

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA  
TESE DEFENDIDA POR LAÉRCIO  
...NIKITITZ... E APROVADA  
PELA COMISSÃO JULGADORA EM 27/07/2011

  
.....  
ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Laércio Nikititz

**Melhoria do Processo de Montagem de Motores  
Diesel Através de um Sistema Automático para  
Controle e Rastreabilidade de Falhas**

Campinas, 2011

Laércio Nikititz

**Melhoria do Processo de Montagem de Motores Diesel Através de um Sistema Automático  
para Controle e Rastreabilidade de Falhas**

Dissertação de mestrado profissional  
apresentada à comissão de Pós Graduação  
da Faculdade de Engenharia Mecânica,  
como requisito para a obtenção do título de  
Mestre em Engenharia Automobilística.

Área de Concentração: Manufatura

Orientador: Prof. Dr. Iris Bento da Silva

Campinas

2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

N584m Nikititz, Laércio  
Melhoria do processo de montagem de motores diesel através de um sistema automático para controle e rastreabilidade de falhas / Laércio Nikititz. --Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Iris Bento da Silva.  
Dissertação de Mestrado (Profissional) -  
Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Motor diesel. 2. Contribuição de melhoria. 3. Rastreabilidade. 4. Metodos de linha de montagem. 5. Sistemas de controle. I. Silva, Iris Bento da. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: Improving the assembly process of diesel engines through of automatic system for failure control and traceability

Palavras-chave em Inglês: Diesel engine, Improvement fees, Traceability, Methods of assembly line, Control Systems

Área de concentração: Manufatura

Titulação: Mestre em Engenharia Automobilística

Banca examinadora: Antonio Batocchio, Gilmar Ferreira Batalha

Data da defesa: 27/07/2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Mecânica

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONAL

**Melhoria do Processo de Montagem de Motores  
Diesel Através de um Sistema Automático para  
Controle e Rastreabilidade de Falhas**

Autor: Laércio Nikititz

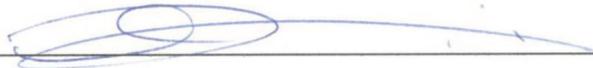
Orientador: Prof. Dr. Iris Bento da Silva

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



Prof. Dr. Iris Bento da Silva, Presidente

UNICAMP



Prof. Dr. Antonio Batocchio

UNICAMP



Prof. Dr. Gilmar Ferreira Batalha

EPUSP

Campinas, 27 de julho de 2011.

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho,

À Sibeles Roesler Nikititz, minha esposa, pela tolerância nos longos dias de ausência em que fiquei dedicado às análises, às leituras e ou na frente do computador. Agradeço aos meus filhos pequenos, Samuel e Larissa que sempre me receberam com alegria mesmo nos momentos mais difíceis. Agradeço também a todos aqueles que torceram pelo meu fracasso, pois todo o desafio que enfrentei acabou por me tornar mais forte.

E aos meus pais, que sempre me apoiaram e me incentivaram a não desistir qualquer que fosse a barreira a transpor.

## **Agradecimentos**

Aos meus pais pelo incentivo em todos os momentos da minha vida.

Em especial à minha amada esposa e dois filhos que estiveram sempre presentes para superar este enorme desafio, mesmo quando distante. E à minha coragem, de encarar um curso desta magnitude, trabalhando o dia inteiro e com crianças tão pequenas precisando de minha atenção.

Ao meu orientador, Dr. Iris Bento da Silva, que além de organizado e participativo, me encaminhou para as melhores alternativas no desenvolvimento deste trabalho.

À secretária da FEM (Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp) Sra. Vera Pontes pelas várias vezes em que imprimiu meus manuscritos para entregar ao meu orientador e várias vezes que se dedicou a me ajudar em questões burocráticas isentando-me de viagens adicionais do Rio Grande do Sul para São Paulo.

Em avançado ao meu professor de manufatura enxuta e sistemas de manufatura Dr. Antonio Batocchio pelas dicas preciosas a respeito do tema e dos rumos deste trabalho.

Em especial a minha professora Inês Joeques, com a sua ajuda para elaborar toda a semente da qual nasceu o verdadeiro trabalho.

Aos professores e colegas de curso que agregaram lições de conhecimentos e reforçaram os ensinamentos de camaradagem, união e respeito.

Aos colegas de departamento da MWM International Motores em especial ao Leandro Luis Brys ao qual serei eternamente grato, pois sem a ajuda não poderia concluir este trabalho junto com minhas atividades na empresa.

Ao grupo de colegas, que para mim foram uma segunda família, universitária, formada ao longo de inúmeras viagens.

E a todos os colegas que ajudaram de forma direta ou indireta na conclusão deste trabalho.

Para ser realizada, esta dissertação contou com a ajuda especial de um conjunto seleto de pessoas, de diferentes setores dentro da MWM International Motores , às quais eu não poderia deixar de mencionar e que ao longo desta jornada foram fundamentais para o desenvolvimento e aprimoramento do trabalho, às quais presto minha homenagem.

TI (Tecnologia da Informação): Gaspar Scholl do Amaral e Guilherme Cestari da Costa;

Gerência de Manufatura: Elmar A. Malavolta

Supervisão Engenharia de Processos: Juliano A. Kroth

Manufatura Avançada: Renan Zancanaro;

RH: Aline Cristiane Vieira e Sinara Varich Tessaro;

Qualidade Assegurada: Francioni Pinheiro, Gabriela B. Matos.

Engenharia de Processos: Carlos Antonio Meyer Machado; Cássio Schneider; Daniel de Moraes, Davenilcio Luiz de Souza, Ignacio Gordillo; Leandro Luis Brys, Renato Azambuja e Valmir Silveira.

Produção: Amarante Goulart; Felipe Hilzendeger e Alexandre Bottega.

Operadores e montadores especializados: Alberi de Souza Figueredo; Deivid Paz da Silva; Douglas Luz Costa; Elias Fonseca; Luis Paulo Lopes Ferreira; Marciel D. Rodrigues; Rui A. Capalonga; Thiago Viegas; Vinícius de Matos Guerra e William Luis Rueckert.

Engenharia de Produtos Auais e Garantia: Omar Hildinger, João Mattos e Regis Costa.

“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo  
começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo  
fim.”

(Chico Xavier)

## Resumo

NIKITITZ, Laércio. Melhoria do Processo de Montagem de Motores Diesel Através de um Sistema Automático para Controle e Rastreabilidade de Falhas. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2011. 264p., Dissertação (Mestrado).

O presente trabalho consiste em uma análise do sistema de controle e rastreabilidade de processo usado para o funcionamento da linha de montagem de motores diesel HS (high speed) na fábrica da MWM International Motores na planta de Canoas/Brasil. O objetivo da análise é detectar as oportunidades de melhorias a serem implementadas no processo, através de mudanças nesse sistema, tornando o processo mais confiável em termos de qualidade do produto fabricado. A metodologia usada para desenvolvimento deste trabalho é a de pesquisa-ação, na qual foi selecionada uma linha de montagem como alvo de estudo. O levantamento de dados inclui a descrição do sistema utilizado, o fluxo do processo em estudo, dados de ocorrências de interrupções e desvios de fluxo normal de processo o histórico de implantação do atual sistema, um comparativo entre versões inicial, nova versão e versão futura, um mapeamento do processo conectado ao sistema e coleta e estratificação de dados de entradas e saídas do processo em cada estação de trabalho. É realizado um estudo de modos e efeitos potenciais de falha com uso da ferramenta PFMEA (análise dos modos e efeitos de falha potencial de processo) e uma pesquisa sobre fundamentos de sistemas poka-yoke e TI em linhas de montagem direcionado à indústria automobilística. O resultado é uma lista de melhorias implementadas, melhorias piloto e suas discussões e oportunidades de melhoria futura a fim de reduzir a vulnerabilidade, em termos de qualidade, do processo produtivo de montagem de motores diesel na linha HS e também de rastreabilidade de dados e aproveitamento de relatórios diversos.

Palavras-chaves: Motor diesel, Contribuição de melhoria, Rastreabilidade, Métodos de linha de montagem, Sistemas de controle.

## Abstract

*NIKITITZ, Laércio. Improving the Assembly Process of Diesel engines Through of Automatic System for Failure Control and Traceability. Campinas: Faculty of Mechanical Engineering, State University of Campinas, 2011. 264p., Dissertation (Master of Science).*

*This study aims an analysis of the process control system and traceability for the assembly line of diesel engines HS (high speed) in the MWM plant at Canoas / Brazil. The goal of analysis is to identify opportunities for improvements to be implemented in the process through changes in the system making the assembly process more reliable in terms of quality of manufactured product. The methodology used for this work is the development of an action research, in which were selected an assembly line as the subject of study. The survey includes a description of the system used, the process flow in the study, data instances of interruptions and deviations from the normal flow of the historical process of implementing the current system. An initial comparison between versions, the new version and future version, a process mapping system and connected to the collection and stratification of data inputs and outputs of the process on each workstation. It is a study of modes and the potential effects of failure with use of the tool PFMEA (process failure mode and effects analysis) and a survey concerning the base of error proofing systems and IT on the assembly lines steering to automobile industry. The result is a list of improvements implemented, improved pilot and his discussions and opportunities for improvement in order to reduce vulnerability in terms of quality of the production process diesel engine assembly line in HS and also the traceability of data and utilization data several reports.*

Keywords: Diesel engine, Improvement fees, Traceability, Methods of assembly line, Control Systems.

## Lista de Figuras

Figura 1 - Vista geral de um motor diesel. ....	3
Figura 2 – Modelo Y de CIM. ....	12
Figura 3 - A casa do Sistema Toyota de Produção. Fonte: Liker (2005) .....	20
Figura 4 - Fluxo de produção: funcional x contínuo. ....	29
Figura 5 – Os 5 elementos da produção e os 5W1H. Fonte Shingo,1990 .....	33
Figura 6 – A estrutura de produção. Shingo (1990) .....	34
Figura 7 – Classificação dos Sistemas <i>poka-yoke</i> . ....	42
Figura 8 - Métodos de atuação dos dispositivos <i>poka-yoke</i> .....	44
Figura 9 - Exemplos aplicativos da utilização de dispositivos <i>Poka-yoke</i> (Imam, 1998) .....	45
Figura 10 – Fluxograma do MIAASP adaptado com uso de <i>poka-yoke</i> . ....	50
Figura 11 – Esquema do Gerenciador de Fluxo de Tarefas e integração com <i>poka-yoke</i> .....	54
Figura 12 - Confiabilidade humana: contribuição proporcional das diferentes espécies de erro humano para a falha do sistema.....	58
Figura 13 - A abordagem global do FMEA.....	66
Figura 14 – Quantidade de “TFOs” por mês desde outubro de 2006 até maio de 2010. ....	92
Figura 15 -Tempo paradas de linha em função de queda de conexão do sistema de julho de 2007 até maio de 2010.....	93
Figura 16- gráfico mostrando a razão entre o número de motores produzidos e a quantidade de altera status, por transação, dentro do período acumulado de setembro de 2007 a abril de 2010. ....	107
Figura 17 – Gráfico de distribuição dos motivos de altera status da linha HS. Período de 20 dias em abril de 2010. ....	109
Figura 18 - Gráfico de distribuição dos motivos de altera status da linha HS. Período de 20 dias em abril de 2010. (descontados os casos de alteração por manutenção no robô de inspeção final). ....	110
Figura 19 – Ilustração comparativa das duas versões do Sistema automático antes e depois de janeiro de 2009 .....	113
Figura 20 – exemplo de quantidade de intervenções de altera status realizadas no posto 1 compreendendo as transações acumuladas em “Ficha de Construção <i>OK</i> ”, “Rastreabilidade do bloco <i>OK</i> ” e “HS - Posto 1 <i>OK</i> ” no período de setembro de 2007 a abril de 2010. ....	148
Figura 21- Exemplo de quantidade de intervenção <i>Abort job</i> por posto de trabalho coletada no período de janeiro de 2009 a abril de 2010. ....	153
Figura 22-Quantidade de vezes em que o mês foi eleito por menor quantidade de motores/ <i>Abortjob</i> . Período de janeiro de 2008 a dezembro de 2008.....	157
Figura 23-Quantidade de vezes em que o mês foi eleito por menor quantidade de motores/ <i>Altera status 1º</i> versão sistema automático. Período de janeiro de 2009 a abril de 2010. ....	157
Figura 24- Quantidade de vezes em que o mês foi eleito por menor quantidade de motores/ <i>Altera status 2º</i> versão sistema automático. Período de janeiro de 2009 a abril de 2010. ....	158
Figura 25- Tela de cadastro de motivos de transação de altera status. Colocado em uso em setembro de 2010 na linha de montagem HS. ....	164
Figura 26-Gráfico de motivos para a transação de <i>altera status</i> considerando a opção “outros”. Período analisado de 03/09/2010 a 11/11/2010.....	166

Figura 27 - Gráfico de motivos para a transação de <i>altera status</i> desconsiderando a opção “outros”. Período analisado de 03/09/2010 a 11/11/2010. ....	167
--	-----

## Lista de Tabelas

Tabela 1- Quantidade de motores falhados por motores produzidos em partes por milhão (PPM) – dados obtidos nos registros internos da empresa caso.....	89
Tabela 2-Classe 1 - Lista de funções e requisitos que o sistema automático deve desempenhar.	119
Tabela 3- Classe 2 - Lista de funções e requisitos que o sistema automático deve desempenhar. .....	120
Tabela 4 -Classe 3 - Lista de funções e requisitos que o sistema automático deve desempenhar. .....	121
Tabela 5 - Quantidade de motores/ <i>altera status</i> para cada posto. Período de janeiro de 2008 a abril de 2010 separado por versão do sistema automático. ....	155
Tabela 6 - Quantidade de motores/ <i>abortjob</i> para cada posto. Período de janeiro de 2008 a abril de 2010 separado por versão do sistema automático.....	156

## Lista de Siglas

<i>AIAG</i>	<i>Automotive Industry Action Group</i>
<i>ALTS</i>	<i>Altera Status</i>
<i>APQP</i>	Planejamento Avançado da Qualidade do Produto
<i>CAD</i>	<i>Computer aided design</i>
<i>CAE</i>	<i>Computer aided engineering</i>
<i>CAM</i>	<i>Computer aided manufacturing</i>
<i>CAPP</i>	<i>Computer aided process planning</i>
<i>CAQ</i>	<i>Computer aided quality</i>
<i>CCQ</i>	Círculo de controle da qualidade
<i>CIM</i>	<i>Computer integrated manufacturing</i>
<i>CLP</i>	Controlador Lógico Programado
<i>CNC</i>	Comando Numérico Computadorizado
<i>CQZD</i>	Controle de qualidade zero defeito
<i>CQI</i>	<i>Continuous quality improvement</i>
<i>CSCW</i>	<i>Computer supported cooperative work</i>
<i>DFMEA</i>	<i>Design Failure Modes and Effects Analysis</i>
<i>DMAIC</i>	<i>Define, measure, analyze, improve, control</i>
<i>DRBFM</i>	<i>Design Review Based Failure Modes</i>

<i>DPMI</i>	<i>Direct Part Mark identification</i>
<i>DVO</i>	<i>Direct variable overhead</i>
<i>ERP</i>	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FMECA	Modo de Falha, Efeitos e Análise da Criticidade
FCM	Ficha de Construção do Motor
FPE	Folha de Processo Eletrônica
<i>HACCP</i>	<i>Hazard Analysis Critical Control Point</i>
IHC	Interação humano-computador
<i>IMPV</i>	<i>International Motor Vehicle Program</i>
<i>IP</i>	<i>Internet protocol</i>
IQA	Instituto da Qualidade Automotiva
<i>ISO</i>	<i>International Organization for Standardization</i>
<i>JIT</i>	<i>Just-in-time</i>
LP	Lista de peças
MASP	Método de análise e solução de problemas
MIASP	Método de identificação, análise e solução de problemas
<i>MIT</i>	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
<i>MRP</i>	<i>Material Requirement Planning</i>
<i>MRP II</i>	<i>Manufacturing Resource Planning</i>
<i>OEE</i>	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>

<i>OEM</i>	<i>Original Equipment Manufactured</i>
PCP	Programação e controle da produção
<i>PDCA</i>	<i>Plan, do, check, action</i>
<i>PFMEA</i>	<i>Process Failure Modes and Effects Analysis</i>
PPM	Partes por milhão
PV	Validação de processo
QDP	Desenvolvimento rápido de produtos
QFD	Desdobramento da função qualidade
STP	Sistema Toyota de Produção
TFO	Tratativa de Falhas Operacionais
<i>TQC</i>	<i>Total quality control</i>
<i>VIN</i>	<i>Vehicle identification Number</i>
<i>RPN</i>	<i>Risk Priority Number</i>
<i>SAE</i>	<i>Society of automotive engineers</i>
SIVE	Sistema de inspeção visual eletrônica
<i>SQE</i>	<i>Supplier quality engineer</i>
TI	Tecnologia da Informação
<i>TPM</i>	<i>Total Productive Maintenance</i>
TQM	Gerenciamento da Qualidade Total
<i>TS</i>	<i>Technical Specification</i>

# Sumário

Dedicatória.....	iv
Agradecimentos.....	v
Resumo .....	viii
Abstract .....	ix
Lista de Figuras .....	x
Lista de Tabelas.....	xii
Lista de Siglas .....	xiii
1. Introdução .....	1
1.1.Contextualização .....	1
1.2. Situação do problema e objeto do estudo .....	2
1.3. Justificativa .....	4
1.4. Objetivos .....	5
1.4.1. Objetivo geral.....	5
1.4.2. Objetivos específicos .....	6
1.5. Estrutura do Trabalho .....	6
2. CIM & Lean .....	8
2.1. Manufatura Integrada por Computador (CIM).....	8
2.2. Processo e Produção.....	10
2.3. Modelo Y de CIM.....	11
2.4. TI no Chão-de-Fábrica.....	15
2.5. Manufatura enxuta (Lean manufacturing) .....	17
2.6.Princípios fundamentais da Produção Enxuta .....	18
2.7. Classificação dos desperdícios.....	21
2.7.1. Perda por Superprodução.....	22
2.7.2.Perda por Espera.....	23
2.7.3. Perda por Transporte .....	23
2.7.4.Perda no Próprio Processamento .....	24
2.7.5.Perda por Estoque.....	25
2.7.6.Perda por Movimentação .....	25
2.7.7.Perda por Fabricação de Produtos Defeituosos.....	26
2.7.8.Perda por Subutilização da Criatividade dos Empregados .....	26
2.8.As Ferramentas da Produção Enxuta e JIT .....	27
3.Poka-yoke e FMEA .....	30
3.1. Origem do poka-yoke .....	30
3.2. Zero Defeito e Gestão.....	31
3.3. Jidoka .....	35
3.4. A Separação entre a Máquina e o Homem.....	36
3.5. Poka-yoke .....	37
3.6. Inspeção, erro e defeito.....	38
3.7. Tipos de poka-yoke .....	41
3.8. Escolha e aplicação de método poka-yoke .....	46
3.9. Operações Padronizadas .....	47
3.10. Kaizen e Solução de Problemas .....	49

3.11. TI e poka-yoke.....	53
3.12. Ambiente de manufatura .....	54
3.13. Abordagem de Prevenção de erros pelo uso de dispositivos poka-yoke .....	57
3.14. FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) .....	61
3.15. Histórico de utilização do FMEA .....	62
3.16. Princípios Fundamentais do FMEA .....	63
3.17. Tipos de FMEA .....	64
3.18. Etapas de realização de um FMEA .....	67
3.19. Aplicações e cenário atual no ambiente de manufatura .....	72
4. Parte Experimental .....	74
4.1. Metodologia de pesquisa e de desenvolvimento do trabalho .....	75
4.1.1. Metodologia científica de pesquisa-ação .....	75
4.2. A empresa estudada.....	80
4.3. Foco do estudo: a linha de montagem HS (High Speed) .....	83
4.3.1. Fluxo do processo de montagem da linha HS .....	84
4.3.2. Indicadores produtivos e de qualidade .....	87
4.3.3. Conceito de posto de trabalho ( <i>workstation</i> ) .....	96
4.3.4. Documentos presentes no posto de trabalho .....	97
4.3.5. Funcionamento do sistema satélite Folha de Processo Eletrônica (FPE) .....	97
4.3.6. O que é o Sistema Automático .....	99
4.3.7. Interfaces do Sistema Automático .....	101
4.3.8. Intervenções manuais no Sistema automático .....	105
4.3.9. Histórico do Sistema Automático .....	110
4.3.10. Versões do Sistema Automático .....	112
4.3.11. Entrevista com os operadores .....	115
5. Resultados e suas discussões .....	116
5.1. Análise de vulnerabilidades do sistema no processo .....	118
5.1.1. PFMEA do Sistema no processo de montagem .....	122
5.2. Melhorias realizadas .....	141
5.3. Oportunidades de melhoria .....	143
5.4. Intervenções de processo .....	147
6. Conclusões e recomendação para trabalhos futuros .....	170
6.1. Conclusão .....	170
6.2. Sugestão de Trabalhos Futuros .....	171
Referências .....	173
APÊNDICE A - PFMEA do Sistema automático .....	181
APÊNDICE B - Fluxograma de Criação de uma Folha de Processo Eletrônica. ....	201
APÊNDICE C - Fluxograma de Edição de uma Folha de Processo Eletrônica. ....	208
APÊNDICE D – Análise de Melhorias para o Sistema de Folha de Processo Eletrônica .....	212
APÊNDICE E – <i>Layout</i> e fluxograma da linha de montagem HS .....	215
APÊNDICE F – FCM e Diagnóstico do Sistema automático .....	222
APÊNDICE G – Transações, Postos e Operações .....	223
APÊNDICE H – Intervenções de <i>Alterar Status</i> .....	225
APÊNDICE I – Entrevista com Operadores .....	227
APÊNDICE J – Melhoria de <i>on the job</i> piloto .....	236
APÊNDICE K – Comparativo de versões do sistema automático .....	237

APÊNDICE L – Gráficos de amostras de intervenções por *altera status ou abortjob*.....240

# 1. Introdução

## 1.1.Contextualização

Nos tempos modernos as companhias têm investido altas somas em qualidade e confiabilidade de sistemas produtivos. Técnicas e filosofias de origem oriental como o *kaizen* e o Lean Manufacturing baseados no Sistema Toyota de Produção, aliadas a estratégias e metodologias ocidentais como o seis sigma e teoria das restrições tem sido intensamente empregadas nessas companhias, sobretudo dentro da manufatura. Para que todo este conhecimento se tornasse aplicável o investimento teve que ser ainda maior, ultrapassando o nível de treinamento e capacitação de funcionários e gestores e alcançando um nível de emprego de tecnologia de ponta, modelagem matemática e desenvolvimento de *softwares* onde o setor de TI – Tecnologia da Informação – tornou-se a principal peça do jogo.

Estas técnicas, metodologias e filosofias sofrem no entanto de uma miscelânea de interrelações que muitas vezes colidem trazendo resultados aquém do esperado em termos de funcionabilidade e de rejeições em cliente. Além disso a forma de implementação e de condução na instalação de um sistema de gerenciamento da produção, eletronicamente controlado, terá diferentes níveis de confiabilidade e flexibilidade no momento da sua operação, alcançando ou não os objetivos cada vez mais desafiadores que os clientes e a concorrência impõe.

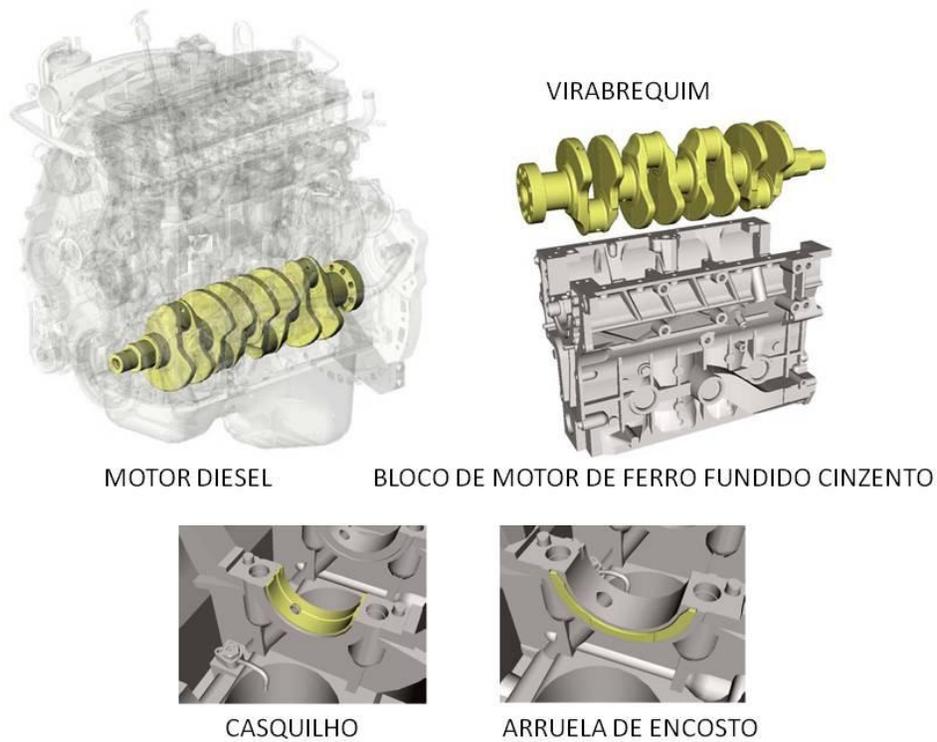
Essa tecnologia, que encanta os olhos de quem vê, e que tem a responsabilidade de baixar os níveis de rejeições na planta do cliente, tem, nos bastidores, uma complexa rede de dados, que tipicamente nasce de um programa-mãe, integrador de sub-programas e que é construído e incrementado ao longo dos anos, obedecendo conceitos e regras geralmente pré-fixadas e pouco flexíveis. Em adição ao emprego tecnológico, o perfil da equipe operacional e do corpo de engenheiros destinado a ela, não só técnico como cultural tem se tornado cada vez mais amplo, flexível e agregador de valor.

É nesse cenário que se encontra atualmente a linha de montagem de motores HS (*High Speed*) da empresa caso.

## **1.2. Situação do problema e objeto do estudo**

Tendo como laboratório uma linha de montagem de motores diesel que utiliza em seu processo um vasto emprego tecnológico e está atrelada ao uso de um sistema de inter-travamento eletrônico entre operações, não se deve esperar falhas de processo, mas se estas ocorrerem deve-se esperar total acuracidade no rastreamento de dados para sua investigação. Então, como se explica que falhas de processo continuem ocorrendo? O sistema não poderia ser mais versátil para customizar de modo mais prático e rápido ações para processo a prova de erro? Os dados que o sistema gera hoje não poderiam ser mais bem explorados para uso de indicadores que conduzam a ações efetivas de robustecimento do próprio processo? Este sistema não poderia ter uma relação mais amigável com os documentos de processo facilitando seu gerenciamento diante das exigências cada vez maiores das normas automotivas? Quais são as atividades do engenheiro de processo no dia-a-dia que o sistema poderia agilizar? Quais são os relatórios que o sistema fornece hoje? Destes quais são os mais utilizados? Que tipo de relatório estaria faltando? Que outras coisas novas o sistema poderia trazer? Quais vantagens teria?

Como objeto de estudo tem-se o motor diesel, que é o produto fabricado. A figura 1 mostra um exemplo de motor diesel enfatizando um de seus componentes vitais que é o maior eixo do motor: o virabrequim e junto deste o componente chamado de casquilho ou bronzina, responsável por reduzir o atrito do virabrequim contra os mancais do bloco e também a arruela de encosto responsável por eliminar problemas de folga axial. Estes componentes, em particular, concentram uma série de situações de exigência de controle durante a montagem as quais são objetos de melhoria deste trabalho e que servem como piloto para diversas outras operações desta linha controladas pelo mesmo sistema automático.



**Figura 1 - Vista geral de um motor diesel.**

Fonte: manual de serviço da empresa caso.

Questionando-se de uma forma indutiva e promovendo reflexão sobre o estudo deste sistema surgem a necessidade de estudar a fundo o sistema, saber quais foram os personagens que o construíram, por que o criaram e quais são as bases tecnológicas em que ele funciona e realmente que funções deve desempenhar. Estes e outros questionamentos surgem quando se avalia a robustez de um processo do ponto de vista do sistema de controle que o mesmo possui. O problema a ser resolvido é encontrar um meio de analisar e de diminuir a vulnerabilidade que o sistema impõe ao processo de montagem que controla e detectar aspectos de potencial não aproveitado (oportunidades de melhoria).

### ***1.3. Justificativa***

O presente trabalho justifica-se pela crescente necessidade das empresas do ramo automotivo de competir e lucrar. Ter um diferencial em termos de controle e rastreabilidade do produto dentro de um processo produtivo de forma eletrônica, confiável e ao mesmo tempo, flexível no seu uso diário é mais do que ter a garantia de cumprimento de um processo padrão e de atender as mais rígidas normas que o mercado impõe (HAYES et al, 2008).

Ter qualidade não é mais um diferencial, portanto, para as empresas poderem direcionar seus esforços nos assuntos que geram diferenciais, elas precisam dedicar cada vez menos tempo a tarefas rotineiras, repetitivas e que possam ser automatizadas com total confiabilidade, para dedicar mais tempo as efetivas análises das causas das ocorrências, e usar sua criatividade e conhecimento para resolvê-las. Fazer uso de um diferencial como este na filosofia de melhoria contínua é manter-se na linha competitiva e superar as expectativas dos clientes.

Ser detentor de um processo que usa um sistema eletrônico para gerenciá-lo, flexível para incorporar novos *poka-yokes*, com *setups* automáticos, não permitindo que uma falha, quando gerada não se propague além de sua origem sendo absorvida pelos filtros do próprio processo e tratada de acordo com a política e as práticas de qualidade adquiridas pela empresa ao longo de sua trajetória é sim ter um diferencial competitivo. A própria política da Qualidade da empresa estudada refere-se a prática da Qualidade como dever e agilidade como postura.

Buscar dados que sustentem discussões junto ao pessoal de chão-de-fábrica tanto quanto ao pessoal de Tecnologia da Informação e de Manufatura Avançada, a fim de se chegar a conclusões viáveis de oportunidades de melhorias que busquem reduzir estas vulnerabilidades e melhorar o serviço prestado ao processo produtivo (fluxo material e de informação incluindo documentações de processo e auxílio em tratativas de rotina típicas) por este sistema.

Em adição a isto é conveniente estudar qual aproveitamento melhor pode ser feito no aspecto de relatórios, documentos de processo, diagnósticos e interfaces com o usuário baseado no que o sistema já disponibiliza na atualidade e pensar no que este sistema poderia ter, mediante um trabalho de renovação ou adequação ao uso pelo pessoal de Tecnologia da Informação e

também facilitar e promover implementações novos de *poka-yokes* na linha de forma mais direta e eficiente bem como auxiliar em suas validações de rotina.

Essa busca de melhora através da automação de processos burocráticos e administrativos vem ao encontro de aumentar o rendimento e a agilidade dos engenheiros de processo durante investigações de falhas e atuação em soluções para as causas e nos trabalhos administrativos o que dispensa o excesso de energia gasta em atividades não agregadoras de valor, trazendo inúmeras vantagens para a companhia.

Cabe também fazer um comparativo das versões do Sistema automático incluindo a versão futura e que ainda não foi instalada na linha de montagem HS. Levantar as oportunidades de melhoria que o Sistema automático futuro (sistema corporativo em desenvolvimento e implementação) e verificar o quanto este mostra-se alinhado às propostas desta dissertação.

O trabalho se justifica por trazer para dentro da empresa estudada uma contribuição com relação ao uso do sistema de controle e rastreabilidade do processo objetivando um robustecimento deste processo, fato do qual não há registro anterior, e se justifica para a Ciência por fazer uma aproximação de conhecimentos tratados mundialmente pela indústria automobilística como a prática do *leanmanufacturing*, o uso extensivo do FMEA, o conceito de *pura yoke*, as bases do CIM, o emprego da automação, a autonomia dos operadores com o uso da tecnologia em linhas de montagem e o quanto tudo isso é uma tendência do mundo moderno.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo geral**

O objetivo deste trabalho busca oportunidades e implementação de melhorias no processo de montagem de motores diesel através do estudo do sistema de controle e rastreabilidade que o gerencia.

### 1.4.2. Objetivos específicos

Segue uma lista dos objetivos a serem cumpridos durante a execução deste trabalho:

- Realizar um FMEA do processo do sistema atuando em nível de chão-de-fábrica;
- Promover um *brainstorming* com operadores e profissionais de TI para buscar oportunidades de melhoria;
- Realizar e listar as alterações no sistema e o impacto em melhorias no processo e as vantagens obtidas;
- Discutir a otimização de processos administrativos pelo uso do sistema;
- Comparativo das versões passada, atual e futura;
- Buscar dados já fornecidos pelo sistema e fazer um ensaio para descobrir a capacidade de utilização em prevenção e investigação de falhas.

A intenção maior de se alcançar estes objetivos, ou, a consequência esperada a longo prazo é promover um circunstancial global em que de forma sistêmica e sustentável acabe-se por reduzir ocorrências de falhas de processo principalmente em cliente mas também na própria planta, aumentar a detecção de falhas na sua origem e aumentar o conhecimento de todos sobre o próprio processo sistema-produção a fim de aprimorá-lo.

### 1.5. Estrutura do Trabalho

No capítulo 1 é apresentada uma introdução compreendendo o contexto da indústria automotiva, sobretudo das linhas de montagem de motores diesel e da situação-problema no emprego da automação e dos sistemas eletrônicos de gerenciamento de processos de montagem. Acompanha também todo o leque de justificativas e os objetivos gerais e específicos do presente trabalho

Já no capítulo 2 e 3 tem-se a revisão da literatura tendo como ênfase o aspecto dos sistemas de controle aplicados às linhas de montagem, o aspecto da rastreabilidade de componentes e de

operações, a questão de vantagem competitiva pelo emprego do CIM, dos desenvolvimentos de TI para chão-de-fábrica, além de ferramentas poderosas e amplamente difundidas neste meio manufatureiro que são o FMEA e o uso de poka-yokes além de uma abordagem sobre desperdícios alertados extensamente pelas filosofias lean manufacturing e lean thinking.

No capítulo 4 é feito uma busca por dados provenientes do sistema e dos relatórios de processo como também de indicadores produtivos e de qualidade, além de dados de entrevistas e de fluxogramas de montagem a fim de compor embasamento suficiente para o capítulo de discussão.

Para o capítulo 5, que é o capítulo de discussão e de resultados alcançados, foi reservada toda uma abordagem analítica do processo de montagem dominado pelo sistema, cruzamento de dados, explicações e argumentos na tentativa de atender aos objetivos propostos no capítulo 1.

Por fim, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões finais as recomendações para trabalhos futuros seguido das referências bibliográficas e do apêndice contendo uma série de figuras, tabelas e fluxogramas importantes ao entendimento geral.

## 2. CIM & Lean

### 2.1. Manufatura Integrada por Computador (CIM)

Desde a década de 90 até a primeira década de 2000 a manufatura ganhou destaque a partir de seus questionamentos em relação aos princípios fundamentais de fabricação desde os métodos tradicionais eternizados pelo filme “tempos Modernos” de Charles Chaplin no qual satirizava a produção em larga escala defendida por Henry Ford tanto quanto pelo sucesso de tiragem do livro “A máquina que mudou o mundo” de Womack & Jones o qual abria os olhos ao mundo a extraordinária forma de enxergar o sistema produtivo pela Toyota.

Com o aumento da demanda pelo binômio flexibilidade *versus* escala as atitudes e decisões empresariais sofreram uma transformação, na qual ao mesmo tempo em que se agarravam aos princípios em jogo inclinavam-se ao potencial oferecido pela fábrica digitalizada. O *software* se tornou mais importante do que o hardware e mais importante do que as máquinas-ferramentas bem como equipamentos sofisticados foram tomando menor grau de importância do que sistemas integrados. Esse novo ambiente começou a exigir um novo tipo de profissional e afetou diretamente a relação do homem com a tecnologia dentro das corporações.

Conceitualmente, segundo Caulliraux, et al (1995), a integração de sistemas de produção pode se dar de três formas: organizacional, informática ou uma combinação de ambas. A integração organizacional se caracteriza pela reunião de uma ou mais atividades antes separadas, como, por exemplo, na engenharia simultânea. A integração informática pode ser caracterizada pela troca de informações via computador entre atividades antes isoladas. Por fim, a integração organizacional e informática acontecem quando atividades isoladas são reunidas e suportadas por meios informáticos. A manufatura integrada por computador (CIM – *Computer Integrated Manufacturing*) deve ser entendida enquanto uma integração organizacional suportada e alavancada pela informática, esta é a tendência que um sistema de produção obedece no mundo moderno e é por meio desta evolução que cada vez mais os sistemas modernos são questionados quanto à sua confiabilidade e a sua utilidade.

Se introduzirmos o conceito de estratégia competitiva e desdobrarmos nas demandas e parâmetros de desempenho que o sistema produtivo deve perseguir irá chegar facilmente à conclusão de que uma estratégia nada mais é do que um conjunto de políticas combinando dimensões de custo, qualidade, flexibilidade, velocidade, confiabilidade, diferenciação, margem e volume de produção. O cuidado que se deve ter é com a escolha certa das tecnologias, pois se deve ter conhecimento de seu funcionamento e de suas limitações antes de combinar diversos “recursos de última geração”, mesmo porque quem irá tornar vivo o processo é o homem e quem sofrerá o maior impacto é o próprio sistema produtivo. Portanto pode-se afirmar que o sistema produtivo adotado sustenta e mantém a estratégia de produção que é o conjunto integrado de políticas nas diversas áreas de decisão organizacional e a estratégia competitiva é nada mais do que a posição competitiva da empresa no seu ambiente concorrencial.

Decisões empresariais são tomadas de modo que uma afeta o sistema produtivo e esse impacto remete a nova decisão em um ciclo que muda a estratégia competitiva. No entanto, buscar vantagem competitiva é buscar o aumento contínuo e dinâmico da eficiência do sistema produtivo e isso significa desdobrar vantagens ao longo da cadeia de valor no sentido de adotar tecnologias mais sofisticadas e empregar níveis mais elevados de habilidades articulando ações dentro de um ambiente também em constante mudança e evolução. A estratégia de produção deve sustentar a posição competitiva atual e ampliar a flexibilidade estratégica da empresa. Pensar estrategicamente a produção é buscar conciliar eficiência e flexibilidade estratégica. As propostas no âmbito CIM recaem em focar no melhor uso possível para tecnologia da informação (TI) dentro dos sistemas produtivos para ganhar em eficiência estratégica e no seu processo de implantação e atualização promovendo a consolidação também dos aprendizados o que irá potencializar o desenvolvimento de competências para trabalhar a favor da flexibilidade estratégica.

## 2.2. Processo e Produção

De acordo com Costa e Caulliraux (1995) o processo é a seqüência de atividades repetitivas, caracterizadas por terem insumos mensuráveis, atividades que agregam valor e saídas mensuráveis.

Segundo Falconi Campos (1989), processo é um conjunto de causas, e uma empresa é um processo que pode ser subdividido em vários sub-processos: não só processos de manufatura como também processos de serviços. Segundo ele, vários autores enfatizam na Gestão da Qualidade Total a importância do controle dos processos para se alcançar melhoria da qualidade dos produtos, e é unânime que esta abordagem de administração deve focar o atendimento aos requisitos de satisfação dos clientes e para tal o processo de negócio deve preconizar atividades que agreguem valor para esses clientes. Outra ênfase é quanto aos aspectos de liderança gerencial, qualidade dos processos, educação, treinamento e comunicação, *empowerment*, trabalho em equipe e melhoria contínua da qualidade.

Segundo Hayes, R. H. e Wheelwright, S. C. (1988) as empresas acabaram ficando setorizadas, divididas por áreas de especialização funcional como vendas e marketing, recursos humanos, industrial, produção e controladoria (financeiro) o que departamentaliza as funções, tendo o benefício de concentrar em áreas específicas profissionais especializados mas desfavorece a questão da integração de todos em torno de um objetivo comum: trazer vantagem competitiva e resultado para esta companhia.

Tomando o foco na área de industrial, tem-se as atividades-chave:

1. Ligadas aos produtos: compreendendo o projeto protótipo, projeto detalhado definitivo, desenhos de peças e instruções e especificações técnicas para uso na produção;
2. Ligadas aos processos de produção: compreendendo o planejamento dos processos de fabricação e montagem especificando operações, seqüências, ferramentas, dispositivos e gabaritos além das estimativas de tempos e métodos;

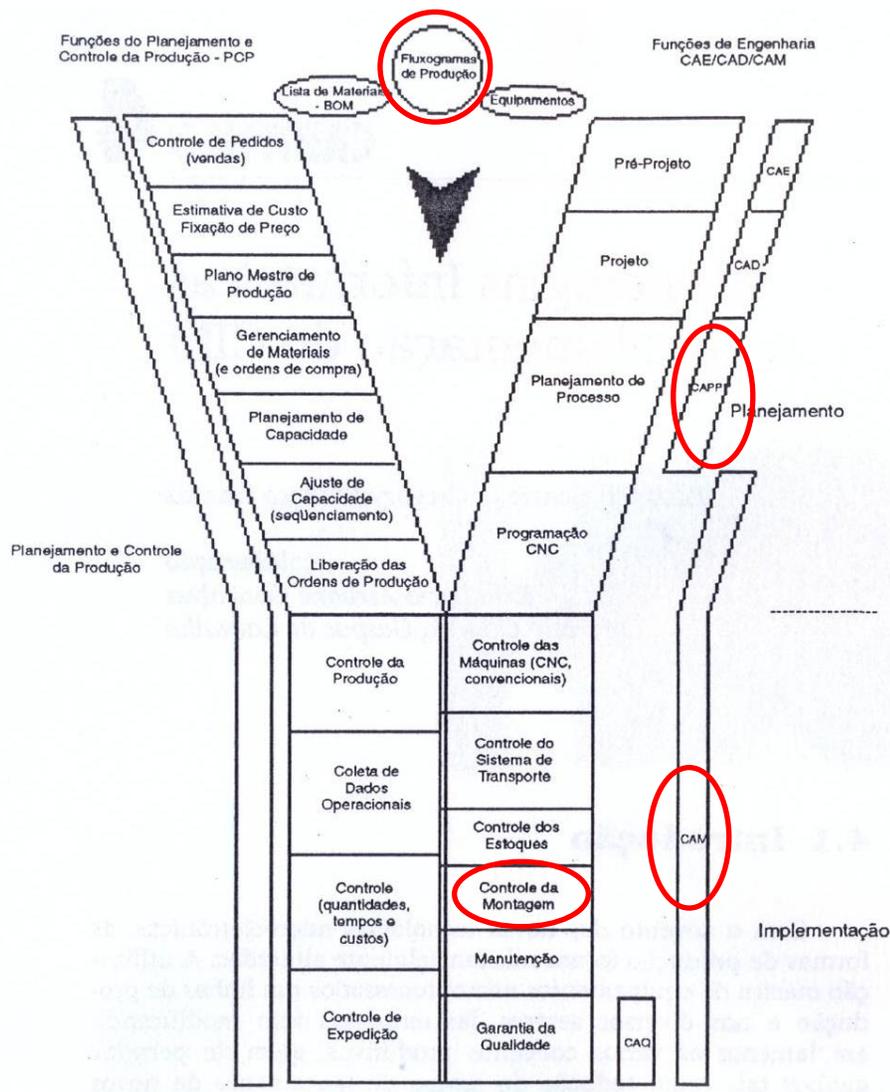
3. Ligadas ao planejamento e controle da produção: compreendendo a definição dos lotes de produção, seqüenciamento de produtos, mix de produção, controle de estoque de materiais.

Baseado na especialização funcional tem-se três grandes propostas de organização:

- Organização por projetos: aloca recurso humano por tempo integral durante período específico;
- Organização matricial; o profissional é alocado em sua área administrando a demanda dos projetos;
- Organização por sistemas integrados de produção: opera por meios telemáticos, que são aqueles que tratam da manipulação e uso da informação através da combinação do computador com os meios de telecomunicação disponíveis.

### **2.3. Modelo Y de CIM**

A seguir pode-se trazer um breve histórico de modelos CIM e apresentar o modelo mais voltado para áreas tecnológicas da empresa, que é o modelo Y, idealizado pelo Dr. August-Wilhelm Scheer do *Institut für Wirtschaftsinformatik (IWi)* da Alemanha. A figura 2 traz o modelo Y.



**Figura 2 – Modelo Y de CIM.**

Fonte : Scheer (1993)

Os componentes de um sistema CIM são o Planejamento e Controle da Produção (PCP), o *Computer Aided Engineering* ou Engenharia Auxiliada por Computador (CAE), o *Computer Aided Design* ou Projeto Auxiliado por Computador (CAD), o *Computer Aided Process Planning* ou Planejamento do Processo Auxiliado por Computador (CAPP), o *Computer Aided Manufacturing* ou Produção Auxiliada por Computador (CAM), o *Computer Aided Quality* ou Garantia da Qualidade e o Sistema de Apoio à Manutenção. A ênfase neste trabalho são para os elementos circulos em vermelho.

Em termos cronológicos, esses modelos ganharam notoriedade no final da década de 70, início de 80, perdendo força durante a década de 80 e só retomando após o início da década de 90, principalmente em função do discurso globalizante do sistema japonês associado ao sucesso mercadológico das empresas japonesas, isso fez com que os modelos CIM ficassem relegados a segundo plano.

De acordo com Scheer (1993), criador e idealizador do modelo Y para CIM, já não se discute mais se a informática é ou não uma ferramenta para impulsionar as organizações na direção dos ganhos de produtividade, pois isso é reconhecido pelo meio industrial, assim como não se discute mais sobre Reengenharia. Os princípios da mentalidade enxuta, porém, mesmo bastante disseminados também dependem da informática para serem praticados nos moldes das empresas modernas e também para retenção do *lessons learned* (lições aprendidas) que pode ser interpretado como o conhecimento gerado e as lições aprendidas com as falhas vivenciadas, analisadas e bloqueadas. Assim como a década de 90 ficou conhecida pelo fenômeno da globalização, a primeira década do século XX ficou conhecida pela evolução da informática sobressaindo-se a questão das facilidades quanto à interface com o usuário, sendo que este precisa conhecer cada vez menos dos fundamentos da tecnologia da qual utiliza no seu dia-a-dia e isso é visto como vantagem competitiva. Há um grande risco nisso tudo que é o de que o usuário perca a capacidade de julgar e criticar o que está usando e isso pode torná-lo escravo dos sistemas sendo que sem os mesmos em operação não consiga desempenhar suas operações com o mesmo nível de eficiência além de impedir que a tecnologia embarcada nestes sistemas sejam melhoradas e melhor aproveitada.

Para Eduardo Dantas, apud Costa (1995), as tecnologias informáticas na implementação do CIM perfazem as etapas desde o projeto do produto em sua fase protótipo até entrega de produto acabado ao cliente final, portanto, essa filosofia alemã nada mais significa do que a integração da produção aplicada aos sistemas de monitoração e controle. A parte básica de gerenciamento subdivide-se em três fases: *scheduling*, *release* e *feedback*, que nada mais são do que a geração do pedido, a liberação para as sub-etapas das rotinas produtivas e o retorno do *status*.

Reinaldo Sima, apud Costa (1995) defende que técnicas como *poka-yoke*, métodos estatísticos e ferramentas analíticas da qualidade assim como técnicas *Kaizen* podem e devem estar atreladas via computador dentro do chão-de-fábrica, facilitando o registro das ações diárias

e podendo concentrar tudo em um banco de dados integrado o que promove uma nova visão para o gerenciamento da produção e do processo.

Já Eduardo Deschamps, apud Costa (1995) indica que a tendência é explorar o uso de bancos de dados distribuídos e relacionais (orientado a objetos). O fato de ser distribuído tem a vantagem de que caso haja necessidade de se fazer qualquer modificação nas aplicações dos dados, estes são independentes e não é necessário modificar a estrutura dos dados facilitando ao profissional de TI criar estruturas para consultas. O fato de ser relacional significa que os dados são percebidos pelo usuário como tabelas, puramente, e as operações de alteração, inserção, recuperação, geram novas tabelas, por composição, facilitando em muito a criação de relatórios e controles. O paradigma da orientação a objetos tem como conceito o fato de as soluções dos problemas serem implementadas através do envio de mensagens a objetos e trabalhando com o conceito de abstração, o que é fundamental para flexibilizar ambientes complexos, pois “tira da mão” do usuário a necessidade de conhecer detalhes mais técnicos sobre programação e linguagens computacionais.

Segundo Askin (1993), os sistemas de manufatura obedecem leis e princípios. Os sistemas são desenhados, mas os humanos interpretam o processo e interagem com o mesmo modificando-o. Para tanto define leis para o funcionamento da produção , muitas delas relacionadas com a física mecânica e outras com o comportamento aleatório demonstrado pelos sistemas (lei 7ª) e limites para a racionalidade humana (lei 8ª) além de trazer a tona princípios enxutas de guerra ao desperdício, como fala a lei 9ª . O autor também comenta sobre modelos de manufatura e a diferença entre a eficiência (fazer certo num tempo determinado) e eficácia (fazer certo), enfatizando a primazia da priemira pela segunda numa ação de agregar valor ao produto.

Já Groover (2001) trata das estratégias de automação para os sistemas de produção de linhas de montagem, entre elas a simultaneidade de operações, a integração de operações e o incremento de flexibilidade além de inspeções automáticas e otimização dos controles de processo por meio de esquemas de redução de tempo de operação e equipamentos mais eficientes.

## 2.4. TI no Chão-de-Fábrica

A informação é o recurso estratégico e essencial para a tomada de decisão, que fornece subsídios para a integração dos diversos subsistemas ou áreas da organização. Segundo MCGEE e PRUSAK (1994) a informação é o resultado de dados coletados e organizados, dotados de significado e inseridos em um contexto.

Num ambiente produtivo, a falta de informações confiáveis do chão-de-fábrica compromete o desempenho e diminui a velocidade. Assim, um monitoramento que forneça informações de forma rápida e confiável, pode ser um grande diferencial para manter a competitividade das empresas de manufatura. O desenvolvimento dessa solução de monitoramento depende sobremaneira da definição de quais informações são relevantes. (MEIRELES et al 2011).

Segundo Hayes (2008) tratando-se da dimensão da competitividade, no final do século XX, muitas empresas reduziram a diferença de qualidade, flexibilidade e velocidade entre elas mesmas e suas concorrentes e assim, em um mundo onde China, Índia, Europa oriental e América Latina gerava novas maneiras de reduzir custos, o fator custo baixo ressurgiu em muitas indústrias como principal base de competição. Com as experiências desnorteantes com suas economias regionais durante os últimos anos do século XX, gerentes de produção encontraram um ciclo similar de expectativas exageradas, e depois frustradas, à medida que tentaram implementar “ novas abordagens de produção”(NAOs – *New Approaches to Operations*). Ao longo dos anos 80 e 90, fabricantes ocidentais perseguiram o *status* de manufatura de classe mundial por meio de diversas siglas de três letras: TQM (gerenciamento da Qualidade Total), JIT (programação *Just-in-time*), DFM (Projeto para Fabricação – *Design for Manufacturability*), QFD (Desdobramento da Função Qualidade), QDP (Desenvolvimento Rápido de Produtos e Processos – *Quick Product/Process Development*) e CIM (Manufatura Integrada por Computação – *Computer Integrated Manufacturing*).

O poder destas NAOs principalmente para o aumento da qualidade fora demonstrado no início dos anos 80 por empresas líderes, como Hewlett-Packard e Xerox fazendo com que centenas de outras as imitassem e os seus modelos japoneses, porém após um período bem-

sucedido as melhorias estagnavam ou até regrediam. A conclusão de vários estudos realizados foi de que apenas um terço das empresas alcançou os objetivos esperados. A explicação básica é que programas mal-sucedidos sofreram com uma falta de comprometimento da alta gerência, que muitas vezes tratou com cinismo diante das ferramentas e seus insucessos. Esta é acusada de não fornecer recursos suficientes ou apoio moral na medida em que seu foco de atenção se alterna em redução de custo e melhoria na qualidade. O autor também comenta que as novas tecnologias da Informação também perturbam os gestores por mudarem muito rápido e não estarem diretamente atreladas aos livros de administração da produção

Quanto ao aspecto da tecnologia empregada em rastreabilidade, a identificação automática de produtos que utilizam códigos unidimensionais (1D - ou código de barras) tem sido amplamente utilizado em muitas indústrias por mais de 20 anos. A parte de monitoramento de dados fornecido é vital para aqueles que fazem, armazenar ou mover itens através da cadeia de suprimentos, pois os dados são usados em cálculos de produção de saída, controle de estoque, previsão de receitas e outras operações comerciais. Tradicionalmente, estes códigos de barra são aplicados a produtos com rótulos ou como parte do pacote do produto. Hoje há uma tendência para estender monitoramento através da vida de uma parte para que ele possa ser identificado desde o início de sua vida até o fim. Para a rastreabilidade do ciclo de vida completo, os fabricantes estão marcando as peças com duas dimensões (2D – ou código *data matrix*) códigos que são marcados diretamente sobre a peça, e automaticamente identificar a peça durante a fabricação e operações de cadeia de fornecimento. este processo é conhecido como *Direct Part Mark Identification* (DPMI). Montagem e fornecedores de peças para o Departamento de Defesa estão cada vez mais implementando DPMI, assim como um número crescente no setor automotivo, aeroespacial, dispositivos médicos e fabricantes de eletrônicos. Muitos fabricantes estão utilizando dados de rastreabilidade para criar um história da peça através do processo de fabricação para uso posterior na gestão da cadeia de abastecimento e depósitos de reparação. Rastreabilidade também melhora a qualidade, garantindo que os processos apropriados são realizados na seqüência correta sobre o fluxo das peças. DPMI é fundamental em iniciativas *error proofing*. Além de eliminar a parte manual de dados , eviatnado erros de entrada durante a produção (fluxo de operações), DPMI também pode auxiliar no registro de dados para a segurança, responsabilidade, questões de garantia, satisfazendo os requisitos regulamentares e

permanentemente para a identificação de peças de alto valor que estão sujeitos a roubo ou falsificação. (Cognex ID Products, 2006).

O uso desses leitores promove a atração por desenvolver processos com o uso desta tecnologia para melhor explorá-la integrada ao próprio seqüenciamento do processo e inclusive o uso da mesma é normatizada pela AIAG (*Automotive Industry Action Group*) no *2D Direct Parts Marking Guideline* o qual determina todo o detalhamento técnico para superfícies micro-puncionadas, etiquetas impressas e processos a *laser*.

De acordo com Trinchero (2005) percebe-se no ambiente de projetos de TI grande incidência de alterações de escopo, prazo e custo. O insucesso nessa área provê freqüentemente da dificuldade encontrada pelos gerentes de TI em definir com clareza a necessidade do cliente ou a solução desejada, os recursos necessários e o tempo exato das atividades a serem realizadas. Diante de tal fato busca-se desenvolver a consciência de elaboração de planos com maior cautela, baseado em informações e utilizando-se de ferramentas e técnicas que possam diminuir as incertezas e proporcionar maior índice de assertividade.

## **2.5. Manufatura enxuta (*Lean manufacturing*)**

O Sistema Toyota de Produção (Toyota Production – STP) tem sido, mais recentemente, referenciado como “Sistema de Produção Enxuta”. A produção “enxuta” (do original em inglês, “lean”) é, na verdade, um termo cunhado no final dos anos 80 pelos pesquisadores do IMVP (*International Motor Vehicle Program*), um programa de pesquisas ligado ao MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), para definir um sistema de produção muito mais eficiente, flexível, ágil e inovador do que a produção em massa; um sistema habilitado a enfrentar melhor um mercado em constante mudança. Na verdade, produção enxuta é um termo genérico para definir o Sistema Toyota de Produção (STP) e serviu para “acordar” e motivar os japoneses a alcançar a indústria americana, o que de fato aconteceu anos mais tarde. GHINATO (apud Almeida e Souza, 2001)

É 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. Para uso deste trabalho o termo mais apropriado é “produção enxuta”.

O fato da produtividade americana ser tão superior à japonesa chamou a atenção para a única explicação razoável: A diferença de produtividade só poderia ser explicada pela existência de perdas no sistema de produção japonês. A partir daí, o que se viu foi a estruturação de um processo sistemático de identificação e eliminação das perdas.

O sucesso do sistema de produção em massa Fordista inspirou diversas iniciativas em todo o mundo. A Toyota Motor Co. tentou por vários anos, sem sucesso, reproduzir a organização e os resultados obtidos nas linhas de produção da Ford, até que em 1956 o então engenheiro-chefe da Toyota, Taiichi Ohno, percebeu, em sua primeira visita às fábricas da Ford, que a produção em massa precisava de ajustes e melhorias de forma a ser aplicada em um mercado discreto e de demanda variada de produtos, como era o caso do mercado japonês. Ohno notou que os trabalhadores eram sub-utilizados, as tarefas eram repetitivas além de não agregar valor, existia uma forte divisão (projeto e execução) do trabalho, a qualidade era negligenciada ao longo do processo de fabricação e existiam grandes estoques intermediários.

O termo *Lean Manufacturing* foi popularizado por Womack, Jones e Roos no livro “A máquina que mudou o mundo” de 1990. No Brasil, foi traduzido por Ferro (1992)

## **2.6.Princípios fundamentais da Produção Enxuta**

De acordo com Womack & Jones (2004), a Produção Enxuta pode ser resumida em cinco princípios básicos cujo objetivo é tornar as empresas mais flexíveis e capazes de responder efetivamente às necessidades dos clientes:

1. Determinar precisamente o *valor* por produto específico: é o ponto de partida e deve ser definido segundo as perspectivas dos clientes finais;
2. Identificar o *fluxo de valor* para cada produto: é o conjunto de todas as atividades para se levar um produto específico a passar pelas tarefas de desenvolvimento, de gerenciamento da informação e da transformação física propriamente dita;
3. Fazer o *valor fluir* sem interrupções: é necessário fazer com que as etapas que criam valor fluam. Isso exige uma mudança de mentalidade. O produto e suas necessidades devem ser o foco, e não as máquinas e equipamentos. O objetivo é reduzir as atividades que não agregam valor;
4. Deixar com que o cliente *puxe o valor* do produto: é fazer o que os clientes (internos ou externos) obtenham o que precisam no momento certo, permitindo que o produto seja puxado quando necessário, isso minimiza os desperdícios comumente encontrados em sistemas “empurrados”;
5. Buscar a *perfeição*: fazer os quatro princípios anteriores interagirem em um círculo na eliminação dos desperdícios.

Na verdade, a essência do Sistema Toyota de Produção é a perseguição e eliminação de toda e qualquer perda. É o que na Toyota se conhece como “princípio do não-custo”. Este princípio baseia-se na crença de que a tradicional equação  $\text{Custo} + \text{Lucro} = \text{Preço}$  deve ser substituída por  $\text{Preço} - \text{Custo} = \text{Lucro}$

De acordo com Rentes (2000) a Produção Enxuta reúne uma série de princípios para eliminar desperdícios durante a produção dos produtos, buscando atingir (ou até superar) as expectativas dos clientes. Suas técnicas procuram minimizar as perdas dentro da empresa, gerando produtos a um menor custo e possibilitando à organização produzir a um preço menor e sem perda de qualidade.

Godinho Filho e Fernandes (2004) definem a Manufatura Enxuta como: “um modelo estratégico e integrado de gestão, direcionado a certas situações de mercado, que propõe auxiliar a empresa a alcançar determinados objetivos de desempenho”. Esses indicadores de desempenho são principalmente qualidade e produtividade. Esse modelo é composto por uma série de

princípios (idéias, fundamentos, regras que norteiam a empresa) e capacitadores (ferramentas, tecnologias e metodologias utilizadas).

Segundo Liker (2005), a casa do Sistema Toyota de Produção é a representação de um “sistema baseado em uma estrutura, não apenas um conjunto de técnicas”. Assim, cada elemento do diagrama tem sua importância, e o mais importante é como estes elementos reforçam-se uns aos outros.

A figura 3 detalha os aspectos da casa do STP e sua capacidade de inter-relação.



Figura 3 - A casa do Sistema Toyota de Produção. Fonte: Liker (2005)

Conforme Liker (2005), a representação contém as metas de melhor qualidade, menor custo e menor *lead time* (tempo de atravessamento porta-a-porta de um processo) na parte do

telhado. As duas colunas são o *just-in-time* e a automação (*jidoka*) sustentam o atendimento dessas metas.

A primeira é provavelmente a característica mais visível e popularizada, significa produzir as peças corretas, na quantidade correta e no momento certo. A automação pode ser traduzida como o controle de defeitos autônomo. (MODEM, 1998)

Essencialmente significa nunca deixar que um defeito passe para a próxima estação, e liberar as pessoas das máquinas – automação com um toque humano. Esse assunto será esterçado no capítulo que ytrata sobre “*poka-yoke*”.

No centro do sistema estão as pessoas, sem as quais ele não pode funcionar. Na base está o *heijunka* (nivelamento da Produção) que significa balancear o volume de produção para atender à variedade da demanda.

## **2.7. Classificação dos desperdícios**

Ohno (1988) define o Sistema Toyota de produção como sendo a perseguição pela absoluta eliminação de perdas.

Perdas, são atividades que geram custo e não adicionam valor ao produto, devendo ser eliminadas e, como exemplo, pode-se citar a fabricação de produtos defeituosos, esperas, estocagem de material em processo ou produto acabado e transporte. (Antunes Junior, 1998)

Na linguagem da engenharia industrial consagrada pela Toyota, perdas (*muda* em japonês) são atividades completamente desnecessárias que geram custo, não agregam valor e que, portanto, devem ser imediatamente eliminadas. Ohno, o grande idealizador do Sistema Toyota de Produção, propôs que as perdas ou desperdícios presentes no sistema produtivo fossem classificadas em sete grandes grupos:

- a) Perda por super-produção (quantidade e antecipada);
- b) Perda por espera;

- c) Perda por transporte;
- d) Perda no próprio processamento;
- e) Perda por estoque;
- f) Perda por movimentação;
- g) Perda por fabricação de produtos defeituosos.
- h) Perda de capital intelectual (capital humano): Existe uma oitava categoria de desperdício proposta por Liker (2005), o desperdício da criatividade dos funcionários: perda de tempo, idéias, habilidades, melhorias e oportunidades de aprendizagem por não envolver ou ouvir seus funcionários.

### **2.7.1. Perda por Superprodução**

De todas as sete perdas, a perda por superprodução é a mais danosa. Ela tem a propriedade de esconder as outras perdas e é a mais difícil de ser eliminada. Existem dois tipos de perdas por superprodução:

- Perda por produzir demais (superprodução por quantidade): por produzir além do volume programado ou requerido (sobram peças/produtos). Este tipo de perda está fora de questão quando se aborda a superprodução no Sistema Toyota de Produção. É um tipo de perda inadmissível;

- Perda por produzir antecipadamente (superprodução por antecipação): decorrente de uma produção realizada antes do momento necessário, ou seja, as peças/produtos fabricadas ficarão estocadas aguardando a ocasião de serem consumidas ou processadas por etapas posteriores. Esta é a perda mais perseguida no Sistema Toyota de Produção, pois é a comum de ser encontrada.

### **2.7.2. Perda por Espera**

É o desperdício com o tempo de espera origina-se de um intervalo de tempo no qual nenhum processamento, transporte ou inspeção é executado. O lote fica “estacionado” à espera de sinal verde para seguir em frente no fluxo de produção.

Pode-se destacar basicamente três tipos de perda por espera:

- a) Perda por Espera no Processo: o lote inteiro aguarda o término da operação que está sendo executada no lote anterior, até que a máquina, dispositivo ou operador esteja disponível para o início da operação (processamento, inspeção ou transporte);
- b) Perda por Espera do Lote; é a espera a que cada peça componente de um lote é submetida até que todas as peças do lote tenham sido processadas para, então, seguir para o próximo passo ou operação. Esta perda acontece, por exemplo, quando um lote de 1000 peças está sendo processado e a primeira peça, após ser processada, fica esperando as outras 999 peças passarem pela máquina para poder seguir no fluxo com o lote completo. Esta perda é imposta sucessivamente a cada uma das peças do lote. Supondo que o tempo de processamento na máquina M seja de 10 segundos, a primeira peça foi obrigada a aguardar pelo lote todo por 2 horas e 47 minutos (999 peças x 10 segundos) desnecessariamente;
- c) Perda por Espera do Operador: ociosidade gerada quando o operador é forçado a permanecer junto à máquina, de forma a acompanhar/monitorar o processamento do início ao fim.

### **2.7.3. Perda por Transporte**

O transporte é uma atividade que não agrega valor, e como tal, pode ser encarado como perda que deve ser minimizada. A otimização do transporte é, no limite, a sua completa eliminação. A eliminação ou redução do transporte deve ser encarada como uma das prioridades

no esforço de redução de custos, pois em geral, o transporte ocupa em média 45% do tempo total de fabricação de um item, conforme Shingo (1987).

As melhorias mais significativas em termos de redução das perdas por transporte são aquelas aplicadas ao processo de transporte, obtidas através de alterações de *layout* que dispensem ou eliminem as movimentações de material.

Somente depois de esgotadas as possibilidades de melhorias no processo é que, então, as melhorias nas operações de transporte são introduzidas. É o caso da aplicação de esteiras rolantes, transportadores aéreos, braços mecânicos, talhas, pontes rolantes, etc.

#### **2.7.4. Perda no Próprio Processamento**

São perdas que estão presentes na forma de parcelas do processamento que poderiam ser eliminadas sem afetar as características e funções do produto.

A utilização de técnicas de Engenharia e Análise de Valor (EAV), integrante do Sistema Toyota de Produção, na determinação das características e funções do produto e dos métodos de fabricação a serem empregados, é extremamente recomendável como forma de otimizar o processamento (SHINGO, 1981).

O EAV questiona o custo dos produtos e dos processos através da análise do valor das funções exercidas pelas diversas partes que os compõem (Basso, 1991). A aplicação desta técnica questiona a necessidade de certas características no produto, visando simplificar a etapa de fabricação.

Podem ainda ser classificadas como perdas no próprio processamento situações em que o desempenho do processo encontra-se aquém da condição ideal. Exemplos: a baixa velocidade de corte de um torno por força de problemas de ajuste de máquina ou manutenção; o número de figuras estampadas em uma chapa metálica menor do que o máximo possível devido a um projeto inadequado de aproveitamento de material.

### **2.7.5.Perda por Estoque**

É a perda sob a forma de estoque de matéria-prima, material em processamento e produto acabado. Uma grande barreira ao combate às perdas por estoque é a “vantagem” que os estoques proporcionam de aliviar os problemas de sincronia entre os processos.

No Ocidente, os estoques são encarados como um “mal necessário”. O Sistema Toyota de Produção utiliza a estratégia de diminuição gradativa dos estoques intermediários como uma forma de identificar outros problemas no sistema, escondidos por trás dos estoques.

Shingo (1996), afirma que nos sistemas de produção tradicionais, os estoques são elementos necessários para amenizar o impacto de problemas no processo produtivo, tais como:

- a) Demandas não prevista;
- b) Elevado tempo de *set-up*;
- c) Problemas de paradas de máquinas para manutenção;
- d) Problemas de produtos defeituosos;
- e) Absenteísmo.

Na medida em que se diminuem os estoques entre processos, as carências e ineficiências do sistema produtivo começarão a aparecer e com elas a necessidade da eliminação das perdas responsáveis pelos problemas.

### **2.7.6.Perda por Movimentação**

As perdas por movimentação relacionam-se aos movimentos desnecessários realizados pelos operadores na execução de uma operação. Este tipo de perda pode ser eliminado através de melhorias baseadas no estudo de tempos e movimentos. Tipicamente, “a introdução de melhorias como resultado do estudo dos movimentos pode reduzir os tempos de operação em 10 a 20%”, Ohno (1977).

Ohno comenta sobre o uso da mecanização, a qual deve ser feita com o objetivo de eliminar a presença humana diante da máquina, caso isto não aconteça, gerou-se apenas custo. Ohno (1997) postula que na *Toyota* existe a preocupação em “Poupar Trabalhador”, com o objetivo de dispensar o mesmo da função de observar a máquina em operação, ao invés de “Poupar Mão-de-obra”, isto é, poupar apenas o trabalho manual do operador.

### **2.7.7. Perda por Fabricação de Produtos Defeituosos**

A perda por fabricação de produtos defeituosos é o resultado da geração de produtos que com uma ou mais características de qualidade fora da especificação ou padrão estabelecido e que por esta razão não satisfaçam a requisitos de uso do cliente ou pelo menos sejam percebidas pelo cliente. A consequência desta perda é o retrabalho ou sucateamento dos produtos com defeito. Segundo Ghinato (1996), dentre as sete perdas identificadas por Ohno, esta é a mais comum e visível nos processos produtivos.

No Sistema Toyota de Produção, a eliminação das perdas por fabricação de produtos defeituosos depende da aplicação sistemática de métodos *poka-yoke* a fim de se chegar ao controle na fonte, ou seja, junto à causa raiz do defeito.

### **2.7.8. Perda por Subutilização da Criatividade dos Empregados**

Representa a perda de tempo, idéias, habilidades, melhorias e oportunidades de aprendizagem por não envolver ou ouvir os empregados – essa nova categoria de desperdício foi proposta por Liker (2005), constituindo um oitavo desperdício.

## 2.8.As Ferramentas da Produção Enxuta e JIT

Para combater os desperdícios, a manufatura enxuta é sustentada por sete ferramentas de ação: 5S, Manutenção Produtiva Total (*TPM*), Troca Rápida de Ferramenta, Fluxo Contínuo, Sistema de Puxar (Kanban), Trabalho Padrão e Sistema à Prova de Erro (*Poka-yoke*). O sistema ainda conta uma ferramenta de Planejamento, que é o Mapeamento do Fluxo de Valor (*Value Stream Map*).

As ferramentas também complementam-se umas às outras e tem resultados efêmeros se usadas de forma totalmente isolada.

Conforme Ohno (1997), o Sistema Toyota de Produção possui como dois pilares de sustentação: a Automação (*Jidoka*) e o *Just-in-time* (JIT).

O *Just-in-time* (JIT) tem a capacidade de colocar em prática o princípio da redução dos custos através da completa eliminação das perdas. Talvez, por seu impacto sobre os tradicionais métodos de gerenciamento, tenha se criado uma identidade muito forte com o próprio Sistema Toyota de Produção. No entanto, o Sistema Toyota de Produção não deve ser interpretado como sendo essencialmente o *Just-in-time*, o que por certo limitaria sua verdadeira abrangência e potencialidade. O *Just-in-time* é nada mais do que uma técnica de gestão incorporada à estrutura do Sistema Toyota de Produção que, ao lado do *Jidoka*, ocupa a posição de pilar de sustentação do sistema.

Segundo Ohno (1997), *Just-in-time* é mais que um sistema de redução de estoque, mais que redução de tempo de preparação, mais que usar *Kanban*, mais que modernizar a fábrica. É fazer a fábrica operar para a empresa, assim como o corpo humano opera para o indivíduo. O sistema nervoso autônomo responde quando surge um problema no corpo. O mesmo ocorre numa fábrica: deve haver um sistema que responde automaticamente quando problemas ocorrem. Essa função é cumprida pelo *Just-in-time* (Ohno, 1997).

Para Shingo (1996) *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

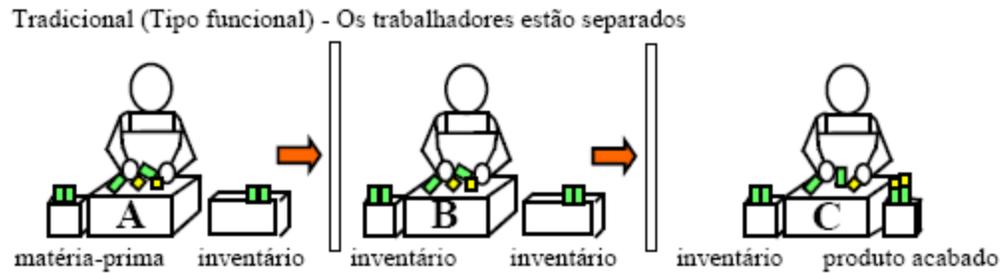
identificar, localizar e eliminar as perdas, garantindo um fluxo contínuo de produção. A viabilização do *JIT* depende de três fatores intrinsecamente relacionados: fluxo contínuo e *takt time* que serão detalhados a seguir.

### **2.8.1. Fluxo Contínuo**

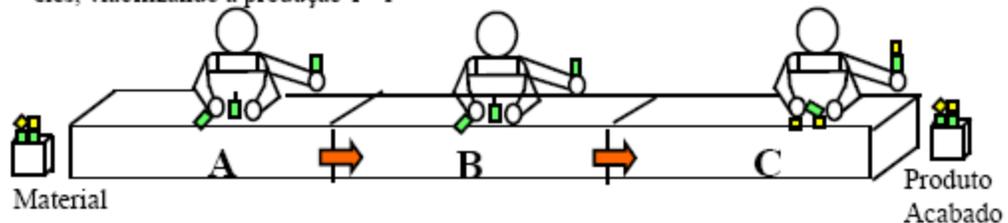
O fluxo contínuo é a resposta à necessidade de redução do *lead time* (tempo necessário para que uma determinada ordem de fabricação esteja produzida a partir de sua data de liberação) de produção. A implementação de um fluxo contínuo na cadeia de agregação de valor normalmente requer a reorganização e rearranjo do *layout* fabril, convertendo os tradicionais *layouts* funcionais (ou *layouts* por processos) – onde as máquinas e recursos estão agrupadas de acordo com seus processos (ex.: grupo de fresas, grupo de retíficas, grupo de prensas, etc.) – para células de manufatura compostas dos diversos processos necessários à fabricação de determinada família de produtos.

A conversão das linhas tradicionais de fabricação e montagem em células de manufatura é somente um pequeno passo em direção à implementação da produção enxuta. O que realmente conduz ao fluxo contínuo é a capacidade de implementar um fluxo unitário de produção, onde, no limite, os estoques entre processos sejam completamente eliminados.

A figura 3 revela a comparação entre o sistema funcional e o sistema contínuo.



Fluxo contínuo: Elimina as verdadeiras “estagnações” de trabalho em cada processo e entre eles, viabilizando a produção 1×1



**Figura 4 - Fluxo de produção: funcional x contínuo.**

Fonte: Ghinato, apud Almeida e Souza (2000)

A implementação de um fluxo contínuo de produção exige ao máximo um bom balanceamento das operações ao longo da linha de montagem. Produzir abaixo do *takt time* causa excesso de produção, que é produzir mais antes, ou mais rápido do que o requerido causa desperdício de operadores e movimentação, gera estoques e conseqüentemente custos de armazenagem desnecessários. O *Takt time* é um regulador para dosar a distribuição dos elementos de operação dentro do processo fabril.

### **3. Poka-yoke e FMEA**

#### **3.1. Origem do *poka-yoke***

O termo *poka-yoke* (pronuncia-se pocá-ioquê), ou do inglês *error proofing* ou ainda *mistake proofing*, têm sua origem na língua japonesa (*yokeru*: evitar; *poka*: erros inadvertidos) e também é denominado mecanismo de prevenção de erros, ou à prova de falhas. O termo inicial chegou a ser *baka-yoke* (à prova de tolos), mas foi modificado para não manifestar um senso pejorativo.

Constitui-se basicamente em sistemas ou dispositivos destinados a evitar a ocorrência de defeitos em processos de fabricação e na utilização de produtos sendo utilizados há muito tempo pela indústria manufatureira japonesa. Essa idéia foi sistematizada e aperfeiçoada por Shigeo Shingo como um meio de se atingir o zero defeito e, eventualmente, eliminar as inspeções para o controle de características da qualidade e serve como ferramenta para sustentar o Sistema Toyota de Produção.

Em 1926, quando a família Toyoda ainda concentrava seus negócios na área têxtil, Sakichi Toyoda inventou o que pode ser considerado o primeiro dispositivo *poka-yoke*: um mecanismo que, acoplado ao tear, era capaz de identificar o rompimento de um fio ou o atingimento da quantidade de tecido a ser produzida, paralizando a operação imediatamente. Esta singela invenção possibilitou que vários teares fossem operados por um único trabalhador, o que representou uma grande vantagem competitiva na época. Desta forma, ele conseguiu dispensar a atenção constante do operador durante o processamento, viabilizando a supervisão simultânea de diversos teares. Esta inovação revolucionou a tradicional e centenária indústria têxtil.

O conceito de dispositivos capazes de “detectar uma anormalidade no processamento” foi, anos mais tarde, aplicado e difundido na Toyota Motor Company por Taiichi Ohno. Shigeo Shingo, consultor da Toyota durante muitos anos, encarregou-se de aprimorar este conceito e disseminá-lo na indústria ocidental.

Em 1932, o recém-formado engenheiro mecânico Taiichi Ohno integrou-se à Toyoda Spinning and Weaving, onde permaneceu até ser transferido para a Toyota Motor Company Ltda. em 1943. Tendo recebido “carta-branca” de Kiichiro Toyoda, então presidente do grupo, Ohno começou a introduzir mudanças nas linhas de fabricação da fábrica Koromo da Toyota Motor Company em 1947 (GHINATO apud Almeida e Souza, 2000).

Ohno sabia que havia duas maneiras de aumentar a eficiência na linha de fabricação: aumentando a quantidade produzida ou reduzindo o número de trabalhadores. Em um mercado discreto como o mercado doméstico japonês há época, era evidente que o incremento na eficiência só poderia ser obtido a partir da diminuição do número de trabalhadores. A partir daí, Ohno procurou organizar o *layout* em linhas paralelas ou em forma de "L", de maneira que um trabalhador pudesse operar 3 ou 4 máquinas ao longo do ciclo de fabricação, conseguindo com isso, aumentar a eficiência da produção de 2 a 3 vezes.

A implementação desta nova forma de organização exigiu de Ohno a formulação da seguinte 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?” A resposta era que as máquinas na Toyota não estavam preparadas para parar automaticamente quando o processamento estivesse terminado ou quando algo de anormal acontecesse.

### **3.2. Zero Defeito e Gestão**

Conforme Ghinato (1996) passaram-se mais de 50 anos desde que o revolucionário engenheiro Taiichi Ohno começou a propagar suas idéias no chão-de-fábrica da Toyota. Ainda assim, todos os colaboradores da Toyota entendem que o STP (*Toyota Production*) ainda está em processo de aprimoramento, uma vez que o *kaizen* deve continuar a ser aplicado na melhoria da estrutura do próprio sistema.

Segundo Philip Crosby "A pessoa que se compromete a ficar atenta a cada detalhe e evitar erros com cuidado, dá um passo gigantesco no sentido de estabelecer em todas as coisas o objetivo zero defeitos."

Segundo Shingo (1990) no seu clássico livro “*Zero Quality Control*” as atividades de produção são compostas de cinco elementos :

- Objeto da produção: o produto, no caso estudado são os motores diesel da linha HS
- Agentes de produção: são as pessoas, equipamentos e *softwares*
- Métodos: são os meios pelos quais as ações são feitas para a realização do produto, no caso a manufatura feita através da linha de montagem de acordo com seu fluxograma ou roteiro de processamento
- Espaço: é onde as ações são feitas e como os objetos são transportados, no caso da linha de montagem é como o próprio nome diz um layout em linha em forma de “O” com o motor sendo construído sobre um carrinho-suporte e movendo-se através de uma esteira transportadora automática
- Tempo: significa o tempo de trabalho e a duração dos ciclos de operação

Os questionamentos de Shingo (1990) se depositam sobre quais as funções dos produtos e processos devem ser satisfeitas e o porquê das escolhas entre um método e outro. Da mesma forma indaga sobre o não-desperdício de tempo e de espaço, princípios enxutos de fazer somente o que é necessário, na quantidade necessária e dentro do tempo requerido e interessa-se pela eficiência do aproveitamento dos objetos de produção.

A figura 4 mostra a relação direta entre os cinco elementos de produção na tentativa de visualizar a interdependência desses elementos e ainda faz uma analogia com relação a ferramenta da qualidade para análise e solução de problemas responsável por organizar um plano de ação, a 5W1H do inglês *What, Why, Where, Who, When and How* (O quê, Por quê, Onde, Quem, Quando e Como):

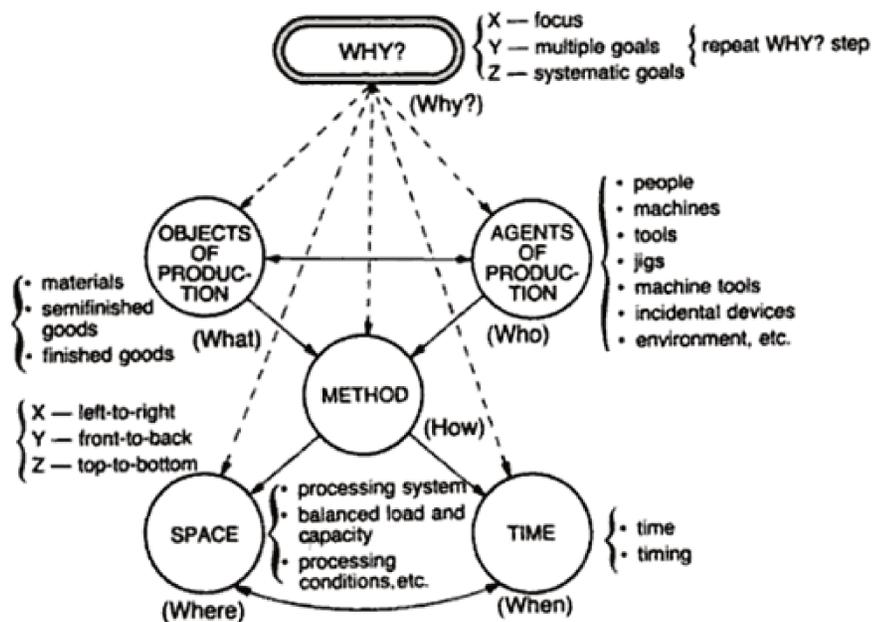


Figura 5 – Os 5 elementos da produção e os 5W1H. Fonte Shingo,1990

Em um exemplo singelo para explicar a existência e a complexidade de um sistema produtivo, Shingo (1990) comenta a diferença que existe entre consertar uma bicicleta e andar de bicicleta. Para se consertar é necessário entender a estrutura de todas as partes da bicicleta e a função de suas peças e entender a interação das mesmas, o que proporciona a analogia do fato de que se alguém está envolvido no dia-a-dia da produção não significa necessariamente que a pessoa sabe como consertar o sistema quando ele quebra, quando ocorrerem defeitos ou baixar a eficiência operacional, pois é necessário uma visão sistêmica e envolvimento da alta administração (gestão).

A figura 6 esquematiza como ocorre o fluxo de operações transformando o produto através de um método dentro de um espaço e de um tempo, ou seja, o próprio processo produtivo.

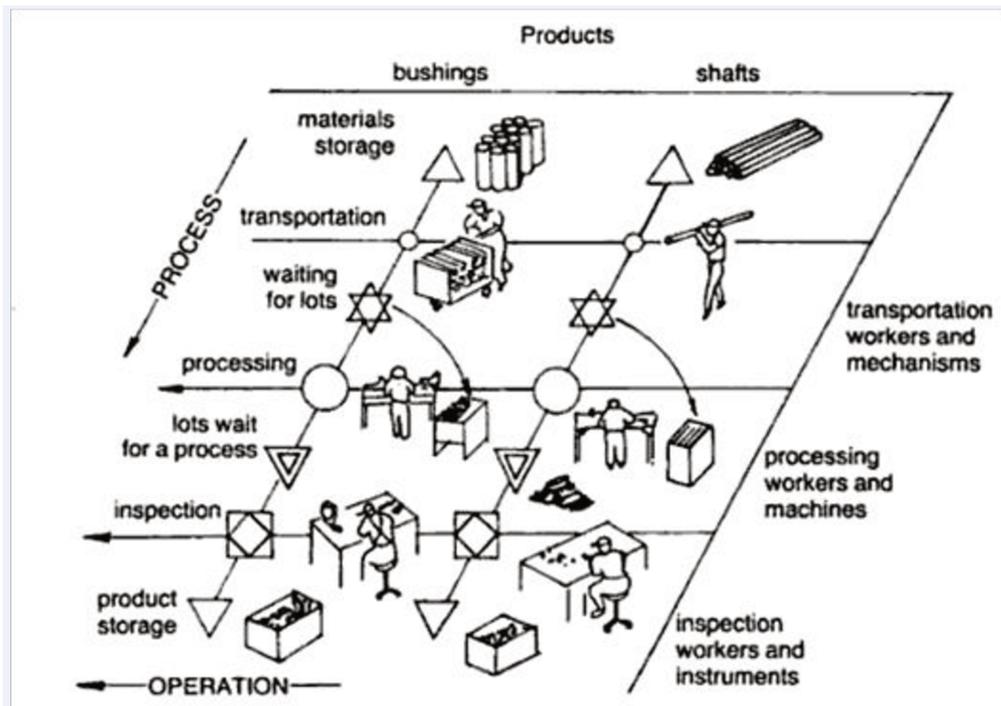


Figura 6 – A estrutura de produção. Shingo (1990)

É neste contexto que se aplica a abordagem a respeito das funções de gestão e controle de qualidade.

Ainda conforme Shingo (1990) as funções de gerenciamento de operações podem ser descritas por estágios de ações dentro de uma organização de negócios e podem ser caracterizadas da seguinte maneira:

- Vontade: o termo refere-se a decisão de optar por novas atividades ou incrementar as atuais
- Política: reflete o desejo organizacional de como a decisão tomada no item anterior será conduzida
- Planejamento: concretiza os itens anteriores determinando os métodos e definindo padrões para as operações
- Execução: realização dos processos e operações em acordo ao planejado
- Controle: o controle deve acompanhar a execução para assegurar que os processos estão aderentes aos padrões e que a programação é realizada conforme previsto

- Monitoramento: os resultados da execução controlada são checados e respostas aos questionamentos tais como todos os modos de falha na execução foram considerados? Os métodos de controle usados são realmente apropriados? Existem problemas relacionados ao programa? Retro-alimentam o planejamento.
- Satisfação: a comparação dos resultados do monitoramento com as metas da política inicial e a evolução da satisfação do cliente retro-alimentam a política adotada

Todos os estágios de ações coexistem e interagem de forma cíclica, e quanto mais cresce a organização em termos de negócios, pessoas e recursos, mais complexa ela se torna o que demanda divisões hierárquicas e a não-individualização de atividades e de conhecimentos.

O Sistema Toyota de Produção é, inegavelmente, o *benchmark* para as organizações industriais no mundo inteiro. Contudo, o Sistema Toyota de Produção não deve e nem pode ser simplesmente “copiado” por outras indústrias. O processo de tornar-se “enxuto” deve ser conduzido a partir de um profundo e perfeito entendimento acerca dos conceitos, princípios fundamentais e componentes por meio de um processo de adaptação do modelo original.

É fundamental, também, que se perceba o desempenho superior da Toyota Motor Co. em relação aos seus competidores como resultado da aplicação sistemática e concatenada dos elementos componentes do STP. A rápida resposta à demanda do mercado não é consequência isolada de uma ou de outra ferramenta. Também não é por causa do uso de dispositivos *poka-yoke* que a qualidade dos automóveis Toyota é superior à de seus concorrentes. Os resultados obtidos pela Toyota decorrem da aplicação de um sistema de gerenciamento focado no atendimento das necessidades do cliente via eliminação total das perdas presentes na cadeia de agregação de valor.

### **3.3. Jidoka**

A invenção de Sakichi Toyoda, aplicada às máquinas da Toyota Motor Company, deu origem ao conceito de *Jidoka* ou *autonomação*, como também é conhecido. Na verdade, a palavra

*jidoka* significa simplesmente automação. *Ninben no aru jidoka* expressa o verdadeiro significado do conceito, ou seja, que a máquina é dotada de inteligência e toque humano.

Ainda que o *jidoka* esteja frequentemente associado à automação, ele não é um conceito restrito às máquinas. No Sistema Toyota de Produção, *jidoka* é ampliado para a aplicação em linhas de produção operadas manualmente. Assim é dado o poder para qualquer operador da linha de parar a produção quando qualquer anormalidade for detectada.

A idéia central é impedir a geração ou pelo menos bloquear a propagação de defeitos e eliminar qualquer anormalidade no processamento e no fluxo de produção. Quando a máquina interrompe o processamento ou o operador para a linha de produção, imediatamente o problema torna-se visível ao próprio operador, aos seus colegas e à sua supervisão, o que desencadeia um esforço conjunto para identificar a causa fundamental e eliminá-la, evitando a reincidência do problema e conseqüentemente reduzindo as paradas da linha numa próxima vez.

Quando Ohno iniciou suas experiências com o *jidoka*, as linhas de produção paravam a todo o momento, mas à medida que os problemas eram identificados, o número de erros começou a diminuir vertiginosamente e o rendimento das linhas, hoje, se aproxima dos 100%, ou seja, as linhas praticamente não param.

Os dois elementos que constituem o *Jidoka* são a Separação entre a Máquina e o Homem e o *Poka-yoke*, os quais são explicados a seguir.

### **3.4. A Separação entre a Máquina e o Homem**

Conforme Ghinato (apud Almeida e Souza, 2000) a separação entre a máquina e o homem, caracterizada pela permanência do operador junto à máquina durante a execução do processamento não é tão fácil de ser rompida, pois é uma prática característica da indústria tradicional. No entanto, o aprimoramento de dispositivos capazes de detectar anormalidades promoveu a separação entre a máquina e o homem e contribuiu para o desenvolvimento de funções inteligentes nas máquinas (automação com funções humanas).

A separação entre a máquina e o homem é um requisito fundamental para a implementação do *jidoka*. Na prática, a separação que ocorre é entre a detecção da anormalidade e a solução do problema. A detecção pode ser uma função da máquina, pois é viável econômica e tecnicamente, enquanto a correção do problema continua como responsabilidade do homem. Assim, a transferência das atividades manuais e funções mentais (inteligência) do homem para a máquina, permite que o trabalhador opere mais de uma máquina simultaneamente. No Sistema Toyota de Produção, não importa se a máquina executa as funções de fixação/remoção da peça e de acionamento, automaticamente. O importante é que, antes disto, ela tenha a capacidade de detectar qualquer anormalidade e parar imediatamente.

O segundo componente do pilar *jidoka* é o dispositivo *poka-yoke* entendido como um mecanismo de detecção de anormalidades que, acoplado a uma operação, impede a execução irregular de uma atividade, portanto é uma forma de bloquear as principais interferências na execução da operação.

### **3.5. *Poka-yoke***

O segundo componente do pilar *jidoka* é o dispositivo *poka-yoke*. O *poka-yoke* é um mecanismo de detecção de anomalias que, colocado em uma operação, impede a execução errada de uma atividade. O *poka-yoke* é uma maneira de impedir as principais interferências na execução da operação. Em geral, são dispositivos simples e de baixo custo utilizados na linha de produção, durante o processo de fabricação, Shingo (1986).

O *poka-yoke* é o meio pelo qual o conceito do *jidoka* é colocado em prática, pois permite a separação entre a máquina e o homem e o decorrente exercício do *jidoka*. Na Toyota, os dispositivos *poka-yoke* são utilizados na detecção da causa-raiz dos defeitos, ou seja, os erros na execução da operação. Para tanto, são aplicados em regime de inspeção 100% associados à inspeção na fonte (prevenção). No caso de inviabilidade desta “arma” contra falhas associa-se o *poka-yoke* à inspeção sucessiva (ou auto-inspeção), que basicamente significa o operador seguinte inspecionar o trabalho do operador antecessor antes de realizar a sua operação.

O *poka-yoke* é um elemento essencial na automação (*Jidoka*) pois consiste em facultar ao operador ou à máquina a autonomia de parar o processamento sempre que for detectada qualquer anormalidade (Ghinato, 1996).

A automação, através da detecção de anormalidades e paralisação do processamento, visa, paradoxalmente, garantir um fluxo contínuo de produtos “100% conforme”. É “parar o processamento para não ter que interromper o fluxo”.

Segundo Shingo (1996), inspeção sucessiva, auto-inspeção e inspeção da fonte podem ser todas alcançadas através do uso de métodos *Poka-yoke*. O *Poka-yoke* possibilita a inspeção 100% através de controle físico ou mecânico.

### **3.6. Inspeção, erro e defeito**

“Errar é humano”. Por diversas vezes ouvimos esta frase, e não há como discordar que o ser humano está sujeito a cometer erros. Mas podemos encarar este fato de forma ativa ou passiva. Pela forma passiva, simplesmente nos resignamos com o fato e mais, justificamos um sem número de equívocos com esta máxima. Já da forma ativa, conhecedores da probabilidade de falha a que nossa condição nos submete, podemos nos cercar de cuidados para não ficarmos totalmente expostos ao acaso. Se tomarmos como exemplo uma sala de cirurgia, os profissionais se cercam de uma série de cuidados para prevenir o erro. Aparelhos cada vez mais sofisticados monitoram os procedimentos e se prestam a evitar que problemas ocorram, ou ainda, vão emitindo sinais constantes sobre o estado do paciente, e se algo indica uma tendência a piorar, alerta os profissionais que ali estão, para que possam, com antecedência, tomar uma ação corretiva. Não é possível afirmar que isso garante que não haverá nenhum problema, mas deve-se reconhecer que a incidência tem sido bem menor nos dias atuais do que no passado, quando os recursos eram mais escassos e com menor emprego de tecnologia.

Outra situação é o caso de se tomar um voo. Um erro em um avião pode se tornar uma tragédia. Os motivos mais comuns que levam a um acidente aéreo são: falha humana, falha estrutural da aeronave, condições climáticas, falha de comunicação, sabotagem e outros em

menor grau. Para evitar a ocorrência destes motivos, diversos procedimentos são realizados e muitas redundâncias são utilizadas em nome da segurança.

O fato é que, independente do tamanho, um erro sempre causa um problema em algum grau. Se pensarmos que, em muitas indústrias, os erros são medidos em número de ocorrências por milhão, ou mesmo, por bilhão, tendemos a pensar que isso não deve causar problema, mas é um engano. Imagine que uma fábrica de canetas esferográficas tem um índice de apenas 1 falha a cada 1 milhão de peças produzidas, porém se nós formos o usuário que comprou esta caneta teremos o problema em 100% das peças. É o paradigma do fabricante e do cliente. De uma forma ou de outra, as coisas são feitas por humanos. Humanos falham. Mas as falhas não são desejadas. (CLARO disponível em <<http://www.eraldo-claro.blogspot.com/2011/05/errar-e-humano.html>> Acesso em 03/06/11.

Para ousar metas tão desafiadoras a abordagem de sistemas *poka-yoke* é apontada como uma das preferidas, pois além de se mostrar como uma ferramenta para atingir o zero defeito também elimina inspeções de controle da qualidade.

A principal premissa associada ao conceito do *poka-yoke* é a de que as falhas humanas são inevitáveis, mas os efeitos indesejáveis podem ser eliminados prevenindo-se que uma falha venha a se tornar um defeito.

O conceito de *poka-yoke* foi concebido inicialmente por Shingo (1992), verificando que as características de controle em um determinado produto eram conduzidas, fundamentalmente, por meio de três técnicas baseadas em inspeção: inspeção por julgamento, inspeção informativa e inspeção na fonte.

Na inspeção por julgamento, os produtos com defeito são separados dos produtos bons após o processamento, através de amostragem, revelando defeitos antes da entrega, mas não diminuindo o índice de defeitos verificados.

Na inspeção informativa, investigam-se estatisticamente as causas dos defeitos e essas são transmitidas aos processos apropriados a fim de serem tomadas ações para reduzir os defeitos. No entanto, com muita frequência, essas informações demoram a chegar na origem do problema, o que faz com que os defeitos continuem a ser produzidos.

A inspeção na fonte trabalha na origem do processo, dando um retorno imediato e evitando que os erros se transformem em defeitos. Esse tipo de inspeção é conduzido durante o tempo limitado em que a peça está sendo posicionada para uma operação, ou logo depois que ela sai da máquina, de maneira que, com essa inspeção, os erros podem ser corrigidos antes de se transformarem em defeitos.

A utilização de dispositivos à prova de erros tem crescido muito no setor automobilístico, principalmente após os anos 90 em que uma série de remodelações nas normas do grupo ISO (*International Organization for Standardization*) e manuais de referência da AIAG (*Automotive Industry Action Group*), pois as empresas deste setor conduzem programas de melhoria de desempenho dos processos de manufatura, como o Controle de Qualidade Zero Defeito, (SHINGO, 1990).

Após o final da Segunda Guerra Mundial, o Japão começou a recuperar sua vitalidade econômica e competitividade industrial, com especial destaque para as companhias montadoras de automóveis e seus sistemas de produção.

Frequentemente aponta-se alguns fatores considerados responsáveis pelo “sucesso japonês”, tais como os Círculos de Controle de Qualidade (CCQs), o Controle da Qualidade Total (*Total Quality Control* – TQC), o Sistema de Produção Enxuta (*Toyota Production* – STP), o *Just-In-Time* (JIT), o *Jidoka* (autonomação) e o Controle da Qualidade Zero Defeitos (*Zero Quality Control* - CQZD). Ainda assim, poucos destes modelos e ferramentas tiveram sua utilização amplamente disseminada, fora do Japão, antes do início da década de 80.

Estas práticas se disseminaram na indústria automobilística ocidental através da mentalidade enxuta ou pensamento enxuto conforme Woomack & Jones (2001).

As práticas superiores de controle da qualidade das empresas japonesas, no entanto, estão fundamentadas na eliminação dos defeitos a partir da identificação e neutralização de suas causas que são os erros.

Werkema (2004) define que os defeitos surgem porque erros são cometidos; ambos têm uma relação de causa e efeito, contudo, erros não se tornarão defeitos se houver retro-alimentação de ação no momento do erro. Causa típicas de erros são: esquecimento, falta de atenção,

treinamento inadequado, falta de padronização. Erros e defeitos podem ser relacionados por meio de um diagrama ishikawa, ou “causa” e “efeito” ou ainda diagrama espinha-de-peixe.

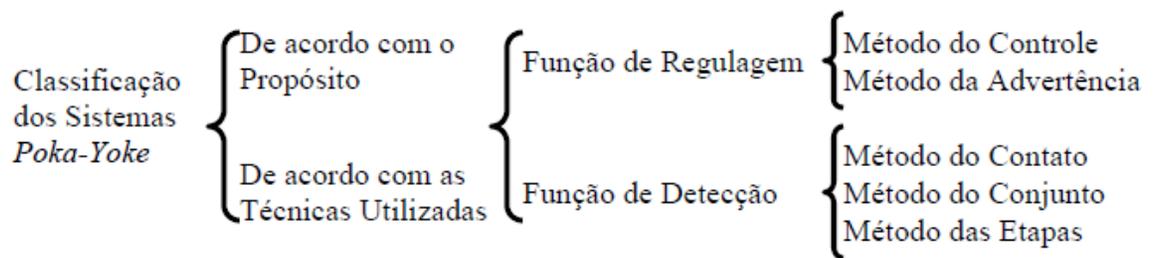
O bloqueio dos erros é facilmente realizado através dos dispositivos *poka-yoke* que são os mecanismos à prova de falhas, aplicados em regime de inspeção 100%, com a detecção de desvios na execução da operação.

Os 10 tipos mais comuns de erros em uma manufatura, de acordo com o site Beyondlean.com disponível em <<http://www.beyondlean.com/poka-yoke.html>> Acesso em 03/06/ 2011, tem-se:

1. Fora do processo: Saindo de uma ou mais etapas do processo.
2. Erros de processamento: operação de processo não realizados de acordo com os procedimentos padrão de trabalho.
3. Erro na criação da peça: Usando as ferramentas erradas ou definição de ajustes da máquina corretamente para o produto atual.
4. Peças em falta: Nem todas as partes incluídas na montagem.
5. Parte imprópria / item: peça errada está instalada no conjunto.
6. Processamento de peças erradas: peças usinadas erradas.
7. Operações de erros: Realização de uma operação de forma incorreta, tendo a revisão incorreta de um processo padrão ou folha de especificação.
8. Ajuste, medição, erros de dimensão: erros nos ajustes da máquina, medições de teste ou dimensões de uma peça vindo de um fornecedor.
9. Erros na manutenção de equipamentos ou reparação: Defeitos causados por reparos incorretos ou substituição de componentes.
10. Erro na preparação de lâminas, gabaritos, ou ferramentas: lâminas danificadas, dispositivos mal projetados, ou ferramentas erradas.

### **3.7. Tipos de *poka-yoke***

Shingo (1996) classifica os dispositivos *poka-yoke* conforme figura 7:



**Figura 7 – Classificação dos Sistemas *poka-yoke*.**  
Adaptado de Shingo (1996)

A seguir cada classe é explicada:

- Método de Controle: Quando o *Poka-yoke* é ativado, a máquina ou linha de processamento pára, de forma que o problema possa ser corrigido; é o mais poderoso porque paralisa o processo até que a condição causadora do defeito tenha sido corrigida. Exemplos: ao atingir determinado torque a ferramenta de aperto desarma;
- Método de Advertência ou Alerta: Detecta a anormalidade e sinaliza a ocorrência através de sinais sonoros ou luminosos visando alertar o operador e demais responsáveis pelo processo sem, contudo, interrompê-lo. O *Poka-yoke* de advertência permite que o processo que está gerando o defeito continue, caso os trabalhadores não atendam ao aviso. A frequência com que ocorrem os defeitos e o fato deles poderem ou não ser corrigidos, uma vez que tenham ocorrido, irá influenciar na escolha entre esses dois métodos. Defeitos mais frequentes ou impossíveis de serem corrigidos exigem um *Poka-yoke* de controle, enquanto que se a frequência de defeitos é baixa e o defeito é possível de ser corrigido é preferível um *Poka-yoke* de advertência. O *Poka-yoke* de controle é o mais eficiente na maioria dos casos e a decisão poderá passar por uma análise de prioridade de risco através do uso de ferramentas como o FMEA (*failure modes and effects analysis*) item que será abordado logo mais;
- Método do Contato: Detecta a anormalidade na forma ou dimensão através de dispositivos que se mantêm em contato com o produto; Identifica os defeitos em virtude

da existência ou não de contato entre o dispositivo e alguma característica ligada à forma ou dimensão do produto. Exemplo: tomada elétrica;

- Método do Conjunto: Utilizado em operações executadas numa seqüência de movimentos ou passos pré-estabelecidos, garantindo que nenhum dos passos seja negligenciado; Determina se um dado número de atividades previstas são executadas. No caso de um sequenciamento eletrônico tem-se o exemplo do caso estudado na linha HS quanto ao job executado para os programas de aperto de uma parafusadeira;
- Método das Etapas: Evita que o operador realize, por engano, uma etapa que não faz parte da operação. Determina se são seguidos os estágios ou operações estabelecidas por um dado procedimento. Tem-se o exemplo, na linha HS (foco do estudo deste trabalho) vários exemplos deste método das etapas, dentro do processamento da operação em um posto de trabalho. Exemplo: chave de ignição do automóvel só sai do contato se o carro estiver desligado.

Autores como Moura & Banzato (1996) ainda complementam os mecanismos de detecção separando em métodos de posicionamento (uso, contato, contagem e comparação) a fim de melhor detalhar e classificar cada tipo de *poka-yoke*.

Assim estes autores classificam os tipos de *poka-yokes* em:

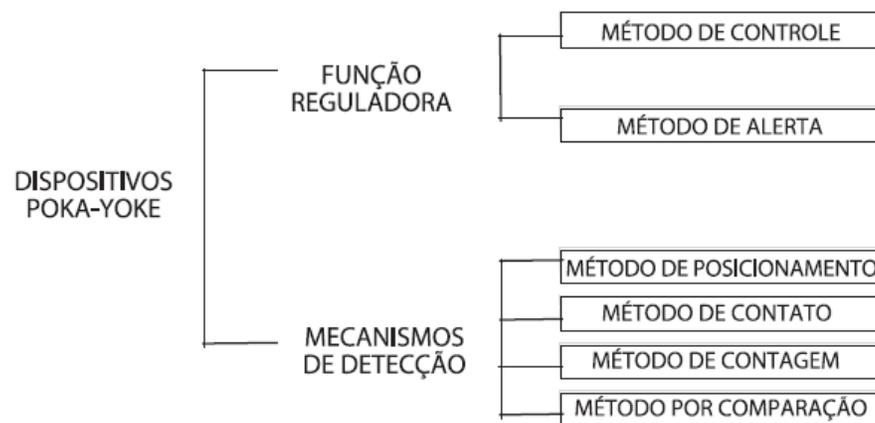
- a) método de controle: são métodos que, na ocorrência de anormalidades, paralisam o equipamento ou interrompem a operação, evitando, assim, a ocorrência ou reincidência de defeitos;
- b) método de alerta: são métodos que, na ocorrência de anormalidades, ativam sinais luminosos ou sonoros de alerta, indicando a necessidade de providências sem, contudo, paralisar o equipamento ou interromper a operação;
- c) métodos de posicionamento: elaboração de dispositivos que permitem a condução da operação somente quando do posicionamento correto do conjunto de elementos nela envolvidos, impedindo fisicamente que o conjunto seja montado de forma inadequada;

d) métodos de contato: estão baseados na liberação da condução de uma operação a partir do contato de sistemas de sensores que indicam condição adequada para operação;

e) métodos de contagem: por meio da contagem de elementos, verificam as características de conformidade do conjunto, alertando no caso de detecção de anormalidades e impedindo a continuidade da operação;

f) métodos de comparação: utilizando dispositivos que possibilitem comparação de grandezas físicas (temperatura, pressão, torque etc.), impedem a continuidade da operação quando da detecção de anormalidades.

A figura 8 esquematiza a classificação dos tipos de métodos *poka-yoke*.



**Figura 8 - Métodos de atuação dos dispositivos *poka-yoke*.**

Fonte: Moura & Banzato( 1996).

A figura 9 revela mais exemplos de aplicações de métodos *poka-yoke* (IMAM, 1988)

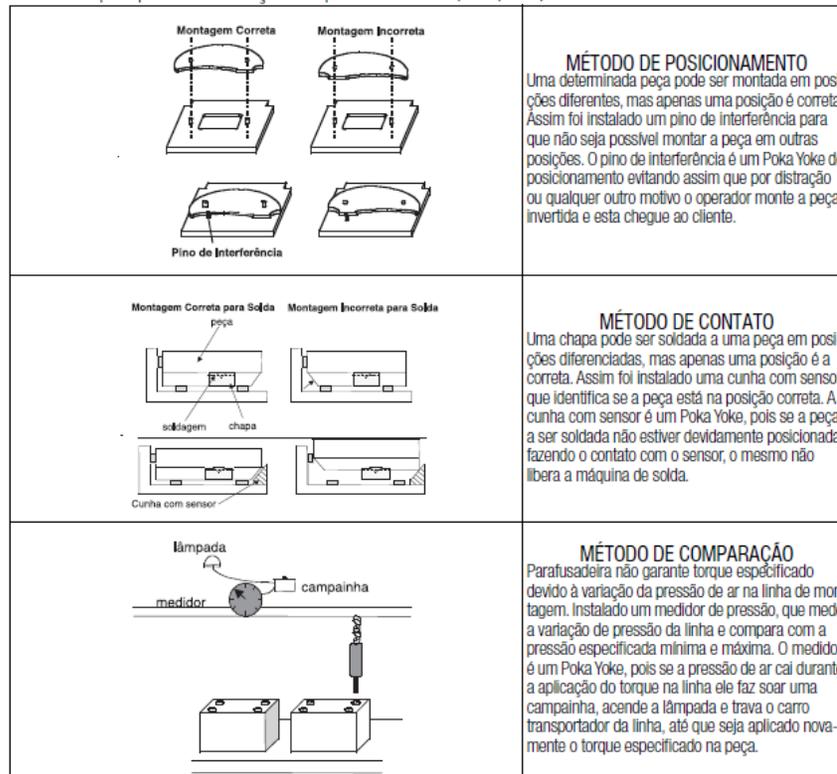


Figura 9 - Exemplos aplicativos da utilização de dispositivos *Poka-yoke* (Imam, 1998)

Feitas essas definições, uma questão que se coloca é: qual a melhor abordagem para implantar dispositivos *poka-yoke* e como definir qual método a ser usado? Além disso, qual o comportamento da força de trabalho de uma empresa frente à abordagem de mecanismos à prova de erros?

Shingo (1996) afirma que o dispositivo *Poka-yoke* em si não é um sistema de inspeção, mas um método de detectar defeitos ou erros que pode ser usado para satisfazer uma determinada função de inspeção. A inspeção é o objetivo, enquanto o *Poka-yoke* é simplesmente o método. Por exemplo, um gabarito que rejeita uma peça processada incorretamente é um *Poka-yoke* que desempenha a função de inspeção sucessiva. Porém, se detectar defeitos depois que eles ocorrerem não for a maneira mais eficaz de eliminar os defeitos naquele processo específico, um outro sistema deve ser usado.

Portanto, o primeiro passo na escolha e adoção de métodos de controle de qualidade efetivos é identificar o sistema de inspeção que melhor satisfaz as necessidades de determinado processo. O passo seguinte é identificar um método de *Poka-yoke* (controle ou advertência) que seja capaz de satisfazer a inspeção desejada. Somente depois de definido o método apropriado, deve-se considerar qual o tipo do dispositivo *Poka-yoke* (contato, controle ou etapas).

O dispositivo *poka-yoke* é um componente fundamental das práticas do Controle da Qualidade Zero Defeitos , o qual visa a eliminação total dos defeitos a partir da identificação e bloqueio de suas causas, os erros (SHINGO,1990).

Pode ser definido como a aplicação de dispositivos *poka-yoke* em regime de inspeção 100%, na fonte dos defeitos, gerando retro-alimentação e ação corretiva imediata

### **3.8. Escolha e aplicação de método *poka-yoke***

De acordo com Shimbun (1988) o primeiro passo na escolha e adoção de métodos de controle de qualidade efetivos é identificar o sistema de inspeção que melhor satisfaz as necessidades de determinado processo. O passo seguinte é identificar um método de *poka-yoke* (controle ou frequência) que seja capaz de satisfazer a inspeção desejada. Somente depois de definido o método apropriado, deve-se considerar qual o tipo do dispositivo *poka-yoke* (contato, controle ou etapas).

Como usar *Poka-yoke*, segundo de acordo com o site Beyondlean.com disponível em<<http://www.beyondlean.com/poka-yoke.html>> Acesso em 03/06/ 2011, tem-se:

1. Identificar a operação ou processo que precisa ser à prova de erro (áreas-alvo onde há elevado número de erros ou onde até mesmo os erros individuais);
2. Usar o método dos 5 Porquês ou causa e efeito de análise para chegar à raiz do problema;

3. Decidir se deve usar um controle ou método de tipo de atenção (pode haver razões técnicas ou financeiras) para resolver o problema;
4. Decidir se um método de contato, número constante ou seqüência é melhor (isso vai depender da natureza e finalidade das atividades);
5. Desenhar um *poka-yoke* apropriado;
6. Testar para ver se funciona - evitar grandes despesas antes de ter concluído esta etapa - usar *mock ups* (protótipos);
7. Depois de ter um roteiro de trabalho, garantir que tenha as ferramentas certas / checklists / *software*, etc para que o dispositivo funcione de forma consistente e correta;
8. Todos da equipe de manufatura unidos na validação;
9. Depois de ter estado em operação por um tempo (o período de tempo vai depender da frequência da atividade) medir o desempenho dos testes assegurando que erros foram eliminados;
10. Tomar todas as medidas necessárias para melhorar o método.

### **3.9. Operações Padronizadas**

Os pilares JIT e *Jidoka* estão assentados sobre uma base formada pelo *heijunka* (nivelamento da produção), operações padronizadas e kaizen (melhoria contínua). O primeiro desses elementos – a operação padronizada – pode ser definido como um método efetivo e organizado de produzir sem perdas (GHINATO apud Almeida e Souza, 2000).

A padronização das operações procura obter o máximo de produtividade através da identificação e padronização dos elementos de trabalho que agregam valor e da eliminação das perdas. O balanceamento entre os processos e a definição do nível mínimo de estoque em processamento também são objetivos da padronização das operações.

Os componentes da operação padronizada são: o *takt time*, a rotina-padrão de operações e a quantidade-padrão de inventário em processamento.

A rotina-padrão de operações é um conjunto de operações executadas por um operador em uma seqüência determinada, permitindo-lhe repetir o ciclo de forma consistente ao longo do

tempo. A determinação de uma rotina-padrão de operações evita que cada operador execute aleatoriamente os passos de um determinado processo, reduzindo as flutuações de seus respectivos tempos de ciclo e permitindo que cada rotina seja executada dentro do *takt time*, de forma a atender a demanda.

A quantidade-padrão de inventário em processamento é a mínima quantidade de peças em circulação necessária para manter o fluxo constante e nivelado de produção. Este nível pode variar de acordo com os diferentes layouts de máquina e rotinas de operações. Se a rotina de operações segue na mesma ordem do fluxo do processo, é necessário somente uma peça em processamento em cada máquina, não sendo necessário manter qualquer estoque entre as máquinas. Se a rotina é executada em direção oposta à seqüência de processamento, é necessário manter no mínimo uma peça entre as operações. No caso de motores em uma linha de montagem tem-se uma peça por vez.

Quando se trata de pessoas executando os métodos e processos, surge a relação entre times da qualidade e também muitas vezes a expressão “*empowerment*”. Esse termo significa “dar autonomia”.

Segundo Ohno (1997), a utilização de dispositivos a prova de erros permite um sentimento de retirar a responsabilidade do operador por erros na operação, já que esta função é assumida muitas vezes pelo dispositivo *poka-yoke*. Isto pode ser perigoso, uma vez que o *error proofing* vem a auxiliar o trabalho do operador e na verdade se torna um item a mais para agregar na responsabilidade deste operador já que ele deverá verificar a funcionalidade desta ferramenta antes do início de sua jornada.

*Empowerment* significa não apenas maior responsabilidade e autoridade formal pelas atividades cotidianas, mas também a “capacidade de mobilizar” os recursos internos da empresa (tempo, pessoas, ferramentas, etc.) para a solução de seus problemas cotidianos. Esta “capacidade de mobilizar” é um determinante crucial de poder. (BABSON, 1995)

Vale ressaltar que a autonomia do operador não significa poder de decisão completo, mesmo com a delegação de funções da gerência ou supervisão. Uma pessoa isolada ou dentro de

um time de trabalho inseridos em uma unidade de negócios com metas e objetivos específicos deverá subordinar suas tarefas aos gerentes, os quais tem a função maior da tomada de decisões.

### **3.10. *Kaizen* e Solução de Problemas**

Em japonês, *kaizen* significa melhoria contínua. A palavra implica melhoria que envolve todos e envolve relativamente poucas despesas. A filosofia *kaizen* assume que seu estilo de vida deve ser o foco dos esforços de melhoria contínua (Imai, 1996).

É o terceiro componente da base sobre a qual estão assentados os pilares do STP. É a melhoria incremental e contínua de uma atividade, focada na eliminação de perdas (*muda*), de forma a agregar mais valor ao produto/serviço com um mínimo de investimento. A prática do *kaizen* depende do contínuo monitoramento dos processos, através da utilização do ciclo de Deming (ciclo PDCA). Este processo desenvolve-se a partir da padronização da melhor solução e subsequente melhoria deste padrão, garantindo que os pequenos e incrementais ganhos sejam incorporados às práticas operacionais.

A prática do *kaizen* depende do contínuo monitoramento dos processos, através da utilização do ciclo de Deming (ciclo PDCA). Neste sentido a análise dos processos é relevante para a manutenção e melhoria dos mesmos, contemplando inclusive o planejamento, padronização e a documentação destes.

O Método de Identificação, Análise e Solução de Problemas (MIASP) é uma forma de descrição mais detalhada do ciclo de Shewart, também conhecido como ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act), conforme apresentado na figura 12.

O uso do PDCA pode ser assim descrito:

P (*Plan* = Planejar): Definir o objetivo, planejar o que será feito, estabelecer metas e definir os métodos que permitirão atingir as metas propostas.

D (*Do* = Executar): Tomar iniciativa, treinar, implementar, executar o planejado conforme as metas e métodos definidos.

C (*Check* = Verificar): Verificar os resultados que se está obtendo, verificar continuamente os trabalhos para ver se estão sendo executados conforme planejado.

A (*Action* = Agir): Fazer correções de rotas se for necessário, tomar ações corretivas ou de melhoria, caso tenha sido constatada na fase anterior a necessidade de corrigir ou melhorar processos.

A figura 10 representa o MIASP, Campos (1998), integrando a abordagem de métodos *poka-yoke*, adaptado por Correia & Ghinato (2001).

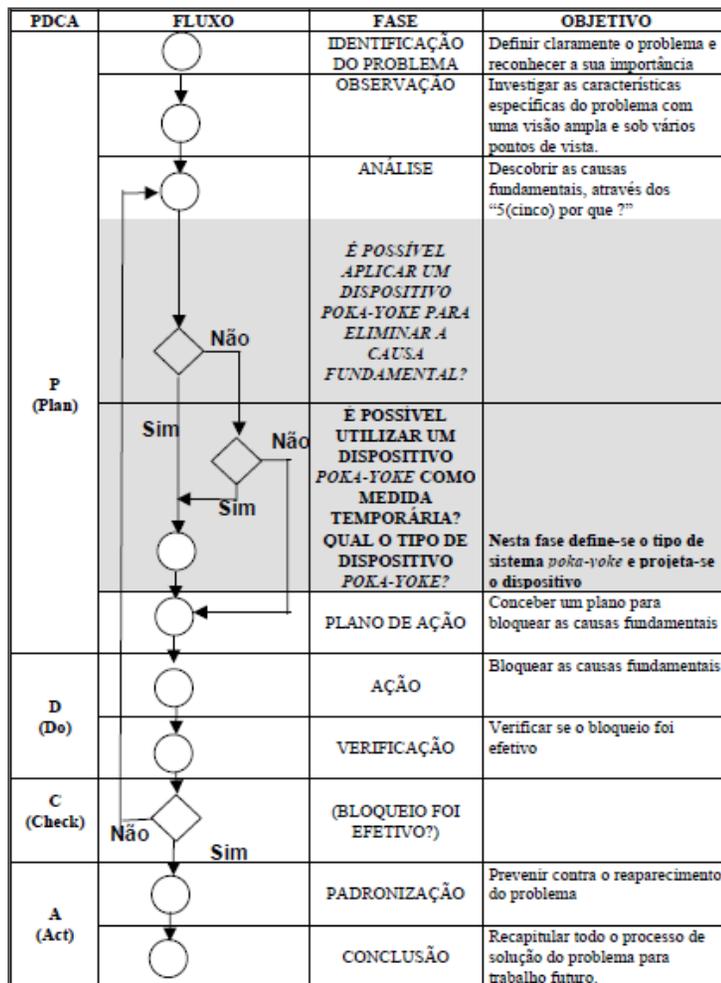


Figura 10 – Fluxograma do MIASP adaptado com uso de *poka-yoke*.  
Fonte: Correia & Ghinato, 2001.

É possível melhorar a aplicação do Método de Identificação, Análise e Solução de Problemas (MIASP) com o uso de sistemas *poka-yoke* como instrumentos de controle da qualidade.

Depois de um problema é selecionado, contido, corrigido e impedido, o objetivo seguinte é não deixá-lo recorrente. Através do uso de métodos *poka-yoke* os esforços e soluções que são descobertos na resolução de problemas podem ser institucionalizados.

O *Kaizen* tem como principal objetivo a constante busca de reduções de custo em todas as etapas da manufatura para ajudar a eliminar qualquer diferença entre os lucros-alvo (lucros orçados) e os lucros estimados. (MONDEN, 1999).

A “estabilidade” dos processos é a base de todo o Sistema Toyota de Produção. Somente processos capazes, sob controle e estáveis podem ser padronizados de forma a garantir a produção de itens livres de defeitos (resultante do pilar *Jidoka*), na quantidade e momento certo (resultantes do pilar JIT).

A melhoria do processo de manufatura deve continuamente estar focada no controle e redução da variação das características de produto e parâmetros de processo assim como melhoria contínua é implementada sobre processos de manufatura estáveis. (ISO/ISO/ISO/TS 16949:2009:2009).

A estabilidade dos processos é um pré-requisito para a implementação do STP. O planejamento da produção e das próprias ações de melhoria só pode ser executado em um ambiente sob controle e previsível. O processo de identificação da *muda* ao longo da cadeia de valor deve ser conduzido em condições estáveis, caso contrário o que se verifica não é solução de problemas de forma sistemática, mas a prática de “apagar incêndio”.

Araújo & Rentes (2006) definem *Kaizen* como sendo esforços de melhoria contínua, executados por todos dentro da corporação, sendo que o seu foco central é a busca pela eliminação dos desperdícios. Já a definição de um Evento *Kaizen* pode ser compreendida como sendo um time dedicado a uma rápida implantação de um método ou ferramenta da manufatura enxuta, em uma área em particular e em um curto período de tempo.

De acordo com Rother & Shook (1999, apud Araújo e Rentes, 2006) há dois níveis de *kaizen*:

- *Kaizen* de fluxo: ou de sistema, que enfoca no fluxo de valor, dirigido ao gerenciamento;
- *Kaizen* de processo: que enfoca em processos individuais, dirigido às equipes de trabalho e líderes de equipe.

O *kaizen* também é um processo de resolução de problemas, pois exige o uso de várias ferramentas de solução de problemas. O melhoramento atinge novos níveis, a cada problema resolvido. No entanto, para consolidar o novo nível, o melhoramento deve ser padronizado.

Quando relacionado à aplicação de mapeamento do fluxo de valor, o *kaizen* tem como objetivo identificar os focos de desperdícios e definir a melhor ferramenta para suportar um trabalho para a sua eliminação. Os projetos de *kaizen* normalmente se manifestam em forma de sugestões. Portanto, a atenção e a receptividade da administração para com o sistema de sugestões são essenciais, se desejar ter “operários pensantes”, que procurem por maneiras melhores de realizar o seu serviço. Dessa forma, a administração deve implantar um plano bem projetado, para assegurar que o sistema de sugestões seja dinâmico. Esses sistemas de sugestões estão em operação na maioria das grandes empresas de manufatura e em cerca da metade das pequenas e médias empresas.

Segundo a Associação Japonesa de Relações Humanas, os principais temas das sugestões, nesse sistema das empresas japonesas, são:

- Melhoramentos no próprio trabalho;
- Economia de energia, de materiais, e outros recursos;
- Melhoramentos no ambiente de trabalho;
- Melhoramentos nas máquinas e processos;
- Melhoramentos nos dispositivos e ferramentas;
- Melhoramentos no trabalho de escritório;
- Melhoramentos na qualidade do produto;
- Idéias de novos produtos;
- Serviços e relações com o consumidor.

O *Kaizen* é a melhoria estável, que permitirá lançar o processo no próximo nível, só podendo ser alcançada a partir de processos padronizados.

### **3.11. TI e poka-yoke**

Na atualidade a eletrônica vem conquistando um papel de destaque com relação a sistemas, subsistemas, rotinas e aparatos de *error-proofing*, muitas vezes também como medidas de verificação de funcionamento e validação de *poka-yokes* mecânicos. Contudo, *poka-yokes* mecânicos que tem sua origem no projeto do produto montado, em uma linha de montagem continuam sendo os mais importantes, pois dispensam, na origem, os custos de desenvolvimentos de processos sofisticados para garantia da qualidade (HAYES, et al, 2008)

De acordo com Souza (2003) com as mudanças de paradigmas dos últimos anos e o avanço tecnológico, as organizações acabam por adotar novas filosofias para enfrentarem seus problemas com a diferença que cada vez mais atrelam ao uso das mesmas plataformas computacionais para prover organização, documentação e controle dos fluxos de tarefas dentro de um processo, possibilita uma visão global e dinâmica de toda a empresa.

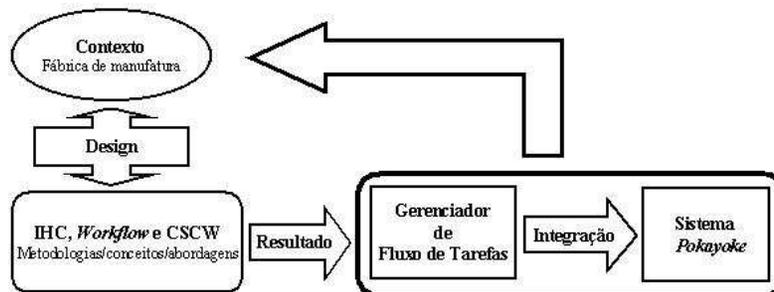
A autora revela um método de controle de processos, baseada em métodos *poka-yoke* e fazendo uso da tecnologia *Workflow*, para dar suporte ao trabalho cooperativo relacionado e baseado em processos. O novo paradigma de trabalho cooperativo baseado em processos envolve um conjunto de tarefas voltadas a um objetivo comum.

Na sua abordagem para *design* de um gerenciador de fluxo de tarefas para um sistema de resolução de problemas no contexto de manufatura, bem como para lidar com o impacto que estes sistemas causam nas organizações, é usado o conceito de *Computer Suported Cooperative Work (CSCW)* e de IHC Interação Humano-Computador (IHC) fundamentando o suporte a grupos de usuários em trabalho colaborativo. A tecnologia *Workflow* foi utilizada visando proporcionar o controle e a documentação dos processos no sistema *Poka-yoke*, agilizando e tornando o processo de resolução de problemas mais eficiente, o sistema foi batizado de *Poka-yoke-Flow*.

O significado básico do termo "Workflow" é, segundo a autora, uma área da computação, cujo interesse está no fornecimento de ferramentas, tecnologias e protocolos que auxiliem o usuário a executar o seu trabalho, como também pode ser definido como uma coleção de tarefas organizadas para realizar um processo de negócio, onde as tarefas podem ser executadas por um ou mais sistemas de computador, por um ou mais agentes humanos, ou então por uma combinação dos mesmos visando um objetivo comum.

O interessante é o uso da tecnologia, que permite analisar, modelar, implementar e revisar os processos de trabalho administrativos e inseridos dentro de um processo de manufatura.

Conforme ilustrado na figura 11, pode-se visualizar a forma para suprir as necessidades do sistema e tratar a problemática envolvida.



**Figura 11 – Esquema do Gerenciador de Fluxo de Tarefas e integração com *poka-yoke*.**  
 Fonte: Souza (2003)

Em síntese, o propósito do trabalho foi utilizar uma nova abordagem para dar suporte ao *design* de um gerenciador de fluxos de tarefas e integrá-lo ao sistema *poka-yoke*.

### 3.12. Ambiente de manufatura

Assim como Liker (2005) defende que o sucesso do Sistema Toyota de Produção está na integração sistemática dos seus 14 princípios, das suas ferramentas as quais sustentam a “casa” do

STP e da cultura de aprendizagem que perfaz a marca desta empresa desde toda a sua história, assim também a AIAG (*Automotive Industry Action Group*) por meio dos seus manuais como o CQI-18 (*Continuous Quality Improvement - Effective Error Proofing*) defende que o principal objetivo é a compreensão não só da técnica, dos usos e dos tipos de dispositivos a prova de erros mas sim o atingimento do “zero defeito” através de uma abordagem de cultura organizacional baseada em autonomia e solução de problemas na busca de redução dos desperdícios. Entende-se que os dispositivos *poka-yokes* são soluções dentro de muitas ações quando se procede à análise e soluções de problemas (CQI -10).

Os benefícios das aplicações de técnicas de *poka-yoke* e filosofia *kaizen* vão além das características de crescimento em eficiência, custo e qualidade passando também pelos quesitos de “*empowerment*” da mão-de-obra, do aumento da satisfação do funcionário e da construção de um senso de comprometimento e orgulho pelo trabalho do operador, conforme Erlandson, et. al (1998) em artigo a respeito do uso dessas técnicas para criar oportunidades de trabalho para pessoas com deficiência cognitiva através da redução da demanda das tarefas e aumento da acessibilidade das mesmas em uma montagem de grampos em sistema de combustível. O autor relata que no seu experimento obteve 80% de melhora na produtividade e uma redução no percentual de erros de 52% para 1% após a intervenção por error-proofing e que a melhoria foi estendida a todos os trabalhadores, não somente aos com deficiência cognitiva. Entende-se que com isso pode-se inclusive facilitar o treinamento de operadores novos na função sem correr riscos tão elevados quanto à qualidade do produto final.

A necessidade do desenvolvimento de metodologias que promovam a melhoria do desempenho dos processos de manufatura há muito tem sido colocada como uma das principais prioridades de muitas organizações.

Recursos humanos e financeiros têm sido crescentemente empregados na busca de soluções que permitam aos sistemas de manufatura produzir a custos menores com maiores níveis de qualidade, podendo estar associado a diferentes dimensões de controle de um produto.

Malhotra et al. (1994), apud Calarge e Davanso, (2004), em um estudo detalhado, identificaram e classificaram aspectos de manufatura que empresários e acadêmicos americanos julgavam da maior importância e relevância para serem abordados durante a década dos anos 90,

com a finalidade de estabelecer bases para que as empresas pudessem adquirir competências para a disputa em mercados globalizados. O estudo foi conduzido tomando por base a metodologia Delphi (Turoff & Hiltz, 1998), que reuniu 86 vice-presidentes de empresas americanas com faturamento acima de 50 milhões de dólares anuais. O estudo teve duração de um ano, objetivando ressaltar, entre o público pesquisado, os maiores pontos a favor e contra as questões elencadas.

Este trabalho relacionou quais eram os aspectos estratégicos de maior importância para os pesquisados, bem como quais táticas poderiam contemplar as estratégias relacionadas. Uma importante observação é que aspectos relacionados à gestão e ao controle da qualidade foram listados como estratégias e táticas de maior prioridade a serem abordadas devendo estar pautada em melhorias contínuas no ambiente de manufatura e se caracterizando como uma importante fonte de vantagem competitiva para as organizações. Quanto aos aspectos táticos, o controle da qualidade é relacionado como o de maior prioridade direcionado para a diminuição de perdas e de retrabalhos, estabilização de processos produtivos e satisfação das necessidades dos clientes, sejam internos ou externos à organização.

Essa situação denota a importância assumida pelos ambientes de manufatura no combate às fontes de desperdício, tendo como foco a totalidade do fluxo produtivo e não apenas as operações tomadas individualmente. Nessa abordagem, Zimmer (2000) esclarece que o processo de melhorias no ambiente da manufatura poderia se dar das seguintes formas:

- Melhorias conduzidas nas operações de manufatura, com ênfase na redução de perdas por meio de uma análise detalhada de suas causas (equipamento, mão-de-obra, materiais, métodos etc.), identificando-as e resolvendo-as em suas raízes através de algum método de análise e solução de problemas;
- Melhorias conduzidas no processo de manufatura, com a eliminação de inspeções e do retrabalho através da garantia na fonte da qualidade. Isso seria atingido determinando-se os parâmetros de manufatura que são responsáveis pela produção de peças em conformidade, e monitorando e ajustando rigorosamente cada operação, no sentido de atingir esses parâmetros de manufatura e por quê não, com emprego da informática.

Em ambas as situações, deve-se aliar um programa de prevenção de erros em cada etapa do processo de manufatura, envolvendo equipamentos e estações de trabalho, desenvolvendo dispositivos e procedimentos que garantam que as peças só sejam produzidas em conformidade com as especificações requeridas. Uma das maneiras de se conduzir uma metodologia de prevenção de erros na fonte do processo é através da utilização de dispositivos *Poka-yoke*, cuja conceituação, classificação e aplicações serão descritas a seguir.

### **3.13. Abordagem de Prevenção de erros pelo uso de dispositivos *poka-yoke***

O erro humano tem sido uma grande preocupação no ambiente de manufatura e nos sistemas produtivos em geral, pois engloba aspectos que vão desde a concepção desses sistemas até a sua operação. Uma análise dos últimos 30 anos mostra que, nos sistemas aeroespaciais, tem-se uma porcentagem de falhas creditadas ao erro humano que varia de 50 a 75% do total de falhas verificadas. De certa maneira, o que se tem constatado com freqüência é que a maior parte dos estudos visando à confiabilidade de sistemas tem se pautado na análise de máquinas e seus componentes, preterindo a influência do homem, que tem significativa importância dentro do sistema produtivo (Imam, 1998).

A confiabilidade humana envolve a probabilidade de que uma tarefa, ou um serviço, seja feito com sucesso dentro do tempo reservado para o mesmo. A figura a seguir ilustra o impacto do erro humano sobre a falha do sistema durante o ciclo de vida de um dado produto. Pode-se verificar que os erros de montagem, depois de um certo tempo, diminuem muito e, eventualmente, podem atingir uma taxa constante. O mesmo acontece com os erros devidos à manutenção, com exceção do que ocorre em sua fase inicial, quando existe uma probabilidade maior de quebra de equipamento, provocando mais trabalho e maior possibilidade de erro. Juran & Frang (1992) classificam os erros humanos segundo as seguintes definições:

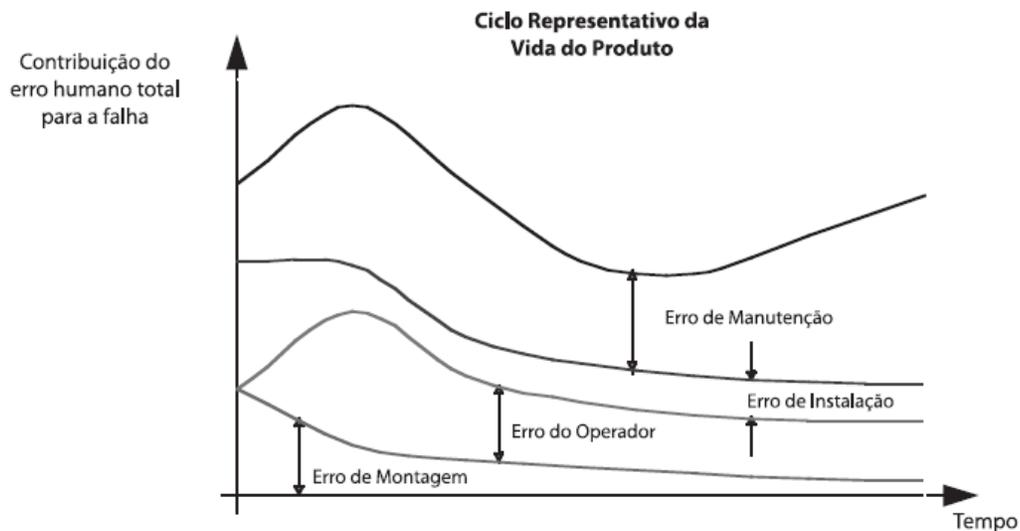
a) Erros por inadvertência: são aqueles que, no momento em que são cometidos, não são percebidos, podendo ser divididos em: não intencionais, inconscientes e imprevisíveis. As

soluções para esses tipos de erros por inadvertências envolvem, basicamente, concentração na execução das tarefas e redução de extensão da dependência humana;

b) Erros técnicos: podem envolver várias categorias de erros relacionados, fundamentalmente, à falta de aptidão, habilidade e conhecimento para a execução de determinada tarefa, podendo ser divididos em: não intencionais, específicos, conscientes e inevitáveis. As soluções para eles envolvem, basicamente, treinamento, mudança tecnológica e melhorias no processo;

c) Erros premeditados: podem assumir diversas formas, estando relacionados, basicamente, a questões de responsabilidade e comunicação confusas, podendo ser divididos em: conscientes, intencionais e persistentes. Algumas possíveis soluções para esse tipo de erro premeditado estariam relacionadas à delegação de responsabilidades e à melhoria de comunicação interpessoal.

Assim, reconhecendo o erro como inevitável dentro da natureza humana, torna-se importante adotar uma abordagem que previna a sua ocorrência, impedindo que ele venha a se manifestar na forma de defeito. O gráfico da figura 12 mostra essa comparação.



**Figura 12 - Confiabilidade humana: contribuição proporcional das diferentes espécies de erro humano para a falha do sistema.**

Fonte: Iman (1998).

A principal forma de organização da força de trabalho nessa empresa se dá através da formação de times de trabalho (Golbarg, 1995), que têm como característica principal o agrupamento por linhas de produto, envolvendo, assim, pessoas de diferentes áreas, mas comprometidas com uma mesma linha de produtos.

Na área de produção, os operadores são alocados aos times de trabalho de acordo com as linhas de produção em que atuam, possuindo responsabilidades também sobre aspectos que envolvam itens de qualidade, segurança e manutenção.

Esses times de trabalho são os responsáveis por gerar a necessidade de instalação de um dispositivo *poka-yoke*, derivando a necessidade dos seguintes aspectos principais:

- Enfoque de melhoria contínua, conduzido principalmente por abordagens de análise e solução de problemas (MASP) e modo de análise e prevenção de falhas no processo (PFMEA);
- Enfoque de prevenção e redução de riscos de trabalho.

Na condução dos trabalhos de implantação de um dispositivo *poka-yoke*, é designado um responsável do time de trabalho, que, com o apoio da equipe, dá andamento ao plano de implementação do dispositivo, promovendo reuniões para a condução de processos de *brainstorm*, elaboração de diagramas causa-efeito, análise de dados operacionais de equipamentos, análise de dados de perdas e retrabalhos do produto.

É importante ressaltar um processo de aceitação e validação para cada dispositivo *poka-yoke* que envolve, também, a definição de responsabilidades no acompanhamento da eficácia do dispositivo proposto, mantendo uma verificação diária, ou ainda em frequência menor, a fim de garantir que o *poka-yoke* esteja em correto funcionamento. O time de trabalho juntamente com o engenheiro de processo é responsável pelo desenvolvimento, instalação e validação do dispositivo; a engenharia da qualidade deve controlar a codificação e preencher os registros de controle de dispositivos e a engenharia de manufatura deve atualizar a documentação do Plano de Controle da Qualidade (requisitos da norma ISO/TS 16949:2009; constante em manual do APQP detalhando Plano de Controle, 4ª edição, 2008 da AIAG), Instruções de Processo e PFMEA (documentos também tratados no item 7 da norma ISO/TS 16949:2009).

Segundo Calarge e Davanso (2004) e também baseado na experiência em empresas do ramo automotivo a análise e a experiência no acompanhamento da implantação de dispositivos *poka-yoke* em empresas do setor automotivo mostra pontos importantes que devem ser observados e seguidos para se obter sucesso na aplicação desses dispositivos à prova de falhas na busca do zero defeito. Alguns pontos verificados de maior relevância são a questão do treinamento, eficácia dos treinamentos e se o problema a ser abordado é possível de ser resolvido apenas com treinamento. Em algumas situações o funcionamento do dispositivo tira do operador a incumbência de verificar pequenos detalhes que podem passar despercebidos em operações de caráter muito repetitivo, onde se manifesta fundamental o seu uso. A questão do comprometimento e motivação sendo crucial o apoio dos níveis gerenciais na condução dos trabalhos, pois quanto maior o comprometimento existente por parte da gerência, maior o envolvimento e a motivação das equipes. Neste aspecto, também é importante a motivação individual e do time de trabalho. A questão da mudança de postos de trabalho: a rotatividade no desempenho de tarefas, colocada como um ponto importante na formação de mão-de-obra multifuncional e polivalente deve ser analisada com certa restrição, principalmente quando se trata de operações que requeiram habilidade e qualificação específicas. Nesses casos, o tempo e o treinamento requeridos para uma interação adequada com o equipamento e os dispositivos *poka-yoke* instalados podem não prescindir da experiência e da familiarização com os mesmos. A questão dos recursos financeiros: alguns aspectos que envolvem recursos financeiros destinados à implantação de dispositivos *poka-yoke* são vitais para a viabilidade de execução da proposta, tanto custos relativos à implantação; vida útil estimada do produto ou da linha de produção onde o dispositivo será instalado; taxa esperada do retorno do investimento efetuado na implantação; e eficácia do dispositivo comparativamente à taxa de não-conformidades esperada ou permitida.

Um dos fatores que permitiu aos dispositivos *poka-yoke* – idealizados e introduzidos inicialmente no âmbito das empresas japonesas – se difundirem mundialmente foi a busca de menores indicadores de retrabalho e perdas de materiais, tendo como meta o nível de zero defeito. Outro importante aspecto verificado no estudo de caso foi que a implantação de dispositivos *poka-yoke* caminhou junto com esforços da empresa para envolver os funcionários nas mudanças e no aperfeiçoamento dos processos produtivos, fazendo com que eles se sentissem integrados e comprometidos com os objetivos e estratégias da organização.

A possibilidade e a liberdade de os funcionários exporem suas idéias e o seu envolvimento na análise e solução de problemas permitiram eliminar a sensação de culpa e de frustração quando um erro é cometido, possibilitando que aumentasse a iniciativa dos funcionários em propor melhorias e inovações nos processos produtivos.

Com a diminuição da tensão resultante do receio de erros e com processos mais uniformes e estáveis, os operários podem se concentrar em idealizar inovações que tragam melhorias contínuas ao processo e ao produto e fiquem comprometidos com a importância do uso e do aperfeiçoamento dos dispositivos *poka-yoke*.

### **3.14. FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*)**

A sigla FMEA é o acrônimo de “*Failure Mode and Effects Analysis*”, em português “Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial”. Um FMEA pode ser descrito como um grupo sistemático de atividades com o objetivo de:

- a) Reconhecer e avaliar falhas que podem acontecer em um produto ou processo, seus efeitos e suas causas;
- b) Identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance da falha potencial ocorrer e
- c) Documentar o processo.

O FMEA serve para identificar os riscos envolvidos em projetos ou processos, definindo um número que expressa a gravidade deste risco. Desta forma a empresa pode priorizar os riscos mais graves e investir de forma mais eficiente na melhoria do processo, minimizando ou até mesmo eliminando-os.

Segundo o manual de referência de 4ª edição da AIAG (*Automotive Industry Action Group*) o FMEA é uma metodologia analítica utilizada para assegurar que os problemas potenciais tenham sido considerados e abordados ao longo de todo processo de desenvolvimento de produtos e processos (APQP – Planejamento Avançado da Qualidade do Produto). O resultado mais visível é a documentação de conhecimento coletivo das equipes multifuncionais. É uma

ferramenta essencialmente preventiva. FMEA são parte integrante da gestão de risco e do suporte à melhoria contínua.

A análise dos modos e efeitos de falha (FMEA) é uma ferramenta poderosa usada no desenvolvimento de produto e na gestão de operações para medir o risco de falha potencial dentro de um sistema de classificação de gravidade e probabilidade de falhas. Uma atividade bem sucedida FMEA ajuda de uma equipe para identificar modos de falha potenciais com base em experiências anteriores com produtos ou processos similares, permitindo a equipe para projetar as falhas do sistema com o mínimo de esforço e dispêndio de recursos, reduzindo tempo e custos de desenvolvimento. É amplamente utilizado nas indústrias em diferentes fases do ciclo de vida do produto e agora está encontrando cada vez mais utilizadas na indústria de serviços. Disponível em [http://www.en.wikipedia.org/wiki/Failure\\_mode\\_and\\_effects\\_analysis](http://www.en.wikipedia.org/wiki/Failure_mode_and_effects_analysis). Acesso em 01/06/2011.

### **3.15. Histórico de utilização do FMEA**

A primeira metodologia para análise de falhas e equipamentos foi empregada Forças Armadas dos EUA, em 1949 com procedimentos para realização de FMECA (Modo de Falha, Efeitos e Análise da Criticidade) com revisão dos documentos em 1980. Mais tarde, foi utilizado para desenvolvimento do foguete aeroespacial, a partir de protótipos, e como exemplo disso tem-se o programa espacial Apollo. Logo após, com uso das técnicas de HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point) também foi aplicado como prevenção de riscos em indústria de alimentos e farmacêutica. O impulso principal veio na década de 1960, desenvolvendo os meios para por o homem na Lua e retorná-lo com segurança à Terra. No final dos anos 1970 a Ford Motor Company introduziu a metodologia na indústria automotiva para segurança e análise de regulamentação, aplicando a mesma abordagem para os processos (PFMEA) considerando eventual processo induzido a falhas antes de lançar à fase de produção.

Embora inicialmente desenvolvido pelos militares, a metodologia FMEA é agora amplamente utilizada em uma variedade de indústrias além da automotiva, incluindo processamento de semicondutores, serviços de alimentação, plásticos, *software* e serviços de

saúde. Ele é integrado ao *Automotive Industry Action Group* ( AIAG) e *Advanced Product Quality Planning* (APQP) processo de prestação de mitigação de risco, tanto em fases de desenvolvimento de produto e processo. Em 1994 a SAE (*Society of Automotive ers*) publicou a norma SAE J1739, que define a forma como o FMEA deve ser realizado. O FMEA foi disseminado na indústria automotiva com o surgimento do sistema de requisitos da Qualidade QS9000, criada pela Ford, GM e Chrysler. Em 2006 a QS9000 foi substituída pela ISO/ISO/TS 16949:2009, o que tornou a FMEA passível de auditoria.

A ISO/ISO/TS 16949:2009 é uma especificação técnica que combina os atuais requisitos mundiais da indústria automotiva (VDA 6.1 – Alemanha, QS-9000 – EUA, EAQF – França e AVSQ – Itália) para sistemas de Gestão da Qualidade. Esta especificação técnica foi elaborada com base na ISO 9001:2000, sendo cada elemento suplementado com requisitos específicos para a indústria automotiva. O objetivo da ISO/ISO/TS 16949:2009 é definir os requisitos fundamentais de qualidade dos fornecedores, internos ou externos, de peças, serviços e materiais, proporcionando melhoramento contínuo e enfatizando prevenção de defeitos, redução de variações, diminuição de refugo e redução de custos. Portanto a ISO/ISO/TS 16949:2009 é dirigida para garantir a qualidade mais alta possível com o menor aumento de custos que não agregam valor ao produto, homogeneizando os requisitos específicos das indústrias automotivas e dividindo por toda a cadeia produtiva a responsabilidade sobre a documentação e garantia da qualidade.

Cada causa potencial deve ser considerada para o seu efeito sobre o produto ou processo e, com base no risco, as ações são determinadas e os riscos revisados após a conclusão das ações. A Toyota Motor Company tomou um passo adiante com a bordagem do seu *Design Review* Baseado no Modo de Falha (DRBFM). O método é suportado pela American Society for Quality que fornece guias detalhados da metodologia.

### **3.16. Princípios Fundamentais do FMEA**

O FMEA se apóia em 5 princípios fundamentais:

1. Apoio integral da Gerência

2. Abordagem de equipe multifuncional Nas reuniões de criação ou modificação devem estar presentes funcionários da engenharia de produto, qualidade, produção (operadores das máquinas) e direção, pois cada área da empresa possui informações necessárias para o estabelecimento de um FMEA. Reclamações de clientes, problemas de produção e de qualidade e alterações de processos devem ser realimentados no documento, criando novas versões. A idéia é que essas reuniões de FMEA sejam suficientemente frequentes, possibilitando tanto a criação de novos FMEA como a revisão e modificação periódica dos documentos existentes além da geração de um ranking de prioridade para atacar as ações principais.
3. Relação de causa e efeito
4. Requisitos do cliente
5. FMEA como ferramenta “viva”: melhoria contínua.

Segundo Castilho (2003) a análise do FMEA consiste em formar uma equipe para encontrar as funções do produto ou processo através de sessões de “*brainstorming*”, opinião de especialistas e outras técnicas, e, em seguida, avaliar os modos de falha potenciais, seus efeitos e suas causas.

### **3.17. Tipos de FMEA**

A abordagem do FMEA, segundo procedimento DW000Q23 da Navistar *Group* (2008), define um método analítico disciplinado que se aplica as ferramentas de solução de problema para avaliar a probabilidade de falha, assim como os efeitos destas falhas para as atividades de desenvolvimento do projeto ou do processo. Os benefícios de se usar uma abordagem FMEA são muitos e incluem:

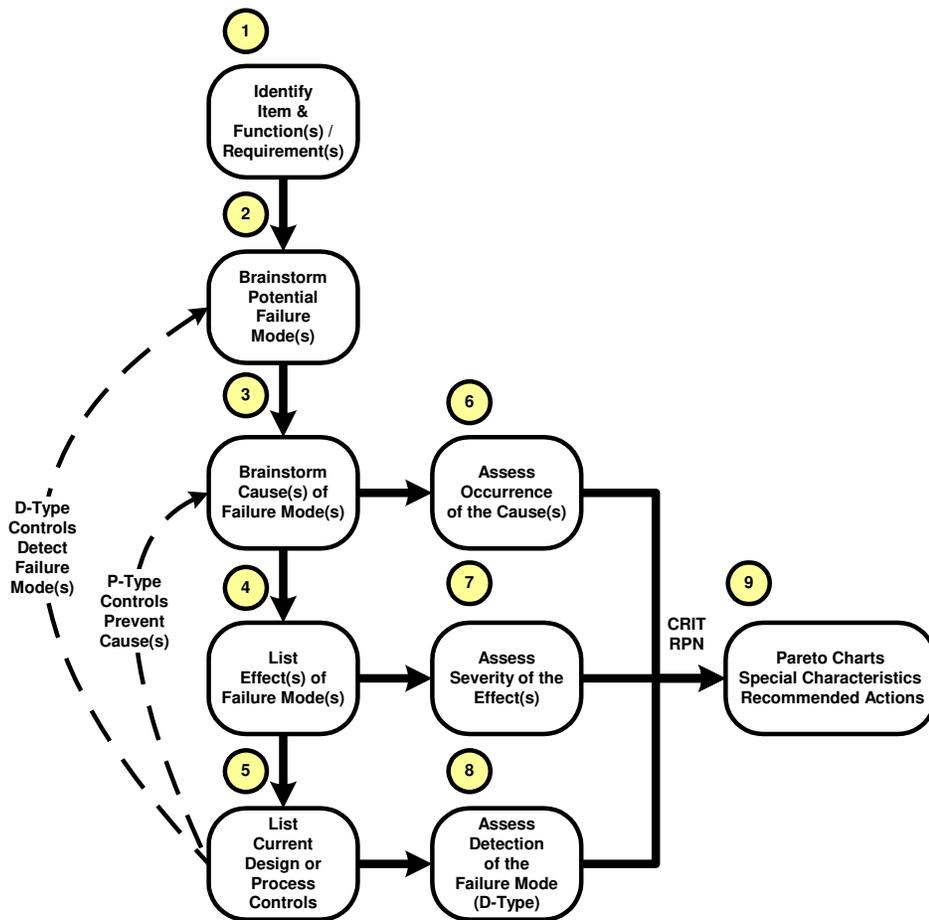
- Melhoria da qualidade, produtividade, confiabilidade, e segurança do produto.
- Aumento da satisfação do cliente
- Redução da garantia e campanhas de recall.
- Redução do ciclo de tempo do projeto e desenvolvimento do produto e o custo do programa.

- Melhoria da imagem do produto e da competitividade.
- Atividade de redução do risco documentada e gerenciada.
- Alimentar formalmente as lições aprendidas.

Três etapas básicas para abordagem FMEA:

1. Avaliar Risco – identificar modos de falha potencial, a severidade de seus efeitos e a probabilidade de ocorrência.
2. Estabelecer Prioridades – classificar os modos de falha potencial de sistema, projeto e processo com gráficos de Pareto e critério de característica especial.
3. Tomar Ação - implementar mudanças de projeto e/ou processo para eliminar preocupações de produto/serviço, e para minimizar a probabilidade de que essas preocupações atinjam o cliente final.

A abordagem global do FMEA é apresentada na figura 13.



**Figura 13 - A abordagem global do FMEA.**  
 Fonte: Procedimento DW000Q23 da Navistar Group (2008)

**Tipos de FMEA:**

FMEA de Conceito: FMEA de conceito são usados para avaliar conceitos de projeto de um sistema, subsistema e níveis de componente. É ainda usado para avaliar conceitos de processo na fabricação, montagem e fornecedores. FMEA de conceito se diferem do padrão dos FMEA de projeto e processo, porque equipamentos ainda não foram definidos. Como resultado, nenhuma avaliação de Característica Especial é realizada pelos FMEA de conceito. O foco primário de um FMEA de conceito é para identificar modos de falha potencial causado por interações;

FMEA de Sistema, Projeto e Processo (FMEA pós-conceitos): Existem três tipos de FMEA pós-conceito; sistema, projeto, processo.

- FMEA de Sistema: Assegurar que todas as interfaces e interações são abordadas dentre os vários subsistemas (&componentes) dentro do sistema (&subsistema), assim como as interfaces com outros produtos, no caso, motores/ sistemas de veículos e consumidor;
- FMEA de Projeto: Abordar modos de falha potencial do produto devido a deficiências do projeto;
- FMEA de Processo: Abordar modos de falha potencial da produção causadas por deficiências do processo.

O processo de um FMEA de Sistema geralmente é o mesmo do desenvolvimento de outros FMEA. As principais diferenças entre FMEA em nível de sistema e outros tipos de FMEA estão no foco nas funções e relacionamentos que são únicos para o sistema como um todo (ou seja, não existem níveis inferiores). O FMEA em nível de Sistema inclui modos de falha associados a interfaces e interações, adicionalmente a considerar falhas de pontos individuais, as quais são o foco primário dos FMEA em nível de produto, por exemplo. No caso deste trabalho, o FMEA desenvolvido foi o de processo, aplicado às funções que o sistema de controle e rastreabilidade deveria desempenhar para tornar o processo de montagem um verdadeiro *poka-yoke* de montagem.

### **3.18. Etapas de realização de um FMEA**

1ª etapa: Identificar os riscos

Primeiro deve-se identificar as funções da peça, seus requisitos e especificações. A partir dos dados de entrada (desenhos, fluxos de processo, requisitos de funcionamento, requisitos específicos do cliente e quem é o cliente). Relacionar todos os modos de falhas que possam ocorrer em cada etapa. Um modo de falha é um não atendimento ao requisito. Somente devem ser considerados modos de falha do processo sendo estudado.

Exemplos de Requisitos para PFMEA:

- Aquecer até 950 °C;
- Usinar espessura 8,5 mm;
- Facear com rugosidade Ra 3,2;
- Paralelismo 0,12 mm;
- Montar 4 parafusos na seqüência especificada;
- Compactar molde em areia verde.

Exemplos de Modos de falha para PFMEA:

- Temperatura abaixo do especificado;
- Espessura fora do especificado;
- Rugosidade acima do especificado;
- Arestas com rebarba, furo fora de posição, diâmetro maior que especificado, contaminado, danificado;
- Montar parafusos fora da seqüência especificada;
- Permeabilidade da areia abaixo do especificado.

Para cada modo de falha encontrado, deve-se relacionar as possíveis causas para a sua respectiva ocorrência e os possíveis efeitos para o cliente. Neste ponto é necessário ter a compreensão de quais são os clientes envolvidos. O cliente externo é quem vai utilizar o produto (o motorista do carro se o FMEA é de um cilindro de freio, por exemplo). Como clientes internos tem-se as próximas operações do fluxograma de processo. O cliente interno da usinagem é a montagem, o cliente interno da operação 40 é a operação 30 e assim por diante.

Identificar a causa do modo de falha é achar o “responsável”: se o modo de falha de um processo de usinagem for “dimensão fora do especificado”, uma possível causa seria “fixação incorreta ou inadequada”. Nesta etapa do FMEA deve-se considerar que a peça chegou *OK* do processo anterior, pois estão sendo considerados os modos de falha e as causas apenas da etapa do processo sendo estudado.

O efeito é o resultado do modo de falha para os clientes. Exemplos de efeitos para clientes internos, que são as próximas operações:

- Não monta;
- Não fura/não rosqueia;
- Torque falso, aperto faltante;
- Põe operador em risco;
- Presença de porosidade.

Para clientes externos:

- Redução da resistência mecânica (quebra, empenamento);
- Compromete durabilidade da camada superficial;
- Presença de ruído ou de vibração na operação;
- Inoperância do sistema;
- Aparência degradada;
- Vazamento de fluído;
- Esforço excessivo.

Para finalizar esta primeira fase do FMEA deve-se ainda determinar os controles de detecção e os controles de prevenção de falhas que estão implementados. Controles de detecção atuam detectando o modo de falha. Se o modo de falha, por exemplo, for “rugosidade acima do especificado” um controle de detecção poderia ser “medição de rugosidade (amostragem)”, que detectaria diretamente quando a rugosidade está acima da tolerância.

Os controles de prevenção atuam nas causas do modo de falha. Uma possível causa para o aumento de rugosidade do exemplo anterior pode ser a “vibração decorrente do desgaste da ferramenta de corte”. Neste caso, poderia ser implementado um “controle de vida útil da ferramenta” como controle de prevenção.

2ª etapa : Priorizar os riscos

Após identificar os modos de falha, efeitos, causas e controles de prevenção e de detecção deve-se definir a pontuação de severidade, a ocorrência e a detecção. Para isso são utilizadas as tabelas encontradas no Manual do FMEA da AIAG, 4ª Edição. As mesmas foram empregadas

para a realização do FMEA deste trabalho com o também formulário da 4ª edição, presente no APÊNDICE A.

A severidade é o resultado do efeito. Avalia a situação na operação que sente o efeito potencial da falha. A tabela é dividida entre Efeito no Cliente, relativo ao cliente externo, e Efeito na Fabricação/Montagem, referente ao cliente interno. O grupo multifuncional interpreta os critérios e definir qual está de acordo com o efeito do modo de falha. No caso do modo de falha possuir mais de um efeito de falha, deve-se separar em linhas distintas, tratando-se separadamente cada efeito e sua respectiva severidade. E no campo da severidade preencher o valor mais alto (pior caso).

A ocorrência classifica a probabilidade da falha acontecer, considerando os controles de prevenção quando existentes. Em um projeto novo geralmente utiliza-se o conhecimento prévio do operador, que considera a ocorrência de falhas em peças similares que já foram fabricadas. O FMEA deve ser revisado para substituir esses valores pelas estatísticas do processo, assim que disponíveis.

A detecção classifica qual é a probabilidade de se detectar o modo de falha. Para classificar a detecção, suponha que a falha tenha ocorrido e avalie a capacidade do controle proposto detectar a falha. Não suponha que se a ocorrência é pequena, a detecção também é pequena. Os valores 1, 2 e 3 são referentes à sistemas *Poka-yoke* (a prova de falhas):

Nível 1: Previne a causa. Por meio de alteração do projeto da máquina, do dispositivo de fixação ou da peça, o item é tornado 'a prova de falhas'.

Nível 2: Detecta a causa, sendo um sistema preventivo. Impossibilita que uma peça discrepante seja produzida.

Nível 3: Detecta o modo de falha. Peças discrepantes são identificadas e impedidas de continuar no processo na própria estação.

Nível 4 :considera um controle automático após o processo que impeça a peça de continuar.

Nível 5: Instrumentos de medição de variável, como por exemplo paquímetro, micrômetro, rugosímetro e relógio comparador, quando utilizados na própria estação de

processamento. A verificação de conformidade da primeira peça, quando avaliando causas de *Setup* da máquina, também se enquadram nesse nível.

Nível 6: Calibradores passa/não-passa utilizados na estação ou medição por variável após o processamento da peça.

Nível 7: Quando são utilizados meios visuais, táteis ou audíveis na própria estação de trabalho. Na mesma classificação ainda tem-se a utilização de calibradores passa/não-passa após o processamento (em um processo posterior).

Nível 8: enquadram-se verificações por meio visuais, táteis ou audíveis após o processamento.

Nível 9: quando o modo de falha ou a causa são de difícil detecção (como no caso de auditorias aleatórias).

Nível 10: quando não é possível realizar a detecção, ou esta não é realizada.

Após definidos os valores de severidade, ocorrência e detecção deve-se calcular o NPR (Número de Prioridade de Risco). Para isto, basta multiplicar o número de cada um dos critérios:

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

Sendo que cada variável é um número natural que varia de 1 a 10, então o NPR tem um range que varia de 1 a 1000. Segundo o manual as ações recomendadas são ações de prevenção, em geral.

3ª etapa: Eliminar ou minimizar os riscos

Após serem definidos os valores de NPR devem ser tomadas ações para eliminar ou minimizar os riscos. Os NPRs mais altos devem ser atacados, de forma a reduzir severidade, ocorrência ou detecção, na seguinte ordem:

1. Para reduzir a classificação de Severidade (S): somente uma análise crítica do projeto pode reduzir a classificação de severidade.

2. Para reduzir a classificação de Ocorrência (O): uma redução na classificação da ocorrência pode ser realizada pela remoção ou controle de uma ou mais causas ou mecanismos do modo de falha, através de uma análise crítica do projeto.
3. Para reduzir a classificação de Detecção (D): o método preferido é o uso da verificação à prova de erros (*poka-yoke*).

Também devem ser objeto de análises os modos de falha com severidade 9 e 10, pois estes são fortes candidatos para ações de melhoria.

Após as modificações no projeto, no processo ou na medição serem executadas, deve-se definir o novo valor da severidade, da ocorrência ou da detecção, dependendo do tipo de modificação realizada.

### **3.19. Aplicações e cenário atual no ambiente de manufatura**

A metodologia de Análise do Tipo e Efeito de Falha é uma ferramenta que busca, em princípio, evitar, por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria, que ocorram falhas no projeto do produto ou do processo. Este é o objetivo básico desta técnica, ou seja, detectar falhas antes que se produza uma peça e/ou produto. Pode-se dizer que, com sua utilização, se está diminuindo as chances do produto ou processo falhar, ou seja, estamos buscando aumentar sua confiabilidade.

Esta dimensão da qualidade, a confiabilidade, tem se tornado cada vez mais importante para os consumidores, pois, a falha de um produto, mesmo que prontamente reparada pelo serviço de assistência técnica e totalmente coberta por termos de garantia, causa, no mínimo, uma insatisfação ao consumidor ao privá-lo do uso do produto por determinado tempo. Além disso, cada vez mais são lançados produtos em que determinados tipos de falhas podem ter consequências drásticas para o consumidor, tais como aviões e equipamentos hospitalares nos quais o mal funcionamento pode significar até mesmo um risco de vida ao usuário

De acordo com Amaral e Toledo (2004) apesar de ter sido desenvolvida com um enfoque no projeto de novos produtos e processos, a metodologia FMEA, pela sua grande utilidade, passou a ser aplicada de diversas maneiras. Assim, ela atualmente é utilizada para diminuir as falhas de produtos e processos existentes e para diminuir a probabilidade de falha em processos administrativos

O plano de teste é uma estratégia documentada que permite testar o projeto, visando que este atenderá aos padrões de qualidade previamente estabelecida e isto abrange as dimensões de processo com o objetivo de atender a uma confiabilidade específica. (PALADY, 1997).

Segundo Oliveira e Rozenfeld (1997) na confecção do FMEA de processo deve-se primeiramente levantar e registrar todas as características do processo. Se a empresa estiver trabalhando com um sistema CAPP, que possua operações padrão, todas as operações deveriam ser interfaceadas automaticamente para o FMEA. Assim, o tempo de obtenção do FMEA seria menor e seria garantida a consistência com os processos/operações definidas. Sistema CAPP significa Planejamento do Processo assistido por computador e é a prova viva do sucesso da relação entre TI e FMEA, desde que corretamente adaptado a cada realidade.

A eficácia de um sistema de gestão depende das ações preventivas que lhe são impostas e todo mundo entende perfeitamente os benefícios trazidos pela prevenção, contudo, no momento de praticar o uso no dia-a-dia das empresas o cenário muda completamente. O grande problema está associado com o momento certo de realizar as ações preventivas, porém como sempre é um bom momento, e em qualquer hora pode-se sugerir ações preventivas, as pessoas não sabem ao certo quando identificá-las e acabam nunca as fazendo. É um paradoxo (ABRAHAM e INAGAKI, 2011)

Muitas vezes as empresas se questionam quanto ao número de ações preventivas que tomam, mas muitas vezes o discurso é mais bonito que a realidade dos fatos. Não é incomum encontrar organizações com um sistema de gestão da qualidade relativamente maduro e que, na véspera de uma auditoria, lista ações preventivas para evidenciar uma prática infelizmente inexistente. Em resumo, muitas dessas empresas ainda sofrem com os elementos das normas que requerem ações preventivas. Afinal, por que é tão difícil fazer com que as pessoas pensem preventivamente nas questões da qualidade? Talvez por questões culturais, gerenciais, por valores

ou personalidade. Talvez pela interação de todas as anteriores, mas muito em função de problemas gerenciais. Visualizando um cenário em que um prédio está pegando fogo, tem fumaça, pessoas gritando, bombeiros arriscando suas vidas para apagar o fogo e salvar as vidas e propriedades, cenário cheio de ação, bravura, nervosismo, emoção, comoção e comparando com um cenário antagônico em que se vê uma sala silenciosa, apenas o ruído do aparelho do ar condicionado, pessoas com a tarefa de selecionar produtos de difícil combustão, determinar a melhor localização de saídas e passagens, identificar todos os pontos possíveis de falhas, perigos e riscos, pesquisar e identificar problemas já ocorridos em outros locais, mesmo que para isto haja um custo adicional ou que prejudique um pouco a estética, uma reunião de reclamação de cliente ou de parada de produção se parece mais com qual cena? percebe-se que é muito mais fácil encontrar heróis e condecorar pessoas no primeiro cenário, porém o segundo cenário é que tem as pessoas de “ouro” que são os verdadeiros heróis, pois, com seu trabalho sistemático retroalimentam os acontecimentos tornando seu processo cada vez mais preventivo, ou seja cada vez mais capaz de evitar que um incêndio ocorra, e se ocorrer, capaz de estancá-lo o mais breve possível. O manual do AIAG (Automotive Industry Action Group) FMEA 4ª edição de junho de 2008, está alinhado com a SAE J1739; traz modificações importantes para a “gestão” do desenvolvimento do produto e processo, a principal alteração é tornar a alta direção “dona” do FMEA.

A partir de agora segue-se com a parte experimental do presente trabalho.

## **4. Parte Experimental**

A parte experimental está dissociada em metodologia de pesquisa, coleta de dados, descrição da linha de montagem, mapeamento do fluxo de processo e das interrupções de fluxo, descrição dos indicadores produtivos e de qualidade, conceito das estações de trabalho, funcionamento do sistema, histórico e versões do mesmo além de exemplos de relatórios e telas que este proporciona.

## **4.1. Metodologia de pesquisa e de desenvolvimento do trabalho**

A parte experimental do presente trabalho está baseada na metodologia de pesquisa científica conhecida como pesquisa-ação.

### **4.1.1. Metodologia científica de pesquisa-ação**

É uma metodologia de pesquisa científica que estimula a participação das pessoas envolvidas abrindo seu universo de respostas, pois favorece a busca de conhecimento da realidade pelos próprios, os quais se situam, assim, em situação de investigador. O interessante dessa metodologia, que a diferencia das demais é de que só o conhecimento da realidade não é o suficiente, e sim o envolvimento do investigador como sujeito da própria produção de conhecimento. Se fosse somente um estudo de caso não haveria a intervenção do observador no caso observado.

A pesquisa-ação é um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e na qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo (THIOLLENT, 1997). A pesquisa-ação é um método de condução de pesquisa aplicada, orientada para elaboração de diagnósticos, identificação de problemas e busca de soluções.

Neste tipo de pesquisa, o pesquisador testa hipóteses, implementa e observa mudanças no cenário real e veste este cenário com os conhecimentos teóricos relacionados obtendo a proposta de uma nova realidade a ser implementada nova e sucessivamente até atingir um resultado que satisfaça as indagações iniciais. Em uma orientação mais aplicada à área de Sistemas de Informação a pesquisa-ação pode também ser utilizada como um recurso para os pesquisadores da área aprimorarem a relevância prática de suas pesquisas. Assim entende-se que uma pessoa mesmo fora da área de TI possa contribuir para que o trabalho dos profissionais de TI tenha uma melhor aplicabilidade nos processos fabris do chão-de-fábrica.

As fases da pesquisa-ação compreendem uma rotina de observar, para reunir informações e construir um cenário; pensar, para explorar, analisar e interpretar os fatos; e agir implementando e avaliando as ações.

Dentro desta mesma idéia, pode-se dividir o processo de pesquisa-ação em quatro etapas principais, que serão descritas a seguir: fase exploratória (diagnóstico), fase principal (proposição), fase de ação (implementação) e fase de avaliação (observação) conforme Thiollent (1997). Na verdade não deixa de obedecer um ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Action – conhecido como ciclo de Deming, que é o planejamento, execução, verificação e ação) conforme Oribe (2009).

A fase exploratória tem grande importância devido ao fato de encaminhar as fases subsequentes da pesquisa e possui um aspecto interno, que diz respeito ao diagnóstico da situação e das necessidades dos atores e à formação de equipes envolvendo pesquisadores e clientes, e um aspecto externo, que tem por objetivo divulgar essas propostas e obter o comprometimento dos participantes e interessados. Nesta, os atores são os operadores, técnicos, especialistas e engenheiros que trabalham para o sucesso do processo de produção da linha de montagem de motores HS (High Speed), e os profissionais de TI que trabalham como suporte e desenvolvimento para o manutenção da qualidade do processo e contínuo aprimoramento do seu serviço prestado.

O maior foco está em obter as informações significativas para elaborar o projeto. Deve-se utilizar um quadro conceitual, elaborado em conjunto com os pesquisadores e atores da situação para que seja realmente um retrato da realidade da organização, e paralelamente realizar uma pesquisa de campo de caráter diagnóstico, através de entrevistas para detectar os principais problemas.

Neste caso, a proposta para levantamento de dados inclui o histórico de implementação do sistema de controle e rastreabilidade de processo na linha HS (*High Speed*), sua origem e objetivo principal, sua versão inicial e sua versão atual. Em adição a isso uma descrição detalhada do funcionamento da linha de montagem HS mapeando-se os pontos de comunicação do processo produtivo com o sistema, isto é vinculando o fluxo de material ao fluxo de informação eletrônica.

Toda interrupção ao fluxo normal do processo recai sobre duas transações fundamentais que podem estar relacionadas a qualquer estação de trabalho na linha, estas chamam-se de transação de *Altera Status* e transação de *Abort job*. Ambas serão desveladas em seus conceitos e através de uma parceria com os profissionais e colaboradores do setor de TI (Tecnologia da Informação), serão coletados dados para serem arranjados em banco de dados e exportados a planilhas de para estratificação e análise. Espera-se que estes dados auxiliem a compreender quanto e como uma interrupção é realizada para então buscar entender o por quê das mesmas.

É interessante saber o motivo destas intervenções, porém como não há uma codificação eletrônica para tal, será feita uma coleta manual durante um período operacionalmente viável e propõe-se a implementação de uma melhoria de coleta eletrônica destes motivos disponibilizando um relatório por período.

Outro levantamento de dados refere-se a quantidade de falhas de qualidade internas e externas através dos registros de ocorrências utilizados pelo técnicos operacionais, e pelos técnicos de processo e engenheiros de processo.

Também será resgatado os tempos de paradas de linha de montagem em função de queda de conexão ou falha de comunicação do sistema, o percentual de participação em minutos destas nas paradas com relação a paradas totais na linha por mês.

Como incremento serão coletados exemplos de interrupções em comunicação de dados e quedas de conexão.

A fim de examinar o conhecimento dos operadores desta linha de montagem que utilizam diariamente este sistema foi aplicado um questionário abordando a relação do sistema com o desempenho do processo.

Todos estes dados foram obtidos de registros internos de ocorrências, administrados pelos engenheiros de processos (que no caso desempenham também a função de engenheiros industriais), engenheiros da Qualidade e técnicos operacionais do chão-de-fábrica, e os dados de sistema obtidos durante o processo produtivo foram capturados através do banco de dados da companhia junto aos profissionais envolvidos em suporte e desenvolvimento de TI aplicada ao processo.

A Fase Principal (Planejamento) ocorre no momento em que há um claro diagnóstico sobre a realidade da organização e dos eventos ou pontos que se deseja pesquisar, é composta por um conjunto de entrevistas, questionários aplicados a pessoas-chaves da organização, que irão expor suas reclamações, constatações e sugestões a respeito do assunto em pauta, além de outros dados organizacionais de indicadores ou bancos de dados de forma que todas as informações coletadas sirvam como base para o posterior debate em seminário ou reunião com os principais envolvidos.

Os dados coletados foram organizados em gráficos, tabelas e diagramas de fluxo e foi descrito o modelo atual esquemático de funcionamento do sistema em conexão ao processo produtivo. A partir disso definiu-se a necessidade de implementar um monitoramento eletrônico para coleta dos motivos de intervenções por Altera Status e fez-se o desenvolvimento do mesmo internamente. Algumas sugestões e propostas começaram a surgir naturalmente, foram registradas e a proposta é elencá-las em ordem de importância. A parte experimental está então sustentada por três pilares primordiais; os dados de falhas relacionadas ao processo, constantes em registros feitos pelo corpo do chão-de-fábrica e engenheiros e que afetam indicadores da linha de montagem internos e externos, os dados do sistema representados através das interrupções no fluxo do processo e carregados em bancos de dados, e a entrevista realizada com os usuários diretos deste sistema, e as ações propostas surgindo do cruzamento destas informações e da análise dos envolvidos.

A Fase de Ação como o próprio nome já indica, engloba medidas práticas baseadas nas etapas anteriores: difusão de resultados, definição de objetivos alcançáveis por meio de ações concretas, apresentação de propostas a serem negociadas entre as partes interessadas e implementação de ações-piloto que posteriormente, após avaliação, poderão ser assumidas pelos atores sem a atuação dos pesquisadores (THIOLLENT, 1997). Quando se fala em divulgação de resultados, os receptores destas informações são as pessoas que responderam às entrevistas e questionários, o conjunto dos membros da organização e alguns representantes dos atores e tomadores de decisão. Uma vez divulgadas as informações, é iniciada a etapa de apresentação de propostas visando melhorar os aspectos estudados. Estas propostas deverão ser aprovadas por membros da gerência e implementadas de forma a colocar em prática as sugestões apresentadas. Contempla, portanto um ação inicial, de inserção de uma tela de motivos para toda intervenção de *Altera Status*, discussão com os operadores e equipa técnica de TI para a coleta de dados que

servirá para a pesquisa do impacto dos desvios no processo. Também contempla a execução de um PFMEA (*Process Failure Mode Effects and Analysis*) do sistema. As demais propostas serão elencadas e estudadas para se ter a viabilidade de aplicação e irão constar no capítulo de Resultados e suas discussões.

A Fase de Avaliação é a etapa final do processo de pesquisa-ação e deve apresentar dois pontos principais: verificar os resultados das ações no contexto organizacional da pesquisa e suas conseqüências a curto e médio prazo e extrair ensinamentos que serão úteis para continuar a experiência e aplicá-la em estudos futuros. Thiollent (1997) propõe alguns aspectos gerais que devem ser alvo de avaliação: Pontos estratégicos (clareza de objetivos, identificação e resolução de problemas e negociação dos objetivos com membros da diretoria); Capacidade de mobilização (aceitação da iniciativa por diversas áreas da organização e engajamento de um número significativo de pessoas); Capacidade de propostas (adequação, relevância e viabilidade das propostas apresentadas e habilidade dos grupos neste encaminhamento); Continuidade do projeto (harmonia no decorrer do tempo); Participação (efetividade na participação entre diversos níveis hierárquicos); Qualidade do trabalho em equipe (habilidade no gerenciamento das relações e qualidade nas relações interpessoais); Efetividade das atividades de formação (efeito global de auto-conhecimento da instituição e capacidade de aprendizagem); Conhecimento e informação (adequação do questionário e de outros instrumentos de pesquisa, consistência e validade dos resultados alcançados, qualidade dos relatórios); Comunicação (possibilidade de criação de mecanismos internos, assembleias e reuniões com participantes, adequação à linguagem utilizada na cultura organizacional e adequação aos canais de difusão); Atividade de Apoio (qualidade, rapidez e eficácia no processamento de dados e na produção de material de divulgação e capacidade de obter apoio de técnicos em informática). Espera-se avaliar os aspectos de facilidade (ligada ao sistema) e utilidade (ligada ao usuário) para as alterações propostas via sistema automático tanto no seu conceito quanto na sua aplicação.

A proposta para levantamento de dados inclui o histórico de implementação do sistema de controle e rastreabilidade de processo na linha HS (*High Speed*), sua origem e objetivo principal, sua versão inicial e sua versão atual. Em adição a isso uma descrição detalhada do funcionamento da linha de montagem HS mapeando-se os pontos de comunicação do processo produtivo com o sistema, isto é vinculando o fluxo de material ao fluxo de informação eletrônica.

Toda interrupção ao fluxo normal do processo recai sobre duas transações fundamentais que podem estar relacionadas a qualquer estação de trabalho na linha, estas chamam-se de transação de *Altera Status* e transação de *Abort job*. Ambas serão desveladas em seus conceitos e através de uma parceria com os profissionais e colaboradores do setor de TI (Tecnologia da Informação), serão coletados dados para serem arranjados em banco de dados e exportados a planilhas de para estratificação e análise. Espera-se que estes dados auxiliem a compreender quanto e como uma interrupção é realizada para então buscar entender o por quê das mesmas.

Pode-se dizer, em linhas gerais, que a parte experimental estará sustentada por: dados de falhas relacionadas ao processo, constantes em registros feitos pelo corpo do chão-de-fábrica e engenheiros e que afetam indicadores da linha de montagem internos e externos, os dados do sistema representados através das interrupções e desvios no fluxo do processo e carregados em bancos de dados, e a entrevista realizada com os usuários diretos deste sistema para elaboração de PFMEA do sistema.

## **4.2. A empresa estudada**

Segundo divulgação do departamento de Vendas e Marketing, em janeiro deste ano pode-se referenciar que A MWM INTERNATIONAL Motores, líder no desenvolvimento de tecnologia diesel no Mercosul, encerrou 2009 com 112 mil motores produzidos. O resultado superou as expectativas da empresa em um ano atípico, marcado pela crise econômica que afetou a indústria automotiva. No ano de 2010 a companhia estima crescimento de 25% na produção de propulsores, que somará 140 mil unidades. A empresa tem a meta de investir US\$ 345 milhões nos próximos cinco anos para atender a demanda por novas tecnologias em produtos e processos, principalmente em desenvolvimento tecnológico, capacitação de colaboradores e novos equipamentos para aumentar a produtividade. Em novembro de 2009, a companhia contratou 200 colaboradores para atender principalmente a área de manufatura. meses. No tocante às

exportações, a empresa fechou 2009 com US\$ 180 milhões e prevê crescimento de 11% para este ano. A perspectiva é atingir a cifra dos US\$ 200 milhões nos negócios de motores e componentes do mercado externo.

A MWM INTERNATIONAL é líder na produção de motores diesel no Mercosul com 35% de participação. Em 2009, o segmento de tratores obteve destaque: além de líder no setor, a empresa registrou 49% de *market share*, resultado 32% maior comparado a 2008, quando a companhia detinha 37% de participação no segmento. A liderança também permanece no setor de veículos comerciais, com participação de 22%. Já no segmento de picapes médias e utilitários esportivos a empresa registra 32% de *share* e no setor de ônibus a companhia fechou 2009 com 31% de participação (01\_19\_Coletiva 2010).

Além dos segmentos veicular e agrícola, a empresa atua nas áreas industrial e marítima. No setor marítimo, a companhia equipa barcos de recreio e pesqueiros. No industrial, fornece motores para equipamentos de construção civil, bombeamento de água, irrigação, entre outros, além de equipar grupos geradores.

Com relação a linha de produtos diesel a companhia conta com uma vasta linha de motores de alta tecnologia – de 2,5 a 9,3 litros e de 50 a 375 cavalos de potência cumprindo as mais rígidas normas de emissões de poluentes.

Em relação a localização a companhia possui três unidades industriais instaladas no Mercosul: Santo Amaro (SP), Canoas (RS) e Jesús Maria (Argentina), e conta com 3.200 colaboradores. Além disso, mantém um Centro Mundial de Desenvolvimento de Motores no Brasil, localizado em São Paulo, com 320 colaboradores que atuam na engenharia brasileira e respondem pelas plataformas de motores desenvolvidos no País, utilizando ferramentas modernas de simulação no desenvolvimento virtual de motores. Com isso, a empresa exporta tecnologia para países como México, China, Estados Unidos e Índia, e conta com o reconhecimento do Grupo Navistar, do qual a MWM INTERNATIONAL é afiliada. A Navistar considera a área de desenvolvimento no Brasil um centro de competência técnica internacional.

Na planta de Jesús Maria, região de Córdoba, Argentina, a MWM INTERNATIONAL é responsável pela usinagem e montagem de diversos sistemas de motores, que são exportados para o Brasil e para as plantas nos Estados Unidos.

No bairro de Santo Amaro, São Paulo, são produzidas as famílias de motores eletrônicos Sprint e Acteon, e também os propulsores da Série 10 e Série 229. A unidade conta com a mais moderna linha de usinagem, onde são produzidos os blocos dos motores Big Bore MaxxForce 11 e 13.

A unidade de Canoas, no Rio Grande do Sul, produz os motores veiculares NGD 9.3E e 3.0E, e os MaxxForce 7 e 9, além de motores agrícolas e industriais. Nessa planta também são montados os cabeçotes dos propulsores seis cilindros, que são exportados para os Estados Unidos. É nesta planta que existe o espetacular sistema de controle e rastreabilidade de processo chamado de Sistema automático e é na linha de montagem HS (*High speed*) a qual produz os motores NGD 3.0 E (*New Generation Diesel*) eletrônico e com 3000 cilindradas, em que será realizado o estudo de caso. A empresa tem a certificação ISO/TS 16949:2009 cumprindo as mais rígidas especificações técnicas exigidas pela indústria automotiva.

Com relação ao meio ambiente, assunto em evidência nos últimos tempos inclusive pelos estudos em sustentabilidade que se tornaram moda desde a metade de 2009 a MWM INTERNATIONAL possui ações estruturadas para preservação dos recursos naturais. A companhia está apoiando a campanha One Degree Less, lançada pela ONG Green Building Council (GBC) Brasil no início do ano passado. O objetivo da ação é diminuir a temperatura da Terra por meio da adoção dos *cool roofs*, que consiste em pintar telhados, coberturas e lajes de branco, pois captam menos calor do sol e assim auxiliam na redução da temperatura local e até no consumo de energia, já que diminui a necessidade do uso de ar-condicionado.

Entre os programas desenvolvidos pela empresa, destacam-se o de Uso e Reuso da Água, que tem como objetivo reduzir o consumo e obter água de ente qualidade para reutilização, e o Programa de Energia Solar, que visa economizar energia elétrica através do aquecimento solar da água utilizada no banho dos funcionários. A empresa também possui em todas as suas plantas o Monitoramento de Emissões Atmosféricas e o sistema de Gestão Ambiental ISO 14001.

Quanto a responsabilidade Social a empresa tem entre suas prioridades investir em inclusão social, para isso apoia diversas ações na área e possui alguns projetos, como o Crescer e o Programa Formare, que trabalham para inserir jovens carentes e com baixa renda familiar no mercado de trabalho.

Outro programa da companhia é o Embalando para o Futuro, em parceria com o Instituto Pestalozzi, que tem como objetivo oferecer capacitação profissional e formação pessoal para jovens portadores de necessidades especiais, permitindo assim, a garantia de envolvimento na sociedade e o direito ao exercício da cidadania.

Além desses programas de inserção ao mercado de trabalho, a MWM INTERNATIONAL ainda conta com o Comitê Nossa Gente, que tem o objetivo de melhorar a qualidade de vida da comunidade e o Fabrincando Férias, um programa criado para proporcionar interação entre os filhos dos colaboradores e o ambiente de trabalho de seus pais, alinhando valores da empresa com a família.

#### **4.3. Foco do estudo: a linha de montagem HS (*High Speed*)**

A linha de montagem de motores HS (*High Speed*) estudada é uma das três linhas de montagem de motores diesel da Planta de Canoas/RS.

Esta unidade produtiva está arranjada em um *layout* em forma de linha, como diz o próprio nome, concebida para produzir uma variedade de modelos de motores diesel com um sistema de produção contínua e cadenciada. O seu *layout* efetivo forma a letra “J” sendo que a esteira transportadora do *one-piece-flow* é cíclica formando a letra “O”. O *layout* pode ser visualizado na ilustração do tópico seguinte e está dividido por postos de trabalho (*workstations*).

Para o funcionamento desta linha de montagem todos os equipamentos, documentos e operadores habilitados estão conectados a servidores de linhas *ethernet*, e conexão com banco de

dados e sistema ERP que atua no planejamento de materiais e na emissão de ordens de compra, requisições de almoxarifado e emissão de ordens de manutenção.

#### **4.3.1. Fluxo do processo de montagem da linha HS**

A linha de montagem de motores HS (*High Speed*) segue o *layout* e fluxo de processo conforme exibido no APÊNDICE E, traçando um total de 39 estações (ou postos de trabalho).

Os símbolos utilizados para representação do fluxo estão na própria legenda anexa e provém do sistema interno de procedimentos da Qualidade o qual está alinhado a norma automotiva e aos princípios do *lean thinking*.

Já os demais símbolos do losango e do delta invertido são representações de características significativas e críticas, respectivamente, e provém do PFMEA (*Process Failure Modes and Effects Analysis*) da linha HS. Esta simbologia também é descrita nos procedimentos internos da Qualidade relacionados a requisitos de cliente e norma automotiva como acima já descrito.

O produto que flui através desta linha é o motor. Um motor é o resultado de um bloco de ferro fundido cinzento, usinado, lavado e selado em outras unidades produtivas e que transita sobre um carrinho que é engatado na esteira de montagem permitindo girar o bloco sobre um eixo paralelo a esta esteira e sobre o qual são agregados os componentes necessários ao funcionamento deste motor de combustão interna movido a diesel. Um modelo de motor diferencia-se do outro através da estrutura de peças que o compõe. Uma estrutura é denominada “LP” que significa lista de peças e é usualmente conhecida por este apelido para designar um tipo de motor.

Cada bloco que ingressa na linha de montagem recebe uma numeração única através do processo do primeiro posto de trabalho, operação 10, conhecido como gravação do número de série. É um processo de micropuncionamento eletro-mecânico através do qual uma ponteira de metal duro produz uma calota de deformação sobre uma região de gravação determinada e confere a mesma a mesma função legal da gravação de um “chassi” de veículo, o que na verdade

é a identidade do mesmo, para fins legais e de rastreabilidade. Após esta gravação ocorre a inspeção eletrônica desta codificação com a função de verificar padronização, regularidade e legibilidade da gravação realizada. Somente após a aprovação do sistema de visão eletrônica é que o *software* do micro computador de entrada de linha gera a impressão da ficha de Construção do Motor, conhecida por “FCM” a qual representa a certidão de nascimento do motor, pois o acompanha até o fim do processo interligando toda a baixa de peças da estrutura vinculada ao ERP e vincula todos os dados de montagem ao CAPP.

A linha é composta por processos típicos de montagem de motores diesel, basicamente apertos, vedações, instalação de juntas, conexões, engates e toda gama de manuseios de peças por meios manuais com auxílio de monovias e talhas elétricas ou balancins pneumáticos e mecânicos. As inspeções e verificações são feitas por meios visuais, táteis e audíveis, mas há o emprego de tecnologia de visão eletrônica em algumas operações e a aprovação é feita por testes de estanqueidade (*leak test*) e testes de performance a quente (*hot test*). O motor é aprovado de acordo com os preceitos referenciados na norma ISO 1585:1996.

Para o caso dos apertos, a totalidade deles é realizada por ferramentas de aperto instrumentadas eletronicamente. São equipamentos de última geração, conectam-se ao servidor do sistema automático comunicando-se com o mesmo tanto na abertura de um trabalho quanto na finalização do mesmo e no envio de dados. Outros equipamentos como dispositivos eletrônicos atuando como *poka-yokes* de processo estão muitas vezes ligados a trabalhos destas ferramentas de apertos e algumas vezes ligados a micro computadores cujos *softwares* realizam uma interface direta com alguma transação que o sistema realiza durante o processo. Uma tabela contendo, postos de trabalho, operações e transações será exibida logo mais. Algumas ferramentas de apertos são múltiplas, isto significa que trabalham com mais de um fuso de aperto simultaneamente proporcionando uma operação mais veloz de montagem e com uma garantia extra de acomodação da junta de aperto realizada, o que é uma vantagem no quesito qualidade e no tocante a tempos e movimentos da operação.

Não é o propósito deste trabalho, aprofundar conhecimentos sobre aperto de juntas, porém vale salientar que existem estudos específicos neste campo da Engenharia Mecânica. O simples aperto de um parafuso exige grande emprego de tecnologia para ser garantido, não é somente a aplicação de uma grandeza torque, é uma estratégia de aperto, que acaba envolvendo aplicação de

ângulo, monitoramento de ângulo e controle de torque ou vice-versa em estágios distintos do aperto, muitas vezes cumprindo uma especificação de *Clamp load* (que significa o torque residual após o término da aplicação da força), outras vezes o *yield point* (que monitora o estado do parafuso em uma zona elástica limítrofe da plástica) entre outros que trabalham por monitoramento de torque residual. Isto para garantir uma força de união dentro do especificado pela engenharia de produto em um único parafuso. Um motor tem mais de 300 parafusos ou porcas a serem apertados. Mesmo os parafusos ou porcas com difícil acesso precisam ser garantidos e para tal vale-se de equipamentos chamados de torquímetros, os mais modernos com sinal eletrônico para comunicar o aperto *ok* ou *nok* para o banco de dados e o mais modernos ainda, com sinal por radiofrequência que emitem os dados dos valores aplicados também.

Para aplicação de junta líquida no cárter do motor, posto 11 e operação 90, é utilizado um robô munido de um sistema aplicador. A homogeneidade e espessura do cordão também é inspecionado eletronicamente por uma câmera. Outra aplicação robótica é no último posto da linha, posto 39 após o acabamento em que o braço robótico está acoplado a uma câmera e realiza inspeções de existência/posição/cor de componentes externos a fim de garantir o *layout* de produto, exigidos pelo cliente. Muitas vezes a posição de uma abraçadeira de pressão em uma mangueira de borracha do sistema de água pode parecer preciosismo, porém esta posição, se colocada de modo errado pode trazer sérias dificuldade de acesso em caso de manutenção quando o motor estiver instalado dentro do cofre da *pick-up*, por exemplo.

Outros componentes do motor como, por exemplo, a caixa de distribuição, a bomba de alta pressão de combustível, os bicos injetores, a bomba de vácuo, o cabeçote e turbo, o próprio virabrequim, têm registro de rastreabilidade. Assim, no caso de uma falha em campo é possível ocasionada rastrear seu código e conduzir a investigação até o fabricante fornecedor do componente.

Em condução a este trabalho, em momentos pertinentes serão percorridos detalhes importantes do processo em cada estação de trabalho.

### 4.3.2. Indicadores produtivos e de qualidade

A linha de montagem HS assim como as demais linhas de montagem da planta possui indicadores alinhados a metas que são revisadas para cada ano fiscal. Estas metas provêm dos desdobramentos estratégicos realizados pela equipe de diretores da companhia.

Os principais indicadores são o de custo indireto ligado ao produto (conhecido por DVO – *Direct Variable Overhead*) em reais por motor produzido, o *Scrap* (que são as peças refugadas por danos dentro do processo) em reais por motor, a eficiência operacional da linha em percentual pela fórmula de cálculo de eficiência d e mão-de-obra matematicamente conhecida das indústrias, o cálculo de desempenho x disponibilidade x qualidade conhecido como OEE (*overall equipment effectiveness*) para os bancos de prova (*Hot test*) feitos em 100% dos motores produzidos e por fim os indicadores de falhas internas e externa, em PPM (partes por milhão).

Um ano fiscal compreende os doze meses desde novembro do ano-calendário corrente até outubro do ano seguinte. Assim o ano fiscal de 2009 compreendeu desde novembro de 2008 até outubro de 2009.

É importante salientar que todos os indicadores produtivos são direta ou indiretamente afetados quando se trabalha com melhorias no processo fabril seja instalando equipamentos tecnologicamente superiores, seja modificando o fluxo, layout e sequenciamento de operações ou mesmo seja trabalhando o fluxo de informações. É claro que ao resultado positivo para a companhia não provêm de um setor ou departamento isolado, é justamente a proximidade dos departamentos e a saúde de suas relações que irá refletir resultados cada vez mais promissores. Em um estudo, focado em uma linha de montagem e examinando seu comportamento através da análise do sistema que o gerencia, o indicador que mais refletirá a robustez da linha de montagem será o das rejeições internas e externas no tocante à causas de processo.

Assim, com o objetivo de revelar a situação de falhas de processo e também mostrar uma proporção destas dentro de um universo de falhas totais, foram destacados dos indicadores utilizados pela empresa dados relativos a quantidade de motores detectados com algum modo de

falha dentro de um total de motores produzidos. Estes dados foram organizados, agrupados e apresentados em forma de tabela com um resultado para cada ano fiscal. A unidade apresentada está em PPM que significa partes por milhão de motores falhados em totais de motores fabricados.

A tabela 1 também está dividida em falhas externas e internas. As falhas externas compreendem todas as falhas detectadas em OEM (*Original Equipment Manufactured*), que são todas aquelas que foram percebidas na planta do cliente (no caso a montadora de veículos e não usuário final o qual seria tratado pelo departamento de pós-vendas). As falhas estão separadas em totais e de processo, ou seja, já foram divididas a participação de falhas de um modo geral percebidas no cliente e qual a proporção das mesmas que tiveram suas respectivas causas-raiz relacionadas a erros de processo de montagem.

O método que a empresa utiliza para determinação de causa raiz e de tratativa de falhas está em consonância com a norma ISO/TS 16949:2009 utilizando diversas técnicas e ferramentas da Qualidade como o *brainstorming*, MASP, gráfico ishikawa ou “espinha de peixe”, método “5 por quês”, PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) método six sigma DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) assim como análise destas falhas com foco na prioridade de risco utilizando a ferramenta FMEA (*Failure Mode Effects and Analysis*). Estes métodos, consistentemente aplicados ajudam a determinação cada vez mais precisa a respeito da causa raiz e traz a tona as causas potenciais o que também contribui para o enriquecimento do conhecimento e acabam migrando para o *lessons learning* (lições aprendidas) da companhia.

A maioria das falhas encontradas, através dos indicadores ainda tem causas externas ao processo e estas então são enfocadas aos engenheiros de SQE (*supplier quality ers*) que são os responsáveis pela atuação junto aos fornecedores. Quando a falha tem origem no processo de fabricação dentro da montagem a análise destes erros é remetida aos engenheiros de processo.

Dentro da estrutura organizacional o engenheiro de processo pertence a Engenharia de Processos o qual encontra-se juntamente com PCP (Planejamento e Controle da Produção) e Manufatura Avançada sob a área de Manufatura da empresa.

Quando uma causa é definida como de processo ela irá passar por toda a tratativa de falhas conforme procedimentos internos alinhados a norma automotiva, ou seja irá passar pela análise da Engenharia de Processos e resultará em ações de contenção e ações corretivas, e nestas é que são determinadas as necessidades de implementação de um *error proofing*. Neste momento surge necessidade de também verificar o quanto o sistema de inter-travamento que a linha possui pode ser explorado no sentido de reter ou suprimir uma falha. Ou seja, o quanto o sistema pode se repensabilizar por detectar ou prevenir o erro barrando-o o mais cedo possível. A informação obtida deste trabalho de análise de falhas irá também retro-alimentar o documento PFMEA (análise de modo e efeitos de falha de processo) com função de registro e com a função de *ranking* de classificação decrescente de prioridade de risco.

Abaixo segue a tabela 1 mostrando o nível de rejeições internas e externas gerais e por falha de processo. Também foram coletados dados relativos às paradas de linha e quantidade de emissão de documentos de tratativas de falhas operacionais.

**Tabela 1- Quantidade de motores falhados por motores produzidos em partes por milhão (PPM) – dados obtidos nos registros internos da empresa caso.**

<b>Ano Fiscal</b>	<b>PPM total OEM</b>	<b>PPM processo OEM</b>	<b>PPM total HOT TEST</b>	<b>PPM processo HOT TEST</b>	<b>PPM total LEAK TEST</b>	<b>PPM processo LEAK TEST</b>
2000 - desde fev	4.089	sem dados	sem dados	sem dados	sem dados	sem dados
2001	3.299	sem dados	sem dados	sem dados	sem dados	sem dados
2002	2.381	sem dados	sem dados	sem dados	sem dados	sem dados
2003	8.592	sem dados	sem dados	sem dados	sem dados	sem dados
2004	7.003	sem dados	sem dados	sem dados	sem dados	sem dados
2005	8.051	sem dados	sem dados	sem dados	sem dados	sem dados
2006	4.854	802	13.540	347	sem dados	sem dados
2007	3.019	346	10.155	301	17.701	102
2008	2.390	221	10.527	109	15.723	545
2009	1.367	0	16.837	227	12.841	154
2010 - até maio	927	357	18.441	553	7.810	213

Os dados compilados abrangem o período desde o ano 2001 no mês de fevereiro até o ano de 2010 no fechamento do mês de maio. A intenção é procurar o máximo de dados disponíveis com o objetivo de ter uma visão mais global possível destes valores ao longo do tempo e também enfatizar dois momentos principais no histórico da companhia com relação a implantação do seu

sistema de controle e rastreabilidade de processos, que é o foco desta dissertação, os períodos desde o início dos dados até janeiro de 2004, de janeiro de 2004 até dezembro de 2008 e o período de janeiro de 2009 até a atualidade, no caso dados até o mês de maio de 2010 inclusive.

Examinando os dados da tabela observa-se que de um modo geral os índices de rejeição reduzem ao longo do tempo, isto é uma resposta a filosofia de melhoria contínua, a qual consta como um dos itens da Política da Qualidade da empresa. Quanto aos ppms em cliente com causa processo, dos dados obtidos temos vinte motores falhados no ano fiscal de 2006, sete em 2007, seis em 2008, nenhum em 2009 e quatro desde novembro de 2009 até maio de 2010, porém a análise das causas não revela uma ligação direta com as funções principais de trancamento do sistema e farão parte do final do capítulo de resultados e início do capítulo de discussão.

O sistema foi implantado, conforme será mais adiante descrito, durante o ano de 2003 e passou por melhorias e adaptações até receber uma nova versão em janeiro de 2009. O esperado, com o uso deste sistema é de que as falhas de processo venham a diminuir e isto pode ser percebido pela diminuição do índice nos pontos de detecção interna e externa.

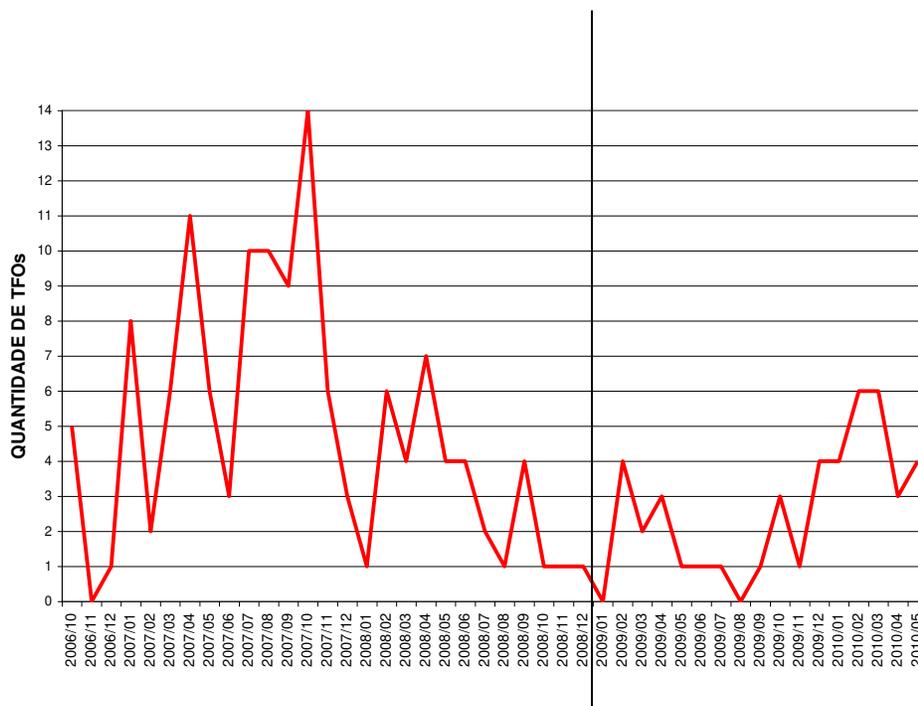
Externamente existe o relatório de falhas via rejeições em cliente – OEM e internamente existem pontos de detecção específicos que são reportados em indicadores internos e tratados com o objetivo de cumprir suas respectivas metas. Estes pontos específicos estão descritos adiante no capítulo do funcionamento e fluxo do processo. Na tabela apresentada constam dois deles, o de rejeições de *Hot Test* (que é a etapa de bancada de prova ou teste dinamométrico – no qual o motor é posto a rodar em faixas de giro simulando a condição no veículo e na qual além de obter parâmetros de desempenho, são detectados todo tipo de anomalia e falhas no produto) e as rejeições de *Leak Test* (que é anterior e serve para verificar estanqueidade). O fato de esta verificação ser anterior filtra possíveis falhas na estação o que contribui para diminuir uma rejeição na estação de *Hot test* que por seu tempo de ciclo de operação representa um gargalo produtivo.

Examinando os dados da tabela observamos que de um modo geral o índice reduz ao longo do tempo, isto é uma resposta a filosofia de melhoria contínua, a qual consta como um dos itens da Política da Qualidade da empresa. Quanto ao índice de rejeição em cliente com causa processo, dos dados obtidos temos vinte motores falhados no ano fiscal de 2006, sete em 2007,

seis em 2008, nenhum em 2009 e quatro desde novembro de 2009 até maio de 2010. Este súbito aumento em 2010 não está relacionado a nenhuma tendência sistêmica e sim por condições pontuais específicas devido a causas pontuais. Há outro ponto muito importante a frisar, de que quanto mais robusto o sistema de controle mais falhas ele percebe. Isso também aumenta o número de falhas internas registradas.

Para cada falha de processo, tanto interna como externa existe a prática de abertura do documento de TFO (Tratativa de Falha Operacional). Esta prática iniciou em outubro de 2006, portanto começa a valer desde o ano fiscal de 2007. Este documento compreende um registro e uma pré-análise de uma falha de processo típica que envolve o padrão homem-máquina em sintonia gerando uma falha que se perpetua, não é detectada em nenhum dos filtros e segue adiante, até ser percebida pelo cliente ou ser percebida ainda dentro do processo produtivo. Então a falha, que acaba sendo atribuída ao operador, mas que também está relacionada ao sistema que o envolve, sistema este composto de equipamentos, ferramentas, disposição das peças a serem montadas, disponibilidade e clareza das instruções de trabalho, a eletrônica e dispositivos *poka-yoke*, isto é não é só um erro humano, é também um sistema todo que foi incapaz de impedir que o erro se propagasse e melhor, foi incapaz de impedir que o erro fosse gerado.

O gráfico da figura 14 mostra uma quantidade decrescente de falhas registradas até praticamente o fim do ano fiscal de 2009 sendo que começa a elevar um pouco no período de 2010. Pode-se afirmar que algumas das falhas tem relação com controles na linha de montagem que ficaram temporariamente desativados por manutenção.

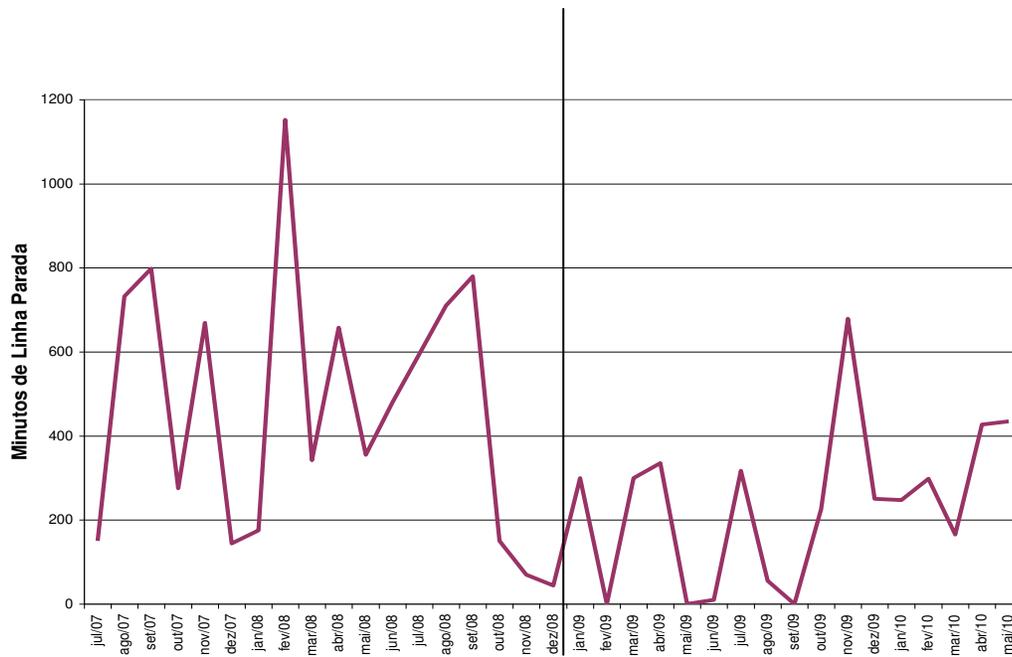


**Figura 14 – Quantidade de “TFOs” por mês desde outubro de 2006 até maio de 2010.**

Fonte: registros internos da Engenharia de Processos da empresa caso.

Percebe-se que a linha divisória que separa a fase anterior com a nova fase do sistema automático promove um período com menor número de falhas.

É interessante trazer o impacto para a produção que as perdas de conexão do sistema de gerenciamento da linha gera em termos de tempo de linha parada, como pode ser visto no gráfico da figura 15. Vale lembrar que estes dados foram obtidos através dos registros feitos pelos técnicos operacionais na planilha de eletrônica usada atualmente para computar dados relativos ao indicador de eficiência operacional da linha de montagem de motores HS. Pequenas paradas de apenas alguns segundos são inviáveis de registro manual, até pelo fato de não terem gerado paradas efetivamente, mas sempre são situações que apesar de não serem visíveis nos indicadores acabam somatizando problemas e que devem ser desvelados para retroalimentação do sistema e melhoria do processo.



**Figura 15 -Tempo paradas de linha em função de queda de conexão do sistema de julho de 2007 até maio de 2010.**

Estas paradas de linha representam em torno de 5% do tempo de paradas da linha, mas desde 2009 vem decrescendo, sobretudo após a troca de versão do sistema.

Na prática as tratativas de falhas fazem parte das rotinas, para tanto é de fundamental importância que as informações que precisam ser extraídas do sistema sejam cada vez mais ágeis então é interessante trabalhar em formas de se obter relatórios *on-line* cada vez mais bem elaborados para suprir a necessidade de rapidez e acuracidade atuais. Hoje já se tem alguns relatórios assim como o sumário de produção, a pesquisa de LP/estação que são atualizadas automaticamente.

Exemplos de alguns relatórios produzios pelo sistema:

- Relatório Agenda de Produção: exhibe os motores a serem produzidos e os que foram produzidos no dia;
- Diagnóstico de motores: exhibe os dados coletados em apertos e transações de cada nº de série de motor até o momento da consulta;

- Produção por LP/Estação e datas: exibe relatório de quais motores foram produzidos;
- Controle on-line de produção das linhas: serve para mostrar de maneira atualizada automaticamente a cada instante a quantidade de motores em pontos como entrada de linha, saída, acabamento e despacho;
- Motores em processo: mostra a lista de motores que entraram, mas ainda não saíram da linha de montagem contendo o número de série e horário da entrada. Poderia aparecer também o status do último posto e transação onde o motor está no momento da pesquisa, mas isso por enquanto só aparece se entrar no diagnóstico de um motor em específico;
- Controle hora a hora de produção: mostra a quantidade produzida em um ponto de coleta como a entrada de linha por exemplo, dividido em intervalos de uma hora;
- Sumário de produção: é um relatório separado por linhas de montagem e em certos casos separado por modelo de motor que passa pela mesma linha, onde consta um somatório de motores produzidos;
- Operadores logados nas linhas: mostra quem está logado para cada posto de trabalho em cada linha de montagem;
- Ferramenta de apertos/postos de trabalho: apresenta a lista atualizada das apertadeiras que estão cadastradas e funcionando em cada posto de trabalho;
- Busca de componentes de motor: relatório que faz a busca inversa pois pede que se digite um código de rastreabilidade de um componente e busca em qual motor foi montado. Se um componente foi montado em um determinado motor e depois foi desmontado e montado em outro motor esse histórico aparece e também a informação em qual motor ficou em definitivo. Isso é possível, pois o sistema exige que ao cadastrar um componente seja expirado componente anterior e impede que o mesmo componente seja cadastrado duas vezes em motores diferentes pois a maioria dos cadastros é feita pela leitura do código diretamente do componente, sem digitação.

Já dentro da lista que contém os relatórios que possuem acesso restrito ao administrador (usuário que tem permissão de acessar e editar certos comandos dentro da produção, como engenheiros e supervisores) estão:

- Cadastro de LPs: cadastro de códigos e modelos de motores com extensa lista de permissões, configurações e informações. Quando uma destas LPs (lista de peças que é na verdade o modelo de motor) for programada para montar, é o cadastro da mesma que irá habilitar certos equipamentos, diferenciará um modelo de outro para certos *poka-yokes* e determinará os modelos de impressão de etiquetas de identificação e rastreabilidade deste motor;
- Cadastros básicos: cadastro de postos, ferramenta de apertos, prateleiras, conversors, permite listar, editar, criar e destruir qualquer um dos elementos citados, ou seja, é um relatório muito importante capaz de dar ao usuário o controle de alterar substancialmente o processo adaptando-o ou transformando-o praticamente para qualquer situação desejada;
- Alteração de status: permite alteração de status de motores em qualquer transação dentro da linha de montagem. É a permissão de desviar o fluxo natural do processo afirmando que dada transação está *ok* ou *nok*, manualmente;
- Altera jobs HS: permite alteração das quantidades de apertos para contagem nos jobs dos equipamentos ( está em desuso com a última versão do sistema automático a partir de 2009);
- Sequenciamento das linhas: permite ao engenheiro estabelecer uma ordem de sequenciamento em que o motor irá atravessar a linha. A oportunidade de melhoria é que essa rota é única seja qual for o modelo de motor, então quando o modelo difere muito é necessário o setor de TI intervir através de um cadastro de exceções. O certo para a produção era ter uma seqüência por LP, podendo copiar e editar seqüências de LPs similares;
- Trancamentos da linha: mesmo relatório comentado nateriormente sendo que neste é permitido alterar o trancamento e não soemnte visualizar a configuração atual.

Há *links* específicos e muito importantes:

- Funcionários: remete ao cadastro de um operador contendo seu código de crachá, código de login para trabalhar na linha de montagem e centro de custo para o qual está alocado em contrato;

- Servidor das ferramentas de aperto: remete diretamente ao banco de dados do servidor das máquinas rotativas de aperto de onde pode-se obter dados específicos sobre qualquer máquina cadastrada;
- Consulta Folhas de processo: estão disponibilizadas por posto de trabalho, em ordem crescente e podem ser filtradas por LP (lista de peças, o que corresponde ao modelo específico do motor).

Além de todos esses relatórios o sistema automático ainda disponibiliza um acesso direto ao banco de dados do servidor das ferramentas de aperto do qual pode-se extrair informações dos apertos realizados pelas ferramenta de apertos incluindo aquelas que não são ativadas através de uma FCM (ficha de construção do motor), como é o caso das ferramenta de apertos dos postos de sub-montagem da linha, em especial da sub-montagem do cabeçote. Estas são ativadas por outros códigos de barras pertencentes a componentes ou mesmo por seletores de soquete ligados a botoeiras amarradas a entradas digitais do equipamento. Assim pode-se realizar uma consulta por endereço IP (*internet protocol*) do equipamento e por data, até um certo limite de período em que os dados ficam disponíveis em trânsito. Esses dados de sub-montagem não aparecem em diagnóstico pois não há hoje uma maneira de ligar o trabalho realizado no componente com o motor da linha onde o sub-conjunto será montado.

#### **4.3.3. Conceito de posto de trabalho (*workstation*)**

Em teoria cada posto de trabalho foi concebido para receber uma operação e para se trabalhar com um operador. Isto é, partindo do *takt time*, que é o resultado do tempo disponível dividido pela demanda em um período correspondente, do tamanho da esteira disponível em uma linha de montagem, o projeto de processo deve ser planejado para assumir um número máximo de operações ou um tempo mínimo de ciclo de operação (que é o tempo mínimo que se repete entre o início e fim de uma operação realizada por um operador). Estes conceitos de *takt time* e tempo de ciclo de operação estão perfeitamente alinhados e compreendidos pelos conceitos de manufatura enxuta, largamente abordados pela literatura.

No caso em estudo cada posto de trabalho está conectado ao seguinte por uma ou mais transações assim como possui uma ou mais operações. O número de operadores que irão realizar as operações irá variar de acordo com o volume de produção através do balanceamento de operadores distribuídos para as operações.

#### **4.3.4. Documentos presentes no posto de trabalho**

Os documentos mais importantes presentes em um posto de trabalho, os quais estão disponíveis para serem consultados pelos operadores da linha, são as folhas de processo eletrônicas, os Auxílios Visuais, os Alertas para Qualidade e os Planos de Controle e todos estão vinculados a alguma operação presente no diagrama de fluxo. As folhas de processo funcionam como instruções de trabalho dando os códigos dos componentes, a lista de ferramentas e equipamentos e o roteiro sequencial a ser seguido. Elas são chamadas de eletrônicas pois ficam disponíveis através de computadores vinculam-se ao sistema de trancamento, portanto se um operador não for habilitado com seu crachá em uma determinada operação os equipamentos não irão funcionar. Os planos de Controle são os documentos exigidos pela norma automotiva e trazem explícitos os controles que a operação possui e o plano de reação em caso de contingência. Os Auxílios Visuais e os Alertas para Qualidade servem para destacar elementos importantes da operação e comparar processos similares em modelos de motores distintos.

#### **4.3.5 Funcionamento do sistema satélite Folha de Processo Eletrônica (FPE)**

Quando uma linha de montagem é criada ou adaptada para atender a realização de um processo novo como é o caso da introdução de um novo modelo de motor na mesma, além do trabalho de se seqüenciar as atividades de montagem deste motor e de cronometrar e realizar cronoanálise das atividades manufatureiras existe também um trabalho muito importante e exigido por norma que é o trabalho de documentação deste processo de montagem. Para realizar a documentação é feito anteriormente um fluxo macro deste processo atribuindo a um dado grupo

de atividades afins o nome de operação. As operações, por sua vez são endereçadas em um *layout* (arranjo físico) no qual dispõe-se de posições físicas onde são instalados os leitores de códigos de barras (ou data matrix) responsáveis por abrir um “posto” de trabalho. Podem caber uma ou mais operações dentro de um posto de trabalho da mesma forma que um operador pode estar executando uma ou mais operações ou até mesmo menos de uma operação completa. Isso se deve ao balanceamento operacional realizado para se atender ao *takt time* imposto à linha e também a necessidade de obedecer o nível de treinamento do operador que executa a operação.

Dependendo do modelo de motor que estiver passando por um posto de trabalho um número distinto de operações pode existir assim como cada uma destas operações irá possuir um grau maior ou menor de controles operacionais e possuir tempos distintos de operação, porém um mesmo operador, para executá-la, deve estar treinado e apto.

A documentação é tão viva quanto a velocidade de alterações e melhorias que sofre este processo, portanto cada vez que a mesma sofre uma alteração ou incremento é necessário validar um novo treinamento ao operador, a fim de atualizar seu nível de conhecimento e mantê-lo apto na operação. Inserindo este contexto em uma circunstância cotidiana que trata da disposição de dezenas de operadores, os quais são polivalentes em determinadas operações e que podem ser remanejados entre as linhas de montagens quando de uma alteração nos volumes de produção ou no caso de absenteísmos ou mesmo no caso de um *job rotation* (para difundir os treinamentos) se faz justo e necessário um gerenciamento desta mão-de-obra.

Atualmente esta gestão é feita através de uma matriz de competências em planilha eletrônica chamada de “matriz de habilidades”. Antes de se atualizar a matriz de habilidades é realizado o preenchimento de um outro documento chamado de treinamento *on the job* que nada mais é do que um formulário que descreve o que foi alterado na operação, a qual posto pertence e quais documentos associados ainda estão mantidos em vigor e uma lista de operadores que estão aptos para esta operação. Caso um operador novo esteja sendo treinado ou caso um operador tenha sido desligado o treinamento *on the job* deve ser atualizado da mesma forma. Para que os operadores, que assinam os documentos, possam se logar é preciso que o supervisor cadastre dentro das folhas de processo eletrônica.

#### 4.3.6. O que é o Sistema Automático

É o sistema que conecta, controla e gerencia todos os equipamentos pertencentes aos postos de trabalho, não permitindo que um processo subsequente seja habilitado sem ter completado o processo antecedente com êxito.

As principais funções, levantadas junto aos profissionais de TI, operadores e pela observação deste sistema, de um modo geral, são:

- Garantir o sequenciamento das operações de montagem;
- Coletar registros de códigos de componentes dos componentes;
- Verificar ou validar o uso de um componente;
- Rastrear o ponto onde o motor está construído;
- Ter interface com sistema ERP;
- Detectar defeitos e reter dados de qualidade;
- Interagir com máquinas-ferramenta;
- Fazer testes de diagnóstico;
- Realizar relatórios on-line;
- Garantir que somente operador treinado execute a operação;
- Servir como banco de dados para investigação de falhas de produto/processo;
- Ser um *poka-yoke* vivo, pronto para receber novos *poka-yokes* dentre de uma perspectiva de melhoria contínua;
- Registrar alterações e revisões de processo e reter histórico de documentação de processo através das folhas de processo eletrônicas;
- Impactar positivamente nos indicadores produtivos tais como eficiência operacional, fator qualidade para o OEE de bancos de teste dinamométrico, indicadores de rejeições internas e externas.

O Sistema automático obedece duas premissas:

1. Só permitir que um motor siga adiante se todas as operações anteriores foram concluídas com êxito;
2. Só permitir habilitar uma nova tarefa se o operador estiver apto a realizá-la.

Então em uma linguagem mais técnica podemos dizer que para uma leitura de código de barras pelo leitor permitir a abertura de um novo *job* (trabalho que é uma seqüência de programas) o motor deve obedecer aos seguintes pré-requisitos:

- a) operador habilitado e treinado conforme folha de processo eletrônica para aquele posto de trabalho;
- b) status do posto anterior finalizado *ok*;
- c) nenhum trabalho em andamento no posto novo;
- d) Cadastro de exceções: a leitura do código de barras de um modelo específico de motor deverá habilitar somente os equipamentos de uso para aquele modelo mesmo que outros equipamentos estejam cadastrados no posto de trabalho.

Cada posto de trabalho é iniciado por um leitor que o habilita. Os leitores são ligados em um mesmo conversor *ethernet* x serial instalado aéreo e responsável por comunicar os dados lidos pelo leitor com o servidor do sistema automático e com o banco de dados do *software* servidor das ferramentas de aperto que armazenam os dados de retorno das ferramenta de apertos e mandam o sinal de abrir e de fechar os trabalhos das mesmas. Então quando uma ferramenta de aperto encerrou o seu trabalho ela responde como fim e o conversor leva esta informação até o sistema automático para ele poder fechar o posto que estava em andamento.

Para o caso do cadastro de equipamentos foi desenvolvido o chamado Cadastro de exceções, em que a leitura do código de barras de um modelo específico de motor deverá habilitar somente os equipamentos de uso para aquele modelo mesmo que outros equipamentos estejam cadastrados no mesmo posto de trabalho. Isso possibilita o correto uso de equipamentos e dispensa uma alteração de *status* por pendência de equipamento já que a regra é habilitar todos os equipamentos cadastrados no posto quando é feita a leitura do posto de trabalho.

Para dispensar esse cadastro de exceções, segundo TI, seria preciso ter uma abordagem por funções e não como é hoje, por postos de trabalho.

#### 4.3.7. Interfaces do Sistema Automático

Na interface homem-máquina um operador está se relacionando com o sistema através de dois eventos: o login através do código de barras de seu crachá e o produto que está sendo manufaturado através da FCM (ficha de construção do motor) com seu respectivo código de barras.

Um motor (que é a unidade básica de produção e objeto de estudo neste caso), para existir precisa antes ser cadastrado. O cadastro é feito pelo engenheiro de processo e consiste em digitar dados fundamentais sobre o funcionamento e especificações de processo que irão ser controlados pelo sistema através de *softwares* supervisórios. As especificações de aperto ficam de fora do cadastro, mas são registradas nos programas das máquinas-ferramenta e controladas pelas mesmas sendo que o sistema apenas entra como um “gerente” de suas transações.

Exemplo de campo presentes no cadastro:

- “LP”: é a lista de peças, correspondente ao modelo de motor que será produzido em série. É possível marcar como LP obsoleta para que no sistema satélite da folha de processo eletrônica este modelo pare de exigir atualizações e treinamento do operador;
- Os campos “TIPO”, “Sequência de séries”, “Nome do JOB utilizado na Inspeção da Gravação Serial” e Nome do Logotipo (Gravação Serial)” são novos, foram desenvolvidos durante a consecução deste trabalho e servem para que o engenheiro de processo possa parametrizar o *poka-yoke* de modelos de bloco inserido no novo supervisório para gravação do número de série e também os valores dentro do programa da máquina micropuncionadora deste código serial;
- Dados relativos à gravação do nº de série do motor;
- Os campos “Dispositivo folga Axial”, “Folga Axial mínimo e máximo”, “Dispositivo Altura do Pistão” e “Altura dos pistões mínimo e máximo” também são novos e

desenvolvidos durante a consecução deste trabalho e servem para que o engenheiro de processo possa parametrizar os valores de especificação destas folgas e espaçamentos que são críticos para o funcionamento do produto e os quais o processo controla;

- “Óleo (ml)” e “Revelador (ml)” são parâmetros de engenharia do produto usados nos equipamentos de abastecimento de óleo lubrificante do motor e controle de dosagem de revelador para detecção de vazamentos;
- Dados informativos sobre potência e torque de motores;
- Dados relativos à validação de rastreabilidade de componentes;
- Dados relacionais a *softwares* de *poka-yoke* em estações específicas como o de presença de rolamento do virabrequim.

Como se vê o cadastro não contempla os parâmetros de aperto e nem a sequência de operações e postos que o motor irá percorrer. Entende-se que apertos são controlados pelas ferramentas de apertos e as suas transações são controladas pelo sistema automático e que todo motor percorre os mesmos postos com suas respectivas operações dentro da mesma linha de montagem.

A ficha de construção do motor (FCM) é criada somente após o modelo de motor aparecer na agenda de produção, este motor é reconhecido e verificado quanto ao modelo de bloco pelo sistema supervisor da estação de entrada de linha e o bloco são gravados corretamente, liberados após um sistema de inspeção visual eletrônica (SIVE de entrada de linha). Ao “nascer” o motor também nasce a sua identidade que é o código presente na ficha de construção e que o acompanhará posto a posto e operação por operação até a expedição. Seguem imagens no APÊNDICE F.

Dentro desta FCM, os campos de “componentes” servem para anotação manual caso algum equipamento eletrônico esteja em manutenção, assim também vale para o campo das “medições”, do “abastecimento de óleo” e de alguns dados de “Hot test”. Já o campo “Check list” refere-se a um preenchimento somente manual e refere-e a cada time ou equipe de processo no qual a linha está dividida com o intuito de verificar itens importantes de montagem que são detectáveis por meio visual e tátil. O código da gravação de número de série é exposto em forma escrita e também em forma de código de barras e a numeração que acompanha o motor no seu trajeto pela

linha aparece também nas duas formas no alto da ficha. Esta numeração é que irá ativar o correto programa em cada máquina, equipamento de aperto e estação supervisória e também é vinculado a mesma que os dados dos resultados serão retidos pelo sistema.

Esses dados podem ser consultados de diversas formas dentro do banco de dados junto aos profissionais de TI ou na forma de “diagnóstico de motor” ou ainda em forma de outros relatórios disponíveis na rede interna para consulta para todos os usuários.

O “diagnóstico de motor” é um relatório completo que vale para um número de série de motor em especial em que todos os dados de montagem estão presentes.

No momento do seu login no seu posto de trabalho onde executará sua jornada de trabalho e a qualquer momento que se fizer necessário deixar um registro sobre algo durante a montagem este operador pode-se dirigir ao computador mais próximo e munido da ficha de construção do respectivo motor (FCM) cadastrar uma observação no relatório de diagnóstico do motor. Essa ação não está vinculada a nenhum bloqueio, serve bem para casos de necessidade de uso de processo alternativo ou mesmo uma observação importante.

Cada campo do diagnóstico revela a transação, seu *status* com data, hora e nome do operador que realizou além de todos os dados relativos a apertos e outros processos realizados.

- Os campos “Dados de folga axial” e “Altura do pistão” são os mesmos que foram comentados nos parágrafos anteriores e que constam hoje do próprio cadastro do modelo de motor;
- O campo “Dados da Ateq” refere-se aos dados de vazamento detectado em teste de estanqueidade para galeria de óleo combustível e galeria de água do motor;
- O campo “Abastecimento” refere-se a quantidade de óleo abastecida no motor conforme também já comentado como item de cadastro;
- O “Teste elétrico” serve para evidenciar o acionamento *ok* dos sensores com relação ao chicote elétrico e os “Dados de Hot test” são todos os dados lidos em banco de teste dinamométrico que são controlados por *software* local e uma série de equipamentos e sensores para medição de pressão, temperatura, rotação e torque , que são dados utilizados na construção das curvas de potência do motor;

- No campo “Falhas Verificadas no Sive” estão as fotos reprovadas pelo robô, em automático, no final de linha que contém uma câmera de inspeção visual eletrônica acoplada em seu braço robótico;
- Já o campo “Componentes” tem a função de armazenar a rastreabilidade dos componentes que foram montados, inclusive registrar aqueles que foram substituídos;
- O campo “Observações” é livre podendo ser utilizado a qualquer momento;
- O campo “Gravação serial” é novo e revela a foto tirada pela câmera segundos após a gravação realizada e fez parte de melhoria de rastreabilidade de processo interna, a mesma que aperfeiçoou o *poka-yoke* de reconhecimento de bloco e interligou isso à agenda de produção proporcionando maior confiabilidade e redução de retrabalho ou refugo interno para blocos de motores conforme já foi comentado anteriormente.

Para o caso dos códigos presentes nos componentes do motor, motivo de uma peça ser rastreada é principalmente uma questão de qualidade. Ao conectar os elos de processos produtivos que estão fisicamente separados, como é o caso de um fornecedor que produz um turbo alimentador e a montadora que compra este componente dentro das especificações técnicas exigidas e executa a montagem e validação do conjunto motor-turbo é como se todo *know-how* do fornecedor estivesse sendo agragado ao *know-how* da montadora dentro da perspectiva da política da qualidade da mesma. Deter a informação de que tal motor está montado com tal turbo, que é um componente crítico do motor, e em se falando de motores, o que não é crítico? (somente usando uma tabela de critérios como a do manual do FMEA, nesse caso de indústria automotiva, é que se poderá dizer) é um grande diferencial competitivo. No caso de um motor apresentar uma falha em campo e esta falha estiver relacionada ao funcionamento do turbo, a investigação será direcionada tanto para se resolver o problema quanto para apontar a causa. Um bom sistema de rastreabilidade ajuda a identificar a causa-raiz do problema proporcionando tanto um método de aprendizado e enriquecimento do *lessons learned* (lições aprendidas) da companhia quanto um meio de justificar a causa da falha e direcionar ações aos verdadeiros responsáveis o que certamente auxiliará a não reincidência daquela falha.

Interessante para o entendimento global do seqüenciamento das operações pela visão do sistema, integrado ao processo é também relacionar operações, postos e transações, conforme também aparece no APÊNDICE G para a linha HS. Uma transação é para o sistema automático uma ação que pode trancar ou permitir a execução da transação seguinte em uma ordem de transações.

Uma transação pode assumir três distintos status:

- *Ok* : finalizou com status *ok*
- *Nok* : finalizou com status *nok*
- Cancelado: não finalizou a estação

Se a transação não começa não tem porque gerar *status*, o *status* é o final de uma transação, o seu resultado. O início da mesma é a permissão dada pelo *status* da transação anterior (cronologicamente anterior, ou seja, a última transação resultante dentro de um espaço de tempo).

#### **4.3.8. Intervenções manuais no Sistema automático**

Quando é realizada a abertura de um posto de trabalho, este fica alocado exclusivamente para um motor em específico (unidade) e só poderá ser utilizado por outro motor após o fechamento do mesmo. Há dois tipos básicos de intervenções que podem ser feitas (por um engenheiro, supervisor ou operador especializado) manualmente: *Altera status* e *Abort job*.

Há duas formas de encerrar (fechar) um posto de trabalho (*workstation*): Concluindo em modo automático (resultado de transação *ok* do posto) ou utilizando manualmente a intervenção de *Abort job* que consiste em ler um código de barras para cancelamento e em seguida o crachá com perfil de “administrador” no respectivo leitor do posto a ser encerrado.

A outra intervenção existente é a de *Altera status* que nada é mais do que um desvio do fluxo normal e pré-definido de um motor na linha de montagem. Uma ação de *altera status* requer levar a FCM do motor a um micro computador, ir à tela de alteração, dar a disposição

desejada ao motor e justificar no campo de observações. A intervenção de *altera status* permite que se aplique um “ok” tanto quanto um “nok” na transação, porém somente transações “ok” permitirão a continuidade do processo.

Foi coletada junto ao banco de dados uma série de informações de transações de *Alterar Status* e de *Abort job* e estas foram posteriormente estratificadas por posto de trabalho utilizando planilha de cálculo eletrônica. Isto foi feito para um período amostral suficiente para se eleger exemplos que favoreçam as análises e desvelo das causas destes acontecimentos.

Seguem no APÊNDICE H, amostras destes dados, os quais servirão para análise e discussão no capítulo cinco. No primeiro gráfico pode-se perceber uma grande quantidade e também uma grande variação mensal na quantidade de intervenções ao fluxo natural da linha de montagem. O mês de fevereiro de 2009 se sobressai nesta quantidade e a tendência, de um modo geral, é de alta. O gráfico seguinte procura relacionar a quantidade de intervenções com a quantidade de motores produzidos. Ao visualizar este gráfico percebe-se uma maior intensidade média de intervenções por motor produzido após outubro do ano de 2008 sendo que anterior a esta data, em média, a cada cinco motores produzidos era realizado uma intervenção. Isso mostra que proporcionalmente aos volumes de produção o número de intervenções ficou maior após a virada de ano de 2008 para 2009.

Para se fazer uma análise mais aprofundada as quantidades de *altera status* foram divididas pelas transações para as quais foram efetivadas e também separadas em cores para períodos aos quais pertencem. O período datado anterior a dezembro de 2008 é considerado um período que utilizava uma versão antiga do sistema automático, a partir de novembro houve um período de transição sendo que o período posterior a esta data consolida o uso de uma nova e última versão. Os resultados continuam no APÊNDICE H.

Estes gráficos mostram as barras lado a lado representando a quantidades de intervenções de *Alterar Status* por cada transação de posto de trabalho comparando os períodos anteriores a janeiro de 2009 e posteriores ao mesmo, pois nesta data de transição houve uma grande modificação do sistema com a instalação de uma nova versão.



decreceu em torno de 30% nos mesmos 16 meses seguintes. Isso significa que após a nova versão instalada, surpreendentemente aumentou muito a quantidade de intervenções manuais enquanto se esperaria o contrário já que a versão nova sugere melhorias em relação a antiga versão e melhorias sugerem um processo mais harmonioso e estável, conduzido ao natural e não mediante intervenções.

Percebe-se que para determinadas transações a quantidade de intervenções chegou a zerar comparando-se o antes e o depois enquanto que para outras transações chegou a dobrar o número de intervenções por motor produzido. A discussão a respeito do fato de aumentar ou diminuir a quantidade de intervenções manuais pode ser interpretada como algo bom ou algo ruim e isso será debatido adiante. A discussão a respeito das causas destas intervenções será abordada posto a posto, transação a transação.

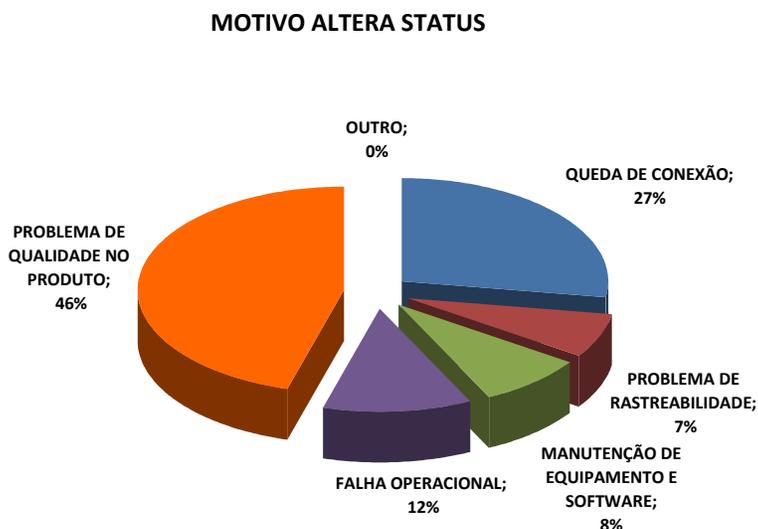
Outra forma de apresentar os dados é abrir um gráfico para cada posto de trabalho mostrando a evolução das intervenções mês a mês. Isso pode ajudar a entender e talvez até prever a quantidade que será dada no mês seguinte na medida em que se detectar as causas destas intervenções. A investigação das causas irá percorrer um caminho de busca de registros de ocorrências em linha de montagem mês a mês somada ao histórico de alterações de processo. A análise posto a posto também servirá para se ter um levantamento dos principais problemas e vulnerabilidades e inclusive uma visão do que está melhorando.

Desta forma cada posto de trabalho será estratificado mês a mês, e os gráficos de amostras selecionadas para elucidar as constatações estão exibidos e discutidos no capítulo cinco.

A análise dos dados apresentados, cruzando com os motivos das falhas e com a intenção de determinar um indicador ou alerta que o sistema possa oferecer é um dos resultados a serem apresentados no capítulo cinco, porém ainda neste capítulo 3 é interessante fazer um outro tipo de levantamento de dados. Uma pesquisa realiza através da coleta de dados de motivos pelos quais foram dadas intervenções de *altera status* classificando estes em 5 classes e mais uma classe “outros”. A coleta foi feita em registro manual pelo período de 20 dias realizado pelos operadores especializados da linha. Espera-se realizar esse levantamento novamente de forma eletrônica por um período maior para se ter um maior universo amostral e usar como dado de entrada para as

análises do capítulo 5. Para isso está sendo desenvolvida uma melhoria através de uma tela eletrônica para cadastro do motivo e um relatório coletado por período e por transação.

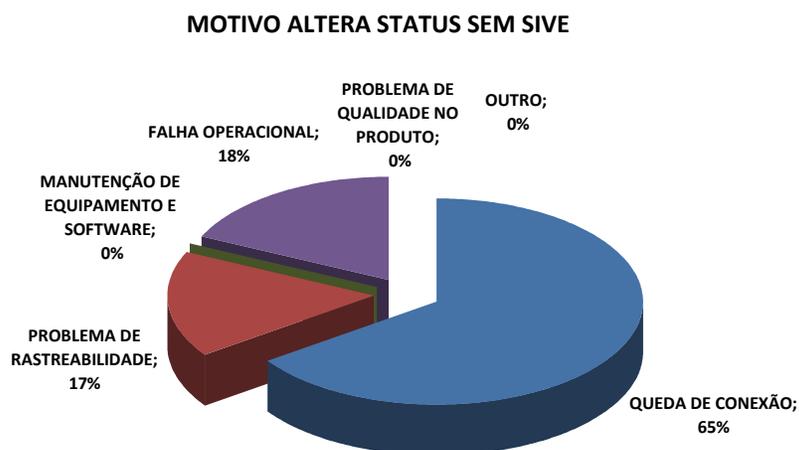
No gráfico da figura 17 aparece uma amostra de intervenções de *Altera Status* explodida por motivo. Observa-se que os principais motivos que geram a necessidade de uma intervenção de *Altera Status* nesta amostra coletada é de problemas de qualidade e de queda de conexão, mas também aparecem os erros humanos constatados pelos 12% de falhas operacionais. Na análise de dados isto será combinado com uma série de dados por posto de trabalho, intervenções de *Abort job* e sustentados por uma coleta maior de dados via banco de dados através da ação implementada de coleta eletrônica de motivos.



**Figura 17 – Gráfico de distribuição dos motivos de altera status da linha HS. Período de 20 dias em abril de 2010.**

**Fonte: Levantamento de dados elaborado pelo autor e coletado por operadores especialistas na linha de montagem HS.**

Neste período um dos grandes motivos de alteração do *status* era o robô de inspeção final eletrônica, conhecido como SIVE (*Eletronic Visual Inspection*) de inspeção final ter ficado fora de funcionamento por manutenção, portanto a sua transação necessitava ser alterada para que o motor seguisse adiante. O gráfico seguinte mostra os dados descontando essa causa especial. A figura 18 explicita essa argumentação.



**Figura 18 - Gráfico de distribuição dos motivos de altera status da linha HS. Período de 20 dias em abril de 2010. (descontados os casos de alteração por manutenção no robô de inspeção final).  
Fonte: Levantamento de dados elaborado pelo autor e coletado por operadores especialistas na linha de montagem HS.**

A seguir um sub-item do presente capítulo, o histórico de surgimento e implantação do atual sistema automático na linha HS e seus princípios de funcionamento.

#### **4.3.9. Histórico do Sistema Automático**

Segundo entrevista realizada com funcionários-chave do setor de TI, o Sistema Automático nasceu nos EUA, por volta de 1985. Seu conceito veio do mesmo lugar do qual o tão conhecido sistema Toyota ganhou fama: o supermercado. Ao analisar a velocidade e acuracidade que se obtia com a leitura dos códigos de barras dos itens no balcão, e estes iam se somando a uma lista *on-line* surgiu a idéia de codificar um motor e submetê-lo a regras. No Brasil a instalação do sistema deu-se de 1999 a 2000 com uso de linguagem C++. Logo em seguida, em 2002, a linguagem Java se mostrou vantajosa ocorrendo, então, atualizações.

Foi da necessidade de comunicação com as ferramentas de aperto que deu-se o grande salto no desenvolvimento do sistema.

A figura abaixo, obtida de uma apresentação interna da área de TI ilustra um breve passado, presente e futuro deste sistema e da linguagem de programação utilizada. O Sistema automático trabalha com um conceito cliente e servidor, e nos postos de estanqueidade e wave analysis foram inseridos conceitos de *stand alone*, onde a própria estação comunica diretamente com o banco de dados e usando soluções VB6 (Visual Basic versão 6). Porém, havia certas dificuldades de gerenciar regras de negócio, como por exemplo verificação de operadores, ou intertravamentos entre estações bem como configurações de acesso a banco de dados, que, se não protegidas devidamente, ficam ao acesso de pessoas mal intencionadas.

Após o projeto implantado em uma das linhas de montagem, lá pelo ano de 2003 foi a vez de investir no projeto dos *softwares* da linha HS. Incluindo ficha de construção, rastreabilidade de alguns componentes, teste de estanqueidade e abastecimento de óleo. Após esta primeira fase, surgiram, as ferramentas de apertos instrumentadas com grandes avanços tecnológicos na parte da eletrônica, as ferramentas de aperto múltiplas e os conversores eletrônicos de porta ethernet para portas seriais, gerando um novo sistema.

No ano de 2004 ou 2005 em uma nova linha de montagem instalada na planta houve a decisão de reescrever o sistema de gerenciamento das linhas em VB.Net que se mostrou mais dinâmico. Muitos dos problemas do HS foram resolvidos com esta nova tecnologia, principalmente problemas de performance da linha e tratamento de erros (como um cabo de leitor quebrado em uma estação acabar por para toda a linha de montagem gerando uma queda de conexão em todos os postos). A linguagem VB.Net é uma evolução da VB6 pois pertence a um fórum globalizado de melhoria que usa o conceito de biblioteca em desenvolvimento.

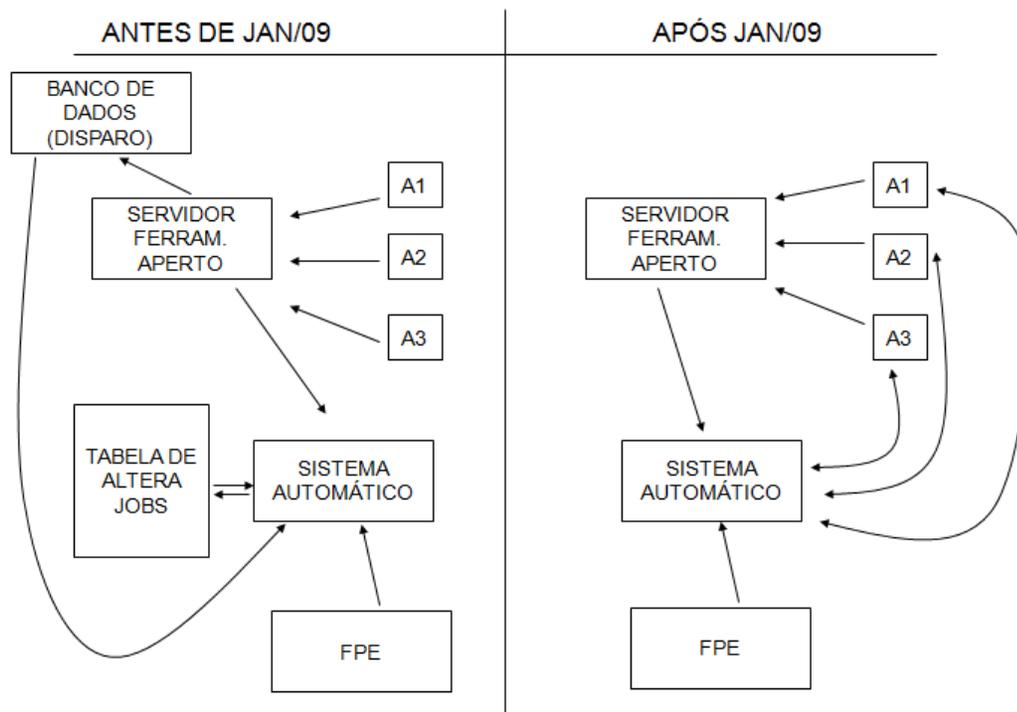
Em 2006 foi implantado uma versão evoluída do Sistema automático na linha de montagem MS voltada ao mercado de motores para tratores. O uso de ferramentas, amplamente difundidas para teste de *software*, como TDD, por exemplo, são usadas para fazer uma série de simulações e validações do sistema. O desenvolvimento é feito internamente, baseado nas decisões estratégicas.

#### 4.3.10. Versões do Sistema Automático

Antes a tecnologia de linguagem de programação VB6 (Visual basic 6) não permitia toda a quantidade de recursos que o *software* do Sistema automático necessitava. O sistema foi então totalmente reescrito em linguagem VBNet (Visual Basic. Net – biblioteca em desenvolvimento) permitindo processamento de eventos concorrentes sem perda de velocidade, e também foi disponibilizado em que um *software* só está dedicado a atender a linha integrando todos os equipamentos da linha.

Antes trabalhava por tarefas, um *software* fazia a leitura do leitor e outro ativava a programação das ferramenta de apertos através da seleção dos jobs. O *software* era procedural obedecendo uma seqüência de regras. A linguagem era obsoleta e as pessoas trabalham especificamente com aquela linguagem eram cada vez mais raros no mercado de trabalho. Hoje o *software* é único e trabalha orientado a objetos, isto significa que pode diferenciar em qual ferramenta de aperto ou micro computador esta conectado. O fato de ser um *software* único também facilita sua manutenção.

Na nova situação as ferramentas de apertos possuem maior integração com o sistema, elas são quem realizam seqüências de *jobs* e *poka-yokes* e quando termina a ferramenta de aperto responde *job ok* para ao servidor. Assim funciona com os postos que são relacionados aos apertos e conversores e as estações de inspeção, rastreabilidade de componentes e *poka-yokes* desvinculados de ferramenta de apertos. O servidor espera todos os *ok* do posto conforme cadastro do número de ferramenta de apertos alocadas no posto e do qual hoje o engenheiro de processo tem acesso dedicado a alteração , e aprova o motor habilitando-o para o próximo posto e desocupando o posto anterior para aceitar uma nova leitura,. O modelo anterior permitia sobreposição de leitura. A figura 19 esquematiza esse comparativo.



**Figura 19 – Ilustração comparativa das duas versões do Sistema automático antes a depois de janeiro de 2009**

As simbologias A1, A2, A3, representam as ferramentas de apertos, que consolidam os postos e também os *poka-yokes* ligados a microcomputadores, CLPs, estações de abastecimento de óleo, estações de entrada de linha, estações de inspeção de folga axial ou inspeção da protrusão de pistão que são as denominadas estações. A caixa sistema automático representa a comunicação leitor, FCM com o conversor. Cada conversor, que é um conversor eletrônico de uma porta ethernet e 4 portas seriais ligadas aos leitores, pode receber, então, até 4 leitores de código de barras (leituras de códigos datamatrix são realizadas em estações e servindo como registro em *softwares* específicos mas não como dado que navega para acionar ou desacionar uma transação do sistema automático. A comunicação do crachá do operador com os dados da tabela de operadores habilitados na operação do posto de trabalho para responder ao questionamento do sistema automático se pode ou não abrir o posto de trabalho é representado pela caixa FPE (folha de processo eletrônica).

Na versão anterior quem gerava a aprovação de um posto era o banco de dados através de um disparo (pulso) pois o banco de dados buscava informação de apertos realizados do servidor

das ferramentas de aperto e os enviava ao sistema automático, em paralelo o sistema automático comparava a quantidade de apertos realizados pelos dados recebidos com uma tabela de *Altera jobs* que era atualizada manualmente pelos engenheiros da linha. Ao mesmo tempo o sistema automático buscava informação de FPE (folha de processo eletrônica) para saber se podia habilitar um novo posto de trabalho e enviava estas informações às ferramenta de apertos. As ferramenta de apertos por sua vez enviavam dados de reposta ao servidor das ferramentas de aperto. O sistema necessitava da atualização do engenheiro da tabela de Altera Jobs que era uma relação de cada Job de cada ferramenta de aperto para cada modelo de motor diferente, contendo a soma de quantidade total de apertos dos respectivos programas do job. O servidor do servidor das ferramentas de aperto buscava uma a uma as ferramentas de apertos até varrer todas as operações dos postos naquele instante. Tudo precisava estar bem sincronizado para não gerar atrasos de respostas e conseqüente erros de comunicação.

Na versão atual esta tabela simplesmente não é mais necessária pois o sistema aguarda os dados diretamente da ferramenta de aperto, é o equipamento que dá o fim do *job* e não uma contagem de *jobs ok* do servidor das ferramentas de aperto comparada com uma quantidade de *ok* de uma tabela. São as ferramenta de apertos que mandam a resposta de quando acabaram seus *jobs* e não servidor do servidor das ferramentas de aperto, este só armazena os dados. Nesta versão nova o sistema não trabalha mais com o conceito de aprovação de banco de dados e sim com o envio dos dados diretamente do servidor do servidor das ferramentas de aperto para o sistema automático. Assim as ferramenta de apertos realizam seus trabalhos por conta do potencial de seu próprio equipamento, são acionadas pela habilitação gerada pelas regras do sistema automático e pela resposta *ok* de FPE, e retornam dados ao servidor das ferramentas de aperto para armazenamento e respostas de *ok* ou *nok* ao sistema automático para conclusão de transação.

Pode-se sintetizar da seguinte forma:

Antes:

- Um sistema cuidava das leituras do leitores e jogava numa fila
- Outro sistema consumia da fila e enviava para a ferramenta de aperto
- Um terceiro sistema fazia a aprovação de postos, direto no banco de dados

Na versão atual:

- Um único sistema faz tudo

As vantagens e a potencialidade da nova versão instalada do sistema automático bem como os comentários pertinentes ao sistema em desenvolvimento chamado de sistema automático nova versão são resultados a serem discutidos no capítulo 5, no qual ocorre também o resgate das estas e outras alterações realizadas de modo a estabelecer as vantagens aplicadas a nova versão do sistema e discutir os pontos de melhoria obtidos.

No capítulo cinco serão resgatadas estas e outras alterações realizadas de modo a estabelecer as vantagens aplicadas a nova versão do sistema e discutir os pontos de melhoria obtidos.

O sub-item do capítulo presente, que segue, mostrará uma série de dados de entrevista com os operadores da linha de montagem HS e que servem também como resultados relevantes para discussão.

#### **4.3.11. Entrevista com os operadores**

Com o intuito de verificar o conhecimento e enriquecer os dados de detecção de vulnerabilidades do sistema procedeu-se a uma entrevista com os operadores conforme segue.

Foram 7 questões de múltipla escolha realizados com 30 operadores do primeiro turno da linha de montagem HS em abril de 2010. A entrevista na íntegra junto dos resultados comentados encontram-se no APÊNDICE I.

A partir de agora segue-se ao capítulo cinco no qual os dados e informações levantadas até o presente momento serão debatidas, os resultados das análises e discussões serão apresentados e comentários, conclusões parciais e melhorias realizadas, melhorias em andamento e propostas serão reveladas.

## 5. Resultados e suas discussões

Tendo em vista que atender aos objetivos deste trabalho é estar auxiliando na busca de melhorias em prevenção e detecção de falhas no processo produtivo de montagem do motor diesel, e melhorias contínuas em termos de monitoramentos e relatórios gerados, usados para controle de documentos de montagem, investigações posteriores a montagem e para computar indicadores *on-line* abrangendo os processos industriais de suporte à produção, onde possível e onde aplicável, pode-se dizer que os seguintes resultados foram alcançados:

- FMEA do processo de funcionamento do sistema durante a montagem do motor, feito com a participação de representantes do setor de TI (tecnologia da informação), do setor de Engenharia de Manufatura Avançada e representantes da Engenharia de Processo e do Processo Produtivo incluindo operadores, técnicos e especialistas operacionais;
- Lista de funções que o sistema deve cumprir;
- Respostas e debates em torno de questões realizadas em *brainstorming* com operadores da linha apresentando as propostas de melhorias e suas respectivas aderências ao FMEA de processo realizado;
- Lista de melhorias pontuais implementadas ao longo do trabalho com seus respectivos exemplos e abrangências e vantagens obtidas;
- Discussão realizada e esboço de proposta de melhoria com relação ao sistema satélite da folha de processo eletrônica por consulta, criação e edição incluindo a melhoria em matriz de competências *on-line* e registro de documento de treinamento *on the job* eletrônico;
- Discussão a respeito do uso do sistema como banco de dados de ocorrências de rejeições de qualidade e também como banco de dados de ocorrências diversas para uso em uma série de indicadores;
- Discussão sobre o uso do sistema automático para estudos de engenharia industrial, balanceamentos de mão-de-obra e princípios de trabalho padronizado;
- Discussão a respeito do uso do sistema para controlar a validação de *poka-yokes* em início de jornada;

- Levantamento das vantagens e das oportunidades de melhoria de aproveitamento do relatório de rastreamento de defeitos, ferramenta nova que só existe no sistema automático nova versão;
- Comparativo de versões do sistema automático incluindo a versão futura, conhecida pelo nome de sistema automático nova versão e que ainda não foi implementada na linha de montagem HS;
- Discussão a respeito de motivos de *altera status*;
- Discussão sobre a relação entre quantidade de falhas operacionais com a quantidade de transações de *altera status*.

Em uma primeira abordagem multidisciplinar envolvendo opiniões de profissionais de Tecnologia da Informação, de Produção como engenheiros, técnicos e operadores especializados da montagem e de Manufatura Avançada foram levantadas as principais funções que o sistema automático deve cumprir a fim de atender às necessidades de fluxo dinâmico de informações, rastreabilidade de dados e confiabilidade de processo.

O uso de ferramentas de análise de risco e priorização como o FMEA (*Failure Mode Effects and Analysis*) foi de grande valia para organizar e estruturar os levantamentos e as análises. Um formulário padrão, usual dentro da companhia, para um FMEA de processo foi utilizado e encontra-se em anexo. O documento foi construído a partir de reuniões e debates entre profissionais de TI, engenheiros do processo de montagem e operadores especialistas ao longo da realização do curso de pós-graduação.

Uma lista geral de melhorias realizadas foi gerada com os respectivos comentários.

Uma sequência de melhorias em andamento, mas que ainda não foram concluídas é também descrita e contém a proposta e objetivo.

O uso do Sistema automático nova versão, o qual está aplicado recentemente ( a partir de julho de 2010) em uma linha de montagem, vizinha é brevemente comentado e suas principais melhorias em relação ao Sistema automático são reveladas e discutidas.

Um comentário geral sobre dados levantados no capítulo 4 também é cabível juntamente com a discussão a respeito do cadastro de motivos de *Alterar Status* como fonte de dados para

priorização de ações e o uso do Rastreamento de defeitos (relatório específico do Sistema automático nova versão) como solução de cadastro em tempo real para rejeições internas é tema pertinente.

### **5.1. Análise de vulnerabilidades do sistema no processo**

Durante o levantamento das funções que o sistema deve desempenhar ao longo do processo de montagem, foi possível classificar grupos com o objetivo de facilitar o entendimento coletivo sobre a abrangência de cada assunto favorecendo a construção do PFMEA.

A classe “Aperto”, “Gerenciamento e controle de funcionamento de *poka-yokes* e interface de comunicação com outros sistemas” aparece na tabela 2 e trata de todas aquelas relações íntimas entre o sistema e os equipamentos de aperto, como sua contagem de apertos, seu *job* composto por uma sequência de programa, as particularidades de cada programa, a estratégia do aperto (por exemplo, controle de torque e monitoramento de ângulo), a capacidade de detectar que o parafuso já está apertado e recusar o *ok*, a comunicação entre equipamentos diferentes, os equipamentos de apertos múltiplos e simultâneos, a relação com *poka-yokes* e a interface humana com o uso de sensores e leds, as interdependências, as permissões e trancamentos. Para estas, uma série de modos de falha específicos foram levantados e as soluções dadas remetem a um entendimento profundo da tecnologia de que se dispõe e foram colocados de uma forma explícita e objetiva no PFMEA. A partir daí, com a intenção de abranger os modos de falha e as causas respectivas para que funções e requisitos como: garantia de seqüenciamento na realização de operações de montagem, validação de componente correto, interação com máquinas-ferramenta e detecção de defeitos sejam corretamente cumpridas, ou melhor desempenhadas não há melhor forma de exposição do que a própria ferramenta do PFMEA utilizada.

**Tabela 2-Classe 1 - Lista de funções e requisitos que o sistema automático deve desempenhar.**  
**Fonte: Arquivos da Engenharia de Processo da empresa caso.**

<b><u>Funções e requisitos internos para o sistema Sistema automático</u></b>	<b>Como pode falhar?</b>	<b>Grupos ou classes de discussão</b>
Garantir o seqüenciamento e a realização das operações de montagem	Não fazer a seqüência e aprovar igual, não fazer uma operação e aprovar mesmo assim	Apertos
Validar o uso de um componente	Registrar código de outra peça e aceitar	Gerenciamento e controle de funcionamento de <i>poka-yokes</i>
Rastrear o ponto onde o motor está construído	FCM do motor não aceitar receber leitura ou motor falhou em campo e quando consultar diagnóstico não se entende, não sabe onde o motor parou e onde está alocado na fábrica	Interface de comunicação com outros sistemas (ERP, FPE, supervisórios)
Interagir com máquinas-ferramenta auxiliando na garantia da realização dos apertos especificados	Não comunica com as máquinas ou com muita falha ou muito problema de desconectar da máquina ou redundância de regras de funcionamento	Apertos
Fazer testes de diagnóstico (como o hot test, leak test, cold test e estações <i>poka-yoke</i> )	Não permitir fazer testes deste tipo nem obter aprovação do motor nos mesmos	Interface de comunicação com outros sistemas (ERP, FPE, supervisórios) e controle de <i>poka-yokes</i>
Ser um <i>poka-yoke</i> vivo, pronto para receber novos <i>poka-yokes</i> dentro de uma perspectiva de melhoria contínua	Ser muito rígido e dificultar a inclusão de <i>poka-yokes</i> ou mesmo o seu rastreamento	Gerenciamento e controle de funcionamento de <i>poka-yokes</i>

Já na classe “Rastreabilidades” e “Gerenciamento de dados para Qualidade” foi compilada na tabela 3 na qual tem-se o exame de como os dados de montagem são registrados, organizados e dispostos a fim de evitar o uso de componentes errados, prevenirem tanto a montagem quanto o registro de rastreabilidades erradas de componentes ou mesmo o não-registro e medir a potencialidade do sistema reter e apresentar os dados de forma a facilitar investigações futuras, quando de falhas do motor em campo, por exemplo, contribuindo para eliminar hipóteses e sustentar argumentações baseadas em dados precisos durante a perseguição da causa raiz o que certamente contribui também para o alcance dos indicadores da Qualidade da empresa.

**Tabela 3- Classe 2 - Lista de funções e requisitos que o sistema automático deve desempenhar.**

**Fonte:** Arquivos da Engenharia de Processo da empresa caso.

<b><u>Funções e requisitos internos para o Sistema automático</u></b>	<b>Como pode falhar?</b>	<b>Grupos ou classes de discussão</b>
Coletar registros de códigos de componentes dos componentes	Não registrar e motor ir adiante, registrar código de outra peça e aceitar, arquivar dados de um motor na FCM de outro provocando confusão e atraso de produção	Rastreabilidades
Servir como banco de dados para investigação de falhas de produto/processo	Ter um banco de dados que disponha as informações de modo não amigável e "engessado"	Gerenciamento de dados para Qualidade e tratativa de rejeições
Impactar positivamente nos indicadores produtivos tais como eficiência operacional, fator qualidade para o OEE de bancos de teste dinamométrico, indicadores de rejeições internas e externas.	Não contribuir de forma satisfatória para o atingimento dos indicadores produtivos, entendendo que o sistema é uma arma competitiva.	Gerenciamento de dados para Qualidade e controle de <i>poka-yokes</i>
Verificar com relação a estrutura o uso ou não de um determinado componente	Folha de processo aceitar um componente que não existe ou foi expirado por alteração de engenharia	Gerenciamento de dados para Qualidade e documentos de processo

A classe “Controle de mão-de-obra habilitada” e “Documentos de processo” “Geração de relatórios” e “interface de comunicação com outros sistemas (ERP, FPE, supervisórios) e com o usuário” e “edição amigável para o processista” aparece na tabela 4 e trabalha o foco do controle de documentos necessários ao funcionamento do chão-de-fábrica, ao funcionamento da FPE (folha de processo eletrônica), ao treinamento padronizado dos operadores (treinamento *on the job*) diretamente ligado ao atendimento da norma automotiva ISSO/TS 16949:2009 que rege o sistema da Qualidade, fundamental para a manutenção do negócio. Nesta classe ocorre a crítica ao potencial não aproveitado do sistema em poder disponibilizar recursos automáticos e *on-line* para a realização de processos administrativos os quais são repletos de funções burocráticas. Atualmente o sistema já provê uma série de relatórios e serviços de pesquisas de dados úteis ao funcionamento fabril, facilitando em muito o dia-a-dia dos profissionais da manufatura se comparado ao passado. O resultado da discussão é apontar quais rotinas e relatórios deveriam ser melhorados no quesito automação, visando reduzir tarefas que não agregam valor para a empresa.

**Tabela 4 -Classe 3 - Lista de funções e requisitos que o sistema automático deve desempenhar.**  
**Fonte: Arquivos da Engenharia de Processo da empresa caso.**

<u>Funções e requisitos internos para o sistema Sistema automático</u>	<b>Como pode falhar?</b>	<b>Grupos ou classes de discussão</b>
Detectar defeitos e reter dados de qualidade	Não controlar cadastro de operador apto, data de último treinamento com data atual e nº de revisão do documento de processo, não dispor de forma segura a documentação necessária	Controle de mão-de-obra habilitada vinculado ao controle de documentos
Garantir que somente operador treinado execute a operação	Permite que operador sem habilitação trabalhe ou não registre ou não ajude a controlar e monitorar a presença de operadores logados nas operações	Controle de mão-de-obra habilitada vinculado ao controle de documentos
Registrar alterações e revisões de processo e reter histórico de documentação de processo através das folhas de processo eletrônicas.	Não ser útil e ágil o suficiente com relação a retenção de registros, arquivamento, alteração criação e edição de documentos necessários ao processo de montagem do motor.	Controle de documentos de processo
Ter interface com sistema ERP	Não comunicar com estrutura, não atualizar com estrutura, não expedir, não gerar nota fiscal e não dar baixa em peças do MRP no inventário	Geração de relatórios
Realizar relatórios on-line	Não dispor de relatórios suficientes nem satisfatórios para contribuir com a diminuição do trabalho burocrático de rotina para engenheiros de processo e de qualidade	Geração de relatórios e interface amigável com o usuário e edição amigável para processista
Ser uma ferramenta flexível e customizável permitindo a edição de regras de sequenciamento e trancamento do processo pelo processista sem alta dependência de TI	Plataformas de comunicação dependentes de área suporte de TI nas estações e no funcionamento da linha de montagem	Interface amigável com o usuário

A partir de encontros de *brainstorming* (tempestade de idéias) realizados envolvendo participantes das áreas de TI (Tecnologia da Informação), operadores especializados da linha de montagem e do setor de Manufatura Avançada e a partir das funções listadas acima com classes atribuídas aos assuntos discutidos em pelo menos três diferentes abordagens e também da sequência de funcionamento do sistema automático no chão-de-fábrica foi realizado, de forma abrangente e genérica um PFMEA (análise dos efeitos e modos de falha potencial) do processo de funcionamento do sistema durante a montagem do motor no processo produtivo, partindo da sua versão do ano de 2008, quando o estudo deste trabalho se originou, considerando todas as

suas interações com processos de apoio diretamente ligados e dando ênfase naqueles pontos em que a nova versão do sistema foi responsável por solucionar a grande parte dos problemas.

### **5.1.1 PFMEA do Sistema no processo de montagem**

As informações adquiridas a partir dos levantamentos e encontros de *brainstorming* foram organizadas em um formulário PFMEA 4ª edição conforme Manual de Referência Quarta Edição (IQA e AIAG, 2008) para atender os requisitos da norma ISO/TS 16949:2009. Como essa ferramenta possui um conceito de documento vivo, portanto sujeito a retroalimentações, os pontos mencionados não tem a pretensão de esgotar completamente as possibilidades de chances de falha ou mesmo das soluções definitivas para os problemas, porém configura uma tentativa extensiva de organizar idéias, hipóteses e até reclamações internas e externas relacionadas ao uso do sistema automático, enxergando-o, é claro, como uma arma competitiva para a corporação enquanto auxílio direto ao sucesso do fluxo de valor da produção e à confiabilidade do processo.

O documento PFMEA realizado segue em anexo, o que consta a seguir são os comentários sobre os principais pontos abordados no intuito de construir uma lista de melhorias atingidas.

Se for considerada a avaliação dos itens do APÊNDICE A, no PFMEA pelo *ranking* de prioridade de risco pode-se dizer que os itens 18, 17 e 19 estão, nesta ordem, no topo desta lista. Isto se deve ao fato de que as ações apontadas para estes ainda não foram concluídas. Os itens 4, 7 e 10, por exemplo, ofereciam risco muito maior e estariam em prioridade, porém as ações tomadas baixaram o índice de risco, removendo-os do topo do ranking.

O item 18 trata do modo de falha de o sistema permitir que registros da qualidade tenham informações discrepantes entre si (matriz de habilidade e registro do treinamento *on the job*). Isto significa que a função de garantia de operador treinado executando a operação e o requisito de registro correto do treinamento do mesmo nos formulários internos é negada, ou não completamente cumprida. O efeito disso é uma não-conformidade para o Sistema da Qualidade. A causa principal apontada é para o método de registro que é feito através de formulários

manuais. Por fim, a ação indica uma necessidade de desenvolver e implementar um sistema para treinamento de *on the job* de forma eletrônica, que seja ágil e efetivo para operador e que atualize os formulários exigidos de forma automática.

Como primeiro passo para realização desta ação, que foi tomado até o momento foi a realização de reuniões entre TI e Engenharia de Processo para avaliar o fluxo detalhado de informações e necessidades. Esta etapa foi cumprida com a construção do fluxograma atual para criação e edição de folhas de processo eletrônica e a partir destes a relação de necessidades de modificação para automatizar os processos. Em paralelo uma consulta sobre sistemas novos que realizam interações entre instruções de trabalho e planos de controle e PFMEA e que podem também se comunicar com um castro de operadores e estações de trabalho foi realizado, porém ainda nenhuma decisão oficial foi tomada.

A partir do fluxograma de criação e edição de folhas de processo eletrônicas (mapa de fluxo atual) que se encontra em anexo, foram identificadas as melhorias necessárias em cada passo, e este material também encontra-se em anexo. Este trabalho serve como um levantamento das necessidades de alteração a fim de melhorar o trabalho de documentação de processo tanto em acuracidade dos dados como em agilidade de execução.

Segue abaixo um resumo das necessidades levantadas nos *brainstormings* pela equipe de manufatura-montagens e consolidadas em novembro de 2009 e um descritivo da grande melhoria realizada que foi resultado de um dedicado trabalho em planilha eletrônica () batizado de “*on the job piloto*” o qual usa os cadastros de operadores e postos já mencionados.

Necessidades de melhorias em folhas de processo eletrônicas:

- Criação de FPE's do zero devem seguir mesmo layout de edição de folhas (oferece todos os elementos ou apresenta uma tela única, sem ter que ter telas separadas para cabeçalho, lista de peças, lista de ferramental e conteúdo com sequência de fotos e textos);
- Criar lista única na página do cabeçalho relacionando todos os componentes e ferramentais utilizados na FPE, escolhendo em cada página com *check-box* quais elementos serão utilizados;
- Consulta de lista de folhas deve ser mais rápida;

- Deve-se ter a opção de escolher onde será adicionada uma nova página de uma FPE, e não apenas no fim da folha como é hoje;
- Carregamento da janela de inclusão de componentes deve ser mais rápida e fácil pesquisa por descrição ou por código além de dispor apenas as peças do modelo de motor escolhido;
- Aprovação, treinamento e edição de FPE's deve abrir em nova janela para evitar carregar todo sistema de navegação;
- Data de expiração deve ser automática conforme procedimento da Qualidade;
- Deve existir possibilidade de alterar foto e descrição de trabalho separadamente;
- Folhas não aprovadas não podem trancar login de operadores;
- Folha editada (ainda não aprovada) não deve gerar mais de uma nova revisão;
- Criação de controle de revisões automático para a edição de FPE's;
- Matriz de habilidades eletrônica deve ser alterada e relacionada com o login dos operadores;
- Eliminar assinatura de *on the job* criando confirmação via crachá com relatório (possível de ser impresso) para ser usado como evidência;
- Remoção de pessoa do registro do *on the job* quando trancar pelos 3 meses de não-login do operador e atualizar a matriz de habilidades eletrônica automaticamente;
- Ativar o vínculo com desvios e alertas da qualidade (documentos temporários) e de ocorrências gerais.

Como ação interna, enquanto não se realiza uma ação via sistema, promoveu-se uma melhoria para tornar a atividade manual de planilhas eletrônicas em uma só planilha. Foi desenvolvida uma matriz de cadastro de postos, operações e modelos de motores e também um cadastro de operadores, este com 4 variáveis (nível de treinamento, validação, tempo de duração do treinamento e data de realização) para cada posto de trabalho. Com isso conseguiu-se reproduzir de forma automática os relatórios exigidos na atualidade pelo procedimento interno, bastando um único cadastro paralelo ao sistema de folhas de processo eletrônicas e não três como era anteriormente. Os relatórios são: a matriz de habilidades, o consolidado de horas de treinamentos por mês e o registro de treinamento *on the job* por posto com as respectivas assinaturas dos montadores (a assinatura valida o recebimento de treinamento).

As etapas do resultado da melhoria “*on the job* piloto” aparecem no APÊNDICE J.

É importante enfatizar, que a proposta dentro do escopo deste trabalho foi cumprida, que é o levantamento das necessidades e a discussão preliminar de viabilidade técnica junto aos profissionais de TI, sem a pretensão de concluir por completo as alterações propostas no sistema de documentação eletrônica do processo dentro do prazo do curso de mestrado profissional. Toda e qualquer alteração depende de investimento e decisão corporativa.

Uma etapa importante, visando atender à exigência de que, a cada três meses que um operador não realizasse *login* em determinado posto em que havia sido treinado, o posto deveria ficar trancado obrigando a um retreinamento foi atendida com sucesso após uma alteração via TI (tecnologia da informação) porém a retroalimentação no documento *on the job* ainda é feita de forma manual. Isso é um grande passo para evitar que falhas fossem geradas pela desatualização do treinamento a respeito das operações do processo e de atualização das informações do seu próprio posto de trabalho.

A partir mapeamento do fluxo de folha de processo eletrônica foi suscitado inúmeros questionamentos que transcenderam o uso tópico deste sistema em particular. Ao avaliar o fluxo de como o processo de informação deve acontecer no quesito de documentação para a linha de montagem, atendendo às necessidades de instrução técnica, exposição de controles, análises de risco, geração de indicadores produtivos e corporativos, retroalimentações de acordo com as ocorrências em piso-de-fábrica e atendimento às formalizações da norma automotiva ISO/TS 16949:2009 percebe-se que poderia ter um sistema único que trabalhasse de forma integrada para suprir todas as necessidades exigindo um mínimo de recurso humano agregado para mantê-la.

Na verdade, assim como tornou-se evidente uma oportunidade de melhoria do sistema de folhas de processo, o qual já havia sido tornado eletrônico no passado e vinculado ao sistema automático a fim de promover os trancamentos e coibir a geração e a propagação de falhas, também enfatiza-se a oportunidade de agregar ao sistema os levantamentos de retrabalhos, desvios e tratativas de falhas, que são coisas feitas diariamente, porém sem vínculos eletrônicos que assegurem a completa integração das ocorrências em todas as ramificações necessárias. Claro que há o risco de “engessar” processos o que demanda a integração ser feita de forma a otimizar os recursos utilizados com as necessidades de atendimento.

Para tornar essa arguição mais clara, pode-se abrir o seguinte exemplo. Para início de jornada um operador deve estar apto à atividade, cadastrado no vínculo FPE-Sistema automático, estar ciente das alterações, desvios, ocorrências e informações diversas sobre melhorias realizadas na sua operação, novidades quanto a *poka-yokes* ou outros controles instalados, rejeições internas na linha de montagem direta ou indiretamente relacionadas à sua operação, ocorrências de paradas de linha com seus motivos e justificativas, planejamento da produção do dia, *takt time* que irá trabalhar com o respectivo roteiro de atividades provenientes do balanceamento operacional, reclamações de cliente, status do indicador de gastos indiretos (o qual ele pode melhorar com simples atitudes de não desperdício de produtos usados na operação mas que impactam em custo indireto), nível de falhas operacionais, e inúmeras outras informações a respeito de ergonomia, segurança do trabalho questões ambientais, problemas de manutenção entre outros que ocorreram na jornada anterior, se houverem bem como saber como foram tratados, quando isso for pertinente. Assim, documentos como folha de processo eletrônica (que consta na tela do computador), documentos em formato de papel (que constam em pastas aéreas na linha de montagem) os quais podem ser Auxílios Visuais para a Produção, Auditoria do Operador para validação de *poka-yokes* em início de jornada e verificação de aspectos ergonômicos e de 5S's do posto de trabalho, Tratativas de Falha Operacional e Alertas para a Qualidade do Produto e do Processo, devem estar no mínimo atualizados, presentes no local, com seu treinamento *on the job* refetuado e corretamente registrado com a coleta de assinaturas dos operadores envolvidos e respectivos controles de alterações atualizados (hoje são feitos manualmente em planilha eletrônica).

Se pensar que estes documentos são lançados diariamente para a produção, a fim, principalmente, de informar e alertar os operadores das rejeições e falhas encontradas tanto no processo como no produto (existe, inclusive, uma reunião diária em chão-de-fábrica para dar destino às ocorrências), pode-se questionar o seguinte: Com qual agilidade e acuracidade os treinamentos *on the job* são realizados e seus impactos retro-alimentados para promover robustecimento do processo? Com qual agilidade e acuracidade os dados gerados retroalimentam os relatórios de rejeições internas, os relatórios e tratativas de falhas em cliente, os indicadores de Redução de Risco e a Eficiência Operacional?

Certamente que a prioridade natural é de, para qualquer caso de entendimento de que se está diante de um problema é se realizar um *brainstorming* o mais rápido possível, tomar ações

de contenção, viabilizar ações corretivas e posteriormente planejar ações preventivas, mas com qual agilidade se consegue realizar este circuito e ao mesmo tempo ter os registros acompanhados de forma atualizada?

O uso de um sistema elimina o problema de informação desatualizada ou registro incompleto porque a informação acompanha a matéria e o registro é cada vez mais confiável como se pode perceber pelo uso extensivo de leitores ópticos (leitores) além dos *softwares* utilizados, que validam o que foi lido e bloqueiam o processo se a informação não estiver presente.

Portanto abre-se a intenção, para um trabalho futuro, de se prover a integração global destes procedimentos documentais com os procedimentos de tratativas de falhas e registros de ocorrências. Há a percepção clara de que isso é possível, embora trabalhoso e dispendioso.

Voltando ao escopo proposto pela lista de necessidades em folha de processo eletrônica, em particular, o resultado das discussões aponta para a sistematização global dos eventos realizados pela planilha piloto com um sistema que vincule cada variável ao sistema de folhas de processo eletrônica já existente ou então, a necessidade de implantação de um sistema totalmente novo, customizado e interligado ao sistema automático que possa inclusive vincular desde a criação do fluxograma de processo, passar pelo FMEA, pelo plano de controle e até chegar às instruções de trabalho, Alertas para Qualidade, Auxílios Visuais e Folhas de Processo.

Estes debates continuam em andamento dentro das atividades da manufatura e montagem e vale ressaltar que indicadores corporativos como o de Redução de Risco de Qualidade que é alimentado pelo ranking mensal dos PFMEA e o indicador produtivo de Eficiência Operacional que é afetado pelas ocorrências nas linhas de montagem têm a tendência de serem retroalimentados em intervalos cada vez menores, talvez de modo *on-line* no futuro, vindo ao encontro de todas estas expectativas de automatização de processos administrativos.

O item 17 trata do modo de falha de o sistema aprovar motor que sofreu retrabalhos, ocorrências de manutenção, mas não necessariamente vincula as tratativas dadas nem traz de forma direta e única o que realmente se passou com aquele motor. Isto significa que a função de servir como banco de dados para investigações de falhas de produto e processo e requisito de garantir retenção de dados para dinamizar o processo não é cumprida da melhor maneira. Como efeito tem-se a dificuldade de entendimento e falta de agilidade durante uma investigação de falha em cliente ou de uma rejeição em algum lugar do processo. A principal causa apontada é de

que o conceito do sistema não foi feito para tratar ocorrências de defeitos, falhas ou retrabalhos por mais que contenha um campo livre para observações no diagnóstico de cada motor, e que bem por isso, por ser algo livre, que dependa do operador registrar, ou não, descaracteriza um controle de rejeições e retrabalhos. Por fim, a ação indica uma oportunidade de avaliar o sistema automático nova versão, o qual foi desenvolvido pela mesma equipe de TI e considera-se uma evolução do Sistema automático. Este sistema foi instalado em outra linha de montagem vizinha, a linha MS, desde Julho de 2010 e é uma ferramenta nova do sistema global da corporação.

As comparações entre sistemas serão dadas logo a seguir, agora o interessante é fazer uma breve explanação sobre o sub-sistema chamado de Rastreamento de defeitos , um recurso dentro do sistema automático nova versão e que vem ao encontro de se tratar de rejeições via sistema.

Resumidamente pode-se colocar o funcionamento do Rastreamento de defeitos da seguinte maneira:

- 1- Operador lê o crachá;
- 2- Ler a FCM (ficha de construção do motor);
- 3- Ler o componente;
- 4- Localização;
- 5- Defeito;
- 6- Status (precisa de conserto, foi consertado ou “nenhum defeito encontrado”).

Além desses campos foi incluído um campo para observações, cujo preenchimento é opcional (mantido a opção de se agregar informações adicionais, que com o tempo, se tornarem-se sistemáticas poderão vir a ser ingressadas na lista de defeitos)

Para consultar os defeitos, basta ir em relatórios/pareto por defeitos. Os dados ficam disponíveis para construção de gráficos em planilha eletrônica (). Uma vez tornado sistemático o gráfico é gerado de forma automática bastando copiar as informações do relatório de dados disponível e colar sobre a “máscara” dentro da planilha.

Listando, em linhas gerais, as vantagens do uso do Rastreamento de defeitos , tem-se:

- Possibilidade de cadastro do defeito na estação do erro, eliminando planilhas manuais para rejeições de *leak-test*, inspeções, rejeições de *hot test*, livro de ocorrências;
- *Status on-line* dos defeitos já paretados com simples busca;
- Possibilidade de trancamento via sistema do motor. Hoje, se um motor rejeita na inspeção final, e a ficha vermelha é extraviada, nada impede que esse motor seja despachado. Com o Rastreamento de defeitos , se o defeito é cadastrado, gera um status no sistema, e pode impedir a emissão da etiqueta de despacho;
- Em teoria, eliminaria a necessidade de caderno da revisão e até da ficha vermelha. Essas práticas provavelmente não serão eliminadas, pois mantém um histórico confiável do problema e criam uma fácil gestão visual dos motores.

Avaliando-se os pontos a serem melhorados, tem-se as seguintes necessidades gerais:

- Traduzir os códigos conforme conveniência para o processo;
- Não utilizar a mesma lista mestre para todas as linhas de montagem (sistema é utilizado na planta dos Estados Unidos da América e inicialmente é uma lista única) . Não faz muito sentido que se comunique descrições de defeitos para produtos diferentes, pois acaba-se tendo um rol muito grande de defeitos com listas imensas, quando a maioria deles não se aplica para determinados processos. Porém, deve-se manter um padrão de descrição quando se tratar de defeitos comuns, até por motivos de comparativos. Assim também a lista deve ser adaptada para a fonte de detecção e registro do defeito, não faz sentido por exemplo no *leak-test* ter modos de falha como alta fumaça, batida de válvulas, que são típicos do *hot test*;
- O esquema de localização criado não é viável. Existem muitos códigos diferentes que dizem “localização pela esquerda”, que quer dizer que os componentes estão no lado esquerdo do motor. O problema é que cada lado esquerdo deve ser cadastrado com um defeito específico, o que deixa o operador mais confuso. A idéia é ter a opção de cadastrar uma localização do tipo “não interessa” ficando a cargo do engenheiro especificar ou não a localização da peça;

- Falta validação dos campos, o risco é de cadastrar informação não aplicável para determinado modelo de motor;
- Alta administração tem acesso direto sem a correta edição por parte do processista o que pode causar falta de clareza na informação ou suspeitas desnecessárias por má interpretação;
- Problema de cadastrar duas vezes (quando cadastra considera um defeito, quando separa dá mais de um); no futuro próximo em que terá uma estação em cada célula de teste e outra estação em separado na célula de revisão e reparo então ficará bem definida a função de cadastro do testador e cadastro de reparo do revisor sendo então feita a melhoria de não duplicar os dados;
- Ainda é necessário exportar para o planilha eletrônica de cálculos e fazer o trabalho de formatação, o que se melhorou é deixar sub-máscaras nestas planilhas prontas para receber dados e executar rotinas em modo automático;

Analisando-se o PFMEA que se encontra no APÊNDICE A., classificando-se em ordem decrescente de RPN, tem-se o item 19 que trata do modo de falha da dificuldade para TI criar relatórios adaptados para atender às necessidades dos engenheiros de processo. Isto significa que a função de registrar alterações e revisões de processo e reter histórico de documentação de processos e requisito de garantir a retenção de dados e dinamizar o processo são afetados no seu desempenho. O efeito maior é o desperdício de tempo e de energia para se montar um relatório novo que se faça necessário. A causa principal recai sobre a plataforma do sistema não ser suficientemente amigável para estes desenvolvimentos de TI. A ação, novamente, retoma a avaliação sobre o uso do sistema automático nova versão.

Um exemplo disto é o relatório de quantidades de junta do cabeçote consumidas tipo 1, tipo 2 e tipo 3. Durante o processo ocorre uma medição de altura da protusão do conjunto pistão-biela montado sobre o sanduíche virabrequim, casquilhos e bloco, medido a partir da face de fogo do bloco. Desta medida surge a necessidade da escolha da junta tipo 1,2 ou 3 de acordo com sua espessura para o cabeçote do motor, a fim de garantir que as válvulas não tenham colisão contra a cabeça do pistão. Cada motor tem estes dados registrados no seu diagnóstico. Certa vez foi necessário fazer um estudo estatístico para saber qual junta era consumida em maior quantidade em um determinado período. Para se conseguir uma maneira de coletar estes dados e realizar esta

estatística foi necessário um esforço muito grande junto ao departamento de TI, até que se produziu uma tela de consulta on-line.

Os demais modos de falha, constantes no PFMEA anexo, são bastante distintos dos já mencionados, muitos deles referindo-se especificamente a processos de aperto e trancamento de postos. Para estes, ações foram tomadas, registradas no formulário do PFMEA e repontuadas baixando o índice “RPN”. A quase totalidade das ações são trabalhos desenvolvidos pelo departamento de TI alterando estruturas de banco de dados, regras de trancamentos, estratégia de aprovação de *Workstations*, criação de campos de parametrização, mudanças em cadastros, criação de telas e relatórios, mudanças de *hardware* e instalações de novas estações de inspeção e controle. Assim, mais prudente é, apresentar neste momento, o estudo comparativo entre as versões do sistema automático e após executar os comentários e discussões cabíveis aos assuntos consolidados no PFMEA deste sistema.

O comparativo entre as versões do sistema automático, anterior atual e , em testes, versão futura aparece no APÊNDICE K.

A partir destes comparativos pode-se perceber o quanto é possível melhorar um processo de montagem com a melhoria de questões presentes no sistema que o gerencia.

Todos os demais itens do PFMEA realizado abordam as funções já mencionadas no início deste capítulo. Não cabe fazer comentários item a item, pois, embora os modos de falha sejam diferentes os assuntos acabam tornando-se repetitivos pelo seu alto grau de inter-relacionamento.

Assim, mais prudente é tomar os assuntos abordados de uma maneira geral, contemplando todas as discussões feitas e as melhorias geradas através das ações executadas.

Somente a título de comentário, o item 12, que é o próximo na sequência do *ranking*, não teve a sua ação ainda completada, e para tanto o grupo multidisciplinar está assumindo uma data para finalizar a avaliação, porém já se pode afirmar que houve um resultado muito positivo com relação às trocas, extravios e danos às fichas de construção após realizar a ação de confeccionar suportes para FCM e implantar em todos os carrinhos da linha. Além disso, com a ação combinada de fixar cabos de alguns leitores, não foi mais necessária a manutenção dos cabos dos mesmos, o que contribuiu em muito para evitar as paradas de linha.

Uma boa maneira de explicitar a extraordinária tempestade de idéias realizada, bem como as motivações que a antecederam é postar em forma de tópicos as ações efetuadas e os resultados obtidos. Assim, segue abaixo a lista de melhorias realizadas:

Quanto a necessidade apontada de alteração na estratégia de aprovação de um posto de trabalho: era por contagem de apertos totais presentes no posto, remetendo a atualização de um cadastro de "*Altera Jobs*" pelo engenheiro de processo, que é algo demorado e vulnerável a falhas de cadastro pela sua complexidade de detalhes, podendo acarretar tanto a aprovação de motor com falta de apertos quanto gerar a ordem de um aperto adicional sendo que na prática os apertos já estejam concluídos. O efeito disto é no mínimo uma confusão em piso-de-fábrica além de atrasos e retrabalhos. Terminar com a tabela de "*Altera Jobs*" e criar um outro meio de contagem dos apertos, de forma automática foi o desafio vencido. A mudança na estratégia de aprovação de um posto de trabalho criou um primeiro passo, adicional, a ser executado pelo sistema automático após receber a disparo (informação) do VIN (vehicle identification number):

- Verificar se existe Job sendo executado no posto, caso positivo vai para o final e não envia novo código à ferramenta (comunicação direta com o equipamento);
- Verificar se o motor está *OK* na última estação e qual o último status de transação;
- Verificar se há operador logado na estação;
- Buscar da lista das máquinas associadas a estação;
- Percorrer a lista enviando o código;
- Encerrar processo até próxima leitura.

Isso acabou por sanar a necessidade de mudar o conceito do sistema exigindo *status* da última transação realizada em termos cronológicos a fim de entrar como requisito de liberação para trabalho em posto subsequente. Um exemplo geral do modo de falha que isso elimina é o caso de um motor que foi parcialmente construído até um posto "X" de trabalho e por um problema de qualidade de peça a decisão foi encapar o motor, o deixar chegar à saída de linha para encaminhá-lo ao setor de revisão e reparo. Ao chegar à revisão o motor teve que ser desmontado além da peça defeituosa em virtude da dependência de um subsistema montado em relação ao outro (exemplo: para remover o pistão tem que remover antes o cabeçote). Tomou-se a decisão de retornar o motor para ser reconstruído na linha de montagem de forma parcial até retornar ao posto "X" sendo que a partir deste nunca fora construído. O modo de falha é o sistema

permitir que os postos anteriores ao "X" sejam habilitados, ou seja, faça o que quiser o sistema não está enxergando nada e não está trancando nenhuma atividade.

Neste mesmo exemplo hipotético há mais um importante modo de falha, ao chegar à revisão o motor teve que ser desmontado e componentes, cuja rastreabilidade estava endereçada ao diagnóstico do motor, foram trocados. O modo de falha é o sistema registrar nova rastreabilidade sem desvincular a rastreabilidade anterior o que cria uma discrepância entre a rastreabilidade da peça que realmente faz parte do motor e o registro de sua rastreabilidade. Mudar o conceito do sistema exigindo que obrigue a expirar a rastreabilidade de um componente antes de aceitar uma nova rastreabilidade do novo componente foi outra necessidade resolvida com a criação da tela de "expira componentes" e inserção de trancamento para transações de rastreabilidades, além da validação do registro inputado (senão poder-se-ia registrar qualquer código. Assim garantiu-se que todas as rastreabilidades dos componentes foram realizadas e estão corretas.

Para tanto, o desafio vencido foi desenvolver uma tela de pré-requisitos possíveis de edição de sequência pelo administrador (engenheiros contam como *status* de administradores) a fim de realizar trancamentos no qual se incluem as rastreabilidades de componentes e dentro destas as validações de códigos. Esta tela é independente por modelo de motor (LP's). Logicamente esta melhoria impactou em facilitar o ajuste de diversos outros parâmetros para a montagem de um motor como os valores de aprovação das inspeções de folga axial do virabrequim e altura do pistão, sendo que o *software* destas estações também teve que ser modificado para se comunicar com esta tela. A concentração em um único local, de acesso on-line pelo administrador tornou toda a estrutura flexível para edição, exclusão ou criação de campos novos por parte de TI também. Isto significa que em caso de revisão ou alteração por parte do engenheiro de algum parâmetro, antes era necessário percorrer computador por computador, estação por estação e entrar no programa específico para realizar a alteração, e em muitos casos não tendo o acesso e sendo preciso o acompanhamento de um programador e hoje basta a conferência de uma tela única e facilmente gerenciável por acesso remoto.

Para sanar o modo de falha de um posto ser aberto com a leitura do código de barras pelo leitor e durante a consecução dos *jobs* outro código ser lido no *leitor* sobrescrevendo o trabalho em andamento foi feita uma ação conjunta modificando o conceito do sistema e também a versão de operação do *software* das máquinas-ferramenta (ferramenta de apertos). A nova versão

contempla um recurso de programação para não aceitar sobreleitura, em todas as máquinas o recurso foi ativado pelos próprios engenheiros. TI desenvolveu um nível acima na aprovação de postos e antes de enviar o comando para a ferramenta de aperto é verificado se motor anterior terminou o processo na estação. A partir disso foi necessário criar o conceito de *Abort job* para o caso de encerramento forçado de um posto.

Para o caso da medição de folga axial do virabrequim, que é um caso particular no qual dependendo do resultado da medição seja necessário um retrabalho de substituição de componentes e para tal seja necessário soltura de parafusos que acabaram de ser efetuados por um *job* de apertos, o qual por sua vez, entra em uma sequência de trancamento de postos (este caso será detalhado logo mais, quando do estudo das intervenções por *altera status* na linha de montagem) e todo retrabalho sempre é um desperdício e um risco de qualidade, então foi necessária a criação de uma condição de trancamento por mais de um requisito de dependência. Assim foi criado o conceito de multi pré-requisitos que além de atender este caso em especial permite um novo mundo de possibilidades para casos de eventos concorrentes, em que mais de uma condição poderá existir para que a próxima etapa seja executada.

Em uma linha de montagem de motores diesel, os processos de montagem por fixação através de apertos de parafusos, porcas, bujões ou prisioneiros é de longe o mais importante, seguido dos processos de estanqueidades, aplicação de juntas líquidas e sólidas, processos de limpeza e acondicionamento, processos de lubrificação além de testes e inspeções tanto manuais quanto computadorizadas.

Para os problemas de redundância na programação de uma máquina com relação a regra do sistema: soltura automática de parafuso no caso de rejeição do aperto versus programa que percebe parafuso já apertado a máquina conta a quantidade de *oks* para liberação. A redundância neste caso é prejudicial, pois permite que ao rejeitar um parafuso, mesmo que solte deixando os filetes visualmente à mostra, que o operador tente apertar um parafuso já apertado e como ocorre o rejeito ele repita o passo apertando o mesmo parafuso e contando um segundo "*ok*" no mesmo parafuso. A causa é o sistema não monitorar qual é o parafuso que está sendo apertado e falta de garantia para que a máquina perceba se está apertando parafuso já apertado. Esta condição se expande para todas as máquinas monofuso ou bifuso em que a quantidade de fusos é menor do que a quantidade de apertos que serão dados pela mesma.

Mesmo utilizando o recurso contido nas máquinas de apertos para evitar torque em parafuso já apertado (programa contendo um ângulo mínimo prévio, determinado estatisticamente por amostra representativa coletada via sistema) e contendo o recurso de desaperto somente em caso de *Nok* e contendo o recurso de contagem de apertos *Ok* ainda assim tem-se a vulnerabilidade de deixar um parafuso solto. Como? Simplesmente se o operador não seguir uma sequência correta e utilizar o recurso de soltura em outro parafuso bom quando deveria estar utilizando no parafuso que deu o problema. Portanto ainda é importante saber de qual parafuso, exatamente. Há processos em que se faz uso de ferramenta de aperto múltipla que atende todos os parafusos da aplicação de uma forma simultânea. Nestes casos, além de garantia total do aperto tem-se uma melhor distribuição de forças pelo assentamento simultâneo da junta parafusada e um menor tempo de ciclo de operação. Porém estas máquinas dedicadas só se justificam em apertos críticos e para aplicações de longa vida útil. Portanto a ação realizada neste caso foi a revisão da programação de todas as máquinas utilizando os critérios acordados abaixo. A solução ideal, porém e que será remetida às duas ferramenta de apertos bifuso e a uma monofuso em caráter experimental é a instalação de máscaras eletrônicas sequenciadoras de apertos pois com a localização do aperto pode-se garantir individualmente o que foi realizado no mesmo. Esse recurso já é conhecido e validado em outras linhas de montagem e seu resultado é realmente extraordinário.

Um breve exemplo de erros relacionados a apertos que aconteciam na versão anterior do sistema automático segue abaixo e rapidamente a ação adotada e instalada:

- O motor “x” teve erro de transação. O posto 10 havia sido concluído (montagem do tubo de sucção), porém a transação não havia sido encontrada, ou seja, o operador não conseguia liberação para apertar o Carter (posto 11);
- O motor “y” teve de ser feito duas vezes no posto 32 para liberação, pois na primeira, todos os dados estavam no diagnóstico e não liberou motor para próxima estação, na segunda releitura, o processo foi feito e motor liberado, operador estava logado e não aparecia mensagem de erro nos micros;
- O processo foi feito 2 vezes no posto 21. A primeira leitura os dados não foram para o diagnóstico e nem servidor das ferramentas de aperto. Já na segunda leitura o motor foi liberado para o próximo posto. Nesta operação são duas ferramenta de apertos em um só posto (ferramenta de aperto 12 e 09) e nenhuma gravou os dados no sistema;

- Os dados de aperto da máquina 30 não foram coletados e o posto 22 não foi liberado. Esta liberação foi feita de forma manual. Foi realizada uma coleta dos últimos apertos desta máquina e constatou-se que os dados foram salvos na ferramenta de aperto corretamente. Em outra análise no diagnóstico percebe-se que os dados foram enviados com muito atraso.

Como ação, para acabar com estes efeitos de modos de falha, já descritos no PFMEA, que tem como causa problemas nas estratégias de aprovação do sistema em relação ao equipamento e problemas de configuração e versão do próprio equipamento foi instalada a nova versão do sistema automático, nova versão de *software* dos equipamentos e, por parte dos engenheiros de processo foi modificada e padronizada a programação de todas as máquinas baseado na seguinte convenção:

- Desaperto somente em *Nok* necessário em cada *job* - independente da configuração;
- Em opções de configuração bloquear por rejeição e desbloquear por gatilho de reversão;
- Nunca despertar em *ok*;
- Nunca aceitar novo código barras durante *job* em andamento
- Decremento ao reverter aperto *ok* em cada *job*

Além dessas ações, visando qualidade no processo de aperto, foi realizada a ação de troca do servidor da linha de montagem por um mais rápido e moderno e dedicado exclusivamente à linha, separado de outras funções a fim de eliminar os atrasos nas transações. Embora ainda exista o conceito de *delay* (tempo de resposta de transação), inerente à concepção dos equipamentos, os problemas enfrentados foram completamente resolvidos.

Uma idéia muito interessante que surgiu durante os *brainstormings* foi a possibilidade de análise da pesquisa por torques para a criação de índices no banco de dados, ou seja, criar uma maneira de monitorar a quantidade de apertos e o intervalo de tempo entre apertos para uma determinada operação a fim de conferir quantos apertos foram realizados para que se resultassem “x” apertos *ok*. Assim através de dados do diagnóstico ter uma contagem de apertos *ok*. Sabendo-se o número exato de apertos *ok* necessários para se montar determinado modelo de motor poderia se comparar com o número de apertos totais realizados (*oks e noks*) e estratificar isso por posto de trabalho a fim de descobrir em qual operação está ocorrendo a maior quantidade de apertos realizados até que se obtenha o número necessário de apertos *ok*. Logicamente isso seria

um indicador direto para problema de aperto e que indicaria estatisticamente uma potencial falha associada na sua maioria a defeitos em roscas de peças,mas também relacionada a particularidades de aperto que demandam estratégias específicas a serem tomadas. E fazendo um trabalho relativo à quantidade também pode ri se fazer um trabalho relativo ao tempo de aperto, também com o intuito de determinar um processo padronizado e captar anomalias que poderiam ser tratadas preventivamente. Porém, para realizar este trabalho recai na discussão que vem logo a seguir, sobre um melhor detalhamento das coletas de dados pelo sistema e uma estratificação em banco de dados gerando um relatório específico, o que é um trabalho de desenvolvimento em TI.

Outra grande melhoria realizada foi interligação das estações de sub-montagem com a linha de montagem. Através da instalação de um microcomputador na entrada e outro na saída de cada sub-montagem foi possível interligar o fluxo da programação de motores presentes na agenda de produção com o que deve ser produzido e em que quantidade na estação de sub-montagem além de nivelar o balanceamento dos tempos de ciclo para otimizar os recursos de mão-de-obra disponível. Dessa forma, além do trabalho ser mais enxuto é possível coletar os dados de aperto e transações dentro do diagnóstico, situação que antes não era realidade.

A troca de versão do sistema automático, foi, por si só, uma extraordinária melhoria, conforme pode ser observado no APÊNDICE K. Vale ressaltar as principais vantagens:

- Não ter a tabela de *Altera job*, cria-se o *job* diretamente na ferramenta de aperto sem intervenção manual posterior o que estaria sujeito a erros;
- Não gera problema de releitura (sobreposição), pois uma nova leitura de código de barras só é permitida após o fim da transação seja por modo automático seja por *Abort job*
- Criou-se a opção de um *Abort job* como maneira de resetar uma operação e refazê-la com segurança;
- Quem aprovava o posto era a disparo (pulso e contagem) através do banco de dados então se tinha uma gama de funções distintas espalhadas tendo que ser sincronizadas ao passo que agora todas as funções estão concentradas num único *software*, isto significa vantagem em manutenção e em detecção de problemas e em garantia de execução;

- Mesmo podendo ainda haver uma demora no envio de dados para o servidor das ferramentas de aperto, a versão antiga demorava muito para aprovar o posto interferindo no fluxo da linha;
- É possível acompanhar o funcionamento de qualquer posto de trabalho;
- Sistema se conecta no equipamento desde a abertura do Job até a finalização do mesmo;
- Aprovação dos postos é feita por mensagens recebidas do próprio equipamento;
- É possível ferramenta de apertos múltiplas (“ n” fusos realizando aperto simultâneo) e monofusos (apenas um fuso giratório portanto um aperto por vez) estarem cadastradas no mesmo posto de trabalho;
- Possibilidade de cadastro de excessões de equipamentos para atender às variações de uso de diferentes equipamentos em diferentes modelos de motores, mas dentro da mesma linha de montagem;
- Abertura de postos é validada através da última operação cronológica realizada no motor;
- Qualquer falha que ocorra em um posto de trabalho (como cabo quebrado) é tratada de forma independente, sem afetar o funcionamento dos outros postos.

As ferramenta de apertos possuem maior integração com o sistema, são elas quem realizam seqüência de *jobs*. Alterações de programa são feitas pelos engenheiros de processo diretamente no equipamento sem ter que duplicar a informação em uma tabela. No caso de *poka-yokes* associados ao processo, quem gerencia é o sistema automático, a não ser que o *poka-yoke* esteja ligado direto na ferramenta de aperto através de um programa, assim ao final do trabalho é a ferramenta de aperto que responde o *job ok* para ao servidor. Todos os equipamentos presentes e pertencentes ao posto, como ferramentas de aperto, estações de inspeção, rastreabilidade de componentes e *poka-yokes* respondem ao servidor, que espera todos os *ok* do posto conforme cadastro destes equipamentos por posto. Como o sinal vem direto destes equipamentos evita atrasos de respostas e conseqüente erros de comunicação e paradas em linha de montagem. A tabela de *altera jobs* simplesmente não é mais necessária pois o sistema aguarda os dados diretamente do equipamento de aperto, é este que dá o fim do *job* e não uma contagem de *jobs ok* do servidor das ferramentas de aperto comparada com uma quantidade de *ok* de uma tabela. São as ferramenta de apertos que mandam a resposta de quando acabaram seus *jobs* e não o servidor do servidor das ferramentas de aperto, este só armazena os dados. Nesta versão nova o sistema

não trabalha mais com o conceito de aprovação de banco de dados e sim com o envio dos dados diretamente do servidor do servidor das ferramentas de aperto para o sistema automático. Assim as ferramenta de apertos realizam seus trabalhos por conta do potencial de seu próprio equipamento, são acionadas pela habilitação gerada pelas regras do sistema automático e pela resposta *ok* de FPE (folha de processo eletrônica) e retornam dados ao servidor das ferramentas de aperto para armazenamento e respostas de *ok* ou *nok* ao sistema automático para conclusão da transação.

Uma idéia interessante é a de que o sistema trabalhasse moldado por modelo de motor e não só por fluxo de linha de montagem, assim quando um modelo novo aparecesse e este não utilizasse nenhum recurso do posto 12, por exemplo, o sistema nem teria a expectativa de receber um sinal do posto 12, passando diretamente para o posto 13. Como o conceito do sistema é arquitetado sobre a linha de montagem e não sobre o modelo que é montado nesta linha, então é necessário uma grande quantidade de subterfúgios, como cadastro de exceções, tabela de trancamentos e seqüenciamentos e necessidade de leitura obrigatória no leitor de óptico do posto 12, como foi dado no exemplo, a fim de garantir qualidade e manter a confiabilidade dos trancamentos e detecções do sistema.

Vulnerabilidade significa falha potencial em termos de qualidade (gerando produto defeituoso) ou desperdício de aproveitamento do recurso empregado que são duas importantes perdas do Sistema Toyota de Produção, então o sistema automático pode ser melhorado a partir da melhoria da eficácia do uso de *poka-yokes* nele empregados e pelo melhor aproveitamento dos recursos que o Sistema automático dispõe. Cabe também unir à discussão as oportunidades de melhoria que o Sistema automático nova versão, sistema em desenvolvimento e implementação em outra linha de montagem possui podendo confirmar ou não as argumentações defendidas até então.

O resultado com este trabalho revela o desperdício potencial do sistema em sua parte funcional à linha de montagem e levanta oportunidades de melhoria que se enquadram em muitas das particularidades do Sistema automático nova versão como é o caso do Rastreamento de defeitos servindo para facilitar a coleta de dados, padronizar descrição, codificação e registro de defeitos a fim de alimentar os indicadores de análise de falhas internas para prover informações precisas para tratativas destas falhas e também justificar paradas de linha e interrupções de processo, os quais impactam na eficiência operacional e no OEE.

Uma lista mestra de tratativa de falhas operacionais, que é usual na atualidade está levando em conta os seguintes fatores:

- N° do documento TFO;
- Data de abertura;
- Apontar se é caso de reincidência no período de um ano;
- Local de origem da falha;
- Descrição do modo de falha;
- Time de processo relacionado;
- Data de fechamento (1 mês após abertura);
- N° PFMEA a ser retro-alimentado;
- Análise crítica e ação tomada.

Estes e outros pontos podem muito bem ser atribuídos a uma ferramenta como o Rastreamento de defeitos .

Uma carência do sistema, a qual remonta ao seu conceito, da mesma forma do fato de não trabalhar por modelo de motor, é o de só registrar o fim de uma transação. O correto seria registrar o início e o fim. E somente com essa melhoria poder-se-ia dar vazão a outras melhorias subjacentes como o monitoramento dos tempos de ciclo e redistribuição de atividades dentro de cada posto de trabalho a fim de se prover melhoria contínua nas cronoanálises e balanceamentos operacionais.

Uma grande melhoria que foi realizada, porém ainda não em todos os postos de trabalho é a validação de *poka-yokes*. Como a grande maioria dos *poka-yokes* são eletrônicos e vinculados às ferramenta de apertos, criou-se um código de barras e um procedimento para que no início de jornada o operador possa testar o *ok* quando o processo está correto e o *nok* quando o processo está errado. Somente depois disso é possível utilizar o leitor do posto para permitir o início dos trabalhos de dentro daquele posto.

O desafio, além de completar este procedimento para todos os postos aplicáveis, é o de criar um gerenciamento em uma tela específica dentro do sistema automático para facilitar o

controle e manutenção de cada *poka-yoke*. Outro desafio é, como já comentado em PFMEA, facilitar a criação de novos *poka-yokes* desde o início diretamente pelo sistema, fazendo a sequência de eventos somente através do sistema, sem ter que fazer pelas entradas e saídas digitais da ferramenta de aperto. Isso, porém só será possível com a implantação do sistema automático nova versão segundo análise de TI.

## 5.2. Melhorias realizadas

Fazendo-se um resumo de todas as melhorias implantadas desde o início deste trabalho tem-se a seguinte relação:

- Avaliado o processo de folha de processo eletrônica e treinamento *on the job* e definida as bases em que um sistema automatizado deve trabalhar. Criado um sistema alternativo em planilha eletrônica para suprir provisoriamente as necessidades.
- Feito comparativo das versões do sistema automático e do sistema automático nova versão e confirmada superioridade deste último (o qual está em uso em linha de montagem vizinha). Avaliado que é necessário ter uma tratativa de rejeitos e retrabalhos via sistema, um maior uso de relatórios, hoje feitos em planilha eletrônica, via sistema e um maior detalhamento de eventos dentro de postos, sequenciamento de equipamentos e *poka-yokes*, via sistema. O uso do Rastreamento de defeitos e do sistema automático nova versão aparece como solução de muitos problemas, lembrando que não por si só, pois a partir de qualquer implantação vem uma série de eventos a serem disparados em termos de ajustes às necessidades exigidas. Então sim, as soluções mostram-se reais.
- Com a implantação da nova versão do sistema automático obteve-se uma mudança na estratégia de aprovação de postos o que acabou com o problema de sobreleitura de uma ficha de construção, eliminou a tabela de *Alterar Jobs*, tornou obrigatória a última transação conológica *ok* para fazer a próxima, criou o conceito de *Abort job*, criou novas transações entre elas a que atende o conceito de reconstrução de um motor (parcial e total), acabou com as paradas de linha inteira por causa de um cabo de leitor quebrado, desenvolveu a tabela de “expira componentes”.

- Feita alteração de versão das ferramenta de apertos em conjunto com a alteração de versão do sistema e revisão da programação das mesmas tornando o sistema de apertos da linha muito menos suscetível aos modos de falha de apertos (seqüência errada, aperto faltando, torque falso para determinada gama de causas, torque ou ângulo alto, torque ou ângulo baixo)
- Instalada máscara eletrônica sequenciadora de apertos em duas máquinas da linha de montagem confirmando o potencial de controle e monitoramento de apertos superior a qualquer sistema de aperto em que não se tenha o monitoramento de cada parafuso independente do outro em uma mesma junta parafusada. Como estas informações vão para o sistema fica extremamente clara a informação de torque e ângulo de cada parafuso sendo evidente a interpretação em caso de investigação de falhas.
- Desenvolvido para acesso ao usuário administrador da linha de montagem, o engenheiro de processo, o cadastro para todos os modelos de motores, por linha de montagem, contendo todas as informações antes somente em supervisórios dedicados de dados de controle de processo, também disponibilizado a edição, exclusão e adição de equipamentos para cada posto de trabalho
- Criada tabela de seqüenciamento de transações e tabela de trancamento de transações, disponível para alteração pelo engenheiro de processo
- Melhoria em supervisórios de rastreabilidades com intensificação de validações e trancamentos
- Interligada as estações de sub-montagem com a veia principal, a linha de montagem, obtendo vantagens tanto em processo enxuto por facilidade de seguir uma agenda on-line que dispara a produção quanto em vínculo dos dados de processo ao diagnóstico do motor
- Criação do conceito de multi pré-requisitos para trancamentos de postos através de lógica *booleana or*. Somente através desta melhoria foi possível sanar o problema de trancamento da estação de medição de folga axial do virabrequim, a mesma que ao ser realizada tem a possibilidade de demandar um retrabalho no motor como sendo parte do processo normal de construção do mesmo, ou seja, funcionando analogamente a um teste. Para o caso da necessidade de uso de lógicas *booleanas and* ao interligar uma sub-

montagem a uma montagem estas foram realizadas por eventos entre supervisórios e não constam na tabela de trancamentos.

- Avaliada a potencialidade de modos de falha por troca de fichas de construção do motor. Melhorias feitas com relação a suportes para a ficha tornaram o processo menos suscetível a falhas, porém a idéia é eliminar a ficha utilizando o código micropuncionado no próprio bloco. Isto depende de alterações de engenharia, alterações por parte de TI e investimento em leitores específicos para códigos *data matrix*. Quanto ao extravio de uma ficha já existe tela de reimpressão, disponível para administrador.
- Quanto a problemas de estouro de memória e paradas de linha por cabo de leitor rompido foram realizadas melhorias de *hardware* como troca de servidor e fixação de cabos de leitores. Em estudo viabilidade de sistemas *wireless*.
- Para problemas de erros de leitura em leitores 1D foi introduzida, a partir dos novos projetos de manufatura dentro da linha HS o conceito de leitores 2D, modificação de *softwares* supervisórios e componentes contendo códigos *data matrix*. Além disso a validação de códigos e a inserção dentro dos trancamentos, já mencionada anteriormente, elimina quase que por completo os modos de falha potenciais de rastreabilidades.
- Realizada disseminação de conceitos do sistema entre os operadores através dos líderes dos times de processo
- Criação de tela de cadastro de motivos para alterações de *status* na linha de montagem. O intuito desta ação foi estudar as intervenções que ocorrem ao processo normal e desvendar as principais causas para fazer uma relação com as falhas operacionais no processo.

### **5.3. Oportunidades de melhoria**

Com o intuito de relacionar os principais itens que não foram completados durante o trabalho, mas que surgiram nas análises de *brainstorming*, segue a identificação de oportunidades de melhoria.

- Uma carência do sistema, a qual não é suprida pelo sistema automático nova versão, é o conceito de trabalhar uma linha de montagem pela concatenação de postos e modelos de motores. Hoje só se trabalha pelo conceito de postos. Como melhoria, para suprir a necessidade de diferenciação do modelo de motor foi criado o cadastro de exceções, porém no chão-de-fábrica foi preciso ficar claro para o operador que muitas vezes tem que realizar a leitura da ficha de construção em uma estação na qual o modelo de motor que está montando não tenha qualquer operação a ser executada.
- Outra carência do sistema, a qual pode ser feita por desenvolvimento de TI, é ter o registro de abertura e de fechamento de uma transação. Atualmente ocorre somente o registro do encerramento, seja este *ok*, *nok* ou cancelado. Com ambos os registros é possível desenvolver um trabalho de monitoramento de processo padronizado em relação a tempos além de tornar a informação mais clara em diagnóstico para o caso de uma investigação.

Por fim, fazendo um resumo das vantagens do uso do sistema automático em relação ao fato de não ter sistema algum:

- Tranca eletronicamente um defeito impedindo que ele se propague adiante;
- Impede que a próxima operação seja executada sem que as operações anteriores tenham sido concluídas com sucesso;
- Monitora rastreia e arquiva dados importantes na construção do motor cujo registro manual seria inviável;
- Controla eletronicamente o login de operador habilitado na operação;
- Controla o prazo de validade de uma documentação de processo só permitindo a montagem com documentação atualizada;
- Gera relatórios diversos para uso da produção e do processo em modo *on-line*.

Uma grande discussão, que surgiu durante o desenvolvimento deste trabalho, mas que ficou mais no campo filosófico do que na tomada de ações foi o questionamento sobre como a linha de montagem está construída em relação a ser gerenciada por um sistema. O conceito de maior aceitação para posto de trabalho, neste caso, é o espaço compreendido entre dois leitores

no qual os equipamentos cadastrados executam um trabalho de acordo com uma ordem pré-determinada por tabelas de seqüenciamentos e trancamentos de transações. A operação, por sua vez, é algo que já existia antes da criação do sistema e sempre foi a execução de uma seqüência de elementos de trabalho ou etapas de montagem de forma cíclica. Dependendo do tempo de cada elemento da operação para cada modelo de motor e dependendo do *takt time* imposto à linha de montagem tem-se diferentes balanceamentos operacionais, então um mesmo montador poderá ultrapassar a barreira entre postos. O certo seria cada balanceamento pudesse desencadear um novo ajuste das atividades daquele posto de trabalho modificando o início e o fim para os leitores. A linha deveria ter sido criada com o conceito do n° de postos ser o n° máximo de operadores diretos que o melhor balanceamento para atender a máxima capacidade, pudesse obter portanto nunca poderia admitir que um operador fizesse meio posto e o outro fizesse outro meio, a fim de fidelizar o conceito de ter um e somente um operador logado e efetivo para cada posto de trabalho, mesmo que na realidade atual ambos operadores estejam totalmente aptos em ambos postos de trabalho. Outro problema é aquele posto significar um conjunto de operações para determinada LP (lista de peças, que representa um modelo de motor), porém significar outro conjunto de operações para outra LP, assim pelo sistema o operador estando apto no posto “X”, valerá para qualquer motor e para evitar o risco de ter um operador não habilitado se faz necessário o controle paralelo em planilhas eletrônicas.

O *takt time*, por sua vez, vem de acordo com o *mix* produtivo e as quantidades impostas pelos pedidos do cliente e pré-examinados pelo departamento de PCP (Programação e controle da produção), o qual determina as capacidades da linha de montagem baseadas nas cronoanálises e nas dimensões da linha de montagem, ou seja, na capacidade também de alocar pessoas.

Outra discussão similar, que muito se engaja nesta é a de padronizar as operações com o auxílio do sistema. Uma operação padronizada condiz com os preceitos do sistema Toyota de produção em relação a eliminar desperdícios. Mas como o sistema poderia se relacionar? Uma alteração de *status* é sinal que um fluxo pré-determinado do processo teve que ser desviado. Claro que uma operação prevista para terminar dentro de 5 minutos e que levou 20 minutos para ser concluída teve alguma coisa que a afetou, mas não quer dizer, por si só, que a operação foi realizada de forma errada, pode ter dado um problema de qualidade na peça e esta teve que ser substituída, pode ter dado uma parada obrigatória por manutenção em outro ponto da linha, pode

ter sido uma parada para fazer ginástica e pode ser uma combinação aleatória destas e de outras coisas. O que interessa mesmo para a linha é o que ela tem que fazer e no caso de uma interrupção desta ordem pré-determinada, ficando cada evento registrado de uma forma clara, ainda mais em caso de retrabalho. E além de clara também de forma sistêmica para que os dados coletados possam ser organizados em bancos de dados para criação de relatórios e de estatísticas. E a coleta de dados, por sua vez, também tem que ser rápida, senão terá que ter um operador para montar e outro operador para registrar dados o que é inviável. Para tanto o trabalho, já anteriormente comentado, de se criar transações de início e de fim e de se estudar os motivos das interrupções e também de aumentar o detalhamento dos eventos dentro de uma operação se faz necessário.

Quanto a campos presentes no relatório do diagnóstico do motor e que são parametrizações de processo para montagem e são controlados por *softwares* supervisórios que se comunicam com o sistema automático mas ainda não estão contido no cadastro de LP's para uso pelo engenheiro estão: “dados da Ateq”, “Teste elétrico” e Dados do Hot test”. Uma vez que algum desses processos venha a ser supervisionado diretamente pelo sistema os dados podem ser carregados ao diagnóstico de igual forma ao caso da gravação do número de série do motor em que os parâmetros da gravadora fazem parte do cadastro. Já os parâmetros da câmera de inspeção e os parâmetros de aperto poderiam estar no cadastro gerencial, em rede, ao invés de estarem nos equipamentos locais.

Assim também o campo “estatísticas”, do diagnóstico, poderia ser explorado se compusesse os tipos de intervenções e seus motivos, assunto que é tratado logo a seguir na análise de intervenções.

Por fim imagina-se também que essas coletas de dados poderiam ser, de tal forma, organizadas que servissem em tempo real de alimento para indicadores de eficiência (que precisam de cadastro de ocorrências), indicadores de rejeição interna (que precisam das ocorrências de rejeitos para realização das tratativas de falhas seja de processo como de componentes de fornecedores. Isso sem falar em interligar registros de pontos de corte para a Qualidade grupos de risco e histórico de ações e melhorias realizadas e ainda servir como base para retroalimentar PFMEA, planos de controle e demais documentos de processo. Mais perfeito

do que isso só se fosse fácil. E por que não ser fácil? E além de fácil, rápido, seguro, confiável e integrado numa base única de dados? É um grande desafio que se lança para o futuro.

Como comentário final para este capítulo fica que a análise de vulnerabilidades do sistema em relação ao funcionamento do processo de montagem, o que compreende a perda por ineficácia do sistema *poka-yoke* e perda por desperdício de não aproveitamento do recurso empregado (uso aquém da disponibilidade de recursos do sistema) são dois dos pilares de sustentação advindos dos 8 desperdícios do *Lean Manufacturing*: produto defeituoso e potencial não aproveitado de capital intelectual.

O PFMEA feito neste trabalho não esgota as possibilidades de falhas e tampouco se considera um documento “congelado”. Simplesmente foi aplicado durante o período de análise de transição das versões do sistema automático e contempla as principais abordagens realizadas nesta transição além de idéias advindas de *braistormings*.

#### **5.4. Intervenções de processo**

As intervenções que o sistema automático permite para desviar o fluxo normal do processo já foram explicadas no capítulo 4. Trata-se de intervenções por *altera status* e por *abort job*. O intuito de estudar tais intervenções é o de tentar evidenciar a utilidade de se criar um indicador para o número de intervenções, relacionadas a toda a linha, aos postos, às transações e por que não relacionar este índice às falhas operacionais a fim de prover um controle preventivo. Evidenciar que a operação deve seguir um padrão e se não está seguindo este padrão é sintoma de que algo não está certo e se algo não está certo é um processo mais sujeito a falhas do que o processo normal em si já carrega, porém o julgamento só é correto levando-se em conta as causas.

De todos os dados levantados, foram criados gráficos. A partir destes foram selecionadas amostras que elucidem os comentários e as análises, conforme exemplo da figura 20.

QUANTIDADE DE MOTORES/ ALTERA STATUS

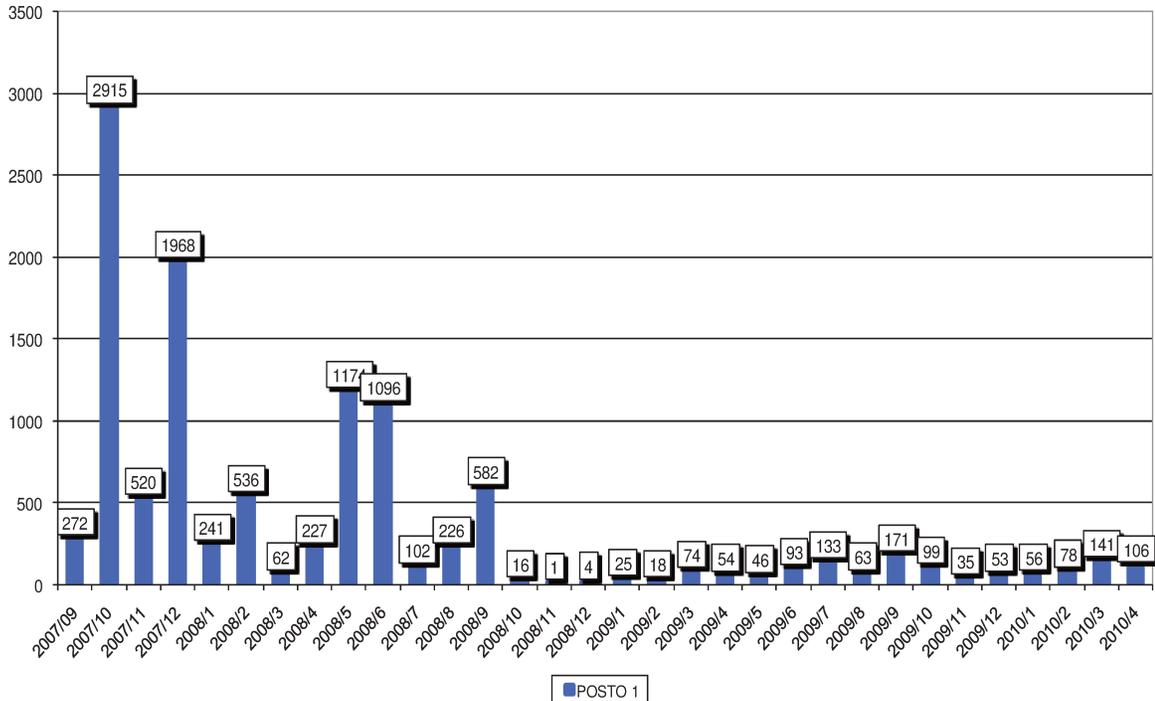


Figura 20 – exemplo de quantidade de intervenções de altera status realizadas no posto 1 compreendendo as transações acumuladas em “Ficha de Construção OK”, “Rastreabilidade do bloco OK” e “HS - Posto 1 OK” no período de setembro de 2007 a abril de 2010. Dados coletados do banco de dados da empresa caso.

O resultado da estratificação de dados de intervenções em postos tomados em período amostral está sempre em quantidade relativa ao nº de motores fabricados para que se tenha uma mesma unidade de comparação. Este e os próximos gráficos serão comentados a seguir. Os gráficos amostrais para intervenções de *altera status* e *abortjob* encontram-se no APÊNDICE L. Há exemplos de postos contendo mais de uma transação e exemplo de postos contendo somente uma transação. A relação de postos e transações já foi exposta no capítulo quatro.

Analisando-se os dados de intervenções de *altera status* considerando sua evolução mês a mês e recorrendo aos registros internos de ocorrências pode-se fazer um comentário a respeito de cada posto. Mais produtivo é comentar amostralmente a fim de induzir as conclusões para os demais postos.

Assim tem-se:

Posto de trabalho nº 1: Compreende três transações (considera a possibilidade de *ok* e *nok* e cancelado, em qualquer transação), a da “ficha de construção”, que significa ter aceitado o bloco, gravado o bloco, inspecionado o bloco e gerado um bloco gravado corretamente e sua ficha de construção impressa sem problemas; a de “rastreabilidade do bloco” que significa ter o registro de rastreabilidade do bloco que foi gravado e a de “HS - posto 1 ” que significa ter realizado uma montagem com aperto, este aperto controlado, registrado o valor de torque, ângulo e demais detalhes no diagnóstico do motor. Fisicamente estamos falando de uma esteira de três metros com um equipamento de gravação no meio e neste acoplada uma câmera e integrado a um computador contendo o *software* supervisor da estação de entrada de linha e a agenda de produção emitida pelo setor de planejamento e controle da produção. Após este bloco gravado e contendo a montagem mencionada para o “HS - posto 1 ” ele será indexado a um suporte, será então içado por um manipulador elétrico e acoplado a um carrinho que move-se sobre uma esteira tracionada que é a linha de montagem do motor.

Poderia se explicar todo o processo de montagem deste produto, nesta linha de montagem, dando todos os detalhes inerentes ao processo e todas as discussões abordadas no FMEA de processo de montagem para este produto. Porém, o foco desse trabalho não é abordar o processo da montagem em si e sim o processo que acontece quando o sistema automático está monitorando e controlando a qualidade deste processo, ou seja, a influência do comportamento do sistema no processo de montagem, buscando melhorá-lo.

É claro que, para qualquer exemplo que se tome a fim de justificar uma argumentação se faz necessário dispor de explicações adicionais e detalhamentos variados a fim de tornar a arguição eloquível.

Neste caso, das intervenções no posto 1, percebe-se que a transação da “ficha de construção” não recebeu intervenções manuais após a nova versão do sistema (reduziu a zero), a “rastreabilidade do bloco” ficou 43% menor e “HS - posto 1 “ ficou 58 % maior. Isso se justifica, a transação de “ficha de construção” por sua natureza terá poucas chances de uma intervenção manual, pois é uma transação que ocorre diretamente após a inspeção visual eletrônica da estação de gravação. Simplesmente, no período anterior a janeiro de 2009 uma série de blocos que haviam sido gravados, mas não montados, e seguiriram para um destino de reposição tiveram que ser redirecionados a outro cliente e para tanto usar a ficha de construção que já estava impressa

para valer para outras transações internas pelas áreas de materiais, e fiscais e assim a decisão gerencial foi utilizar a mesma ficha para este novo destino. Para o sistema aceitar isso foi necessário a intervenção manual. Como isso não ocorreu mais após janeiro de 2009 a intervenção deixou de aparecer.

No caso da “rastreadibilidade do bloco” a intervenção diminuiu pelo mesmo motivo já que a estação de entrada de linha conjuga ambas as etapas transacionais. Só não zerou porque há outros modos de falha relacionados como o caso de um retrabalho no bloco que o faz dar entrada novamente na linha de montagem assim como a reconstrução de um motor que foi desmontado para auditoria de desmontagem ou teve algum problema de qualidade de componente e teve que retornar à linha de produção.

No caso da transação de “HS - posto 1” houve o aumento devido a causas totalmente adversas às anteriores, pois o processo que esta transação controla é referente ao aperto de um parafuso vazado contendo uma peça entre duas arruelas de cobre contra o bloco do motor (que é de FoFo). A intervenção manual, de um modo geral se deu por um problema de qualidade em componente que ocasionou um falso rejeito em alguns casos e era mais fácil e rápido dar uma alteração de status *ok* do que refazer o processo. Outro caso, concomitante foi o de motores que não usavam este aperto, mas para prosseguirem na estação seguinte precisavam do status da operação anterior *ok*. Este tipo de problema foi corrigido mediante a aplicação de uma tabela de cadastro de exceções a qual é gerenciada pelo pessoal de TI, mas obedece às necessidades do processo.

Uma conclusão que se tira é também de que não adianta “ver” um posto por inteiro com seus dados acumulados de intervenções. É preciso abrir os dados em cada transação realizada entendendo exatamente qual é a função daquela transação e então servir-se de dados adicionais de ocorrências gerais, rejeições internas e observações cadastradas, aliadas a data, hora e operador logado para se traçar uma investigação de causa raiz do problema que se está enfrentando. Os dados de intervenções por si só não resolvem e ainda podem expressar um falso alerta.

Selecionando-se uma amostra do posto 3, percebe-se que este comporta as transações de “HS – Posto 3” com aumento de 90 % na quantidade relativa de alterações de *status*,

“Rastreabilidade do virabrequim” com uma diminuição relativa de 70% nas alterações de *status* e “Folga Axial” com aumento relativo de 76% nas alterações de *status*. A transação “HS – Posto 3” é a primeira que ocorre e compõe o aperto de fixação do virabrequim ao bloco de motor, após essa vem a transação “Rastreabilidade do virabrequim” que significa o registro de número de série do componente virabrequim montado e o qual funciona como start para permitir que a operação de medição da folga axial do virabrequim seja realizada e sua transação de “Folga Axial” seja gerada. Na verdade a transação de “Folga axial” também não diminuiu por causa direta da nova versão do sistema e sim porque foi alterada a estação supervisória de medição da folga. É verdade que com a nova versão instalada a lógica de multi pré-requisitos pode ser implementada o que favoreceu a implementação de um *poka-yoke* na sub-montagem do virabrequim atrelando o *log* de eventos gerados no supervisório com a FCM (ficha de construção do motor) o que não seria possível na versão anterior e isso influenciou posteriormente a diminuição nas alterações de status desta transação de folga axial. As demais transações aumentaram relativamente a sua quantidade de intervenções por altera status pelo fato de problemas no dispositivo de leitura da folga axial o que remetia a necessidade tanto de forçar a condição de *ok* da rastreabilidade do virabrequim para permitir nova leitura e muitas vezes de forçar o status do posto *ok*, pois não havia nada de errado com a medida encontrada na folga, porém o último *status* não era “HS - posto 3 *ok*” então acabava trancando a permissão de início da operação subsequente.

Na verdade é assim que funciona de um modo geral, o sistema precisa que a transação anterior esteja *ok* e que seja a última transação cronologicamente realizada para que a estação subsequente esteja com permissão de funcionamento e também que haja operador treinado logado em tal operação. Sem estas condições atendidas simultaneamente o sistema obriga a parar o funcionamento da linha de montagem.

As demais estações, em geral todas tiveram seus índices de alterações de status por motor produzido aumentadas salvo algumas estações conforme segue:

- Transação “Robô de Cola *OK*” aumentou 96%
- Transação “Inspeção Carter *OK*” diminuiu 250 %
- Transação “HS - Posto 11 *OK*” aumentou 52%

- Transação “HS - Posto 21 *OK*” aumentou 14%
- Transação “HS - Posto 35 *OK* (Leak Test )” diminuiu 73%
- Transação ”HS - Posto 36 *OK*” diminuiu 11 %
- Transação “HS - Posto 39 *OK*” diminuiu 200%
- Transação “Sensor de oleo verificado *OK*” diminuiu 1700%
- Transação “HS - Posto 40 *OK*” diminuiu 75%
- Transação “SIVE - Inspeção Final *OK*” aumentou 72%
- Transação “Acabamento para embalagem *OK*” aumentou 19%

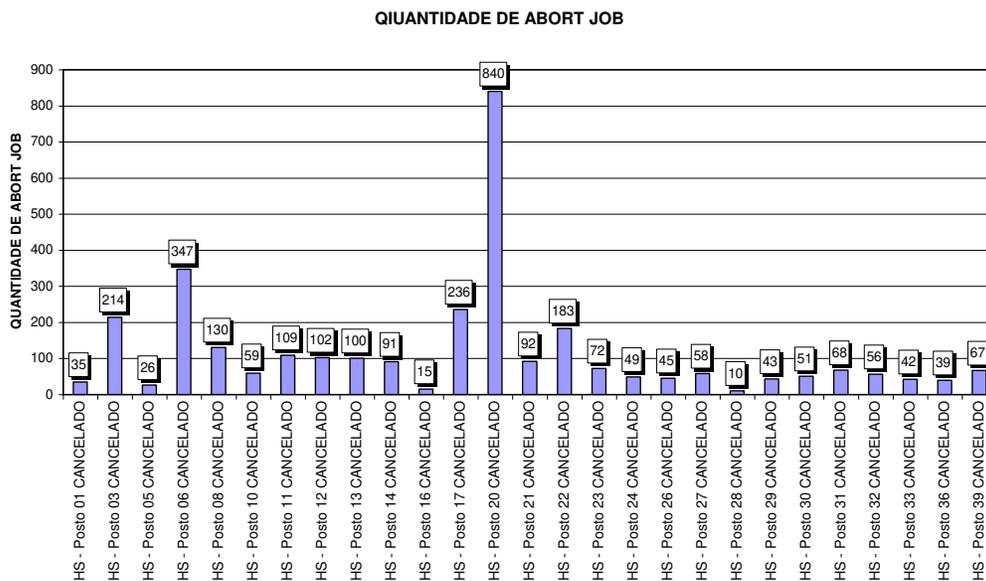
Cada caso tem as suas particularidades, por exemplo, as transações “Sensor de óleo verificado *OK*” e “HS - Posto 40 *OK*” deixaram de existir após a nova versão instalada do sistema automático. Outro caso, do qual não foi exposto gráfico é o da rastreabilidade da caixa frontal, que não existia na versão anterior, passou a existir e o período em que houve problemas com o *software* do microcomputador da rastreabilidade foi um período de enormes quantidades de alterações de *status* pois a rastreabilidade era feita manualmente, então avaliando-se o aspecto de utilidade, o gráfico nada mais apontou do que para um problema de manutenção real. Assim o é com várias outras intervenções, as quais são executadas por problemas de uso e preferencialmente de manutenções de *softwares*, *poka-yokes* e dispositivos. A transação “Inspeção Carter *OK*” deixou de existir mesmo antes do uso da nova versão já a transação “Robô de Cola *OK*” foi colocada em seu lugar, mas teve uma reforma do *software* supervisor do sistema de visão eletrônica para aprovação da aplicação da junta e por causa desta melhoria houve um período em que essa transação necessitava ser atravessada.

O pico evidenciado na evolução mês a mês do posto 21 se deve ao fato da nova versão do sistema coincidindo com um “vício” de atraso de envio de dados com maior incidência neste posto do que nos demais apesar de que se considera ocorrer aleatoriamente em todos os postos.

O pico evidenciado na estação de estanqueidade do motor, posto 35 (*Leak test*) refere-se puramente a sazonalidade de falso rejeito em relação a um componente chamado de junta do cabeçote e em outros meses relacionado a melhorias no *software* supervisor.

Já o pico evidenciado no gráfico do SIVE (sistema de inspeção visual eletrônica utilizado na estação de inspeção final do motor) refere-se ao período em que o mesmo passou por manutenção alongada o que remeteu a um projeto de modernização e atualização de câmera e supervisorio programado para ser executado em final do ano de 2010.

A mesma técnica adotou-se para as intervenções de *Abort job* sendo que esta somente aparece no período a partir de janeiro de 2009, pois esta transação faz parte da nova versão instalada. Conforme exemplo da figura 21 note-se que nem todas as transações estão disponíveis para este tipo de intervenção, porém vale para todas as transações com nome de “posto” que são aquelas relacionadas a leitores de códigos de barras diretamente ligados aos conversores serial-*ethernet* na linha de montagem, sem pertencer individualmente a uma estação supervisória.



**Figura 21- Exemplo de quantidade de intervenção *Abort job* por posto de trabalho coletada no período de janeiro de 2009 a abril de 2010.**

**Dados obtidos do banco de dados da empresa caso.**

Esta quantidade de intervenções de *Abort job* refere-se a um mesmo período de análise, portanto o volume de produção é o mesmo para cada posto e assim pode-se comparar a quantidade absoluta entre os postos de trabalho sem perda de fidelidade. As demais amostras de dados de intervenções por *abortjob* estão contidas no APÊNDICE L.

Já para se fazer uma análise da evolução mensal para um determinado posto, por exemplo, o posto 20, é necessário se levar em conta o volume de produção mês a mês. Neste caso do posto 20 o mês de julho de 2009 representou um pico, pois havia um problema de estouro de memória no tráfego de dados do servidor o que se revela em outros postos também em que no mesmo mês também supera em quantidades de *Abort job* na sua maioria. Esse problema foi corrigido por TI, porém o que acontecia era que o operador ia ler o posto 21 e não habilitava a operação, os dados apareciam no servidor das ferramentas de aperto, mas não no diagnóstico, após alguns minutos os dados entravam no banco de dados e acabava sendo necessário dar um *Abort job* no posto 20 para nova tentativa de leitura por causa deste erro. Era algo parecido com o que estava ocorrendo antes da troca de versão do sistema automático, porém parecido mais nos seus sintomas do que nas suas causas. Então isso era um problema circunstancial que acabava afetando o uso deste tipo de intervenção. Muitas vezes e repetidamente, associado a intervenções de *Abort job* era aplicada a intervenção de *altera status* na tentativa de agilizar a aprovação de um posto que já houvesse sido feito e recheado, mas não habilitava o posto seguinte. Abaixo segue uma amostra pertinente a análise do comportamento deste tipo de intervenção.

O que motiva uma intervenção de *Abort job* é similar ao que motiva uma intervenção de *altera status*, porém a natureza da ação é diferente. A primeira interrompe um processo antes que ele acabe e obriga a repeti-lo enquanto a segunda é uma carta branca, uma afirmação sobre o *status* do processo e que tem a capacidade de aprová-lo manualmente, por isso é mais perigosa do que a primeira. Como a ação de *Abort job* é dada no leitor do próprio posto de trabalho não existe um computador vinculado para se fornecer uma tela de cadastro do motivo da intervenção. O foco do estudo é, portanto, destinada a intervenções de *altera status*.

Antes de se prosseguir às análises cabe agrupar os dados de toda a linha em ordem de prioridade do pior caso, no qual há o maior número de intervenções relativas ao número de motores produzidos, até o melhor caso e isto pode ser entendido através das tabelas 5 e 6 e das figuras 22, 23 e 24

Assim seguem os resultados:

**Tabela 5 - Quantidade de motores/altera status para cada posto. Período de janeiro de 2008 a abril de 2010 separado por versão do sistema automático.**

POSTO	Motores/altera status mínimo (pior caso)	Mês-ano	POSTO	Motores/altera status mínimo (pior caso)	Mês-ano
transação	1º versão	ocorrência	transação	2º versão	ocorrência
POSTO 1	1	2008/11	POSTO 1	18	2009/02
SIVE	1	2008/12	SIVE	1	2009/05
ACABAMENTO	5	2008/12	POSTO 11	6	2009/01
POSTO 17	25	2007/09	POSTO 35 - LEAK TEST	9	2009/07
POSTO 3	27	2008/12	POSTO 17	14	2009/01
POSTO 35 - LEAK TEST	38	2008/12	POSTO 13	15	2009/01
POSTO 20	63	2008/04	POSTO 12	16	2009/01
POSTO 21	75	2008/11	POSTO 6	16	2009/01
POSTO 6	87	2008/12	POSTO 5	18	2009/01
POSTO 36	89	2008/12	POSTO 3	21	2010/03
POSTO 22	107	2007/11	POSTO 8	27	2009/02
POSTO 10	109	2008/12	POSTO 20	27	2009/09
POSTO 5	109	2008/12	POSTO 22	31	2009/01
POSTO 11	113	2008/11	POSTO 27	38	2010/02
POSTO 27	118	2008/12	POSTO 33	38	2009/01
POSTO 28	146	2008/01	POSTO 14	41	2009/08
POSTO 33	146	2008/04	POSTO 26	45	2010/02
POSTO 8	150	2008/04	POSTO 16	49	2010/02
POSTO 12	150	2008/01	POSTO 10	52	2009/05
POSTO 23	201	2008/06	ACABAMENTO	56	2009/02
POSTO 16	207	2008/05	POSTO 31	56	2009/01
POSTO 32	241	2007/09	POSTO 21	57	2009/01
POSTO 31	241	2007/09	POSTO 24	57	2009/01
POSTO 13	241	2008/02	POSTO 32	59	2010/02
POSTO 24	246	2008/08	POSTO 23	60	2009/03
TESTE ELÉTRICO	300	2008/12	POSTO 30	86	2009/01
POSTO 30	300	2008/01	POSTO 29	87	2009/03
POSTO 29	300	2008/08	POSTO 36	110	2009/09
POSTO 26	300	2008/12	HOT TEST	115	2009/01
POSTO 14	300	2007/12	POSTO 28	120	2009/03
INSPEÇÃO FINAL	300	2008/12	INSPEÇÃO FINAL	172	2009/01
HOT TEST	300	2008/12	ABASTEC. ÓLEO	344	2009/01
ABASTEC. ÓLEO	300	2008/12	TESTE ELÉTRICO	344	2009/01

Tabela 6 - Quantidade de motores/*abortjob* para cada posto. Período de janeiro de 2008 a abril de 2010 separado por versão do sistema automático.

<b>POSTO transação</b>	<b>Motores/<i>abortjob</i> mínimo (pior caso)</b>	<b>Mês-ano ocorrência</b>
HS - Posto 20 CANCELADO	9	2009/09
HS - Posto 06 CANCELADO	13	2009/10
HS - Posto 11 CANCELADO	26	2009/01
HS - Posto 08 CANCELADO	29	2009/01
HS - Posto 01 CANCELADO	31	2009/01
HS - Posto 17 CANCELADO	32	2009/03
HS - Posto 05 CANCELADO	34	2009/01
HS - Posto 10 CANCELADO	34	2009/01
HS - Posto 12 CANCELADO	34	2009/01
HS - Posto 03 CANCELADO	40	2009/03
HS - Posto 13 CANCELADO	42	2009/03
HS - Posto 22 CANCELADO	49	2009/01
HS - Posto 24 CANCELADO	61	2009/05
HS - Posto 32 CANCELADO	61	2010/02
HS - Posto 39 CANCELADO	63	2009/02
HS - Posto 16 CANCELADO	69	2009/01
HS - Posto 31 CANCELADO	86	2009/01
HS - Posto 33 CANCELADO	86	2009/01
HS - Posto 21 CANCELADO	89	2009/02
HS - Posto 23 CANCELADO	91	2009/09
HS - Posto 14 CANCELADO	100	2009/04
HS - Posto 27 CANCELADO	107	2009/02
HS - Posto 26 CANCELADO	115	2009/01
HS - Posto 30 CANCELADO	217	2010/02
HS - Posto 36 CANCELADO	225	2010/01
HS - Posto 29 CANCELADO	240	2009/03
HS - Posto 28 CANCELADO	344	2009/01

Valores		
Rótulos de Linha	Soma de mínimo (pior caso)	Contar de transação
2009/01	938	12
2009/03	354	4
2010/02	278	2
2009/02	258	3
2010/01	225	1
2009/09	100	2
2009/04	100	1
2009/05	61	1
2009/10	13	1
<b>Total geral</b>	<b>2327</b>	<b>27</b>

Figura 22-Quantidade de vezes em que o mês foi eleito por menor quantidade de motores/Abortjob. Peíodo de janeiro de 2008 a dezembro de 2008.

Valores		
Rótulos de Linha	Soma de mínimo (pior caso)	Contar de transação
2008/12	2768	14
2008/01	516	3
2007/09	592	3
2008/11	177	3
2008/04	382	3
2008/08	353	2
2007/11	118	1
2007/12	89	1
2008/02	87	1
2008/05	107	1
2008/06	146	1
<b>Total geral</b>	<b>5335</b>	<b>33</b>

Figura 23-Quantidade de vezes em que o mês foi eleito por menor quantidade de motores/Altera status 1º versão sistema automático. Peíodo de janeiro de 2009 a abril de 2010.

Valores		
Rótulos de Linha	Soma de mínimo (pior caso) 2ª versão	Contar de transação
2009/01	1386	16
2010/02	191	4
2009/03	267	3
2009/02	101	3
2009/09	137	2
2009/05	54	2
2009/07	9	1
2010/03	21	1
2009/08	41	1
<b>Total geral</b>	<b>2206</b>	<b>33</b>

Figura 24- Quantidade de vezes em que o mês foi eleito por menor quantidade de motores/Altera status 2ª versão sistema automático. Período de janeiro de 2009 a abril de 2010.

Na tentativa de explicar o porquê em sua maioria as transações tiveram um aumento relativo na quantidade de alterações de *status* após a alteração de versão do sistema *engin*, hipótese mais aceita é a de que com a nova versão instalada o sistema tornou-se mais detectivo e cada ocorrência adversa, como um retrabalho ou uma queda de conexão com o servidor o que demandava uma nova intervenção. É também válido lembrar que cada vez que se dá a alteração de *status* no posto 21 é porque se tem certeza de que tudo está *ok* até aquele ponto e precisa-se habilitar o posto 22, ao mesmo tempo em que, provavelmente houve um problema no posto 22 que remeteu a uma saída de linha para um retrabalho e na verdade tem que se dar um *altera status* no 21 somente para habilitar o posto 22 pelo fato de não ter dado um *Abort job* no posto 22 antes de remeter ao retrabalho. Note-se que antes da nova versão esse era o único meio de se refazer um posto de trabalho, mais um motivo para se esperar que as alterações de *status* diminuíssem com o uso da nova versão ao mesmo tempo em que um crescente uso de *Abort job* fosse utilizado. Na nova versão, caso os trabalhos do posto em análise não tiverem sido encerrados é possível refazê-lo através da intervenção de *Abort job*. Para se ter certeza do que aconteceu é válido também avaliar as intervenções de *Abort job* em conjunto com as intervenções de *altera status* para um caso em específico, além das ocorrências registradas em campo de observações ou nos registros internos de rejeições diárias.

Retomando o assunto de intervenções por *altera status*, outra amostra interessante para discussão é a do posto 3. Este posto de trabalho contém as transações “HS – Posto 3”,

“Rastreabilidade do virabrequim” e “Folga Axial”. Na verdade o processo funciona da seguinte maneira: o operador precisa preparar um componente chamado de virabrequim numa bancada, transportar via manipulador esta peça sobre os mancais do bloco de motor, posicionar e liberar a peça, montar espaçadores axiais chamados de arruelas de encosto, montar capas de mancais e parafusos corretamente, efetuar o aperto com controle de torque e de ângulo através de uma ferramenta de aperto múltipla de dois fusos (sendo que são cinco mancais com dois parafusos cada, então totalizando dez apertos necessários), após o aperto realizado corretamente e também na sequência correta (mancais internos primeiro e externos por último – aperto de dentro para fora) deve ser realizada a medição da folga em sentido axial do virabrequim em relação ao bloco, utilizando para tal um equipamento munido de relógio comparador eletrônico que se comunica com a estação supervisória da folga axial. Estando a medida da folga dentro dos parâmetros de engenharia, o status deve ser *ok* e o motor liberado para a próxima estação. Caso a medida esteja fora de especificação o motor será rejeitado na próxima estação, porém um retrabalho deverá ser feito. Uma opção é encapar o motor e deixá-lo andar pela esteira, sem qualquer montagem adicional até chegar ao setor de revisão e reparo deste motor. Depois de corrigido o motor entra de novo na esteira no ponto onde parou. Outra opção, e que é mais comum, é de parar a linha de montagem (dependendo da velocidade, se estiver em ritmo lento não é necessário parar), chamar operador especializado ou engenheiro e efetuar a soltura do virabrequim, substituir as arruelas de encosto, examinar se há alguma outra falha de componente, refazer o aperto e então novamente realizar a medição da folga. Isso pode acontecer inclusive com uma certa frequência, já que a engenharia do produto disponibiliza arruelas de encosto em duas versões de espessuras diferentes e recomenda que caso o motor não atinja a folga especificada a arruela de encosto seja substituída. Assim ao se fazer um retrabalho é necessário realizar uma alteração de *status* na transação de “HS – posto 1” para permitir que a ferramenta de aperto (que responde pelo status de “HS – posto 3” possa ser habilitada para realizar a soltura. Na verdade está se falando em trabalhos em modo automático, que é o modo de comunicação com o sistema, se operasse em modo manual o equipamento perderia o vínculo com o sistema e seus dados de apertos apenas ficariam registrados no servidor servidor das ferramentas de aperto. Na linha de montagem não é permitido o uso em modo manual, somente o supervisor e o engenheiro detem acesso a chave que permite liberar o equipamento em modo manual. Se fizer uso de um modo manual é também uma alternativa de não realizar a alteração de *status* mencionada, porém certamente será necessária

alguma outra alteração de *status* para que o motor siga em frente pois ele ainda está com seu *status* de “folga axial” *nok*. A ferramenta de aperto não permite soltura mediante reversão quando em modo automático somente em caso de rejeito do aperto, mas rejeita um parafuso que já foi apertado então permite a soltura somente neste caso. Complicado? Aliado a isso casos em que a leitura da folga acaba obtendo um falso rejeito, pois apesar de ser uma operação feita com uso de equipamento validado ela ainda é uma operação manufatureira, uma operação humana. O fator reprodutibilidade em um estudo de sistema de medição é não desprezível. Assim o supervisor também permite repetir uma e somente uma vez a medição da folga antes de tomar o seu *status* de *nok*.

No caso da preparação do virabrequim esta é feita numa bancada de sub-montagem, portanto não interligada à linha de montagem ainda neste momento em que foram coletados os dados. Para se ter uma idéia, a sub-montagem localiza-se no posto de trabalho nº 4 e não há transações para posto 4 porque é um posto de sub-montagem e portanto não tem a FCM (ficha de construção do motor a qual segue com o bloco de motor pela esteira tracionada). Assim, quando se fez necessário o uso de um *poka-yoke* para não esquecer de montar a bucha central. Esta bucha deve ir montada em apenas uma das LPs (lista de peças, que é o modelo do motor) que utilizam este mesmo virabrequim, portanto detém um modo potencial de falha que é o fato de não montar a bucha e propagar esta falha adiante. Como nada mais é montado no motor que venha a encaixar nesta parte central do virabrequim a detecção torna-se apenas visual e um verdadeiro desafio para se criar programas de inspeção visual eletrônica para que o robô de final de linha possa detectar a falta da bucha no ângulo de visão e posição que seu braço robótico alcança dentro da cabine de inspeção visual eletrônica ao final da linha de montagem. Ao se implementar um *poka-yoke* para a montagem desta bucha o primeiro desejo do engenheiro é criar uma circunstância preventiva. Claro que supõe-se que o produto possa ser alterado, ao máximo, para que facilite o trabalho da manufatura tanto em questões de se evitar situações como esta de usar um componente em uma peça e não usar na mesma peça quando se trata de outro modelo quanto nos quesitos de se dispor de *poka-yokes* de projeto os quais garantam a montagem do componente. Mas em se tendo uma situação em que a engenharia de produto não pode mais contribuir é necessário um trabalho de engenharia de processo e de manufatura para se ter a garantia da qualidade sem onerar o aspecto da produção industrial. Para que fosse possível um *poka-yoke* preventivo primeiramente era necessário existir a transação de montagem da bucha para haver o controle eletrônico que tanto

obrigasse a montá-la quanto só permitisse a próxima etapa de operação se a mesma estivesse montada e montada corretamente (posição e lado). Assim a interligação da estação de sub-montagem com a estação de montagem também se faz necessária. No caso prático da linha HS, como ainda não havia esta interligação partiu-se para a criação de um *poka-yoke* detectivo. Instalou-se um sensor conectado ao dispositivo de medição da folga, o qual também contém o relógio comparador eletrônico, e refez-se o *software* da estação supervisória de medição da folga axial. Assim, mesmo não tendo uma transação em específico para a montagem da bucha, o *software* do supervisor reconhece o modelo do motor pela leitura do código de barras da FCM (ficha de construção do motor) e só permite a execução da leitura da folga axial se o sensor do dispositivo confirmar a presença da bucha no modelo específico de motor. Quando uma falha ocorrer neste sensor como um deslocamento mecânico, por exemplo, o supervisor poderá resultar em um falso rejeito porém deixar passar um motor sem a bucha é bastante improvável. Caso ocorresse de chegar um motor destes sem esta bucha no cliente, ao se puxar um relatório de diagnóstico deste motor simplesmente apareceria “folha axial ok” e nada mais. Uma análise dos horários das transações anteriores, das ocorrências do dia (ocorrências diversas anotadas no livro de ocorrências da linha) somada aos acontecimentos registrados em planilha eletrônica (que faz parte do relatório de reunião diária de rejeições) aliado a relatos dos operadores envolvidos na falha serviriam de base para se investigar as causas da falha em cliente. Mas poderia ser tudo mais direto se pudesse ter o *status* de colocação da tal bucha diretamente no diagnóstico e como seria mais fácil se todas essas ocorrências de interrupções e retrabalhos estivessem registradas em banco de dados deste mesmo diagnóstico. É um tópico a ser profundamente discutido na companhia a fim de se instalar as melhores práticas sem criar circunstâncias engessadas ao fluxo das operações manufatureiras.

No caso do processo e aperto ele antecede a medição da folga axial, é uma condição para se fazer o processo de medição da folga. Porém a folga estando incorreta apesar de trancar o motor para próxima estação cria uma circunstância de retrabalho imediato e o sistema automático não foi criado para atuar em reparo nem em contra-fluxo. Ele foi criado para que o produto defeituoso não prossiga adiante e todos os dados sejam registrados *on-line* com data e, hora e quem estava logado na operação, mas tem um módulo que trate de rejeições. E rejeições é um tema diário em uma linha de montagem.

A solução encontrada foi de estabelecer uma lógica em que tanto a transação “HS – posto 1 *ok*” quanto a transação “folga axial *nok*” permitisse o *start* da ferramenta de aperto múltipla, isso porque ela está com programação configurada para somente apertar e não desapertar a menos que seja um aperto *nok*. Se tivesse uma opção em que somente permitisse soltura quando a transação fosse “folga axial *nok*” então se teria uma garantia no caso da soltura intencional de um aperto.

Com esse olhar crítico se reexaminar a tabela de trancamentos pode-se constatar que a transação “HS posto 01 *OK*” aparece repetida, assim como a transação “HS – Posto 03 *OK*”.

Isto significa que para realizar o *job* do posto 01 tem-se a necessidade de que a rastreabilidade do bloco tenha sido efetuada com êxito ou a ficha de construção do motor tenha sido impressa com êxito. Mesmo que dentro da estação de entrada de linha compreenda as sub-etapas gravação do número de série do motor, o decremento do item da fila na agenda de produção (o qual baixa a estrutura de peças para o setor de materiais através do sistema SAP), a inspeção visual eletrônica e retenção de foto do código serial gravado e a impressão de ficha (que totaliza a concepção de motor em processamento para a linha de montagem), pode-se ter o caso de uma reconstrução parcial em que se dê entrada de um motor utilizando o mesmo bloco e a mesma ficha de construção então o posto 01 pode ser aberto tanto pelo caminho trivial como pelo caminho de uma reconstrução e isto fica evidente na tabela de trancamentos.

No caso do posto 03 tem a seguinte situação: a transação “HS – Posto 03 *OK*” significa o aperto realizado em todos os 10 parafusos das capas de mancal que fixam o virabrequim ao bloco, mas a operação completa compreende a montagem de casquilhos, arruelas de encosto e virabrequim, montagem das capas de mancal e por fim aperto. Após isto é então realizada a medição da folga axial e registro de rastreabilidade do componente virabrequim. Assim o posto 03 pode ser aberto tanto pela conclusão da transação do posto 01, que é o caminho trivial quanto pela transação não *Ok* da medição da folga axial, ou seja, o componente virabrequim já está montado e fixado com todas as peças requisitadas, mas reprova na medição de folga, o problema é uma situação de tolerâncias de medidas dos componentes para uma situação máxima e a solução é a substituição de arruelas de encosto por outras, de menor espessura. Isto é uma condição de engenharia, determinada pelo projeto do produto. Caso as arruelas sejam substituídas e ainda assim não se obtenha a folga necessária pela especificação de projeto então a causa é um problema dimensional em algum componente ou um corpo estranho alojado entre as partes.

Supondo ser a primeira alternativa, o operador efetua a desmontagem do virabrequim, substitui arruelas de encosto e agora para realizar uma nova medição da folga é necessário que a ferramenta de aperto múltipla seja habilitada para efetuar os apertos, mas como isso irá acontecer se a última transação que consta no sistema automático é exatamente “HS – Posto 03 OK” quando deveria ser “HS posto 01 OK”? Poderia-se pensar em efetuar uma transação de *altera status* para posto 01 Ok , colocar uma observação do ocorrido no diagnóstico deste motor e prosseguir, mas esse tipo de solução é o que se faz em caso de um retrabalho e essa situação é tão normal quanto o processo trivial, então durante uma melhoria de processo realizada foi criada a possibilidade de em tendo um status *NOK* da folga axial isso ser, em automático, um resultado que também habilite a execução do aperto que é a transação “HS – Posto 03 OK”. Isso contribuiu para a diminuição do número de altera status na transação “HS posto 01 OK”.

Com tudo isso surgem perguntas como: Qual é o impacto que uma queda de conexão dá em um posto de trabalho? Pode-se afirmar que é o mesmo impacto em cada posto, se o posto estava em execução o equipamento de aperto não é impedido de continuar executando os programas na ordem em que estão dispostos no seu *job*, simplesmente os dados não serão enviados e quando o sistema voltar ele irá trancar a estação seguinte sendo necessário realizar uma alteração de *status ok* para o posto que estava em andamento quando da queda de conexão. Se a conexão com o servidor das ferramentas de aperto foi perdida, os dados de rastreabilidade do aperto foram perdidos, se somente a conexão com o servidor do sistema automático foi perdida ainda há uma chance de solicitar ao pessoal de TI que recupere estes dados, mas isso ainda assim não é algo que ocorre em modo automático então na maioria dos casos o motor estará aprovado sem problemas, mas alguns dados não estarão registrados.

Qual o impacto que um problema de qualidade de componente dá em relação a alteração de *status*? O posto que sofrer com um problema de qualidade como uma rosca espanada ou uma falta de filetes finais de rosca poderá tanto gerar uma reprovação de aperto quanto a aprovação de um falso aperto, mas os equipamentos utilizados tem satisfatório potencial detectivo. O que se faz comum é o fato de gerar um retrabalho a ser prontamente realizado para evitar atrasos maiores na produção e em se falando de retrabalho remete-se a uma inevitável alteração de *status*.

Qual a relação entre a quantidade de intervenções de *altera status* e *Abort job* e as falhas de processo? No caso da versão anterior pegava-se um motor no final e passava-se toda a linha sem

intervenção, pois todos os postos ficavam habilitados, na versão nova libera-se *status* do primeiro posto por uma transação específica de reconstrução e o resto segue em automático, contemplando todos os controles. Pode-se concluir que o aumento de intervenções significa que o sistema realmente tranca mais.

Retomando o assunto da distribuição de motivos de *altera status* obtido por banco de dados eletrônico a partir de cadastro obrigatório, o que foi comentado no início do capítulo três para este tipo de coleta de dados observou-se que o resultado não foi o esperado e tampouco esta técnica resultou no que se entenderia como um indicador para investigação e priorização de ações para ocorrências que impactaram no desvio do correto fluxo produtivo. Cada fatia, que significa um motivo diferente de intervenção por *altera status* deveria estar aberta em suas ocorrências para que a causa fosse corretamente tratada.

A tela de cadastro obrigatória criada, para uso em cada intervenção de altera status dada pelo operador especializado (coringa) ou pelo técnico operacional aparece na figura 25.

**Nro. do Motor: 000007**

Sequência: 2  
Estação atual: HS - Posto 01 OK

Nova estação:

- HS - Posto 01 OK
- HS - Posto 01 NOK
- HS - Posto 03 NOK
- HS - Posto 03 OK
- Folga Axial NOK

Motivo:

- SIVE em Manutenção
- Manutenção de Equipamento ou Poka-Yoke
- Rastreabilidade de Componentes
- Falha de Conexão do Sistema
- Falha Operacional
- Problema de Qualidade do Produto
- Outros

Observação:

Data e Hora: 03/09/2010 12:11:56

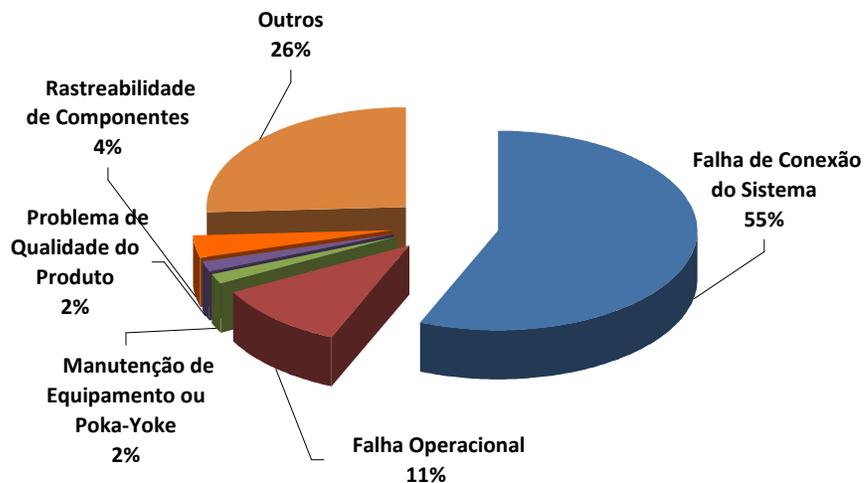
**Figura 25- Tela de cadastro de motivos de transação de altera status. Colocado em uso em setembro de 2010 na linha de montagem HS. Fonte sistema automático da empresa caso.**

Esta tela disponibiliza ao administrador opção de marcar a justificativa para se estar realizando o desvio do fluxo natural do processo. Dentre elas tem-se:

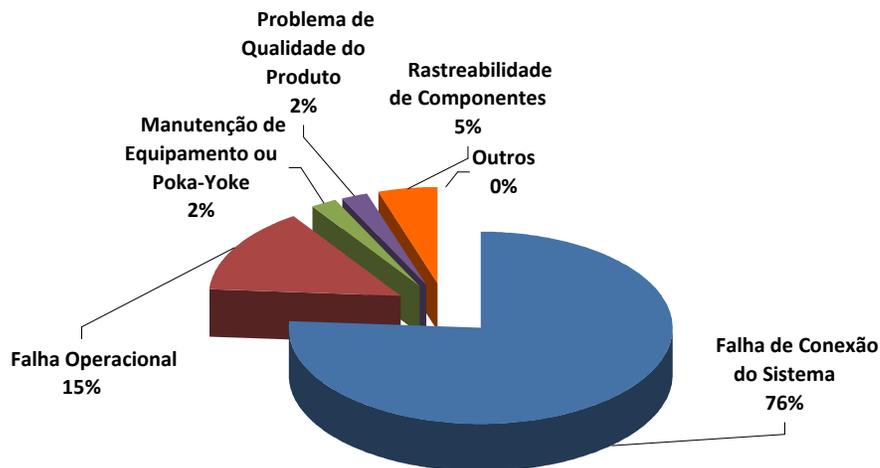
- Sive em manutenção: refere-se a todo sistema de inspeção por visão eletrônica que estiver com problemas de manutenção ou com falha em programa ou repetidos falsos rejeitos, ou seja, todo e qualquer circunstancial que exija o desativamento do “ok” daquele sive, demandando um *by pass* no processo. Através do posto em que foi cadastrado fica trivial saber de qual sive está se referindo.
- Manutenção de equipamento ou *poka-yoke*: diferencia-se da manutenção dos sives em particular e também das falhas de comunicação de sistema, serve realmente para indicar que um *poka-yoke* está desativado ou estação supervisória teve de ser desativada em decorrência de uma alteração de programa ou outra intervenção de manutenção. Inclui qualquer ferramenta de aperto que tenha que ter sido desativada também.
- Rastreabilidade de componentes: refere-se a todo e qualquer erro relacionado a rastreabilidade de um componente, seja causado por pane no supervisor, alteração de cadastro, alteração de codificação do fornecedor que não tenha sido previamente acertada.
- Falha de conexão do sistema: serve para identificar somente aqueles casos em que o desvio é necessário por um atraso ou parada de comunicação entre máquinas e sistema ou entre sistema e servidores. Isso pode ser usado como um indicador para TI se cadastrado de forma correta.
- Falha operacional: significa um erro humano em duas circunstâncias, uma em que o erro foi cometido e percebido antes do encerramento do processo e demandou um *Abort job* para refazê-lo ou outra em que o processo acabou sendo encerrado de forma indevida e demandou um *altera status* da estação anterior para refazê-lo.
- Problema de qualidade do produto: determina que a falha foi causada por um problema no produto demandando um desvio. Por exemplo: um parafuso da tampa aprovou um dos apertos e a cabeça do parafuso sequer tocou a peça. A ferramenta de aperto contou o lote de apertos *ok*. Examinou-se o problema no local constatando a falta de filetes de rosca na peça. Peça foi desmontada e enviada para retrabalho fora da linha de montagem, outra peça foi substituída e teve de ser torquada novamente. Isso só foi possível mediante um *altera status* da estação dando estação anterior como *ok* para permitir refazer a operação.

- Outros: refere-se a qualquer outro problema que necessitou um desvio, mas não se enquadra em nenhum dos quesitos anteriores como, por exemplo, um estudo de análise de sistema de medição por R&R (repetibilidade e reprodutibilidade) em que se estava testando um dispositivo alternativo e para tanto se desativou o dispositivo corrente. Claro que a alteração de *status* poderia estar sendo enquadrada em manutenção de equipamento ou *poka-yoke* mas o desvio está mais para um teste piloto do que para uma manutenção.

Segue, na figura 26 e 27 o resultado dos gráficos dos motivos coletados dentro do período de 3 meses de produção a partir do cruzamentos de dados levantados na parte experimental a fim de encontrar uma maneira de usar os dados de intervenções para auxiliar na prevenção dos problemas de processo.



**Figura 26-Gráfico de motivos para a transação de *altera status* considerando a opção “outros”. Período analisado de 03/09/2010 a 11/11/2010.**



**Figura 27 - Gráfico de motivos para a transação de *altera status* desconsiderando a opção “outros”. Período analisado de 03/09/2010 a 11/11/2010.**

A distribuição de Motivos de Altera Status na linha de montagem HS no período de 03/09/10 a 11/11/10 sugere um grande número de desvios enquadrados como categoria “outros”. Analisando-se essa situação por posto de trabalho, no período coletado descobriu-se que isso se deve a um grande número de testes feitos com dispositivos experimentais para um produto novo em fase protótipo e um processo inteiro em fase de rearranjo por melhoria o que obriga alterar o *status* daquele processo para cada motor produzido. A previsão de liberação de tal processo está prevista para maio de 2011. Assim foi produzido um novo gráfico ignorando-se os dados em “outros” e tomando-se como universo amostral somente as demais categorias.

Independente do primeiro ou do segundo gráfico a margem percentual que se depositou sobre a categoria “Falha de conexão do sistema” é alarmante, mas não confere com a quantidade de ocorrências de paradas de linha na planilha de ocorrências que impactam no indicador de eficiência operacional. A quantidade deveria ser menos da metade deste valor. É claro que muitos *altera status* podem não ter impactado em paradas de linha e estarem sim relacionados a erros de comunicação ou atraso no envio de dados, mas também há um grande número de cadastros equivocados. Selecionado uma amostra representativa de cadastros suspeitos e entrevistando os operadores especializados que os registraram percebe-se um alto índice de

cadastros enquadrados na categoria “sistema” e que na verdade pertencem a categoria “manutenção”. De uma forma ou de outra não fica claro ao “cadastrador” a categoria do motivo porque em muitos casos não tem como se saber a origem da causa no momento do cadastro (pode ser tanto falha de comunicação com servidor como falha eletrônica de um sensor de posição, por exemplo). Isso se deve também ao dinamismo em que os fatos se sucedem, só dá tempo de reconhecer o sintoma pois a causa será determinada posteriormente. Se o julgamento ficar dúbio o cadastro perde a sua confiabilidade. Os operadores inclusive foram alertados e uma reciclagem destes conceitos de categorias foi feita, mas as discrepâncias continuaram ocorrendo.

Analisando-se mais a fundo mesmo que o cadastro estivesse num nível aceitável de acertividade ele não serve diretamente para alimentar os indicadores atuais, necessitando análises intermediárias para se tornar informação útil. Deste modo esta ação foi descartada.

Uma conclusão que se pode tirar é de que realmente é necessário um cadastro de tratativas de rejeições no estilo ao comentado a respeito do Rastreamento de defeitos. A tentativa feita visava apenas saber quais as principais razões, mês a mês, por exemplo, pelas quais o fluxo do processo acabava ficando interrompido, e com isso abastecer os indicadores de desempenho a fim de levantar um Pareto de causas e tomar as ações de forma mais ágil. O que se esperava era que com essa estratificação das transações de *altera status*, poder-se ia identificar o porquê o fluxo normal do processo é desviado e como o sistema pode “saber” o que aconteceu realmente com este motor e deixar isto registrado para análises e consultas futuras além de estratificar os motivos mais incidentes a fim de tomar ações cabíveis para que o processo ande de forma mais automática e segura possível, sem desvios. Estava-se pensando também além, o de usar estes dados sistematicamente para alimentar algum novo indicador a fim de se desmembrar onde o processo é mais vulnerável a retrabalhos e nesse ponto se instalar ações tanto para reduzir o número de retrabalhos como para assegurar eletronicamente que o retrabalho foi realizado e o reteste eletrônico estaria validando o processo dentro de um fluxo sem desvios, totalmente monitorado e controlado.

Na prática, porém, muitos retrabalhos são realizados sem que se tenha que aplicar uma transação de *altera status*, pois dentro do *takt time* disponível foi possível realizar o retrabalho e quando o *altera status* foi aplicado, muitas vezes se cadastrou o motivo de forma errônea ou indevida. Esses fatores reforçam a necessidade de um treinamento ainda mais pesado a respeito

do funcionamento do sistema aos operadores e unir à proposta de uso do sistema automático para monitorar os tempos do processo e de acordo com os desvios no tempo previsto também elencar operações suspeitas.

Avaliar por si só gráficos de evolução de intervenções tanto de *altera status* quanto de *abort job* só conseguem demonstrar a intensidade do desperdício que está sendo gerado em termos de tempo e de pessoas durante o processo de montagem que foi desenhado para seguir um fluxo enxuto.

Por fim, avaliando-se até que ponto as falhas de processo podem ser coibidas pelo uso do sistema tanto em relação aos controles de processo quanto alertadas do perigo pela análise de intervenções a melhor resposta aponta para o fato de que em todos os casos que o sistema realmente tranca não ocorrem falhas, elas se situam justamente nas lacunas de detalhes operacionais não contemplados por *poka-yokes*. A quantidade do índice de nº de motores/altera status para cada posto realmente não serve para determinar a maior ou menor vulnerabilidade de ocorrência de uma falha operacional e o aspecto psicológico de que um excesso de *poka-yokes* possa tornar o trabalhador mais preguiçoso e suscetível ao erro não foi objeto desse estudo, mas há que se sustente a linha de pensamento de que não seja bem um excesso de *poka-yokes* que atrapalhe mas sim a instalação de um *poka-yoke* sem percorrer todas as ferramentas de prevenção de riscos necessárias e acabar tornando o que era para ser um *error proofing* numa armadilha de não-qualidade.

## **6. Conclusões e recomendação para trabalhos futuros**

### **6.1. Conclusão**

As melhorias realizadas tiveram impacto positivo nos indicadores da qualidade externos e internos;

O sistema Automático agrega valor para a produção e para o processo como um todo ao combater desperdícios de retrabalho, conserto, produto defeituoso e desperdício de capital empregado. Pode-se inferir que este sistema eletrônico utilizado para gerenciamento, controle de estações e rastreabilidade de processo com intertravamento de operações é sim o grande responsável pelo salto de qualidade dos últimos anos quando se fala em manufatura de uma linha de montagem;

Falhas são como acidentes, quando ocorrem é porquê o sistema máquina, meio-ambiente, método, mão-de-obra, medição e material conspirou num instante de tempo assim o permitiu;

Existem entes oportunidades de mudanças para serem feitas sobre o atual sistema Automático que terão enorme impacto vantajoso para melhorias ao processo de montagem estudado e abrangência para as demais linhas de montagem;

De forma progressiva a área de TI se aproxima do chão-de-fábrica e o sistema torna-se cada vez mais flexível para atender aos requisitos de processo automotivo. Avanços em conceitos e arquiteturas do sistema são uma realidade pelos profissionais de TI, que consultam continuamente as reais necessidades dos fluxos do chão-de-fábrica tornando-se evidente que é essa a tendência para as empresas do ramo automotivo;

A capacidade de monitoramento e controle está diretamente proporcional à complexidade de detalhes que o sistema consegue capturar e gerenciar em tempo real;

Emprego de novas tecnologias e adaptações requer correta e completa validação antes da liberação para produção, pois melhorias marginais acabam produzindo novos modos de falha os quais necessitam novos controles;

É necessário investir em módulo de tratativa de falhas e melhorias em módulo CAPP.

O sistema automático é flexível a alterações e atende cada vez mais as necessidades de agilidade, confiabilidade de registros e instalações de controles dentro das linhas de montagem.

Quanto mais transações distintas para cada evento puderem ser geradas e registradas servindo ao detalhamento inerente dos elementos de trabalho de uma operação fabril em um processo industrial, tão maior será a capacidade de monitoramento e desenvolvimento de controles eficazes à correta realização deste processo e para atender de forma suficiente à necessidade de acuracidade na investigação de causa raiz de falhas baseadas nas evidências das ocorrências, o que, por sua vez, também serve de retroalimentação para melhoria contínua do sistema.

O sistema automático avaliou todas as intervenções e os retrabalhos cometidos e retroalimentou o processo produtivo, tornando-se um verdadeiro *poka-yoke* vivo.

Por fim o trabalho alcançou seus objetivos e justificou-se por trazer para dentro da empresa estudada uma contribuição com relação ao uso do sistema de controle e rastreabilidade do processo objetivando melhorias de desempenho para este processo, interligando conhecimentos tratados mundialmente pela indústria automobilística como a prática do *lean manufacturing*, o uso do FMEA, o conceito de *poka-yoke*, e as bases do *computer aided process planning* em chão-de-fábrica.

## **6.2. Sugestão de Trabalhos Futuros**

Como sugestão para sequência deste trabalho propõe-se almejar a pesquisa por sistemas similares de outras corporações e ousar comparações a fim de conseguir sistematizar o

conhecimento gerado para criar um método de avaliação e de diagnóstico de potencialidades e vulnerabilidades.

Propor um indicador de sistema para medir a capacidade de bloquear uma falha e a capacidade de prevenir uma falha, em outros termos, poder dar uma nota para o seu aproveitamento e para seu poder a prova de falhas. Na verdade seria a criação de um método qualitativo para avaliação do grau de desempenho *poka-yoke* de um sistema de controle e rastreabilidade para que a partir do indicador medido se possa traçar plano de ação para buscar o grau máximo.

Em paralelo, ou como proposta de um trabalho ulterior, poder-se-ia desenvolver um índice de limite para aplicação do *poka-yoke* a fim de chegar ao máximo aproveitamento sem acabar influenciando negativamente ao senso de juízo do operador que o utiliza, isto é, encontrar o limite entre o fim do bom senso e o início do *poka-yoke*.

## Referências

\_\_\_\_\_. **Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA). Manual de Referência Quarta Edição.** São Paulo, Instituto da Qualidade Automotiva, Junho de 2008.

\_\_\_\_\_. **Metodologia da pesquisa-ação na instituição educativa.** São Paulo: Cortez, 1985.

\_\_\_\_\_. **Metodologia da pesquisa-ação.** São Paulo: Cortez, 1998.

\_\_\_\_\_. **Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA). Manual de Referência Quarta Edição.** São Paulo, Instituto da Qualidade Automotiva, Junho de 2008.

COLETIVA 2010. **Texto Institucional e Mercado.** São Paulo, 19 de janeiro de 2010 Disponível em <[HTTP://www.mwm-international.com.br/01\\_19\\_coletiva 2010](http://www.mwm-international.com.br/01_19_coletiva_2010)>. Acesso em 20/01/10.

ABRAHAM, Márcio e INAGAKI, Roberto S. **FMEA 4ª edição - Ação preventiva – heróis sem medalhas.** Disponível em < [www.setecnet.com.br/.../Acao%20preventiva%20-20herois%20sem%20medalhas.pdf](http://www.setecnet.com.br/.../Acao%20preventiva%20-20herois%20sem%20medalhas.pdf) e [www.docs-finder.com/FMEA-exemplos.htm](http://www.docs-finder.com/FMEA-exemplos.htm) l>, acesso em 30/05/2011.

AMARAL, Daniel C., TOLEDO, J. C. **FMEA - Análise do Tipo e Efeito de Falha GEPEQ – Grupo de Estudos e Pesquisa em Qualidade.** São Paulo - DEP – UFSCar, Disponível em <[www.numa.org.br/...port/pag.../FMEA\\_v2.htm](http://www.numa.org.br/...port/pag.../FMEA_v2.htm)> Acesso em 03/06/11.

AIAG - **Effective Error- Proofing - Product Code: XS-CQI-18.** Disponível em: <<http://www.iqa.org.br/website>>. Acesso em 10/06/11.

AIAG - **Automotive Industry Action Group.** Disponível em [www.aiag.org/](http://www.aiag.org/) - Estados Unidos. Acesso em 03/06/11.

AIAG - **2D Direct Parts Marking Guideline.** Disponível em [aiag\\_b-17.pdf](#). Acesso em 10/06/11.

ANTUNES JÚNIOR, J. **Em Direção a uma Teoria Geral na Administração da Produção. Tese de Doutorado em Administração** – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1998.

ARAÚJO, C.A. C; RENTES, A.F. **A metodologia Kaizen na condução de processos de mudança em sistemas de produção enxuta.** *Gestão Industrial*, v.02, n.02, p 133-142, 2006.

ASKIN, Ronald G., STANDRIDGE, Charles R. **Modeling and analysis of manufacturing systems.** New York ; John Wiley & Sons, 1993.

BABSON, Steve. **Lean Production and Labor: Empowerment and Exploitation.** In: Babson, Steve (Ed). *Lean Work: empowerment and exploitation in the global auto industry.* Detroit, Michigan: Wayne State University Press, 1995.

BING DUO, Jorge Documet, LEE , Jasper , LIU, Brent . **Experiences With a Prototype Tracking and Verification System Implemented Within an Imaging Center Academic Radiology,** Volume 14, Issue 3, March 2007, Pages 270-278.

BLACK, J. T. **O Projeto da Fábrica com Futuro.** Bookman, Porto Alegre, 1998.

Bowles, J. (2003). “**An assessment of RPN Priorization in a Failure Modes Effects and Criticality Analysis**”, Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, pp380-386; also in Journal of IEST, Institute of Environmental Sciences and Tecnology, Vol 47, 2004, pp.51-56.

CALARGE, Felipe Araújo, DAVANSO, José Carlos. **Conceito de Dispositivos à Prova de Erros Utilizados na Meta do Zero Defeito em Processos de Manufatura.** São Paulo, 2003. Disponível em < <http://www.unimep.br/phpg/editora/revistaspdf/rct21art01.pdf>> Acesso em 03/06/11.

CAMPOS, Vicente Falconi. **Gerenciamento da Rotina do Trabalho do Dia-a-Dia.** 1994.

CASTILHO, Kleber A. **O Gerenciamento dos Riscos Através da Metodologia FMEA-Análise dos Efeitos e Modos de Falha.** Disponível em < [http://www.docs-finder.com/view.php?url=http%3A%2F%2Fwww.leansixsigma.com.br%2FACERVO%2FACERVO\\_913159.DOC&searchquery=FMEA+exemplos](http://www.docs-finder.com/view.php?url=http%3A%2F%2Fwww.leansixsigma.com.br%2FACERVO%2FACERVO_913159.DOC&searchquery=FMEA+exemplos)> Universidade São Judas Tadeu, Curso de Pós Graduação – Lato Sensu - Gerência de Projetos com Ênfase nas Práticas do PMI. Acesso em 01/06/11.

CLARO, G. **Errar é Humano.** Disponível em <<http://www.geraldo-claro.blogspot.com/2011/05/errar-e-humano.html>> Acesso em 03/06/11.

COGNEX ID Products. **Direct Part Mark considerations: Marking & Reading** Cognex Corporation. One Vision Drive, 2006.

CORREIA, Luís Claudio; RIBAS, Wladimyr J.; GHINATO, Paulo. **Uma Proposta para Disseminação dos Dispositivos Poka-yoke Através dos CCQs.** In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP/01). Pernambuco : Universidade federal de Pernambuco: programa de pós-graduação em Engenharia de Produção, 2001.

CORREA, H. L.; CORREA, C. A. **Administração de produção e operações.** São Paulo: Atlas, 2004.

COSTA, Luis Sergio Salles, CAULLIRAUX, Heitor M. **Manufatura Integrada por Computador: Sistemas Integrados de Produção: Estratégia, Organização, Tecnologia e Recursos Humanos.** Rio de Janeiro: Campus: SENAI: COPPE/UFRJ, 1995.

DEMING, W. Edwards (1990). **Qualidade: A revolução da Administração.** Ed. Marques Saraiva. 1990. ISBN: 8585238151.

ERROS. In: **Erros e defeitos relacionados por meio de um diagrama ishikawa.** Disponível em: <<http://www.beyondlean.com/poka-yoke.html>> Acesso em 03/06/11.

ERLANDSON, R.F.; NOBLETT, M.J.; Phelps, J.A.; **Impact of a poka-yoke device on job performance of individuals with cognitive impairments.** Dept. of Electr. & Comput. Eng., Wayne State Univ., Detroit, MI. Disponível em <[http://www.ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=712222](http://www.ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=712222)> Acesso em 03/06/11.

GHINATO, P. **Sistema Toyota de Produção - Mais do que Simplesmente Just-In-Time.** Editora da Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 1996.

GHINATO, P. **The Role of Mistake-proofing Systems in Zero-rastreamento de defeitos-oriented Environments,** Proceedings of the 2nd International Congress of Industrial Engineering - ENEGEP'96, Brasil, 1996.

GHINATO, P. **Quality Control Methods: Towards Modern Approaches Through Well Established Principles**, Total Quality Management Journal, England, v. 9, n. 6, December, 1998.

GHINATO, P. Publicado como 2o. cap. do Livro Produção & Competitividade: **Aplicações e Inovações**, Ed.: Adiel T. de Almeida & Fernando M. C. Souza, Edit. da UFPE, Recife, 2000.

GROOVER, Mikell P. **Automation, production systems, and computer integrated manufacturing**. New Jersey, Prentice-Hall 2 ed, 2001.

HAYES, R. H. ,WHEELWRIGHT, S.C. **Dynamic Manufacturing – Creating the Learning Organization**. Nova York: Free Press, 1988.

HAYES, Robert., WHEELWRIGHT, Steven C., et al. **Produção, estratégia e tecnologia: em busca da vantagem competitiva**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

HOLMSTED, Peter, MARTENSSON Lena, and ARNSTRÖM, Anders. **Cooperation of Man and Robot Assembly — an Evaluation of an Industrial Flexible Assembly System**. Artigo 24 July 2007.

INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. **Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial - FMEA**: Manual de Referência. 4ª Edição. São Paulo: [s.n.], [2008].

INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. **Processo de Aprovação de Peça de Produção - PPAP**: Manual de Referência. 4ª Edição. São Paulo: [s.n.], [2008].

INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA . **ISO/TS-16949:2009**, Cláusulas 7.1.4, 7.3.1.1, 7.3.2.3, 7.3.3 d), 7.3.3.1, 7.3.3.2, 7.5.1.1 (Versão Corrigida de 2003-12-15)

INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. **ISO 1585:1996** – Engine Test Code.

IMAN. **Poka-yoke – métodos à prova de falhas**, São Paulo: Instituto IMAN. 1998.

ISHIKAWA, Kaoru. **Controle de Qualidade Total à Maneira Japonesa**. 6<sup>a</sup> Edição, Ed. Campus, São Paulo, 1995.

JURAN, J.M.; FRANG, M.G. **Controle de Qualidade-Handbook: ciclo dos produtos, inspeção e teste**. São Paulo: MakronBooks do Brasil Ltda., 1992.

KRAFTA, Lina. **Gestão da informação como base da ação comercial de uma pequena empresa de TI**. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: PPGA/EA/UFRGS. 2007. Disponível em  
<[http://www.ea.ufrgs.br/professores/hfreitas/files/orientacao/mestrado/defesa/pdf/44\\_dissertacao\\_lina.pdf](http://www.ea.ufrgs.br/professores/hfreitas/files/orientacao/mestrado/defesa/pdf/44_dissertacao_lina.pdf)> Acesso em 03/06/11.

KRASICH, M. “**Physics of Failure Approach to FMEA**”, Tutorial Proceedings Reliability and Maintainability Symposium, 2005.

KRASICH, M. Use of Fault Tree Analysis for evaluation of system reliability improvements in design phase, 2000. Proceedings annual reliability and maintainability symposium, 2000.

LIKER, Jeffrey K. , MEIER, David. **O Modelo Toyota: Manual de Aplicação: um guia prático para implementação dos 4 Ps da Toyota**. Porto Alegre: Bookman, 2007.

LINDLAND, John. **The Seven Failure Modes: Failure Modes and Effects Analysis**. The Bella Group, Inc 2005.

MALHOTRA, M.K. *et al.* **Important strategic and tactical manufacturing issues in the 1990s Decision Science**, Michigan, 25 (2),mar./abr./94.

MAY, Matthew E. Toyota. **A Fórmula da Inovação**. Campus. 2007.

McGEE, J.; PRUSAK, L. **Gerenciamento estratégico da informação**. Rio de Janeiro:Campus, 1994.

MEIRELES, Gustavo. **Sistemas de Informações num Ambiente de Manufatura Integrada**. Nupenge. Apostila da Ufmg. Disponível em  
<[http://www2.ucg.br/nupenge/pdf/Gustavo\\_Meireles.pdf](http://www2.ucg.br/nupenge/pdf/Gustavo_Meireles.pdf)>. Acesso em 08/11/2010 20:10.

MONDEN, Y. **Sistema Toyota de Produção**. Editora do IMAM, São Paulo, 1984.

MOURA, A.R.; BANZATO, J.M. **Poka-yoke: a eliminação dos defeitos com o método à prova de falhas.** São Paulo: Iman, 1996.

NAVISTAR, Inc GROUP. Autores da Instrução de Trabalho: T. Patterson, P. Gambino, J. Lindland (QualSAT, Inc.) **Instrução de Trabalho Procedimento N°: DW000Q23- FMEA.** Efetivo desde: 11/1/2008.Revisão N°:5.

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

OLIVEIRA, C. B. M.; ROZENFELD, H. (1997). **Desenvolvimento de um módulo de FMEA num sistema comercial de CAPP.** (CD ROM). In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção,17., Gramado, 1997. Anais. Porto Alegre, UFRGS. (t :662).

ORIBE, Claudemir. **Os 70 Anos do Ciclo PDCA.** Revista Banas Qualidade. N. 209. Ano XVII. Outubro/2009. Pag. 20-25

ORIBE, Claudemir Yoschihiro. **Quem resolve problemas aprende? A contribuição do método de análise e solução de problemas para a aprendizagem organizacional.** Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Administração. Belo Horizonte, 2008.

PAIVA, Ely Laureano; HAYES, Robert H. , et al. **Estratégia de Produção e Operações: conceitos, melhores práticas, visão de futuro.** Porto alegre: Bookman, 2 ed, 2009.

PALADY, Paul. **FMEA Análise dos Modos de Falha e Efeitos: Prevendo e Prevenindo Problemas Antes que Ocorram.** 3ª Edição. São Paulo: Instituto IMAM,2004.

PEREIRA, Érica C. O. e ERDMANN, Rolf H. **A Evolução do Planejamento e Controle e o Perfil do gerente da Produção.** UFSC - CSE/CPGA -Campus Universitário. Florianópolis – SC. Disponível em<[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1998\\_ART265.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1998_ART265.pdf)>Acesso em 08/11/2010.

PRATES, Maurício. **Conceituação de sistemas de informação do ponto de vista do gerenciamento.** Revista do Instituto de Informática. PUCCAMP, v.2, n.1, p. 7-12, março/setembro, 1994.

RAUSAND, M (2004). **System Reliability Theory**.(2<sup>nd</sup> ed), Wiley, 2004.Disponível em<<http://www.bokkilden.no/samboweb/produkt.do?produktId=1106577>> .Acesso em 08/06/11.

ROTHER, Mike & SHOOK, John. **Aprendendo a Enxergar: Mapeando o Fluxo de Valor para Agregar Valor e Eliminar o Desperdício**. Lean Institute Brasil, São Paulo, 2000.

SAEJ1739:2002. **Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and potential Failure Mode and effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA)**.

SANTOS, Ana carolina Oliveira, SANTOS, Marcos José. **Utilização do indicador de eficácia global de equipamentos (OEE) na gestão de melhoria contínua do sistema de manufatura – um estudo de caso**. Artigo, XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP 2007), Foz do Iguaçu, 09 a 11 de outubro de 2007.

SCHEER, August-wilhelm. **Cim : evoluindo para a fábrica do futuro**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1993.

SCHEIBE, Geraldo. **Lean e os Sistemas de Fábricas**. Revista Banas Qualidade Maio de 2008.

SHIMBUN, N.K. **Poka-yoke: improving product quality by preventing rastreamento de defeitos**. Cambridge: Productivity Press, 1998.

SHINGO, Shigeo. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção**. São Paulo - Bookman, 1996

SHINGO, S. **The Shingo Production Management : improving process functions** . Cambridge: Productivity Press:1992.

SHINGO, S. **Poka-yoke: Improving Product Quality by Preventing Defects**. Cambridge: Productivity Press, Massachusetts, 1988.

SHINGO, Shigeo. **Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-yoke System**. Cambridge, Massachusetts, Productivity Press, 1986.

SHINGO, Shigeo. **Zero Quality Control: Source inspection and the Poka-yoke System.** Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 1990.

SLACK, N. **Vantagens Competitivas em manufatura: atingindo competitividade nas operações industriais.** São Paulo, Atlas, 2002.

SOUZA, Sofia M. **Estendendo ambientes de suporte a trabalho cooperativo com base no conceito de *Workflow*.** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Computação.2003.

TRINCHERO, Marcelo Mário Damazio. **A Importância do Planejamento em Projetos de Tecnologia da Informação.** Disponível em <<http://www.ietec.com.br/site/techoje/categoria/index/46/pege:8>> Acesso em 08/06/11.

WERKEMA , Maria Cristina. **Lean Seis Sigma – Introdução às Ferramentas do *Lean Manufacturing*.** Belo Horizonte, Werkema editora , 2006. (Seis sigma; v.4).

WOMACK, James P. & JONES, Daniel T. **A máquina que mudou o mundo.** São Paulo, Editora Campus, 2001.

WOMACK, James P. & JONES, Daniel T. **Mentalidade enxuta nas empresas.** São Paulo, Editora Campus, 1997.

WOMACK, James P. & JONES, Daniel T. **Lean Thinking.** Simon & Schuster, New York, 1996.

## Análise Potencial de Modo e Efeito da Falha FMEA de Processo

Item: Sistema Automático  
 Ano do Modelo: Motores HS - aplicações ano 2010  
 Equipe: Representantes da Eng<sup>a</sup> de Processos, Produção, Eng<sup>a</sup> de Manufatura Avançada, Qualidade e Tecnologia da Informação.

Revisão Crítica 29/09/2013  
 Responsável pelo Processo: Laércio Nikititz  
 Data chave: 30/09/2010

Nº FMEA : PFMEA\_Sistema Automático\_01  
 Página: de  
 Preparado por: Laércio Nikititz  
 Data FMEA: 30/09/2010 Rev.: 0

Página 1 de 20

Etapa / Função	Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potenciais de Falhas	Severidade	Classe de Falha	Causa(s) Potenciais de Falhas	Processo Atual			NP R	Ação Recomendada	Responsabilidade e Data de Conclusão	Resultado de Ações					
							Controles de Processo	Ocorrencia	Controles de Processo Atuais				Detecç	Ações Adotadas e Data Efetiva	Severidade	Ocorrência	Detecç	N P R
Garantir o seqüenciamento e a realização das operações de montagem	Cumprir as etapas constantes nos jobs dos equipamentos de aperto e registrar todos os valores (ok e nok) dos apertos realizados no diagnóstico do motor.	Equipamento realiza todos os apertos OK, obedecendo cada programa que compõe o job (trabalho) mas os dados não aparecem no diagnóstico do motor e o posto seguinte é bloqueado - passam-se alguns minutos e os dados aparecem no diagnóstico e o posto seguinte é desbloqueado sem intervenção.	Atraso de produção Há o risco de uma operação incompleta seguir adiante ou o risco do retrabalho (tanto pelo fato de desfazer a operação e refazê-la mediante alteração do status do posto anterior quanto pelo uso de modo alternativo com métodos manuais de reação constantes em plano de controle)	6	0	Atraso no envio da informação de aperto (resultados de aperto) da apertadeira para o servidor ferram. apertos - falha no protocolo de comunicação no caminho que a informação percorre desde o aperto realizado em ok até processar a aprovação de um posto de trabalho	O evento é aleatório e sem aviso prévio	8	4	192	A solução é alterar a estratégia de aprovação de um posto de trabalho. A atual é por por contagem de apertos, remetendo a atualização de um cadastro de "Altera Jobs" pelo engenheiro de processo, que é algo demorado e vulnerável a falhas de cadastro pela sua complexidade de detalhes, podendo acarretar a aprovação de motor com falta de apertos ou gerar a ordem de um aperto adicional sendo que na prática os apertos estão concluídos. O efeito disso é no mínimo uma confusão em piso-de-fábrica além de atrasos e retrabalhos.	TI	jan/09	Mudança na estratégia de aprovação de um posto de trabalho criando o primeiro passo adicional a ser executado pelo Sist.Auto. Após receber a trigger do VIN (dez. 2008): - verificar se existe Job sendo executado no posto, caso positivo vai para o final e não envia novo código à ferramenta comunicação direta com o equipamento. - verificar se o motor está OK na última estação e qual o último status de transação - verificar se há operador logado na estação - busca da lista das máquinas associadas a estação - percorrer a lista enviando o código - encerrar processo até próxima leitura	6	2	2	24

APÊNDICE A - PFMEA do Sistema automático

## Análise Potencial de Modo e Efeito da Falha

FMEA de Processo

Item: Sistema Automático  
 Ano do Modelo: Motores HS - aplicações ano 2010  
 Equipe: Representantes da Eng<sup>o</sup> de Processos, Produção, Eng<sup>o</sup> de Manufatura Avançada, Qualidade e Tecnologia da Informação.

Revisão Crítica 29/09/2013  
 Responsável pelo Processo: Laércio Nikititz  
 Data chave: 30/09/2010

Nº FMEA : PFMEA\_Sistema Automático\_01  
 Página: de  
 Preparado por: Laércio Nikititz  
 Data FMEA: 30/09/2010 Rev.: 0

Etapa / Função	Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potenciais de Falhas	Severidade	Classe	Localização	Causa(s) Potenciais de Falhas	Processo Atual				NP R	Ação Recomendada	Reponsabilidade e Data de Conclusão	Resultado de Ações						
								Controles de Processo	Ocorrencia	Controles de Processo Atuais	Detect				Ações Adotadas e Data Efetiva	Severidade	Ocorrência	Detect	NP R		
Garantir o seqüenciamento e a realização das operações de montagem	Cumprir as etapas constantes nos jobs dos equipamentos de aperto e registrar todos os valores (ok e nok) dos apertos realizados no diagnóstico do motor.	Equipamento realiza todos os apertos OK, obedecendo cada programa que compõe o job (trabalho) mas o motor vai adiante com um ou mais apertos faltando	Operador poderá não perceber e enviar motor adiante com falta de apertos operador pode perceber e chamará técnico ou supervisor e terá que realizar retrabalho o que gera risco de outras falhas (tanto pelo fato de desfazer a operação e refazê-la mediante altera status do posto anterior quanto pelo uso de modo alternativo com métodos manuais de reação constantes em plano de controle) pois apertar os parafusos faltantes com método alternativo e sem registro é mais arriscado e se perde em credibilidade do	10	▽		Erro de cadastro da tabela de Altera Jobs, o uso desta tabela é complexo pois detalha cada programa de cada Job de cada modelo (LP) de motor em cada posto de trabalho.	A única prevenção é a revisão da tabela a cada mudança no processo (manual pelo engenheiro)	5		Só se detecta erro na tabela quando uma falha de processo é gerada e comunicada aos engenheiros. Muitas vezes poderiam estar ocorrendo falhas que eram corrigidas e filtradas pelo próprio processo de montagem e não emergirem a fim de correção da causa raiz. Mas a quantidade de filtros de processo ajuda em muito a não propagação de uma falha	7	350	Terminar com a tabela de Altera Jobs e criar um outro meio de contagem dos apertos, de forma automática	TI	jan/09	Mudança na estratégia de aprovação de um posto de trabalho criando o primeiro passo adicional a ser executado pelo Sist.Auto. Após receber a trigger do VIN (dez. 2008): - verificar se existe Job sendo executado no posto, caso positivo vai para o final e não envia novo código à ferramenta comunicação direta com o equipamento. -verificar se o motor está OK na última estação e qual o último status de transação -verificar se há operador logado na estação - busca da lista das máquinas associadas a estação - percorrer a lista enviando o código - encerrar processo até próxima leitura	10	1	1	10

## Análise Potencial de Modo e Efeito da Falha

FMEA de Processo

Item: Sistema Automático  
 Ano do Modelo: Motores HS - aplicações ano 2010  
 Equipe: Representantes da Engª de Processos, Produção, Engª de Manufatura Avançada, Qualidade e Tecnologia da Informação.

Revisão Crítica 29/09/2013  
 Responsável pelo Processo: Laércio Nikititz  
 Data chave: 30/09/2010

Nº FMEA :  
 Página: de  
 Preparado por:  
 Data FMEA:

PFMEA\_Sistema Automático\_01  
 Laércio Nikititz  
 30/09/2010 Rev.: 0

Etapa / Função	Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potenciais de Falhas	Severidade Classificação	Causa(s) Potenciais de Falhas	Processo Atual			Ação Recomendada	Reponsabilidade e Data de Conclusão	Resultado de Ações						
						Controles de Processo	Ocorrência	Controles de Processo Atuais			Detecção	NP R	Ações Adotadas e Data Efetiva	Severidade	Ocorrência	Detecção	NP R
Detectar defeitos e reter rastreabilidade de dados de qualidade interagindo com máquinas-ferramenta	Cumprir as etapas constantes nos jobs dos equipamentos de aperto e registrar todos os valores (ok e nok) dos apertos realizados no diagnóstico do motor.	Equipamento realiza todos os apertos OK, obedecendo cada programa que compõe o job (trabalho) mas o motor vai adiante com um ou mais apertos faltando	Operador envia motor com falta de apertos ou percebe e chama técnico ou supervisor, realiza retrabalho o que gera risco de outras falhas (tanto pelo fato de desfazer a operação e refazê-la mediante alteração status do posto anterior quanto pelo uso de modo alternativo com métodos manuais de contingência o que pode gerar outros modos de falha.	10	Carência de programação baseada em dados estatísticos que determinem o valor de ângulo mínimo a fim de bloquear aperto em parafuso já apertado.	Vários programas contém esta estratégia de bloqueio mas os mesmos podem ser reestudados e também fazer abrangência	5	Não há detecção em fluxo normal de produção para um programa com esta deficiência, somente será percebido no caso de uma detecção de falta de aperto em um motor ou num trabalho de melhoria de programação.	# 500	Revisar a programação de todas as máquinas. A melhor solução, porém mais dispendiosa, é ainda a instalação de máscaras eletrônicas sequenciadoras de apertos pois com a localização do aperto pode-se garantir individualmente o que foi realizado no mesmo. Porém, pelo custo e complexidade (requer dispositivos muitas vezes mirabolantes) só se justifica em casos de apertos críticos como no caso das máquinas múltiplas de dois fusos para mancal e biela, as quais executam apertos 2 a 2.	Eng. Processos	mar/09	Revisada programação de todas as máquinas. Nova revisão se dará a cada alteração de processo que impacte em apertos. Colocado pedido de compra para instalação de máscara sequenciadora nas máquinas de mancal e biela para projetos novos na linha HS para o ano de 2011.	10	1	1	10

## Análise Potencial de Modo e Efeito da Falha

FMEA de Processo

Item: Sistema Automático  
 Ano do Modelo: Motores HS - aplicações ano 2010  
 Equipe: Representantes da Eng<sup>a</sup> de Processos, Produção, Eng<sup>a</sup> de Manufatura Avançada, Qualidade e Tecnologia da Informação.

Revisão Crítica 29/09/2013  
 Responsável pelo Processo: Laércio Nikittz  
 Data chave: 30/09/2010

Nº FMEA :  
 Página: de  
 Preparado por:  
 Data FMEA:

PFMEA\_Sistema Automático\_01  
 Laércio Nikittz  
 30/09/2010 Rev.: 0

Página 4 de 20

Etapa / Função	Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potenciais de Falhas	Severidade	Classificação	Causa(s) Potenciais de Falhas	Processo Atual			NP R	Ação Recomendada	Reponsabilidade e Data de Conclusão	Resultado de Ações				
							Controles de Processo	Ocorrência	Controles de Processo Atuais				Detecção	Ações Adotadas e Data Efetiva	Severidade	Ocorrência	Detecção
Garantir o seqüenciamento e a realização das operações de montagem	Em reconstrução parcial de um motor o sistema deve proibir a montagem de peças até o último posto em que o motor estava em seu processo e permitir só a partir do mesmo	Motor foi parcialmente construído até um posto "X" de trabalho e por um problema de qualidade de peça a decisão foi encapar o motor, deixar ele chegar na saída de linha para encaminhá-lo ao setor de revisão e reparo. Ao chegar na revisão o motor teve que ser desmontado além da peça defeituosa em virtude da dependência de um sub-sistema montado em relação ao outro (exemplo: para remover o pistão tem que remover antes o cabeçote). Tomou-se a decisão de retornar o motor para ser reconstruído na linha de montagem de forma parcial até retornar ao posto "X" sendo que a partir deste nunca fora construído. O modo de falha é o sistema permitir que os postos anteriores ao "X" sejam habilitados.	Motor com peças faltando ou apertos faltando ou qualquer outro modo de falha presente em um pmea de processo das operações antecedentes ao posto "X".	10	∇	Um dos passos de aprovação do posto remete a "posto anterior ok" mas não verifica a data cronológica deste OK. Assim uma vez tendo o posto 10 com OK não é necessário tê-lo ok novamente seja o que for que tenha acontecido com este motor	Não há prevenção, é uma carência do conceito do sistema	10	8	800	Mudar o conceito do sistema exigindo status da última transação realizada em termos cronológicos a fim de entrar como requisito de liberação para trabalho em posto subsequente.	TI	jan/09	10	1	1	10

## Análise Potencial de Modo e Efeito da Falha

FMEA de Processo

Item: Sistema Automático  
 Ano do Modelo: Motores HS - aplicações ano 2010  
 Equipe: Representantes da Engª de Processos, Produção, Engª de Manufatura Avançada, Qualidade e Tecnologia da Informação.

Revisão Crítica 29/09/2013  
 Responsável pelo Processo: Laércio Nikititz  
 Data chave: 30/09/2010

Nº FMEA :  
 Página: de  
 Preparado por:  
 Data FMEA:

PFMEA\_Sistema Automático\_01  
 Laércio Nikititz  
 30/09/2010 Rev.: 0

Página 5 de 20

Etapa / Função	Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potenciais de Falhas	Severidade Classificação	Causa(s) Potenciais de Falhas	Processo Atual			NP R	Ação Recomendada	Reponsabilidade e Data de Conclusão	Resultado de Ações				
						Controles de Processo	Ocorrência	Controles de Processo Atuais				Detecc	Ações Adotadas e Data Efetiva	Severidade	Ocorrência	Detecc
Garantir o seqüenciamento e a realização das operações de montagem	Garantir rastreabilidade de componentes e processos	Motor foi parcialmente construído até um posto "X" de trabalho e por um problema de qualidade de peça a decisão foi encapar o motor, deixar ele chegar na saída de linha para encaminhá-lo ao setor de revisão e reparo. Ao chegar na revisão o motor teve que ser desmontado e componentes cuja rastreabilidade estava endereçada ao diagnóstico do motor foram trocados. O modo de falha é o sistema registrar nova rastreabilidade sem desvincular a rastreabilidade anterior o que cria uma discrepância entre a rastreabilidade da peça que realmente faz parte do motor e o registro de rastreabilidade que foi considerado.	Não ter confiabilidade no registro de rastreabilidade de componentes e acabar não atendendo a uma investigação de falha de componente ligada ao motor no caso de recall, por exemplo.	6	Sistema permite que a captura de um código de rastreabilidade não seja criticada quanto a formato nem quanto a histórico para um mesmo tipo de componente	Não há prevenção, é uma carência do conceito do sistema	10	A detecção é manual, ficando na responsabilidade do operador.	8	Mudar o conceito do sistema exigindo que obrigue a expirar a rastreabilidade de um componente antes de aceitar uma nova rastreabilidade do novo componente.	TI	jan/09	6	1	1	6

## Análise Potencial de Modo e Efeito da Falha

FMEA de Processo

Item: Sistema Automático  
 Ano do Modelo: Motores HS - aplicações ano 2010  
 Equipe: Representantes da Engª de Processos, Produção, Engª de Manufatura Avançada, Qualidade e Tecnologia da Informação.

Revisão Crítica 29/09/2013  
 Responsável pelo Processo: Laércio Nikititz  
 Data chave: 30/09/2010

Nº FMEA : PFMEA\_Sistema Automático\_01  
 Página: de  
 Preparado por: Laércio Nikititz  
 Data FMEA: 30/09/2010 Rev.: 0

Página 6 de 20

Etapa / Função	Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potenciais de Falhas	Severidade	Classificação	Causa(s) Potenciais de Falhas	Processo Atual			NP R	Ação Recomendada	Reponsabilidade e Data de Conclusão	Resultado de Ações				
							Controles de Processo	Ocorrencia	Controles de Processo Atuais				Detect	Ações Adotadas e Data Efetiva	Severidade	Ocorrencia	Detect
Coletar registros dos part numbers dos componentes	Registrar e validar a rastreabilidade de componentes	Registro de rastreabilidade errada (de outro componente) ou não registro da rastreabilidade	Não ter confiabilidade no registro de rastreabilidade de componentes e acabar não atendendo a uma investigação de falha de componente ligada ao motor no caso de recall, por exemplo.	6	◇	Não há trancamento para a transação de rastreabilidade e não há validação para o conteúdo rastreado.	Não há prevenção, é uma carência do conceito do sistema	10	A detecção é manual, ficando na responsabilidade do operador.	8 480	Mudar o conceito do sistema exigindo um trancamento para transação de rastreabilidade e validação do código onde aplicável de acordo ao modelo de código constante no produto.	TI jan/09	criado tela de pré-requisitos possíveis de alteração de sequência pelo administrador a fim de realizar trancamentos no qual incluem-se as rastreabilidades de componentes. Criada validação de códigos, onde aplicável, e a flexibilidade de alterá-los pelo administrador em tela de cadastro de modelo (LP's).	6	1	1	6

## Análise Potencial de Modo e Efeito da Falha

FMEA de Processo

m: Sistema Automático  
 io do Modelo: Motores HS - aplicações ano 2010  
 uipe: Representantes da Engª de Processos, Produção, Engª de  
 Manufatura Avançada, Qualidade e Tecnologia da  
 Informação.

Revisão Crítica 29/09/2013  
 Responsável pelo Processo: Laércio Nikititz  
 Data chave: 30/09/2010

Nº FMEA :  
 Página: de  
 Preparado por:  
 Data FMEA:

PFMEA\_Sistema Automático\_01  
 Laércio Nikititz  
 30/09/2010 Rev.: 0

Página 7 de 20

Função	Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potenciais de Falhas	Severidade	Classificação	Causa(s) Potenciais de Falhas	Processo Atual			NP R	Ação Recomendada	Responsabilidade e Data de Conclusão	Resultado de Ações					
							Controles de Processo	Ocorrência	Controles de Processo Atuais				Deteção	Ações Adotadas e Data Efetiva	Severidade	Ocorrência	Deteção	N P R
Interface gráfica para o assistente de parametrização de processo em alta dependência de TI	Agilidade e confiabilidade de em alterações de processo	Os parâmetros de todos os equipamentos que não sejam especificamente equipamentos de aperto ficam dentro dos softwares locais nos computadores presentes das estações de trabalho que os exijam. Em caso de revisão ou alteração por parte do engenheiro (crachá de administrador) de algum parâmetro destes é necessário percorrer computador por computador, entrar no programa e realizar a alteração, e em muitos casos não há o acesso e é necessário a presença do profissional de TI para realizar tal mudança. O modo de falha é a demora para realizar uma alteração ou o próprio erro de programação devida à complexidade e dependência de área de apoio.	Falta de agilidade na alteração de um parâmetro de processo (excluídos os casos de aperto os quais já são realizados diretamente e on-line) e vulnerabilidade de erro impactando na produção.	7	0	Não há um acesso on-line assim como já existe para os equipamentos de aperto.	Não há prevenção, é uma carência do conceito do sistema	10	A detecção é manual, ficando na responsabilidade e do administrador	8	560	Mudar o conceito do sistema criando um acesso facilitado para ajuste de parâmetros	TI	dez/10	7	2	2	28

## Análise Potencial de Modo e Efeito da Falha

FMEA de Processo

m: Sistema Automático  
 o do Modelo: Motores HS - aplicações ano 2010  
 uipe: Representantes da Eng<sup>a</sup> de Processos, Produção, Eng<sup>a</sup> de  
 Manufatura Avançada, Qualidade e Tecnologia da  
 Informação.

Revisão Crítica 29/09/2013  
 Responsável pelo Processo: Laércio Nikititz  
 Data chave: 30/09/2010

Nº FMEA : PFMEA\_Sistema Automático\_01  
 Página: de  
 Preparado por: Laércio Nikititz  
 Data FMEA: 30/09/2010 Rev.: 0

Página 8 de 20

Função	Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potenciais de Falhas	Severidade	Classificação	Causa(s) Potenciais de Falhas	Processo Atual			NP R	Ação Recomendada	Reponsabilidade e Data de Conclusão		Resultado de Ações				
							Controles de Processo	Ocorrência	Controles de Processo Atuais			Ações Adotadas e Data Efetiva	Severidade	Ocorrência	Detecção	N	P	R
Manter conexão e interface com sistemas ERP e equipamentos da linha	Manter conexão ativa e deter recursos que minimizem erros de processo pela garantia da qualidade	Equipamento realiza todos os apertos OK de cada programa que compõe o job (trabalho) e os dados aparecem ok no diagnóstico do motor e o posto seguinte é bloqueado ficando assim até que o sistema seja reiniciado	Atraso de produção Possibilidade de alguma operação incompleta ou problema de qualidade caso operador não tenha terminado o job do equipamento antes da reativação do sistema	8	◇	Perda de conexão com o servidor – nenhum equipamento aciona por causa de um estouro de memória no aplicativo	Não há prevenção pois o evento é aleatório e sem aviso prévio	10	5	400	Corrigir o memory leak através de revisão na programação	TI	fev/11	Corrigido em fev/11	8	5	2	80

## Análise Potencial de Modo e Efeito da Falha

FMEA de Processo

m: Sistema Automático  
 io do Modelo: Motores HS - aplicações ano 2010  
 uipe: Representantes da Eng<sup>a</sup> de Processos, Produção, Eng<sup>a</sup> de  
 Manufatura Avançada, Qualidade e Tecnologia da  
 Informação.

Revisão Crítica 29/09/2013  
 Responsável pelo Processo: Laércio Nikititz  
 Data chave: 30/09/2010

Nº FMEA :  
 Página: de  
 Preparado por:  
 Data FMEA:

PFMEA\_Sistema Automático\_01  
 Laércio Nikititz  
 30/09/2010 Rev.: 0

Página 9 de 20

Função	Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potenciais de Falhas	Severidade	Classe de Falha	Localização	Causa(s) Potenciais de Falhas	Processo Atual			NP R	Ação Recomendada	Reponsabilidade e Data de Conclusão	Resultado de Ações							
								Controles de Processo	Ocorrencia	Controles de Processo Atuais				Detecção	Ações Adotadas e Data Efetiva	Severidade	Ocorrência	NP R			
garantir o seqüenciamento e a alização das operações de montagem e detectar efeitos	Garantir integridade do processo e dos dados dos motores na linha de montagem	Um posto é aberto com a leitura do código de barras pelo scanner e durante a consecução dos jobs outro código é lido no scanner sobrescrevendo o trabalho em andamento.	Motor pode passar em automático para próxima estação faltando apertos. Intransigência no processo pois parte dos apertos já havia sido realizado mas o sistema entendia que estava começando do zero. Neste caso o administrador da linha é chamado, entende o ocorrido confrontando FCM com resultados de aperto via diagnóstico do toolsnet e intervém manualmente com o uso do altera status para refazer a operação. Porém retrabalhos sempre são vulneráveis desde a soltura do	10	▽		O sistema engine tracking aceita sobreleitura A ferramenta de aperto também	Não há prevenção a não ser o cuidado do próprio operador	10		Operadores percebem o trancamento do posto seguinte por causa da intransigência entre os dados lançados em diagnóstico e os motores envolvidos na sobreposição.	2	200	Mudar o conceito do sistema e a versão de operação do software das máquinas-ferramenta.	Tl e Eng . Processo	jan/09	A nova versão a ferram tem um recurso de programação para não aceitar sobreleitura, em todas as máquinas o recurso foi ativado.  TI desenvolveu um nível acima na aprovação de postos e antes de enviar comando para a apertadeira é verificado se motor anterior terminou o processo na estação. A partir disso foi necessário criar o conceito de abort job para o caso de encerramento forçado de um posto.	10	1	1	10

## Análise Potencial de Modo e Efeito da Falha

FMEA de Processo

Nome: Sistema Automático  
 Modelo: Motores HS - aplicações ano 2010  
 Equipe: Representantes da Eng<sup>a</sup> de Processos, Produção, Eng<sup>a</sup> de Manufatura Avançada, Qualidade e Tecnologia da Informação.

Revisão Crítica 29/09/2013  
 Responsável pelo Processo: Laércio Nikititz  
 Data chave: 30/09/2010

Nº FMEA :  
 Página: de  
 Preparado por:  
 Data FMEA:

PFMEA\_Sistema Automático\_01  
 Laércio Nikititz  
 30/09/2010 Rev.: 0

Função	Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potenciais de Falhas	Severidade	Classificação	Causa(s) Potenciais de Falhas	Processo Atual			NP R	Ação Recomendada	Responsabilidade e Data de Conclusão	Resultado de Ações						
							Controles de Processo	Ocorrencia	Controles de Processo Atuais				Severidade	Ocorrência	NP R				
Interagir com âncoras garantindo a segurança dos equipamentos	Sistema só permitir que operação seguinte seja habilitada caso as anteriores estiverem concluídas com êxito de modo a não colidir com regras de funcionamento dos equipamentos	Sistema permite , no caso da estação de inspeção da folga axial do virabrequim, que caso haja uma rejeição na folga (transação nok) , que o operador promova a soltura das capas para substituição de componentes e não realize o aperto novamente mas mesmo assim obtenha aprovação do motor na próxima inspeção após o retrabalho autorizado pela própria estação.	Motor segue com aperto do mancal não finalizado em virtude de rejeição na medição da folga axial e consequente necessidade de retrabalho (com a soltura das capas e substituição de componentes)	10	▽	Sistema não trata falhas, nem retrabalhos, somente trata aprovação de processo ok, além disso o posto aprova se em alguma data qualquer de pré-requisito tenha sido realizada ok e não se a última transação seja o pré-requisito.	Não há prevenção , é uma carência do conceito do sistema, depende de atenção do operador	9	Os controles detectivos de processo, constantes em pfpmea e plano de controle tem boa capacidade de detectar falhas como esta porém existe a vulnerabilidade latente	6	540	<p>Criar possibilidade de trancamentos por mais de um requisito de dependência</p> <p>Mudar o conceito de aprovação de posto Rever conceitos em sistema em desenvolvimento do Common Tracking e projetar viabilidade de implementação</p>	TI	jan/12	O conceito de aprovação do posto e as melhorias de pré-requisitos foram realizadas no início de 2009. A instalação do novo sistema só foi implementada na outra linha de montagem (MS) em julho de 2010. Para o HS há a previsão de instalação em 2012.	10	4	2	80

## Análise Potencial de Modo e Efeito da Falha

FMEA de Processo

Modelo: Sistema Automático  
 Motores HS - aplicações ano 2010  
 Equipe: Representantes da Eng<sup>a</sup> de Processos, Produção, Eng<sup>a</sup> de Manufatura Avançada, Qualidade e Tecnologia da Informação.

Revisão Crítica 29/09/2013  
 Responsável pelo Processo: Laércio Nikititz  
 Data chave: 30/09/2010

Nº FMEA : PFMEA\_Sistema Automático\_01  
 Página: de  
 Preparado por: Laércio Nikititz  
 Data FMEA: 30/09/2010 Rev.: 0

Página 11 de 20

Função	Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potenciais de Falhas	Severidade Classificação	Localização	Causa(s) Potenciais de Falhas	Processo Atual			NP R	Ação Recomendada	Reponsabilidade e Data de Conclusão	Resultado de Ações							
							Controles de Processo	Ocorrencia	Controles de Processo Atuais				Ações Adotadas e Data Efetiva	Severidade	Ocorrência	NP R				
Permitir assagem apenas e motor "ok" entre as estações de montagem	Só permitir andamento do motor na linha com totalidade dos apertos "ok" da estação	Problema de redundância na programação de uma máquina com relação a regra do sistema: soldura automática de parafuso no caso de rejeição do aperto versus programa que percebe parafuso já apertado - a máquina conta a quantidade de oks para liberação. A redundância neste caso é prejudicial pois permite que ao rejeitar um parafuso, mesmo que solte deixando os filetes visualmente à mostra, que o operador tente apertar um parafuso já apertado e como ocorre o rejeito ele repita o passo apertando o mesmo parafuso e contando um segundo "ok" no mesmo parafuso.	Motor segue adiante com parafuso solto	10	▽	A causa é o sistema não monitorar qual é o parafuso que está sendo apertado e falta de garantia para que a máquina perceba se está apertando parafuso já apertado	Os controles estão na medida do treinamento que o operador recebeu	4		Os controles visuais do processo como máscaras de acrílico sequenciadoras (e portanto identificadoras) além de documentos próximos ao local exato da operação auxiliam para que todos os parafusos sejam apertados. Os demais controles e testes dentro do processo tem grande chance de detecção.	5	200	Revisar a programação de todas as máquinas . A melhor solução, porém mais dispendiosa, é ainda a instalação de máscaras eletrônicas sequenciadoras de apertos pois com a localização do aperto pode-se garantir individualmente o que foi realizado no mesmo. Porém , pelo custo e complexidade (requer dispositivos muitas vezes mirabolantes) só se justifica em casos de apertos críticos como no caso das máquinas múltiplas de dois fusos para mancal e biela, as quais executam apertos 2 a 2. Em casos de exigência do cliente é implementada apertadeira múltipla para todos os fusos de uma vez só, como é o caso do cabeçote (10 apertos)	Eng. Processos	mar/09	Revisada programação de todas as máquinas. Nova revisão se dará a cada alteração de processo que impacte em apertos. Colocado pedido de compra para instalação de máscara sequenciadora nas máquinas de mancal e biela para projetos novos na linha HS para o ano de 2011.	10	2	2	40

## Análise Potencial de Modo e Efeito da Falha

FMEA de Processo

Nome: Sistema Automático  
 Modelo: Motores HS - aplicações ano 2010  
 Equipe: Representantes da Eng<sup>a</sup> de Processos, Produção, Eng<sup>a</sup> de Manufatura Avançada, Qualidade e Tecnologia da Informação.

Revisão Crítica 29/09/2013  
 Responsável pelo Processo: Laércio Nikititz  
 Data chave: 30/09/2010

Nº FMEA : PFMEA\_Sistema Automático\_01  
 Página: de  
 Preparado por: Laércio Nikititz  
 Data FMEA: 30/09/2010 Rev.: 0

Função	Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potenciais de Falhas	Severidade	Classificação	Causa(s) Potenciais de Falhas	Processo Atual			NP R	Ação Recomendada	Reponsabilidade e Data de Conclusão	Resultado de Ações				
							Controles de Processo	Ocorrência	Controles de Processo Atuais				Ações Adotadas e Data Efetiva	Severidade	Ocorrência	NP R	
Garantir a aquisição e a manutenção dos dados	Garantir a informação correta no registro de dados para cada motor	Operador realiza leitura de ficha de construção trocada para abrir posto de trabalho (ficha não corresponde ao motor) - sistema permite	Transação de Posto "ok" não encontrada no relatório Diagnóstico e consequente parada de linha por trancamento automático de estação, necessidade de retrabalho na operação o que pode acarretar novos modos de falha	8	◇	Sistema permite leitura incorreta de fichas (troca de uma ficha por outra) fará com que não exista transações no relatório	Uso de suporte de acrílico para evitar extravio ou troca da FCM	5		5	200	TI Manufatura e Processo	dez/11	0	0	0	0

## Análise Potencial de Modo e Efeito da Falha

FMEA de Processo

Nome: Sistema Automático  
 Modelo: Motores HS - aplicações ano 2010  
 Equipe: Representantes da Eng<sup>a</sup> de Processos, Produção, Eng<sup>a</sup> de Manufatura Avançada, Qualidade e Tecnologia da Informação.

Revisão Crítica: 29/09/2013  
 Responsável pelo Processo: Laércio Nikititz  
 Data chave: 30/09/2010

Nº FMEA :  
 Página: de  
 Preparado por:  
 Data FMEA:

PFMEA\_Sistema Automático\_01  
 Laércio Nikititz  
 30/09/2010 Rev.: 0

Página 13 de 20

Função	Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potenciais de Falhas	Severidade	Classificação	Causa(s) Potenciais de Falhas	Processo Atual			NP R	Ação Recomendada	Reponsabilidade e Data de Conclusão	Resultado de Ações						
							Controles de Processo	Ocorrência	Controles de Processo Atuais				Ações Adotadas e Data Efetiva	Severidade	Ocorrência	Detecção	NP R		
Garantir o sequenciamento e a alização das operações de montagem e retenção de dados	Garantir retenção dos dados e dinamizar o processo	Transação de Posto "ok" não encontrada no relatório Diagnóstico mesmo após todos os torques aplicados.	Parada de linha por trancamento automático de estação, necessidade de retrabalho na operação o que pode acarretar novos modos de falha	8	◇	Possível problema com a Trigger de Banco de dados que gera esta informação.	Monitoramentos periódicos por TI	6	Processo subsequente é trancado automaticamente e por falta de dados	2	96	Reavaliação da Trigger verificando se suporta processos concorrentes e validação juntamente com pessoal de manufatura/processo.	TI /Manufatura e Processo	jan/09	Realizada melhoria no banco de dados e nas regras de pré-requisitos permitindo multi-pré-requisitos para atender a uma série de eventos concorrentes como o caso da inspeção da folga axial. Jan/09	8	2	2	32

## Análise Potencial de Modo e Efeito da Falha

FMEA de Processo

Nome: Sistema Automático  
 Nome do Modelo: Motores HS - aplicações ano 2010  
 Equipe: Representantes da Eng<sup>a</sup> de Processos, Produção, Eng<sup>a</sup> de Manufatura Avançada, Qualidade e Tecnologia da Informação.

Revisão Crítica 29/09/2013  
 Responsável pelo Processo: Laércio Nikititz  
 Data chave: 30/09/2010

Nº FMEA :  
 Página: de  
 Preparado por:  
 Data FMEA:

PFMEA\_Sistema Automático\_01  
 Laércio Nikititz  
 30/09/2010 Rev.: 0

Página 14 de 20

Função	Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potenciais de Falhas	Severidade	Classificação	Causa(s) Potenciais de Falhas	Processo Atual				Ação Recomendada	Reponsabilidade e Data de Conclusão	Resultado de Ações						
							Controles de Processo	Ocorrência	Controles de Processo Atuais	Detecção			NP	Ações Adotadas e Data Efetiva	Severidade	Ocorrência	Detecção	NP	
Garantir o sequenciamento e a alização das operações de montagem e atenção a dados	Garantir retenção dos dados e dinamizar o processo	Transação de Posto "ok" não encontrada no relatório Diagnóstico mesmo após todos os torques aplicados.	Parada de linha por trancamento automático de estação, necessidade de retrabalho na operação o que pode acarretar novos modos de falha	8	◇	Possível lentidão do servidor da linha pode impactar no atraso no momento de criar de transações.	Monitoramentos periódicos por TI	6	Processo subsequente é trancado automaticamente e por falta de dados	2	96	Troca do servidor da linha de montagem por um mais rápido e moderno.	TI	jan/09	Trocado o servidor jan/09	8	2	2	32

## Análise Potencial de Modo e Efeito da Falha

FMEA de Processo

Nome: Sistema Automático  
 Modelo: Motores HS - aplicações ano 2010  
 Equipe: Representantes da Eng<sup>a</sup> de Processos, Produção, Eng<sup>a</sup> de Manufatura Avançada, Qualidade e Tecnologia da Informação.

Revisão Crítica 29/09/2013  
 Responsável pelo Processo: Laércio Nikititz  
 Data chave: 30/09/2010

Nº FMEA :  
 Página: de  
 Preparado por:  
 Data FMEA:

PFMEA\_Sistema Automático\_01  
 Laércio Nikititz  
 30/09/2010 Rev.: 0

Página 15 de 20

Função	Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potenciais de Falhas	Severidade	Classificação	Causa(s) Potenciais de Falhas	Processo Atual			NP R	Ação Recomendada	Responsabilidade e Data de Conclusão	Resultado de Ações						
							Controles de Processo	Ocorrencia	Controles de Processo Atuais				Ações Adotadas e Data Efetiva	Severidade	Ocorrência	NP R			
Garantir o sequenciamento e a alização das operações de montagem e atenção a dados	Garantir retenção dos dados e dinamizar o processo	Transação de Posto "ok" não encontrada no relatório Diagnóstico mesmo após todos os torques aplicados.	Parada de linha por trancamento automático de estação, necessidade de retrabalho na operação o que pode acarretar novos modos de falha	8	◇	A pesquisa realizada para mostrar o relatório de torques é muito pesada devido a grande quantidade de dados no sistema ao mesmo tempo.	nenhum	10	Processo subsequente é trancado automaticamente e por falta de dados	2	160	Análise da pesquisa por torques para a criação de índices no banco de dados.	TI	jan/09	Melhoria nas tabelas e estrutura dos dados TI - jan/09	8	2	2	32

## Análise Potencial de Modo e Efeito da Falha

FMEA de Processo

Nome do Modelo: Sistema Automático  
 Nome do Produto: Motores HS - aplicações ano 2010  
 Equipe: Representantes da Eng<sup>a</sup> de Processos, Produção, Eng<sup>a</sup> de Manufatura Avançada, Qualidade e Tecnologia da Informação.

Revisão Crítica: 29/09/2013  
 Responsável pelo Processo: Laércio Nikititz  
 Data chave: 30/09/2010

Nº FMEA :  
 Página: de  
 Preparado por:  
 Data FMEA:

PFMEA\_Sistema Automático\_01  
 Laércio Nikititz  
 30/09/2010 Rev.: 0

Página 16 de 20

Função	Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potenciais de Falhas	Severidade	Classificação	Causa(s) Potenciais de Falhas	Processo Atual			NP R	Ação Recomendada	Responsabilidade e Data de Conclusão	Resultado de Ações						
							Controles de Processo	Ocorrência	Controles de Processo Atuais				Ações Adotadas e Data Efetiva	Severidade	Ocorrência	Detecção	NP R		
Detectar defeitos e manter a estabilidade de produção reagindo com rapidez a	Cumprir as etapas constantes nos jobs dos equipamentos de aperto e registrar todos os valores (ok e nok) dos apertos realizados no diagnóstico do motor.	Apertadeiras múltiplas de 2 fusos (Mancal/Biela) perdem conexão durante a realização de apertos ou então não enviam dados de torque ao servidor das ferramentas de aperto.	Parada de linha e retrabalho o que pode gerar ações alternativas de processo que venham a oferecer um risco maior para a qualidade da operação	8	◇	Segundo análise em conjunto com o fornecedor do equipamento o sistema da linha de montagem envia um comando de "CANCELA JOB" para as apertadeiras enquanto elas estão em processo, isso se deve ao conflito da versão do software das apertadeiras com sistema automático.	nenhum	6	O próximo posto não abre a estação, é necessário reiniciar o sistema e refazer a operação, ao refazer há o risco de retrabalhos	5	240	Substituição da versão do software e acompanhamento de TI e fornecedor	TI	jan/09	Instalado versão corrigida e atualizada	8	2	2	32

## Análise Potencial de Modo e Efeito da Falha

FMEA de Processo

Nome do Modelo: Sistema Automático  
 Motores HS - aplicações ano 2010  
 Equipe: Representantes da Eng<sup>a</sup> de Processos, Produção, Eng<sup>a</sup> de Manufatura Avançada, Qualidade e Tecnologia da Informação.

Revisão Crítica 29/09/2013  
 Responsável pelo Processo: Laércio Nikititz  
 Data chave: 30/09/2010

Nº FMEA : PFMEA\_Sistema Automático\_01  
 Página: de  
 Preparado por: Laércio Nikititz  
 Data FMEA: 30/09/2010 Rev.: 0

Função	Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potenciais de Falhas	Severidade	Classificação	Causa(s) Potenciais de Falhas	Processo Atual			NP R	Ação Recomendada	Reponsabilidade e Data de Conclusão	Resultado de Ações				
							Controles de Processo	Ocorrência	Controles de Processo Atuais				Ações Adotadas e Data Efetiva	Severidade	Ocorrência	Detectabilidade	NP R
Servir como banco de dados para investigação de falhas de produto/processo	Garantir retenção dos dados e dinamizar o processo	Sistema aprova motor que sofreu retrabalhos, ocorrências de manutenção em alguns postos durante sua montagem e não registra as tratativas dadas ao motor sendo necessário buscar planilhas eletrônicas em paralelo e acompanhar os horários e operadores registrados das transações para reconstituir os eventos pelos quais o motor passou.	Dificuldade na investigação de uma falha em cliente ou uma rejeição do processo pois o sistema trata eventos ok apesar de registrar todas as transações (tanto ok como nok)	7	0	O conceito do sistema não trata ocorrências de defeitos, falhas, retrabalhos e rejeições, ele gerencia estações específicas de testes de diagnóstico, registra as transações e abre opção de campo de observações (permite preencher manualmente um motor por vez)	Não há prevenção, é uma carência do conceito do sistema, depende de atenção do operador e uso consciente do campo de observações no diagnóstico de motor	9	Quando da ocorrência de um retrabalho, defeito em produto, falha de processo ou rejeição de estanqueidade, por exemplo, o sistema somente tranca para que motor não vá adiante mas não dispõe de tratativa para registro do que foi feito a respeito	5 315	Avaliar: viabilidade de implementação do sistema automático nova versão junto de adaptação para os relatórios de Rastreamento de defeitos	TI Manufatura e Processo	dez/11	0	0	0	0

## Análise Potencial de Modo e Efeito da Falha

FMEA de Processo

Nome: Sistema Automático  
 Modelo: Motores HS - aplicações ano 2010  
 Equipe: Representantes da Eng<sup>a</sup> de Processos, Produção, Eng<sup>a</sup> de Manufatura Avançada, Qualidade e Tecnologia da Informação.

Revisão Crítica 29/09/2013  
 Responsável pelo Processo: Laércio Nikititz  
 Data chave: 30/09/2010

Nº FMEA :  
 Página: de  
 Preparado por:  
 Data FMEA:

PFMEA\_Sistema Automático\_01  
 Laércio Nikititz  
 30/09/2010 Rev.: 0

Página 18 de 20

Função	Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potenciais de Falhas	Severidade	Classificação	Causa(s) Potenciais de Falhas	Processo Atual			NP R	Ação Recomendada	Responsabilidade e Data de Conclusão	Resultado de Ações						
							Controles de Processo	Ocorrência	Controles de Processo Atuais				Detect	Ações Adotadas e Data Efetiva	Severidade	Ocorrência	Detect	NP R	
Garantir que o operador receba o treinamento correto em todos os formulários internos exigidos pelo sistema da Qualidade	Garantir registro correto do operador em todos os formulários internos exigidos pelo sistema da Qualidade	Sistema permite que registros da qualidade tenham informações discrepantes entre si (matriz de habilidade com treinamento on the job)	Inconsistência de registros e não-conformidade interna. A sensação de excesso burocrático prejudica tanto registro de um treinamento on the job quanto a qualidade do treinamento em si	8	◇	Registro é feito eletronicamente mas formulários são manuais. A complexidade e nº de planilhas que devem ser atualizadas manualmente vulnerabiliza o processo administrativo.	Uso de planilhas eletrônicas	6	Auditorias da qualidade internas	7	336	Necessidade de desenvolver e implementar algo como um on the job eletrônico, ágil, efetivo para operador e que atualize os formulários exigidos de forma automática.	TI /Eng <sup>a</sup> Processo	out/10	Feito reuniões entre TI e Eng <sup>a</sup> processo e avaliado fluxo de informações e necessidades. Depende de nova avaliação com relação a alteração do sistema satélite FPE ou uso de sistema Capp de marcado o que passará por decisões corporativas. Nova data de discussão pretendida: out/11	8	6	7	##

## Análise Potencial de Modo e Efeito da Falha

FMEA de Processo

Nome: Sistema Automático  
 Modelo: Motores HS - aplicações ano 2010  
 Equipe: Representantes da Eng<sup>a</sup> de Processos, Produção, Eng<sup>a</sup> de Manufatura Avançada, Qualidade e Tecnologia da Informação.

Revisão Crítica 29/09/2013  
 Responsável pelo Processo: Laércio Nikititz  
 Data chave: 30/09/2010

Nº FMEA :  
 Página: de  
 Preparado por:  
 Data FMEA:

PFMEA\_Sistema Automático\_01  
 Laércio Nikititz  
 30/09/2010 Rev.: 0

Página 19 de 20

Função	Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potenciais de Falhas	Severidade	Classificação	Causa(s) Potenciais de Falhas	Processo Atual			NP R	Ação Recomendada	Reponsabilidade e Data de Conclusão	Resultado de Ações					
							Controles de Processo	Ocorrência	Controles de Processo Atuais				Ações Adotadas e Data Efetiva	Severidade	Ocorrência	Detecção	NP R	
registrar terações e análises de processo a reter histórico de documentação de processo	Garantir retenção dos dados e dinamizar o processo	Dificuldade para TI criar relatórios customizados para atender às necessidades dos engenheiros de processo	Desperdício de tempo e energia pelo processista em montagem de relatórios de rejeições, e retroalimentação de indicadores e documentos de processo	7	◇	Sistema não dispõe de plataforma amigável para agilizar atribuições de desenvolvimento em TI	nenhum, o sistema tem essa concepção	9		5	315	Avaliar implementação do sistema automático nova versão (plataforma orientada a objetos)	TI Manufatura e Processo	dez/11	0	0	0	0

## Análise Potencial de Modo e Efeito da Falha

FMEA de Processo

Nome: Sistema Automático  
 Modelo: Motores HS - aplicações ano 2010  
 Equipe: Representantes da Eng<sup>o</sup> de Processos, Produção, Eng<sup>o</sup> de Manufatura Avançada, Qualidade e Tecnologia da Informação.

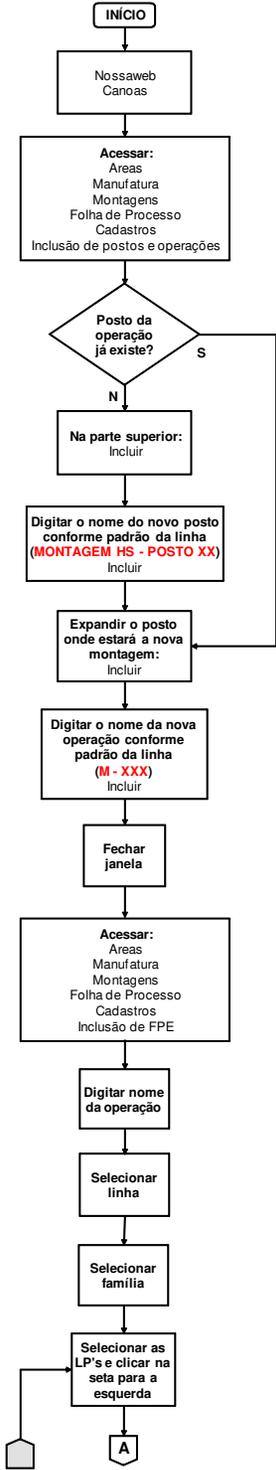
Revisão Crítica 29/09/2013  
 Responsável pelo Processo: Laércio Nikititz  
 Data chave: 30/09/2010

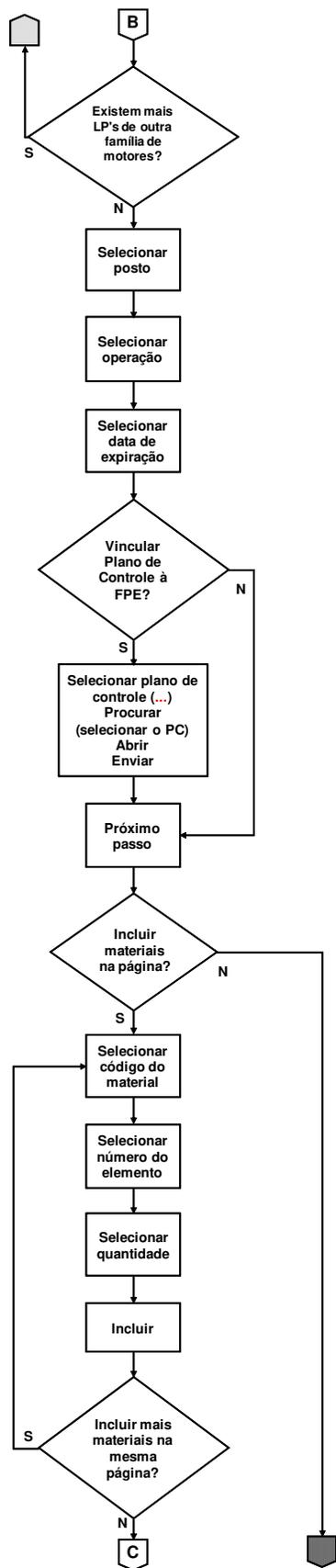
Nº FMEA :  
 Página: de  
 Preparado por:  
 Data FMEA:

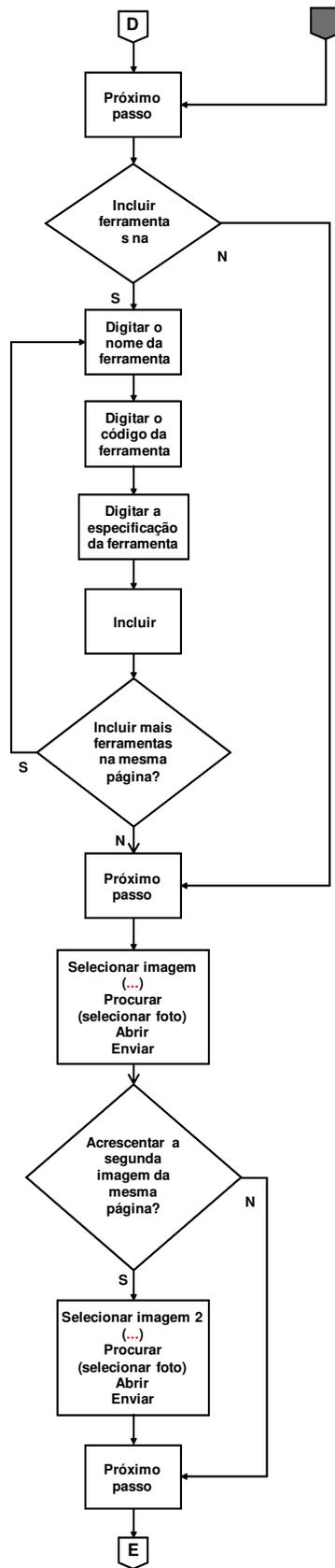
PFMEA\_Sistema Automático\_01  
 Laércio Nikititz  
 30/09/2010 Rev.: 0

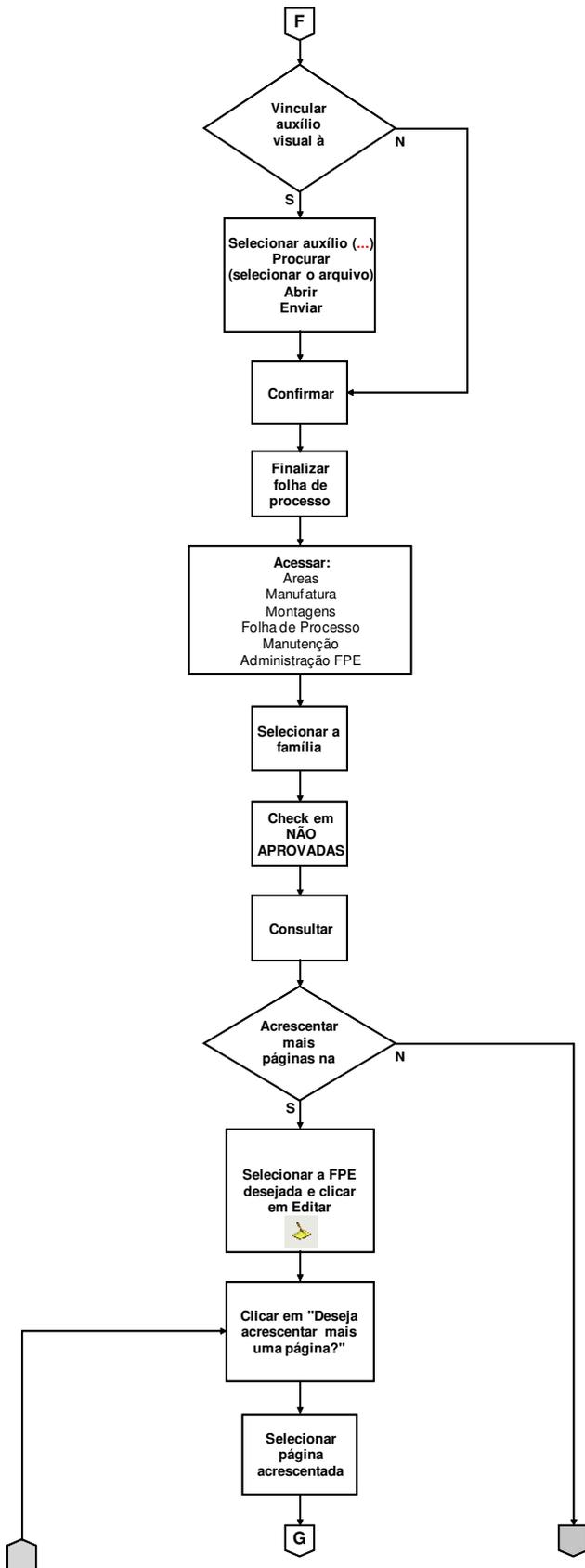
Função	Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potenciais de Falhas	Severidade	Classificação	Causa(s) Potenciais de Falhas	Processo Atual			NP R	Ação Recomendada	Responsabilidade e Data de Conclusão	Resultado de Ações					
							Controles de Processo	Ocorrência	Controles de Processo Atuais				Ações Adotadas e Data Efetiva	Severidade	Ocorrência	NP R		
Realizar parâmetros on-line	Disponibilizar cadastro edição amigável para o processista	Dependência da área de apoio de TI para efetuar alterações em estações poka-yoke, sequenciamentos e trancamentos de processo e também para cadastro de exceções de modelos de motores diferentes que passam pelo mesmo posto de trabalho	Desperdício de tempo e energia pelo processista e espera do processo quando da necessidade de alterações	7	o	Muitos sub-sistemas diferentes somente gerenciados por TI e sem interface com processista	nenhum, o sistema tem essa concepção	9		5 315	Disponibilizar interface	TI	jan/09	Criado campos de parametrização customizados na tela de cadastro de LP's (lista de peças =modelos de motor) a fim de concentrar em um único local, de acesso on-line pelo administrador (criada estrutura flexível para edição, exclusão ou criação de campos	7	2	2	28

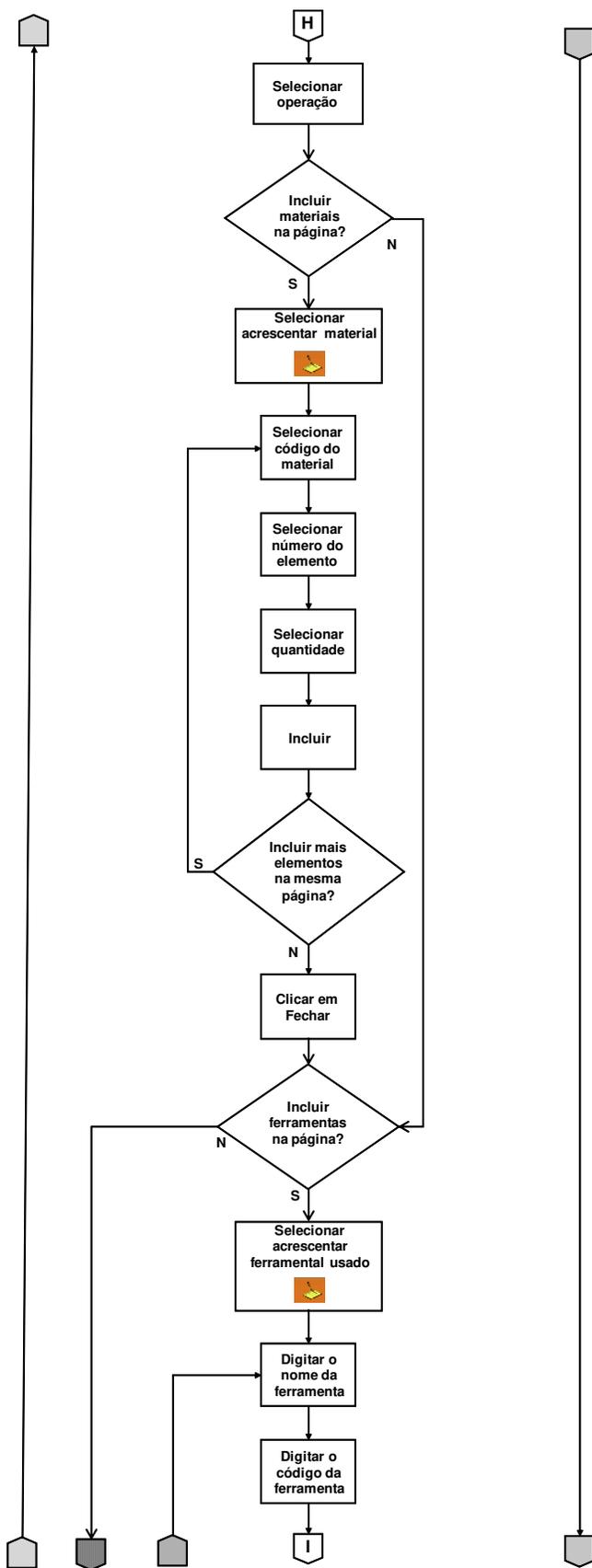
# APÊNDICE B - Fluxograma de Criação de uma Folha de Processo Eletrônica.

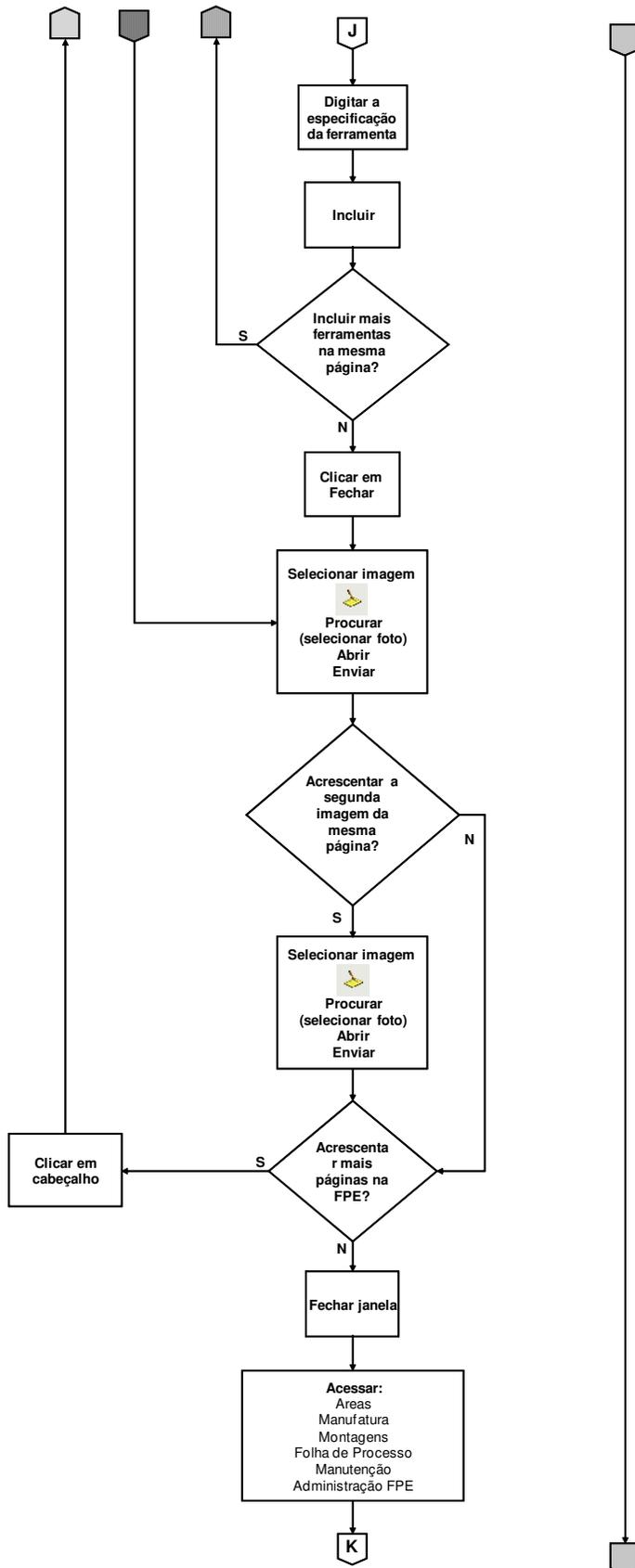


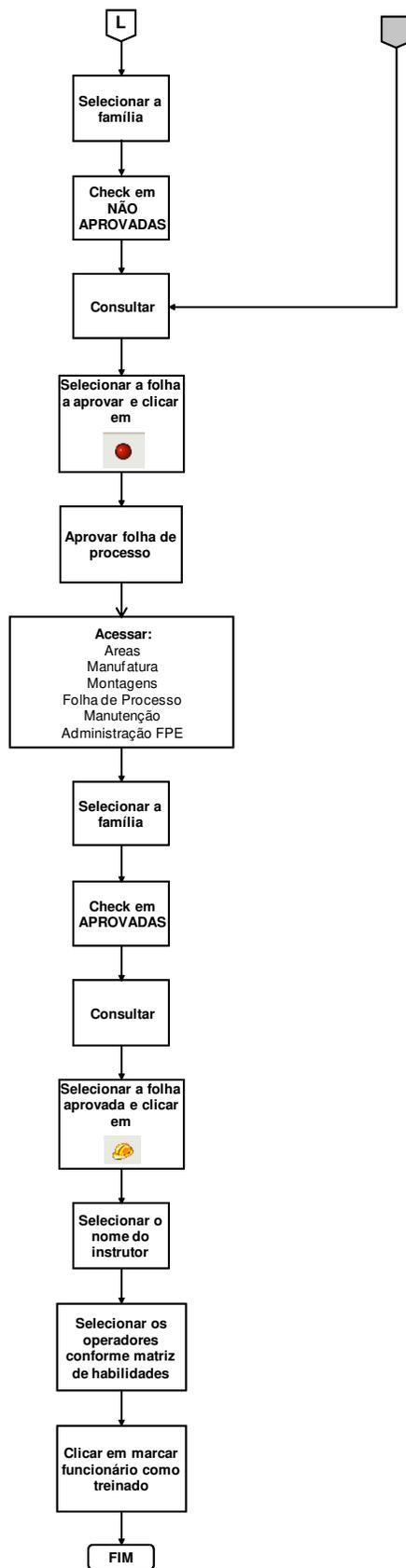




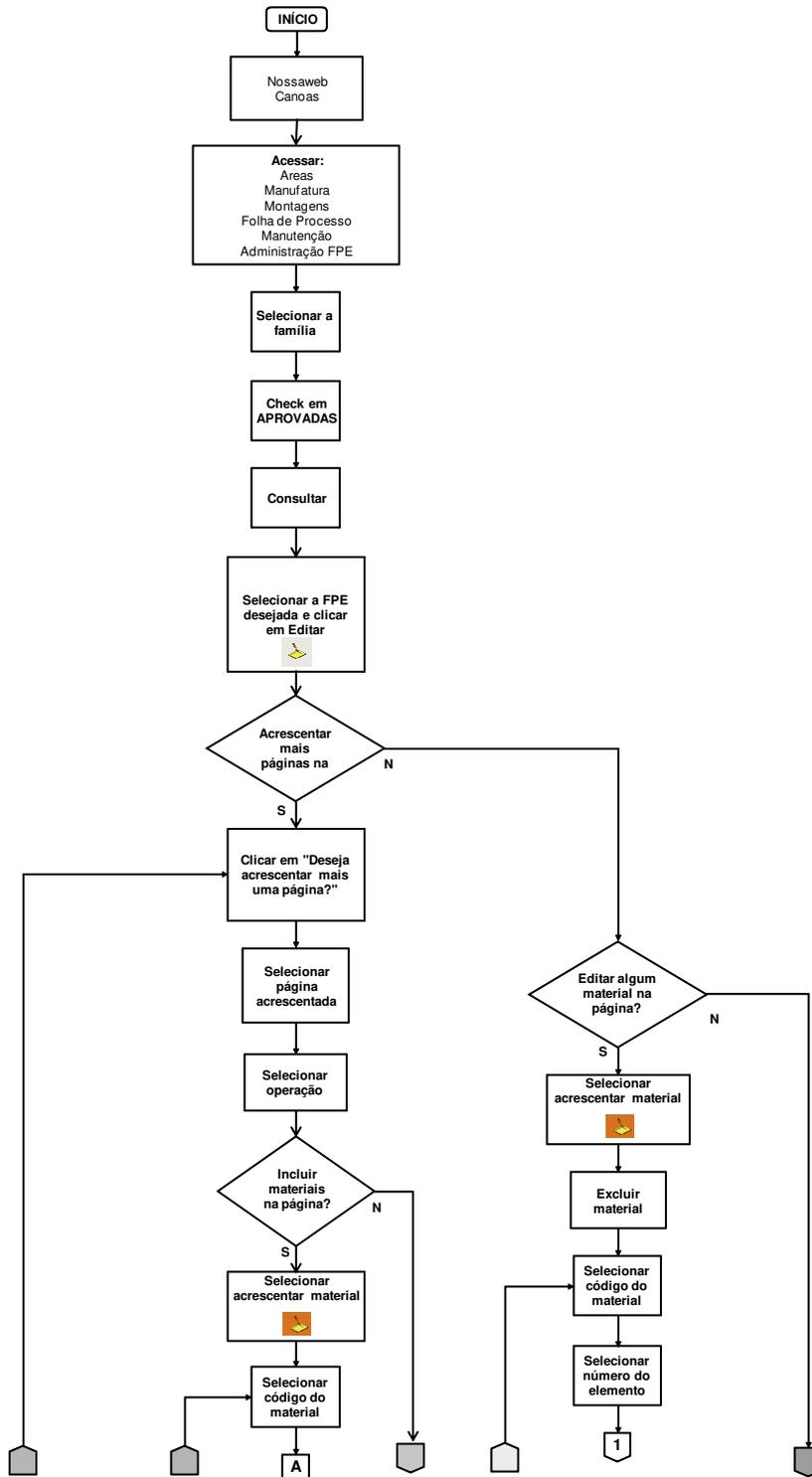


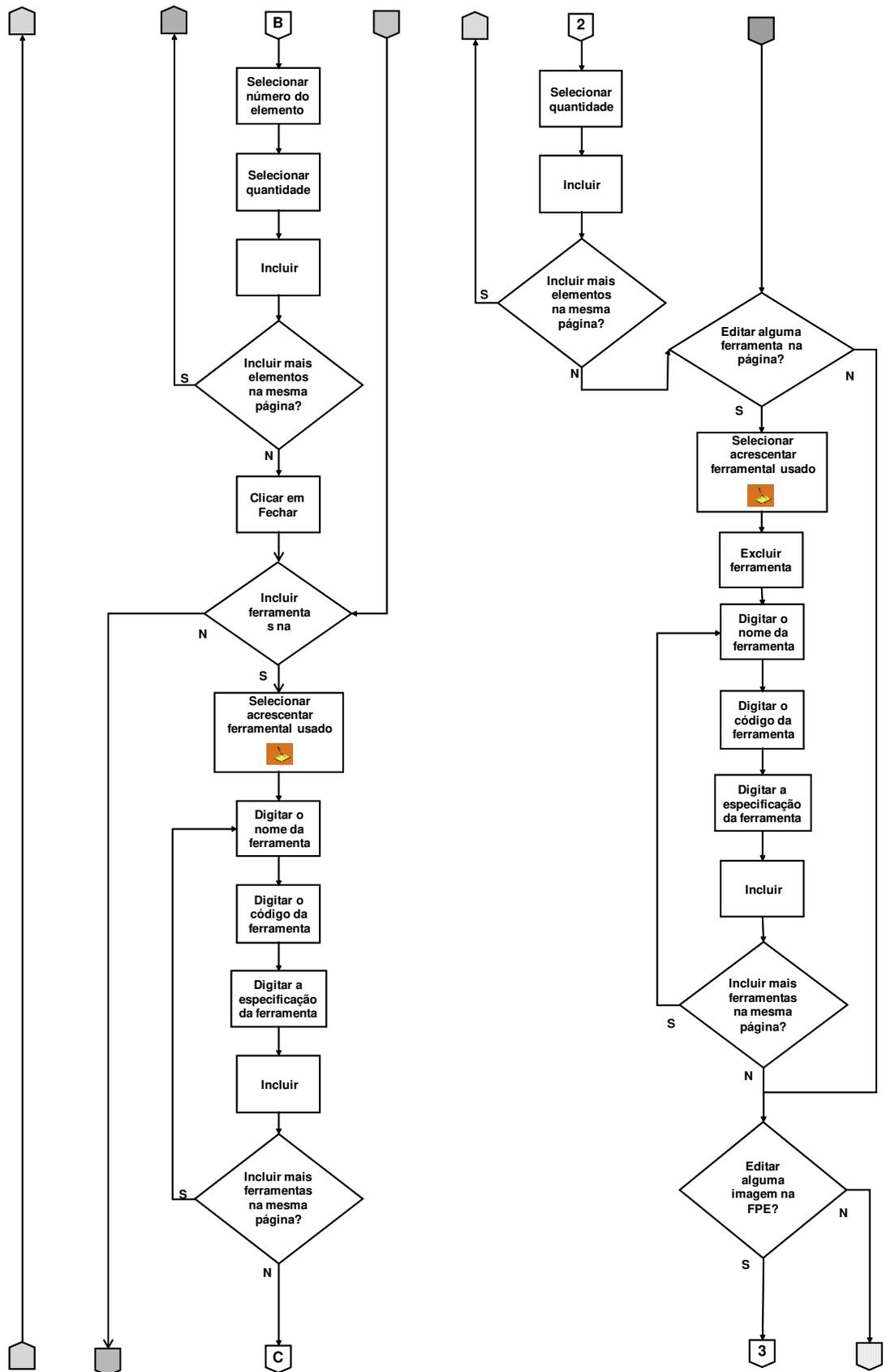


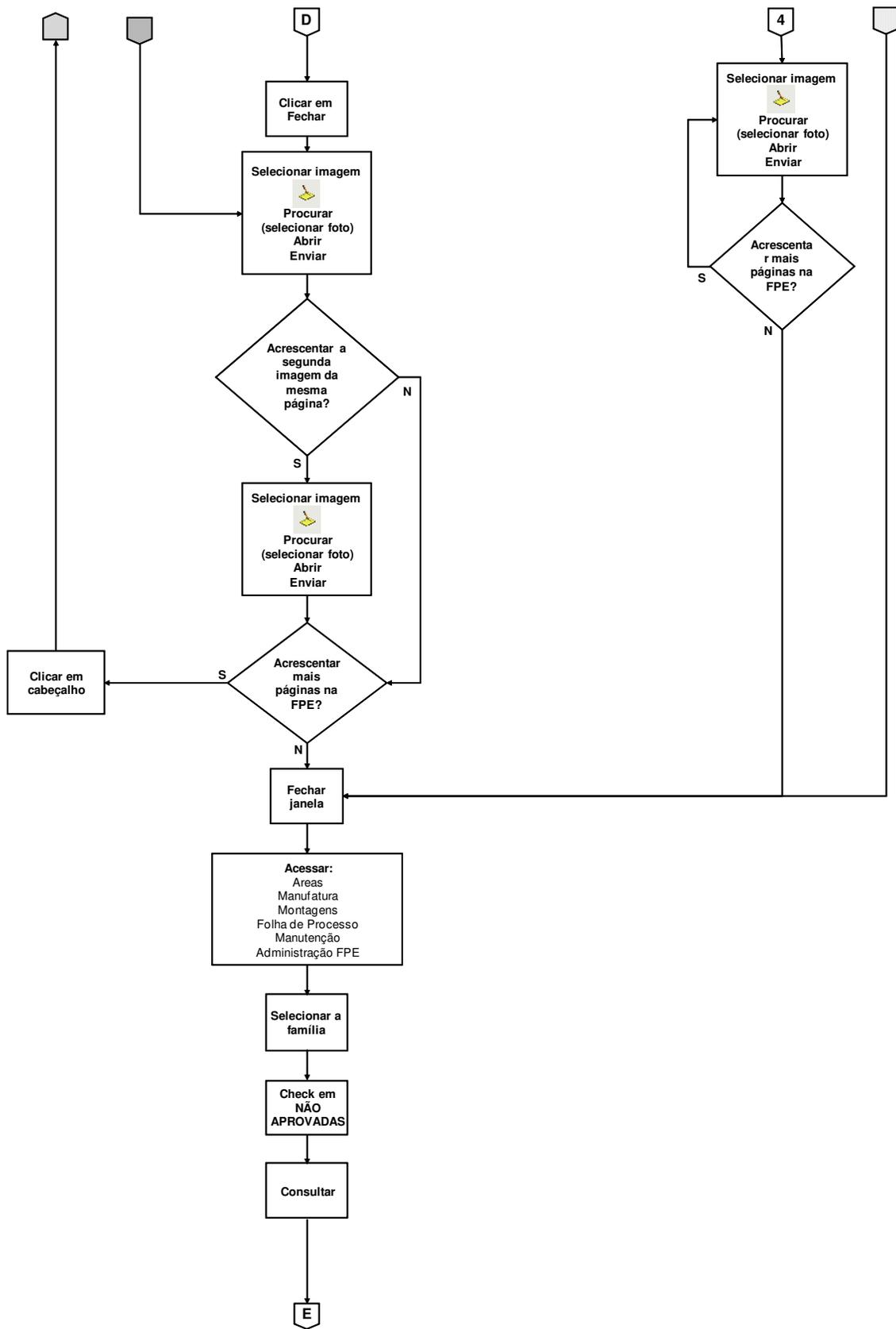


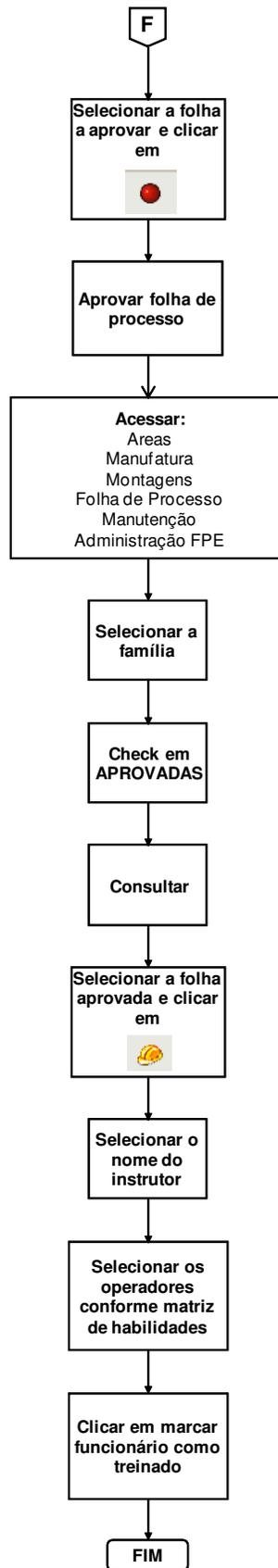


## APÊNDICE C - Fluxograma de Edição de uma Folha de Processo Eletrônica.









## APÊNDICE D – Análise de Melhorias para o Sistema de Folha de Processo Eletrônica

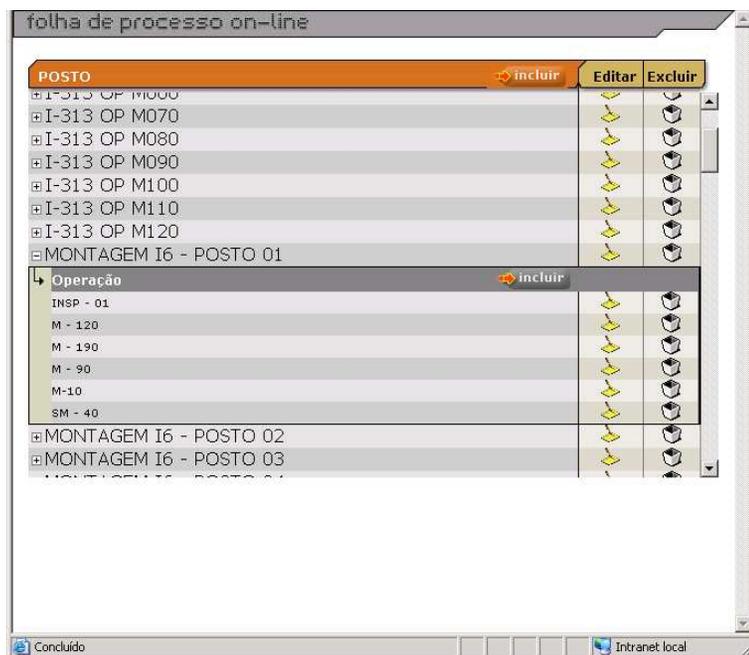


Imagem de lista de postos e operações para folha de processo eletrônica. Fonte: arquivo da engenharia de processo da empresa caso.

- Ao carregar a página, guardar a posição da barra de rolagem para que o usuário não necessite procurar novamente a posição desejada;
- Ajustar as telas para o tamanho da tela principal;
- Adicionar a opção / botão de mover uma Operação de um posto de trabalho para outro, movendo as Folhas de Processo;

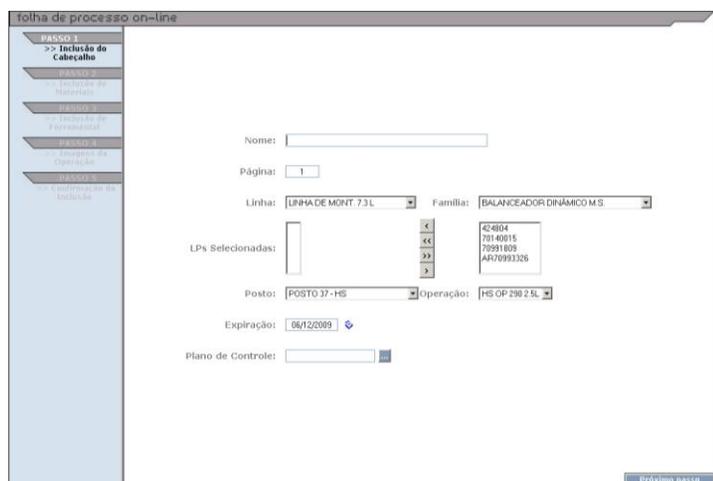
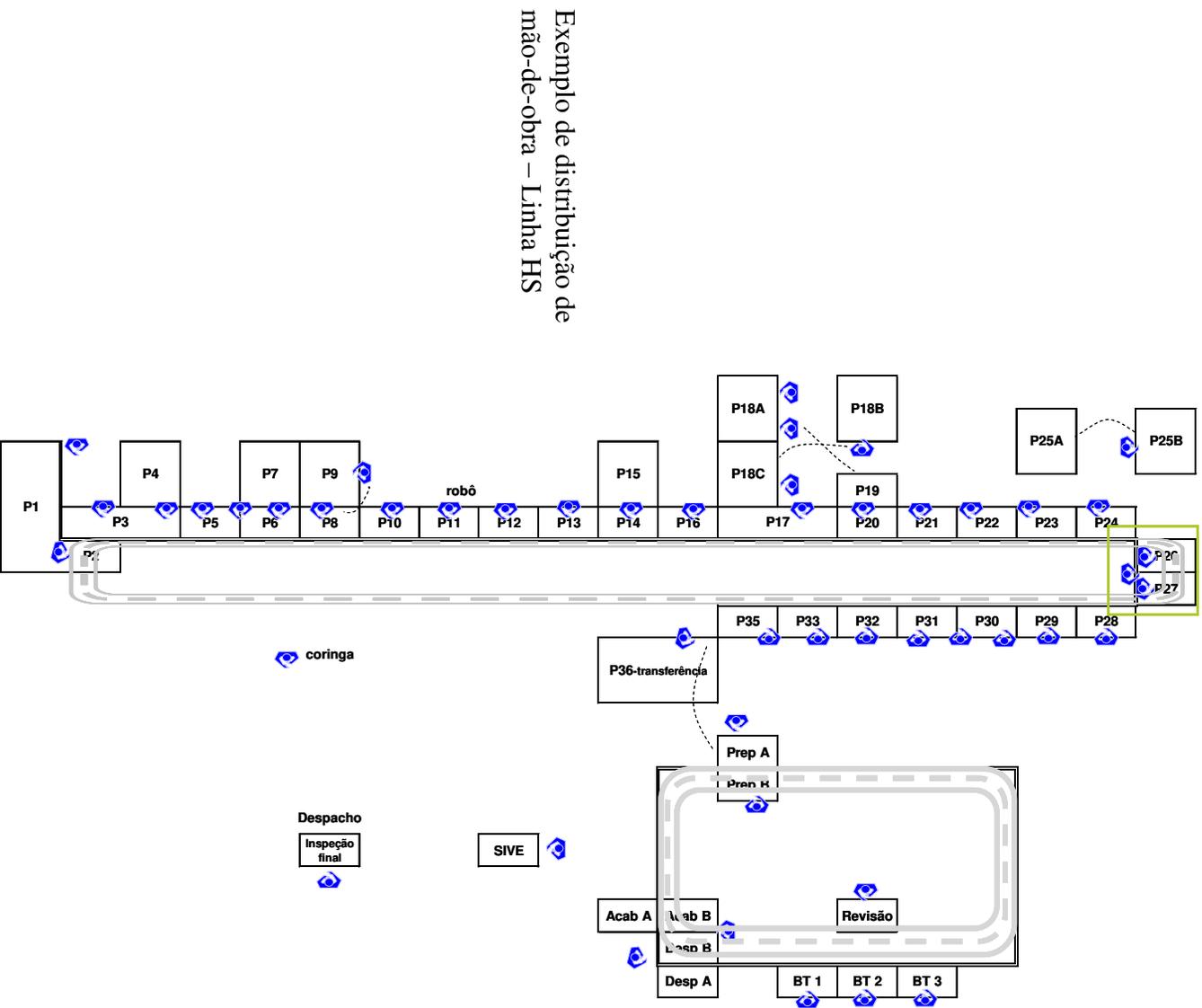


Imagem do cabeçalho de uma folha de processo eletrônica. Fonte: arquivo da engenharia de processo da empresa caso.

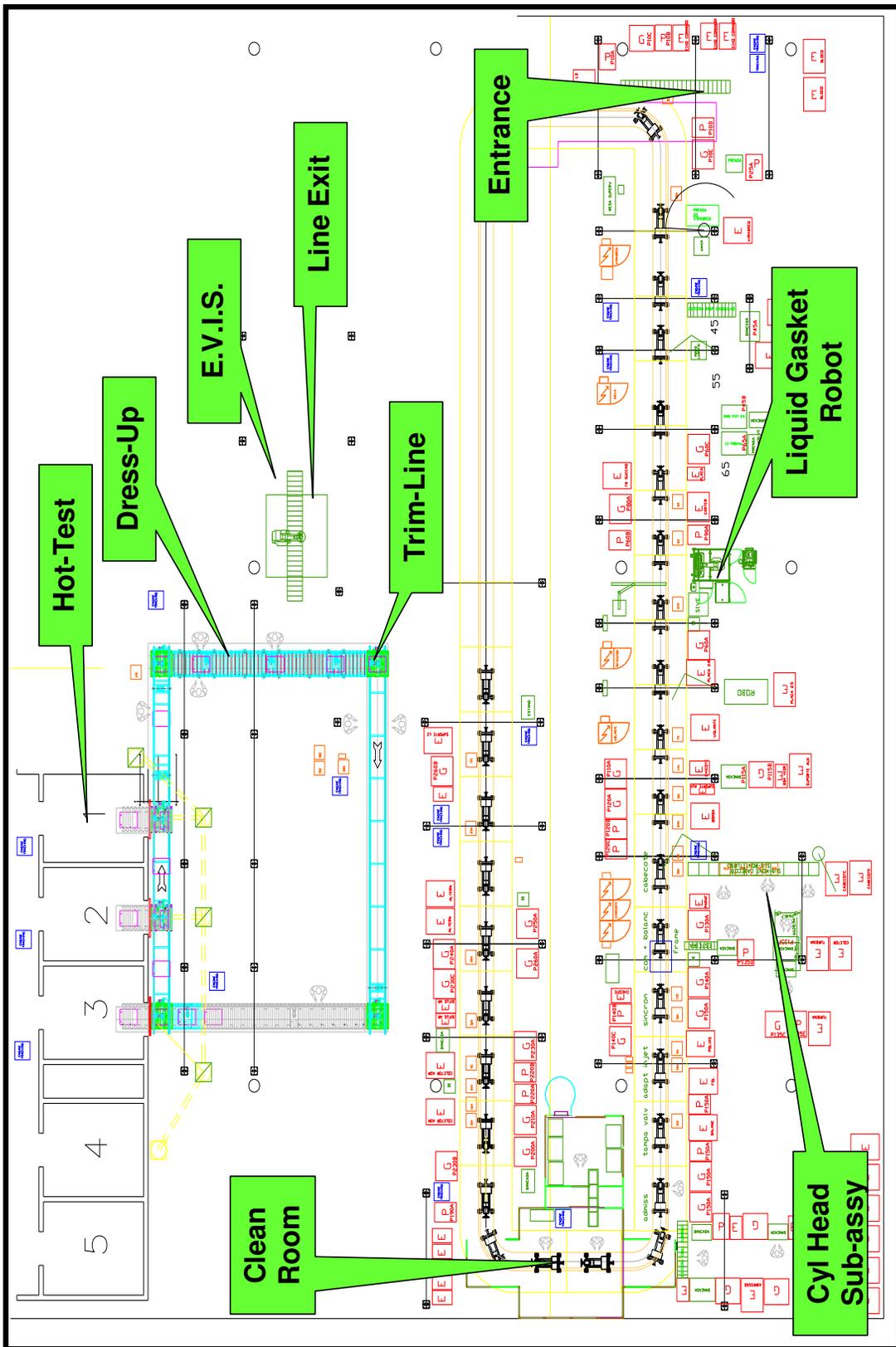
- Ao adicionar mais páginas a uma mesma FPE, utilizar o mesmo cabeçalho da página 1;
- Alterar a data de expiração para 3 anos conforme procedimento interno;
- Adicionar um campo para pesquisar o código da peça ou pelo nome do produto. Validar o valor inserido antes de vincular à FPE.
  - É necessário realmente? Não é possível digitar o valor do produto na “Caixa de Seleção”?
- Adicionar um passo para vincular o plano de controle.
  - já não é vinculado?
- Melhorias referente ao plano de controle:
  - Tornar o mesmo 100% on-line
  - Ou então, agilizar o processo de edição do .
    - Ao clicar no link, abrir automaticamente
    - o (abrir a última versão deste documento) permitindo a edição.
      - Ao salvar o arquivo, automaticamente renomeá-lo para uma versão nova. Ex de nome padrão para o arquivo: *pControle + númeroOP + revXX*;
- Vincular o OnTheJob com as FPE, para que estes dados sejam preenchidos automaticamente;
- No canto inferior direito existe uma Caixa de Seleção onde se identifica a operação da FPE. A mesma não é necessária, pois utiliza-se sempre uma FPE para uma única Operação;
- No modo edição, quando for adicionar uma página, a mesma é adicionada ao final da FPE, o que gera muito retrabalho;
- Permitir ao usuário selecionar qual a posição que deseja inserir a nova página;
- Ajustar a tela de acordo com a configuração do micro;
- Agilizar o carregamento desta página;
- Alterar a exibição do nome de quem aprovou o posto, não exibir o usuário e sem o nome do mesmo;
- Quando uma imagem é muito grande, ele corta informações da coluna da direita, ajustar imagem ao tamanho da folha eliminando ajuste manual;

- Verificar a possibilidade ajustar a configuração da página (paisagem ou retrato) somente para esta tela de impressão;
- O combobox da direita, sempre traz os operadores treinados no passado, caso atualize a tela, e se desejar que não marcar os mesmos, então deve se desmarcar um a um ( é melhor do que receber tela vazia e ter que rever quem são os operadores aptos nos registros para então marcar todos eles um a um);
- Ao editar uma FPE, quando for editar o Material ou o Ferramental, deve existir uma opção para editar a linha inteira.

## APÊNDICE E – Layout e fluxograma da linha de montagem HS

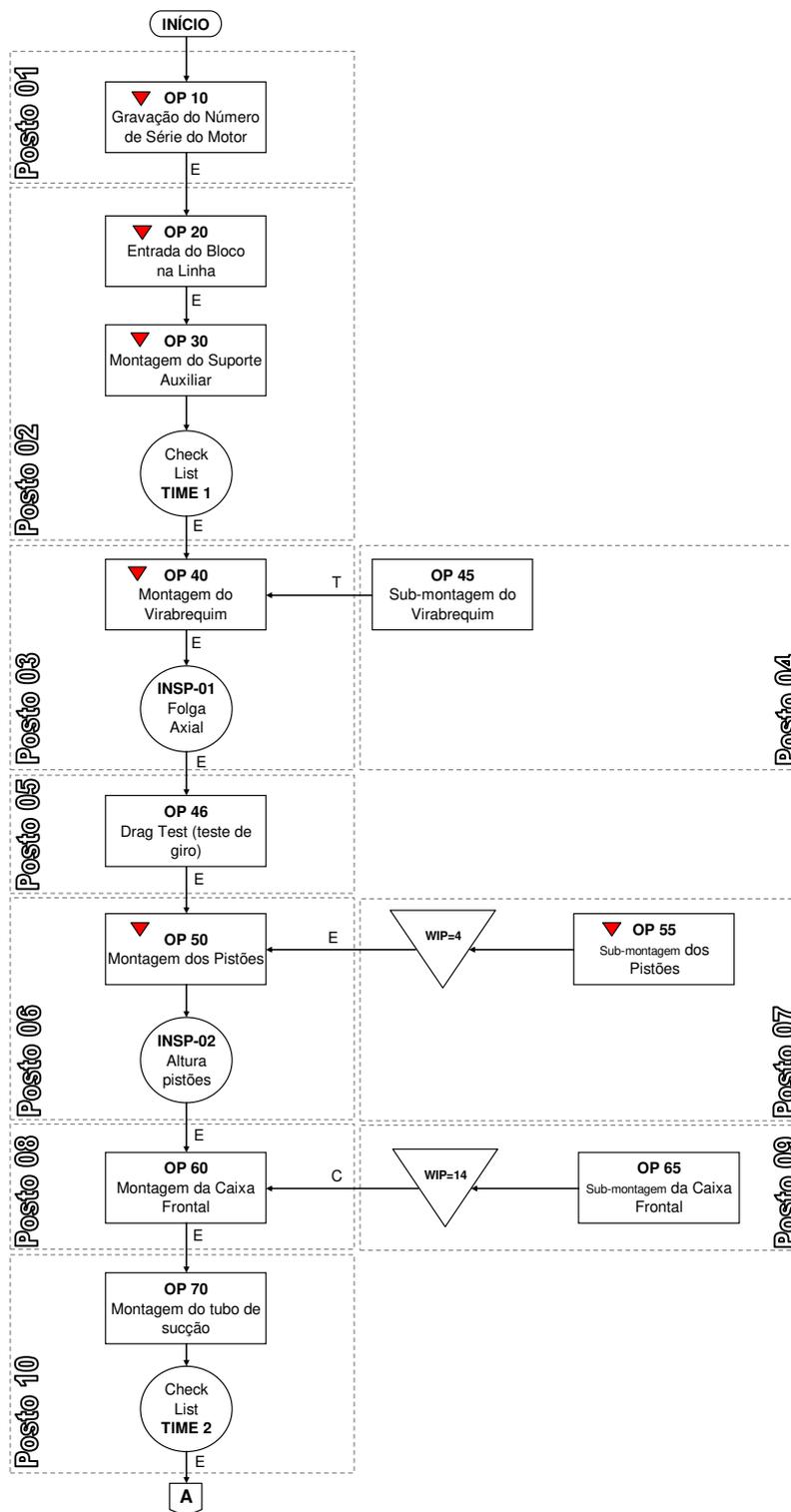


Layout de postos da linha de montagem HS. Fonte: registro da Engenharia de Processo.

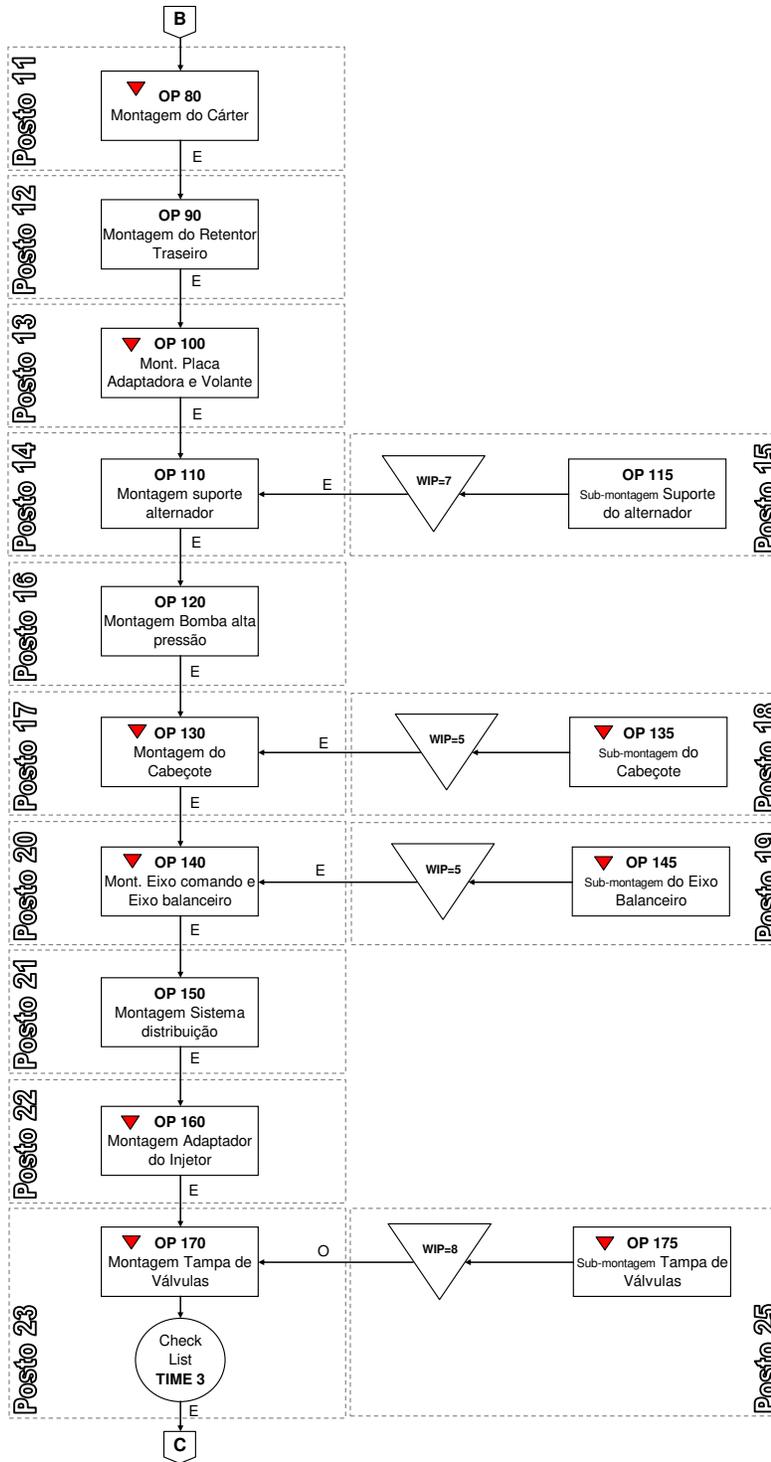


Layout da linha de montagem HS. Fonte: registro da Engenharia de Manufatura.

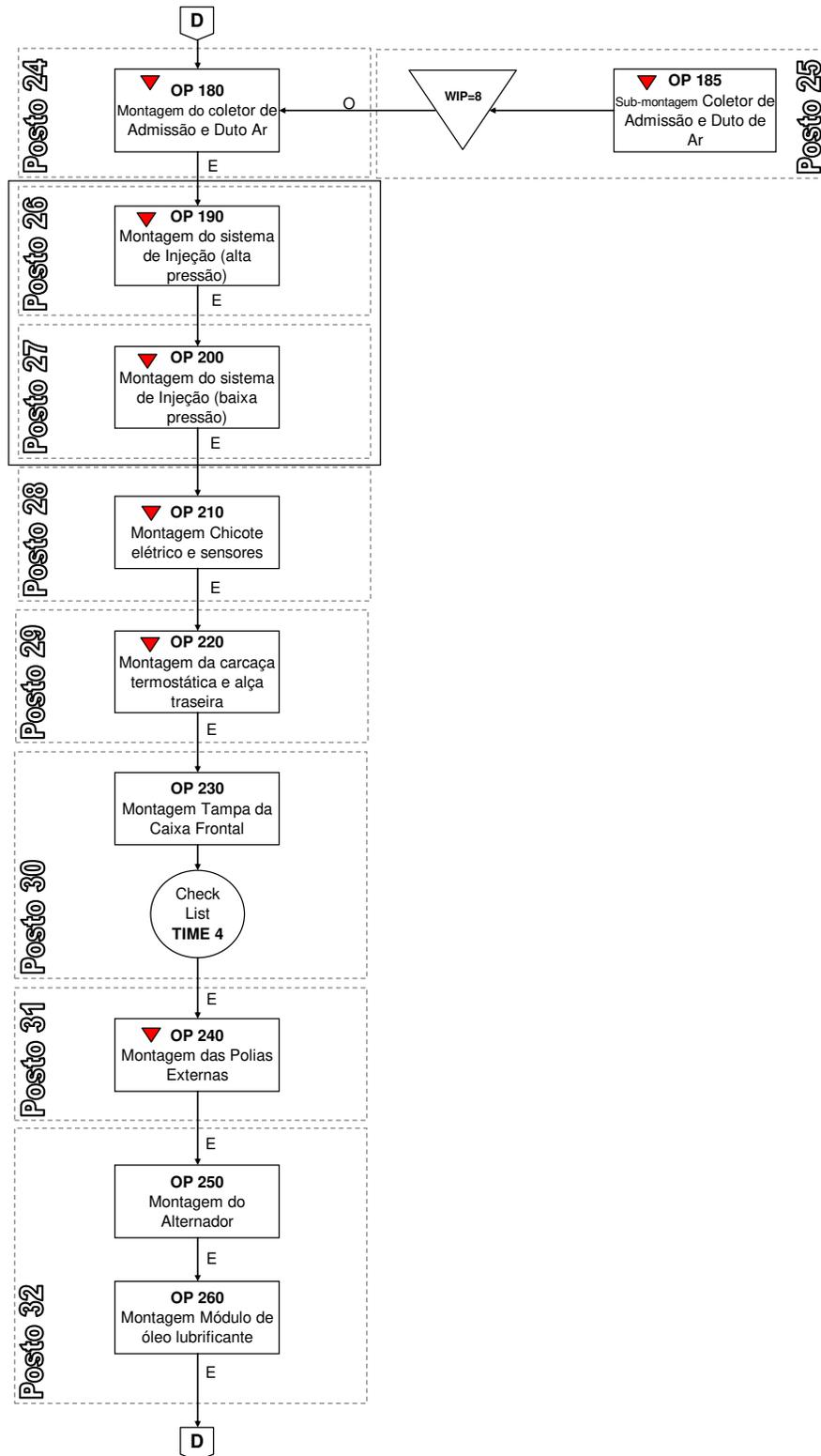
## Fluxograma do Processo - Linha HS



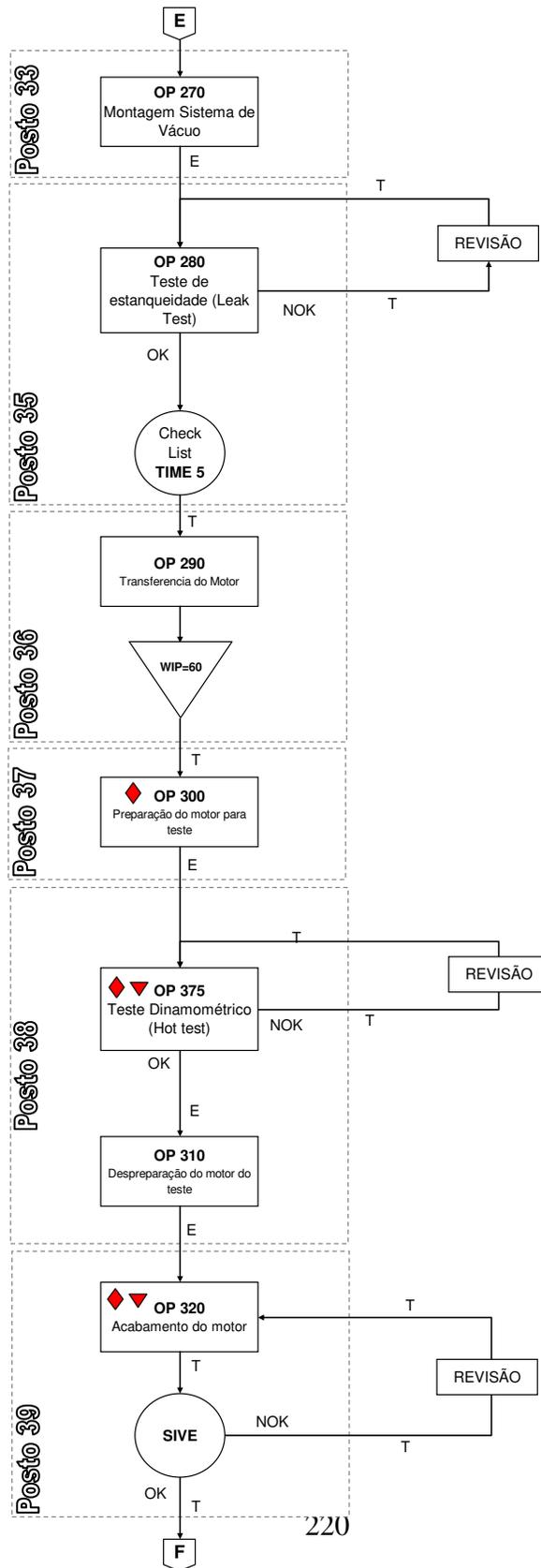
Continuação do fluxograma da linha de Montagem HS



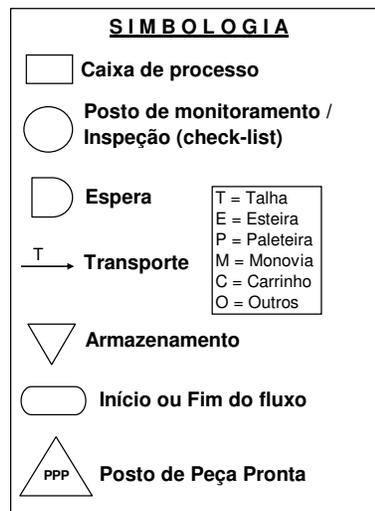
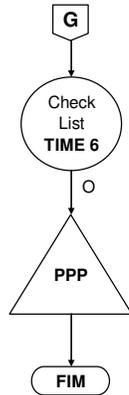
Continuação do fluxograma da linha de Montagem HS



Continuação do fluxograma da linha de Montagem HS



Continuação do fluxograma da linha de Montagem HS



## APÊNDICE F – FCM e Diagnóstico do Sistema automático



Amostra de FCM (ficha de construção do motor) contendo os campos de códigos de barra e de preenchimento manual. Fonte: Produção da empresa caso.

**Diagnóstico de Motores HS**

Data Atual.: 13/05/2010 12:09:34

---

Nro \_\_\_\_\_ Part Number.: 8D56  
Nro. Caixa.: 695152      Ser.: 80534207

---

Ultima estação atualizada pelo sistema.: Expedido para o cliente OK  
Data/Hora.: 12/05/2010 09:37:48

---

**Transações:**

Dados de Torque \_\_\_\_\_

**Dados da folga axial:** \_\_\_\_\_

**Alturas do pistão:** \_\_\_\_\_

**Dados da Ateq:** \_\_\_\_\_

**Abastecimento:** \_\_\_\_\_

**Teste Elétrico 3.0I:** \_\_\_\_\_

**Dados do Hot Test:** \_\_\_\_\_

**Falhas Verificadas no SIVE:** \_\_\_\_\_

**Componentes:** \_\_\_\_\_

**Observações:** \_\_\_\_\_

**Estatísticas:** \_\_\_\_\_

**Gravação Serial:** \_\_\_\_\_

[Voltar](#)

Aspecto de um relatório de sistema chamado “diagnóstico de motor”.  
Fonte: rede *intranet* da empresa caso.

## APÊNDICE G – Transações, Postos e Operações

DESCRIÇÃO OPERAÇÕES DO POSTO	WORKSTATION	TRANSAÇÃO
OP 10 Gravação do Número de Série do Motor	POSTO 1	Ficha de Construção OK
		Rast. Bloco OK
		HS - Posto 01 OK
		HS - Posto 01 NOK
OP 20 Entrada do Bloco na Linha OP 30 Montagem do Suporte Auxiliar Check List TIME 1	POSTO 2	SEM TRANSAÇÃO
OP 40 Montagem do Virabrequim INSP-01 Folga Axial	POSTO 3	HS - Posto 03 NOK
		HS - Posto 03 OK
		Folga Axial NOK
		Folga axial OK
OP 45 Sub-montagem do Virabrequim	POSTO 4	SEM TRANSAÇÃO
OP 46 Drag Test (teste de giro)	POSTO 5	HS - Posto 05 OK
OP 50 Montagem dos Pistões INSP-02 Altura pistões	POSTO 6	HS - Posto 06 NOK
		HS - Posto 06 OK
OP 55 Sub-montagem dos Pistões	POSTO 7	SEM TRANSAÇÃO
OP 60 Montagem da Caixa Frontal	POSTO 8	HS - Posto 08 NOK
		HS - Posto 08 OK
OP 65 Sub-montagem da Caixa Frontal	POSTO 9	SEM TRANSAÇÃO
OP 70 Montagem do tubo de sucção Check List TIME 2	POSTO 10	HS - Posto 10 OK
OP 80 Montagem do Carter	POSTO 11	Robô de Cola OK
		Inspeção Carter OK
		HS - Posto 11 OK
OP 90 Montagem do Retentor Traseiro	POSTO 12	HS - Posto 12 NOK
		HS - Posto 12 OK
OP 100 Mont. Placa Adaptadora e Volante	POSTO 13	HS - Posto 13 NOK
		HS - Posto 13 OK
		HS - Posto 13 CANCELADO
OP 110 Montagem suporte alternador	POSTO 14	HS - Posto 14 NOK
		HS - Posto 14 OK
OP 115 Sub-montagem Suporte do alternador	POSTO 15	SEM TRANSAÇÃO
OP 120 Montagem Bomba alta pressão	POSTO 16	HS - Posto 16 OK
		Rast. Bomba Hidráulica NOK
		Rast. Bomba Hidráulica OK
		Rast. Bomba Injetora OK
OP 130 Montagem do Cabeçote	POSTO 17	Rast. Caixa Frontal OK
		Rast. Cabeçote OK
		Rast. Turbo NOK
		Rast. Turbo OK
OP 135 Sub-montagem do Cabeçote	POSTO 18	SEM TRANSAÇÃO
OP 145 Sub-montagem do Eixo Balanceiro	POSTO 19	SEM TRANSAÇÃO
OP 140 Mont. Eixo comando e Eixo balanceiro	POSTO 20	HS - Posto 20 NOK
		HS - Posto 20 OK
OP 150 Montagem Sistema distribuição	POSTO 21	HS - Posto 21 NOK
		HS - Posto 21 OK

DESCRIÇÃO OPERAÇÕES DO POSTO	WORKSTATION	TRANSAÇÃO
OP 160 Montagem Adaptador do Injetor	POSTO 22	HS - Posto 22 NOK
		HS - Posto 22 OK
OP 170 Montagem Tampa de Válvulas Check List TIME 3	POSTO 23	HS - Posto 23 NOK
		HS - Posto 23 OK
OP 180 Montagem do coletor de Admissão e Duto Ar	POSTO 24	HS - Posto 24 NOK
		HS - Posto 24 OK
OP 175 Sub-montagem Tampa de Válvulas	POSTO 25	SEM TRANSAÇÃO
OP 190 Montagem do sistema de Injeção (alta pressão)	POSTO 26	HS - Posto 26 OK
OP 200 Montagem do sistema de Injeção (baixa pressão)	POSTO 27	Rast. Common Rail OK
		Rast. Bico Injetor 3.0L OK HS - Posto 27 OK
OP 210 Montagem Chicote elétrico e sensores	POSTO 28	HS - Posto 28 OK
OP 220 Montagem da carcaça termostática e alça traseira	POSTO 29	HS - Posto 29 OK
OP 230 Montagem Tampa da Caixa Frontal Check List TIME 4	POSTO 30	HS - Posto 30 OK
OP 240 Montagem das Polias Externas	POSTO 31	HS - Posto 31 OK
OP 250 Montagem do Alternador OP 260 Montagem Módulo de óleo lubrificante	POSTO 32	HS - Posto 32 NOK
		HS - Posto 32 OK
OP 270 Montagem Sistema de Vácuo	POSTO 33	HS - Posto 33 OK
		Rast. Alternador OK Rast. Bomba de Vácuo OK
DESATIVADO	POSTO 34	SEM TRANSAÇÃO
OP 280 Teste de estanqueidade (Leak Test)	POSTO 35	HS - Posto 35 NOK (Leak Test )
		HS - Posto 35 OK (Leak Test )
OP 290 Transferencia do Motor	POSTO 36	HS - Posto 36 OK
OP 300 Preparação do motor para teste	POSTO 37	Abastecimento de Oleo OK
		Teste Elétrico 3.0L NOK
		Teste Elétrico 3.0L OK
OP 375 Teste Dinamométrico (Hot test)	HOT TEST	Banco de Teste NOK
		Banco de Teste OK
REVISÃO DO MOTOR - REPARO	REVISÃO	TRANSAÇÕES DE EXPIRA COMPONENTES INCLUI COMPONENTES
OP 310 Despreparação do motor do teste	POSTO 38	SEM TRANSAÇÃO
OP 320 Acabamento do motor	POSTO 39	HS - Posto 39 NOK
		HS - Posto 39 OK
		Sensor de oleo verificado OK.
SIVE	SIVE	HS - Posto 40 NOK
		HS - Posto 40 OK
		SIVE - Inspeção Final NOK SIVE - Inspeção Final OK
INSPEÇÃO FINAL - CHECK LIST TIME 6	DESPACHO	Acabamento para embalagem OK

## APÊNDICE H – Intervenções de *Altera Status*

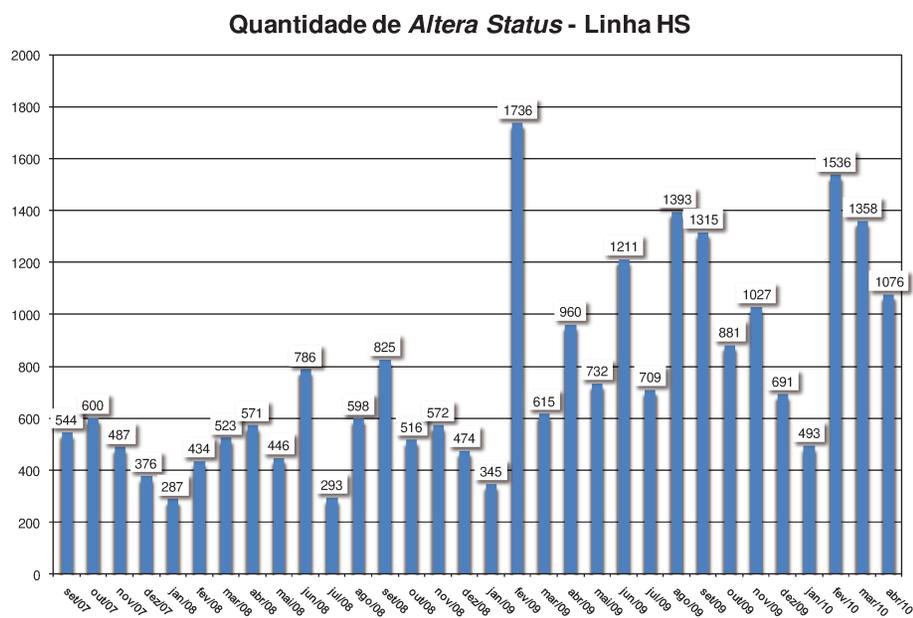


Gráfico mostrando a quantidade de altera status por mês dentro do período de setembro de 2007 a abril de 2010.

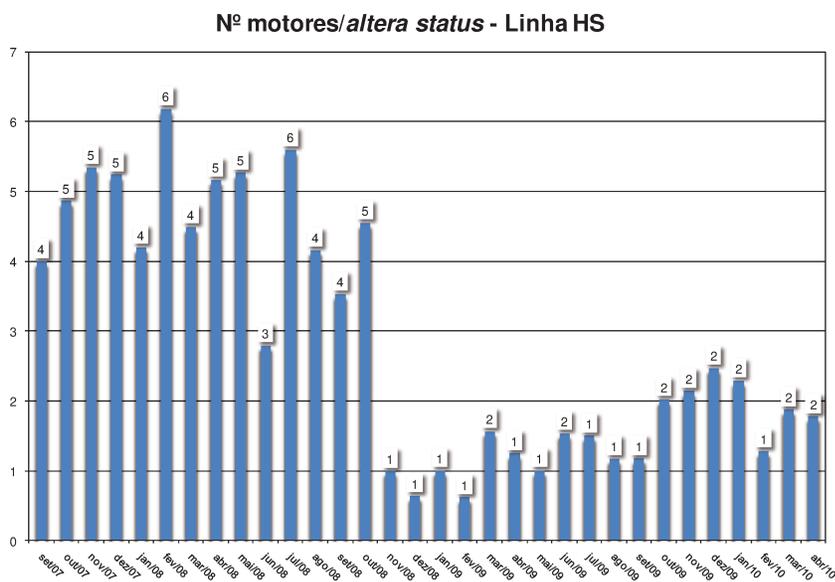


Gráfico mostrando a razão entre o número de motores produzidos e a quantidade de altera status, por mês, dentro do período de setembro de 2007 a abril de 2010.

QUANTIDADE DE ALTERA STATUS

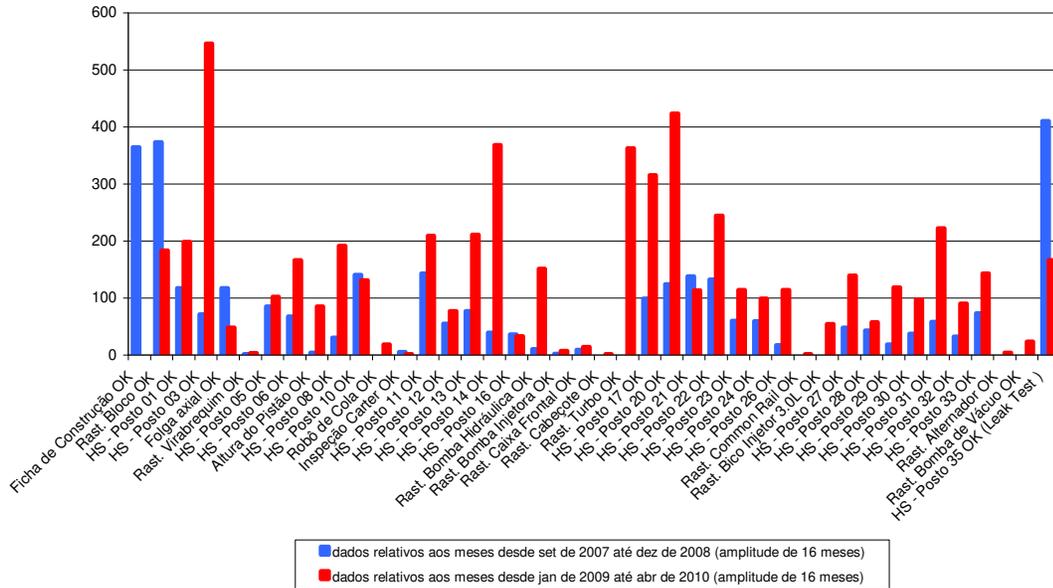


Gráfico mostrando a quantidade de altera status em função das etapas do processo dentro da linha de montagem. Período de setembro de 2007 a dezembro de 2008 a esquerda em azul e de janeiro de 2009 a abril de 2010 a direita em vermelho.

QUANTIDADE DE ALTERA STATUS

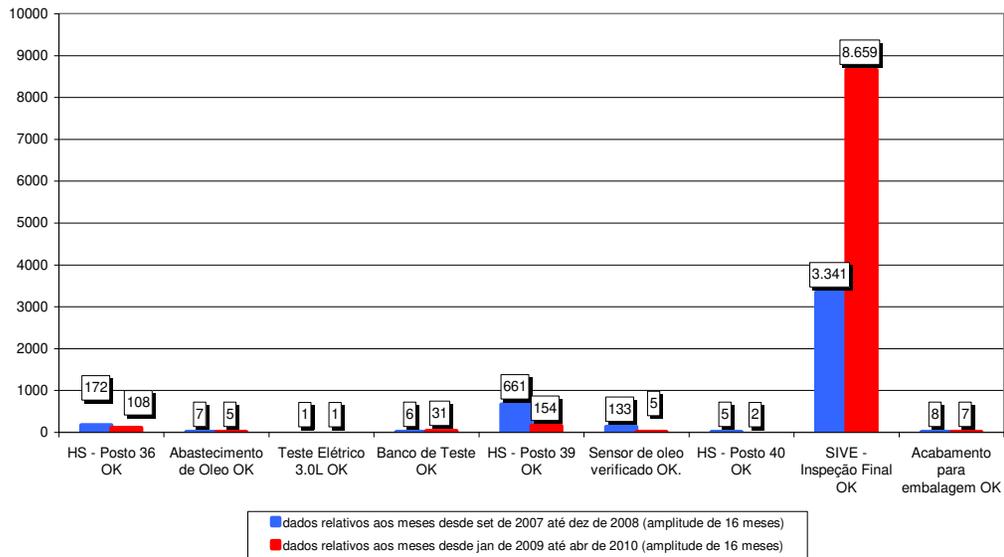


Gráfico mostrando a quantidade de altera status em função das etapas do processo de montagem após a linha tracionada até a etapa anterior à expedição. Período de setembro de 2007 a dezembro de 2008 a esquerda em azul e de janeiro de 2009 a abril de 2010 a direita em vermelho.

## APÊNDICE I – Entrevista com Operadores

- 1) Há quanto tempo você trabalha na linha HS (somando todas as vezes que já trabalhou):
- a) há mais de 7 anos
  - b) entre 5 e 7 anos
  - c) entre 3 e 5 anos
  - d) entre 1 e 3 anos
  - e) menos de 1 ano

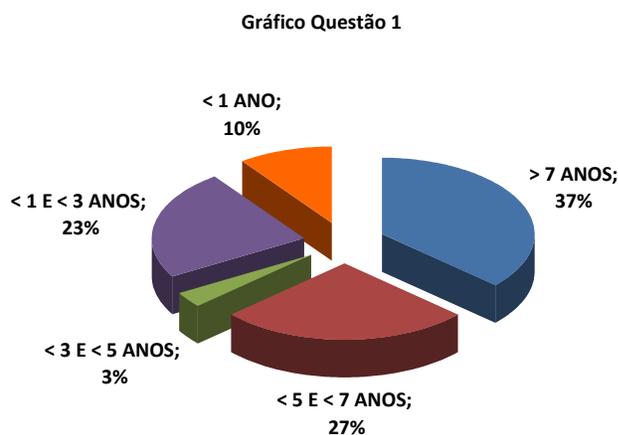


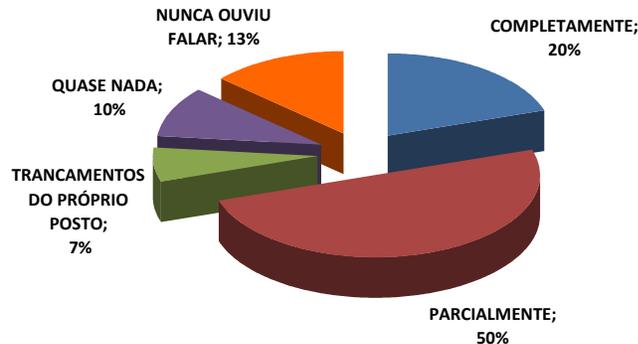
Gráfico resultado da questão 1 Percentual de pessoas em cada faixa de tempo de serviço na linha HS em abril de 2010. Fonte: entrevista com operadores da linha HS elaborado pelo autor.

Com isso conclui-se que a maioria dos operadores tem experiência nos processos desta linha de montagem.

- 2) Quanto você conhece do funcionamento do sistema automático no HS?
- a) Conheço completamente
  - b) Conheço parcialmente
  - c) Conheço só os trancamentos no meu posto de trabalho

- d) Não conheço quase nada
- e) Nunca ouvi falar

Gráfico Questão 2



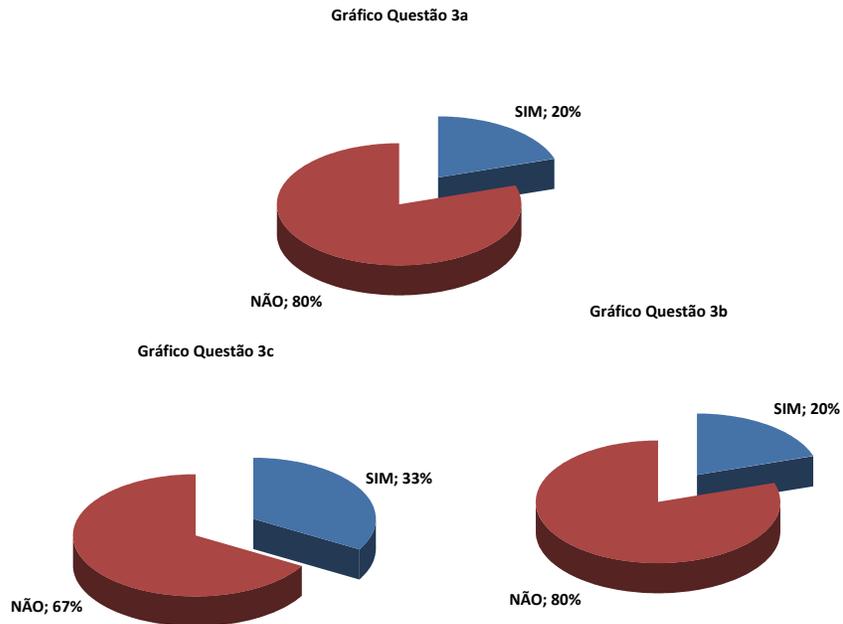
**Gráfico resultado da questão 2 Percentual de pessoas para cada nível de conhecimento do sistema estudado, em abril de 2010. Fonte: entrevista com operadores da linha HS elaborado pelo autor.**

Com isso pode-se perceber que mais de 20% das pessoas que trabalham na linha não detém conhecimento suficiente sobre o sistema que regula suas operações, isto é um ponto que deve ser melhorado mediante treinamento e esclarecimento diário quando há ocorrências de parada ou intervenções de desvio do fluxo do processo.

3) Olhando para o seu posto de trabalho e todos os equipamentos e *poka-yokes* que você usa para fazer sua operação de forma correta e completa, na sua visão, existe alguma maneira normal (sem usar altera status) de:

- a) Mandar para frente um motor com algum aperto faltando? Sim ( ) Não ( )
- b) Mandar para frente um motor sem fazer o *poka-yoke* ou com resultado do *poka-yoke* *NOK*? Sim ( ) Não ( )
- c) Mandar para frente um motor com alguma operação incompleta? Sim ( ) Não ( )

Se você respondeu “sim” a alguma das perguntas acima, por favor, dê um exemplo de como aconteceu, ou quase aconteceu, e diga qual o posto de trabalho que aconteceu.



**Gráfico resultado da questão 3 Percentual de pessoas que manifestam a sua opinião a respeito de três questões sobre a capacidade de trancamento de uma falha de processo que o sistema estudado oferece, em abril de 2010. Fonte: entrevista com operadores da linha HS elaborado pelo autor.**

Com isso pode-se perceber que mais os operadores percebem que o sistema é capaz de trancar uma operação incompleta ou um aperto faltando porém há uma parcela que percebe haver meios desse trancamento falhar ou promover um falso *ok*, e é nesses pontos que se irá concentrar esforços. Abaixo segue um resumo da lista de exemplos dadas pelos operadores.

Frases ditas por operadores:

- “Qualquer posto, basta usar o torque em outro motor”
- “Por falta de atenção, a pessoa pode queimar um torque e mandar um aperto faltando. Nas pré-montagens pode ter um “*nok*” e o componente ir para frente sem alguma aperto se não tiver atenção. A linha com aparelhos eletrônicos é uma tecnologia que só vem a somar: para melhorar a qualidade do produto e dar confiança no montador após cada processo feito.”

- “Esqueci de apertar os parafusos do tubo de sucção no posto 10.
- Gastei 2 torques em um único parafuso pensando erroneamente que 1º aperto tinha sido reprovado, mas percebi a tempo de consertar o erro (posto 10)”
- “Montagem do retentor posto 12, operador chamou pois não liberava o posto, fui analisar o diagnóstico , o sistema tinha gerado transação *ok* mas os torques não estavam *ok* (não havia sido apertado). Alterei status e refiz a operação”
- “É possível quando o operador por algum motivo faz a leitura de outra FCM no motor “A” sendo que seria para utilizar no motor ”B”, gastando os torques de duas FCM num mesmo motor.”

Conclui-se que a maioria das falhas é uma combinação de uma regra do equipamento de aperto em relação a regra de aprovação do posto e também que o fato da Ficha de construção do motor ser móvel possibilita o extravio e a troca com outro motor mas a incidência de ocorrências não se dá em um ou outro posto específico, ela é generalizada e tem a ver com a complexidade da operação.

#### 4) Quanto aos aspectos da rastreabilidade de componentes

a) Alguma vez já aconteceu de dar um problema na hora de fazer a leitura de rastreabilidade de algum componente (bico injetor, caixa, cabeçote, turbo, bomba hidráulica, bomba de vácuo, etc ...) e o sistema liberar normalmente sem pedir para digitar nada? Sim ( ), Não ( )

b) Alguma vez você esqueceu de fazer a leitura de rastreabilidade e o sistema não trancou no posto seguinte, e nem em nenhum outro e o motor foi embora ? Sim ( ), Não ( )

c) Problemas com leitura de rastreabilidade acontecem com qual frequência?

Sempre ( ) Quase sempre( ) As vezes( ) Quase nunca( ) Nunca ( )

Gráfico Questão 4a

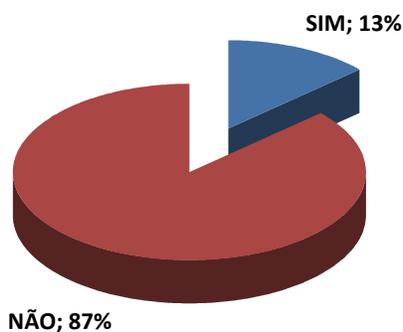


Gráfico Questão 4b

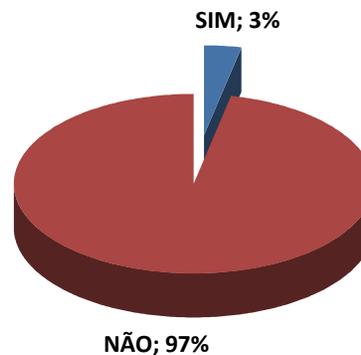
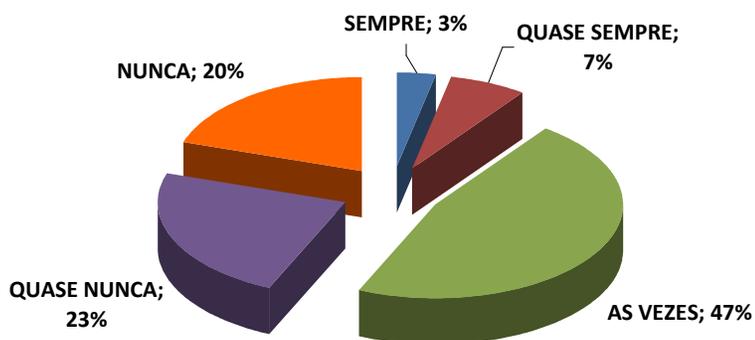


Gráfico Questão 4c



**Figura: Percentual de pessoas que manifestam a sua opinião a respeito de três questões sobre a capacidade de retenção clara e eficaz da rastreabilidade de componentes que o sistema estudado oferece, em abril de 2010. Fonte: entrevista com operadores da linha HS elaborado pelo autor.**

Com isso nota-se que o registro e validação nos pontos de rastreabilidades de componentes são bastante robustos, pela própria percepção dos operadores, mas existem momentos em que este controle é perdido ocasionando confusão e risco de falhas.

5) Quanto ao caso de você estar montando normalmente na sua operação e percebe que alguma peça está com defeito (por exemplo tampa da caixa empenada, rosca espanada, peça com rebarba, peça que não encaixa, etc..), você chama o coringa, pára a linha e aborta o posto perdendo todo o seu trabalho e tendo que corrigir o problema e fazer tudo de novo.

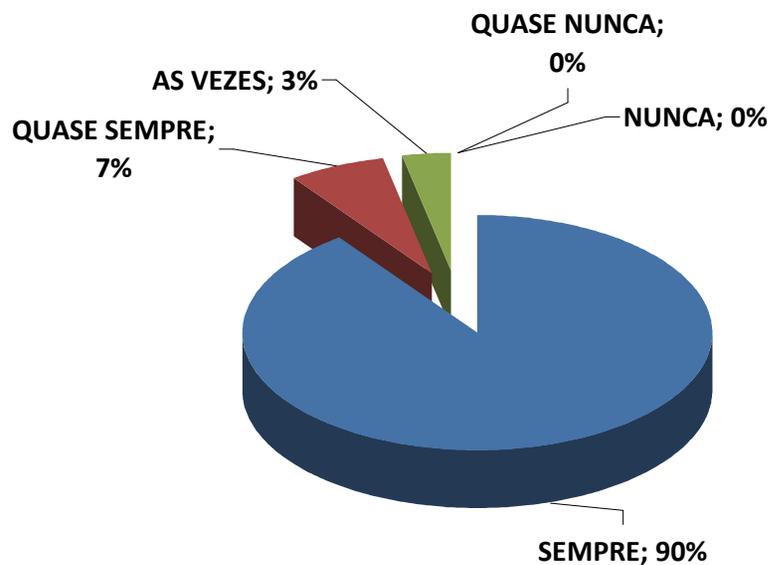
Nesta hora, você :

a) Acha que é importante ficar registrado a ocorrência no sistema? Sempre ( )  
Quase sempre( ) As vezes( ) Quase nunca( ) Nunca ( )

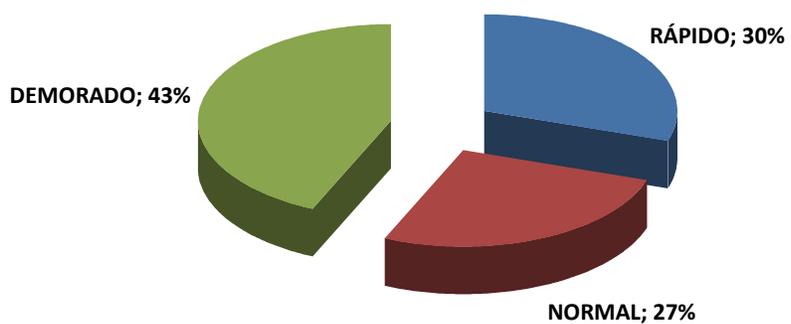
b) Acha que para fazer esse registro é: rápido ( ) tranqüilo de fazer dentro do tempo da sua operação ( ) demorado ( )

c) Sabe para que serve a informação que é registrada? Sim ( ) Não ( )

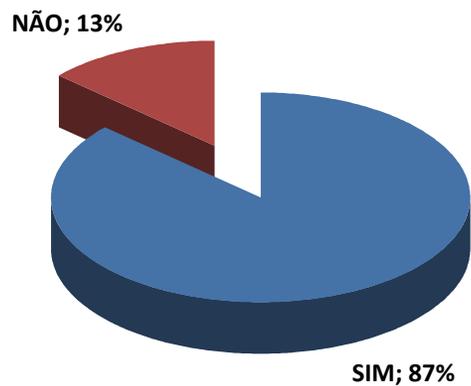
**Gráfico Questão 5a**



**Gráfico Questão 5b**



**Gráfico Questão 5c**



**Figura: Percentual de pessoas que manifestam a sua opinião a respeito de três questões sobre a utilidade e a rapidez de registro de ocorrências de problemas de qualidade em peças que o sistema estudado oferece, em abril de 2010. Fonte: entrevista com operadores da linha HS elaborado pelo autor.**

Com isso conclui-se que os operadores percebem a importância e a utilidade de ter a informação corretamente registrada, porém fica claro que esta é uma operação ainda um pouco lenta e isso impacta negativamente na produção, já que registrar é uma ação que não agrega valor ao produto.

6) Que tipos de *poka-yoke* descritos abaixo, na sua visão, são realmente efetivos para se ter um motor com qualidade? Dê uma nota de 1 a 5 para avaliar o quanto este *poka-yoke* é capaz de te ajudar a pegar um erro por puro descuido ou esquecimento.

Nota 5= muito efetivo, 4 = efetivo , 3 = meio efetivo, 2 = pouco efetivo, 1 = nada efetivo

a) Prateleiras *poka-yoke* (lembre que com o motor VMM elas serão melhor utilizadas).  
NOTA ( )

b) Aviso com sinal luminoso como o andom verde e vermelho do aparelho de estanqueidade e o andom verde e vermelho da ferramenta de aperto do cárter. NOTA ( )

c) Cilindro mecânico trancando como na sub-montagem do cabeçote. NOTA ( )

d) Que só libera a ferramenta de aperto após pegar o o'ring. Exemplo temos no tubo de sucção e na luva do eixo de comando. NOTA ( )

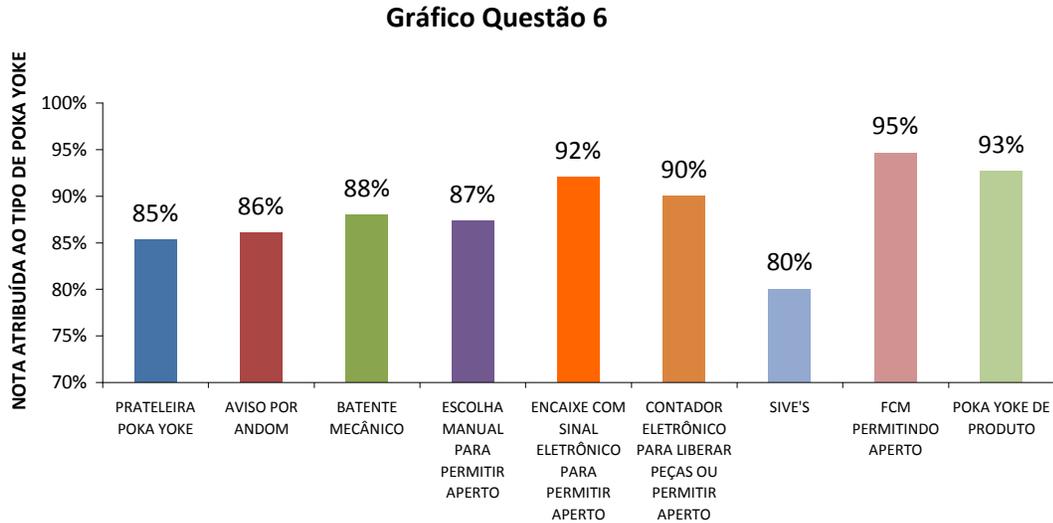
e) Que só libera a ferramenta de aperto se for *ok* como o do modelo de eixo de comando e a existência de bucha no virabrequim Ford. NOTA ( )

f) Que só libera próxima etapa de a contagem e presença estiverem *ok* como a presença de casquilhos da biela ,o da arruela dos injetores e o dos tuchos hidráulicos do sincronismo. NOTA()

g) De sistema de visão como o checker da sub-montagem do cabeçote, o Sive da entrada de linha e o Sive da inspeção final – (lembre que com o VMM tudo que não está funcionando muito bem vai ser consertado). NOTA ( )

h) Ferramenta de apertos da linha que abrem um trabalho mediante a leitura de uma ficha de construção. NOTA ( )

i) De produto, exemplo casquilho do mancal – se tentar montar invertido não encaixa por causa do próprio projeto do motor. NOTA ( )

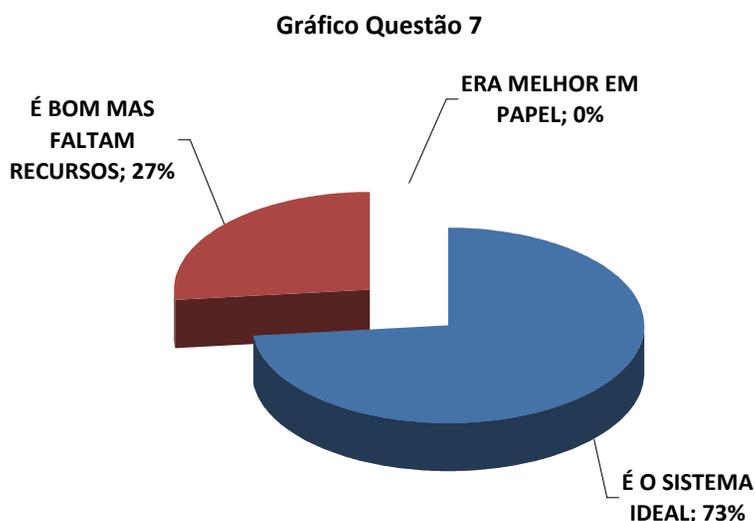


**Figura: Nota dada ao tipo de *poka-yoke* utilizado na linha de montagem, em abril de 2010. Fonte: entrevista com operadores da linha HS elaborado pelo autor.**

Com base nesta pontuação entende-se que de um modo geral, todo o tipo de *poka-yoke* instalado na linha de montagem é efetivo, sendo que as maiores notas ficaram com aqueles que atuam na prevenção das falhas, como é o caso dos *poka-yokes* de projeto, e naqueles totalmente integrados ao sistema e vinculando resultados ao diagnóstico do motor como é o caso dos que transmitem um sinal para liberação do aperto e ainda coletam dados da transação e valores dos apertos vinculando a identidade da ficha de construção do motor. Este resultado está alinhado ao que advoga o FMEA de processo do produto desta linha de montagem.

7) Quanto a Folha de processo eletrônica, MARQUE SOMENTE UMA DAS ALTERNATIVAS:

- a) É bom pois se quero consultar só chego com o crachá e também a linha fica visualmente mais despoluída de papéis.
- b) Não é ruim mas faltam computadores e demora para consultar
- c) Era melhor antes em que estava tudo em papel para folhear



**Figura: Percentual de pessoas que manifestam a sua opinião a respeito dos documentos eletrônicos oferecidos pelo sistema da linha de montagem, em abril de 2010. Fonte: entrevista com operadores da linha HS elaborado pelo autor.**

Com base na distribuição das repostas conclui-se que ter um sistema eletrônico para gerenciamento e divulgação da documentação de processo, sobretudo das instruções de trabalho para cada modelo e cada operação do motor ao alcance da consulta do operador é algo irreversível e muito vantajoso, porém faltam computadores o que pode impactar negativamente na produção, é o desperdício de tempo procurando a informação que fica indisponível por um outro usuário estar consultando.

# APÊNDICE J – Melhoria de *on the job* piloto

Cadastro de Postos							
Posto	Documentos do Posto	Validação	Cabeçalho On the job	Nome da operação On the Job	Cabeçalho Matriz	Nº de chamada	
P1	INCLUIDO NOVA LP PARA MOTOR PARCIAL TROLLER MODELO HS102 REVISÃO FOLHA DE PROCESSO: 8B31.....2 8C19, 8C20, 8C32, 8C33, 8C35, 8C36, 8D40 e 8V36.....08 8D56, 8D50, 8D51.....09 Blocos e motores parciais.....03 REVISÃO PLANO DE CONTROLE: 8D56, 8D50, 8D51.....09 REVISÃO AUXÍLIO VISUAL: AUXÍLIO N 01.....02 AUXÍLIO N 33.....04 AUXÍLIO N 38.....02 AUXÍLIO N 132.....02 AUXÍLIO N 133.....03 AUXÍLIO N 55 (2.8L).....04	5	POSTO 1 - OP10 (8E31, 8C32, 8C33, 8D56, 8C35, 8C36, 8D50, 8D51, 8V36, 8D40, 8D50, 8D51)	Gravação do Nr de Série/Preparação do Bloco	OP10	1	
P2	INCLUIDO NOVA LP PARA MOTOR PARCIAL TROLLER MODELO HS102 REVISÃO FOLHA DE PROCESSO: 8B31.....OP20 (1), OP30(1) 8C32, 8C33, 8C35, 8C36, 8D40 e 8V36.....OP20 (5), OP30 (9) 8D56, 8D50, 8D51.....OP20 (8), OP30(8) Motores parciais.....(3) REVISÃO PLANO DE CONTROLE: 8D56, 8D50, 8D51.....OP20 (7), OP30 (7) AUXÍLIO VISUAL N 056 (Check list time 01 LP'S 8C35 e 8C36) ---Rev 03 AUXÍLIO VISUAL N 020 (Check list time 01 LP'S 8C34, 8C45 e 8C46) ---Rev03	4	POSTO 2 - OP20 (8E31, 8C32, 8C33, 8D56, 8C35, 8C36, 8D50, 8D51, 8C40, 8V36) OP30 (8C32, 8C33, 8C34, 8C36, 8C36, 8C45, 8C46, 8D40, 8V36)	Entrada do Bloco na linha/Mont. Do suporte auxiliar	OP20-OP30 - TIMEI	2	
P3A	ABERTO ALERTA N 74 INFORMANDO OPERADORES DE PROBLEMA EVIDENCIADO EM AUDITORIA DE DESMONTAGEM REVISÃO FOLHA DE PROCESSO: 8C32, 8C33, 8D40.....5 8D56, 8D50, 8D51.....8 8C35, 8C36, 8V36.....6 8E31.....2 Motores parciais.....4 REVISÃO PLANO DE CONTROLE: 8D56, 8D50, 8D51.....09 REVISÃO AUXÍLIO VISUAL: AUXÍLIO N 15.....05 AUXÍLIO N 82.....03 AUXÍLIO N 102.....02 AUXÍLIO N 170.....00 AUXÍLIO N 172.....00	9	POSTO 3A - OP40 (8E31, 8C32, 8C33, 8C35, 8C36, 8C45, 8C46, 8D40, 8V36, 8D50, 8D51, 8D56)	Montagem do Virabrequim	OP40	3	

Aspecto do cadastro de postos feito para o projeto piloto do sistema de registro de *on the job* eletrônico.

CP/RE	Nome	P1				P2				P3A				P3B				P4				P5			
		Nível	Val	Trei	Data	Nível	Val	Trei	Data	Nível	Val	Trei	Data												
15	18330 ADRIANO ALEXANDRE KONFLANZ DOS SANTOS	C	5	5	28/2/09	C	4	5	28/2/09																
16	1278 AIRTON PINTO DE PINTO																								
17	14470 ALBERI DE SOUZA FIGUEIREDO	A	5	5	28/2/09	A	4	5	28/2/09																
18	13270 ALCEMAR DORNIELES																								
19	14950 ALDENIR MACHADO LISBOA																								
20	3476 ALEXANDRE BOTTESA	D	5	5	28/2/09	D	4	5	28/2/09	D	9	5	12/5/09	D	1	5	28/2/09	D	5	5	28/2/09	D	2	5	19/10/09
21	19040 ALEXANDRE OLIVEIRA FRANCA																								
22	15630 ALEXANDRO GOMES FELIX																								
23	19620 ANDERSON REIS CARVALHO																								
24	2070 ANGELO JOSE CORREIA																								
25	15780 ANTONIO JUAREZ ROCHA JUNIOR																								
26	1287 ANTONIO RICARDO NUNES																								
27	477 ARLEI VEIDE MORAES																								
28	16440 CARLOS ALBERTO LOPES																								
29	19580 CARLOS ALBERTO OLIVEIRA NUNES																								
30	16480 CASSIANO AGUIAR NOBRE																								
31	12540 CLEBER ALEXANDRE DE SOUZA BOTELHO	C	5	5	28/2/09	C	4	5	28/2/09	C	9	5	12/5/09	C	1	5	22/10/07	C	5	5	28/2/09	C	2	5	19/10/09
32	15240 DENYD PAZ DA SILVA																								
33	15620 DIEGO PEREIRA																								
34	20370 DIDGO DA COSTA BITTELLO																								
35	13220 DIONATAN PEREIRA DA SILVA																								
36	19100 DIONES DUARTE MANSUR																								
37	18770 EDSON FERNANDO FERNANDES SOARES																								
38	4545 EDSON FERNANDO S DE MATOS																								
39	13640 ELIAS FONSECA																								
40	19050 EMERSON PABLO NUNES DA SILVA	C	5	5	28/2/09	C	4	5	28/2/09																
41	14070 EVANDRO ALVES																								
42	19670 EVANDRO EGONMAR FERNANDES SOARES																								
43	12750 EVANDRO MARCIO FREITAS DIAS																								
44	13800 EVERSON LUIS MELLO MARTINS																								
45	15470 FABIANO MARTINS DE LOPEZ	C	5	5	28/2/09	C	4	5	28/2/09	C	9	5	12/5/09												
46	13610 FABIO PINTO DE ALMEIDA	C	5	5	28/2/09	C	4	5	28/2/09																
47	12380 FERNANDO LUIZ GIOTTI																								
48	15520 FRANKLIN PANUCCI																								
49	15010 GABRIEL VIEIRA																								
50	6900 GENECI LUCAS ALVES																								
51	442 GILBERTO MULLER																								
52	14300 GILMAR FERREIRA FRANCA	D	5	5	28/2/09	D	4	5	28/2/09	D	9	5	12/5/09	D	1	5	22/10/07	D	5	5	28/2/09	D	2	5	19/10/09
53	4650 GILNEI ANTONIO PACHECO																								
54	18370 GIOVANI PIRES DA SILVA	C	5	5	28/2/09	C	4	5	28/2/09	C	9	5	12/5/09												
55	6060 INAMARA CLENICE V DA SILVA	C	5	5	28/2/09	C	4	5	28/2/09																
56	15200 JACKSON FABIANO DA SILVEIRA	C	5	5	28/2/09	C	4	5	28/2/09																
57	19180 JEFERSON COPREA DA SILVA	C	5	5	28/2/09	C	4	5	28/2/09																

Aspecto do cadastro de operadores utilizando 4 variáveis por posto de trabalho feito para o projeto piloto do sistema de registro de *on the job* eletrônico.

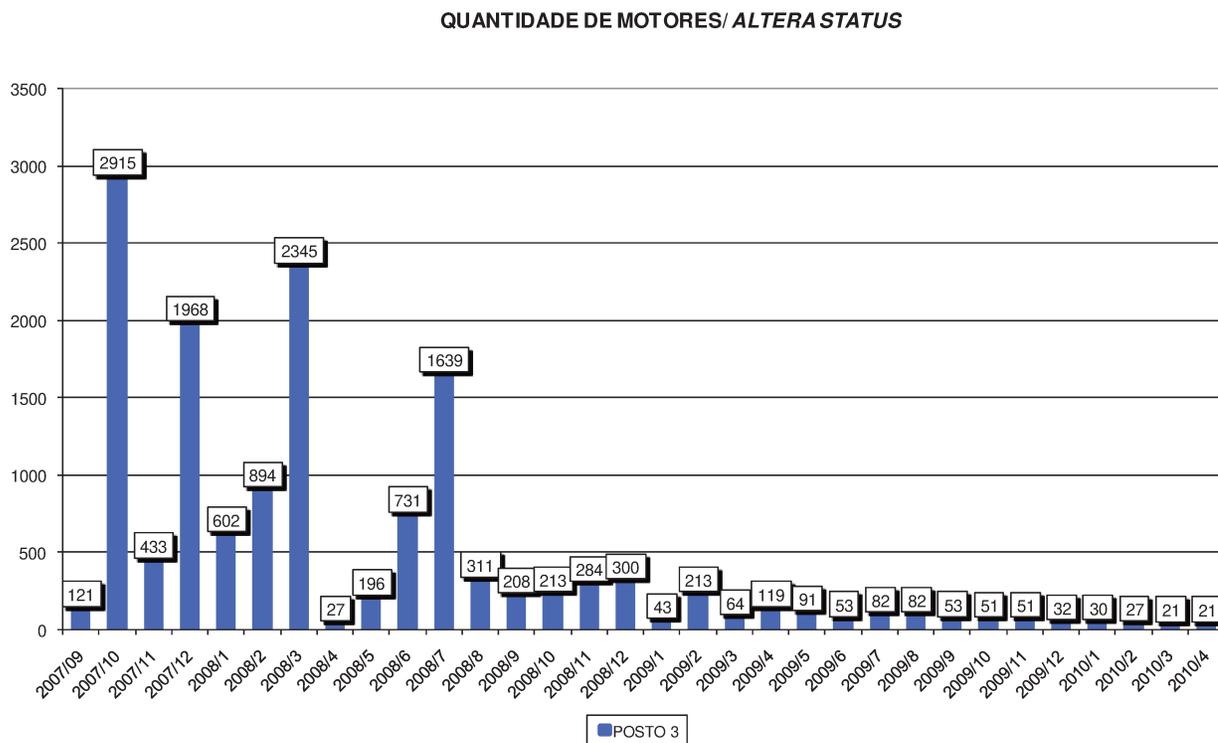
## APÊNDICE K – Comparativo de versões do sistema automático

Sistema automático versão antes Jan/09	Sistema automático versão após Jan/09	Sistema automático nova versão (a partir de set/10 - somente na linha MS Sprint)
Linguagem de programação VB6 (Visual basic 6) - pobre em recursos	Linguagem VBNet (Visual Basic. Net – biblioteca em desenvolvimento) permitindo processamento de eventos concorrentes sem perda de velocidade, e também foi disponibilizado em que um <i>software</i> único está dedicado a atender a linha integrando todos os equipamentos desta linha.	Linguagem java e reestruturação do sistema, a vantagem é que usa o paradigma orientado a objetos (com grande vantagem na reutilização de código e encapsulamento de informações). Para o usuário reflete em: <ul style="list-style-type: none"> <li>- um sistema com funcionamento mais rápido,</li> <li>- menor <i>delay</i> na troca de informações,</li> <li>- desenvolvimento mais rápido nas atribuições de TI quando da criação de um novo <i>poka-yoke</i> para a linha</li> <li>- há disponibilidade de profissionais competentes no mercado conhecedores dessa linguagem de programação a despeito das demais linguagens utilizadas nas versões anteriores do sistema automático.</li> <li>- permitirá o estudo e implementação de operador treinado por LP e posto e não só por posto permitirá alterações satisfatórias em sistemas satélite tal qual é hoje a folha de processo eletrônica.</li> </ul>
Roda apenas em plataforma com sistema operacional windows	Roda apenas em plataforma com sistema operacional windows	O java é multiplataforma , irá rodar independente do sistema operacional (linux, windows), isso abre opções dentro do setor de desenvolvimento em TI
Permite relação com sistema satélite, tal qual a Folha de Processo Eletrônica	Permite relação com sistema satélite, tal qual a Folha de Processo Eletrônica	Permite relação com sistema satélite, tal qual a Folha de Processo Eletrônica, porém no caso de necessidade de uma alteração no <i>software</i> da FPE terá vantagens em questão de organização e estruturação de dados facilitando e enriquecendo o trabalho realizado pelo profissional de TI . Além disso essa última versão abre uma série de opções para as melhorias dos engenheiros de processo como é o caso de possibilitar a lógica <i>and</i> para pré-requisito de trancamentos das transações.
Uso de um servidor para todas as linhas	Uso de um servidor dedicado para cada linha	Uso de um servidor dedicado para cada linha
Uso de um <i>software</i> dedicado para a linha, outro <i>software</i> para as FPE(folha de processo eletrônica) e outro <i>software</i> para tabela de altera jobs (quantidade de <i>oks</i> provenientes de apertos e de sinais de entradas e saídas digitais)	Há um <i>software</i> dedicado a atender a linha integrando todos os equipamentos, não tem o altera jobs e tem um sistema único	Há um <i>software</i> dedicado a atender a linha integrando todos os equipamentos, não tem o altera jobs e tem um sistema único

<p>No trancamento de postos permite um único pré-requisito para aprovar um posto</p>	<p>No trancamento de postos permite multi pré-requisitos para aprovar um posto porém apenas na lógica <i>or</i></p>	<p>No trancamento de postos permite multi pré-requisitos para aprovar um posto mais lógicas <i>booleanas</i></p>
<p><i>Poka-yokes</i> de processo muito atrelados aos programas de ferramenta de apertos necessitando instalações extras e dificuldade de criação de novos <i>poka-yokes</i> a baixo custo</p>	<p><i>Poka-yokes</i> de processo mais flexíveis e fáceis de serem inseridos, tanto atrelados a ferramenta de apertos como separado delas</p>	<p><i>Poka-yokes</i> de processo ainda mais flexíveis para serem instalados e adaptados na linha e criação de suas respectivas transações.</p>
<p>Permite mais de uma ferramenta de aperto por posto mas só se forem do mesmo modelo e não permite sequenciamento de operações entre as mesmas (abrem seus trabalhos em paralelo dentro de um mesmo posto), o sequenciamento só é obtido a partir de um trabalho junto a manutenção eletrônica com a instalação de uma ponte entre os equipamentos e a criação de programa que acione a entrada digital de um equipamento em função de um sinal de saída digital do outro equipamento.</p>	<p>Permite mais de uma ferramenta de aperto por posto, permite modelos diferentes mas não permite sequenciamento de operações entre as mesmas (abrem seus trabalhos em paralelo dentro de um mesmo posto), o sequenciamento só é obtido a partir de um trabalho junto a manutenção eletrônica com a instalação de uma ponte elétrica entre os equipamentos e a criação de programa que acione a entrada digital de um equipamento em função de um sinal de saída digital do outro equipamento.</p>	<p>Permite mais de uma ferramenta de aperto por posto, permite variedade de modelos e permite fazer um sequenciamento de ferramenta de apertos direto sem precisar realizar programas específicos nem instalar pontes elétricas de entradas digitais entre os equipamentos. Permite que as ferramenta de apertos possam abrir seus trabalhos ao mesmo tempo (em paralelo) ou não, e permite assim fazer um sequenciamento de abertura de equipamentos presentes dentro de um mesmo posto ou mesmo intercalar lógicas <i>booleanas</i> entre os mesmos fazendo com que alguns abram seus trabalhos em paralelo e o fechamento de um ou ambos abram o próximo equipamento e a programação dessa lógica toda via sistema, sem intervenção no programa do equipamento</p>
<p>Trabalha por tarefas, um <i>software</i> faz a leitura do leitor e outro ativa a programação das ferramenta de apertos através da seleção dos jobs. O <i>software</i> é procedural obedecendo uma seqüência de regras.</p>	<p>Usa um <i>software</i> único que trabalha orientado a objetos, isto significa que pode diferenciar em qual ferramenta de aperto ou micro computador está conectado o <i>VIN</i> do motor o que permite uma série de monitoramentos detalhados. O fato de ser um <i>software</i> único também facilita sua manutenção.</p>	<p>Além disso é um sistema que está modificado em relação a sua estrutura, se comparado ao anterior pois está agrupado em módulos e funções (reestruturado) o que facilita a manutenção e a adição de <i>poka-yokes</i> e diversos monitoramentos e trancamentos. Permite que ao entrar no diagnóstico de um motor indique diretamente aonde o motor está e onde foi que trancou. Um exemplo, da linha MS, é o fato de que havia um microcomputador para realizar a função folga axial e outro microcomputador para realizar a função de medição e crítica da altura do pistão e com o Sistema automático nova versão passou a ter um único microcomputador com ambas as funções intercaladas. Assim tem-se para a linha do HS, objeto de estudo, um enorme potencial de se adicionar funções de rastreabilidade, monitoramentos e trancamentos em uma mesma estação de microcomputador que realiza o login do operador.</p>

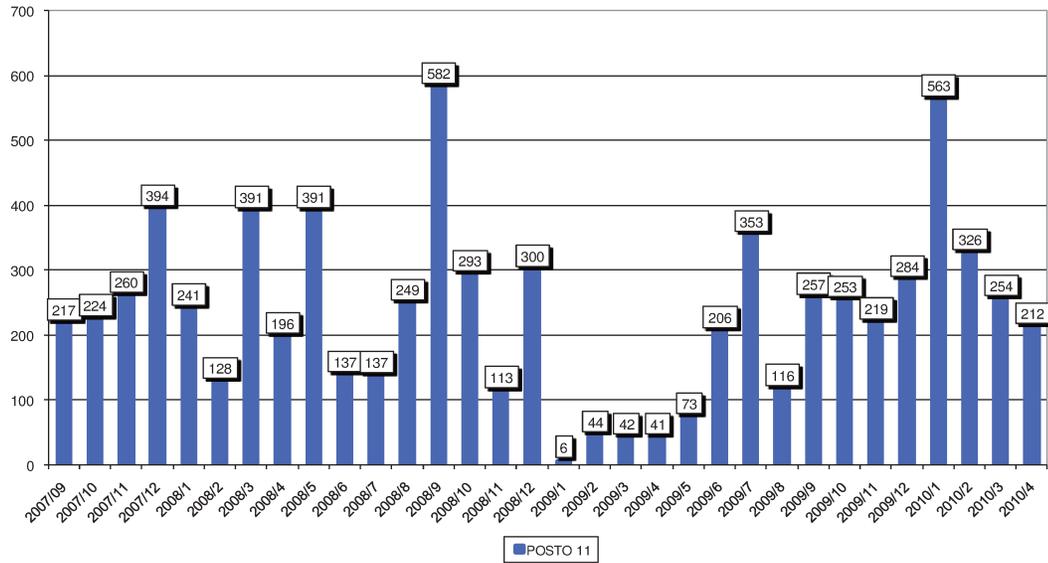
<p>Quem gera a aprovação de um posto é o banco de dados através de uma <i>disparo</i> (pulso e contagem) pois o banco de dados busca a informação dos apertos realizados do servidor servidor das ferramentas de aperto e os envia ao sistema automático, em paralelo o sistema automático compara a quantidade de apertos realizados pelos dados recebidos com uma tabela de <i>Altera jobs</i> a qual é atualizada manualmente pelos engenheiros da linha e esta informação contida na tabela sempre deve coincidir com a informação lançada no programa de cada equipamento. Ao mesmo tempo o sistema automático busca informação do sistema FPE (folha de processo eletrônica) para saber se pode habilitar um novo posto de trabalho e envia estas informações às ferramentas de apertos. As ferramentas de apertos por sua vez enviam dados de reposta ao servidor das ferramentas de aperto.</p>	<p>As ferramenta de apertos possuem maior integração com o sistema, são elas quem realizam seqüência de jobs. Altrações de programa são feitas pelos engenheiros de processo diretamente no equipamento sem ter que duplicar a informação em uma tabela. No caso de <i>poka-yokes</i> associados ao processo, quem gerencia é o sistema automático, a nao ser que o <i>poka-yoke</i> esteja ligado direto na ferramenta de aperto através de um programa, assim ao final do trabalho é a ferramenta de aperto que responde o <i>job ok</i> para ao servidor. Todos os equipamentos presentes e pertencentes ao posto , como ferramentas de aperto, estações de inspeção, rastreabilidade de componentes e <i>poka-yokes</i> respondem ao servidor, que espera todos os <i>ok</i> do posto conforme cadastro destes equipamentos cadastrados no posto.</p>	<p>Faz tudo que a versão anterior propunha e ainda permite maiores flexibilidades como alterar o seqüenciamento de ferramenta de apertos e <i>poka-yokes</i> dentro de um mesmo posto, porém ainda editável somente pelo pessoal de TI (uma proposta de melhoria é permitir essa edição para o engenheiro de processo) e permitir uma série maior de lógicas <i>booleanas</i> entre os equipamentos pertencentes a um mesmo posto de trabalho (aumentar a flexibilidade do processo)</p>
<p>Permite sobreposição de leitura de uma FCM (ficha de construção do motor)</p>	<p>Não permite sobreposição de leitura de uma FCM (ficha de construção do motor). Não gera problema de releitura (sobreposição) pois uma nova leitura de código de barras só é permitida após o fim da transação (seja por modo automático seja por <i>Abort job</i>)</p>	<p>Não permite sobreposição de leitura de uma FCM (ficha de construção do motor). Não gera problema de releitura (sobreposição) pois uma nova leitura de código de barras só é permitida após o fim da transação (seja por modo automático seja por <i>Abort job</i>)</p>
<p>Um sistema cuida das leituras do leitores e jogava numa fila, um outro sistema consome da fila e envia para a ferramenta de aperto, um terceiro sistema faz a aprovação de postos direto no banco de dados</p>	<p>Um único sistema faz tudo</p>	<p>A melhoria realizada é o uso de interfaces que facilitam a integração com outros sistemas tornando interferências, alterações e inclusão de novos <i>poka-yokes</i> mais transparente e rápida</p>
<p>Após aberto um posto de trabalho ele não pode ser resetado, porém permite sobreposição de leitura de fichas de construção .</p>	<p>Criou-se a opção de um <i>Abort job</i> como maneira de resetar uma operação e refazê-la com segurança além de deixar registrado o posto e data-hora em que ocorreu essa transação de cancelamento.</p>	<p>Mantém o conceito de <i>reset</i> do posto por <i>Abort job</i> mas também tem uma interface web para reiniciar o posto de trabalho individualmente, por exemplo, reinicia só o posto 10 que foi onde teve problema e não toda a linha o que poderia acarretar em retrabalhos os quais além do tempo desperdiçado tornam o processo vulnerável a falhas</p>

## APÊNDICE L – Gráficos de amostras de intervenções por *altera status* ou *abortjob*



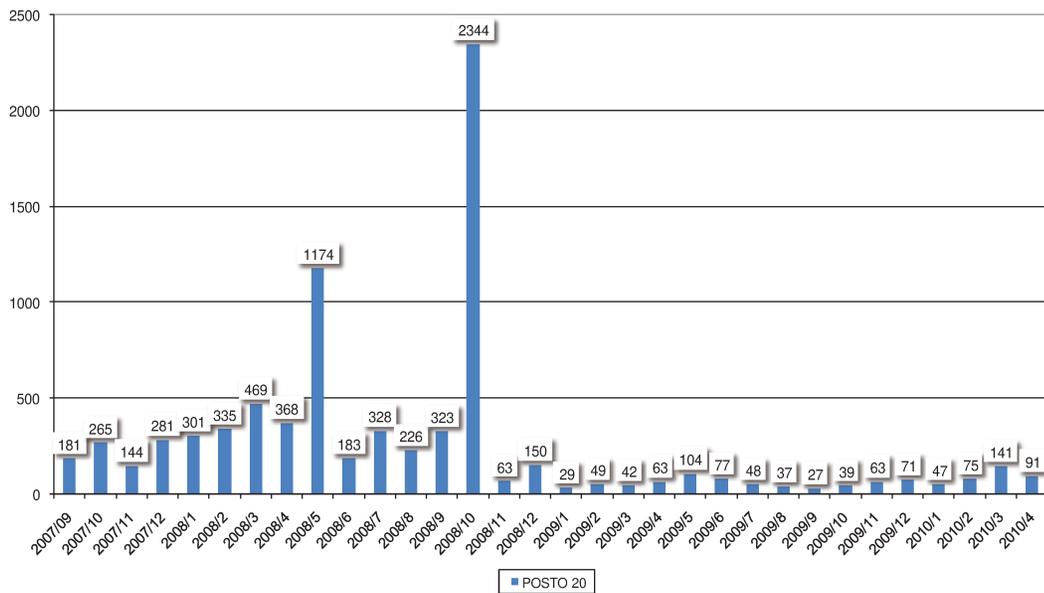
Exemplo de quantidade de intervenções de altera status realizadas no posto 3 compreendendo as transações acumuladas em “HS – Posto 3 OK”, “Rastreabilidade do virabrequim OK” e “Folga Axial OK” no período de setembro de 2007 a abril de 2010.

QUANTIDADE DE MOTORES / ALTERA STATUS



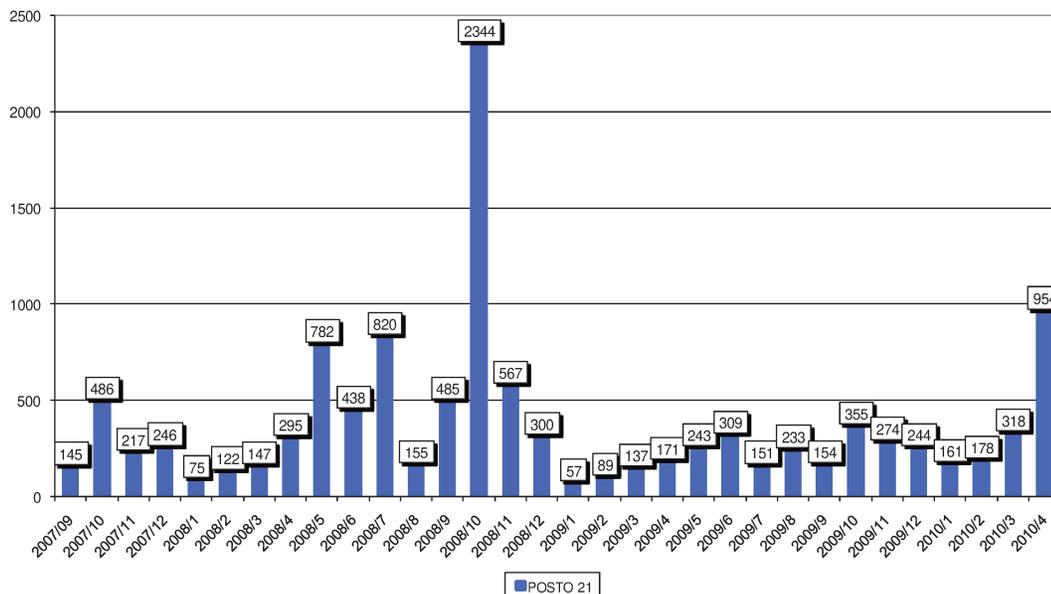
Exemplo de quantidade de intervenções de altera status realizadas no posto 11 compreendendo as transações acumuladas em “Robo de cola OK”, “Inspeção do cárter OK” e “HS – Posto 11 OK” no período de setembro de 2007 a abril de 2010.

QUANTIDADE DE MOTORES / ALTERA STATUS



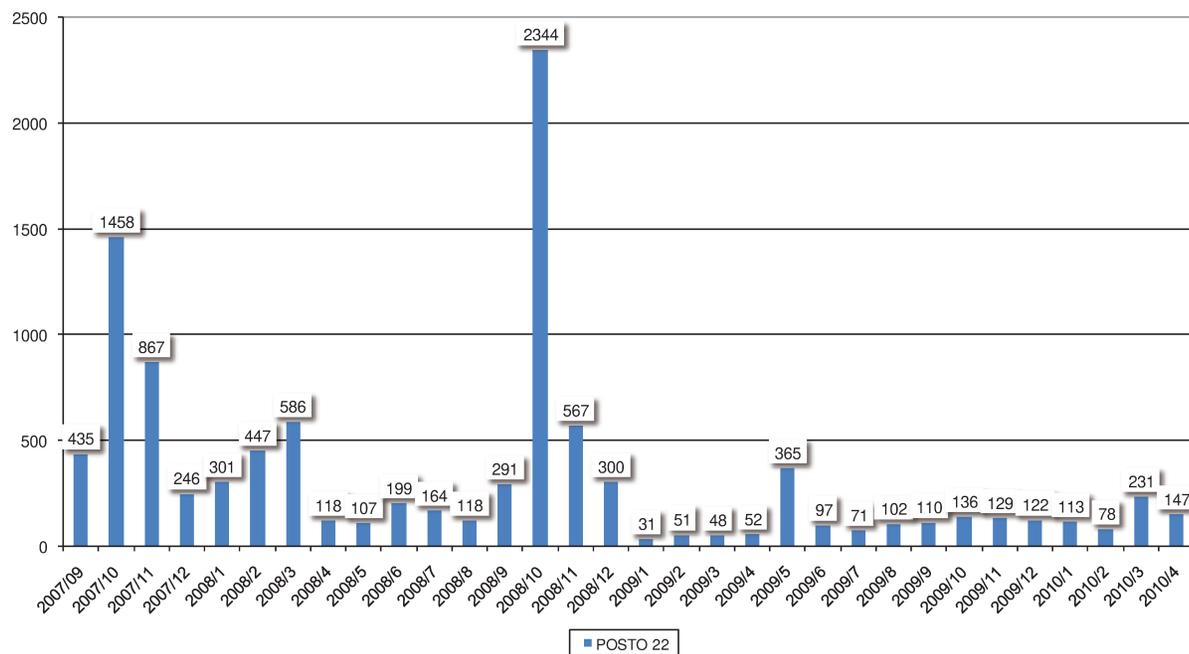
Exemplo de quantidade de intervenções de altera status realizadas no posto 20 compreendendo a transação “HS – Posto 20 OK” no período de setembro de 2007 a abril de 2010.

QUANTIDADE DE MOTORES / ALTERA STATUS



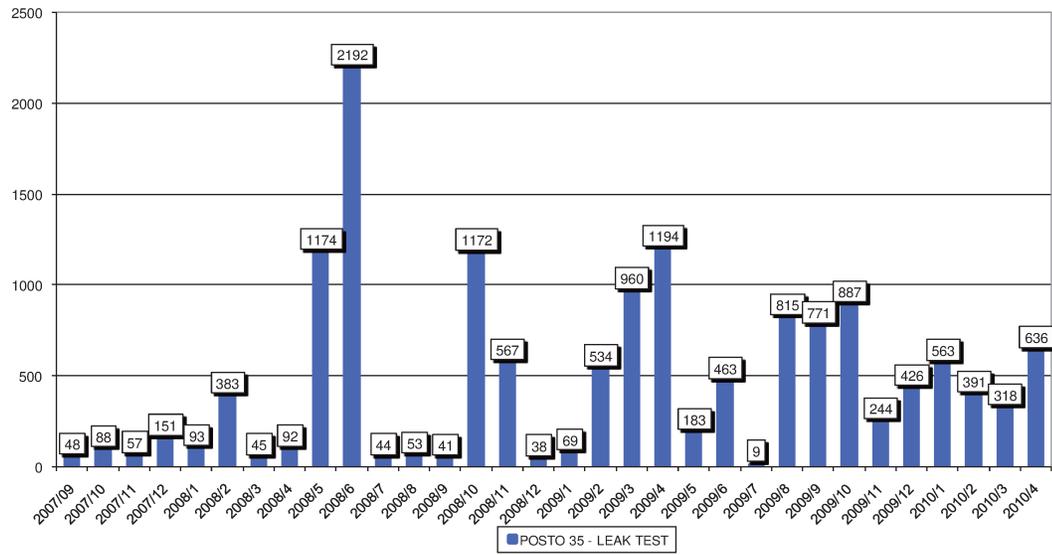
Exemplo de quantidade de intervenções de altera status realizadas no posto 21 compreendendo a transação “HS – Posto 21 OK” no período de setembro de 2007 a abril de 2010.

QUANTIDADE DE MOTORES / ALTERA STATUS



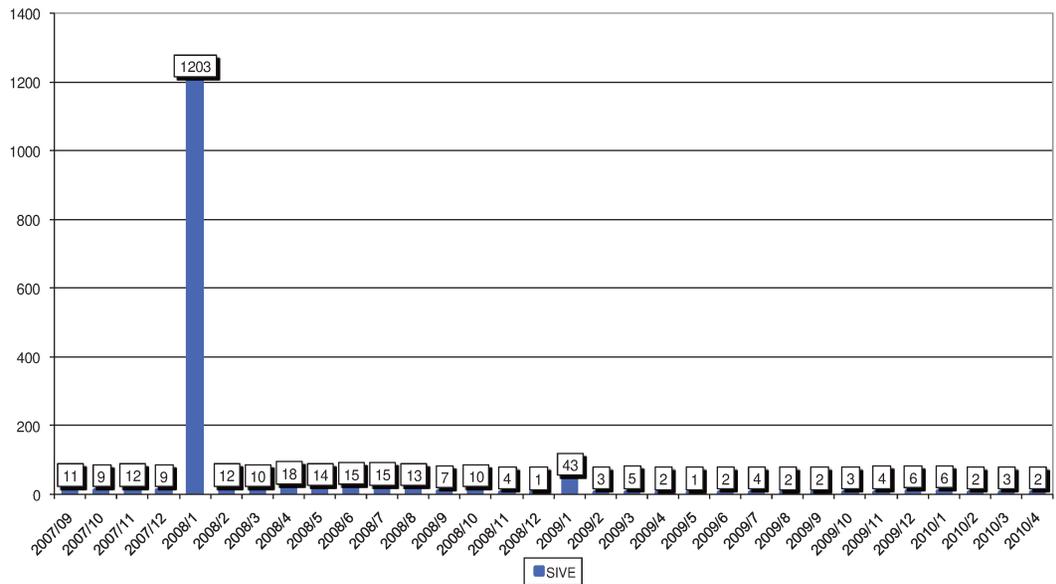
Exemplo de quantidade de intervenções de altera status realizadas no posto 22 compreendendo a transação “HS – Posto 22 OK” no período de setembro de 2007 a abril de 2010.

QUANTIDADE DE MOTORES / ALTERA STATUS



Exemplo de quantidade de intervenções de altera status realizadas no posto 35 – *Leak Test* compreendendo a transação “HS – Posto 35 OK” no período de setembro de 2007 a abril de 2010.

QUANTIDADE DE MOTORES / ALTERA STATUS



Exemplo de quantidade de intervenções de altera status realizadas no SIVE compreendendo a transação “SIVE – Inspeção Final OK” no período de setembro de 2007 a abril de 2010.

Quantidade de motores/ abort job - POSTO 20

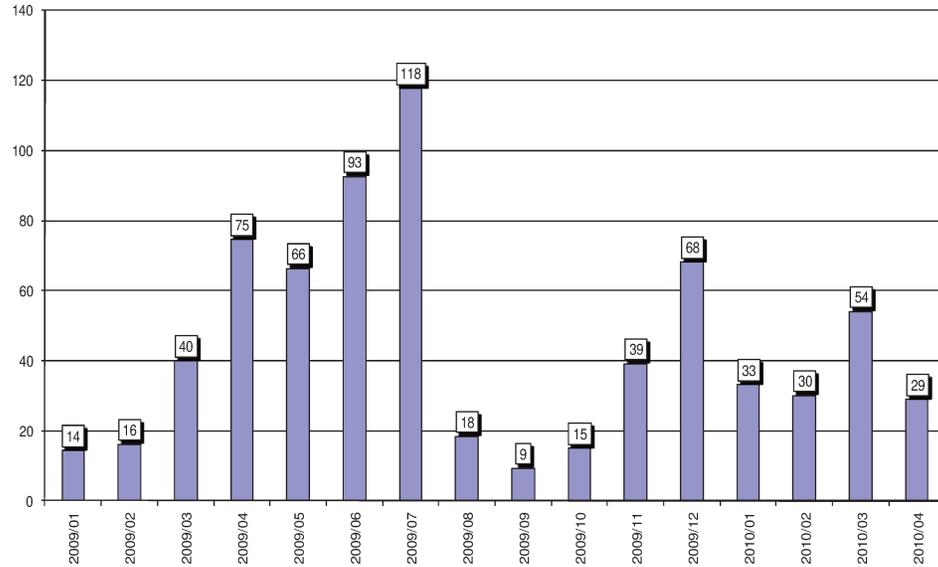


Gráfico mostrando a razão entre o número de motores produzidos e a quantidade de *Abort job*, por mês, para transação “posto 20 – ok” dentro do período de janeiro de 2009 a abril de 2010.

Quantidade de motores/ abort job - POSTO 21

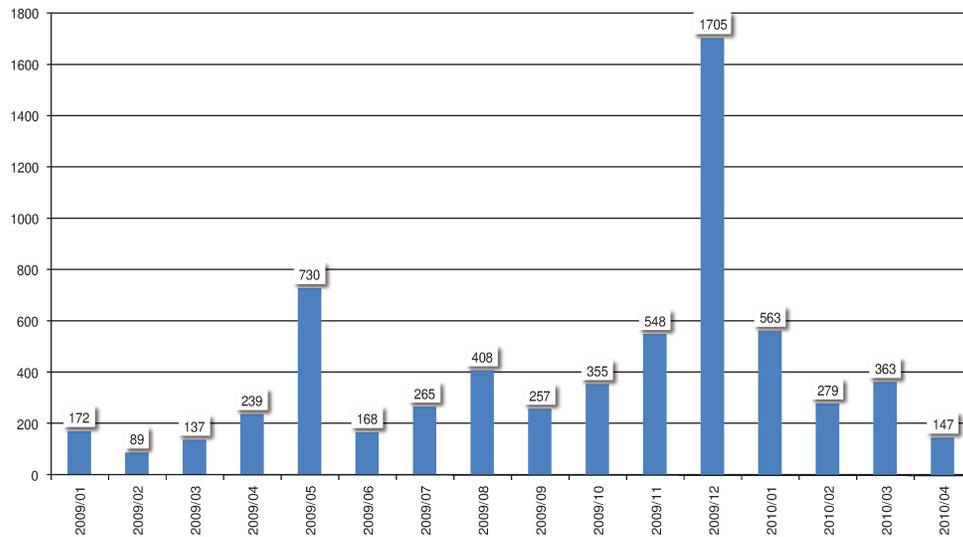


Gráfico mostrando a razão entre o número de motores produzidos e a quantidade de *Abort job*, por mês, para transação “posto 21 – ok” dentro do período de janeiro de 2009 a abril de 2010.

Quantidade de motores/ abort job - POSTO 22

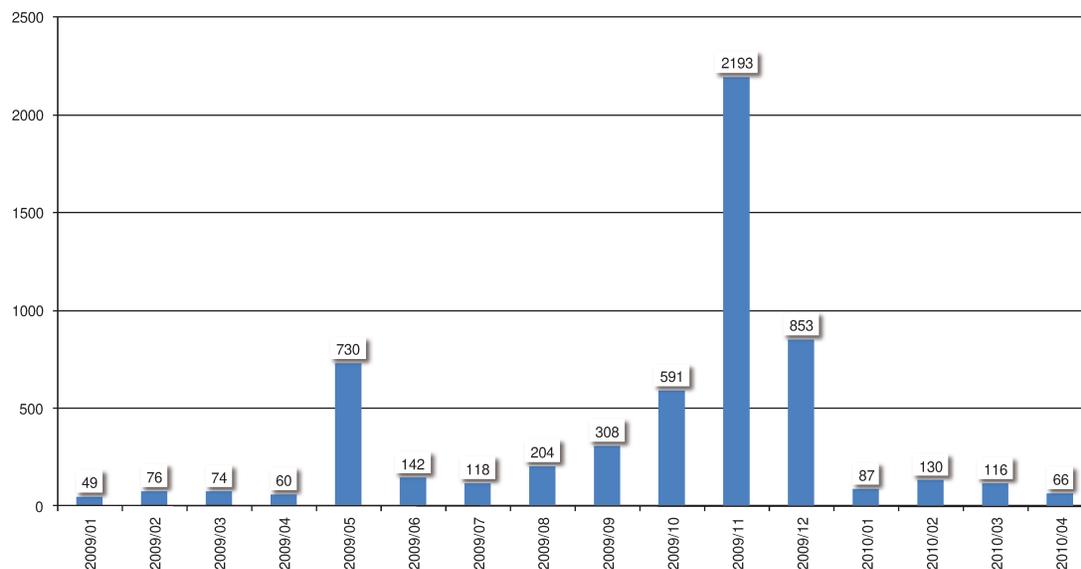


Gráfico mostrando a razão entre o número de motores produzidos e a quantidade de *Abort job*, por mês, para transação “posto 22 – ok” dentro do período de janeiro de 2009 a abril de 2010.