



**FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS DE
SERGIPE - FANESE
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**



5231a

MARIA VANUZIA SANTOS SANTANA

**APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA
CONFIABILIDADE E FERRAMENTAS DE QUALIDADE EM
UMA PLANTA INDUSTRIAL**

Aracaju – SE
2009.2

MARIA VANUZIA SANTOS SANTANA

**APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA
CONFIABILIDADE E FERRAMENTAS DE QUALIDADE EM
UMA PLANTA INDUSTRIAL**

**Aracaju – SE
2009.2**

FANESE
BIBLIOTECA Dra. CELUTA MARIA MONTEIRO FREITAS
N.º RG. 17590 DATA 05/05/2010
ORIGEM COMPRA

FICHA CATALOGRÁFICA

Santana, Maria Vanuzia Santos

Aplicação da manutenção centrada na confiabilidade e ferramentas de qualidade em uma planta industrial / Maria Vanuzia Santos Santana. – 2009.

70f.: il.

Monografia (graduação) – Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe, 2009.

Orientação: Prof. Esp. Josevaldo dos Santos Feitoza

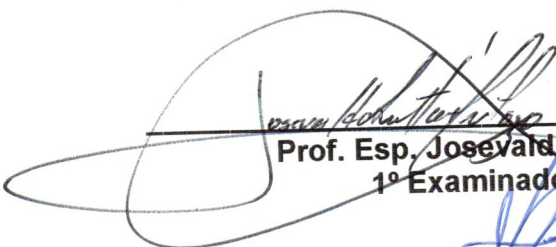
1. Manutenção 2. Confiabilidade 3. Qualidade I. Título

CDU 658.588.2

MARIA VANUZIA SANTOS SANTANA

**APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA
CONFIABILIDADE E FERRAMENTAS DE QUALIDADE EM
UMA PLANTA INDUSTRIAL**

Monografia apresentada à banca examinadora da Faculdade de Administração e Negócio de Sergipe – FANESE, como requisito parcial e elemento obrigatório para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção, no período 2009.2.



Prof. Esp. Josevaldo dos Santos Feitoza
1º Examinador (Orientador)

Prof. Dr. Jefferson Arlen Freitas
2º Examinador

Prof. Esp. Shegeak C. F. da Silva
3º Examinador

Aprovado (a) com média: _____

Aracaju (SE), ____ de _____ de 2009

A meu querido e amado pai celestial:
tenho certeza que sempre está
iluminando nossas vidas. Ao meu
marido Brunno e meus adorados pais
e irmãos, pessoas que amo
incondicionalmente e que sempre
estiveram presentes em todos os
momentos da minha vida. À minha
bisavó Maria do Carmo (In memoriam),
sempre presente em meu coração.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho, em especial: a meu marido e companheiro de todos os momentos Brunno, que sempre acreditou no meu potencial e pela compreensão nos momentos de ausência ocasionados pela dedicação aos estudos.

Aos meus pais, José Ailton e M^a José, pessoas que tenho como referência na minha vida e pelas quais tenho grande admiração. Aos meus irmãos José Jailton, Gilvania e Vanicléia pelo carinho constante.

À minha bisavó Maria do Carmo (In memoriam), que sempre me incentivou a não desistir dos meus sonhos.

A Família VALE (TMIB): Fernando Barros, Samuel, Itamar Mota, Patrícia, Ailton, Lais, Martins, Bianca, Valdeilson, Ednaldo, André Rosário, à toda equipe, e em especial a Alessandro, Jefersson e Malvino, por terem me guiado e ajudado com diretrizes para a elaboração deste trabalho.

Aos meus AMIGOS de faculdade, pois nos mantivemos unidos desde o início do curso: Alexandre Siqueira, Alexandre Ramos, Paulo Seixas, Jardyson Vieira, João Leonardo e Rafael Henrique.

Aos meus queridos mestres, que contribuíram de forma significativa para a agregação de valores a minha pessoa, em especial aos professores Marcos Aguiar, Ricardo Oliveira, Kleber Souza, Mario Celso, Malvino e Helenice Garcia.

Ao professor Josevaldo Feitoza, pela orientação deste trabalho e pela amizade formada.

“Sabem o suficiente aqueles que sabem como aprender.”

Henry Brooks Adams

RESUMO

Este trabalho tem por finalidade apresentar o processo evolutivo da aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), visando melhorar a disponibilidade dos ativos de produção de um terminal marítimo, através da aplicação da técnica de análise de modos de falhas e efeitos (FMEA) e ferramentas de qualidade. O estudo de caso foi realizado no Terminal Marítimo Inácio Barbosa (TMIB), situado no município de Barra dos Coqueiros, em Sergipe, e operado pela Vale, uma empresa multinacional com larga experiência em operação portuária. Inicialmente apresentou-se a fundamentação teórica do estudo, que teve como base uma pesquisa bibliográfica sobre a história da manutenção, os métodos da mesma, os principais indicadores, e as ferramentas de qualidade aplicadas à MCC. Foram caracterizados os principais ativos de produção do terminal marítimo, e identificados os principais modos de falha ocorridos em 2007. Com a aplicação da FMEA e ferramentas de qualidade, como o diagrama de causa e efeito, foram identificadas as causas prováveis que impactam na disponibilidade intrínseca dos ativos de produção, e elaborado um plano de ação 5W1H, o qual foi implementado ao longo de 2008, aumentando a disponibilidade dos ativos. Os resultados obtidos mostraram que este método é um processo contínuo, e por isso deve ser gerenciado de forma que traga ganhos para a confiabilidade e disponibilidade dos ativos em questão.

Palavras-chave: Manutenção. Confiabilidade. Qualidade

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Síntese da aplicação das metodologias de manutenção	19
Figura 2 - Evolução da Manutenção.....	19
Figura 3 - Métodos de Manutenção Planejada.....	20
Figura 4 - Manutenção Corretiva não Planejada.....	22
Figura 5 - Manutenção Preditiva.....	25
Figura 6 - Os oito pilares do TPM.....	27
Figura 7 - Resultados x Tipos de Manutenção.....	28
Figura 8 - Organograma de organização de uma fábrica.....	29
Figura 9 – Comportamento do MTBF e suas variáveis.....	32
Figura 10 – Representação gráfica dos tempos de operação e intervenção.....	34
Figura 11 – Relação da disponibilidade $D(t)$ com a taxa de falha $\lambda_c(t)$	36
Figura 12 - Intervalo P-F.....	41
Figura 13 - Curvas de caracterização dos modos de falha.....	42
Figura 14 - Curva de distribuição de freqüência e taxa de falha para modo de falha B.....	44
Figura 15 - Etapas do processo FMEA.....	46
Figura 16 - Foto do Terminal Marítimo Inácio Barbosa (TMIB).....	51
Figura 17 - Foto do Pier do Terminal Marítimo Inácio Barbosa.....	52
Figura 18 - Correia transportadora 90TC07.....	52
Figura 19 - Guindaste Portuário (Canguru).....	53
Figura 20 - Carregador de Navios (Ship-Loader).....	54
Figura 21 - Moega Móvel.....	54
Figura 22 - Fluxograma do processo de carregamento de cimento.....	55
Figura 23 - Fluxograma do processo de descarga de granéis com guindaste "canguru".....	56
Figura 24 - Fluxograma do processo de descarga de granéis com equipamentos do navio.....	57
Figura 25 - Resultado de 2007 da Confiabilidade das linhas de carregamento e descarregamento do TMIB.....	58
Figura 26 - Resultado de 2007 e metas de 2008 da Confiabilidade das linhas de carregamento e descarregamento do TMIB.....	59
Figura 27 - Gráfico de Pareto das paradas para manutenção corretiva em 2007.....	60
Figura 28 - Gráfico de Pareto das Manutenções corretivas mecânicas no 90GD01 em 2007.....	62
Figura 29 - Gráfico de Pareto das Manutenções corretivas mecânicas no 90TC11 em 2007.....	62
Figura 30 - Gráfico de Pareto das Manutenções corretivas mecânicas no 90SH01 em 2007.....	63
Figura 31 - Diagrama de Causa e Efeito 01.....	63
Figura 32 - Diagrama de Causa e Efeito 02.....	64
Figura 33 - Aplicação da Técnica dos Porquês.....	65
Figura 34 - Plano de Ação (5W1H).....	66
Figura 35 - Resultado de 2008 da Confiabilidade das linhas de carregamento e descarregamento do TMIB.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estratificação dos tempos de paradas para manutenção corretiva em 2007.....	60
Tabela 2 - Estratificações de manutenções corretivas nos equipamentos com maior tempo de parada.....	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Definições de Manutenção	21
Quadro 2 - Itens de controle do indicador de desempenho de equipamentos..	31
Quadro 3 - Dimensões das Correias Transportadoras.....	52
Quadro 4 - Evolução da Disponibilidade Intrínseca.....	67

SUMÁRIO

RESUMO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE QUADROS

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivos.....	13
1.1.1 Objetivo geral.....	13
1.1.2 Objetivos específicos	13
1.2 Justificativa	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 Definições de Manutenção	15
2.2 História da Manutenção.....	16
2.3 Gerenciamento da Manutenção	19
2.4 Métodos de Manutenção	20
2.4.1 Manutenção Corretiva	21
2.4.2 Manutenção Preventiva	22
2.4.3 Manutenção Preditiva	23
2.4.4 Manutenção Detectiva	25
2.4.5 Manutenção autônoma	26
2.4.6 Engenharia de Manutenção.....	27
2.5 Planejamento e Controle da Manutenção	29
2.6 Indicadores de Manutenção	29
2.7 Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC).....	36
2.7.1 Objetivos da MCC	37
2.7.2 Definições da MCC.....	37
2.7.3 Modos de Falha.....	41
2.7.4 Análises Utilizadas na Manutenção Centrada na Confiabilidade	44
2.8 Ferramentas de Qualidade Aplicadas No MCC.....	47
2.8.1 Análise de Pareto.....	47
2.8.2 Técnica dos “5 Porquês”.....	47
2.8.3 Diagrama de Causa e Efeito	48
2.8.4 Plano de Ação (5W1H)	48
2.8.5 Estratificação	48
3 METODOLOGIA	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 Ativos de Produção.....	51
4.1.1 Sistema de Correias Transportadoras.....	51
4.1.2 Guindaste Portuário.....	53
4.1.3 Carregador de Navios (ship-loader).....	53
4.1.4 Moegas Móveis	54
4.2 Fluxogramas de Processo.....	55
4.3 Resultados da aplicação dos conceitos da MCC	58

5 CONCLUSÃO	68
REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

Com a revolução do mercado globalizado, a competitividade industrial passou a ser um ponto chave para a manutenção das empresas dentro do seu ramo de atuação. Neste sentido, um bom gerenciamento voltado para os resultados das instalações pode ser visto como uma estratégia sólida na redução das perdas e diferencial competitivo. Neste cenário, a manutenção está inserida como um diferencial estratégico de gerenciamento da produtividade das instalações, aumentando a disponibilidade e reduzindo os custos operacionais.

A manutenção industrial visa manter os ativos, que fazem parte de um processo produtivo, sempre em condições de atender aos requisitos de sua função requerida, dessa forma, entende-se que se trata de uma atividade em que as organizações devem observar as oportunidades de ganhos como diferencial competitivo trabalhando a disponibilidade da planta.

Atualmente, com a evolução acelerada da tecnologia, os equipamentos complexos de um processo produtivo são bastante exigidos e demanda tempo, mão de obra e recursos especiais para sua manutenção. Para atender as novas solicitações, os novos conceitos de manutenção são baseados na possibilidade de garantir que um equipamento opere sem apresentar falha ou na monitoração das suas variáveis de funcionamento, prevendo o momento certo para realizar uma intervenção preventiva ou de reparo. As empresas estão assimilando as boas práticas na utilização de sistemas de informação de alta performance, onde são gerados dentre outros, indicativos que balizam a elaboração de planos de manutenção, estabelecendo periodicidades e modelos eficazes de prevenção de falhas nos equipamentos.

A manutenção vista com este enfoque, tem trazido reduções consideráveis nos custos da manutenção e aumento da disponibilidade das plantas industriais além de direcionar a empresa para o alcance do seu objetivo dentro do seu planejamento estratégico.

Neste sentido, as práticas de gestão da manutenção devem assegurar a confiabilidade dos equipamentos, o controle e gerenciamentos dos ativos, para não comprometer o planejamento estratégico da empresa.

Neste estudo é apresentada a utilização de ferramentas de qualidade e a técnica FMEA - Análise de Modos de Falhas e Efeitos (*Failure Mode and Effect Analysis*), uma técnica indutiva, estruturada e lógica para identificar e/ou antecipar a(s) causa(s) e efeitos de cada modo de falha de um sistema ou produto, visando uma maior confiabilidade de uma planta industrial, estudando um caso de aplicação destas técnicas para melhorar a disponibilidade dos ativos de produção do Terminal Marítimo Inácio Barbosa (TMIB), administrado pela empresa VALE, localizado no município de Barra dos Coqueiros – SE.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Aplicar ferramentas de qualidade e técnica FMEA nos ativos de produção de um terminal marítimo.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar os principais modos de falhas dos ativos de produção;
- Reduzir impacto de paradas do processo evitando os modos de falha.
- Aumentar a confiabilidade dos ativos de produção do terminal marítimo

1.2 Justificativa

As atividades executadas pelo planejamento e controle da manutenção devem gerar informações fundamentais para o gerenciamento dos ativos de uma empresa. É através do controle e acompanhamento dos serviços executados que os

profissionais envolvidos no processo podem montar estratégias e utilizar modernas técnicas de manutenção para manter ou melhorar o desempenho dos equipamentos.

No âmbito industrial, este trabalho tem como justificativa apresentar como é possível através do planejamento e acompanhamento das intervenções em equipamentos, otimizar os recursos de execução das atividades, reduzir os custos de manutenção e aumentar a disponibilidade do equipamento.

No âmbito acadêmico o trabalho apresenta como a utilização de ferramentas de qualidade associadas ao uso do FMEA pode elevar a produtividade através do aumento da confiabilidade dos equipamentos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para observar os aspectos positivos da utilização das técnicas de manutenção, é necessário observar a definição do termo manutenção, e como ocorreu o início e a evolução da mesma dentro das empresas, abordando aspectos cronológicos e definições associado às metodologias dele.

2.1 Definições de Manutenção

O termo Manutenção tem sua origem no vocabulário militar, cuja definição era manter as tropas abastecidas de recursos de forma constante (MONCHY 1999, apud QUINELLE e NICOLETTI, 2005). Esta definição assemelha-se ao conceito sobre “manter” que é indicado em vários dicionários, como causar continuidade ou reter o estado atual, que concorda com o primeiro conceito de “manutenção” que significa conservar algo.

De acordo com a Norma Brasileira ABNT NBR 5462/1981, a manutenção é o conjunto de ações destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual ele pode executar a função requerida. Já a Norma Inglesa BS – 3811/1974, a manutenção é definida como uma combinação de qualquer ação que visa reter ou reparar um item de acordo com um padrão aceitável.

Para Moubray (2000), “manter” significa continuar em um estado existente, o que leva a conclusão de que: a manutenção é o conjunto de técnicas de atuação para que os ativos físicos (equipamentos, sistemas, instalações) cumpram ou preservem sua função ou funções específicas.

No passado a manutenção tinha uma visão de que a principal missão da manutenção era de restabelecer as condições de funcionamento requeridas de um determinado equipamento (PINTO e XAVIER, 1999).

Para Pinto e Xavier (1999), a missão da manutenção não pode se limitar em manter o equipamento fisicamente conservado e sim manter a sua função requerida dentro de uma condição especificada de operação.

2.2 História da Manutenção

Segundo Siqueira (2005), a evolução da manutenção pode ser dividida em três fases distintas de acordo com os acontecimentos históricos da humanidade.

A primeira fase teve início após o surgimento da indústria mecanizada, no final do século XIX. Até meados da década de dez a função manter estava restrita a atividades irrisórias para o processo produtivo. Assim, as atividades de manutenção tinham a mínima complexidade possível, período no qual não eram atividades estratégicas para as empresas. Dessa forma, os reparos eram executados por profissionais que não tinham capacitação adequada para realização dos reparos, sem os recursos necessários para execução dos mesmos, nesta época o profissional que operava a máquina era o responsável pela correção dos defeitos que surgiam. (TAVARES, 2005).

Devido à demanda gerada pela Primeira Guerra Mundial, as indústrias necessitavam garantir volumes mínimos de produção, surgiu então a necessidade de criar equipes específicas que pudessem restabelecer as condições ideais de funcionamento das máquinas e sistemas em um menor tempo possível. Surgiram os primeiros "Setores de Manutenção". As equipes formadas para execução de manutenção atuavam apenas após a ocorrência das falhas. (TAVARES, 1999).

A partir de então a função manter começou a emergir. Segundo Tavares (1999) a manutenção "começa a organizar-se com a Administração Científica de Henry Ford, onde a produção em série necessitaria de uma manutenção mais elaborada".

A segunda fase da manutenção atravessa a Segunda Guerra Mundial, até a década de 60. Com a guerra houve uma redução considerável do contingente de mão de obra industrial, ao mesmo tempo em que as pressões impostas pela guerra demandavam uma grande quantidade e diversidade de tipos de produto, e como a mão de obra estava escassa, a mecanização das instalações industriais foi aquecida para atender esta demanda, junto com a mecanização vieram às dificuldades de efetuar os reparos nos equipamentos devido a sua maior complexidade. (PINTO e XAVIER, 1999)

As indústrias, nesta época, ficaram dependentes das máquinas para cumprir os programas de produção. Para atender os programas de produção era necessário aumentar a produtividade das instalações trabalhando a disponibilidade e

confiabilidade da planta, isto levou a idéia de que as falhas poderiam e deveriam ser evitadas, já que estas afetam diretamente a disponibilidade e confiabilidade. Assim surgiu a Manutenção Preventiva (PINTO e XAVIER, 1999).

A manutenção preventiva nasce com a posição hierárquica de mesmo nível da produção, considerado um ganho para a manutenção (MUASSAB, 2002).

A manutenção preventiva era baseada em intervenções nos equipamentos com uma frequência e intervalos fixos. Esta forma de manter os equipamentos elevou os custos da manutenção para próximo dos custos operacionais. Esta situação fez aumentar os sistemas de planejamento e controle da manutenção que, hoje é parte integrante da manutenção moderna (PINTO e XAVIER, 1999).

Segundo Pinto e Xavier (1999), com a grande quantidade de capital investido na aquisição de ativos e os custos elevados para manutenção destes levaram as organizações a estudar formas de aumentar a vida útil dos ativos.

Para aumentar a vida útil e melhorar os processos da manutenção, surge o órgão de assessoramento da manutenção, a Engenharia de Manutenção. A criação deste órgão foi impulsionada devido à escassez de mão de obra especializada ocasionada pelo pós-guerra, tem como objetivo estudar as causas e efeitos das falhas nos equipamentos e elaborar procedimentos para uma boa gestão da manutenção (MUASSAB, 2002).

A terceira fase foi marcada pela mudança acelerada dos processos de manutenção na década de 70. As paralisações do processo de produção já não afetavam somente a capacidade de produção, mas aumentava os custos operacionais e interferiam na qualidade do produto. Com a entrada do conceito de *just-in-time*, metodologia usada para redução de estoques, as conseqüências das paralisações poderiam afetar não só uma linha de produção e sim a fábrica (PINTO e XAVIER, 1999).

Ainda no mesmo período, evidenciaram-se os esforços científicos de pesquisa e desenvolvimento de novas técnicas de manutenção preventiva, orientadas para a minimização dos impactos das falhas, que conduziram ao aparecimento das técnicas de manutenção baseada na condição ou, como é conhecida atualmente, Manutenção Preditiva. Esta época corresponde ao berço de novas filosofias de gestão da manutenção como, por exemplo, a Manutenção Centrada na Confiabilidade (SIQUEIRA, 2005; PINTO e XAVIER, 1999).

Com o aumento da mecanização e a disseminação da automação pelas indústrias a confiabilidade e disponibilidade tornavam-se pontos chaves para o sucesso de setores como os de saúde e telecomunicações (PINTO e XAVIER, 1999).

O crescimento da automação nas indústrias faz crescer as taxa de falhas das plantas industriais causando uma queda na eficiência dos padrões de qualidade. Como as falhas deveriam ser reduzidas, assim, a manutenção preventiva baseada no tempo necessitava de evolução para continuar a atender os propósitos da manutenção. Era necessário uma manutenção que trabalhasse na performance das máquinas de forma a prevenir a falha. Com este foco surge a Manutenção Preditiva que é baseada na monitoração das condições de funcionamento das máquinas através de suas variáveis (PINTO e XAVIER, 1999).

Para Quinello e Nicoletti (2005), os processos industriais na terceira fase identificaram a necessidade de que deveriam tratar de forma eficiente a sua produtividade e qualidade. Para isto decidiram efetuar mudanças no departamento de manutenção, estas foram divididas em três classes na década de 70, que ficaram como: novas expectativas, novas pesquisas e novas técnicas.

Em síntese, a evolução da manutenção nasce com o caráter corretivo, corrigindo falhas após sua ocorrência. Esta situação muda com o aumento da produção em série e a complexidade das máquinas trazendo junto um novo conceito de manutenção, a Manutenção Preventiva que é baseada no tempo e com intervalos fixos para manutenção. Em um terceiro momento, a necessidade de aumentar a confiabilidade e a qualidade dos processos e diminuir os custos da manutenção preventiva, que chegaram a se equiparar com os custos operacionais, direcionam a manutenção para uma estratégia inovadora, no qual os equipamentos eram monitorados pelas suas variáveis de funcionamento indicando a real necessidade e o momento certo para uma intervenção de reforma ou reparo. Tratava-se da Manutenção Condicional, como foi conhecida inicialmente, passando para Manutenção Seletiva e hoje, Manutenção Preditiva (TAVARES, 2005).

A Figura 1 sintetiza a evolução das técnicas de manutenção na indústria ao longo dos anos:

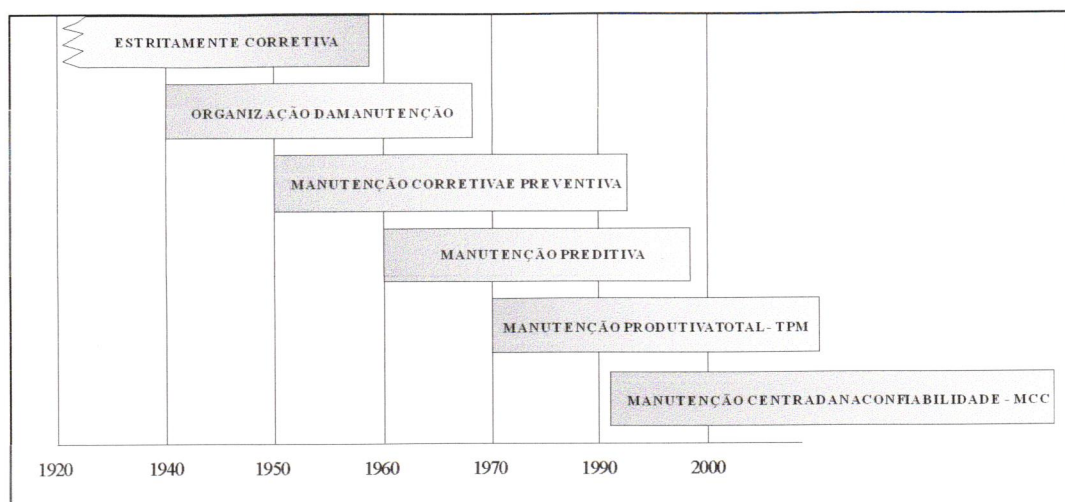


Figura 1 - Síntese da aplicação das metodologias de manutenção
 Fonte: Adaptado a partir de Lafraia (2006, p. 238).

2.3 Gerenciamento da Manutenção

A análise do histórico dos últimos setenta anos permitiu observar que o enfoque dado para a manutenção comportava uma divisão em três gerações, conforme ilustrado na Figura 2 (PINTO e XAVIER, 1999; LAFRAIA, 2006).

A primeira geração foi caracterizada pelo gerenciamento de ações estritamente corretivas. Nessa geração os equipamentos eram super dimensionados em termos de capacidade, o que permitia a adoção de ações simplesmente corretivas. O aumento da complexidade e evolução das máquinas, bem como da escassez de mão de obra decorrente do período de guerra, levaram a indústria a uma mudança nas ações de gestão da manutenção. Moubroy (2000) definiu esse período como segunda geração.

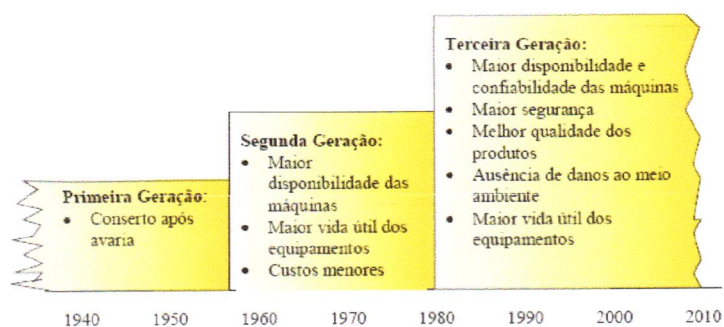


Figura 2 - Evolução da Manutenção.
 Fonte: Lafraia, 2006.

Moubray (2000) salientou que os fatores que motivaram o surgimento de uma terceira geração são:

- I. “novas expectativas quanto aos itens físicos com a confiabilidade, disponibilidade”, integridade ambiental, segurança humana e ao aumento dos custos totais de manutenção;
- II. “novas pesquisas que evidenciaram a existência de seis padrões de falhas de equipamentos”;
- III. “surgimento de novas ferramentas e técnicas de manutenção”, tais como o monitoramento de condições dos equipamentos, projeto de equipamentos com ênfase na manutenção e no trabalho em equipe.

2.4 Métodos de Manutenção

Os métodos de manutenção expressam a forma pela qual é realizada a intervenção nos equipamentos, nos sistemas ou nas instalações, podendo ser considerados também como políticas de manutenção, desde que a sua aplicação fosse o resultado de uma definição gerencial voltada para o máximo desempenho, produtividade e qualidade da empresa. (PINTO e XAVIER, 1999).

A manutenção planejada pode ser entendida como aquela cujo conjunto de ações direciona a uma diminuição ou eliminação da perda de produção, minimização do custo e tempo de reparo, e pode ser dividida em: (I) Manutenção Corretiva; (II) Manutenção Preventiva; e (III) Manutenção Por Melhorias. A Figura 3 ilustra essa classificação. A Manutenção Preventiva ainda pode ser subdividida em: Manutenção de Rotina, Manutenção Periódica e Manutenção Preditiva (NUNES, 2001):



Figura 3 - Métodos de Manutenção Planejada.

Fonte: Nunes, 2001.

Para um entendimento mais preciso dos métodos de manutenção é imprescindível o conhecimento do significado das palavras presentes no quadro abaixo:

Quadro 1 - Definições de Manutenção

Função Requerida	Conjunto de condições de funcionamento para o qual o equipamento foi projetado, fabricado ou instalado.
Falha	É toda alteração física ou química no estado de funcionamento do equipamento que impede o desempenho de sua função requerida e o leva invariavelmente à indisponibilidade.
Defeito	É toda alteração física ou química no estado de funcionamento de um equipamento que não o impede de desempenhar sua função requerida, podendo o mesmo operar com restrições e desempenho deficiente.

Fonte: Nunes (2001, p. 12).

2.4.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva define-se como uma prática reativa de manutenção, cujo objetivo é manter a condição de integridade operacional e a viabilidade do sistema, após a ocorrência da falha. (PINTO e XAVIER, 1999). De acordo com a NBR-5462 (1994), o termo manutenção corretiva pode ser conceituado também, como uma atividade reparadora efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições para executar uma função requerida. Aqui, *pane* possui o mesmo significado de falha, refere-se à incapacidade de um item em desempenhar uma função solicitada, portanto excluindo a não serventia durante ações planejadas como, por exemplo, durante a manutenção preventiva.

Conforme as definições estabelecidas anteriormente, a manutenção corretiva em máquinas e equipamentos deve ser efetuada após a falha de uma peça ou componente do sistema. No entanto, para Pinto e Xavier (1999), esta atividade corresponde também àquela efetuada quando um defeito ou desempenho diferente do esperado possivelmente ocorre em um equipamento.

A Figura 4 apresenta um aspecto negativo da manutenção corretiva, que é a aleatoriedade da ocorrência da falha, ou seja, um determinado equipamento pode ter tempos de funcionamento diferentes. O gráfico mostra também uma queda de desempenho com o tempo, que nem sempre ocorre, pois existem alguns equipamentos que tem um desempenho constante ao longo do tempo, seguido de uma falha instantânea. Apesar desses inconvenientes, em alguns casos a manutenção corretiva pode ser planejada, por decisão gerencial de operar até a falha, por exemplo. (PINTO e XAVIER, 1999)

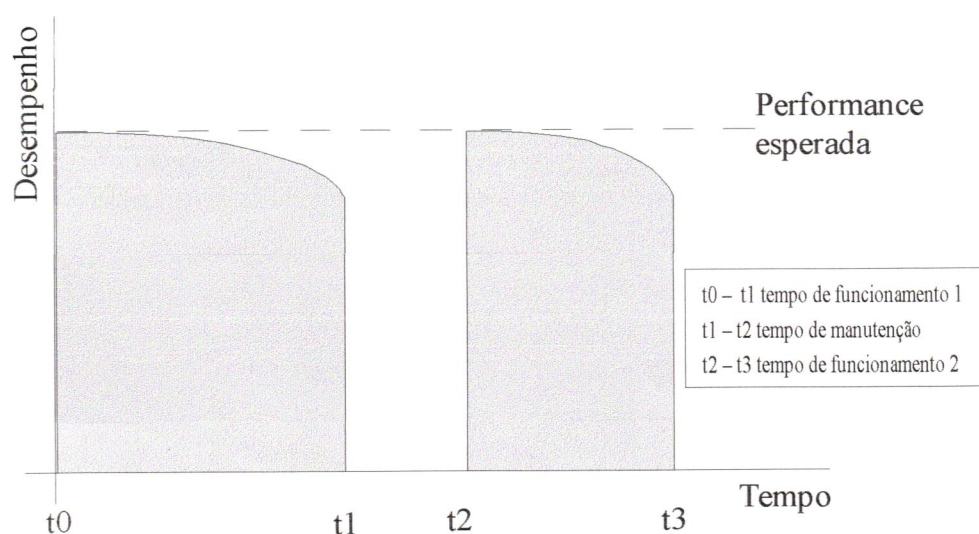


Figura 4 - Manutenção Corretiva não Planejada.

Fonte: Pinto e Xavier (1999, p. 34).

A manutenção corretiva pode ser classificada como efetiva quando nenhuma MP (manutenção preventiva) for efetiva (eficiente + eficaz), e também quando o custo da falha é menor que o custo da MP para evitar a falha, ou ainda quando a função é de pouca importância (LAFRAIA, 2006).

2.4.2 Manutenção Preventiva

Conforme a NBR-5462 (1994) o termo manutenção preventiva pode ser definido como a manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a

degradação do funcionamento de um item. Ela é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em "intervalos de tempo definidos" (PINTO e XAVIER, 1999).

Na opinião de Filho (2000), a manutenção preventiva é todo serviço realizado em máquinas que não estejam em falha, ou seja, dentro das condições operacionais ou no máximo em estado de defeito.

Como descrito por Oliveira (2003), a manutenção preventiva é a manutenção que tem como objetivo reduzir a probabilidade de falha de uma máquina ou equipamento, ou ainda a degradação de um serviço prestado.

Continuando com Oliveira (2003), este autor divide a manutenção preventiva em manutenção de inspeção ou rotina e sistemática ou periódica. Na manutenção de inspeção são usados os sentidos humanos para detecção de defeitos nas máquinas sem que esta cause a indisponibilidade do equipamento, possui alta frequência e curta duração. Na sistemática, que é baseada em intervalos de tempo, podem ser realizada através do controle de frequência por unidade de tempo (calendário) ou por utilização (horas). Nestas manutenções são feitas medições, ajustes e, quando necessário troca de algum componente, ao contrário da inspeção, causa a indisponibilidade do equipamento.

Alguns ganhos com a implantação da manutenção preventiva são: reduzir a degeneração dos equipamentos, atuar antes de custos altos de intervenção, eliminar ou reduzir ao mínimo os riscos de quebras nos equipamentos, assegurar uma diminuição nos trabalhos e realizar os reparos nas melhores condições para a operação. (SOUZA, 2009).

Um aspecto negativo da manutenção preventiva é a introdução de defeito durante as manutenções, que podem ser causadas por falha humana, falha de sobressalentes, contaminações dos fluídos lubrificantes, falhas de procedimento durante a partida e parada do equipamento e falha ou falta de procedimentos eficientes de manutenção (PINTO e XAVIER, 1999).

2.4.3 Manutenção Preditiva

A Manutenção Preditiva é classificada como uma forma mais atual e eficiente de manutenção. Nela o comportamento de determinados elementos é acompanhado ou identifica-se um componente com desempenho diferente sem a

necessidade de intrusão no equipamento, exceto nos casos em que o grau de degradação se aproxima ou atinge o limite previamente estabelecido. Esse método também pode ser definido como a atuação que é realizada com base em modificação de parâmetro de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática (PINTO e XAVIER, 1999).

A NBR-5462 (1994) define o termo manutenção preditiva como o tipo de reparo que garante uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de medições e análises, utilizando-se de meios de supervisão ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

O termo associado à atividade preditiva é o de predizer o tempo de vida útil dos componentes das máquinas e equipamentos e as condições para que esse tempo de vida seja bem aproveitado, ou seja, a manutenção preditiva privilegia a disponibilidade, à medida que não promove a intervenção nos equipamentos ou sistemas, pois as medições e verificações são efetuadas com o equipamento em operação, e confiabilidade, a partir do momento que se obtêm dados precisos referente ao grau de degradação do componente, podendo assim prevenir a ocorrência da falha. (SOUZA, 2009)

É na manutenção preditiva que o controle das condições de funcionamento das máquinas em serviço é realizado com a utilização de instrumentos que medem alguns parâmetros que indiquem a evolução de uma falha a tempo de serem corrigidas, evitando a parada desnecessária do equipamento para reparo, ou seja, só devem ser feitas reparações quando, e se houver necessidade, maximizando assim a utilização de todos os componentes monitorados (SIQUEIRA, 2005).

É possível compreender por controle Preditivo da manutenção como a determinação do ponto ótimo para executar a manutenção preventiva em um equipamento, ou seja, o ponto a partir do qual a probabilidade do equipamento falhar assume um valor indesejável. As atividades do processo preditivo não reduzem diretamente a taxa de deterioração de um componente, mas a monitoram, podendo assim controlar indiretamente a consequência de acidentes, quebras e mau funcionamento. Este tipo de recurso deve ser aplicado para modos de insuficiência funcional que ocorrem aleatoriamente e repentinamente. (TAVARES, 1999).

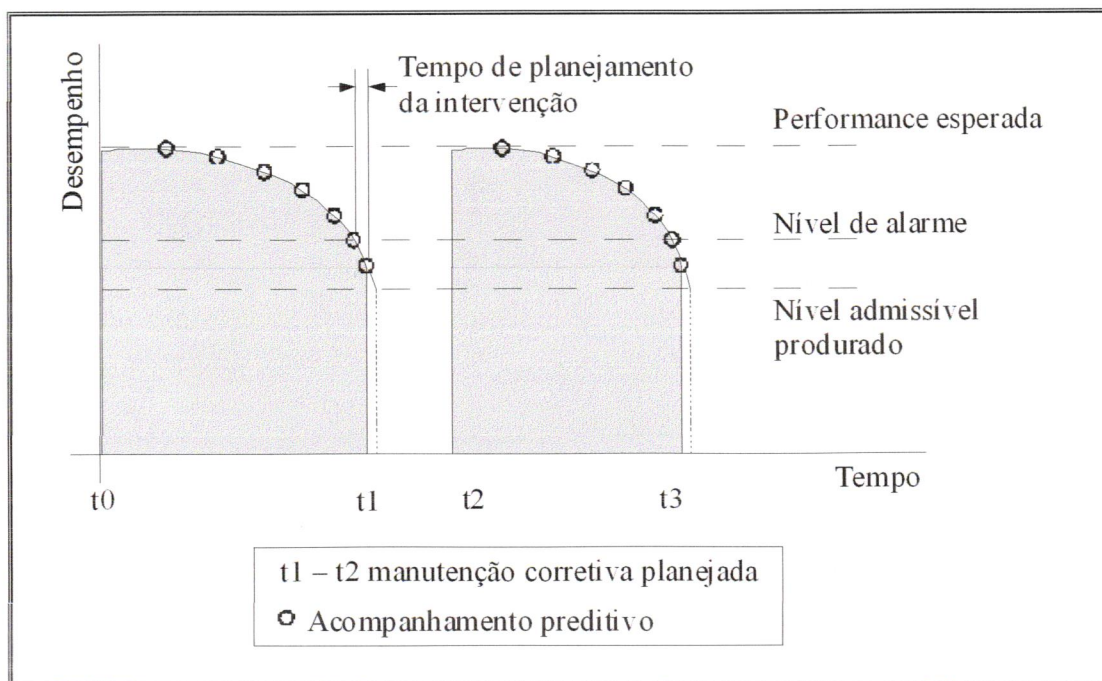


Figura 5 - Manutenção Preditiva.

Fonte: Pinto e Xavier (1999, p. 39).

A manutenção preditiva deve ser estabelecida com extremo cuidado, pois são necessárias instruções sobre o funcionamento do equipamento, as condições ambientais para que o equipamento trabalhe e o processo de envelhecimento de cada componente. É importante também ater-se aos seguintes fatores antes de optar pela manutenção preditiva: (I) o equipamento, o sistema ou a instalação devem permitir algum tipo de monitoramento/medição; (II) o equipamento, o sistema ou a instalação devem merecer esse tipo de ação em função dos custos envolvidos; (III) as falhas devem ser oriundas de causas que possam ser monitoradas e ter sua progressão acompanhada; (IV) seja estabelecido um programa de acompanhamento, análise e diagnóstico, sistematizado. (PINTO e XAVIER, 1999).

2.4.4 Manutenção Detectiva

Manutenção detectiva é definida como a atuação efetuada em sistemas de proteção, buscando detectar erros obscuros ou não-perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção (PINTO e XAVIER, 1999). Esse tipo de método surgiu devido à necessidade de verificar o funcionamento pleno dos equipamentos de proteção.

O surgimento de sistemas de aquisição de dados, controladores lógicos programáveis, Sistemas Digitais de Controle Distribuído – SDCD e *multi-loops* com computador supervisor permitiram o monitoramento *on-line* de máquinas e sistemas ou até mesmo de todo processo de uma planta industrial. Sistemas de *shut-down* ou sistemas de *trip* trabalham em conjunto com as tecnologias citadas anteriormente e são responsáveis por garantir a segurança de um processo quando esse sai de sua faixa de operação segura. (PINTO e XAVIER, 1999).

Em plantas de processo contínuo como indústrias químicas, petroquímicas, fábricas de cimento e outras, a utilização da manutenção detectiva, é feita durante as intervenções previamente programadas, que são as *Paradas de Manutenção Programadas*. Servindo-se desse recurso, especialistas fizeram verificações no sistema, sem tirá-lo de operação, pois são capazes de detectar descuidos técnicos, e preferencialmente podem corrigir a situação, mantendo o sistema operando. Em síntese, a manutenção detectiva tem por objetivo o total domínio da situação. (PINTO e XAVIER, 1999).

De acordo com Pinto e Xavier (1999), a grande vantagem desse método de manutenção é a detecção das falhas e suas correções sem que os sistemas, na maioria das vezes, precisem parar.

2.4.5 Manutenção autônoma

Segundo Pinto e Ribeiro (2002), a manutenção autônoma consiste em desenvolver nos operadores o sentimento de propriedade e zelo dos equipamentos, valendo a máxima que “Do meu equipamento cuido eu”, um jargão muito adotado no chão-de-fábrica pelos operadores que atuam nos equipamentos com tarefas simples como ajustes, limpeza, lubrificação, reaperto de parafusos serviços elementares de manutenção.

Ainda de acordo com Pinto e Ribeiro (2002), a essência do sucesso da manutenção autônoma é a conquista do “coração do operador”. Essa conquista seria através da execução de serviços elementares de manutenção realizados pelo operador.

O operador de equipamentos seria um agente de controle de falhas, uma fonte de identificação de melhorias no equipamento como também do processo produtivo, aumentando a disponibilidade do equipamento.

Tudo isso consta nos objetivos do *Total Productive Maintenance* (TPM) que visa maximizar os rendimentos e reduzir os índices de perdas no processo produtivo, conforme afirma Pinto e Xavier (1999).

A TPM surgiu no Japão por volta de 1971, através da empresa Nippon Denso KK, integrante do grupo Toyota. Esse método de manutenção está apoiado em oito pilares (Figura 6), estabelecendo um sistema que pode atingir a maior eficiência produtiva.

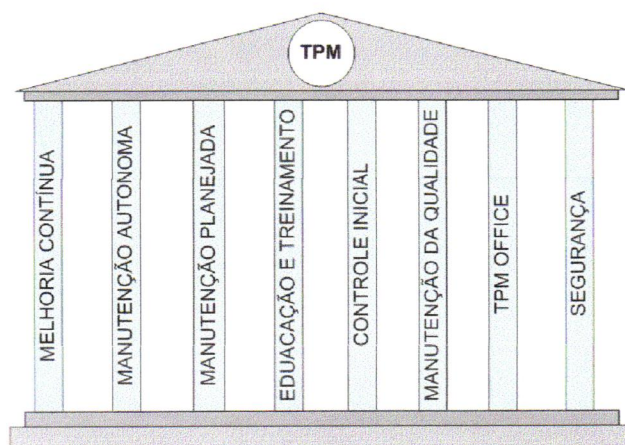


Figura 6 - Os oito pilares do TPM.
Fonte: Adaptado de Pinto e Xavier (1999)

2.4.6 Engenharia de Manutenção

Este tipo de engenharia é classificado como a segunda quebra de paradigma na Manutenção. A prática da Engenharia de Manutenção significa uma mudança cultural (PINTO e XAVIER, 1999). Foi também estabelecido por outros autores, Lima (2000), por exemplo, como uma Manutenção por Melhorias, pois trata-se de um método que consiste na implementação de vantagens para o aumento da vida útil do equipamento (LIMA, 2000).

Na opinião de Filho (2000), a engenharia de manutenção é um órgão consultivo que se situa em um nível estratégico gerencial. Constituída basicamente por um sistema de controle e gestão da manutenção, tem como missão melhorar as

técnicas de organização e os métodos e procedimentos de trabalho executado pelo pessoal de manutenção, favorecer a implantação de uma política de manutenção condizente com a estratégia da organização e desenvolver idéias ou estar atualizados como novos métodos e estratégias avançadas de manutenção.

É uma atividade que significa perseguir *benchmarks*, aplicar técnicas modernas, estar nivelado com a manutenção de Primeiro Mundo. Para praticar engenharia de manutenção é necessário deixar de ficar consertando continuamente, para procurar as causas básicas, modificar situações permanentes de mau desempenho, deixar de conviver com problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, desenvolver a manutenibilidade, dar *feedback* ao Projeto, interferir tecnicamente nas compras. (PINTO e XAVIER, 1999).

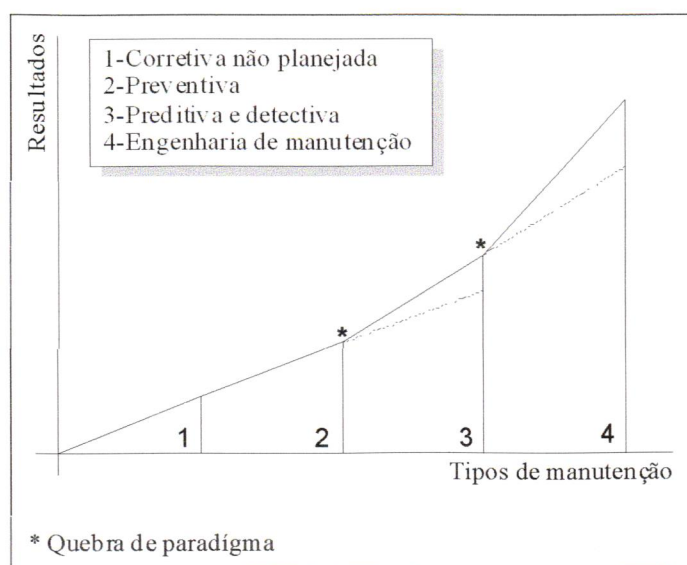


Figura 7 - Resultados x Tipos de Manutenção.

Fonte: Pinto e Xavier (1999, p. 42).

O gráfico acima (Figura 7) sintetiza a evolução, uma melhoria nos resultados à medida que técnicas mais aprimoradas vão sendo introduzidas. Convém notar que entre a Corretiva e a Preventiva ocorre uma melhora contínua, entretanto discreta. Em outras colocações, é possível observar que a inclinação da reta não varia. Após a mudança da Manutenção Preventiva para Manutenção Preditiva é notório um salto positivo nos resultados, função da 1ª quebra de paradigma. Um alto índice ainda mais significativo é visto quando se adota como recurso a engenharia de manutenção. (PINTO e XAVIER, 1999)

2.5 Planejamento e Controle da Manutenção

Para Slack, planejamento e controle - é gerenciar as atividades da operação produtiva de modo a satisfazer de forma contínua à demanda dos consumidores.

A Produção de uma indústria não se resume apenas à Operação. A Manutenção deve ocupar o mesmo nível hierárquico da Operação dentro de uma organização produtiva. A tendência no mercado é de que a Manutenção ocupe um nível de gerência departamental, da mesma forma que a operação. O PCM é um órgão de suporte á manutenção, sendo ligado diretamente à gerência de departamento, como podemos visualizar num exemplo de organograma da Figura 8. (VIANA, 2002).

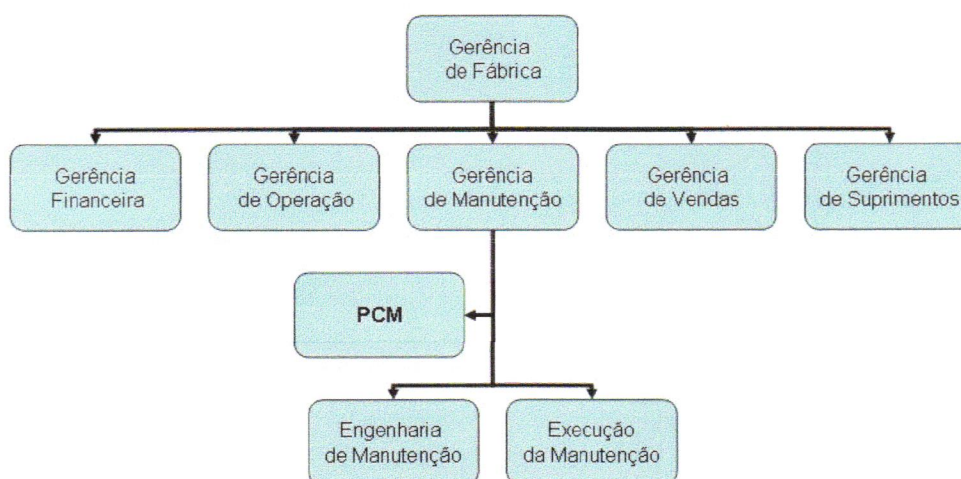


Figura 8 - Organograma de organização de uma fábrica.
 Fonte: Adaptado de Viana (2002).

2.6 Indicadores de Manutenção

Segundo Menezes e Almeida (2002), as organizações que desejam atingir níveis de excelência em manutenção devem manter uma gestão voltada para os resultados, dessa forma, os indicadores de desempenho ganham importância e devem ser adequados aos objetivos e metas desta. De acordo com este autor, um conjunto de indicadores de manutenção tem como objetivos:

- Sumariar grande quantidade de informações para análise;
- Indicar o nível de desempenho obtido;
- Indicar tendências;
- Indicar áreas que apresentam problemas;
- Identificar áreas de excelência;
- Prover meios para mensurar a contribuição individual ou coletiva para o cumprimento dos objetivos e metas;
- Permitir comparações dos resultados dentro e fora da empresa.

Os indicadores de manutenção podem ser divididos em dois a fim de facilitar a sua gestão e hierarquização. Podem ser caracterizados como itens de controle e itens de verificação, o primeiro trata dos indicadores de forma global com visão gerencial, e o segundo trata da base da informação, ou seja, é estratificado em detalhes com desdobramentos em níveis inferiores, o agrupamento, de forma estratégica, dos itens de verificação compõe os itens de controle (MENEZES e ALMEIDA, 2002).

De acordo com Campos (2001), itens de controle são índices numéricos aplicados aos processos que demandam controle, é estabelecido sobre os efeitos do processo no qual se deseja medir, ou seja, exercer o gerenciamento dos resultados que estão sobre sua responsabilidade. Para uma boa elaboração dos itens de controle, é necessário e importante o conhecimento do processo, identificando as causas que o afetam, este conhecimento é conseguido através dos itens de verificação, que medem o desempenho dos componentes do processo. Os itens de verificação podem ser aplicados a Equipamentos; Matéria prima; Condições ambientais; Aferição dos equipamentos de medida; Cumprimento dos procedimentos operacionais padrão.

Na visão de Menezes e Almeida (2002), os indicadores de manutenção podem ser classificados como sendo:

- Desempenho da Programação: indica como estão sendo aplicados e planejados os recursos disponíveis;
- Desempenho de Equipamentos: Indica o nível de performance dos equipamentos;

- Gestão: Indica os resultados relativos à gestão da mão-de-obra e ferramentas institucionais;
- Serviços Compartilhados: Indica o resultado obtido pelas áreas de lubrificação, preditiva, vulcanização e etc.;
- Estoques: Indica a efetividade no gerenciamento dos estoques dos insumos da manutenção.

De acordo com a proposta do trabalho, serão trabalhados os indicadores que sofrem forte influência das falhas, neste cenário enquadra-se o indicador de desempenho de equipamentos através dos seus itens de controle e/ou verificação.

Os itens de controle que compõem o indicador de desempenho de equipamentos, na visão de Menezes e Almeida (2002), são apresentados no quadro 2:

Quadro 2 - Itens de controle do indicador de desempenho de equipamentos.

ITEM DE CONTROLE	DESCRIÇÃO
Número de ocorrências	Quantidade de intervenções corretivas realizadas no mês por classe de equipamento.
Horas de parada	Número de horas paradas devido às intervenções corretivas, por classe de equipamento.
Tempo médio entre falhas - MTBF	Relação entre o tempo de operação e o número de falhas dos equipamentos.
Tempo médio para reparo - MTTR	Relação entre o tempo de reparo dos equipamentos e o número de falhas.
Disponibilidade	Percentual do tempo em que um circuito esteve disponível para operação.
Rendimento operacional	Relação entre o total de horas efetivamente trabalhadas pelo circuito e o total de horas calendário.
Vida útil de subconjuntos e componentes	Horas trabalha do material aplicado.

Fonte – Adaptado de Menezes e Almeida (2002)

Dentre os itens de controle do indicador de equipamentos listados, três merecem destaque devido a sua importância para um bom gerenciamento voltado para os resultados, são eles: MTBF (*Mean Time Between Failures*), MTTR (*Mean Time to Repair*) e Disponibilidade.

Segundo Seixas (2005), o MTBF, também conhecido como Tempo Médio Entre Falhas, é um valor médio do tempo entre eventos (falhas) consecutivos, é obtido pela relação entre o somatório dos tempos disponíveis e/ou em operação e o

número de ocorrências (falhas) observadas ou pelo inverso da taxa de falha (λ). São denotadas pelas seguintes expressões matemáticas.

$$MTBF = \frac{t_{0(1)} + t_{0(2)} + \dots + t_{0(n)}}{n} \quad (1)$$

$$\text{ou } MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (2)$$

Sendo: T_0 = Tempo em Operação e n = Número de Ocorrências (falhas)

O MTBF também é apresentado como um indicador da confiabilidade, indicando a evolução dos resultados obtidos com a aplicação desta, e aplicado a itens que apresentam características de componentes reparáveis (SEIXAS, 2005).

Para facilitar o entendimento sobre o comportamento do tempo médio entre falhas, Seixas (2005) apresenta um exemplo no qual indica comportamento do MTBF que a média do somatório dos Tempos Entre Falhas (TEF). O Tempo Entre Falhas é obtido pela soma dos TPF, TAD e TPR, o Tempo Para Falha é o tempo gasto para a ocorrência da falha (TPF), Tempo Administrativo é o tempo gasto com alocação dos recursos para realizar manutenção (TAD) e Tempo Para Reparo é o tempo gasto para restabelecer a função requerida (TPR). O exemplo foi adaptado e ilustrado na Figura 9.

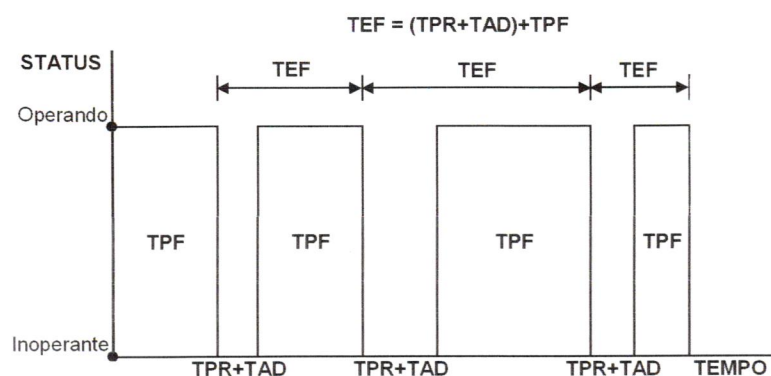


Figura 9 – Comportamento do MTBF e suas variáveis.
Fonte – Adaptado de Seixas (2005)

Como descrito por Pinto e Xavier (1999), o item de controle MTTR, também conhecido Tempo Médio Para Reparo, é a medida do grau de dificuldade de que um item apresenta para executar a sua manutenção, ou seja, o tempo médio gasto para recuperar a função de um equipamento, componente ou item. É obtido pela relação entre o somatório dos tempos totais de máquina parada e o número de intervenções de manutenção ou pelo inverso da taxa de reparo (μ), estas são denotadas pelas seguintes expressões matemáticas.

$$MTTR = \frac{t_{p(1)} + t_{p(2)} + \dots + t_{p(n)}}{n} \quad (3)$$

$$\text{ou } MTTR = \frac{1}{\mu} \quad (4)$$

Sendo: T_p = Tempo de Parada e n = Número de Ocorrências (falhas)

Para Menezes e Almeida (2002), o MTTR é a medida do conceito de Manutenibilidade, manutenibilidade que é definida como sendo a probabilidade de restabelecimento de um sistema, equipamento ou componente dentro de sua função requerida em um determinado tempo.

A Disponibilidade, segundo a NBR 5462, é definida como a “capacidade de um item estar em condições de executar certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados”.

Na visão de Menezes e Almeida (2002), a disponibilidade representa o tempo em que um sistema e/ou equipamento esta disponível para operar, para estes autores a disponibilidade é dependente dos seguintes fatores:

- Número de falhas (confiabilidade);
- Tempo demandado para o reparo das falhas (manutenibilidade);
- Métodos de manutenção (manutenção);
- Recursos e meios de execução (logística).

Continuando com Menezes e Almeida (2002), a interdependência destes fatores define o termo dependabilidade, que na Norma NBR 5462 é definida como “termo coletivo usado para descrever o desempenho da disponibilidade e seus fatores de influência: confiabilidade, manutenibilidade e suporte logístico de manutenção”. Na Figura 10 é apresentado, de forma gráfica, o comportamento da disponibilidade levando em consideração os tempos disponíveis para operação e os tempos gastos com as intervenções de manutenção em uma visão estratificada, sendo:

t_o = tempo de operação;

t_p = tempo de parada;

t_i = tempo ativo de intervenção;

t_d = tempo de detecção e diagnóstico da falha;

t_a = tempo de testes e ajustes;

t_{pr} = tempo de preparação para rodar (permissão).

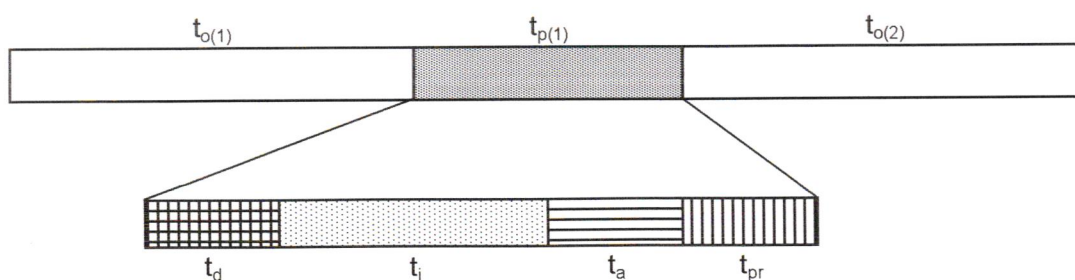


Figura 10 – Representação gráfica dos tempos de operação e intervenção.
 Fonte – Menezes e Almeida (2002)

A Disponibilidade consiste na probabilidade de que um sistema esteja em condição operacional no instante “ t ”. Esta definição tem sido usada para expressar o conceito de “disponibilidade instantânea”.

Assim, é possível observar que a disponibilidade resume-se no tempo efetivo de operação durante um determinado período de operação. Tal indicador é utilizado pela engenharia de manutenção, para medir a efetividade do equipamento durante a operação. E com o desenvolvimento desse processo foi possível criar uma base de dados imprescindíveis para análises gerenciais.

A disponibilidade pode ser classificada em dois tipos segundo Menezes e Almeida (2002), a disponibilidade intrínseca e a disponibilidade operacional ou física.

A disponibilidade intrínseca (D), se a taxa de reparo (μ) e a taxa de falhas (λ) forem independentes do tempo, pode ser calculada através das equações:

$$D = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \quad (5)$$

$$\text{ou } D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (6)$$

A disponibilidade intrínseca não leva em consideração as paradas por manutenção preventiva.

A disponibilidade operacional ou física (DF), leva em consideração todas as intervenções de manutenção, corretivas e preventivas. É calculada através da seguinte expressão matemática:

$$DF = \frac{HC - HM}{HC} \quad (7)$$

Sendo: HC = Horas Calendário e HM = Horas de Manutenção

Lafraia (2001) contribui conceituando a disponibilidade $D(t)$ como sendo a probabilidade de que um sistema esteja em condição operacional no instante t , e é definida por mais autores como disponibilidade instantânea. É aplicada a sistema que apresenta características reparáveis. A Figura 11 apresenta a relação entre a disponibilidade e o crescimento da taxa de falha. No gráfico verifica-se que a relação é inversamente proporcional, enquanto uma está ascendente a outra está descendente.

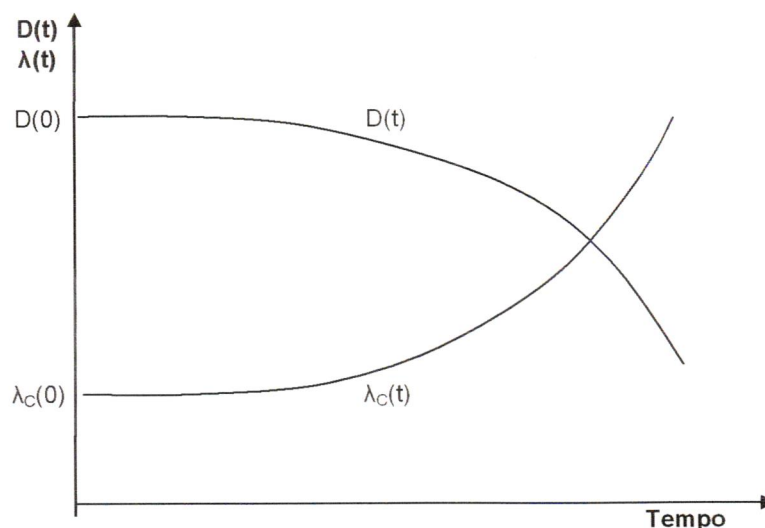


Figura 11 – Relação da disponibilidade $D(t)$ com a taxa de falha $\lambda_c(t)$.
 Fonte: Lafraia (2001)

Na visão de Campos (2001), os indicadores são instrumentos de suma importância quando se pretende aplicar um gerenciamento voltado para o resultado. Para este autor, quando os processos que estruturam uma organização não estão sendo medidos, pode-se afirmar que não há gestão implantada, não se verifica se as metas estão sendo perseguidas ou se vão ser alcançadas.

Como resumo, destaca-se a grande importância de se medir os processos, esta medição norteia as organizações para manutenção das metas traçadas. Um gestor que estabelece e monitora seus indicadores tem grandes chances de alcançar os resultados. A manutenção, tratada como diferencial estratégico, não pode ser indiferente a esta realidade.

2.7 Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)

A Manutenção Centrada na Confiabilidade teve origem na década de 60, e o primeiro evento atribuído a sua origem está relacionado à necessidade de certificação da linha de aeronaves Boeing 747 (o Jumbo), pela FAA (*Federal Aviation Authority*) nos Estados Unidos. O uso de metodologias tradicionais de manutenção, em máquinas desta complexidade, simplesmente iria inviabilizar o atendimento às exigências das autoridades aeronáuticas americanas (SIQUEIRA, 2005).

Essa necessidade motivou a criação de uma equipe que ficou encarregada de rever a aplicabilidade dos métodos existentes a estas aeronaves. O

resultado desta revisão tornou-se um clássico da literatura sobre manutenção e introduziu os conceitos de uma nova metodologia, denominada posteriormente de *Reliability Centered Maintenance* (RCM), ou Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), que foi novamente utilizada nas duas décadas subseqüentes, para certificação de novas aeronaves comerciais como o Douglas DC-10, Concorde, Airbus Boeing 737, 747, 757, entre outras. (SIQUEIRA, 2005).

A partir desses eventos o Departamento de Defesa Americano (DoD) tornou obrigatório o uso desse método na fabricação de novas aeronaves. Posteriormente a marinha americana também determinou necessária a MCC para todas as modificações em sistemas navais existentes, bem como para novos projetos, iniciando sua normalização e expansão para outras áreas militares e civis. Devido ao grande sucesso obtido, essa metodologia foi rapidamente absorvida e adaptada pelas empresas de diversos seguimentos como a de geração de energia, indústrias petroquímicas, siderúrgicas, *off-shore*, entre outras. (SIQUEIRA, 2005)

2.7.1 Objetivos da MCC

A Manutenção Centrada na Confiabilidade tem por objetivo principal assegurar que um sistema ou item prossiga no preenchimento de suas funções desejadas. É uma ferramenta de suporte à decisão gerencial que possibilita determinar o que deve ser feito para assegurar que um equipamento continue a cumprir suas funções no seu contexto operacional. (LAFRAIA, 2006).

Segundo Smith (1997), os quatro objetivos da MCC são:

- I – Preservar as funções do sistema;
- II – Identificar modos de falha que influenciem tais funções;
- III – Indicar a importância de cada falha funcional;
- IV – Definir tarefas preventivas em relação às falhas funcionais;

2.7.2 Definições da MCC

O processo da Manutenção Centrada na Confiabilidade e a utilização das ferramentas de apoio exigem um perfeito entendimento de uma série de definições associadas às falhas e desempenhos dos itens físicos. Em seguida estão listadas as

definições e informações fundamentais para que haja o desenvolvimento desse processo. (VIANA, 2002).

- a) Função: é o que se deseja que o item, componente ou sistema faça dentro de um padrão de desempenho especificado.
- b) Confiabilidade: é a probabilidade que um item, componente ou sistema, funcione corretamente em condições especificadas durante um período determinado de tempo.
- c) Componente: é a parte de uma unidade, instalação, sistema ou equipamento que é essencial ao seu funcionamento.
- d) Criticidade: é o efeito de um mau funcionamento ou falha de um componente para o desempenho de um sistema, máquina ou instalações.
- e) Defeito: é a alteração das características de um componente que não causa a perda da função imediata.
- f) Falha: é a perda da capacidade de um componente realizar sua função específica.
- g) Item de Manutenção: é o sistema, subsistema, instalações, Unidade, máquina, equipamento, estrutura, edifício, componente ou peça que possa ser considerada individualmente e que admita conservação, manutenção revisão ou teste individualmente.
- h) Manutenibilidade: é a probabilidade de concluir reparos em um equipamento que falhou, dentro de um intervalo de tempo predefinido.

2.7.2.1 Função

A preservação das funções desempenhadas por sistemas e processos industriais, na visão de seus usuários ou proprietários é indispensável para se atingir o objetivo principal das metodologias contemporâneas de manutenção. O termo função pode ser classificado como qualquer propósito pretendido para um processo ou produto. É aquilo que o usuário espera que o item físico ou sistema faça, alcançando o desempenho desejado (MOUBRAY, 2000).

As funções podem ser divididas em principais e secundárias, iniciando sempre o processo de MCC pelas primeiras. A função principal de um item físico está associada, principalmente, à razão pela qual o ativo foi adquirido com enfoque no contexto operacional. Em contrapartida estão as funções secundárias, que são

menos óbvias que as primárias. Mas ambas são essenciais para aumentar o valor agregado do item e contribuem para a sua qualidade do processo, não esquecendo que as funções devem ser exercidas pelas redundâncias, dispositivos de proteção e de controle (instrumentação). (SIQUEIRA, 2005).

Os itens físicos são geralmente adquiridos para uma, ou possivelmente, duas e não mais do que três funções principais (MOUBRAY, 2000). A manutenção visa assegurar o desempenho mínimo das funções principais. Como regra geral, deve-se identificar, em ordem de importância, as funções do equipamento que suportam ou impactam os seguintes aspectos: (I) segurança pessoal dos operadores e usuários; (II) meio ambiente; (III) operação da instalação; (IV) economia do processo; (V) instrumentação e controle. (SIQUEIRA, 2005).

2.7.2.2 Falhas

A manutenção tem por objetivo primário prevenir e corrigir falhas. De maneira geral, uma falha consiste na interrupção ou alteração da capacidade de um item desempenhar uma função requerida ou esperada. As falhas podem ser classificadas sob vários aspectos, tais como origem, extensão, velocidade, manifestação, criticidade ou idade. O estudo das falhas constitui parte essencial da Manutenção Centrada na Confiabilidade. (SIQUEIRA, 2005).

De acordo com a norma Brasileira NBR 5462, da ABNT, as falhas devem ser classificadas como graduais, parciais, por defeito ou completas. As graduais são aquelas que poderiam ter sido detectadas através de exames prévios. A norma também define como parcial, as falhas que resultam de desvios das características do item, além de limites especificados, mas não a ponto de causar perda total da função requerida. Já os defeitos seriam falhas simultaneamente graduais e parciais, podendo ao longo do tempo se tornar completas. Finalmente, as falhas completas seriam associadas ao término da capacidade de um item desempenhar a função requerida.

Mas considerando os objetivos da MCC a falha deve ser classificada de acordo com o efeito que provoca sobre uma função do sistema a que pertencem, tanto na categoria de falha funcional como falha potencial.

2.7.2.2.1 Falha Funcional

É definida como a incapacidade do item físico de fazer o que o usuário quer que ele faça. Essa definição é vaga, pois não distingue claramente entre o estado de falha (falha funcional) e os eventos (modos de falha) que causam a mesma. É preferível definir falha em termos de perda da função específica, ao invés do item como um todo. Aplicando os padrões de desempenho às funções individuais, a falha enfocada, em termos de falha funcional, deve ser entendida como a incapacidade de qualquer item físico cumprir uma função para um padrão de desempenho aceitável pelo usuário. (MOUBRAY, 2000).

2.7.2.2.2 Falha Potencial

É classificada como a condição identificável que indica se a falha funcional está para ocorrer ou em processo de ocorrência (MOUBRAY, 2000), considerando o fato de que muitas falhas não acontecem repentinamente, mas se desenvolvem ao longo do tempo. A falha potencial representa o ponto onde o item físico começa a apresentar perda do desempenho da função. Ela pode ser definida também como perda parcial da função, estipulada com base em um padrão de desempenho estabelecido.

A Figura 12 mostra um gráfico que procura descrever o processo de deterioração das condições que levam até a falha, permitindo identificar a relação entre Falha Potencial e Falha Funcional. Ao final de uma condição normal de operação ocorre o início do dano. Após o início da falha uma técnica preditiva (não intrusiva) qualquer, é possível detectar o Ponto de Falha Potencial. Em seguida ocorre a Falha Funcional que impossibilita a operação do equipamento. (MOUBRAY, 2000).

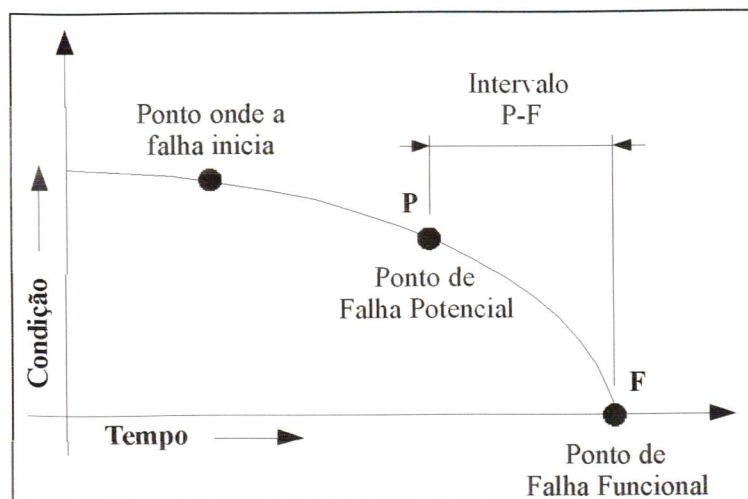


Figura 12 - Intervalo P-F.
 Fonte: Moubray (2000, p. 144).

A manutenção preventiva torna-se efetiva quando for possível se determinar com precisão o Intervalo P-F (tempo para falha). Se o intervalo de inspeções for maior que P-F, a manutenção será ineficiente, pois a falha ocorrerá em ocasião indesejável. O ponto P no processo de falha caracteriza-se como ponto onde é possível detectar a falha, se ela está ocorrendo ou está para ocorrer, é chamado de falha potencial. O item F representa o ponto de falha funcional. Assim, o intervalo P-F corresponde ao intervalo entre o ponto onde a falha é detectada até a sua ocorrência (MOUBRAY, 2000).

2.7.3 Modos de Falha

Um evento ou condição física, que causa uma falha funcional, como também pode ser um dos possíveis estados de falha de um item, para uma dada função requerida, é classificado como modo de falha. A identificação desse modo consiste em uma das etapas mais importantes para o desenvolvimento de um sistema de gerenciamento da manutenção que pretenda assegurar a confiabilidade de um ativo.

São várias as definições encontradas sobre falha, e uma delas encontrada na literatura, diz que modo de falha é o conjunto de efeitos pelos quais uma falha é observada (LAFRAIA, 2006). Quando em um item ou sistema esse modo é definido torna-se possível verificar suas conseqüências e traçar uma

estratégia eficiente para corrigir ou preveni-la. Na prática, dependendo da complexidade do item físico, do contexto operacional e do nível em que está sendo feita a análise, normalmente são listados de um a trinta modos de falha como causas da falha funcional (MOUBRAY, 2000).

Esses eventos representam a frequência de ocorrência das falhas em relação à idade operacional de um equipamento. A Manutenção Centrada na Confiabilidade adota um modelo no qual seis modos de falha são utilizados para caracterizar a vida dos equipamentos. É possível observar, na figura 13, as curvas que representam os modos de falha A, B, C, D, E, F (MOUBRAY, 2000; LAFRAIA, 2006; NASA 2000; PINTO e XAVIER, 1999).

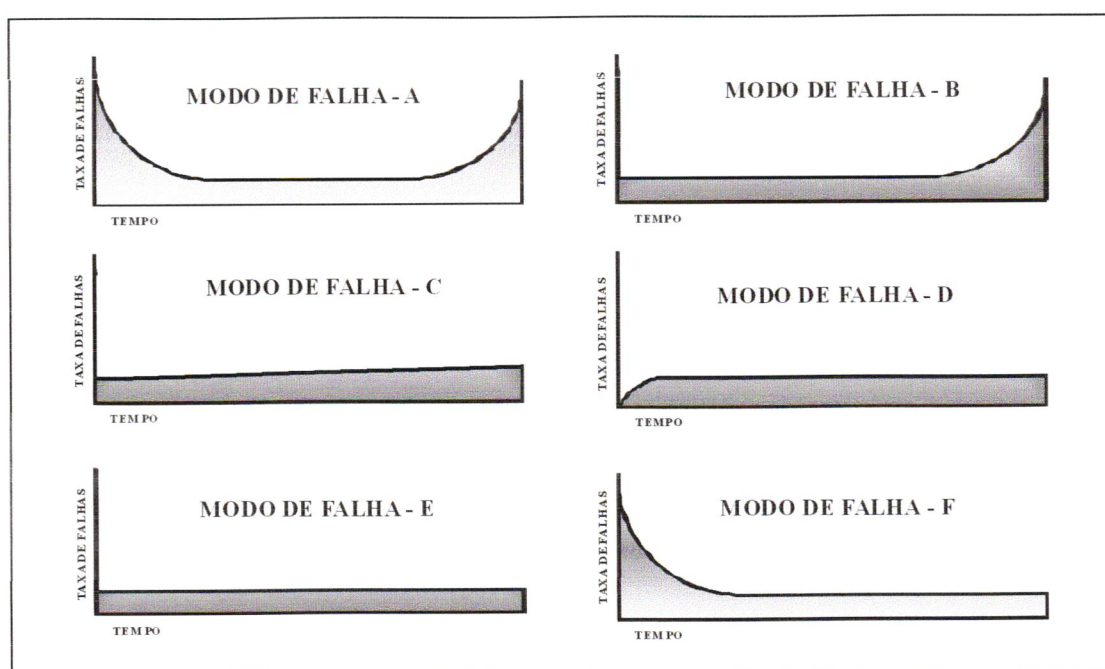


Figura 13 - Curvas de caracterização dos modos de falha.

Fonte: Lafraia (2005, p. 74).

Após a observação da ilustração acima, pode-se identificar o modo de falha A que é a tradicional curva da banheira, assim designada devido ao seu formato característico. Nesse padrão, há uma elevada ocorrência de falhas prematuras durante a operação do item físico (mortalidade infantil), seguido de uma frequência de falhas constante e, posteriormente, de um aumento na frequência, devido à degradação ou desgaste do equipamento. Este padrão descreve falhas relacionadas à montagem do equipamento, como também a idade dos componentes. (LAFRAIA, 2006)

“Esse modo está associado, geralmente, a uma combinação de modos de falhas, desde a “mortalidade infantil”, passando por falhas aleatórias e culminando com uma fase de desgaste acentuado. Portanto, componentes com mais de um modo de falha, podem ter falhas de B a F, dando, no conjunto, a curva da banheira”, (LAFRAIA, 2006, p.82).

O modo de falha B descreve as falhas relacionadas com a idade do componente. Apresenta a probabilidade constante de falha, seguida de uma zona de acentuado desgaste no fim da sua vida útil. Componentes em equipamentos podem se comportar dessa maneira, principalmente, aqueles que deterioram naturalmente com o tempo, que estão sujeitos a esforços cíclicos e repetitivos, ou que entram em contato direto com a matéria-prima ou produto final. (LAFRAIA, 2006).

O modo de falha C mostra as falhas que apresentam um lento e gradual aumento na probabilidade de falha, mas em período algum é possível detectar falhas por desgaste. Uma provável causa para falhas do tipo C é a fadiga, que não acontece com o modo de falha D que indica uma baixa probabilidade de falha no equipamento novo seguida de um rápido aumento para um patamar de probabilidade de falha constante. (LAFRAIA, 2006).

O modo de falha E apresenta probabilidade constante da falha para qualquer idade do equipamento, ou seja, o equipamento apresenta falha aleatória. Lafraia (2006) menciona que o MTBF não deve ser utilizado nesse padrão como fim da vida útil, pois em nenhum período se verifica o aumento da taxa de falha.

O último modo de falha identificada por F indica que a maior probabilidade de falhas ocorre quando o componente é novo ou imediatamente após restauração. É o conhecido “período de mortalidade infantil”. Um exemplo típico deste tipo de modo de falha ocorre com os programas de computador que possuem erros no início do projeto, os quais são corrigidos e não reaparecem.

A curva de distribuição de falhas, na figura 10, mostra que o conceito de vida pode ter, pelo menos, duas interpretações. A primeira percepção interpretativa é de que o tempo médio entre falha (MTBF) é o mesmo que vida média para uma amostragem total. A segunda é que há vida útil, determinada pelo ponto em que se inicia um rápido aumento na probabilidade condicional de falha. A figura 14 (a) ilustra graficamente estes dois tipos de vida. O período ideal para intervir é o da vida

útil, ou seja, aquele em que a taxa de falhas, figura 14 (b), começa a aumentar rapidamente. (NUNES, 2001).

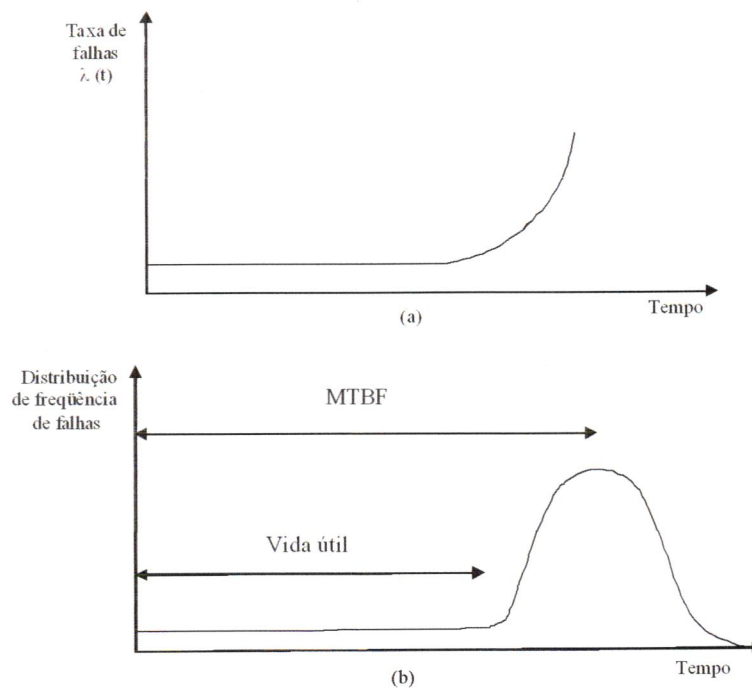


Figura 14 - Curva de distribuição de freqüência e taxa de falha para modo de falha B.

Fonte: Nunes (2001).

2.7.4 Análises Utilizadas na Manutenção Centrada na Confiabilidade

A seguir são apresentadas duas ferramentas de análises utilizadas na aplicação da manutenção centrada em confiabilidade.

2.7.4.1 Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA)

A Análise de Modos de Falhas e Efeitos (*Failure Mode and Effect Analysis* – FMEA) é uma técnica indutiva, estruturada e lógica para identificar e/ou antecipar a(s) causa(s) e efeitos de cada modo de falha de um sistema ou produto (LAFRAIA, 2006). A FMEA é um sistema calculado que hierarquiza as falhas potenciais e fornece as recomendações para as ações preventivas. Dessa forma, a FMEA é

considerada um dos processos mais importantes na filosofia da MCC, o qual requer especialistas para analisar as falhas e solucioná-las.

Os objetivos da FMEA são os seguintes discriminados: (I) assegurar que todos os modos de falha e seus efeitos sobre o sistema sejam considerados; (II) listar potenciais falhas e a magnitude de seus efeitos; e (III) prever bases para estabelecer prioridades nas ações corretivas. É de extrema importância a documentação, por meio físico ou magnético, de todo o desenvolvimento da FMEA, pois permitirá padronizar procedimentos, realizar registro histórico de falhas, que posteriormente poderá ser utilizado em outras revisões do processo ou do produto e selecionar priorizando projetos de melhoria (HELMAN, 1995).

São três os níveis indicados pela literatura: (I) FMEA no projeto se dedica a eliminar as causas de falha durante o projeto do equipamento, levando em consideração todos os aspectos, desde manutenibilidade até aspectos ligados à segurança; (II) FMEA no processo focaliza como o equipamento é mantido e operado; (III) FMEA no sistema se preocupa com as falhas potenciais e gargalos no processo global, como uma linha de produção (PINTO e XAVIER, 1999). Ambos afirmam ainda, que a manutenção está mais envolvida com a FMEA de processos, pois nessa fase os equipamentos estão instalados e operando.

As normas e autores definem suas próprias metodologias para a análise e documentação das informações da FMEA. Moubray (2000) e Smith (1997) não avaliaram a severidade detectabilidade e criticidade da falha. Já o método de análise e documentação sugerido por Moubray (2000) prioriza as funções do sistema e suas respectivas falhas funcionais. A forma de documentação determinado por Smith (1997), considera tanto as funções do sistema como suas falhas funcionais, além de apresentar os equipamentos associados a cada uma. Desse modo, é possível associar cada modo de falha com seu respectivo equipamento e cada metodologia encontrada na literatura engloba a descrição do modo de falha, sua causa potencial e seu respectivo efeito.

Em virtude das falhas, o processo de análise dos mesmos deve ser realizado por uma equipe multidisciplinar, com conhecimentos sobre o sistema em questão, objetivando complementaridade do conhecimento, além da decisão colaborativa. Para a condução de um estudo direcionado de um sistema ou subsistema da FMEA devem ser seguidas as etapas mostradas na Figura 15 (LAFRAIA, 2006):

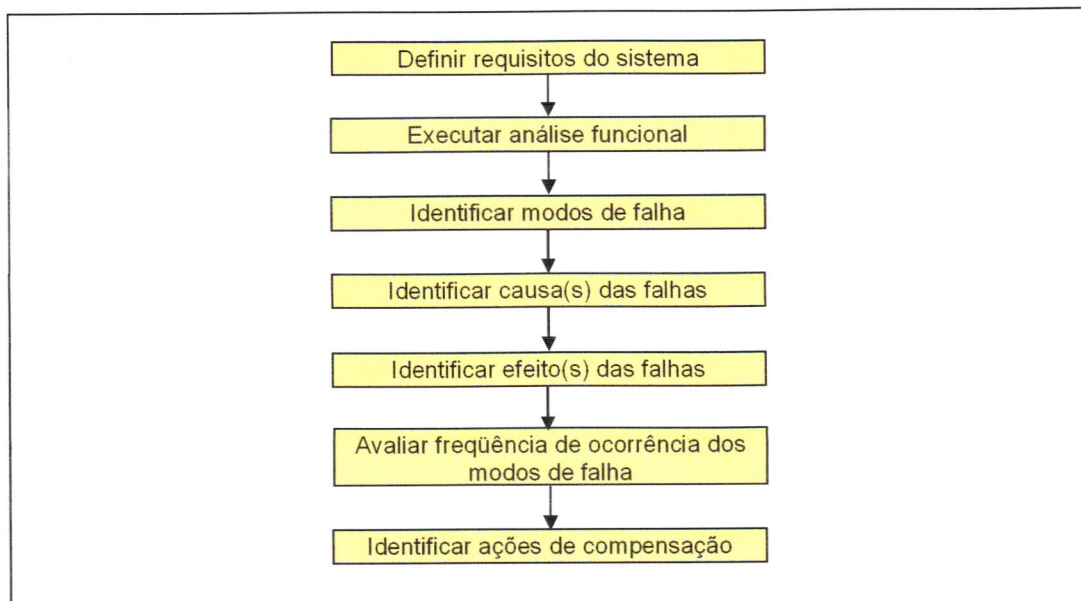


Figura 15 - Etapas do processo FMEA.
Fonte: adaptado a partir de Lafraia (2006, p. 104).

2.7.4.2 Análise de Árvore de Falhas (FTA)

A Análise de Árvore de Falhas (AAF) ou *Failure Tree Analysis* (FTA) classifica-se como uma análise do tipo qualitativa ou quantitativa, onde a primeira tem por objetivo a determinação das Causas Básicas de um evento ou a seqüência que levou ao mesmo. Na análise quantitativa, o objetivo é determinar a probabilidade de ocorrência do evento (LAFRAIA, 2006).

A FTA deve ser entendida como uma técnica dedutiva que permite a investigação das possíveis causas da ocorrência de estados pré-identificados do sistema e pode ser aplicada a qualquer evento indesejado, especialmente eventos e/ou sistemas complexos. Além disso, é possível se obter a probabilidade da ocorrência do evento indesejado. Segundo Lafraia (2006) o objetivo da FTA é a obtenção, através de um diagrama lógico do conjunto mínimo de causas (falhas) que conduziram a presente pesquisa.

Os benefícios da Análise de Árvore de Falhas, de acordo com Helman (1995) e Lafraia (2006) são os seguintes: (I) auxiliar na identificação dos modos de falha do sistema; (II) permitir a determinação de falhas potenciais que seriam difíceis de serem detectadas; (III) facilitar uma maior compreensão do comportamento do sistema bem como sua confiabilidade; (IV) complementar a Análise de Modo de

Falhas e Efeitos através do encadeamento lógico das falhas do sistema; (V) permitir a definição dos procedimentos de manutenção com objetivo de diminuir probabilidade de falha; (VI) permitir que o analista concentre-se em uma falha do sistema; (V) possibilitar análises qualitativas e quantitativas.

2.8 Ferramentas de Qualidade Aplicadas No MCC

São apresentadas a seguir as principais ferramentas de qualidade utilizadas para auxiliar na Análise de Modos de Falhas e Efeitos.

2.8.1 Análise de Pareto

Essa análise surgiu a partir do princípio de Pareto (Vilfredo Pareto, economista italiano do século XIX), que foi desenvolvido com base em um estudo sobre desigualdade na distribuição de rendas, no qual foi verificado que uma minoria da população detinha a maioria da riqueza. (MARSHALL JUNIOR, 2006). O Dr. J. M. Juran aplicou o método como uma forma de classificar os problemas da qualidade nos poucos vitais e nos muito triviais, e denominou este método de *Análise de Pareto*, demonstrando que, em muitos casos, a maior parte dos defeitos decorrem de um número relativamente pequeno de causas. (HITOSHI, 1993).

A análise consiste num gráfico de barras construído a partir de um processo de coleta de dados, e pode ser utilizado quando se deseja priorizar problemas ou causas relativas a um determinado assunto. (MARSHALL JUNIOR, 2006).

2.8.2 Técnica dos “5 Porquês”

O “5 Porquês” é uma técnica que desenvolvida por Sakichi Toyoda (fundador da Toyota), e foi usada na no Sistema de Toyota de Produção durante a evolução de suas metodologias de manufatura. É uma ferramenta da qualidade para encontrar a causa raiz de um defeito ou problema, cujo princípio é: ao encontrar um problema, você deve realizar 5 iterações perguntando o porquê daquele problema, sempre questionando a causa anterior.

Esta é uma boa técnica para resolver problemas simples e tomar os primeiros passos para problemas mais complexos.

2.8.3 Diagrama de Causa e Efeito

O resultado de um processo pode ser atribuído a uma grande quantidade de fatores, que podem ter uma relação de causa e efeito. (HITOSHI, 1993).

O diagrama de causa e efeito, também conhecido como diagrama de Ishikawa ou diagrama de espinha de peixe, é uma ferramenta de representação das possíveis causas que levam a um determinado efeito. (MARSHALL JUNIOR, 2006).

A grande vantagem dessa ferramenta é poder atuar de forma direcionada no detalhamento das possíveis causas, que são agrupadas por categorias e semelhanças estabelecidas previamente, ou identificadas durante o processo de classificação. (MARSHALL JUNIOR, 2006).

2.8.4 Plano de Ação (5W1H)

É uma ferramenta de utilização basicamente gerencial, para elaboração de plano de ação e mapeamento e padronização de processos, com a definição de responsabilidades, métodos, prazos, objetivos e recursos associados. O termo 5W1H representa as iniciais das palavras em inglês, *why* (por que), *what* (o que), *where* (onde), *when* (quando), *who* (quem) e *how* (quando). (MARSHALL JUNIOR, 2006).

2.8.5 Estratificação

A estratificação consiste no desdobramento de dados, a partir de levantamento ocorrido, em categorias ou grupos (estratos) para determinar sua composição, e tem como objetivo auxiliar na análise e na pesquisa para o desenvolvimento de oportunidades de melhoria, na medida em que possibilita a visualização da composição real dos dados por seus estratos. (MARSHALL JUNIOR, 2006).

3 METODOLOGIA

Esse trabalho apresenta um estudo de caso, onde foram aplicados os conceitos de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) e ferramentas de qualidade na planta industrial de um terminal marítimo.

Na aplicação da MCC, foi utilizada a técnica de Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA) com o auxílio de ferramentas de qualidade, para identificar e/ou antecipar as causas e efeitos de cada modo de falha do sistema de carregamento e descarregamento de um terminal marítimo.

Para aplicação do FMEA foram seguidas as seguintes etapas:

1. Determinação dos requisitos do sistema;
2. Execução de Análise Funcional;
3. Identificação dos modos de falha;
4. Identificação das causas das falhas;
5. Identificação dos efeitos das falhas;
6. Avaliação da frequência de ocorrência dos modos de falha;
7. Definição das ações de compensação;

O estudo de caso foi aplicado no Terminal Marítimo Inácio Barbosa (TMIB), situado no estado de Sergipe, no município de Barra dos Coqueiros.

Dentre os indicadores utilizados para o gerenciamento dos ativos de produção, tempo médio entre falhas (MTBF), tempo médio para reparo (MTTR), disponibilidade (D), disponibilidade intrínseca (DI) e disponibilidade física (DF), a disponibilidade foi escolhida para mostrar a evolução da MCC nos equipamentos de carregamento e descarregamento do terminal.

Os indicadores acima citados foram obtidos do banco de dados do sistema de gestão utilizado pelo TMIB, chamado de MAXIMO.

Foram realizadas entrevistas com os setores envolvidos com a programação e execução da manutenção.

Foram levantados e caracterizados os principais ativos que facilitam as operações de carga e descarga no TMIB. Alguns destes equipamentos e sistemas

são de grande importância para o processo produtivo, os quais são: sistema de correias transportadoras, guindaste portuário (canguru), carregador de navios (*ship-loader*) e moegas móveis, os quais são caracterizados no próximo capítulo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a aplicação da MCC, em um sistema, é imprescindível o seu pleno conhecimento. É essencial o entendimento dos fluxos de produção que compõem o sistema e a caracterização dos itens físicos e dos sistemas ou subsistemas funcionais, onde os resultados estão inseridos. O estudo de caso foi aplicado no Terminal Marítimo Inácio Barbosa (TMIB), situado no estado de Sergipe, no município de Barra dos Coqueiros. A Figura 16 mostra uma vista aérea do TMIB.



Figura 16 - Foto do Terminal Marítimo Inácio Barbosa (TMIB).

4.1 Ativos de Produção

A seguir são caracterizados os principais ativos de produção do terminal, os quais são: sistema de correias transportadoras, guindaste portuário (canguru), carregador de navios (*ship-loader*) e moegas móveis.

4.1.1 Sistema de Correias Transportadoras

O Terminal conta com um sistema de quatro transportadores de correia, que funcionam em série. O principal tem 2.500 m de extensão, seguido de outro com 220 metros de extensão que está localizado no cais e está acoplado a um

carregador de navios. O terceiro transportador tem 180 m de extensão, 90TC-07, mostrado na Figura 18, e o quarto e ultimo com 77 metros. Todos possuem capacidade nominal de 1.200 ton/h. A Figura 17 mostra uma vista aérea do pier do Terminal Marítimo Inácio Barbosa.



Figura 17 - Foto do Pier do Terminal Marítimo Inácio Barbosa.

Segue abaixo, quadro com as características dos transportadores e a respectiva localização.

Quadro 3 - Dimensões das Correias Transportadoras.

TAG	Capacidade (ton/h)	Extensão (metro)	Localização
90TC -07	1200	180	Retroporto
90TC -11	1200	2500	Ponte de acesso ao Pier
90TC -13	1200	220	Cais – Ship Loader
90TC -19	1200	77	Ship Loader

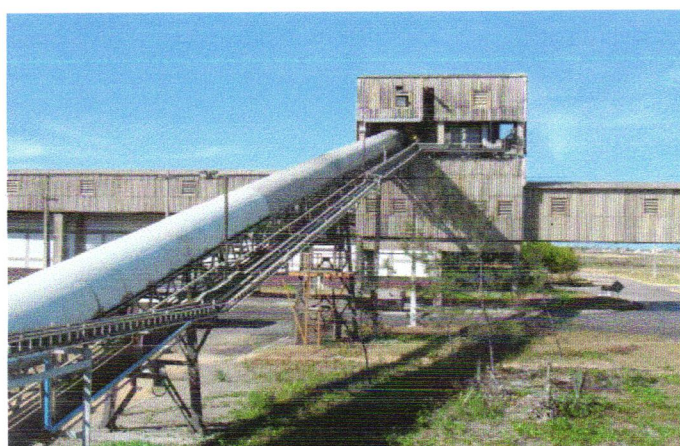


Figura 18 - Correia transportadora 90TC07

4.1.2 Guindaste Portuário

O Terminal marítimo possui um guindaste portuário articulado, chamado de Guindaste Canguru, mostrado na Figura 19, com capacidade máxima de 8 m³, máximo air draft de 19 metros e com 1 moega fixa acoplada que apresenta capacidade nominal de 250 toneladas/hora, e possui também um Gancho com capacidade de 12 toneladas. O guindaste está montado sobre trilhos permitindo a sua mobilização ao longo de todo o cais de atracação.

O sistema de acionamento da lança do guindaste também teve seu acionamento modificado permitindo uma maior confiabilidade e facilidade de operação do sistema.



Figura 19 - Guindaste Portuário (Canguru)

4.1.3 Carregador de Navios (ship-loader)

O Terminal Marítimo possui um carregador de navios acoplado ao transportador de correia 90TC13. O Carregador, chamado de ship-loader, mostrado na Figura 20, possui uma capacidade nominal média de descarga de 1200 ton/h.

Todo o piso do CN está sendo modificado por pisos em fibra de vidro, o que possibilitará uma melhor manutenção do mesmo. Aproximadamente 50% do piso já foi substituído, sendo os demais substituídos sob demanda de acordo com a necessidade de troca.



Figura 20 - Carregador de Navios (Ship-Loader)

4.1.4 Moegas Móveis

O sistema possui duas moegas móveis, que são alimentadas pelos guindastes de bordo dos navios sendo que as mesmas possuem uma capacidade nominal de 20 m³ cada, e ambas ficam localizadas no Píer. A Figura 21 mostra as moegas móveis 03 e 04, sendo utilizadas.



Figura 21 - Moega Móvel

4.2 Fluxogramas de Processo

A seguir são apresentados os Fluxogramas do Processo de carregamento de cimento com a utilização das correias e do ship-loader, de descarga de granéis com guindaste canguru e de descarga de granéis com equipamentos do navio e as moegas móveis.

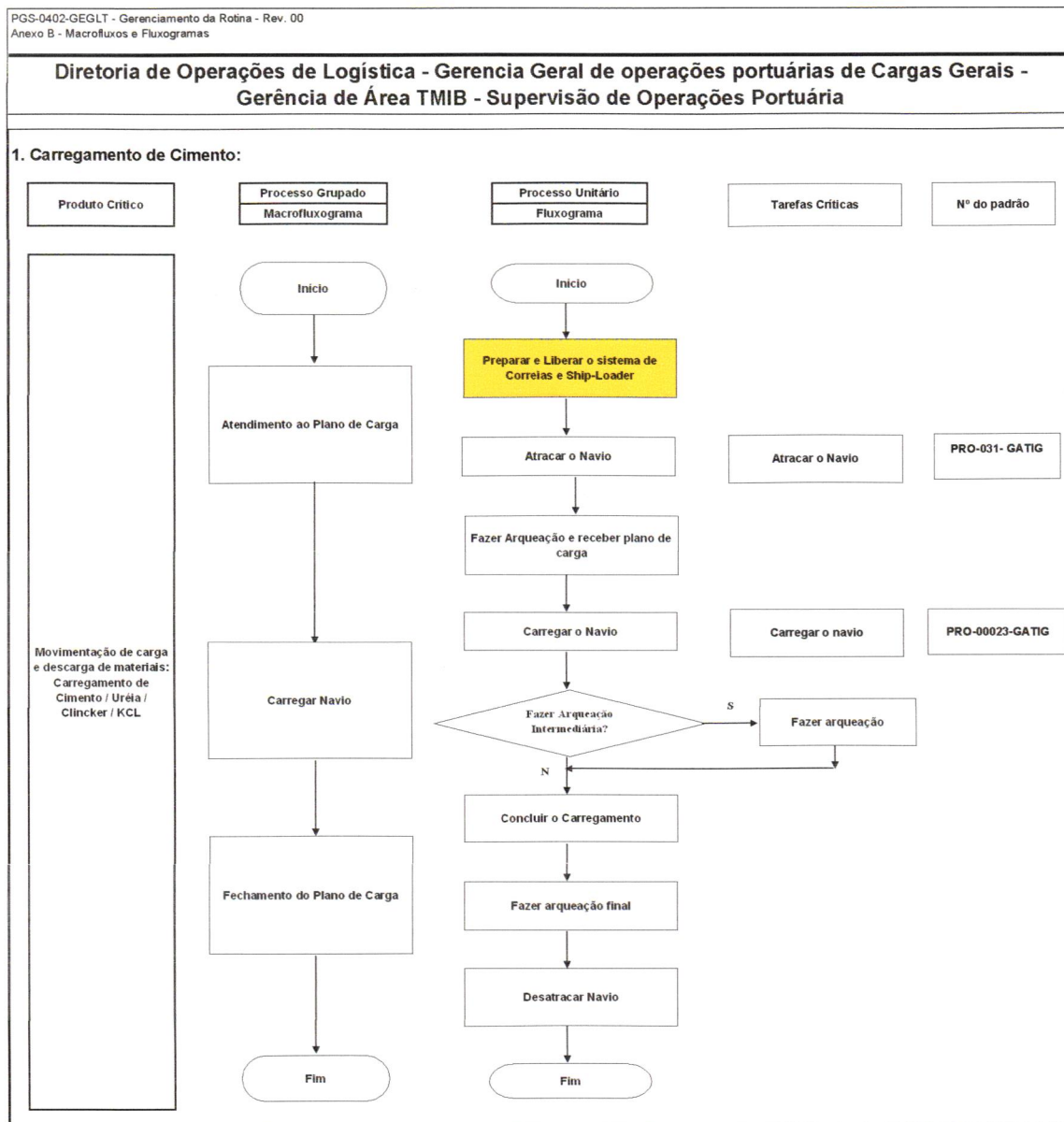


Figura 22 - Fluxograma do processo de carregamento de cimento.
Fonte: PGS-0402-GEGLT - Gerenciamento da Rotina (Procedimento da Vale S/A.)

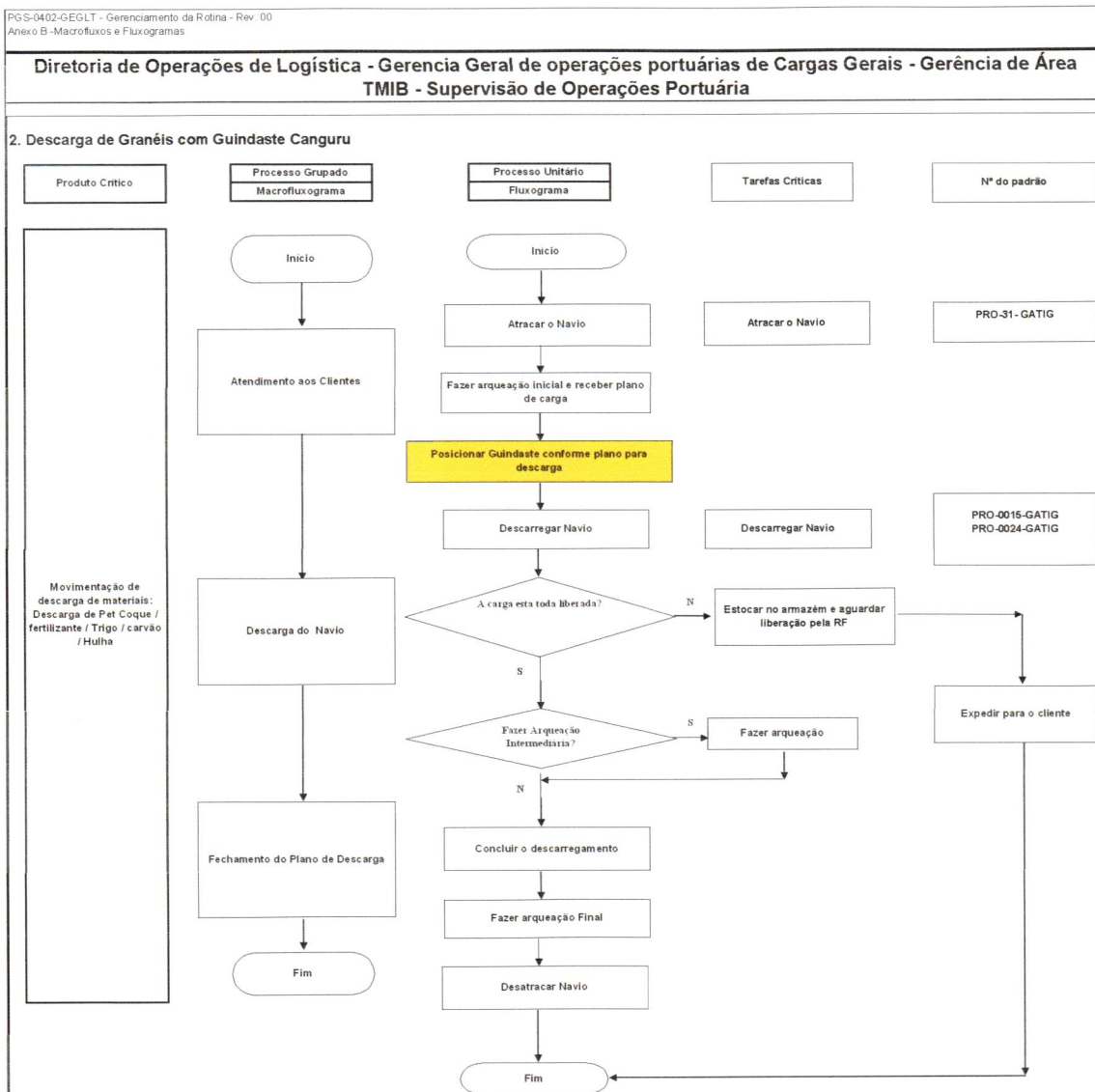


Figura 23 - Fluxograma do processo de descarga de granéis com guindaste "canguru".

Fonte: PGS-0402-GEGLT - Gerenciamento da Rotina (Procedimento da Vale S/A.)

Diretoria de Operações de Logística - Gerencia Geral de operações portuárias de Cargas Gerais - Gerência de Área TMIB - Supervisão de Operações Portuária

3. Descarga de Granéis com equipamento do Navio:

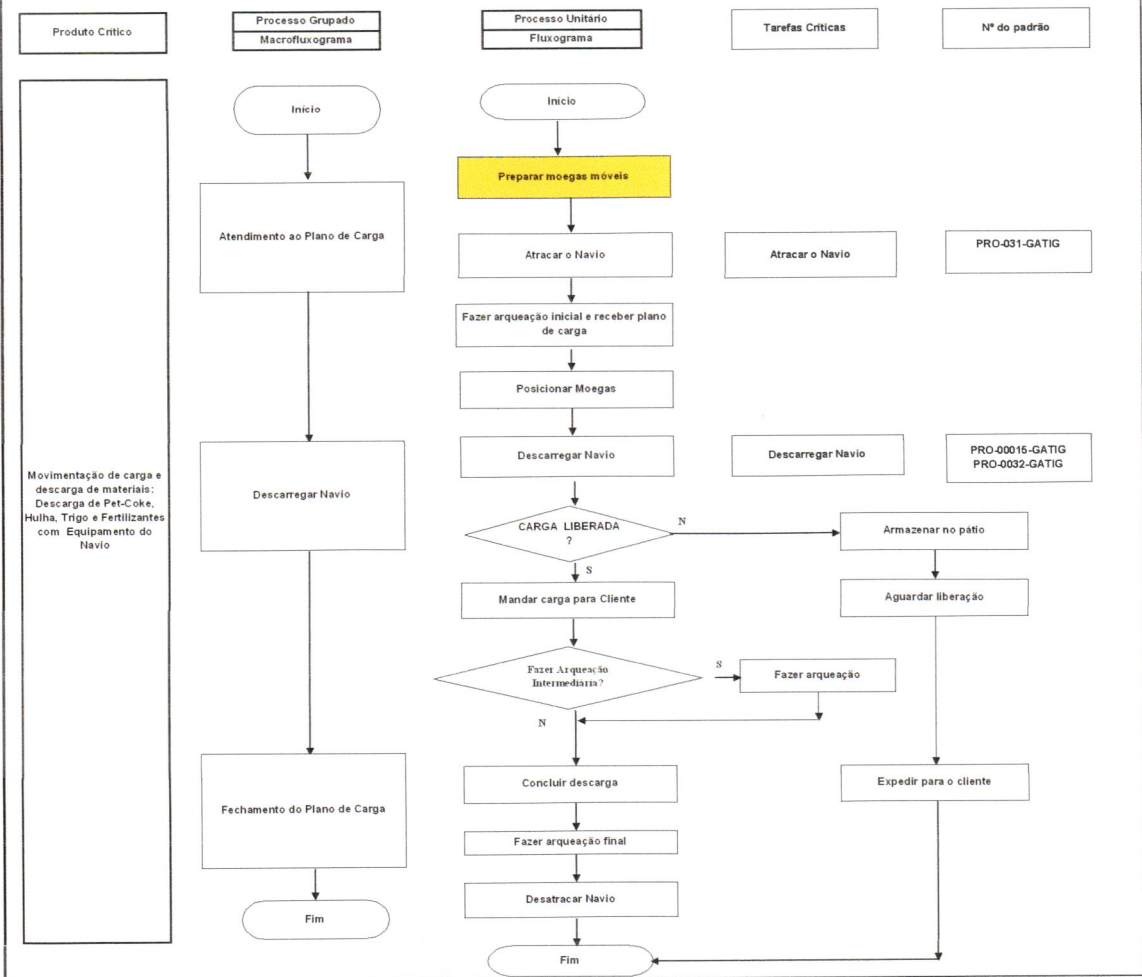


Figura 24 - Fluxograma do processo de descarga de granéis com equipamentos do navio.

Fonte: PGS-0402-GEGLT - Gerenciamento da Rotina (Procedimento da Vale S/A.)

4.3 Resultados da aplicação dos conceitos da MCC

O estudo de caso foi realizado através da aplicação do FMEA para identificar as ações que deveriam ser tomadas para atingir as metas de disponibilidade definidas para o ano de 2008.

A figura 25 apresenta um gráfico, contendo a disponibilidade das linhas de carregamento e descarregamento no ano de 2007. A linha vermelha está descrevendo as metas mensais de disponibilidade e a linha azul está descrevendo os resultados dos meses do mesmo ano.

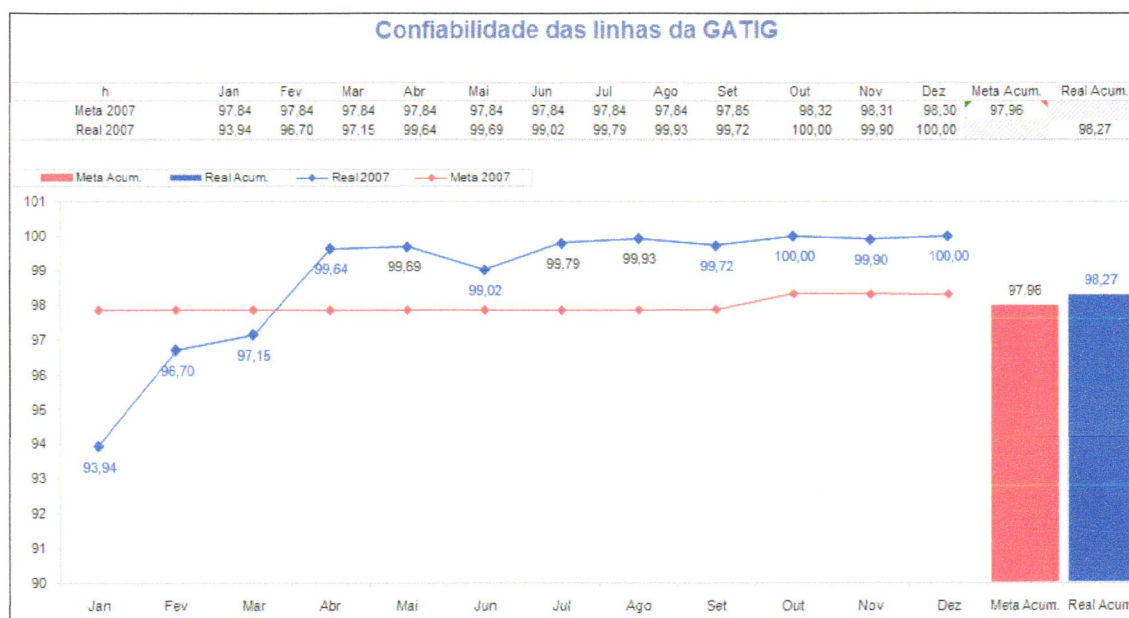


Figura 25 - Resultado de 2007 da Confiabilidade das linhas de carregamento e descarregamento do TMIB

Para a aplicação da metodologia FMEA foram seguidos os seguintes passos:

1) Identificação dos requisitos do sistema → baseado na necessidade de movimentação de cargas para o ano de 2008, e projetando uma melhoria no sistema que levaria ao aumento da confiabilidade do mesmo foram definidas as metas de DI para o ano de 2008.

O gráfico da figura 26 apresenta as metas mensais definidas para 2008 e os dados reais de 2007, os quais foram utilizados na aplicação de ferramentas de

qualidade para aumentar a confiabilidade dos equipamentos e atingir a meta de disponibilidade intrínseca até dez/2008, de 98,34%.

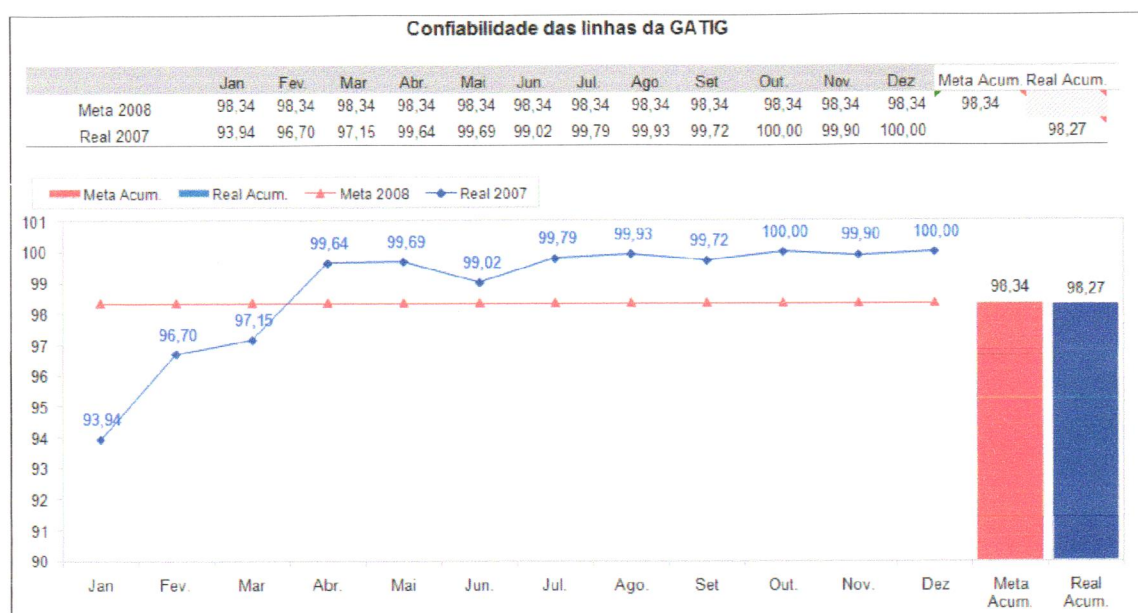


Figura 26 - Resultado de 2007 e metas de 2008 da Confiabilidade das linhas de carregamento e descarregamento do TMIB

2) Análise Funcional → tomando como base o histórico do desempenho do último ano (2007), e a necessidade de melhoria do desempenho futuro, foi realizada a análise funcional dos sistemas identificando os equipamentos que impactaram na perda de desempenho

Foi realizada a primeira estratificação (Tabela 4), na qual verificou-se que 80% do tempo de parada para manutenção corretiva, foi relacionado aos equipamentos 90GD01 (canguru), 90TC11 (transportador de correia 11) e 90SH01 (ship loader), conforme gráfico de Pareto da figura 27.

Tabela 1 - Estratificação dos tempos de paradas para manutenção corretiva em 2007.

Estratificação			
Pareto do Problema:			
Tempo de paradas para Manutenção Corretiva			
Tópicos da estratificação (equipamento)	Tempo de Parada (min)	% Acumulado	% Unitário
90GD01	1.088	37%	37%
90TC11	697	61%	24%
90SH01	530	80%	18%
90TC19	336	91%	12%
90TC07	154	97%	5%
90TC13	65	99%	2%
90MG04	35	100%	1%
Total	2.905	100%	100%

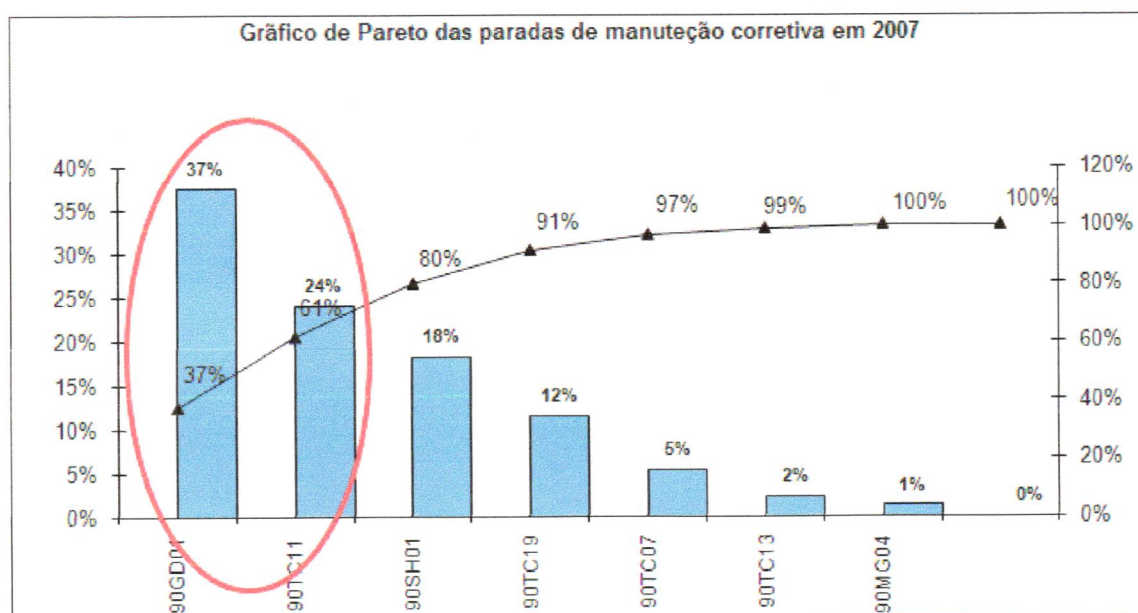


Figura 27 - Gráfico de Pareto das paradas para manutenção corretiva em 2007

Foi realizada uma segunda estratificação, focando apenas nos problemas ocorridos nos 3 (três) equipamentos, que juntos corresponderam por 80% do tempo de parada com manutenção corretiva (90GD01, 90TC11 e 90SH01). O resultado das estratificações 2.1 a 2.3 (Tabela 5) mostra que a maior parte das manutenções corretivas realizadas nesses equipamentos foi da especialidade de mecânica.

Tabela 2 - Estratificações de manutenções corretivas nos equipamentos com maior tempo de parada.

Estratificação 2.1

Manutenções corretivas no 90GD01 em 2007.

Tópicos da estratificação	Tempo (min)	% Acumulado	% Unitário
Corretivas Mecânicas	1.082	99%	99%
Corretivas Elétricas	6	100%	1%
		100%	0%
		100%	0%
Total	1.088		100%

Estratificação 2.2

Manutenções corretivas no 90TC11 em 2007.

Tópicos da estratificação	Tempo (min)	% Acumulado	% Unitário
Corretivas Mecânicas	638	92%	92%
Corretivas Elétricas	59	100%	8%
		100%	0%
Total	697		100%

Estratificação 2.3

Manutenções corretivas no 90SH01 em 2007.

Tópicos da estratificação	Tempo (min)	% Acumulado	% Unitário
Corretivas Mecânicas	444	84%	84%
Corretivas Elétricas	86	100%	16%
		100%	0%
Total	530		100%

3) e 4) Identificação dos modos de falha e causas de falha → Dando continuidade ao estudo foi realizada a terceira estratificação, agora focando nas manutenções corretivas de mecânica, para identificar os componentes que mais apresentaram problemas e foi concluído que os problemas que contribuíram para grande parte do tempo de parada dos três equipamentos foram problemas localizados e que após a troca dos componentes danificados não houve mais ocorrências, o que não justificou a realização de mais análises nesses itens. As Figuras 28 a 30 apresentam os gráficos de Pareto das manutenções corretivas mecânicas realizadas nos três equipamentos que mais contribuíram com as paradas.

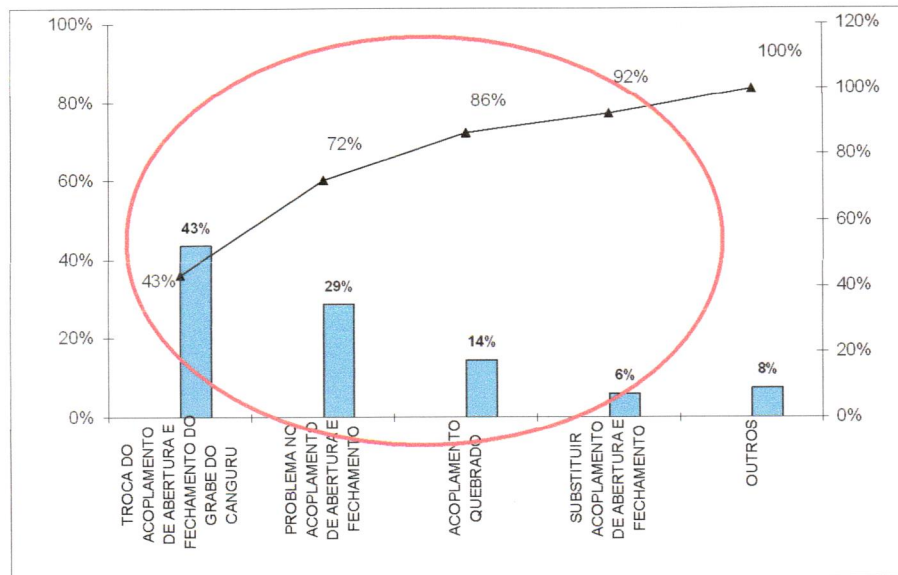


Figura 28 - Gráfico de Pareto das Manutenções corretivas mecânicas no 90GD01 em 2007.

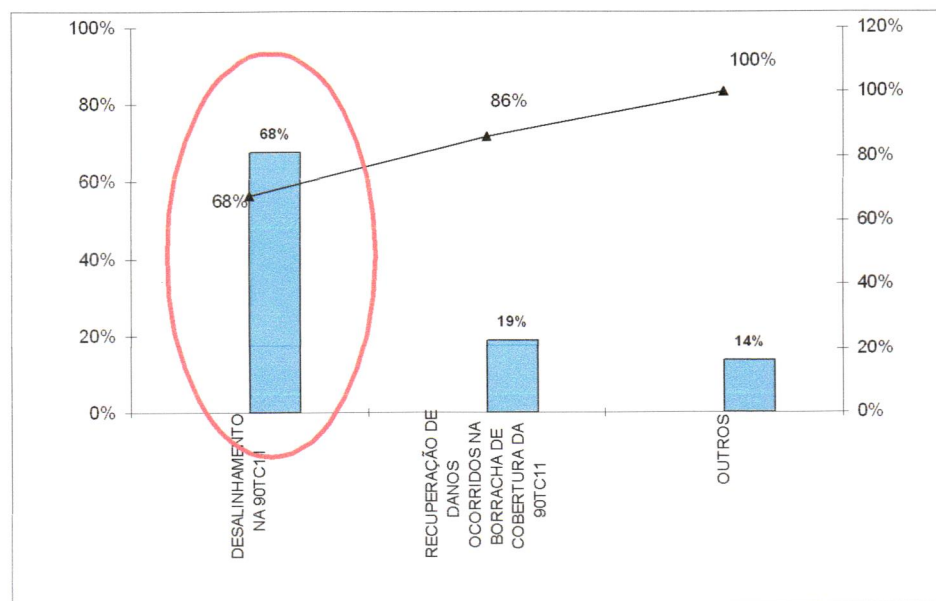


Figura 29 - Gráfico de Pareto das Manutenções corretivas mecânicas no 90TC11 em 2007.

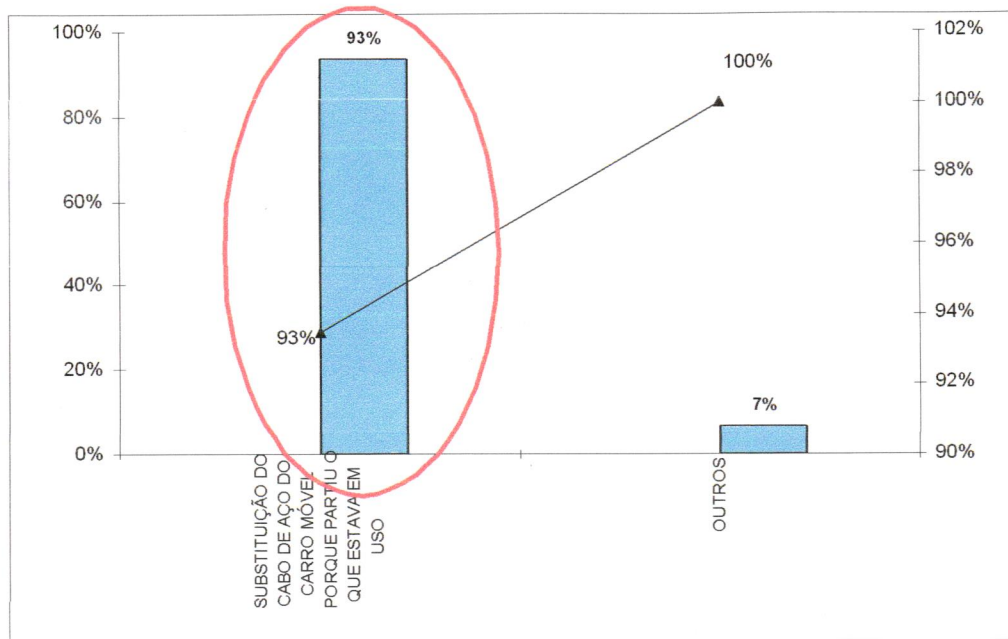


Figura 30 - Gráfico de Pareto das Manutenções corretivas mecânicas no 90SH01 em 2007.

5) Identificação do efeito das falhas → Aplicando o diagrama de causa e efeito foram identificadas as causas principais dos problemas e seus defeitos. O diagrama de causa e efeito 01, apresentado na Figura 31, o problema (efeito) é “Não atingir a meta de disponibilidade até dez/2008”.

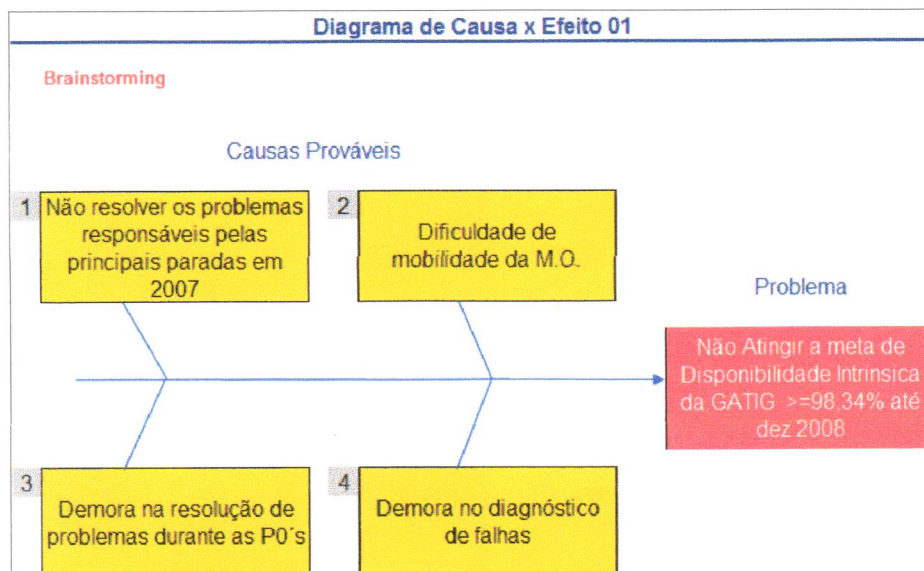


Figura 31 - Diagrama de Causa e Efeito 01

Dentre as causas prováveis levantadas no diagrama de causa e efeito da Figura 31, a causa provável 1, relativa aos problemas responsáveis pelas principais paradas ocorridas em 2007 foi tratada com a elaboração de estratificações e gráficos de Pareto relatados anteriormente.

Para as outras três causas prováveis do problema de não atingir a meta de disponibilidade até dez/2008 foram elaborados três diagramas de causa e efeito, apresentados na Figura 32.

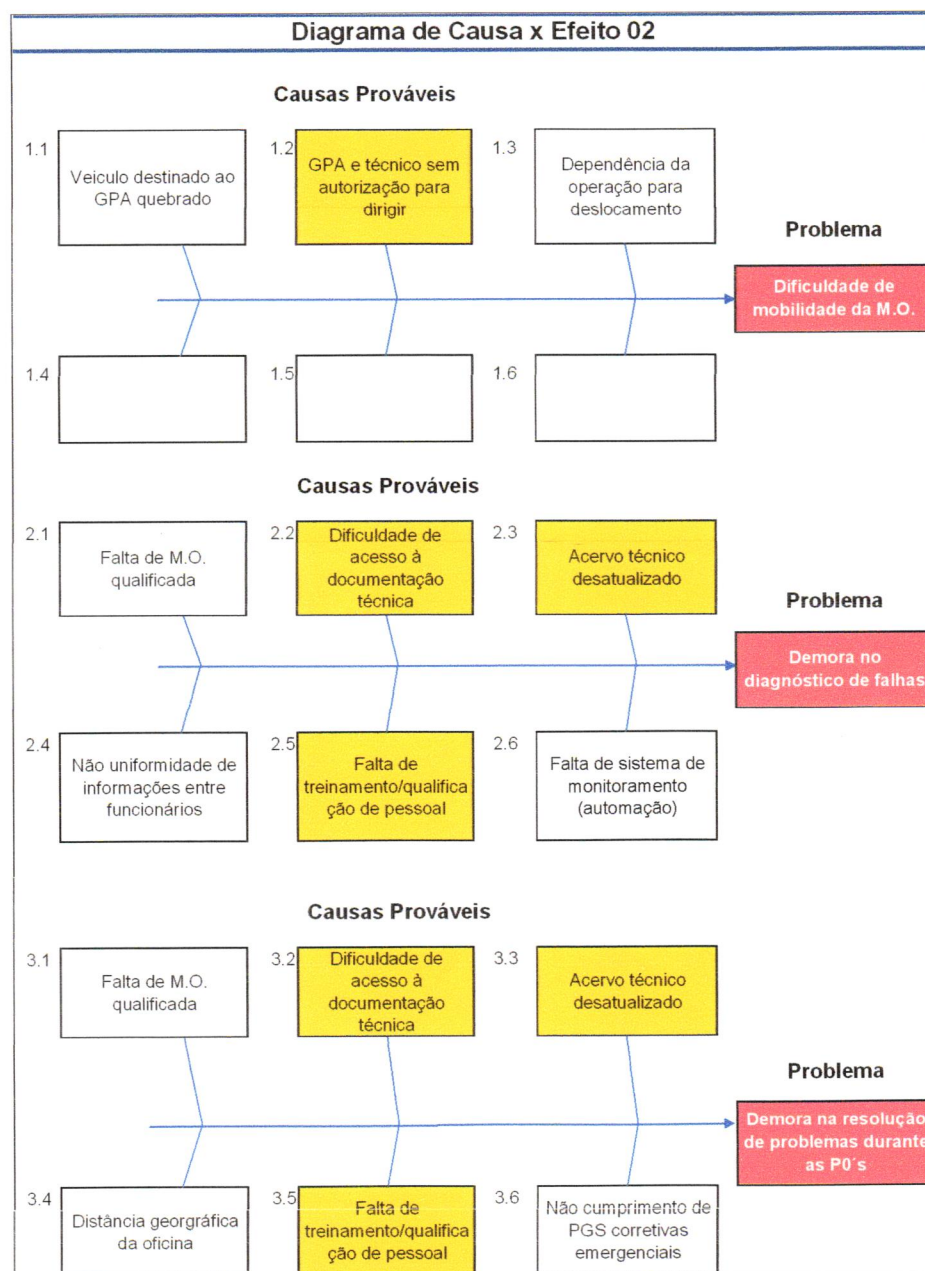


Figura 32 - Diagrama de Causa e Efeito 02

Foram selecionadas algumas causas prováveis do diagrama de causa e efeito 02 (em amarelo) para aplicação da técnica dos “Porquês”, onde foi perguntado o porquê de cada problema, sempre questionando a causa anterior, cujo resultado está apresentado na Figura 33.

Técnica dos Porquês		
Causa 1.2		
Por Que?	Motivo	O Que Fazer
GPA e técnico sem autorização para dirigir	Falta de treinamento de direção defensiva	Realizar treinamento de direção defensiva com os funcionários
Falta de treinamento de direção defensiva		
Causas 2.2 e 3.2		
Por Que?	Motivo	O Que Fazer
Dificuldade de acesso à documentação técnica	Distância geográfica do Arquivo Técnico em relação ao posto de trabalho	Digitalizar o acervo técnico permitindo o acesso via PC's
Distância geográfica do Arquivo Técnico em relação ao posto de trabalho		
Causas 2.3 e 3.3		
Por Que?	Motivo	O Que Fazer
Acervo técnico desatualizado	Falta de rotina de registro das atualizações realizadas nos sistemas (mecânico e elétrico)	Atualizar acervo técnico
Falta de rotina de registro das atualizações realizadas nos sistemas (mecânico e elétrico)	Falta de estrutura (QLP ou contrato) no Terminal	
Falta de estrutura (QLP ou contrato) no Terminal		
Causas 2.5 e 3.5		
Por Que?	Motivo	O Que Fazer
Falta de treinamento/qualificação de pessoal	Defasagem dos profissionais em relação às novas tecnologias aplicadas nos equipamentos	Implantação das trilhas de desenvolvimento
Defasagem dos profissionais em relação às novas tecnologias aplicadas nos equipamentos	Dificuldade regional na realização de treinamentos de qualificação	
Dificuldade regional na realização de treinamentos de qualificação		Realizar treinamento do QLP TMIB no programa

Figura 33 - Aplicação da Técnica dos Porquês.

6) Avaliação da frequência de ocorrência dos modos de falha → não é aplicável, pois foi a primeira vez que o método foi aplicado.

7) Definição das ações de compensação → Durante a aplicação da técnica dos Porquês, foram definidas ações a fazer, e para o tratamento e acompanhamento das mesmas, foi elaborado um plano de ação, apresentado na Figura 34, utilizando a técnica 5W1H, que define as responsabilidades, métodos, prazos, objetivos e recursos associados. O termo 5W1H representa as iniciais das palavras em inglês, *why* (por que), *what* (o que), *where* (onde), *when* (quando), *who* (quem) e *how* (quando).

PLANO DE AÇÃO (5W1H)																		
MEDIDAS/CAUSA	O QUE (WHAT)	PORQUE (WHY)	COMO (HOW)	ONDE (WHERE)	QUEM (WHO)	QUANDO (WHEN)												
						M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sat	Out	Nov	Dez
GPA e técnico sem autorização para dirigir	Realizar treinamento de direção defensiva	Garantir que todos os membros do GPA estejam habilitados a dirigir no terminal	Realizando treinamento de direção defensiva	TMIB	Fernando	M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sat	Out	Nov	Dez
		Identificar profissionais autorizados a dirigir veículos no GPA	Verificando em cada GPA quais membros terão autorização para dirigir	TMIB	Fernando	M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sat	Out	Nov	Dez
	Solicitar autorização para dirigir do técnico em manutenção	Solicitando autorização para dirigir para o técnico em manutenção	Solicitando formalmente a autorização à gerência	TMIB	Fernando	M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sat	Out	Nov	Dez
Dificuldade de acesso à documentação técnica	Digitalizar acervo e disponibilizar na rede	Evitar perda de tempo devido a deslocamento para o Arquivo Técnico durante PD's	Digitalizando acervo técnico	TMIB	Alton de Sousa	M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sat	Out	Nov	Dez
Acervo técnico desatualizado	Atualizar acervo técnico	Evitar perdas de tempo durante o diagnóstico de problemas	Prevendo a demanda no orçamento de 2008 para fazer os bulk dos principais desenhos	TMIB	Malvino	M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sat	Out	Nov	Dez
Falta de treinamento/qualificação de pessoal	Fazer mapeamento das principais carências técnicas dos funcionários	Identificar os treinamentos necessários para qualificar o QLP	Fazendo o mapeamento das carências técnicas de toda a equipe de GPA e inspeção	TMIB	Supervisores	M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sat	Out	Nov	Dez
	Incluir demandas de treinamentos para o QLP de acordo com demanda levantada	Reduzir o tempo na resolução de problemas e diagnóstico de falhas	Incluindo demandas de treinamentos de acordo com a demanda levantada	TMIB	Supervisores	M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sat	Out	Nov	Dez
	Implantar o título de desenvolvimento	Qualificar QLP no diagnóstico e resolução de problemas	Realizando treinamento de acordo com a demanda da área	TMIB	Carolina Miranda	M	Jan	Fev	Mar	2007	Mai	Jun	Jul	Ago	Sat	Out	Nov	Dez
	Realizar treinamento do QLP TMIB no programa PNQC junto com a DIMB	Garantir melhor desempenho do QLP no diagnóstico e resolução de problemas	Realizando treinamento do QLP TMIB no PNQC em conjunto com a DIMB	TMIB	Alton de Sousa	M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sat	Out	Nov	Dez

Figura 34 - Plano de Ação (5W1H)

Com a implementação do Plano de Ação apresentado na Figura 34 ao longo de 2008, foi obtida uma maior disponibilidade dos equipamentos em relação ao ano anterior. Os resultados de 2008 estão apresentados no gráfico da Figura 35, onde a linha vermelha representa a meta de 2008, e a linha azul a disponibilidade alcançada no mesmo ano.

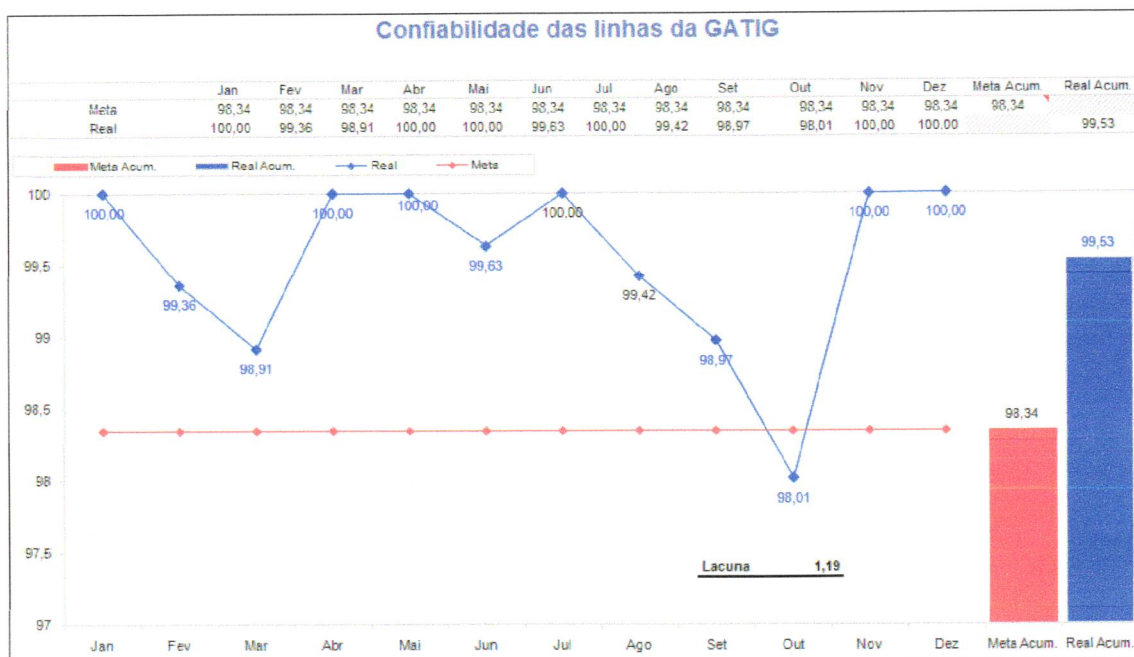


Figura 35 - Resultado de 2008 da Confiabilidade das linhas de carregamento e descarregamento do TMIB

Foram aplicadas novamente as ferramentas de qualidade com os dados reais de 2008 utilizando a mesma sistemática adotada com os dados reais de 2007, de forma a aumentar cada vez mais a disponibilidade dos ativos de produção do Terminal Marítimo Inácio Barbosa.

O Quadro 4 mostra a evolução da disponibilidade intrínseca dos ativos.

Quadro 4 - Evolução da Disponibilidade Intrínseca

	2005	2006	2007	2008	2009
Histórico Anual	97,83%	98,50%	98,27%	99,23%	
Resultado			98,27%	99,53%	
Meta			97,96%	98,34%	94,1%

A redução da meta de 2008 para 2009 foi devida a crise econômica mundial e a conseqüente redução da demanda operacional do terminal.

5 CONCLUSÃO

Como pode ser verificado, os objetivos da implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) foram atingidos através da preservação dos sistemas de carregamento e descarregamento;

Durante o estudo, com a aplicação de ferramentas de qualidade e da técnica FMEA, foram identificados os principais modos de falha que comprometem cada função do sistema, em seguida estas funções foram priorizadas servindo como base para a definição das atividades de manutenção a serem priorizadas.

Os resultados apresentados mostram que houve um acréscimo no indicador de Disponibilidade Intrínseca (DI) que é utilizado para medir a confiabilidade do sistema.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-5462: Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.
- ALMEIDA, A. T.; SOUZA, F. M. C.; **Gestão da manutenção: Na direção da competitividade**. 1. ed. Recife: Universitária/UFPE, 2001.
- CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da Rotina do Trabalho do Dia-a-Dia**. 7. ed. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2001.
- FILHO, G. B. **Dicionário de Termos de Manutenção e Confiabilidade**, 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna., 2000.
- GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**, 3. ed. São Paulo: Atlas, 1991.
- HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. **Análise de Falhas (Aplicação dos Métodos de FMEA – FTA)**. Belo horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995.
- HITOSHI, K. **Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade**. 11ª ed. São Paulo, Editora Gente, 1993.
- LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006.
- LIMA, R. S. TPM - Total Productive Maintenance – Curso de Multiplicadores. Belo Horizonte: Advencd Consulting & Training, 2000.
- MARSHALL JUNIOR, I. **Gestão da Qualidade**, 8 ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.
- MOUBRAY, J. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. São Paulo: Aladon Ltda, 2000.
- MENEZES, I. M. de; ALMEIDA, M. L. de. **Manual da Manutenção Industrial**. 1. ed. Minas Gerais: Lettrográfica Editora Ltda, 2002.
- MONCHY, F. **Função Manutenção - Formação Para a Gerência da Manutenção Industrial**. São Paulo: Editora Durban Ltda ed. 1999.
- MUASSAB, J. R. Gerenciamento da Manutenção na Indústria Automobilística. Dissertação de MBA. São Paulo, 2002.
- NUNES, E. L. Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC): análise da implementação em um sistema de manutenção consolidada. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.
- OLIVEIRA, R. P. **Glossário Técnico Manutenção e Engenharia Industrial**, 2003.
- PINTO, A. K., RIBEIRO, H. **Gestão estratégia e manutenção autônoma**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.
- PINTO, A. K., XAVIER, J. A. N. **Manutenção: Função Estratégica**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.

- QUINELLO, R e NICOLETTI, J.R. Revista de Gestão da Tecnologia e Sistemas de Informação. Vol2, Nº 1, 2005.
- SEIXAS, E.S. Análise de Falhas FMEA-FMECA, apostila de treinamento da Abraman, Regional IV, Abril de 2005.
- SILVA, Cassandra Ribeiro de O. **Metodologia e Organização do Projeto de Pesquisa**, CEFET-CE Fortaleza, 2004. Guia Prático.
- SIQUEIRA, I. P. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implementação**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.
- SMITH, A. M. **Reliability-Centered Maintenance**, London, Butterworth Heinemann, 2nd edition, 1997;
- SOUZA, V. C. **Organização e Gerência da Manutenção**. 3 ed. São Paulo: All Print Editora, 2009.
- TAVARES, L. A. **Excelência na Manutenção – Estratégias, Otimização e Gerenciamento**, Salvador: Casa da Qualidade Editora Ltda., 1999.
- TAVARES, L. A. A evolução da manutenção 20 anos da Abraman – Associação Brasileira de Manutenção. São Paulo: Revista Nova Manutenção Y Qualidade, 2005.
- VIANA, H. R. G. **PCM, Planejamento e Controle da Manutenção**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.