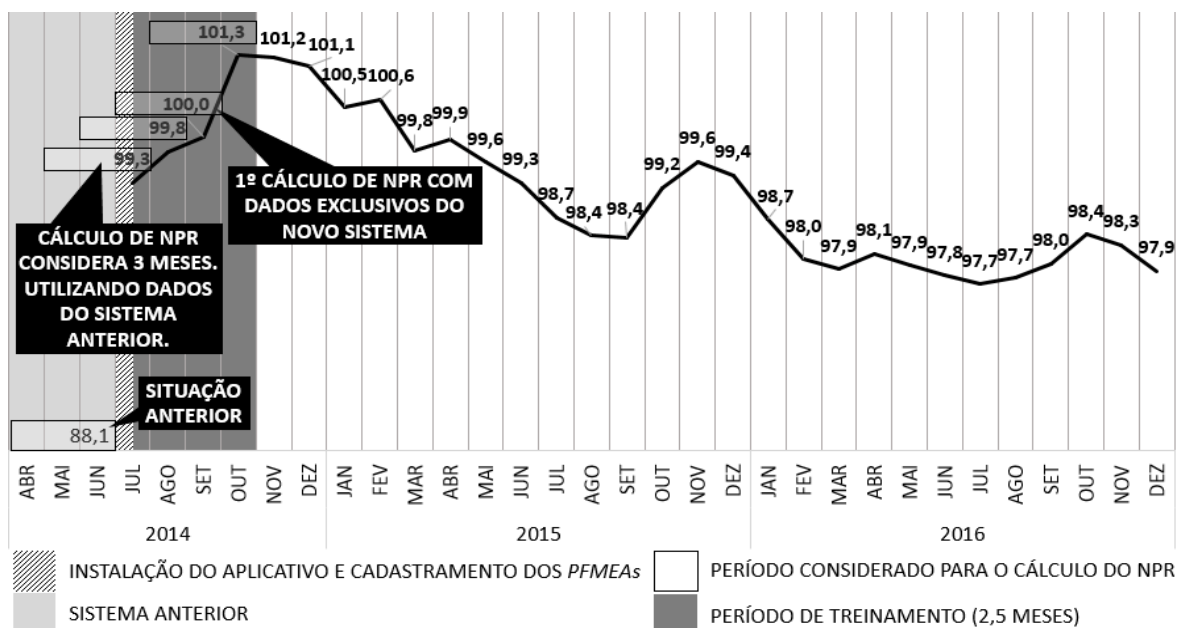


Gráfico 11 – Evolução do NPR

Fonte – próprio autor

O Gráfico 12 apresenta a evolução do PPM de duas formas distintas: valores acumulados dos anos de 2014 a 2016 e a evolução mensal de 2016.

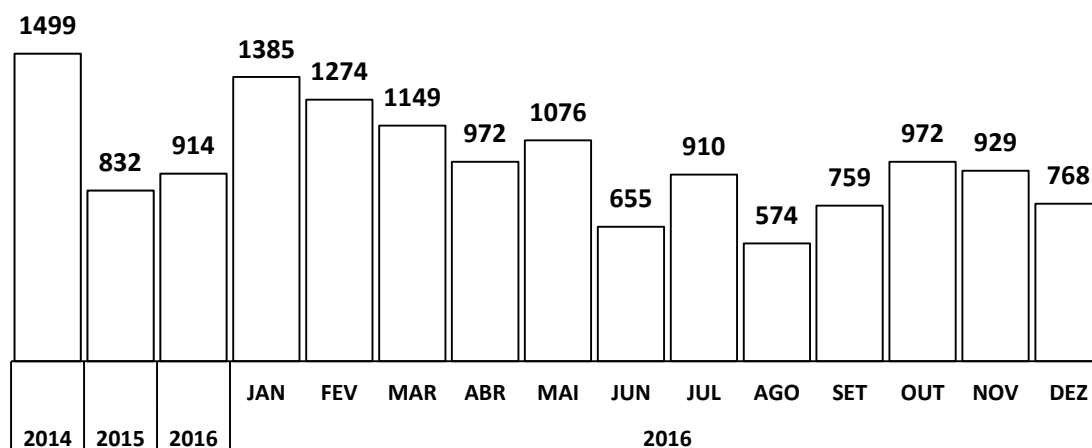


Gráfico 12 – Evolução do PPM

Fonte – próprio autor

Contrastando o comportamento acumulado de 2015 e 2016, observa-se uma queda no NPR de 99,4 para 98,0, enquanto que o PPM subiu de 832 para 914. Essa diferença evidencia a adoção de uma cultura de qualidade baseada no valor, uma vez que os itens de maior NPR (que considera, inclusive, a severidade na visão do cliente) foram priorizados nos planos de ação em detrimento dos itens de, simplesmente, maior ocorrência.

Quanto à análise de distribuição de peças por modo de falha e a quantidade de peças defeituosas produzidas, três períodos foram separados para avaliação:

- Primeiro período: situação anterior (análise retrospectiva)
- Segundo período: quarto mês após implementação (outubro de 2014) onde se observa o maior valor de NPR e onde os dados considerados no cálculo são estritamente do sistema novo após período de instalação e ajustes.
- Terceiro período: agosto de 2015. Esse período foi selecionado ao invés de períodos posteriores em virtude da inclusão de novos processos a partir de setembro de 2015, o que, uma vez considerado, tornaria imprecisa a análise dos resultados obtidos com a implementação dos planos de ação nos processos correntes.

No segundo período verificou-se uma redução de 49,6% na quantidade de peças por modo de falha enquanto que a quantidade de peças defeituosas aumentou 25,3% em relação ao primeiro período. No terceiro período verificou-se 43,6% de queda na quantidade de peças defeituosas, comparado com o primeiro período e 55,0% em relação ao segundo período. Mesmo com essa redução significativa na quantidade de peças, a distribuição de peças por modo de falha caiu 42,7% em relação ao segundo período.

Os Gráficos 12 e 13 mostram respectivamente a quantidade de peças com defeito e a distribuição de peças defeituosas por modo de falha para os três períodos analisados.

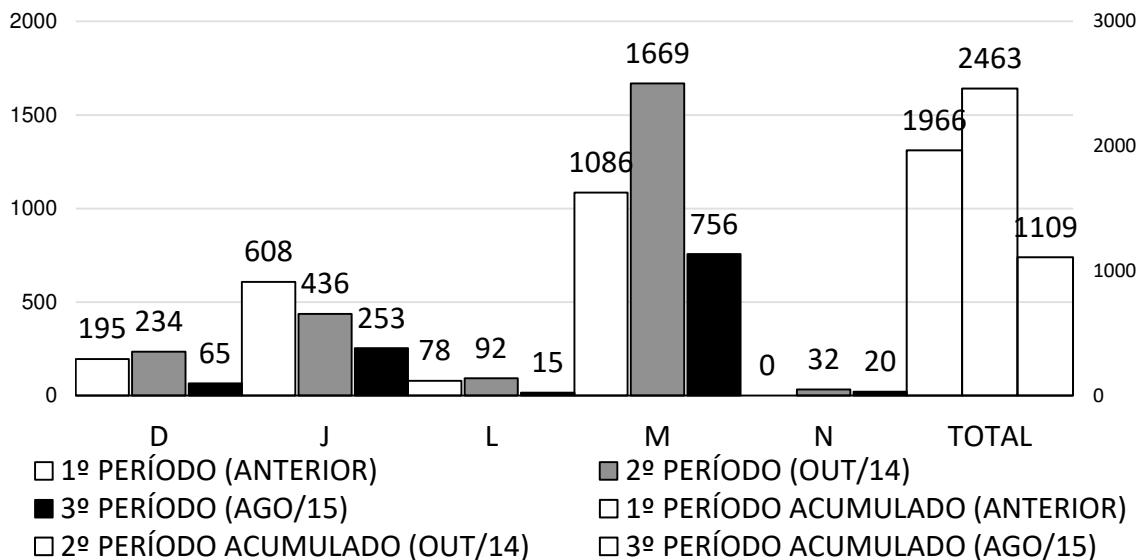


Gráfico 13 – Quantidade de peças com defeito
 Fonte – próprio autor

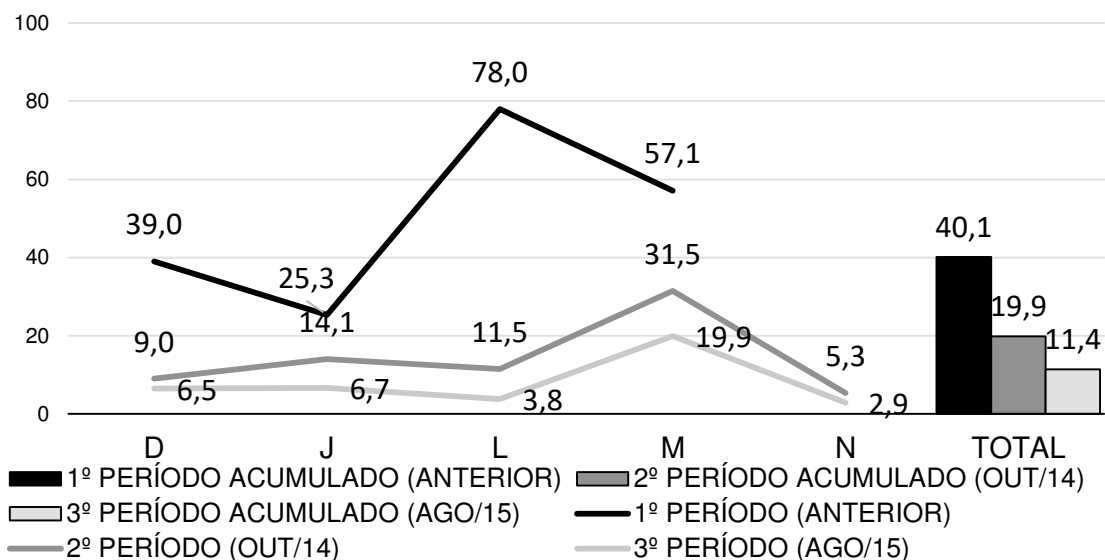


Gráfico 14 – Distribuição de peças defeituosas por modo de falha
 Fonte – próprio autor

A maior distribuição dos defeitos entre os modos de falha em cenários onde a quantidade de peças é maior e menor do que a situação anterior evidencia que a implementação da solução gerou um detalhamento maior e mais preciso dos defeitos ocorridos agregando valor à informação. Esse valor se comprova na eficácia das ações definidas e implementadas levando o NPR médio da fábrica de 101,3 (segundo período) para 98,4 (terceiro período).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Essa pesquisa mostrou ser possível criar e adotar uma sistemática de coleta dos dados que são naturalmente gerados pelo processo de *Jidoka* e associá-los diretamente ao *PFMEA* utilizando recursos computacionais. Ressalta-se que não foi propósito desse trabalho implementar o conceito de *Jidoka*, no entanto, constatou-se que parar a produção mediante a identificação de falha, visando localizar a origem e a causa raiz do defeito constitui, em última instância, a informação que direcionará as decisões no presente e no futuro no que diz respeito à melhoria do processo e do produto.

Quanto à precisão da informação, observou-se que a quantidade de peças com defeito foi mais distribuída entre os modos de falha após a aplicação da solução. Essa constatação foi feita em dois cenários distintos. No primeiro, a quantidade de peças defeituosas era maior do que na situação anterior e, no segundo, era menor, o que torna evidente que os dados coletados nas EVs eram melhor especificados quanto à origem e causa do defeito após aplicação da solução. A eficácia dos planos de ação implementados com base nessas informações e evidenciados na redução do NPR de 101,3 para 97,7 também comprovam a precisão da informação coletada e processada.

A solução adotada também viabilizou a informação de forma mais rápida. A visualização dos modos de falha mais críticos, que exigiam um plano de ação só eram visualizados após a organização dos dados coletados nas EVs, o agendamento e a efetivação da reunião mensal, o endereçamento das falhas no *PFMEA* e, finalmente, o ordenamento baseado no NPR. Foi observado que nem todos os *PFMEAs* eram tratados nas reuniões mensais por consistir num trabalho extenso que demanda um tempo significativo de análise dos defeitos e de dados históricos disponibilizados pelas áreas especializadas e representadas na reunião. Após a implementação da solução o *PFMEA* de qualquer uma das linhas poderia ser atualizado em poucos segundos e o detalhamento das falhas, acessados e verificados para qualquer modo de falha. A reunião mensal se tornou mais otimizada, passando a tratar basicamente dos planos de ação, seja acompanhando os que foram outrora traçados ou estabelecendo novos planos para modos de falha críticos. Todos os *PFMEAs* passaram a ser tratados em todas as reuniões e as informações levantadas incorporavam dados coletados

pouco tempo antes da reunião, o que agrega valor à informação e agiliza a tomada de ação, gerando ganhos maior na qualidade e, conseqüentemente, no custo da operação.

O sistema implementado também se mostrou eficaz na detecção de novos modos de falha e na identificação da necessidade de treinamento ou reciclagem dos inspetores de qualidade. O sistema retorna para o engenheiro, a informação de que um ou mais lançamentos efetuados na EV não possuem correspondente no *PFMEA*. Isso significa que, em algum momento, o inspetor foi inserir dados de defeitos no sistema e não encontrou mapeado no *PFMEA* a operação onde o defeito foi gerado e/ou a causa raiz detectada e lançou esses dados de forma manual. Ao receber essa informação, o engenheiro analisa o lançamento feito pelo inspetor e pode chegar em duas conclusões. A primeira conclusão é que o lançamento efetuado caracteriza de fato um modo de falha não contemplado no *PFMEA*, resultando no acréscimo desse novo modo de falha e a reclassificação da ocorrência. A segunda é que o modo de falha existe, mas não foi encontrado pelo inspetor. Nesse caso, o engenheiro atualiza a base de dados de defeitos de forma correspondente ao *PFMEA* e retorna a informação aos inspetores e colaboradores que atuam junto ao sistema na forma de treinamento. Ao longo do período de análise longitudinal, 18 lançamentos identificaram modos de falha não contemplados no *PFMEA* original e 3 lançamentos geraram oportunidades de treinamento aos colaboradores, criando um ciclo de melhoria contínua na qualidade dos dados inseridos no sistema.

Além dos ganhos previstos na hipótese de pesquisa, foram identificados outros ganhos referentes à implementação da solução:

- **Cultura:** No início do estudo de caso, notou-se que o *PFMEA* era uma ferramenta de uso restrito ao grupo de engenharia, liderança e alguns colaboradores que compunham o time multifuncional. Ao longo do período de treinamento e análise longitudinal observou-se que o conceito de mapeamento de processo, falha, operação geradora e causa raiz, inerentes ao *PFMEA* foram naturalmente se tornando comuns entre os inspetores de qualidade e dos demais colaboradores que interagem com o sistema no chão de fábrica. O *PFMEA* deixou de ser restrito a um grupo e passou a integrar a cultura de parte do chão de fábrica.

- **Processo:** na situação anterior, procurou-se levantar os dados históricos do *PFMEA*, visando ter uma visão de seu comportamento ao longo do tempo, no entanto, constatou-se que a falta de associação dos defeitos com os modos de falha torna inviável a recuperação de dados históricos. A implementação da solução viabiliza a construção do histórico do *PFMEA* ao longo do tempo de forma natural, ou seja, mesmo se o trabalho com o *PFMEA* se interrompa, as falhas, a operação geradora e a causa raiz continuaria sendo coletada nas EVs, o que viabiliza a atualização da ocorrência no *PFMEA* a qualquer momento em qualquer período, tornando a ferramenta um documento vivo.
- **Qualidade:** o *PFMEA* é uma ferramenta que capacita a priorização baseada numa análise de valor, visto que analisa o defeito pela ótica de indicadores que contemplam também a visão do cliente. Tornar o *PFMEA* uma ferramenta viva, mais ágil e precisa não somente melhora a qualidade como também difunde os valores do cliente no chão de fábrica, suportando a criação de uma cultura de qualidade baseada no valor.

Ao longo do desenvolvimento da pesquisa, identificou-se também duas oportunidades de estudo futuro. Ambas se referem ao uso do *PFMEA* como ferramenta de melhoria contínua do processo corrente e visam a melhoria da precisão da informação propondo a reavaliação das tabelas tradicionalmente utilizadas na classificação da ocorrência e da detecção. No primeiro caso, a proposta é efetuar um estudo de caso considerando o índice de ocorrência não mais como um número inteiro, mas como um número real que admite casas decimais e verificar o impacto no processo de melhoria contínua. De forma semelhante, a segunda proposta é efetuar um estudo de caso flexibilizando o índice de detecção fundamentado na frequência de ocorrência de defeito.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A.T.; SOUZA, F.M.C. Produção & Competitividade: Aplicações e Inovações, Editora UFPE, Recife, 2000

AMZA, C.G.; AMZA, G.; POPESCU, D. Image Segmentation for Industrial Quality Inspection; Revista Fiabilitate si Durabilitate, v.1 Iss.10, p.126-132, Maio 2012

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 5462, Confiabilidade e Mantenabilidade - terminologia. Rio de Janeiro, Nov/1994.

BATISTA, E.O. Sistemas de Informação: o uso consciente da tecnologia para o gerenciamento. 1ª edição, São Paulo, Editora Saraiva. 2004.

BEN-DAYA, M.; RAOUF, A. A revised failure mode and effects analysis model. International Journal of Quality & Reliability Management. Dhahran (Saudi Arabia), v. 13, n. 1, p. 43-47, 1996.

BERTI, R.M. Implantação de um MES em um ambiente de manufatura enxuta – um estudo de caso em uma linha de montagem de produtos da linha branca. Florianópolis: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina, 2010. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Mecânica)

CARVALHO, M.M.; PALADINI, E.P. Gestão da Qualidade: Teoria e Casos. 2ªed., Editora Elsevier, Rio de Janeiro, 2012

CORRÊA, H.L.; CORRÊA C.A. Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica, 2ªed., Editora Atlas, São Paulo, 2012

CORRÊA, H.L., GIANESI, I.G.N. Just in time, MRP II e OPT: um enfoque estratégico. Editora Atlas, 2ª edição, São Paulo, 1993, p.45-46

CHRYSLER, LLC; FORD Motor Company; GENERAL Motors Corporation, Potential Failure Mode and Effects Analysis: Reference Manual; 4^aed., Junho / 2008

DEGEN, E.A.; BORCHARDT, M.; PEREIRA, G.M.; SELLITTO, M.A. Proposta de um método para avaliação de riscos em FMEA considerando o custo de ocorrência do modo de falha, ENEGEP – XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, São Carlos, 2010

DIAS, R. Métricas para Avaliação de Sistemas de Informação. Revista Eletrônica de Sistemas de Informação. v. 1, n. 1 (2002)

FRANCAIS, A.; VESIN, A.; TIMSIT, J.F. Como realizar ensaios clínicos em terapia intensiva utilizando base de dados de alta qualidade. Revista brasileira de terapia intensiva , v. 20, n. 3, p. 296-304, 2008

GHINATO, P. Sistema Toyota de produção: mais do que simplesmente Just-in-Time, Production – Scielo Brasil, v.5 no.2, São Paulo, 1995

INOUE, H.; YAMADA, S. Failure mode and effects analysis in pharmaceutical research. International Journal of Quality and Service Sciences. Tsukuba (Japan), v. 2, n. 3, p. 369-382, 2010.

JOHNSON, K.G.; KHAN, M.K. A study into the use of the process failure mode and effects analysis (*PFMEA*) in the automotive industry in the UK. Journal of Materials Processing Technology, v.139 iss.1 p.348 -356, 2003

KUMAR, E.V.; CHATURVEDI, S.K. Prioritization of maintenance tasks on industrial equipment for reliability: A fuzzy approach. International Journal of Quality & Reliability Management. Kharagpur (India), v. 28, n. 1, p. 109-126, 2011.

LEAL, F.; PINHO, A.F.; ALMEIDA, D.A. Análise de falhas através da aplicação do FMEA e da teoria Grey; Revista Gestão Ambiental; v. 02, n. 01: p. 78-88, 2006. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/131/128>. Acesso em 05/09/2015

MARDEGAN, R.; MARTINS, V.; OLIVEIRA, J.F.G. Estudo da integração entre sistemas Scada, MES e ERP em empresas de manufatura discreta que utilizam processos de usinagem. ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Ouro Preto (MG), out. /2003. Disponível em: www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003_TR0101_1570.pdf. Acesso em: 07/09/2015

MARSHALL, I.J.; ROCHA, A.V.; MOTA, E.B.; QUINTELLA, O.M. Gestão da Qualidade e Processos, 1ªed, Editora FGV, Rio de Janeiro, 2012

MICHAELIS. Dicionário. Disponível em: <<http://www.uol.com.br/michaelis/>>, 2000.

MIGUEL, P.A.C.; LEAL, A. F.; SILVA, I. B. Um estudo de caso sobre a implementação da ISO TS16949 e seus resultados. GEPROS – Gestão de Produção, Operações e Sistemas. Ano 3, n. 3, 2008

MIGUEL, P.A.C. Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações, 2ªed, Editora Elsevier, Rio de Janeiro, 2012

MORESI, E.A.D. Delineando o valor do sistema de informação de uma organização. Revista Ciência da Informação, v. 29, n. 1, 2000

MUSSI, C.C.; BALLONI, A.J.; FARACO, R.A.; CORDIOLI, L.A.; PEREIRA, C.; DUTRA, A. Avaliação de Sistemas de Informação em Hospitais do Estado de Santa Catarina – Brasil: Uma abordagem sociotécnica. Perspectivas em Gestão & Conhecimento, João Pessoa, v. 4, n. 1, p. 179-203, jan. /jun. 2014.

O'BRIEN, J. Sistemas de Informação e as decisões gerenciais na era da Internet. 2ª edição, São Paulo, Editora Saraiva. 2004.

OOKALKAR, A. D.; JOSHI, A. G.; OOKALKAR, D. S. Quality Improvement in hemodialysis process using FMEA. International Journal of Quality & Reliability Management. Nagpur (India), v. 26, n. 8, p. 817-830, 2009.

PALADY, P. FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos. 5ª edição. São Paulo, IMAM. 1997.

PENN, M.; RAVIV, T. Optimizing the Quality Control Station Configuration. Wiley Periodicals, Inc. Naval Research Logistics, v.54, iss.3, p.301–314, 2007

QUEIROZ, J.P.; OLIVEIRA, B. Características do Sistema de Informações de Marketing (SIM) e sua contribuição para a competitividade de uma empresa varejista de moda. Revista Eletrônica de Sistemas de Informação, v. 11, n. 1, jan./jun. 2012,

ROOS, C.; DIESEL, L.; MORAES, J. A. R.; ROSA, L. C. Ferramenta FMEA: uma abordagem voltada para a melhoria da qualidade nos serviços de transporte.; XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Foz do Iguaçu (Brasil), 2007.

SAKURADA, E.Y. As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Arvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos. Florianópolis: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Mecânica)

SANKAR, N. R.; PRABHU, B. S. Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis. International Journal of Quality & Reliability Management. Chennai (India), v. 18, n. 3, p. 324-335, 2001.

SANTOS, A. B.; Modelo de referência para estruturar o programa de qualidade seis sigma: proposta e avaliação. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2006. (Tese, Doutorado em Engenharia de Produção)

SHETWAN, A.G.; VITANOV, I.; TJAHJONO, B. Allocation of Quality Control Stations in Multistage Manufacturing Systems; Computers & Industrial Engineering, v.60, Iss.4, p.473-484; Maio 2011

SOUZA, C.A. Sistemas Integrados de gestão empresarial: Estudos de casos de implementação de Sistemas ERP, São Paulo, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade – Universidade de São Paulo, 2000 (Dissertação, Mestrado em Administração)

SOUZA, R.V.B. Aplicação do método FMEA para priorização de ações de melhoria em fluxos de processos. São Carlos: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Área de Concentração em Processos e Gestão de Operações - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2012. (Dissertação, Mestrado em Engenharia de Produção)

SNOOKE, N.; PRICE, C. Automated *FMEA* based diagnostic symptom generation; Advanced Engineering Informatics, Vol. 26(4), pp.870-888; Out. 2012

STAMATIS, D.H. Failure Mode and Effect Analysis: From Theory to Execution. Milwaukee, American Society for Quality, Quality Press. 2003.

YI, B.; D'SOUZA, W.; PRADO, K. Determination of Risk-Based Target Margins: A Failure Mode and Effect Analysis (*FMEA*) Proof of Principle; International Journal Of Radiation Oncology Biology Physics, Vol. 90 Suppl 1, pp.S747-S747, Set. 2014

ZHANG, B.; HUANG, W.; LI, J.; ZHAO, C.; FAN, S.; WU, J.; LIU, C. Principles, developments and applications of computer vision for external quality inspection of fruits and vegetables: A review; Food Research International, v.62, p.326-343, 2014