

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTOS ACADÊMICOS DE ELETRÔNICA e MECÂNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

DAVI FERREIRA TERTULIANO

FABRICIO ANTONIO GANS

**MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM UM ROBÔ DE UMA
LINHA DE ESTAMPAGEM: UM CASO DE ESTUDO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2012

DAVI FERREIRA TERTULIANO

FABRICIO ANTONIO GANS

**MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM UM ROBÔ DE UMA
LINHA DE ESTAMPAGEM: UM CASO DE ESTUDO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, dos Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Dr. Décio Estevão do Nascimento

CURITIBA

2012

DAVI FERREIRA TERTULIANO

FABRICIO ANTONIO GANS

**MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM UM ROBÔ
DE UMA LINHA DE ESTAMPAGEM: UM CASO DE ESTUDO**

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 11 de julho de 2012, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Os alunos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Me. Milton Luiz Polli
Coordenador de Curso
Departamento Acadêmico de Mecânica

Prof. Dr. Décio Estevão do Nascimento
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Décio Estevão do Nascimento
Orientador

Profa. Me. Simone Crocetti

Prof. Ubiradir Mendes Pinto

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se em poder da coordenação do curso”

Dedicamos este trabalho à nossos pais que nos deram a maior herança que poderíamos receber: a educação e o acesso aos estudos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecemos a Deus por ter nos dado a vida e a cada dia tem nos ajudado a vencer todas as lutas e problemas que tem surgido.

Agradecemos a nossos pais, irmãos e familiares que sempre estiveram ao nosso lado e sempre nos apoiaram em nossas decisões e têm sido a base e sustento de nossa vida.

Agradecemos aos amigos que fizemos durante o período de estudos na UTFPR, que fez com que nos desenvolvêssemos profissionalmente e como pessoa (devido às várias situações vividas em sala de aula) e que iremos levar para sempre em nossos corações.

Agradecemos ao nosso orientador Décio pela dedicação ao corrigir e nos orientar na elaboração do nosso projeto final.

Agradecemos ao Djalma (proprietário da lanchonete Djalma Lanches) por sempre nos oferecer um delicioso x-coxinha, que matava nossa fome após várias horas de estudo.

Agradecemos ao São Paulo Futebol Clube e ao Clube Atlético Paranaense por nos dar alegrias em nossos momentos de descontração.

RESUMO

TERTULIANO, Davi Ferreira; GANS, Fabricio Antonio. **Manutenção Centrada em Confiabilidade em um Robô de uma Linha de Estampagem**: Um Caso de Estudo. 2012. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Mecatrônica Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

Este estudo teve como principal objetivo propor um plano de manutenção para os componentes dos sistemas críticos de um robô de uma linha de estampagem utilizando a metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC). Para atingir esse objetivo foi desenvolvida uma pesquisa de natureza aplicada, com abordagem qualitativa do problema, exploratória em relação aos objetivos, utilizando-se das técnicas de pesquisas bibliográfica, documental e de campo. A partir do estudo feito, utilizando-se de ferramentas da MCC, foi possível propor um plano de manutenção para os subsistemas mais críticos do robô e ainda sugerir algumas ações, a serem implementadas nas empresas, no que se refere aos seus processos de manutenção.

Palavras-chave: Plano de Manutenção. Linha de Estampagem. Manutenção Centrada em Confiabilidade.

ABSTRACT

TERTULIANO, Davi Ferreira; GANS, Fabricio Antonio. **Reliability-Centered Maintenance in a Stamping Line Robot: A Study Case.** 2012. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Mecatrônica Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

This study had as main objective to propose a maintenance plan for components of critical systems of stamping line robot using the methodology of Reliability Centered Maintenance (RCM). To reach this objective was developed a research of an applied constitution, with qualitative approach to the problem, exploratory about the objectives, using the techniques of bibliographical, documentary and field. From the study, using the tools of the RCM, it was possible to propose a maintenance plan for the most critical subsystems of the robot and even suggest some actions, to be implemented in companies, with regard to their maintenance processes.

Key-words: Maintenance Plan. Stamping Line. Reliability Centered Maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da manutenção.....	18
Figura 2 - Gerações da Manutenção	19
Figura 3 - Tipos de manutenção x Resultado.....	25
Figura 4 - Padrões de falhas	28
Figura 5 - Gerações da TPM.....	30
Figura 6 - Pilares da TPM.....	32
Figura 7 - Diagrama de Decisão MCC.....	41
Figura 8 - Ilustração linha de prensas robotizada.....	45
Figura 9 - Organograma simplificado Manutenção da Empresa	48
Figura 10 - Desenho esquemático da linha de prensas 1	50
Figura 11 - Tempo de máquina parada por operações - Linha de presas 1 - 2011...51	
Figura 12 - Robô industrial com 6 eixos	52
Figura 13 - Tempos de máquina parada por subsistema - 2011	54
Figura 14 - FMEA simplificado subsistema pneumático / garra.....	61
Figura 15 - FMEA simplificado subsistema sensoramento de chapa	62
Figura 16 - Plano de manutenção	65

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Matéria-prima - Blank.....	46
Fotografia 2 - Inventário de garras	53
Fotografia 3 - Robô1- Sistema em processo de produção	53
Fotografia 4 - Exemplo de garra Robô 1	57
Fotografia 5 - Disposição da ventosa na garra do Robô 1	58
Fotografia 6 - Sensor de dupla chapa	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Funções e falhas funcionais - Subsistema pneumático / garra.	59
Quadro 2 - Funções e falhas funcionais - Subsistema de sensoriamento de chapa.	59
Quadro 3 - Tarefas de manutenção propostas.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tempos de máquina parada no setor de manutenção – 2011	49
Tabela 2 – Comparativo de tempos de perdas de manutenção por setor – 2011	50

LISTA DE SIGLAS

NBR - Norma brasileira

LISTA DE ABREVIATURAS

FMEA	- <i>Failure Modes Effects Analysis</i>
FMECA	- <i>Failure Modes Effects and Criticality Analysis</i>
MCC	- Manutenção centrada em confiabilidade
NBR	- Norma brasileira
TMEF	- Tempo médio entre falhas
TMPR	- Tempo médio para reparos
TPM	- <i>Total Productive Maintenance</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMA	13
1.1.1 Contexto do Problema	13
1.1.2 Pergunta de Pesquisa	14
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
1.2.3 Justificativa	15
1.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA.....	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1 A HISTÓRIA DA MANUTENÇÃO.....	18
2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO	20
2.2.1 Manutenção Corretiva	20
2.2.1.1 Tipos de manutenção corretiva	21
2.2.2 Manutenção Preventiva.....	22
2.2.3 Manutenção Preditiva.....	23
2.2.4 Manutenção Detectiva.....	24
2.2.5 Engenharia de Manutenção	25
2.3 TIPOS DE FALHAS.....	26
2.3.1 Falha Primária	26
2.3.2 Falha de Comando	27
2.3.3 Falha Secundária	27
2.3.4 Análise e Documentação das Falhas	29
2.4 TÉCNICAS E CONCEITOS APLICADOS NA MANUTENÇÃO	29
2.4.1 Manutenção Produtiva Total (TPM).....	29
2.4.1.1 Grandes perdas.....	30
2.4.1.2 Quebra zero	31
2.4.1.3 Oito pilares da TPM.....	32
2.4.2 Fmea	33
2.4.3 Fmeca	34
2.4.4 Confiabilidade.....	35
2.4.5 Disponibilidade	36
2.4.6 Mantenabilidade	37
2.5 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE	37
2.5.1 Seleção do sistema e coleta de informações	39
2.5.2 Análise de modos de falha e efeito.....	39
2.5.3 Seleção de funções significantes	40
2.5.4 Seleção de atividades aplicáveis.....	40
2.5.5 Avaliação da efetividade das atividades.....	41
2.5.6 Seleção das tarefas aplicáveis e efetivas	42
2.5.7 Definição da periodicidade das atividades	42
2.5.8 Avaliação e acompanhamento	42
3 CASO DE ESTUDO	45
3.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE ESTAMPAGEM	45
3.2 ORGANIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO.....	47
3.3 PROBLEMATIZAÇÃO	49
3.4 ROBÔ INDUSTRIAL.....	51
3.4.1 Funcionamento Sistema Robótico.....	52

3.5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DA APLICAÇÃO MCC	55
3.5.1 Seleção e Coleta de Informações.....	55
3.5.2 Identificação das Funções e Falhas Funcionais.....	59
3.5.3 Análise dos Modos e Efeitos de Falha	60
3.5.4 Diagrama de Seleção de Tarefas.....	63
3.5.5 Análises.....	63
3.5.6 Ganhos em Confiabilidade	64
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
REFERÊNCIAS.....	69
APÊNDICE 1 - PLANILHA DE INPUTAÇÃO DE FALHAS	71
APÊNDICE 2 - PLANILHA DE DECISÃO MCC	72
ANEXO 1 - MODELO DE FORMULÁRIO FMEA	73

1 INTRODUÇÃO

Dentro de um processo industrial a gerência de manutenção assume um importante papel no meio produtivo. Isso se deve ao aumento da complexidade dos sistemas técnicos e a sua relação com o meio em que funcionam (JESUS, 2004).

A história da manutenção é compreendida basicamente em três gerações. A primeira geração ocorreu na época da Segunda Guerra Mundial, onde a manutenção era sempre corretiva, ou seja, quando a máquina ou o equipamento quebravam e eram consertados (MOUBRAY, 1997). A segunda geração, de acordo com Moubray (1997), é compreendida após a Segunda Guerra em que a mão-de-obra estava escassa, necessitavam de equipamentos com maior vida útil e custos de manutenção mais baixos. A terceira geração da manutenção é compreendida quando as exigências em termo de qualidade dos produtos aumentaram. Os termos disponibilidade e confiabilidade passaram a ser conhecidos dentro do meio de manutenção, assim como segurança e preservação do meio ambiente (MOUBRAY, 1997).

Segundo Moubray (1997), a manutenção mudou nos últimos anos, talvez mais do que outras áreas. Novas técnicas de manutenção surgiram ao redor do mundo e novas visões de sua organização e responsabilidades foram sendo introduzidas para fazer face ao aumento da complexidade dos novos sistemas de produção.

No cotidiano de manutenção, confiabilidade anda junto com a manutenibilidade e disponibilidade. O objetivo da manutenção é garantir a disponibilidade da função dos equipamentos de modo a atender o processo de produção ou o serviço com alta confiabilidade, segurança, preservação ambiental e custos apropriados (PINTO; XAVIER, 2009).

Uma das novas metodologias criadas, com o passar do tempo, na área de manutenção foi a metodologia Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC). Essa metodologia foi inicialmente implantada na área aeronáutica nos Estados Unidos. Depois de obter sucesso nesta área esta metodologia foi difundida para outras áreas, sendo bem aceita por diversas áreas industriais (SIQUEIRA, 2005).

Dentro da gestão de manutenção existem práticas e ferramentas que melhor convém para se ter uma gerencia adequada nas atividades de manutenção. Pinto e

Xavier (2009) definem como boas práticas de manutenção. Segundo ele essas boas práticas permitem a redução do tempo de reparo de máquina e também garantem um reparo mais confiável sem que haja retrabalho. A equipe de manutenção é essencial e é com ela que as boas práticas devem ser utilizadas e aplicadas.

Pinto e Xavier (2009) evidenciam também que o treinamento desta equipe deve ser feito em vários níveis e a medida do possível alguns processos de reciclagem e introdução de novos métodos e instrumentos devem ser colocados para funcionar no departamento de manutenção.

No projeto e concepção de um sistema diversos fatores são considerados dentro do escopo, tais quais materiais, circuitos eletrônicos, tolerâncias geométricas, sistema de controle e acionamento, etc. Mas em relação aos conceitos de confiabilidade os engenheiros de projeto não aplicam efetivamente tais princípios, diferentemente das outras etapas de projeto. A confiabilidade em fase de projeto é definitivamente a etapa correta para as aplicações desses princípios, mas na maioria das vezes não existe esse comprometimento (PIAZZA, 2000).

Diante disto a manutenção baseada em confiabilidade desempenha papel fundamental para o bom funcionamento de equipamentos e sistemas, determinando o procedimento necessário para criação de documentação e plano de manutenção (PIAZZA, 2000). O plano de manutenção destina-se à documentação (como um formulário) de todas as etapas da Manutenção Centrada na Confiabilidade. Este plano descreve desde a definição das funções do sistema, até a seleção das atividades propostas para cada modo de falha encontrado (SIQUEIRA, 2005).

1.1 PROBLEMA

1.1.1 Contexto do Problema

O caso de estudo será realizado em uma empresa que possui uma linha de estampagem constituída por robôs. O Setor de Estamparia da empresa é composto por 3 linhas de produção, sendo 2 linhas de estampagem robotizadas e 1 linha de

estampagem manual. O estudo está delimitado especificamente a um dos robôs de uma das linhas de prensas (estampagem).

Este robô, doravante chamado de Robô 1, é um sistema extremamente importante para a produção de chapas conformadas na sua linha. Problemas e falhas ocasionados nesse sistema implicam em linha parada, tempo desperdiçado e falta de peças no fim da linha, causando então prejuízos consideráveis à empresa.

1.1.2 Pergunta de Pesquisa

No contexto acima apresentado, a pergunta que se pretende responder por meio deste estudo é: **Como poderia ser planejada a manutenção de subsistemas críticos de um robô de uma linha de estampagem?**

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Propor um plano de manutenção para os componentes dos sistemas críticos de um robô de uma linha de estampagem utilizando a metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC).

1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar as funções do Robô que apresenta maiores problemas;
- Identificar as principais falhas e as prováveis causas dentro do subsistema crítico do Robô;

- Analisar os modos e efeitos das principais falhas causadoras de indisponibilidade do Robô 1 para os subsistemas mais críticos, a partir do ponto de vista da MCC;
- Documentar os modos e efeitos de falha.

1.2.3 Justificativa

As linhas de estamparia são importantes na produção de peças conformadas utilizadas em diferentes produtos. No caso de veículos automotores, por exemplo, o processo de estampagem é um dos pontos iniciais de sua produção. É da estamparia que saem peças estruturais, internas e externas, que posteriormente serão soldadas formando assim toda a carroceria de um carro.

Visto o grau de importância das linhas de estampagem faz-se importante também a constante atuação de uma equipe de manutenção especializada a fim de manter as máquinas em operação. Quando se fala em alta disponibilidade de máquina está se referindo especificamente à utilização de uma manutenção aprimorada e com conceitos aplicáveis da gestão de manutenção, dentre os quais os de manutenção corretiva, preventiva e preditiva de fundamental importância.

A linha de prensas observada no presente estudo, é uma linha altamente automatizada, composta por 4 operações (prensas) em linha e entre cada operação existe um robô que passa a chapa de operação em operação, totalizando 6 robôs. O Robô1, foco desde trabalho, é o primeiro robô da linha e é ele que pega a chapa do palete de matéria-prima e dá início ao processo. Tanto os robôs quanto as prensas, trabalhando em conjunto, necessitam de alta disponibilidade a fim de que se tenha uma produção constante e sem paradas desnecessárias. Enfim, faz-se necessário a utilização e aplicação de conceitos e metodologias da engenharia de manutenção e confiabilidade que garantam a disponibilidade de todos os sistemas da linha.

O estudo levantou que o robô, pela natureza de sua atividade e pela sua alta utilização, é responsável por elevados tempos de parada (conforme apresentado no item 3.3) em função de falhas em seus sistemas mecânico, elétrico e pneumático.

O curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial fornece bases científicas e tecnológicas especialmente úteis em etapas de concepção, construção e

implementação de sistemas complexos, desde seu projeto até sua implantação. Disciplinas como gestão de projetos, de produção e de manutenção mostram processos e metodologias que estão sendo utilizados e desenvolvidos no meio industrial.

A gestão de manutenção, foco principal deste estudo, é necessária antes, durante e após o desenvolvimento de um sistema. Poderia ser chamada de Engenharia de manutenção, pois planeja o que deve ser feito para que o sistema não falhe, opere nas condições aceitáveis e com qualidade final conforme.

1.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

Em termos de classificação da pesquisa, em relação a sua natureza pode ser considerada como aplicada, pois objetiva gerar conhecimento para aplicação prática e é dirigido a problemas específicos. Do ponto de vista da abordagem do problema a pesquisa é qualitativa, pois será realizada indutivamente pelos pesquisadores. Em relação ao objetivo ela é exploratória. Quanto aos procedimentos técnicos ela se utiliza de técnicas de pesquisas bibliográficas, experimentais e documentais (SILVA; MENEZES, 2005).

O desenvolvimento deste trabalho envolveu as seguintes etapas: coleta e tratamento das informações da literatura; coleta das informações de campo; análise e estruturação das informações de campo e; por fim, consolidação dos resultados e elaboração da documentação necessária à proposta.

No embasamento teórico deste trabalho predomina a utilização de literaturas da área de gestão de manutenção e engenharia de confiabilidade. As ferramentas e conceitos aplicados à análise de confiabilidade em campo foram baseados em modelos e métodos da bibliografia estudada.

A coleta e o levantamento de informações de campo deram ao trabalho os dados necessários para a análise em confiabilidade conforme o objetivo geral e os específicos. Na Empresa, onde foi realizada a pesquisa de campo, existe um controle detalhado de dados e informações de produção, que nada mais é que um documento preenchido diariamente pelos operadores de fabricação. Esse documento engloba departamentos diversos dentro do setor de estamparia, tais

quais: qualidade do fornecedor de matéria-prima, fabricação, manutenção, logística, engenharia. Os dados de parada de máquina relacionada ao Robô 1 da linha de estampagem foram coletados destes documentos e analisados em formato de planilha eletrônica e de gráficos.

O caso de estudo foi dividido seguindo alguns passos essenciais da metodologia Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC). Primeiramente foi identificado e caracterizado o sistema Robô 1. Posteriormente ele foi subdividido em subsistemas e o mais crítico deles foi analisado segundo os passos da MCC: caracterização do subsistema e suas funções principais; análise dos modos e efeitos e; finalmente, a proposição de um plano de manutenção para o subsistema.

A análise e estruturação das informações de campo, como dito anteriormente, foi baseada nos métodos e conceitos da bibliografia a fim de se obter um planejamento de manutenção e a criação dos documentos de gestão de manutenção propostos como objetivos deste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A HISTÓRIA DA MANUTENÇÃO

A palavra manutenção origina-se da palavra *manutentione* (em latim) que significa ação de segurar com a mão. No dicionário a manutenção tem o seguinte significado: as medidas necessárias para a conservação ou permanência de alguma coisa ou situação em funcionamento (FERREIRA, 2010).

O surgimento da manutenção deveu-se principalmente aos processos sociais e tecnológicos que se desenvolveram após a Segunda Guerra Mundial. O desenvolvimento de novas tecnologias, inicialmente a indústria bélica americana e a automação industrial, causou uma grande dependência pelos meios automáticos de produção. Com essa dependência fez-se necessário um desenvolvimento da metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade, motivada por novas concepções e exigências prioritárias de projeto e processos industriais, tais novas concepções vinculadas certamente ao meio ambiente e até mesmo a segurança física dos seres humanos (SIQUEIRA, 2005).

Historicamente a manutenção pode ser dividida em três gerações (Figura 1 e Figura 2).

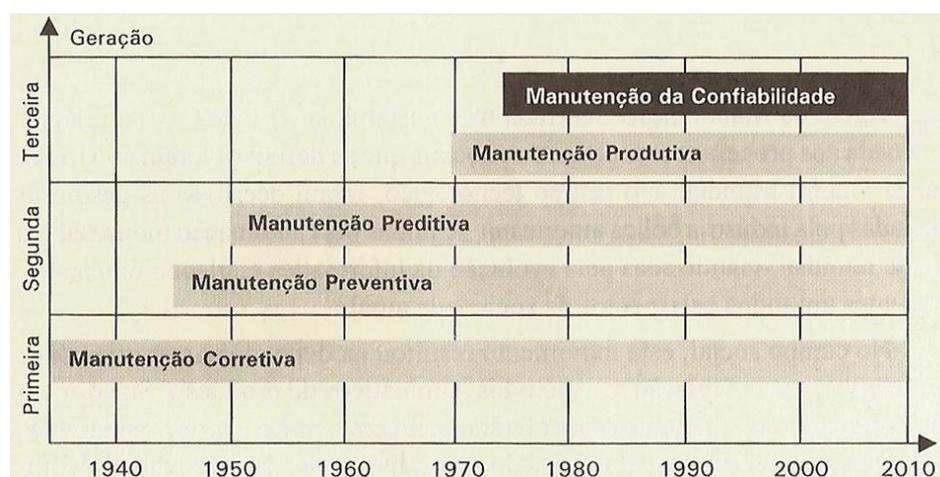


Figura 1 - Evolução da manutenção
Fonte: Siqueira (2005, p.04)

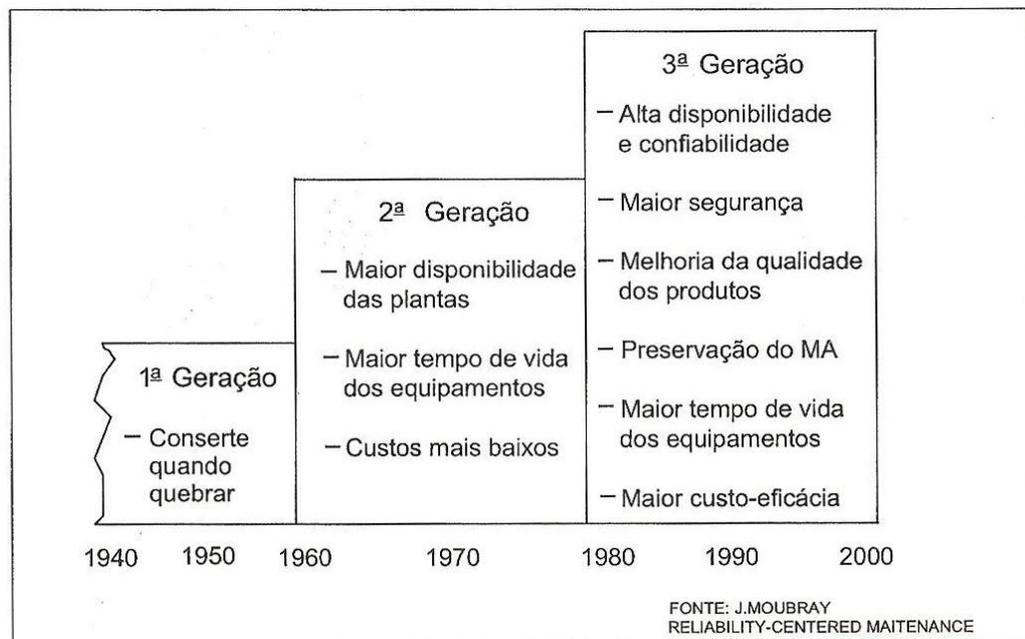


Figura 2 - Gerações da Manutenção
Fonte: Moubray¹ (1997 apud LAFRAIA, 2001, p.239)

A primeira geração trata-se basicamente de uma época (entre 1940 e 1950) em que a manutenção industrial era simples. Eram utilizados equipamentos menos sofisticados e a manutenção planejada praticamente não existia salvo em momentos de manutenção preventiva de serviço de limpeza e lubrificação. Era somente exigido que o maquinário fosse reparado quando necessário com o aparecimento das falhas (SIQUEIRA, 2005).

A segunda geração ocorreu em uma época compreendida entre o final da Segunda Guerra Mundial e o ano de 1975. É o resultado da grande industrialização que surgiu após a guerra, foi nessa época que surgiram as linhas contínuas de produção e conseqüentemente a dependência social aos processos automatizados de produção (SIQUEIRA, 2005).

Devido à rápida automatização surgiu a necessidade de mão-de-obra especializada, o que era difícil para a época. Com isso o custo com correção de falhas cresceu e foi necessário um desenvolvimento de técnicas de manutenção preventiva, com o intuito de minimizar as grandes perdas por falhas em máquinas.

¹ MOUBRAY, John. **Reliability-centered maintenance**. 2nd ed. New York: Industrial Press, c1997. 426 p. ISBN 0-8311-3146-2

A partir daí surgiram técnicas de manutenção preditiva e de revisão periódica dos equipamentos, completando atividades de correção de falhas, lubrificação e limpeza herdadas da primeira geração (SIQUEIRA, 2005).

A partir de 1975, com a terceira geração, novas exigências passaram a surgir no contexto industrial e social que se via cada vez mais dependente da automação. A manutenção assim se tornou não só de grande importância, mas também indispensável à manufatura. O grande crescimento dos custos, mão-de-obra e capital juntamente com a concorrência mundial, obrigaram as indústrias a se preocupar cada vez mais em dimensionar e utilizar seu maquinário a fim de obter o máximo de produtividade. A gestão de manutenção a partir daí teve que se preocupar não somente em corrigir falhas, mas sim em garantir confiabilidade e disponibilidade dos meios de produção e por fim qualidade e desempenho aceitável dos produtos (SIQUEIRA, 2005).

2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

O que caracteriza um tipo de manutenção é basicamente a maneira a qual a intervenção é realizada. A utilização e aplicação dos tipos de manutenção podem ser auxiliadas por algumas ferramentas, dentre elas se destacam: Manutenção Produtiva Total (TPM) e Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC). Com o passar do tempo e o avanço das tecnologias foram sendo implementadas algumas variações na manutenção (VIANA2002).

De acordo com Pinto e Xavier (2001) existem os seguintes tipos de manutenção: manutenção corretiva, manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção detectiva e engenharia de manutenção.

2.2.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva consiste basicamente na atuação sobre o equipamento que está com alguma falha ou com seu funcionamento comprometido.

Segundo Pinto e Xavier (2009), existem duas condições que levam à manutenção corretiva:

- Desempenho deficiente;
- Ocorrência da falha.

Segundo a Norma NBR 5462 (1994, p.07), a manutenção corretiva é “a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a realocar um item em condições de executar uma função requerida”.

Para Viana (2002, p.10), a manutenção corretiva é “a intervenção imediata para evitar grandes consequências aos instrumentos de produção, à segurança do trabalhador ou ao meio ambiente”. Assim a manutenção corretiva se configura em uma manutenção aleatória sem caráter de planejamento, sem definições anteriores. Assim a manutenção é comparada a uma equipe de bombeiros que fica sempre atuando para “apagar incêndios”.

Lafraia (2001, p.173) “cita a manutenção corretiva como sendo a manutenção que inclui todas as ações para retornar um sistema do estado falho para o estado operacional ou disponível”, sendo que a frequência da ocorrência de uma manutenção corretiva é determinada pela confiabilidade do equipamento.

2.2.1.1 Tipos de manutenção corretiva

A manutenção corretiva se divide em dois subgrupos: manutenção corretiva planejada e a manutenção não planejada. A manutenção corretiva não planejada é a correção da falha de maneira aleatória (PINTO; XAVIER, 2009). Pinto e Xavier (2009) informam também que normalmente a manutenção corretiva não planejada implica altos custos, pois quando a falha ocorre de maneira inesperada pode acarretar em perda de produção, perda de qualidade do produto e também podendo deixar a máquina parada por falta de peça de reposição adequada. Normalmente quando uma empresa apresenta maior número de ocorrências de forma corretiva que dos outros tipos de manutenção é dito que as máquinas controlam o setor de manutenção.

Já a manutenção corretiva planejada vem de uma decisão gerencial, muitas das vezes da decisão de operar até que venha a ocorrer a falha. Esse tipo de manutenção, de forma planejada, é relativamente mais barato e com qualidade sempre melhor, graças ao acompanhamento preditivo do equipamento. A decisão gerencial de deixar o equipamento funcionando mesmo até sua quebra é de fato conveniente, pois um prévio planejamento já foi feito até o momento da quebra, gerando custos e tempo de reparo mais baixos, devido à antecipação da falha e a limitação do que poderá acontecer quando ocorrer a falha, evitando as “surpresas” (PINTO; XAVIER, 2009).

Para Pinto e Xavier (2001), a utilização da manutenção corretiva planejada depende da ocorrência de alguns fatores tais como:

- A necessidade da intervenção por parte da manutenção tem que ser compatível com a necessidade e interesse da produção.
- A falha não deve/pode afetar a segurança (do maquinário e dos operadores), o meio ambiente e a qualidade do produto final.
- Planejamento mais estratégico dos serviços a ser executados.
- Existência de peça, ferramentas e operacional reserva para executar o serviço.
- Todo conhecimento prévio de funcionamento e tecnologia para a execução dos serviços.

2.2.2 Manutenção Preventiva

O conceito de manutenção preventiva vem do ato de prevenir que, ao contrário da manutenção corretiva, consiste em evitar as falhas, fazendo um levantamento prévio da vida útil de determinadas peças, pois quando estiver perto do fim de sua vida útil, é agendada a manutenção para substituição da peça (PINTO; XAVIER, 2009).

Segundo a Norma NBR 5462 (1994, p.07), a manutenção preventiva é “manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios

prescritivos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou degradação do funcionamento de um item”.

Pinto e Xavier (2001) descrevem a manutenção preventiva como sendo a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo.

A manutenção preventiva é classificada como sendo todo serviço de manutenção realizado em máquinas que não estejam em falha, estando assim em condições operacionais ou em estado de zero defeito (VIANA, 2002). Lafraia (2001), caracteriza a manutenção preventiva como sendo a manutenção que procura reter o sistema em estado operacional ou disponível através da prevenção de ocorrência de falhas. A manutenção preventiva é planejada e deve ser executada quando assim se quer. É medida pelo tempo requerido para executá-la e pela sua frequência.

Resumidamente, Siqueira (2005) conceitua a manutenção preventiva como a manutenção que tem o propósito de prevenir e evitar as consequências das falhas.

2.2.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é a implementação das tecnologias mais sofisticadas para o acompanhamento de máquinas e de determinadas peças que são de extrema importância para o funcionamento da máquina, fazendo com que através de análises de sensores, de ruídos, vibração entre outros, seja levantado um diagnóstico para um melhor planejamento da manutenção e acompanhamento do surgimento de falhas (PINTO; XAVIER, 2009).

Pinto e Xavier (2001) afirmam que a manutenção preditiva é conhecida também como manutenção sob condição ou manutenção com base no equipamento e a define como a atuação realizada baseada em modificação de parâmetro de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática.

Segundo Viana (2002), a manutenção preditiva consiste em tarefas de manutenção preventiva que visam o acompanhamento da máquina ou das peças que a compõem, seja por monitoramento, por medições ou por controle estatístico. Com todo esse acompanhamento tenta-se prever a proximidade da ocorrência da

falha. O principal objetivo de tal tipo de manutenção é determinar o tempo correto da necessidade da intervenção mantenedora, com isso evitando desmontagens para inspeção, e utilizando o componente até o máximo de sua vida útil. As principais técnicas preditivas são: Ensaio por Ultra-som, Análise de vibrações mecânicas, Análise de óleos lubrificantes e Termografia.

Lafraia (2001), resume a manutenção preditiva como a manutenção preventiva que indica a condição do equipamento por meio de um monitoramento contínuo, indicando a iminência da falha.

Manutenção preditiva, segundo Siqueira (2005), consiste na verificação programada, por sentido humano ou instrumental do estado de evolução de uma falha potencial, com o objetivo de detectar e corrigir antes da evolução para uma falha funcional.

A Norma 5462 (1994, p.07) descreve que a manutenção preditiva é:

a manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meio de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

2.2.4 Manutenção Detectiva

A manutenção detectiva vem facilitar a programação da manutenção pois, ao contrário da manutenção preventiva, em que é feita a análise de parâmetros, na detectiva temos a inspeção destes parâmetros mas há um software e/ou sistemas de supervisão que apenas faça a indicação da situação do equipamento, sem ser necessário da análise pelos mantenedores (PINTO; XAVIER, 2009).

Para Pinto e Xavier (2001), a manutenção detectiva é a atuação efetuada em sistemas de proteção buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção. Pinto e Xavier (2001) ainda afirma que a identificação de falhas ocultas é primordial para garantir a confiabilidade. Para a identificação de estas falhas está sendo largamente utilizado nas indústrias computadores digitais, sistemas de aquisição de dados, controladores lógicos programáveis sistemas digitais de controle distribuído (SDCD), *multi-loops* com computador supervisor e outra infinidade de arquiteturas de controle.

2.2.5 Engenharia de Manutenção

Engenharia de manutenção é o que se tem de melhor desenvolvido para a manutenção, pois a engenharia de manutenção envolve muitos conceitos de manutenção aplicados juntos. Na engenharia de manutenção leva-se em consideração todo o estudo e planejamento de manutenção em caráter preventivo e corretivo, o estudo e levantamento de possibilidade de causa de falhas, desenvolvimento de peças e melhorias de máquinas, estudo de mudança de material de peças e de design, levantamento de atualização de componentes de máquinas, desenvolvimento de fornecedores e outros meios de acompanhamento e desenvolvimento de manutenção (PINTO; XAVIER, 2009).

Segundo Pinto e Xavier (2001), praticar engenharia de manutenção significa uma mudança cultural das pessoas que trabalham com manutenção. Para ele a engenharia de manutenção significa perseguir *bechmarks*, aplicar técnicas modernas, estar nivelado com a manutenção do primeiro mundo e sempre visando a melhoria contínua.

Pinto e Xavier (2001) fazem um comparativo entre os tipos de manutenção e os resultados obtidos para cada (Figura 3).

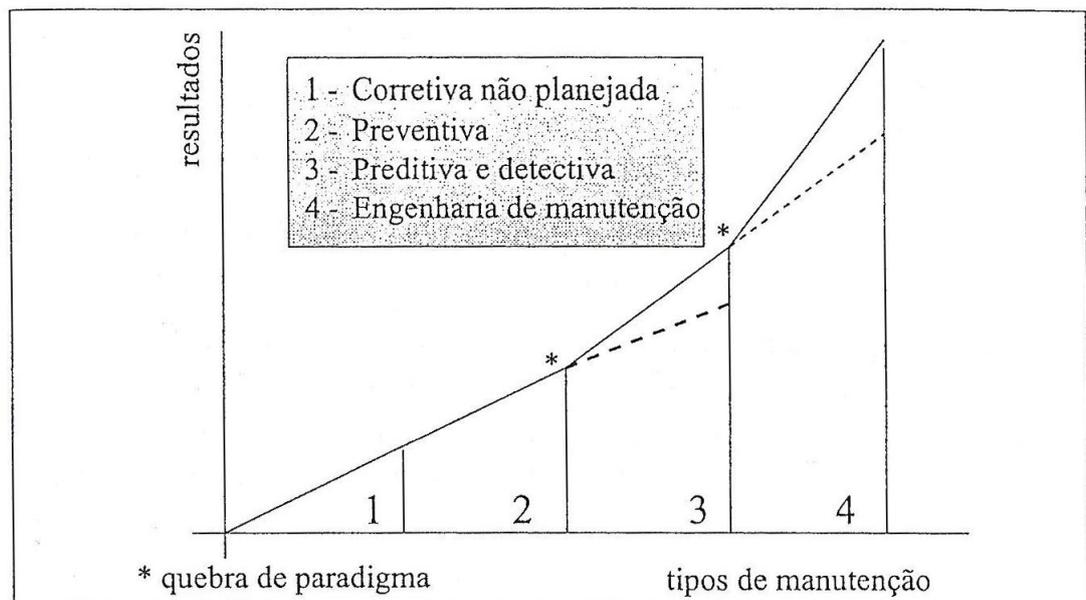


Figura 3 - Tipos de manutenção x Resultado
 Fonte: Pinto (2001, p.47)

Sobre os tipos de manutenção, sempre se discute e se levanta a questão dos gastos com cada tipo de manutenção. A manutenção corretiva apresenta um maior custo devido ao fato que quando ocorre a quebra do equipamento, sem um conhecimento prévio, isso faz com que haja compras urgentes sem possíveis negociações na maioria das vezes. Além disso, a máquina fica parada mais tempo para que seja solucionado o problema e também mais tempo para novos ajustes operacionais. A falha pode envolver ainda mais partes da máquina do que se tivesse feito o acompanhamento de tal problema. Por último, o tempo de atuação de um manutentor, que poderia estar em algo já programado, que precisa ir até a máquina para “apagar o incêndio”(PINTO; XAVIER, 2009).

A manutenção programada faz com que haja uma redução do gasto com peças, pois já se tem previamente estabelecido a necessidade de peças e o tempo de funcionário (já está programado determinada quantidade de tempo para certa manutenção). Na manutenção detectiva e preditiva, além de redução do tempo do funcionário da manutenção, há a diminuição ainda mais do gasto com peças, pois nesses tipos de manutenção só é trocado quando se sabe que o item está apresentando parâmetros que indique a necessidade da troca (PINTO; XAVIER, 2009).

2.3 TIPOS DE FALHAS

A falha é a interrupção ou término da capacidade de um sistema desempenhar a função que lhe é esperada (SIQUEIRA, 2005). A falha pode ser subdividida em alguns tipos como podemos ver nos próximos tópicos.

2.3.1 Falha Primária

A falha primária resulta da deficiência de uma peça do equipamento e ocorre quando esta peça está trabalhando dentro dos limites normais de operação (SCAPIN, 2007).

2.3.2 Falha de Comando

É quando a falha resulta da operação de um sistema ou de uma peça, obtendo um resultado não esperado pelo operador ou pelo processo, estando este sistema ou peça trabalhando dentro dos limites normais de operação (SCAPIN, 2007).

2.3.3 Falha Secundária

É quando a falha ocorre em uma peça ou sistema que está trabalhando fora de seus limites de especificação, condição de operação. Geralmente nesta falha estão presentes: temperatura anormal, pressões mais elevadas ou mais baixas, excesso de carga, alta ou baixa velocidade e tantos outros fatores que influenciam e refletem diretamente as condições do equipamento. Segundo Scapin (2007), as falhas secundárias podem ser divididas em:

1. Falha de propagação;
2. Falhas comuns;
3. Falhas decorrentes de erro humano
4. Falhas em geral, que diminuem o desempenho sem levar a falha aos demais componentes.

Moubray² (1997, apud GEPIAK, 2004, p.26) apresenta uma visão geral dos padrões de falhas que podemos encontrar nos equipamentos industriais, conforme pode-se observar na figura 4.

²MOUBRAY, John. **Reliability-centered maintenance**. 2nd ed. New York: Industrial Press, c1997. 426 p. ISBN 0-8311-3146-2

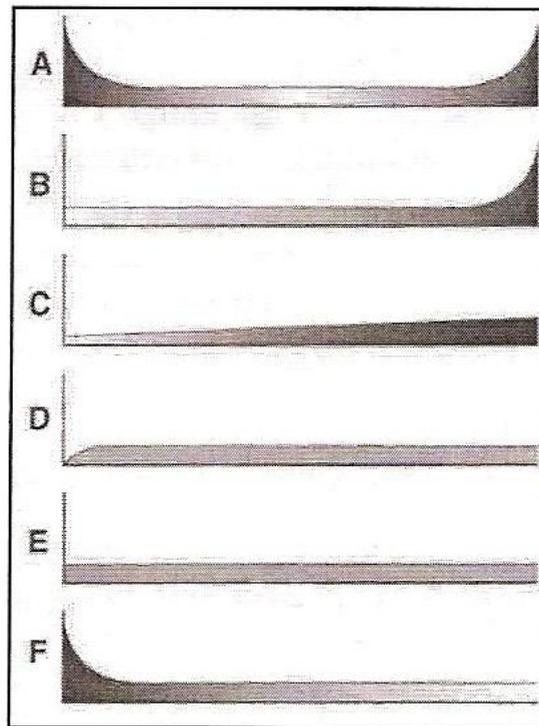


Figura 4 - Padrões de falhas
 Fonte: Moubray³ (1997, apud GEPIAK, 2004, p.26)

No padrão a, normalmente conhecido como “curva da banheira”, mostra uma quantidade de falhas acima do normal no “início da vida” do equipamento, passando por um período de tempo com quantidade de falhas menor, porém constante e finaliza com um aumento progressivo no número de falhas. O padrão b mostra uma constante de falha desde o começo do equipamento e no final um aumento das falhas assim como no padrão a. O padrão c mostra um aumento desde o começo da operação do equipamento até o final. O padrão d mostra um baixo número de falhas no começo do equipamento aumentando bruscamente o número de falhas, passando depois para uma constante. O padrão e apresenta uma probabilidade constante de falhas durante toda vida do equipamento. Por último o padrão f mostra um número grande de falhas no início do equipamento, caindo bastante o número de falhas logo depois e finaliza com uma constante.

Segundo a MCC as falhas são classificadas de acordo com o efeito que provocam sobre uma determinada função do sistema. As duas categorias básicas são: falha funcional e falha potencial. A falha funcional é descrita como sendo a incapacidade de determinado item realizar uma função específica dentro de limites

³ MOUBRAY, John. **Reliability-centered maintenance**. 2nd ed. New York: Industrial Press, c1997. 426 p. ISBN 0-8311-3146-2

de performance desejados. A falha potencial é descrita como sendo uma condição identificável e mensurável que indica uma falha funcional em processo de ocorrência (SIQUEIRA, 2005).

2.3.4 Análise e Documentação das Falhas

Quando há a ocorrência de falhas em um equipamento é extremamente necessário que seja documentado de alguma forma, para que assim possa existir um histórico de falhas por equipamento com as devidas causas, efeito, riscos, ação tomada para conserto. Com isso fazemos com que seja possível identificar rapidamente uma ação corretiva quando a falha se repetir ou uma ação preventiva quando forem identificados alguns parâmetros que indiquem a possibilidade de nova ocorrência da falha (SCAPIN, 2007).

2.4 TÉCNICAS E CONCEITOS APLICADOS NA MANUTENÇÃO

Com o passar do tempo foram desenvolvidos algumas técnicas e conceitos relacionados à manutenção, visando sempre orientar e direcionar este setor para uma melhoria contínua (PINTO; XAVIER, 2009).

2.4.1 Manutenção Produtiva Total (TPM)

TPM é um conceito de manutenção que objetiva a eficácia da empresa através de uma qualificação e melhoria dos equipamentos e de pessoal, englobando sempre o setor de operação em conjunto com a manutenção (PINTO; XAVIER, 2009).

A TPM foi desenvolvida no Japão por volta do ano de 1971 e acabou chegando ao Brasil no ano de 1986. Este conceito de manutenção acabou sendo

criada pela obrigação das empresas com o passar do tempo ter que eliminar os desperdícios e perdas, obter cada vez mais um melhor desempenho dos equipamentos, reduzir interrupções e paradas de produção por quebras ou intervenções entre outros motivos organizacionais (PINTO; XAVIER, 2009).

A figura 5 mostra a evolução e as gerações da TPM:

	1ª geração 1970	2ª geração 1980	3ª geração 1990	4ª geração 2000
Estratégia	Máxima eficiência dos equipamentos		Produção e TPM	Gestão e TPM
Foco	Equipamento		Sistema de Produção	Sistema geral da Companhia
Perdas	Perda por falha	Seis principais perdas nos equipamentos	Dezesseis perdas (equipamentos, fatores humanos e recursos na produção)	Vinte perdas (processos, inventário, distribuição e compras)

Figura 5 - Gerações da TPM
Fonte: Palmeira e Tenório (2002, p.92)

2.4.1.1 Grandes perdas

Para Pinto e Xavier (2009), as grandes perdas que são encontradas nos equipamentos, na visão da TPM, são:

- Perda por quebra efetiva do equipamento

É quando se há um desgaste no equipamento e isso afeta o produto que está sendo produzido e também quando há a quebra do equipamento, sem que haja um prévio conhecimento desta ocorrência (PINTO; XAVIER, 2009).

- Perda por operação em vazio e pequenas paradas

É quando a máquina opera em vazio, pois ela depende de algum sistema de alimentação e por algum motivo alheio este sistema não atua normalmente afetando diretamente no produto produzido. Por exemplo, uma máquina utilizada na indústria

gráfica que utiliza um abastecimento de tinta automático pode sofrer um entupimento deste sistema de abastecimento, fazendo com que falte tinta na máquina. Este tipo de perda engloba também as pequenas paradas de máquina, que ocorrem por exemplo: quando há uma sobrecarga no equipamento e quando se identificar que houve uma programação errada para o produto que está sendo produzido (PINTO; XAVIER, 2009).

- Perda por queda de velocidade de produção

É quando há algum motivo que afeta diretamente no desempenho da máquina, impossibilitando que a mesma produza com sua velocidade máxima. Por exemplo: se na máquina houver um desgaste na máquina fazendo com que ela tenha que trabalhar com uma velocidade reduzida (PINTO; XAVIER, 2009).

- Perdas por produtos defeituosos

São perdas que acontecem pelo motivo de serem produzidos produtos defeituosos (PINTO; XAVIER, 2009).

- Perdas por queda de rendimento

É quando não é aproveitado a capacidade nominal das máquinas devido à problemas operacionais (PINTO; XAVIER, 2009).

2.4.1.2 Quebra zero

Outro conceito que é aplicado na filosofia TPM é a quebra zero. A quebra zero significa a não parada da máquina enquanto ela estiver produzindo. As medidas fundamentais listadas por Pinto e Xavier (2001) para que seja possível ocorrer a quebra zero são:

- Estruturação das condições básicas para a operação;

- Obediência às condições de uso;
- Regeneração do envelhecimento;
- Sanar os pontos falhos decorrentes do projeto;
- Incrementar capacidade técnica.

2.4.1.3 Oito pilares da TPM

Segundo Pinto e Xavier (2001), a filosofia TPM apresenta 8 pilares que sustentam esta técnica de manutenção, fazendo com que haja uma maior eficiência produtiva (Figura 6). São elas:

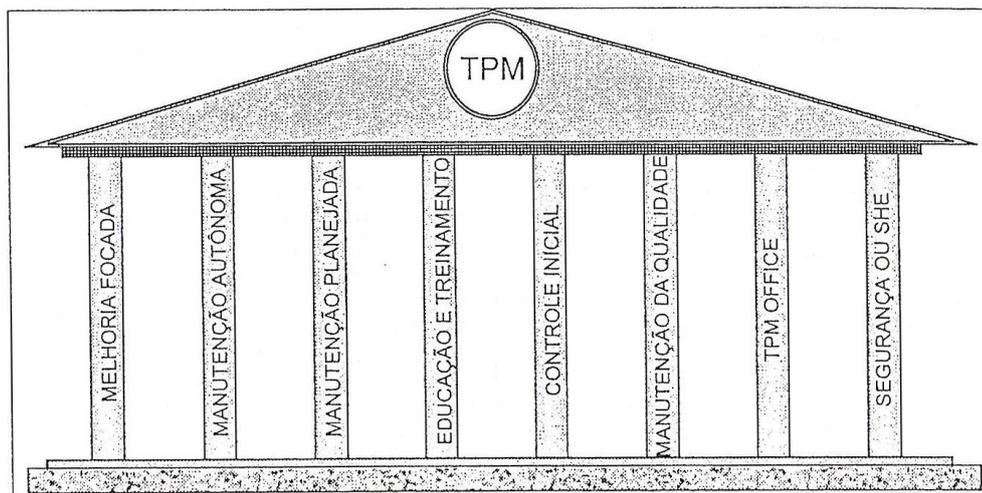


Figura 6 - Pilares da TPM
Fonte: Pinto (2001, p.185)

1) Melhoria Focada:

É a melhoria voltada a melhoria global do negócio.

2) Manutenção autônoma:

É quando ocorre a conscientização da pessoa responsável pela máquina que ela possui a liberdade de ação para reestabelecer ou melhorar o estado da máquina.

3) Manutenção planejada:

Planejamento da manutenção para que não haja falha na hora da atuação da equipe de manutenção.

4) Educação e treinamento:

A atualização da equipe de manutenção é necessária para que eles adquiram novos conhecimentos e também é necessário treinamento para padronizar conhecimentos e técnicas de manutenção.

5) Controle inicial:

Quando há a aplicação de um projeto é necessário estabelecer formas para gerenciar e acompanhar o desenvolvimento do projeto para quando começar ocorrer desvios neste projeto, eles possam ser prontamente identificados e corrigidos.

6) Manutenção da qualidade:

Estabelecimento de um programa de zero defeito.

7) TPM Office:

Determinação de um programa TPM também nas áreas administrativas.

8) Segurança:

O sistema de saúde, segurança e de meio ambiente é importante para a proteção do bem mais precioso para a empresa, que é a vida de seus colaboradores.

Assim como em outras técnicas da manutenção é necessário um acompanhamento após implantado a TPM e uma atualização periódica se faz necessária pela atualização de processos e surgimento de novas técnicas de manutenção.

2.4.2 Fmea

FMEA significa *Failure Mode and Effects Analysis* que se traduz como Análise dos modos de falha e seus efeitos. A norma NBR 5462 (1994) descreve o FMEA

como sendo um método qualitativo de análise de confiabilidade que envolve o estudo dos modos de falhas que podem existir para cada item, e a determinação dos efeitos de cada modo de falha sobre os outros itens e sobre a função específica do conjunto. Um modelo de formulário FMEA é apresentado no anexo 1.

O estudo de FMEA envolve, basicamente, a identificação sistemática dos seguintes aspectos:

- Função – objetivo, com o nível desejado de performance;
- Falha Funcional – perda da função ou desvio funcional;
- Modo de Falha – o que pode falhar;
- Causa da Falha – porque ocorre a falha;
- Efeito da Falha – impacto resultante na função principal;
- Criticidade – severidade do efeito.

Com esses dados pode-se levantar todas as situações que podem levar a falha da máquina, possibilitando assim a escolha da estratégia de manutenção para determinado processo ou equipamento. A utilização da FMEA em nível de projeto faz com que o projeto cerque das falhas possíveis e que se possa já desenvolver alguma correção para tal ou para a determinação de um modo de manutenção para inibir a ocorrência da falha (SCAPIN, 2007).

2.4.3 Fmeca

FMECA significa *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis* que se traduz como Análise dos Efeitos e Criticidades dos Modos de Falha (LAFRAIA, 2001).

A metodologia da FMECA é utilizada quando há uma grande quantidade de falhas para ser analisada impossibilitando o uso da FMEA. Na FMECA há então a necessidade de ser criado um critério para que sejam realizados os estudos somente das falhas que são consideradas críticas para o equipamento e que justifique as ações a serem tomadas. Para que seja viável é necessário que no

começo do estudo seja bem definido o(os) critério(s) de criticidade que será escolhido para selecionar os modos de falha inseridos na FMECA (SCAPIN, 2007).

A idéia de que a FMECA é um complemento da FMEA pode até ser representado pela equação: $F_{meca} = F_{mea} + C$ que representa a análise de falha FMEA somada com critério de criticidade representado pela letra “C” na equação (MOHR R.R., 2012).

2.4.4 Confiabilidade

A Confiabilidade voltada para manutenção vem das análises de falha em equipamentos eletrônicos de uso militar em meados da década de 50, nos Estados Unidos. Por volta de 1960 uma empresa de aviação formou um grupo para estudo e desenvolvimento de um programa de confiabilidade para o ramo aeronáutico. Neste estudo e desenvolvimento as duas principais conclusões obtidas foram (PINTO; XAVIER, 2001):

- a) Se um item não possui um modo predominante e característico de falha, revisões programadas afetam muito pouco o nível de confiabilidade.
- b) Para muitos itens a prática da manutenção preventiva não é eficaz.

Com isso, Pinto e Xavier (2001) definem a confiabilidade como sendo a probabilidade que um item possa desempenhar sua função requerida, por um intervalo de tempo estabelecido, sob condições definidas de uso. Lafraia (2001), por sua vez, entende a confiabilidade como sendo a probabilidade de que um componente ou sistema funcionando dentro dos limites especificados de projeto, não falhe durante o período de tempo previsto para a sua vida, dentro das condições de agressividade ao meio. Para esta definição, Lafraia (2001) identifica 4 fatores básicos:

- A quantificação de confiabilidade em termos de uma probabilidade
- Uma definição do desempenho requisitado ao produto: as especificações do produto são definidas em detalhes.

- Uma definição do tempo de operação exigido entre falhas.
- Uma definição das condições ambientais em que o equipamento deve funcionar.

Segundo Pinto e Xavier (2001), existe uma fórmula para calcular a confiabilidade de um equipamento:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Onde:

$R(t)$ = confiabilidade a qualquer tempo t .

e = base dos logaritmos neperianos ($e=2,303$).

λ = taxa de falhas (número total de falhas por período de operação).

t = tempo previsto de operação.

2.4.5 Disponibilidade

Disponibilidade é a probabilidade de que um componente que sofreu manutenção exerça sua função satisfatoriamente para um dado tempo (t). O cálculo da disponibilidade é frequentemente usado quando altos custos estão envolvidos com a perda da função. Um equipamento encontra-se disponível quando ele está apto para executar suas funções sob condições especificadas de uso e de manutenção (LAFRAIA, 2001).

Lafraia (2001) descreve a fórmula da disponibilidade conforme a equação abaixo:

$$D = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR}$$

D = disponibilidade

$TMEF$ = tempo médio entre falhas

$TMPR$ = tempo médio para reparo.

Pinto e Xavier (2001) caracterizam a disponibilidade como sendo o tempo em que o sistema (equipamento) está disponível para que haja produção do material em questão. É uma relação entre o TMEF, que é o tempo entre duas falhas no equipamento, e o TMPR que é o tempo médio para que sejam reparadas as falhas apresentadas no equipamento. A relação ideal entre essas duas grandezas é que haja um grande tempo entre as falhas e um pequeno tempo gasto para o reparo das mesmas.

2.4.6 Manutenibilidade

Pinto e Xavier (2009) consideram que manutenibilidade é basicamente a característica de um equipamento permitir que uma atividade de manutenção seja realizada dentro de um intervalo de tempo, de acordo com o grau de facilidade com que essa atividade é realizada.

A manutenibilidade deve ser realmente considerada em fase de projeto, mas isso nem sempre acontece (PINTO; XAVIER, 2009). Os fabricantes de equipamentos e sistemas investem pouco quando se fala em aspectos ligados à facilidade de acesso e manutenção. Os responsáveis pelo projeto na maioria dos casos não têm ou não tiveram vivência dentro da manutenção, algo que seria crucial para um projeto que atenda aos requisitos de manutenibilidade. Os gastos posteriores com manutenção seriam relativamente menores se os problemas que ocorrem num tempo atual tivessem sido planejados e pensados na fase de projeto. É de grande interesse que a equipe de manutenção esteja presente em fases que antecedam o início das operações das máquinas (PINTO; XAVIER, 2009).

2.5 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

Cronologicamente falando, a Manutenção Centrada em Confiabilidade teve sua origem marcada dentro do meio aeronáutico, com a certificação das aeronaves Boeing 747. Essa aeronave era extremamente grande e com capacidade de

passageiros elevada, superando os maiores aviões da época e tinha um alto grau de automação. As metodologias de manutenção utilizadas até então seriam insuficientes para adequação do Boeing 747 à certificação das autoridades aeronáuticas. A partir desse fato engenheiros da United Airlines em 1968, criaram a MSG-1² (Maintenance Steering Group) grupo destinado a rever os conceitos e metodologias de manutenção para essas novas aeronaves. O relatório criado pelos engenheiros da companhia aérea introduziu então conceitos do que mais tarde seria denominado de Manutenção Centrada em Confiabilidade. Mais tarde outros grupos foram criados para certificação de novos modelos de aeronaves (SIQUEIRA, 2005).

Lafraia (2001) cita alguns benefícios da MCC:

- Redução na carga de trabalho de manutenção preventiva;
- Aumento da disponibilidade dos sistemas;
- Aumento da vida útil dos equipamentos;
- Redução do número de peças sobressalentes;
- Especialização de pessoal em planejamento de manutenção;
- Rastreamento das decisões;
- Motivação para o trabalho em equipe.

Após o início e desenvolvimento da metodologia da MCC, outras áreas tecnológicas além da aviação civil passaram a utilizar e se beneficiar com os princípios utilizados pelos engenheiros da United Airlines para a certificação de novos aviões. A indústria elétrica e nuclear, devido ao alto grau de segurança envolvido, adotaram tal metodologia, um exemplo disso é que por volta de 1981, a MCC foi adotada em manutenção de submarinos nucleares. Outros ramos industriais passaram a utilizar a MCC para assim garantir a confiabilidade da funcionalidade do equipamento, podendo assim obter maior disponibilidade de máquina para produção. Para a aplicação da MCC é necessário o devido estudo de todo o sistema para que seja selecionado o melhor tipo de manutenção, que faça com que a confiabilidade seja sempre garantida (SIQUEIRA, 2005).

Para Lafraia (2001), a aplicação da MCC resulta da diminuição das atividades e no custo dos programas de manutenção preventiva, citando a MCC como sendo um processo contínuo. Por essa ideia de processo contínuo é que se faz necessário

a constante reavaliação quando houver uma acumulação de experiência profissional.

Segundo Siqueira (2005), são necessárias sete etapas para implementação da metodologia MCC:

- 1) Seleção do Sistema e Coleta de Informações;
- 2) Análise de Modos de Falha e Efeitos;
- 3) Seleção de Funções Significantes;
- 4) Seleção de atividades Aplicáveis;
- 5) Avaliação da Efetividade das Atividades;
- 6) Seleção das Atividades Aplicáveis e Efetivas;
- 7) Definição de Periodicidade das Atividades.

2.5.1 Seleção do sistema e coleta de informações

Nesta etapa é definido qual o sistema será alvo do estudo para implementação da MCC, delimitando todo o contexto e os requisitos operacionais, descrevendo funções textualmente, identificando elementos do estudo, levantando diagramas funcionais e organizacionais do sistema escolhendo como será a coleta de informações (SIQUEIRA, 2005).

2.5.2 Análise de modos de falha e efeito

Nesta etapa são documentadas e identificadas todas as funções do sistema que estará sendo objeto de estudo. Com as funções e todas as relações e informações bem definidas é necessário fazer o levantamento de todas as possíveis falhas que podem ocorrer no sistema, saber como elas se originam, efeito provocados pelas falhas (SIQUEIRA, 2005).

O levantamento destas falhas normalmente é realizado pelo uso da metodologia da FMEA e de Árvores de falhas. Se a quantidade de falhas for grande usa-se também a FMECA (LAFRAIA, 2001).

2.5.3 Seleção de funções significantes

Realizado o levantamento das falhas é necessário que seja analisado o efeito de cada falha levantada na etapa anterior. Com isso consegue-se identificar qual falha afeta mais o sistema, o meio ambiente, segurança, produção e custos. Normalmente, somente prossegue para as próximas etapas as falhas que são mais significantes (SIQUEIRA, 2005).

2.5.4 Seleção de atividades aplicáveis

Com base nos estudos realizados nas outras etapas subseqüentes (definição de funções, levantamento de falhas, de causas e efeitos das falhas e significância) é determinado se há ações preventivas que possam ser realizadas visando prevenir as falhas que foram relatadas. Se não houver nenhuma ação preventiva a ser realizada é indicada outro modo de manutenção que possa evitar as falhas e suas consequências. (SIQUEIRA, 2005; LAFRAIA, 2001).

De acordo com Gepiak (2004), o processo de seleção de tarefas integra todas as decisões tomadas em relação a cada modo de falha apresentado no formulário FMEA. A criação da planilha de decisão de tarefas é baseada no diagrama de decisão do MCC (Figura 7), apresentado por Moubray⁴ (1997 apud GEPIAK, 2004, p.49).

⁴MOUBRAY, John. **Reliability-centered maintenance**. 2nd ed. New York: Industrial Press, c1997. 426 p. ISBN 0-8311-3146-2

2.5.6 Seleção das tarefas aplicáveis e efetivas

Nesta etapa já está confirmado a atividade proposta e a sua efetividade e começa a montagem do plano de manutenção com as definições de todas as tarefas a serem realizadas na atividade. É necessário selecionar todas as tarefas efetivas, levando em consideração alguns critérios como: segurança física do sistema, resultados do processo, impactos operacionais entre outros, e no final é gerado o plano de manutenção que será documento oficial para o programa de manutenção do sistema proposto (SIQUEIRA, 2005; LAFRAIA, 2001).

2.5.7 Definição da periodicidade das atividades

Nesta etapa é discutido o plano de manutenção gerado estabelecendo métodos e critérios para assim chegar a definir uma periodicidade para execução do mesmo. É analisado a confiabilidade e a manutenibilidade do sistema com a aplicação do plano de manutenção. Também faz parte desta etapa a revisão periódica do plano gerado, conduzir as modificações que se fizerem necessárias e também a realização de auditorias para garantir a funcionabilidade do plano de manutenção (SIQUEIRA, 2005; LAFRAIA, 2001).

Com a realização das 7 etapas descritas acima é gerado os planos e programas de trabalho para a implantação da metodologia MCC com a periodicidade de cada atividade, gerando assim um procedimento a ser administrado pelo setor de manutenção para o sistema proposto (SIQUEIRA, 2005).

2.5.8 Avaliação e acompanhamento

Para finalizar as etapas de implementação da MCC, Siqueira (2005) cita que é necessário realizar a avaliação e monitoramento do planejamento que foi proposto seguindo as ordens de manutenção citadas anteriormente. Com esse

monitoramento e avaliação posterior pode-se encontrar alguns erros de projeto realizados durante o planejamento. Siqueira (2005) acrescenta que alguns eventos devem ser acompanhados para que se possa visualizar novas oportunidades de atualização do programa de MCC:

- Reparos funcionais não cobertos por atividades preventivas;
- Modificações no projeto das instalações;
- Disponibilidade de novas técnicas e informações;
- Custos e benefícios;
- Modificações no contexto operacional dos sistemas da instalação.

Siqueira (2005) descreve alguns pontos que podem causar o fracasso na implementação da MCC:

- Ausência de liderança e suporte gerencial;
- Falta de visão sobre o “final” do processo;
- Desconhecimento do processo MCC;
- Falta de recursos humanos e financeiros;
- Força da cultura tradicional;
- Desistência face ao volume de trabalho;
- Erros técnicos cometidos no processo;
- Dificuldades para obter informações;
- Semelhança com a manutenção industrial;
- Tempo longo para os primeiros resultados;
- Falta de motivação da equipe;
- Falta de conhecimento em técnicas estatísticas.

Os erros de implementação, de maneira geral, podem ser explicados pelas falhas de planejamento e condução do programa MCC. Algumas medidas são básicas para evitar os erros de implementação, tais como: treinamento adequado da equipe escolhida e patrocínio efetivo da direção da empresa. Siqueira (2005) lista as seguintes causas dos erros mais comuns:

- Níveis de análise muito detalhados;
- Tempo insuficiente para análise;
- Excesso ou escassez de ênfase em dados históricos;
- Confiança nas respostas de uma única pessoa;
- Uso exclusivo do pessoal de manutenção;
- Delegação ao fabricante do processo MCC;
- Terceirização total do processo MCC;
- Delegação da condução do processo ao computador;
- Desconhecimento das técnicas estatísticas;
- Ausência de internalização e divulgação do processo.

Pinto e Xavier (2001) descrevem alguns dos principais resultados da análise e implementação da metodologia MCC:

- Melhoria do entendimento sobre o funcionamento do equipamento ou sistema escolhido;
- Desenvolvimento do trabalho em equipe com reflexos positivos na resolução de problemas, análise e estabelecimento de programas de trabalho;
- Definição de como o equipamento pode falhar e das causas básicas de cada falha;
- Elaborar planos (planos de manutenção, lista de melhorias, procedimentos operacionais...), garantindo a operação do sistema com a performance desejada.

Como em todo projeto é necessário sempre a busca por atualização e realizar algumas medidas complementares que serão exigidas com o passar do tempo, o desenvolvimento de tecnologias, a troca de pessoal, enfim a busca para a melhoria contínua do processo para que esteja sempre atualizado(SIQUEIRA, 2005).

3 CASO DE ESTUDO

Neste capítulo será feita uma descrição do processo de estampagem, com detalhes do meio produtivo e dos elementos que são importantes na produção, chegando ao problema em questão e aos resultados encontrados.

O caso de estudo realizado neste trabalho desenvolveu-se em uma grande empresa do setor metal-mecânico.

3.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE ESTAMPAGEM

Uma linha de estampagem é composta basicamente por prensas, as quais fazem a conformação de chapas de aço, e por dispositivos que transportam as chapas dentro da linha, os robôs industriais.

A linha de prensas, foco deste caso de estudo, é composta por 4 prensas, conhecidas como operações de estampagem e por 6 robôs de manipulação de peças. A figura 7 apresenta um exemplo de uma linha de prensas robotizada. O presente estudo diz respeito a um dos robôs de uma das linhas robotizadas.



Figura 8 - Ilustração linha de prensas robotizada
Fonte: Schuler (2012)

A matéria-prima vem do fornecedor já previamente preparada de acordo com a necessidade, ou seja, cortada do tamanho e quantidade adequados aos requisitos para a produção. O material entregue pelo fornecedor vem empilhado e é chamado de *blank* – pilha de chapas de aço.

Na produção no setor de estamparia o produto final é uma peça em aço conformada. Cada família de peça tem seu planejamento de produção já

previamente feito e bastam aos condutores da linha adequar as máquinas ao tipo de peça que será produzido. Durante o *setup* da máquina para a produção de uma nova família de peças alguns procedimentos são feitos, tais quais:

- a) Troca das matrizes de conformação: As matrizes de conformação são responsáveis em conformar, cortar, dobrar e furar e fazer acabamento nas peças produzidas. Cada família de peças tem suas próprias matrizes de conformação.
- b) Troca das garras dos robôs: Assim como as matrizes de conformação, cada família de peças tem suas próprias garras que são acopladas aos robôs no *setup* da linha.
- c) Carregamento dos programas: Os condutores de máquina carregam os programas específicos dos robôs e das prensas para a família de peça que irá ser produzida.

A matéria-prima é colocada no início da linha, em cima de uma mesa de elevação hidráulica (fotografia 1) a qual leva o *blank* para dentro da linha. Ao lado das chapas são colocados imãs quem têm a função de separá-las facilitando a função do robô que é pegar apenas uma chapa por vez.



Fotografia 1 - Matéria-prima - Blank
Fonte: Autoria Própria

O início do processo começa quando o primeiro robô retira a chapa do *blank* e a deposita em uma mesa fixa (fotografia 1), essa mesa tem a função de centralizar a chapa em uma determinada posição. Com a chapa centralizada nessa mesa o

próximo robô da linha pode pegá-la na posição correta e colocá-la na primeira prensa. Assim que o robô deposita a chapa dentro da prensa ocorre a conformação mecânica.

O processo continua sempre nesta ordem, um robô coloca a chapa na prensa e o robô seguinte a retira e a passa ao processo seguinte. Cada chapa que sai da pilha de matéria-prima passa por quatro operações de estampagem: conformação inicial, corte, dobra e furação. Ao fim da linha o último robô retira a chapa estampada e a coloca na esteira de saída, assim os operadores de fabricação podem retirá-las da esteira e dar início ao processo de armazenamento.

3.2 ORGANIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO

Em uma grande empresa, visto a diversidade de setores, cada setor tem normalmente sua equipe de manutenção. Não é diferente com o setor de Estamparia da empresa pesquisada, que conta com uma equipe de manutenção especializada e treinada.

A manutenção da Estamparia é composta por uma equipe treinada especificamente para o setor, pois tem foco principal em máquinas específicas como prensas de alta pressão e robôs industriais. A figura 9 representa o organograma simplificado do setor de manutenção da empresa.

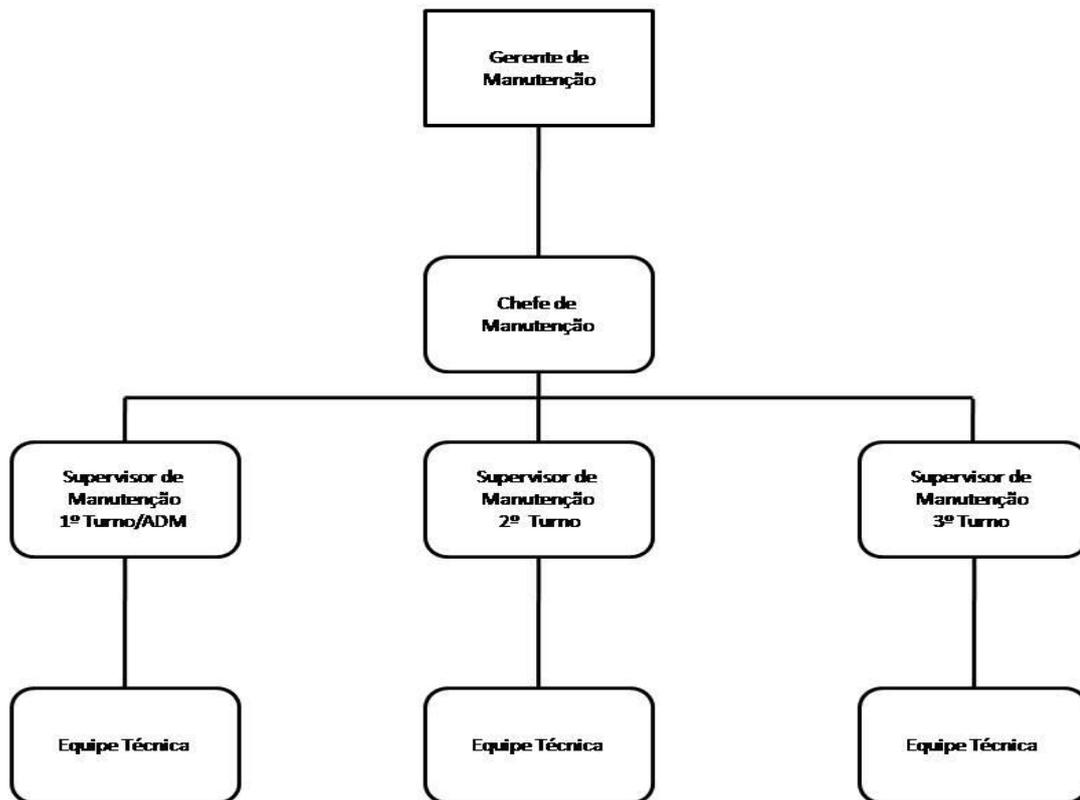


Figura 9 - Organograma simplificado Manutenção da Empresa
Fonte: Autoria Própria

Conforme o cronograma (Figura 9), o Gerente de Manutenção é responsável pela manutenção de toda a empresa, não somente da Estamparia. Dentro do setor de estamparia o Chefe de Manutenção coordena todos os supervisores de manutenção em seus respectivos turnos. Cada Supervisor de Manutenção conta com uma equipe treinada para atender aos requisitos das linhas de produção de chapas estampadas e solucionar os diversos problemas.

A equipe técnica especializada conta com: analistas de manutenção, técnicos mecânicos, técnicos elétricos, técnicos de automação e técnicos em robótica. O planejamento de manutenção das máquinas, a gestão de custos e recursos humanos de manutenção, a gestão de terceirização, melhorias e soluções de problemas técnicos é de responsabilidade da equipe técnica de manutenção.

3.3 PROBLEMATIZAÇÃO

A linha mencionada anteriormente está em funcionamento há 10 anos e tem capacidade de produção de até 480 peças por hora. Os elementos robóticos dessa linha são considerados obsoletos, pois seus componentes deixaram de ser fabricados no ano de 2010. Devido a este fato os esforços por ganhos de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade devem ser reforçados.

O setor de estamparia, possui 3 linhas de estampagem, 2 robotizadas e uma linha manual. A tabela 1 mostra o detalhamento dos tempos de paradas de máquina devido a problemas de manutenção, assim como o rendimento de cada linha em detrimento ao tempo de máquina em funcionamento, no ano de 2011:

Tabela 1 – Tempos de máquina parada no setor de manutenção – 2011

Linha de Estampagem	Tempo em produção (min)	Tempo de máq. parada (min)	% tempo manutenção
Linha 1	317.983	14.889	4,68%
Linha 2	275.719	8.482	3,08%
Linha manual 3	581.994	2.652	0,46%

Fonte: Aatoria Própria

Segundo a tabela 1, a Linha1 é a responsável por um grande tempo de perdas para manutenção, cerca de 4,68% de paradas de máquinas durante o ano de 2011, enquanto a Linha 2 também robotizada, apresenta 3,08% de paradas de máquina nesse mesmo ano.

A Linha de prensas 1 é mais antiga que as outras linhas do setor de Estamparia, mas é uma máquina de grande porte e que não pode deixar de produzir. Uma hora de máquina parada nessa linha ocasionaria grandes perdas na produção de chapas de aço estampadas, e conseqüentemente na produção do produto final. A tabela 2 realça os tempos de perdas da Linha de Prensas 1.

Tabela 2 – Comparativo de tempos de perdas de manutenção por setor – 2011

Setor	Tempo de máquina parada (min)	% de parada manutenção
Manutenção	14.889	40,31%
Fabricação	1.339	3,63%
Ferramentaria	13.333	36,10%
Qualidade	357	0,97%
Qualidade Fornecedor	4616	12,50%
Logística	2401	6,50%
Total	36935	100,00%

Fonte: Autoria Própria

É visível que o setor de manutenção é o de maior impacto em termos de perdas de tempo de produção. De todos os 36.935 minutos de máquina parada, a manutenção é responsável por mais de 40% desse tempo.

A linha de prensas 1 é de fato a mais problemática. É composta por muitos elementos mecânicos e eletroeletrônicos, sendo robôs industriais e prensas de alta pressão a sua essência (Figura 9). Cada investimento seja em projetos seja em estudos de melhorias de algum dos elementos da linha é de fato importante, podendo gerar um ganho significativo.

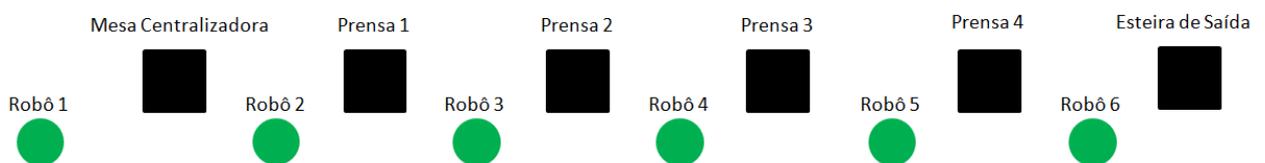


Figura 10 - Desenho esquemático da linha de prensas 1

Fonte: Autoria Própria

O gráfico abaixo mostra os tempos de máquina parada da Linha de prensas 1 por elemento, ou podendo ser chamados de operações de estampagem da linha (Figura 10).

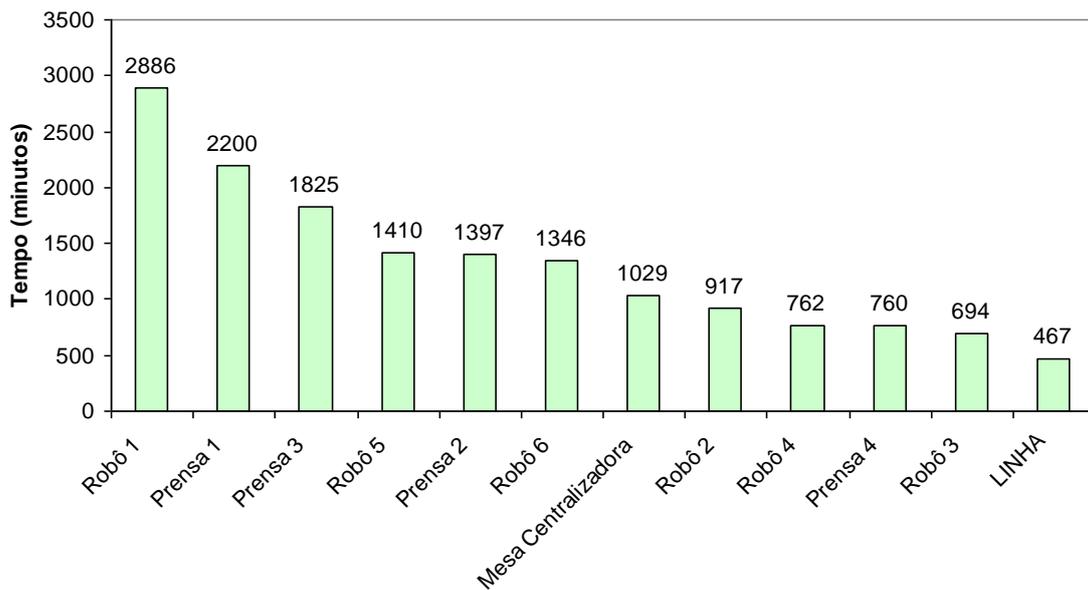


Figura 11 - Tempo de máquina parada por operações - Linha de prensas 1 - 2011
Fonte: Autoria Própria

De acordo com o gráfico apresentado, o Robô 1 é o elemento que apresenta o maior tempo de perdas por paradas de manutenção durante o ano de 2011, ou seja, é a operação da linha com menor disponibilidade, sendo um gargalo para a produção de chapas conformadas. Devido ao fato apresentado, justifica-se aqui o caso de estudo que será realizado, pois o possível tempo ganho nesta operação acarretará em um ganho total para a linha.

3.4 ROBÔ INDUSTRIAL

Os Robôs da linha de prensas 1 são responsáveis por dar sequência ao processo de estampagem, passando a chapa desde o início do processo, até o fim da linha, onde saem as chapas conformadas. Estes robôs da linha de prensas 1 são robôs de manipulação de materiais.

Conforme o gráfico 1, apresentado anteriormente, o Robô 1 é o concentrador de maiores tempos de perdas, por isso este caso de estudo se aplicará a ele.

O manipulador robótico estudado tem capacidade para suportar 60 kg de carga em suas garras, e tem seis eixos de movimentação (Figura 11).



Figura 12 - Robô industrial com 6 eixos
Fonte: Kuka (2012)

Todos os seis robôs da linha de prensas 1 são do mesmo modelo e suas garras são compostas por um sistema de sucção, ou sistema de vácuo, responsável por prender a chapa e fazer o transporte entre as operações de estampagem.

3.4.1 Funcionamento Sistema Robótico

Todas as operações da linha estão interligadas por sistemas de computadores, ou seja, os robôs e as prensas, assim como os demais sistemas da linha de prensas 1 se comunicam entre si. O robô 1, como visto anteriormente, é a primeira operação da linha.

Cada robô da linha de prensas tem suas garras já previamente montadas e armazenadas (fotografia 2), na maioria dos casos cada robô tem 2 garras acopladas em seu punho, fato este que pode variar dependendo do tamanho da chapa que será produzida.

A cada produção de um novo lote de peças, durante o *setup* da máquina, todas as garras dos robôs da linha têm de ser trocadas para aquelas correspondentes ao lote que será produzido. As garras dos robôs devem ser

armazenadas em local apropriado e manuseadas corretamente garantindo ao máximo sua confiabilidade. A fotografia 2 ilustra, à direita, uma parte do inventário de garras, onde elas são armazenadas.



Fotografia 2 - Inventário de garras
Fonte: Autoria Própria

Após o *Start* do processo, o robô se movimenta em direção a pilha de matéria-prima, retira uma chapa e a deposita na operação seguinte. Em meio a este processo existe um sistema de sensoriamento de chapas. O sensor de chapas identifica a não existência de mais de uma chapa de aço na garra do robô. A fotografia 3 mostra o robô 1 em funcionamento.



Fotografia 3 - Robô1- Sistema em processo de produção
Fonte: Autoria Própria

O sistema Robótico é dividido em alguns subsistemas:

- Subsistema elétrico / eletrônico
- Subsistema pneumático / garra
- Subsistema de software / comunicação
- Subsistema de trajetória
- Subsistema de sensoriamento de chapa

Pode-se classificar um manipulador robótico de diversas formas, a apresentada anteriormente é uma forma simplificada de acordo com a designação das falhas e perdas por parada para manutenção. Abaixo segue a figura representativa dos tempos de perdas para manutenção por subsistemas do Robô 1.

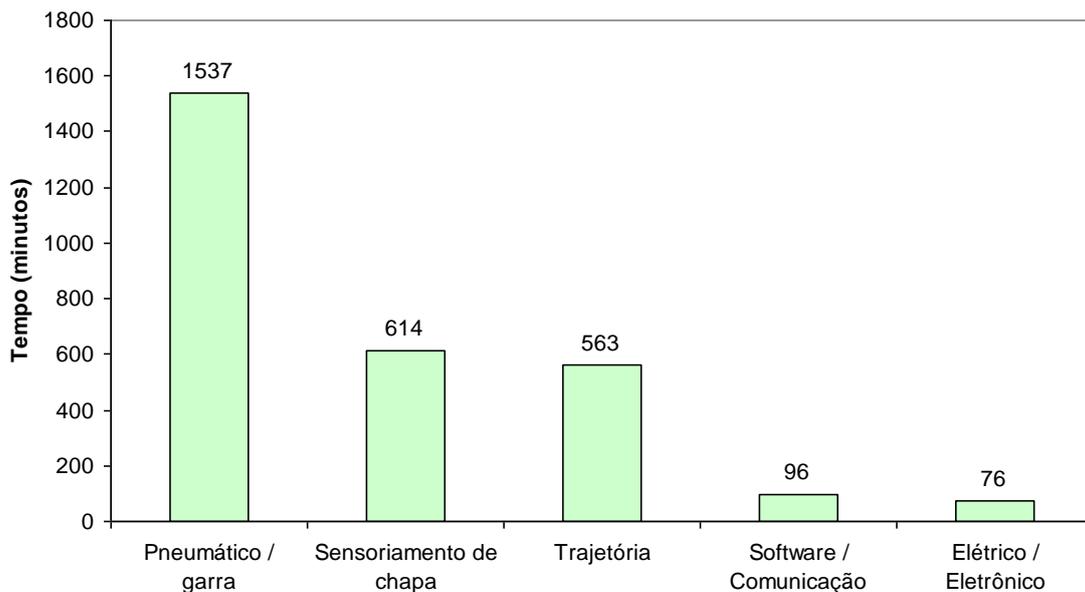


Figura 13 - Tempos de máquina parada por subsistema - 2011
Fonte: Autoria Própria

O subsistema pneumático / garra é responsável por realizar a correta coleta da chapa de aço da pilha de matéria-prima; o subsistema de sensoriamento de chapa é o responsável pela identificação de chapa na garra do robô e de verificação da espessura da chapa; o subsistema de trajetória é responsável pelo posicionamento das juntas do robô para que o mesmo realize todos os movimentos necessários no transporte da chapa; o subsistema de software / comunicação é o

responsável pelo recebimento e envio de sinais entre os sensores do robô e as outras operações da linha de prensas; por fim o subsistema elétrico / eletrônico é o responsável pelos itens elétricos e de acionamento das juntas dos robôs.

De acordo com a figura 12, o subsistema pneumático / garra e o subsistema de sensoriamento de chapa apresentam um elevado índice de paradas para manutenção, juntos correspondem a cerca de 74% dos problemas para esse robô. Com essa linha de raciocínio será feito um estudo dos subsistemas em questão e de seus principais componentes. As ferramentas da manutenção centrada em confiabilidade darão o suporte necessário a este estudo. As informações referentes aos tempos de perdas foram coletadas da planilha de imputação de falhas, um trecho desta planilha é apresentado no Apêndice 1.

3.5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DA APLICAÇÃO MCC

A partir da metodologia MCC, apresentada por Gepiak (2004), serão seguidos neste caso de estudo os seguintes passos:

- Seleção e coleta de informações
- Identificação das funções e falhas funcionais
- Análise dos modos e efeitos de falha
- Diagrama de seleção de tarefas

3.5.1 Seleção e Coleta de Informações

Os subsistemas em questão, pneumático / garra e de sensoriamento de chapa compõem basicamente a garra do robô 1. Abaixo serão listados os principais componentes que compõe esses subsistemas:

- Perfil de alumínio central e antenas: É a parte estrutural que vai presa ao punho do robô, pode ser um perfil quadrado ou circular, de acordo com o projeto da engenharia, as antenas são os perfis de menor tamanho os quais as ventosas vão posicionadas.
- Suportes e parafusos de fixação: Garante a rigidez da garra, fixando as ventosas e os perfis de alumínio nas posições corretas definidas no projeto de cada garra.
- Dispositivo de fixação do sensor dupla chapa: É o suporte para o sensor de dupla chapa, quando a garra é colocada no robô o sensor é preso a este suporte.
- Ventosas: Quando submetida a vácuo prende a chapa para que o robô faça o correto transporte da matéria-prima à operação seguinte.
- Conjunto mola/ventosa: É uma ventosa já previamente fixada a uma mola, este conjunto garante que o robô pegue a chapa mais precisamente.
- Conexões e mangueiras pneumáticas: Faz com que o ar chegue corretamente às ventosas sem perda de pressão e sem vazamentos.
- Válvulas de vácuo: Responsável em controlar a pressão de ar que vai pelas mangueiras pneumáticas e chega às ventosas, este componente não se localiza na garra propriamente dita.
- Sensor dupla chapa: Sensor de indução que é posicionado junto à garra para medir a espessura da chapa, garantindo assim que apenas uma chapa seja coletada por vez pelo robô 1. Este sensor é de uso comum a todas os robôs, após a troca da garra no *setup* de máquina, o sensor é posicionado ao seu suporte.

Esses dois subsistemas são responsáveis em garantir o contato entre a garra e a chapa, fazendo a correta leitura da espessura da matéria-prima e a transportando com segurança à próxima operação da produção. A fotografia 4, a seguir mostra uma visão geral do subsistema pneumático / garra.



Fotografia 4 - Exemplo de garra Robô 1
Fonte: Autoria Própria

Devido a diversidade de tipos de peças as quais o Robô 1 trabalha existe o tipo certo de garra para cada peça em si, variando a disposição e distribuição das ventosas e perfis de alumínio. A fotografia 4 mostra um exemplo de uma garra composta por 5 ventosas.

A fotografia 5 abaixo mostra a disposição de uma ventosa na garra do Robô 1. Vê-se a ventosa presa ao suporte e à mola (conjunto mola/ventosa), ao topo do suporte de ventosa está disposta a mangueira pneumática e a conexão pneumática, os suportes e as ventosas podem ser ajustados conforme a necessidade, garantindo versatilidade nos ajustes de garra, lembrando que todos esses componentes ficam presos ao perfil de alumínio.



Fotografia 5 - Disposição da ventosa na garra do Robô 1
Fonte: Autoria Própria

O sensor de dupla chapa é colocado na garra durante o *setup* da máquina para a produção. Este sensor foi considerado o único componente do subsistema de sensoriamento de chapa. A seguir é mostrado o sensor de dupla chapa posicionado à garra.



Fotografia 6 - Sensor de dupla chapa
Fonte: Autoria Própria

É este sistema (fotografia 6) que verifica a espessura da chapa, a partir dessa verificação o sistema sabe se apenas uma chapa está presa às ventosas da garra do Robô 1. Na frente do sensor existe também uma ventosa, que garante a proximidade entre o sensor e a chapa. Após a leitura feita pelo sensor o robô sabe se deve prosseguir ou não com o transporte da chapa.

3.5.2 Identificação das Funções e Falhas Funcionais

A Manutenção é responsável por manter um equipamento funcionando, para isso deve-se conhecer o padrão adequado de desempenho desse equipamento. Quando um equipamento ou o sistema deixa de executar suas principais funções tem-se então o conceito de falha funcional.

Os quadros 1 e 2 apresentam respectivamente as funções e falhas funcionais do subsistema pneumático / garra e do subsistema de sensoriamento de chapa.

FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS - MCC		
SISTEMA: ROBO 1		SUBSISTEMA: PNEUMÁTICO / GARRA
FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL
1	Criar vácuo adequado ao sistema	1A Não criar vácuo 1B Criar vácuo inadequado
2	Coletar a chapa de maneira adequada	2A Coletar a chapa na posição errada 2B Causar deformação à chapa durante o transporte 2C Derrubar a chapa durante transporte

Quadro 1 - Funções e falhas funcionais - Subsistema pneumático / garra.
Fonte: Autoria Própria

FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS - MCC		
SISTEMA: ROBO 1		SUBSISTEMA: SENSORIAMENTO DE CHAPA
FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL
3	Sensoriar a existência de uma única chapa na garra do robô	3A Coletar mais de uma chapa ao mesmo tempo

Quadro 2 - Funções e falhas funcionais - Subsistema de sensoriamento de chapa.
Fonte: Autoria Própria

3.5.3 Análise dos Modos e Efeitos de Falha

Após o levantamento das funções e falhas funcionais dos subsistemas em questão, foi desenvolvida a planilha de análise dos modos e efeitos de falha (FMEA simplificado), que pode ser observada a seguir.

FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DE FALHA
1 Criar vácuo adequado ao sistema	1A Não criar vácuo	1AA Válvula de vácuo com defeito 1AB Mangueira pneumática solta 1AC Conexão pneumática quebrada 1BA Válvula de vácuo mal ajustada	Falta de vácuo no sistema, pára máquina para ajuste. Falta de vácuo no sistema, pára máquina para ajuste. Falta de vácuo no sistema, pára máquina para ajuste. Envia sinal de pressão não parametrizado para o sistema, fazendo com que o robô não receba o sinal correto para continuar o processo. Pára máquina para ajuste.
	1B Criar vácuo inadequado	1BB Mangueira pneumática rasgada 1BC Mangueira pneumática estrangulada 1BD Conexão pneumática frouxa 1BE Ventosa frouxa 1BF Ventosa rasgada 1BG Ventosa com impurezas	Falta de vácuo no sistema, pára máquina para ajuste. Falta de vácuo no sistema, pára máquina para ajuste. Falta de vácuo no sistema, pára máquina para ajuste. Falta de vácuo no sistema, pára máquina para ajuste. Perda de pressão pneumática no sistema, causando o não fechamento de vácuo. Pára máquina para ajuste
2 Coletar a chapa de maneira adequada	2A Coletar a chapa na posição errada	1BH Mola do suporte de ventosa sem lubrificação 2AA Ventosa fora de posição	Falta de vácuo no sistema, pára máquina para ajuste. Robô coleta a chapa de forma errada e não fechar vácuo. Pára máquina para ajuste.
	2B Causar deformação à chapa durante o transporte	2AB Mola do suporte de ventosa sem lubrificação 2AC Mola do suporte de ventosa danificada	Robô coleta a chapa de forma errada e não fechar vácuo. Pára máquina para ajuste. Robô coleta a chapa de forma errada e não fechar vácuo. Pára máquina para ajuste.
2C Derrubar a chapa durante o transporte	2BA Causar deformação à chapa durante o transporte	2BA Ventosa fora de posição	Pode amassar a chapa durante o posicionamento caso a ventosa esteja em posição inadequada. Pára máquina para ajuste e retirada de chapa amassada.
	2CB Mangueira pneumática frouxa	2BB Mola do suporte de ventosa sem lubrificação 2CA Ventosa solta	Pode amassar a chapa durante o posicionamento caso a ventosa esteja em posição inadequada. Pára máquina para ajuste e retirada de chapa amassada. Falta de vácuo no sistema. Pára máquina para ajuste e retirada da chapa caída.
		2CB Mangueira pneumática frouxa	Falta de vácuo no sistema. Pára máquina para ajuste e retirada da chapa caída.

Figura 14 - FMEA simplificado subsistema pneumático / garra
Fonte : Autoria própria

SISTEMA: ROBO 1 FUNÇÃO	SUBSISTEMA: SENSORIAMENTO DE CHAPA FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DE FALHA
3 Sensoriar a existência de uma única chapa na garra do robô	3A Robô coletar mais de uma chapa ao mesmo tempo	3AA Sensor dupla chapa com parâmetros mal ajustados	Causa erro de leitura da espessura e robô não parte ou parte com mais de uma chapa.
		3AB Sensor dupla chapa fora da posição adequada	Causa erro de leitura da espessura e robô não parte ou parte com mais de uma chapa.
		3AC Sensor dupla chapa quebrado	Não ocorre leitura e robô não parte.
		3AD Cabo do sensor com mau contato	Não ocorre leitura e robô não parte.
		3AE Cabo do sensor rompido	Não ocorre leitura e robô não parte.
		3AF Suporte do sensor dupla chapa quebrado	Causa erro de leitura da espessura e robô não parte ou parte com mais de uma chapa.

Figura 15 - FMEA simplificado subsistema sensoriamento de chapa
Fonte: Autoria própria

3.5.4 Diagrama de Seleção de Tarefas

O diagrama de decisão do RCM, apresentado anteriormente (página 40, figura 7), questiona de diversas formas a importância dada a cada falha, qual a maneira adequada de prever ou prevenir a falha, tal qual a tarefa apropriada a ser realizada.

A partir do diagrama de decisão fez-se o levantamento, baseando-se em Gepiak (2004), da planilha de decisão e seleção de tarefas. A planilha de decisão encontra-se no Apêndice 2.

3.5.5 Análises

Os seguintes passos foram seguidos para que se chegasse à planilha de decisão do MCC:

- Identificação do subsistema de maior impacto dentro do Robô 1;
- Seleção e coleta de informações referentes a esse subsistema;
- Identificação das funções e falhas funcionais;
- Criação do formulário FMEA simplificado;
- Por fim criação da planilha de decisão e seleção das tarefas.

Com a criação da planilha de seleção de tarefas foi possível identificar as tarefas de manutenção adequadas para cada modo de falha relacionado aos subsistemas analisados. O quadro abaixo lista as tarefas propostas a fim de se evitar os modos de falha (quadro 3).

TAREFAS PROPOSTAS
1 - Manutenção preventiva na válvula de vácuo do robô 2 - Manutenção preventiva nas válvulas de vácuo que estão em estoque, garantindo sua disponibilidade quando exigido corretiva imediata
Ajuste correto dos parâmetros da válvula de vácuo de acordo com folha de operações standard
Inspeção da mangueira pneumática, se necessário trocar a mangueira
Inspeção da conexão pneumática e da rosca da conexão, se necessário trocar a conexão
Inspeccionar aperto das ventosas, se necessário trocar a ventosa
Inspeccionar estado das ventosas, se necessário trocar a ventosa defeituosa
Realizar limpeza da ventosa
Verificar posicionamento da ventosa em sua posição pré-definida
Realizar a lubrificação da mola, se necessário trocar a mola
Inspeção do conjunto mola/ventosa, se necessário trocar o conjunto mola/ventosa
Verificar aperto da ventosa
Ajuste dos parâmetros do sensor de acordo com a folha de operação standard
Verificar posicionamento do sensor de dupla chapa
Troca do sensor de dupla chapa
Preventiva no cabo do sensor de dupla chapa
Troca do cabo do sensor de dupla chapa
Inspeção no suporte do sensor dupla chapa

Quadro 3 - Tarefas de manutenção propostas

Fonte: Autoria Própria

3.5.6 Ganhos em Confiabilidade

A partir deste caso de estudo, foi possível propor um plano de manutenção para os itens e componentes dos dois subsistemas estudados do Robô 1 (figura 15). Os componentes identificados como A008 e B001, válvula de vácuo e sensor dupla chapa respectivamente são componentes que estão nos subsistemas estudados mas são componentes que não ficam diretamente acoplados à garra, deste modo a manutenção destes itens pode ser realizada independentemente da produção. Basta a equipe de manutenção realizar a manutenção prevista para esses componentes e disponibilizá-los em estoque para futuras intervenções e trocas destes componentes dentro da linha.

Identificação do componente	Componente	Atividade	Metodologia aplicada		Tempo (min)	Responsável	Períodicidade
A001	Ventosas	Verificar se estão apertadas e não danificadas (não deve estar rasgadas)	Inspeção	Manual	2 min	Téc. manutenção / Condutor	A cada produção
A001	Ventosas	Executar limpeza	Limpeza	Manual	20 seg	Téc. manutenção / Condutor	A cada produção
A002	Mangueiras pneumáticas	Verificar se estão encaixadas, não devem estar rasgadas e nem enforcadas com fita helermam	Inspeção	Manual	30 seg	Téc. manutenção / Condutor	A cada produção
A003	Conexões pneumáticas	Verificar se não estão soltas e (ou) quebradas	Inspeção	Manual	10 seg	Téc. manutenção / Condutor	A cada produção
A004	Suportes e parafusos de fixação	Verificar se estão apertadas e não deve estar faltando parafusos	Inspeção	Manual	30 seg	Téc. manutenção / Condutor	A cada produção
A005	Conjunto mola ventosa	Verificar se estão soltas e ou se estão quebradas (mola e ventosa)	Inspeção	Manual	10 seg	Téc. manutenção / Condutor	A cada produção
A005	Conjunto mola ventosa	Verificar se a mola está lubrificada	Lubrificação	Manual	30 seg	Téc. manutenção / Condutor	A cada produção
A006	Dispositivo de fixação do sensor dupla chapa	Verificar se está na posição correta e bem apertado	Inspeção	Manual	5 seg	Téc. manutenção / Condutor	A cada produção
A007	Perfil central e Antenas	Executar limpeza	Limpeza	Manual	30 seg	Téc. manutenção / Condutor	A cada produção
A007	Perfil central e Antenas	Verificar aperto dos parafusos de fixação	Inspeção	Manual	5 seg	Téc. manutenção / Condutor	A cada produção
A008	Válvula de vácuo	Realizar limpeza dos filtros	Limpeza	Manual	15min	Téc. Manutenção	Trimestral
A008	Válvula de vácuo	Verificar as vedações da válvula	Inspeção	Manual	3 min	Téc. Manutenção	Trimestral
B001	Sensor dupla chapa	Verificar se está funcionando corretamente	Inspeção	Manual	2 min	Téc. Manutenção	Mensal
B001	Sensor dupla chapa	Verificar possíveis mau-contatos	Inspeção	Manual	2 min	Téc. Manutenção	Mensal

Figura 16 - Plano de manutenção
Fonte: Autoria própria

As garras dos robôs da linha de prensas são de extrema importância para a produção, como mencionado anteriormente no item 3.4.1. Elas têm que ser de grande confiabilidade. No que diz respeito especificamente às garras do robô chegue-se as seguintes conclusões:

- 1) Sua manutenção é relativamente simples, como pode ser visto no plano de manutenção apresentado o tempo para se realizar uma inspeção, uma limpeza e alguns ajustes é relativamente pequeno.
- 2) Componentes A001, A002, A003, A004, A005 A006 e A007 podem ter sua manutenção preventiva realizada pouco tempo antes das garras serem colocadas no robô para a produção de um novo lote.
- 3) O planejamento de manutenção para os componentes citados (A001, A002, A003, A004, A005 A006 e A007) resume-se a inspeções periódicas antes da produção e pode ser feita por um condutor de máquina, podendo ser criado um plano de manutenção autônoma para a garra do robô. Essas inspeções diminuem as chances de futuras manutenções corretivas, aumentando a confiabilidade e disponibilidade do Robô 1.
- 4) A confiabilidade das garras do Robô 1 pode estar estritamente relacionada ao manuseio e armazenamento dessas garras no inventário. Isso se deve ao fato de que durante o transporte dessas garras, seja para ajustar o robô ou para guardá-la no inventário o condutor de máquina pode bater a garra, retirar alguma peça da posição ou até mesmo danificar alguma mangueira ou conexão pneumática.
- 5) Atuação constante da manutenção para com a fabricação no que diz respeito à manutenção e inspeção das garras do Robô 1, podendo ainda estender essa metodologia às outras garras, de todos os outros robôs.
- 6) Melhorias no sistema de armazenamento das garras evitando possíveis avarias, garantindo sempre que as mesmas estejam conforme a última utilização.

- 7) Melhorias no processo de manuseio das garras por parte da fabricação, mas com atuação da manutenção para fiscalizar o correto procedimento e utilização do mesmo.

- 8) Capacitar e treinar a equipe para atuar da melhor forma possível quando algum equipamento deixar de executar suas funções.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atendendo ao objetivo geral deste trabalho, foi proposto um plano de manutenção para os sistemas estudados. A pertinência da utilização da metodologia MCC baseia-se em possíveis ganhos em confiabilidade e disponibilidade para esses sistemas. Este fato ficou evidente neste caso de estudo pois foram caracterizados pontos onde pode-se reduzir problemas e se ganhar em confiabilidade.

A aplicação desta metodologia foi importante para caracterizar os sistemas estudados. E, de modo especial, aqueles que apresentam maiores tempos de paradas em função da necessidade de manutenção (os mais críticos), no caso, os subsistemas pneumático / garra e o de sensoriamento de chapa. A partir do estudo feito, utilizando ferramentas da MCC, foi possível propor um plano de manutenção para os subsistemas mais críticos.

A partir do caso estudado, com a utilização de ferramentas da MCC, sugere-se algumas ações, a serem implementadas nas empresas, em relação aos seus processos de manutenção:

- Criação de uma equipe de MCC. Esta equipe deve manter reuniões semanais para averiguar os indicadores de manutenção e verificando os quais devem ser melhorados. A equipe deve ser composta por membros de diferentes setores, aumentando a eficiência das decisões tomadas.
- Estender a utilização da metodologia apresentada aos outros sistemas da mesma linha. Este item deve ser estudado pela equipe de manutenção centrada em confiabilidade e verificar o que é mais viável.
- Estender os conceitos e utilização da metodologia MCC aos outros departamentos, principalmente à Fabricação.
- Realizar levantamento do tempo médio para reparo e tempo médio entre falhas dos itens críticos, bem como os cálculos de confiabilidade e disponibilidade destes itens.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade, 1994.

FERREIRA, Aurelio Buarque de Holanda. **Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. 5. Ed. Curitiba: Positivo, 2010.

GEPIAK, Adriano Carlo. **Manutenção centrada em confiabilidade (MCC): estudo de caso da manutenção no sistema transfer de um equipamento de usinagem**. Curitiba, 2004 79 f. Monografia (Especialização) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica. Curitiba, 2004.

JESUS, Márcio Alberto Silva de. **Manutenção centrada em confiabilidade: empresa de manufatura; estudo de caso na Eletrolux do Brasil**. Curitiba, 2004 103 f. Monografia (Especialização) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica. Curso de Especialização em Gerência de Manutenção. Curitiba, 2004.

KUKA. Disponível em:

<http://www.kuka-robotics.com/en/products/industrial_robots/special/high_accuracy_robots/kr60_ha/sta-rt.htm>. Acesso em: 20 Jun. 2012.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso PETROBRÁS. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark; PETROBRÁS, 2001. 374 p.

MOHR, R.R. Disponível em:

<<http://www.generalpurposehosting.com/handbooks/fmeamanual.pdf>>. Acesso em: 15 Mar. 2012.

MOUBRAY, John. **Reliability-centered maintenance**. 2nd ed. New York: Industrial Press, c1997. 426 p. ISBN 0-8311-3146-2

PALMEIRA, Jorge Nassar; TENORIO, Fernando Guilherme. **Flexibilização organizacional: aplicação de um modelo de produtividade total**. Rio de Janeiro: FGV; Brasília: Eletronorte, 2002. 279 p.

PIAZZA, Gilberto. **Introdução à engenharia da confiabilidade**. Caxias do Sul: EDUCS, 2000. 128 p.

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Aquino Nascif. **Manutenção: função estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009. xvi, 361 p.

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Aquino Nascif. **Manutenção: função estratégica**. 2. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001. xviii, 341 p.

SCAPIN, Carlos Alberto. **Análise sistêmica de falhas**. Belo Horizonte: DG, 2007, c1999. 168 p.

SCHULER. Disponível em:

<http://www.schulergroup.com/technologien/produkte/highlight_servopressenlinie/index.html>. Acesso em: 22 Jun. 2012.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4ª. ed. rev. atual. – Florianópolis: UFSC, 2005. 138p.

SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, c2005. xxvi, 374 p.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM, planejamento e controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 167 p.

APÊNDICE 1 - PLANILHA DE INPUTAÇÃO DE FALHAS

Mês	Ano	Tempo	Linha	OP	Descrição da parada
Out	2011	10	Linha 1	Robo1	Trajatória - depositando fora de posição
Out	2011	4	Linha 1	Robo1	Perdeu peça
Out	2011	4	Linha 1	Robo1	Dupla Chapa - Duas chapas na garra
Out	2011	3	Linha 1	Robo1	Dupla Chapa - Duas chapas na garra
Out	2011	3	Linha 1	Robo1	Dupla Chapa - Duas chapas na garra
Out	2011	4	Linha 1	Robo1	Perdeu peça
Out	2011	5	Linha 1	Robo1	Perdeu peça
Out	2011	5	Linha 1	Robo1	Dupla Chapa - Duas chapas na garra
Out	2011	5	Linha 1	Robo1	Perdeu peça
Out	2011	4	Linha 1	Robo1	Perdeu peça
Out	2011	2	Linha 1	Robo1	Perdeu peça
Out	2011	6	Linha 1	Robo1	Dupla chapa - ajustado sensor
Out	2011	4	Linha 1	Robo1	Garra - ajustes
Out	2011	5	Linha 1	Robo1	Perdeu peça
Out	2011	4	Linha 1	Robo1	Perdeu peça
Out	2011	14	Linha 1	Robo1	Perdeu peça
Out	2011	6	Linha 1	Robo1	Dupla chapa - sensor amassado
Out	2011	5	Linha 1	Robo1	Perdeu peça
Nov	2011	4	Linha 1	Robo1	Trajatória - ajustes
Nov	2011	4	Linha 1	Robo1	Trajatória - depositando fora de posição
Nov	2011	3	Linha 1	Robo1	Perdeu peça
Nov	2011	4	Linha 1	Robo1	Falha interna do robô
Nov	2011	2	Linha 1	Robo1	Falha interna do robô
Nov	2011	7	Linha 1	Robo1	Perdeu peça
Nov	2011	2	Linha 1	Robo1	Perdeu peça
Nov	2011	2	Linha 1	Robo1	Perdeu peça
Nov	2011	3	Linha 1	Robo1	Perdeu peça
Nov	2011	4	Linha 1	Robo1	Sensor de ultima chapa
Nov	2011	2	Linha 1	Robo1	Perdeu peça

APÊNDICE 2 - PLANILHA DE DECISÃO MCC

SISTEMA: ROBO 1		SUBSISTEMA: PNEUMÁTICO / GARRA						TAREFA PROPOSTA	FREQUÊNCIA INICIAL	PODE SER FEITA POR		
REFERÊNCIA		AVALIAÇÃO DA CONSEQUÊNCIA										
		H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	AÇÃO DEFAULT							
F	FF	MF	H	S	E	O	H4	H5	S4			
1	1A	1AA	S	N	N	S	S	1 - Manutenção preventiva na válvula de vácuo do robô 2 - Manutenção preventiva nas válvulas de vácuo que estão em estoque, garantindo sua disponibilidade quando exigido corretiva imediata			1 - Semanal 2 - Mensal	Técnico de manutenção
		1AB	S	N	N	S	S	Inspeção da mangueira pneumática			Por produção	Condutor de máquina
		1AC	S	N	N	S	S	Inspeção da conexão pneumática			Por produção	Técnico de manutenção
		1BA	S	N	N	S	S	Ajuste correto dos parâmetros da válvula de vácuo de acordo com folha de operações standard			Por produção	Condutor de máquina
		1BB	S	N	N	S	S	Inspeção da mangueira pneumática, se necessário trocar a mangueira			Por produção	Condutor de máquina
		1BC	S	N	N	S	S	Inspeção da mangueira pneumática, se necessário trocar a mangueira			Por produção	Condutor de máquina
		1BD	S	N	N	S	S	Inspeção da conexão pneumática e da tosa da conexão, se necessário trocar a conexão			Por produção	Condutor de máquina
		1BE	S	N	N	S	S	Inspeção de aperto das ventosas, se necessário trocar a ventosa			Por produção	Condutor de máquina
		1BF	S	N	N	S	S	Inspeção estado das ventosas, se necessário trocar a ventosa defeituosa			Por produção	Condutor de máquina
		1BG	S	N	N	S	S	Realizar limpeza da ventosa			Por produção	Condutor de máquina
2	2A	2AA	S	N	N	S	S	Realizar a lubrificação da mola			Por produção	Condutor de máquina
		2AB	S	N	N	S	S	Verificar posicionamento da ventosa em sua posição pré-definida			Por produção	Condutor de máquina
		2AC	S	N	N	S	S	Realizar a lubrificação da mola, se necessário trocar a mola			Por produção	Condutor de máquina
		2AD	S	N	N	S	S	Inspeção do conjunto mola/ventosa, se necessário trocar o conjunto mola/ventosa			Por produção	Condutor de máquina
		2BA	S	N	N	S	S	Verificar posicionamento da ventosa em sua posição pré-definida			Por produção	Condutor de máquina
		2BB	S	N	N	S	S	Realizar a lubrificação da mola, se necessário trocar a mola			Por produção	Condutor de máquina
		2CA	S	N	N	S	S	Verificar aperto da ventosa			Por produção	Condutor de máquina
		2CB	S	N	N	S	S	Inspeção da mangueira pneumática, se necessário trocar a mangueira			Por produção	Condutor de máquina
		3AA	S	N	N	S	S	Ajuste dos parâmetros do sensor de acordo com a folha de operação standard			Por produção	Condutor de máquina
		3AB	S	N	N	S	S	Verificar posicionamento do sensor de dupla chapa			Por produção	Condutor de máquina
3	3A	3AC	S	N	N	S	S	Preventiva no cabo do sensor de dupla chapa			Corretiva Imediata	Técnico de manutenção
		3AD	S	N	N	S	S	Troca do cabo do sensor de dupla chapa			Mensal	Técnico de manutenção
		3AE	S	N	N	S	S	Troca do cabo do sensor de dupla chapa			Corretiva Imediata	Técnico de manutenção
		3AF	S	N	N	S	S	Inspeção no suporte do sensor dupla chapa			Semanal	Técnico de manutenção

Legenda das colunas: F - função; FF - falha funcional; MF - modo de falha; H S E O - respostas referentes à consequências de cada modo de falha; H1 H2 H3 - tarefa pro-ativa selecionada; H4 H5 S4 - ação default

ANEXO 1 - MODELO DE FORMULÁRIO FMEA

Análise do Tipo e Efeito de Falha																	
<input type="checkbox"/> FMEA de Processo <input type="checkbox"/> FMEA de Produto																	
Cod_pec : _____ Nome da Peça: _____ Data: _____ Folha No. _____ de _____																	
Descrição do Produto/ Processo	Função(ões) do produto	Tipo de Falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	Causa da Falha em Potencial	Controles Atuais	Índices			Ações de Melhoria								
						S	O	D	R	Ações Recomendadas	Responsável/ Prazo	Medidas Implantadas	Índices Atuais				
						S	O	D	R				S	O	D	R	

S = Severidade O = Ocorrência D = Detecção R = Riscos Figura 1: Formulário FMEA

Análise do Tipo e Efeito de Falha