

**TEORIA DAS RESTRIÇÕES NA ÁREA DE MANUTENÇÃO DA  
INDÚSTRIA PETROLÍFERA UPSTREAM: UM ESTUDO DE CASO**

MATEUS ALBERNAZ LEMOS

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE - UENF**

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

JULHO – 2012

# TEORIA DAS RESTRIÇÕES NA ÁREA DE MANUTENÇÃO DA INDÚSTRIA PETROLÍFERA UPSTREAM: UM ESTUDO DE CASO

MATEUS ALBERNAZ LEMOS

Dissertação apresentada ao Centro de  
Ciência e Tecnologia da Universidade  
Estadual do Norte Fluminense, como parte  
das exigências para obtenção do título de  
Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Rogério Atem de Carvalho, D. Sc.

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

JULHO – 2012

## FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do **CCT / UENF**

**55/2012**

Lemos, Mateus Albernaz

Teoria das restrições na área de manutenção da indústria petrolífera upstream: um estudo de caso / Mateus Albernaz Lemos. – Campos dos Goytacazes, 2012.

xv, 115 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) --  
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de  
Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia de Produção.  
Campos dos Goytacazes, 2012.

Orientador: Rogério Atem de Carvalho.

Área de concentração: Gerência da produção.

Bibliografia: f. 92-97.

1. TEORIA DAS RESTRIÇÕES 2. GESTÃO DA MANUTENÇÃO  
3. PROCESSO DE RACIOCÍNIO 4. PLATAFORMA DE PRODUÇÃO

I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro  
de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia de Produção II.

Título

CDD 658.404

# TEORIA DAS RESTRIÇÕES NA ÁREA DE MANUTENÇÃO DA INDÚSTRIA PETROLÍFERA UPSTREAM: UM ESTUDO DE CASO

MATEUS ALBERNAZ LEMOS

Dissertação apresentada ao Centro de  
Ciência e Tecnologia da Universidade  
Estadual do Norte Fluminense, como parte  
das exigências para obtenção do título de  
Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovada em     de Junho de 2012.

Comissão Examinadora:

---

Carlos Magno Couto Jacinto, D.Sc – CENPES

---

Prof. Eduardo Atem de Carvalho, Ph.D. - UENF

---

Prof. André Luis Policani Freitas, D. Sc. – UENF

---

Prof. Rogério Atem de Carvalho, D. Sc. - UENF

Orientador

*Dedico esse trabalho*

*A minha esposa, pelo incentivo constante, pela troca de ideias e por me mostrar  
que tudo é possível quando se esforça. Eu te amo!*

## **AGRADECIMENTOS**

A meu orientador, professor Rogério Atem de Carvalho, pela dedicação, apoio técnico e acima de tudo, grande amizade.

Aos professores do Programa de Mestrado em Engenharia de Produção da UENF, pela fundamentação teórica de grande valia e outros ensinamentos que utilizarei por toda minha profissional.

A minha esposa pelo incentivo e parceria ao longo de todo o mestrado.

Aos meus companheiros de mestrado pela troca de conhecimentos e incentivo mútuo.

E, a alguns amigos que, sem objetivar benefícios próprios, colaboraram comigo, em forma de serviços, incentivo, apoio ou reconhecimento extrínseco, e para tanto não mediram esforços, não se individualizaram, mas se irmanaram.

- Adriana Vasconcellos
- Alexandre Teixeira Barbosa
- Edson Roberto Fedel
- Helder Savio de Aguiar
- Hiran Crespo Junior
- Ildfonso Alvarenga Cordeiro
- Leandro da Silva Cardoso
- Leandro Antonio Silva
- Marcelo Francisco da Silva
- Ruben de Gusmão Gomes de Araujo

## **RESUMO**

### **TEORIA DAS RESTRIÇÕES NA ÁREA DE MANUTENÇÃO DA INDÚSTRIA PETROLÍFERA UPSTREAM: UM ESTUDO DE CASO**

Mateus Albernaz Lemos

O setor de manutenção foi percebido durante muito tempo apenas como um "mal necessário", mas mudanças no ambiente competitivo, o colocaram como um dos pilares da garantia da perenidade das empresas de energia. Este trabalho é uma aplicação das Teoria das Restrições (TOC) e suas ferramentas do Processo de Raciocínio na identificação e solução dos problemas do setor de manutenção em uma unidade marítima de produção de óleo e gás. Para realização deste trabalho foi realizada uma pesquisa entre a força de trabalho do setor de manutenção da unidade marítima de forma a identificar seus principais problemas e utilizar as 05 ferramentas do Processo de Raciocínio : Árvore da Realidade Atual (ARA), Diagrama de Dispersão de Nuvens (DDN), Árvore da Realidade Futura (ARF), Árvore de Pré-Requisitos (APR) e Árvore de Transição (AT) para identificar o problemas-raiz e propor ações para mudança sem trazer novos problemas para a organização. Como resultado final é possível destacar que a implementação das ações estão em andamento e baseado nelas foram aprovados investimentos na substituição de equipamentos obsoletos na unidade marítima.

Palavras-chaves: Teoria das Restrições, Gestão da Manutenção, Processo de Raciocínio, Plataforma de Produção

## ***Abstract***

### **THEORY OF CONSTRAINTS IN MAINTENANCE AREA OF UPSTREAM PETROLEUM INDUSTRY: A CASE STUDY**

Mateus Albernaz Lemos

The maintenance sector was perceived just as a "necessary evil", but changes in the competitive environment and legislations put it as one of the pillars of guarantee the sustainability of energy companies. This work is an application of the Theory of Constraints (TOC) and its Thinking Process tools in identifying and solving the problems of maintenance sector a Production Offshore Unit of oil and gas. For this study it was conducted a survey among the labor force of maintenance sector of a maritime unit, in order to identify their main problems and use the 5 Thinking Process Tools: Current Reality Tree (CRT), Evaporating Cloud Technique (ECT), Future Reality Tree (FRT), Prerequisite Tree (PRT) and Transition Tree (TT) to identify the root problems and propose actions to change without bringing new problems for the organization. As final result is possible to highlight that implementation of actions are ongoing and based on them were approved investment in the replacement of obsolete equipment in the offshore unit.

*Keywords: Theory of Constraints, Maintenance Management, Thinking Process, Production Rig*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE SIGLAS</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE QUADROS</b>	<b>XIII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>XIV</b>
<b>INTRODUÇÃO 1</b>	
1.1    Objetivos	4
1.2    Justificativas	4
1.3    Estruturação do Trabalho	5
<b>MANUTENÇÃO</b>	<b>6</b>
2.1.    Definições	6
2.2.    Histórico da Manutenção	7
2.3.    Tipos de Manutenção	9
2.3.1.    Manutenção Corretiva	11
2.3.2.    Manutenção Preventiva	12
2.3.3.    Manutenção Preditiva	13
2.3.4.    Engenharia de Manutenção	16
2.4.    Metodologias de Gerenciamento da Manutenção	16
2.4.1.    Manutenção Centrada em Confiabilidade - MCC	17
2.4.2.    Manutenção Produtiva Total - MPT	19
2.5.    Planejamento e Programação da Manutenção	21
2.6.    Sistemas de Gerenciamento da Manutenção	23
<b>TEORIA DAS RESTRIÇÕES</b>	<b>27</b>
3.1.    Teoria das Restrições - História e Evolução	27
3.2.    Definições e Conceitos da Teoria das Restrições	30
3.2.1.    A Teoria das Restrições	30
3.2.2.    Restrições e Tipos de Recurso	32
3.2.3.    TPC – Tambor – Pulmão - Corda	34
3.2.4.    Processo de Focalização em Cinco Etapas	35
3.2.4.1.    Identificar a(s) restrição(ões) do sistema	35
3.2.4.2.    Decidir como explorar a(s) restrição(ões) do sistema	36
3.2.4.3.    Subordinar tudo mais à decisão anterior	37
3.2.4.4.    Elevar a(s) restrição(ões) do sistema;	37
3.2.4.5.    Se em um passo anterior uma restrição tiver sido quebrada, volte a etapa 1.	38
3.2.5.    Processo de Raciocínio	38
3.2.6.    Indicadores de Desempenho	40
<b>ESTUDO DE CASO</b>	<b>43</b>
4.1.    Metodologia	43
4.2.    Descrição da Unidade Marítima Avaliada	44
4.2.1.    Estrutura Organizacional da Manutenção na Unidade Marítima	44
4.2.2.    Planejamento e Programação da Manutenção na Unidade Marítima	47

4.2.3.	Sistemas de Gerenciamento da Manutenção da Unidade Marítima	49
4.3.	Determinação do Conjunto de Avaliadores	51
4.4.	Elaboração do instrumento de pesquisa	51
4.5.	Coleta de dados	54
4.6.	Avaliação e Análise dos dados	55
4.6.1.	Perfil dos Avaliadores	55
4.6.2.	Análise de Confiabilidade dos Dados	55
4.7.	Aplicação da Teoria das Restrições na Manutenção	56
4.7.1.	O que mudar?	56
4.7.2.	Para o que mudar?	61
4.7.2.1.	Diagrama de Dispersão de Nuvem	61
4.7.2.2.	Árvore da Realidade Futura	65
4.7.3.	Como mudar?	68
4.7.3.1.	Árvore de Pré-Requisitos (APR)	68
4.7.3.2.	Arvore de Transição (AT)	73
4.8.	Considerações do Estudo de Caso	81
CONSIDERAÇÕES FINAIS		88
5.1.	Aspectos Gerais	88
5.2.	Limitações da Dissertação	90
5.3.	Sugestões para Trabalhos futuros	90
REFERÊNCIAS		92
APENDICE A - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA UNIDADE MARÍTIMA		98
APÊNDICE B - FLUXOGRAMA DO PLANEJAMENTO E PROGRAMACAO DA MANUTENCAO		111
APÊNDICE C - INSTRUMENTO DE PESQUISA		113

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAMAN - Associação Brasileira de Manutenção

ANM – Árvores de Natal Molhadas

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

APR - Árvore de Pré-Requisitos

ARA - Árvore da Realidade Atual

ARF - Árvore de Realidade Futura

AT - Árvore de Transição

BSI – *British Standards Institute*

BSW – *Basic Sediment and Water*

CACI - Curso Avançado de Combate a Incêndio

CBM - *Conditioned Based Maintenance*

CBSP - Curso Básico de Segurança de Plataformas

CCR - *Capacity Constraints Resources*

CESS - Curso de Embarcação de Sobrevivência e Salvamento

CLP - Controlador Lógico Programável

CMMS - *Computerized Maintenance Management Systems*

COMAN - Coordenador de Manutenção

COPROD – Coordenador de Produção

CQT - Controle de Qualidade Total

DDN - Diagrama de Dispersão de Nuvem

ECE - Efeito-Causa-Efeito

ED - Efeito Desejável

EI - Efeitos indesejáveis

ERP – *Enterprise Resource Planning*

FPSO - *Floating, Production, Storage and Offloading*

FTA - *Fault tree analysis*

GEPLAT – Gerente de Plataforma

IHM - Interface Homem-Máquina

JIT - *Just in Time*

MTBF - *Mean time between failures*

MBQ - *Minimum Batch Quantity*

MBR – Manutenção Baseada no Risco

MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade

MCI – Motocompressor de Injeção

MPT – Manutenção Produtiva Total

MRP - Manufacturing Resource Planning

N.A. - Não Avaliado

NPSH - *Net Positive Suction Head*

NR – Norma Regulamentadora

OEE - *Overall Equipment Efficiency*

OI – Objetivo Intermediários

PLET – *Pipeline End Terminal*

PM - *Plant Maintenance*

PR - Processo de Raciocínio

RFID - Radio Frequency Identification

RH – Recursos Humanos

RRC – Recursos Restritivos de Capacidade

SDV – *Shutdown Valve*

SPIE - Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos

SPM - Sonda de Produção Marítima

SSL - *Station Stock Limitation*

SUEIN - Supervisor de Elétrica e Instrumentação

SUMEC - Supervisor de Mecânica

SUPROD - Supervisor de Produção

TEG - Trietileno glicol

TI – *Temperature Indicator*

TOC – *Theory of Constraints*

TPC - Tambor-Pulmão-Corda

TPM - *Total Productive Maintenance*

UD - Unidade de Dessalinização

UM - Unidade Marítima

UPS - *Uninterruptible Power Supply*

## LISTA DE QUADROS

Quadro 3. 1– Representação esquemática do gerenciamento das restrições _____	33
Quadro 3.2- As ferramentas do Processo de Raciocínio. _____	40
Quadro 4.1 – Lista de restrições a serem priorizadas _____	53
Quadro 4.2 - Resultado da Análise dos itens de avaliação de perfil _____	55
Quadro 4.3 - Classificação dos efeitos indesejáveis _____	57
Quadro 4.4 - Lista de Treinamentos de Requisitos Legais _____	64
Quadro 4.5 - Lista de Efeitos Indesejáveis _____	66
Quadro 4.6 – 5W1H _____	78
Quadro 4.7 – 5W1H das ações das Árvores de Transição _____	79
Quadro 4.8 – Matriz de treinamento básica da UM _____	87

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Tipos de Manutenção	10
Figura 3.1 – Representação esquemática do gerenciamento das restrições	31
Figura 3.2 - Relação entre a taxa de vendas e os indicadores globais	41
Figura 3.3 - Relação entre as Despesas operacionais e os indicadores globais	42
Figura 3.4 - Relação entre os estoques e os indicadores globais	42
Figura 4.3 - Organograma da Unidade Marítima	47
Figura 4.3. - Árvore de Realidade Atual da Manutenção da UM	59
Figura 4.3. - Árvore de Realidade Atual da Manutenção da UM formatada	60
Figura 4.4 Diagrama de Dispersão de Nuvem	62
Figura 4.5 - Aplicação do Diagrama de Dispersão de Nuvem	63
Figura 4.6 - Arvore de Realidade Futura	67
Figura 4.7 - APR da Injeção Substituir Equipamentos Obsoletos	70
Figura 4.8 – APR da Injeção Estabelecer Matriz de treinamentos para a área de manutenção da UM	72
Figura 4.9 - Arvore de Transição da APR da Injeção Substituir Equipamentos Obsoletos	75
Figura 4.10 - Arvore de Transição da APR da Injeção Estabelecer Matriz de treinamentos para a área de manutenção da U.M.	77

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

As organizações buscam ser cada vez mais competitivas, não somente pela necessidade de buscar novos clientes, mas também pela necessidade de manter suas fatias de mercado.

Com a globalização dos mercados a concorrência tornou-se mais acirrada, exigindo das empresas um desempenho de classe mundial, o qual deve ser dedicado a atender o cliente. Em decorrência, as grandes companhias tiveram que adequar sua qualidade à altura dos novos e exigentes padrões mundiais (WYREBSKI, 1997).

Segundo Lustosa et al. (2008), a melhoria contínua de desempenho das organizações nos indicadores de produtividade, qualidade e flexibilidade é a forma que as empresas têm encontrado para se manter competitivas. Corrêa e Giansesi (2009) afirmam que fazer produtos melhores que o concorrente é a melhor garantia de sucesso a longo prazo.

Slack, Chambers e Johnston (2002) listam cinco objetivos de desempenho básicos, que se aplicam a todos os tipos de operações produtivas: qualidade, custos, tempo, confiabilidade e flexibilidade.

A função manutenção possui uma significativa importância no atendimento dos objetivos de desempenho, sendo uma atividade interna de

apoio à função manufatura, podendo influenciar diretamente ou indiretamente todos eles.

Durante anos a manutenção foi considerada um “mal necessário”, pois o entendimento era que este serviço não agregava valor aos produtos, apenas custo. Com a maior competição entre empresas de locais e até países diferentes, com diferentes níveis sócio-econômicos e culturais, e que manter os equipamentos de forma adequada é um dos pilares para, por exemplo, conseguir melhor qualidade dos produtos e produtividade da empresa, a história da manutenção dentro das empresas toma um novo rumo.

Em 2007, a ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis publica a Resolução Nº 43 instituindo o Regime de Segurança Operacional para as Instalações de Perfuração e Produção de Petróleo e Gás Natural visando a segurança operacional. As empresas tiveram dois anos para adequar suas instalações de perfuração e produção cobertas pelo regime ao regulamento técnico da Resolução (ANP, 2007).

O regulamento técnico da ANP trouxe uma mudança na maneira que as empresas que operaram no Brasil encaravam a manutenção de suas instalações de perfuração e produção, pois nele existem 17 práticas de gestão, todas direta ou indiretamente relacionadas à atividade de manutenção, elas são (ANP, 2007):

1. Cultura de Segurança, Compromisso e Responsabilidade Gerencial;
2. Envolvimento do Pessoal;
3. Qualificação, Treinamento e Desempenho do Pessoal;
4. Ambiente de Trabalho e Fatores Humanos;
5. Seleção, Controle e Gerenciamento de Contratadas;
6. Monitoramento e Melhoria Contínua do Desempenho;
7. Auditorias;
8. Gestão da Informação e da Documentação; e
9. Investigação de Incidentes.
10. Projeto, Construção, Instalação e Desativação;

- 11.Elementos Críticos de Segurança Operacional;
- 12.Identificação e Análise de Riscos;
- 13.Integridade Mecânica; e
- 14.Planejamento e Gerenciamento de Grandes Emergências.
- 15.Procedimentos Operacionais;
- 16.Gerenciamento de Mudanças; e
- 17.Práticas de Trabalho Seguro

Em agosto de 2010 a ANP interditou a P-33, plataforma do tipo FPSO (*Floating, Production, Storage and Offloading*) pertencente a operadora Petrobras, após auditoria nas práticas de gestão e registro de não conformidades. Depois disto mais 10 plataformas foram interditadas pelo mesmo motivo. Somente em 2012 foram identificadas 682 ítems de não conformidade de segurança operacional e aplicados R\$ 52 milhões em multas (ORDOÑES, 2011).

A manutenção ser um dos pilares para garantia da continuidade operacional e da segurança das pessoas e instalações não pode mais ser questionada.

A indústria petrolífera *upstream*<sup>1</sup>, principalmente quando as unidades de produção estão em ambiente *offshore*<sup>2</sup>, possui uma série de particularidades que impõem dificuldades a área de manutenção.

Estas dificuldades vão deste o espaço disponível para movimentação das pessoas e cargas até a logística complicada, com cargas sendo transportadas por barcos e helicópteros, além dos custos da perda de produção ser superiores ao custo do reparo e na maioria das vezes dos equipamentos.

Neste ambiente, a identificação da restrição ou restrições sejam elas físicas ou políticas, traz um grande retorno financeiro e aumento de segurança para as pessoas e meio-ambiente, fazendo da Teoria das Restrições uma filosofia a ser testada neste ambiente.

---

<sup>1</sup> Indústria de produção de petróleo bruto

<sup>2</sup> Indústria de produção de petróleo no mar

## 1.1 Objetivos

O objetivo principal desse trabalho é verificar se é possível e viável a aplicação dos conceitos da Teoria das Restrições na atividade de manutenção de uma unidade marítima de produção na indústria petrolífera upstream.

Focando no objetivo principal podemos observar que ele deriva-se nos seguintes objetivos específicos:

- Identificar e analisar os problemas mais comuns no setor manutenção na indústria petrolífera upstream;
- Verificar a aplicabilidade da Teoria das Restrições ao ambiente da indústria petrolífera upstream;
- Propor ações de correção para os problemas e restrições encontrados após a aplicação da Teoria das Restrições - Ferramentas do Processo de Raciocínio.

## 1.2 Justificativas

O aumento da competição leva a necessidade de processos com cada vez mais confiabilidade, qualidade e segurança e neste contexto os serviços de manutenção não devem ser menosprezados. A Associação Brasileira de Manutenção – ABRAMAN realiza pesquisa bianual e divulga os indicadores de desempenho da Manutenção nos principais setores de produtos e serviços que movimentam a economia brasileira, e na pesquisa do ano de 2007 que a relação entre o custo total da manutenção pelo faturamento bruto anual das empresas foi de aproximadamente 4% (NEI, 2010).

A principal empresa petrolífera brasileira teve um faturamento bruto de US\$91,8 bilhões em 2009, utilizando apenas 4% do faturamento bruto dessa empresa é possível estimar em US\$3,7 bilhões os custos com a manutenção. A expectativa de crescimento promovido pelas descobertas no litoral brasileiro na área geológica denominada pré-sal, elevaram estes números.

Em 2010, um acidente com um poço de petróleo do Golfo do México, durante o processo de perfuração levou a um grande desastre ambiental e a morte de 11 operários. Foi colocado sob vigilância tanto o projeto dos equipamentos utilizados quanto os procedimentos de manutenção da empresa

responsável. Neste mesmo ano, no Brasil, a ANP interditou 11 plataformas devido a problemas de manutenção e segurança.

A combinação de manter os equipamentos operando com confiabilidade, qualidade e segurança das pessoas e meio ambiente ao menor custo impõe um grande desafio a área de manutenção, devido a logística e condições de trabalho. A Teoria das Restrições pode ser uma aliada no alcance dos objetivos da atividade de manutenção.

Na literatura foram encontradas diversas aplicações da TOC e suas ferramentas do processo de raciocínio mas nenhuma na área de manutenção.

Considerando a importância do tema exposto e visando contribuir para amenizar o problema em questão, o procedimento proposto nesse trabalho para utilizar a TOC no planejamento e controle da manutenção, almeja contribuir com a melhoria dos processos e seus resultados para o negócio.

### **1.3 Estruturação do Trabalho**

Esse trabalho é composto por seis capítulos divididos em:

No presente capítulo é descrito o trabalho de forma sucinta, com seus objetivos, justificativa e estrutura.

O referencial teórico sobre manutenção e a teoria das restrições no ponto de vista de diversos autores é mostrado nos Capítulos II e III respectivamente.

O capítulo IV apresenta o estudo de caso da dissertação.

O Capítulo V apresenta as considerações finais do trabalho sendo seguido pelas referências e apêndices.

## **CAPÍTULO 2**

### **MANUTENÇÃO**

Neste capítulo são apresentadas algumas definições de Manutenção, sob a ótica de alguns autores, seus principais tipos e metodologias e uma visão sucinta do que é um Sistema de gerenciamento de manutenção e de planejamento e programação da manutenção.

#### **2.1. Definições**

Há uma enorme variedade de definições para o termo Manutenção, mas o ponto comum é a utilização dos termos Defeito, Falha e Função, que segundo a ABNT (1994) em sua norma NBR 5462 significam:

- Defeito: Qualquer desvio de uma característica de um item em relação aos seus requisitos.
- Falha: Término da capacidade de um item desempenhar a função requerida.
- Função requerida: Função ou combinação de funções de um item que são consideradas necessárias para prover um dado serviço.

A ABNT (1994) em sua norma NBR 5462 e Branco Filho (2008) indicam a manutenção como a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

Gusmão (2003) a conceitua como: “O conjunto de atividades direcionadas para garantir, ao menor custo possível, a máxima disponibilidade do equipamento para a produção, na sua máxima capacidade:

- Prevenindo a ocorrência de falhas, e
- Identificando e sanando as causas da performance deficiente dos equipamentos”.

Para Xenos (2004) a manutenção, em um sentido restrito, está ligada ao retorno de um equipamento às suas condições originais e em um sentido amplo, deve desenvolver a modificação das condições originais do equipamento através da introdução de melhorias para evitar a ocorrência ou reincidência de falhas, reduzir custos e aumentar a produtividade.

Autores como Slack, Chambers e Johnston (2002), por sua vez, observam que a “manutenção” é o termo usado para abordar a forma pela qual as organizações tentam evitar as falhas, cuidando das suas instalações físicas.

Kardec e Nascif (2001) não a definem, mas informam que a manutenção tem a missão de garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um programa de produção ou de serviço com preservação do meio ambiente, confiabilidade e custos adequados.

Para Corrêa e Corrêa (2009) as atividades relacionadas à prevenção de falhas ou ao estabelecimento de capacidades de recuperação após sua ocorrência são englobadas pelo termo manutenção. Eles afirmam que qualquer operação dependerá sempre, em maior ou menor grau, de recursos físicos, como máquinas, equipamentos e instalações em geral. Falhas nos recursos físicos podem resultar em conseqüências que vão de um simples desconforto a perdas financeiras, de imagem, de vidas humanas e mesmo ao comprometimento de um ecossistema.

## **2.2. Histórico da Manutenção**

Para Tavares (1999) a história da manutenção acompanha o desenvolvimento técnico-industrial da humanidade.

Com a primeira revolução industrial e as mudanças nos processos produtivos com o impacto da utilização das máquinas a vapor, emerge a função manutenção.

Viana (2002) informa que neste período o fabricante do maquinário treinava os “novos operários” a operar e manter o equipamento, ocupando estes o papel de operadores mantenedores; não havia uma equipe específica de manutenção.

Em 1911, Frederick Winslow Taylor publica a obra Princípios da Administração Científica onde divide as atividades de planejamento e execução em cargos distintos. Aplicados na manutenção geram as primeiras equipes de manutenção.

Em 1913, Henry Ford introduz o conceito da linha de montagem e em 1914 é iniciada a Primeira Guerra Mundial e segundo Tavares (1999), as fábricas passaram a estabelecer programas mínimos de produção e, em consequência, sentiram necessidade de criar equipes que pudessem efetuar reparos em máquinas operatrizes no menor tempo possível.

Durante a Segunda Guerra mundial, a diminuição da força de trabalho masculina impulsionou o aumento da mecanização e o aumento da complexidade das instalações industriais. O aumento da dependência das máquinas fez com que fosse dada mais atenção à disponibilidade e confiabilidade, em busca de maior produtividade.

Surge a idéia que as falhas dos equipamentos poderiam e deveriam ser evitadas, o que resultou no conceito de manutenção preventiva (KARDEC e NASCIF, 2001);

O termo “manutenção” aparece na indústria por volta do ano 1950 nos Estados Unidos da América (MONCHY, 1989). As demandas do pós-guerra aliado a implementação de novas tecnologias impõem novos desafios a indústria. A complexidade dos equipamentos aumenta, e também a necessidade de uma maior especialização do trabalho. Surgem equipes de especialistas para compor um setor de suporte que se chamou Engenharia de Manutenção, responsável por planejar e controlar a manutenção preventiva e analisar causas e efeitos das avarias, Tavares (1999).

Na década de 1960, o custo da manutenção em intervalos fixos fez aumentar os sistemas de planejamento e controle da manutenção.

A Engenharia de Manutenção passa a desenvolver critérios de predição ou previsão de falhas visando a otimização da atuação das equipes de execução de manutenção. Esses critérios são conhecidos como manutenção preditiva (TAVARES, 1999);

Na década de 1970, com difusão do conceito "*Just in Time*", onde a diminuição dos estoques em processo significava que pequenas pausas na produção poderiam paralisar a fábrica, reforça a necessidade de aplicação do conceito de manutenção preditiva. Segundo Alkaim (2003), o aparecimento de idéias com novas expectativas, pesquisas e técnicas foi possível uma mudança do ponto de vista gerencial com relação à gestão da manutenção. Dentre estas novas idéias duas foram fundamentais:

- a focalização na confiabilidade dos equipamentos, sua manutenibilidade e disponibilidade;
- a perseguição da quebra-zero, defeito-zero e acidente-zero.

É comum os autores estabelecerem marcos e fases para evolução de determinado tema, o mesmo ocorre com as funções manutenção e qualidade.

Kardec e Nascif (2001) dividem a evolução da manutenção em três fases:

- Primeira Geração (antes de 1940): Expectativa de conserto após a falha
- Segunda Geração (1940 a 1970): Expectativa de disponibilidade crescente e maior vida útil do equipamento.
- Terceira Geração (Após 1970): Expectativa de maior disponibilidade e confiabilidade, melhor benefício-custo, melhor qualidade dos produtos, preservação do meio ambiente.

### **2.3. Tipos de Manutenção**

Há vários tipos de manutenção, que para Kardec e Nascif (2001) e Viana (2002) são caracterizadas pela maneira como é feita a intervenção nos ativos.

Há uma grande quantidade de nomenclaturas para as maneiras de atuação da manutenção. Segundo Kardec e Nascif (2001), os diversos tipos de

manutenção podem ser também considerados como políticas de manutenção, desde que sua aplicação seja o resultado de uma definição gerencial ou política global da instalação, baseada em dados técnicos e econômicos.

As diversas nomenclaturas podem causar confusões no momento de caracterizar a manutenção praticada pela empresa. As nomenclaturas também podem ser denominadas estratégias de manutenção.

Xenos (2004), Kardec e Nascif (2001), Branco Filho (2008), Pereira (2009) citam a manutenção corretiva, a manutenção preventiva e a manutenção preditiva como tipos de manutenção.

Viana (2002), além dos três tipos anteriores, também cita a manutenção produtiva como um tipo de manutenção. Xenos (2004) apresenta a manutenção produtiva como um conjunto de tipos de manutenção, sendo mais uma “maneira de pensar”, ao invés de um tipo de manutenção e Kardec e Nascif (2001) afirmam que ela é uma ferramenta que permite a aplicação dos tipos principais: manutenção corretiva, manutenção preventiva e manutenção preditiva.

Xenos (2004) e Kardec e Nascif (2001) citam a Engenharia de Manutenção como um tipo de manutenção.

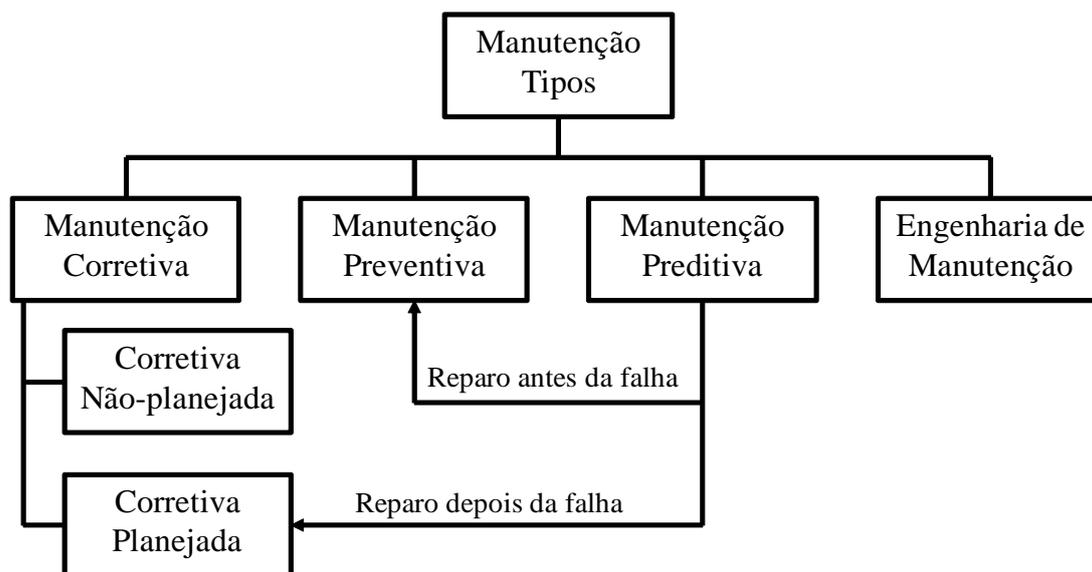


Figura 2.1 – Tipos de Manutenção

Os tipos de manutenção utilizados por uma organização influenciam diretamente a organização da manutenção, que é conceituada, atualmente, de forma mais ampla segundo Kardec e Nascif (2001):

- A organização da manutenção de qualquer empresa deve ser voltada para a gerência e solução dos problemas da produção, de modo que a empresa seja competitiva no mercado
- A manutenção é uma atividade estruturada da empresa, integrada às demais atividades, que fornece soluções buscando maximizar os resultados.

### **2.3.1. Manutenção Corretiva**

Realizada após a falha do equipamento, podendo ser Planejada, onde o serviço é realizado em função do acompanhamento da condição, ou pela decisão de operar até a quebra (*breakdown*) ou Não-Planejada, onde não há tempo para a preparação do serviço.

Segundo a ABNT (1994) em sua norma NBR 5462 é a efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida. Branco Filho (2008) segue a mesma linha e diz que é todo o trabalho de manutenção realizado em máquinas que estejam em falha, para reparar a falha. Kardec e Nascif (2001) complementa a definição afirmando que a intervenção pode ser não somente para reparar a falha mas também para corrigir o desempenho menor que o esperado.

Para Viana (2002) é a intervenção necessária imediatamente para evitar graves conseqüências aos instrumentos de produção, à segurança da força de trabalho ou ao meio ambiente e se configura em uma intervenção aleatória, sem definições anteriores. Ele chama atenção que a definição da ABNT (1994) omite o caráter planejado em tal tipificação.

Mobley, Higgins e Wikoff (2008) afirma que a diferença entre a manutenção corretiva não-planejada e a planejada está no ponto que as tarefas de manutenção são implementadas. Na manutenção corretiva não-programada, os reparos somente ocorrem após as máquinas falharem em desempenhar sua função e para a manutenção corretiva programada as tarefas são programadas para corrigir um problema específico que tenha sido identificado nos sistemas da planta.

Sobre a manutenção corretiva não-planejada, Mobley, Higgins e Wikoff (2008) alerta que este tipo de manutenção é ineficiente e extremamente cara, pois o planejamento da execução é pobre e o reparo é incompleto. O tempo é uma restrição imposta pela gestão da produção ou da planta e como resultado a utilização de pessoal e de recursos de manutenção não é maximizada, fazendo com que tipicamente os custos sejam de três a quatro vezes maiores que quando o reparo é planejado. Como o foco é retornar as máquinas e os sistemas ao serviço, tão logo as máquinas retornem ao nível aceitável de serviço, a manutenção é julgada como efetiva. Ela se concentra no reparo do sintoma óbvio e não na causa raiz. A diminuição da confiabilidade e o aumento da frequência dos reparos irão afetar negativamente os custos.

### **2.3.2. Manutenção Preventiva**

Segundo Pereira (2009) a manutenção preditiva aparece por volta de 1930, na indústria aeronáutica, ou de aviação. Surgiu da necessidade de conseguir maior disponibilidade e, principalmente, de confiabilidade dos ativos empresariais.

Segundo a ABNT (1994) em sua norma NBR 5462 é 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.

Viana (2002) classifica como manutenção preventiva todo serviço de manutenção realizada em máquinas que não estejam em falha, estando com isto em condições operacionais ou em estado de zero defeito.

Para Mobley, Higgins e Wikoff (2008) a Manutenção Preventiva possui múltiplos significados. Na interpretação literal do termo é aplicado para eliminação ou prevenção das tarefas de manutenção corretiva. Um programa de manutenção preventiva abrangente irá avaliar regularmente os equipamentos críticos, máquinas e sistemas para detectar potenciais problemas e imediatamente programar tarefas de manutenção que irão prevenir a degradação das condições de operação.

Segundo Arato Junior (2004) neste tipo de manutenção aplica-se critérios estatísticos, recomendações do fabricante e conhecimentos práticos sobre o equipamento ou sistema, é estabelecido um programa de inspeções e intervenções com intervalos fixos. Ele coloca como vantagem que as operações de paradas são pré-definidas, permitindo um gerenciamento adequado da produção e como desvantagens:

- a) O custo de produção se eleva, pois ele passa a englobar as perdas devidas às paradas;
- b) A desmontagem, mesmo parcial, de um equipamento incita a substituição de peças, seja por quebras ou pela síndrome da precaução;
- c) A prática das operações de desmontagem/montagem aumenta o risco de introdução de novas avarias.

Para Xenos (2004), a manutenção preventiva envolve algumas tarefas sistemáticas, tais como as inspeções, reformas e trocas de peças, principalmente. Já Mobley, Higgins e Wikoff (2008) afirma que em algumas plantas, a manutenção preventiva é limitada pela lubrificação periódica, ajustes e outras tarefas de manutenção dirigidas pelo tempo, o que não os torna programas de manutenção preventiva. Um programa de manutenção abrangente incluirá manutenção preditiva, tarefas direcionadas pelo tempo, e manutenção corretiva planejada para fornecer um amplo suporte aos sistemas de produção ou manufatura.

### **2.3.3. Manutenção Preditiva**

Na opinião de Viana (2002) são tarefas de manutenção preventiva que visam acompanhar a máquina ou peça, por monitoramento, por medições ou por controle estatístico e tentam prever a proximidade da ocorrência da falha.

Arato Junior (2004) a chama de manutenção condicional e afirma que ela é um tipo de manutenção preventiva em que as intervenções estão condicionadas a alguns tipos de informação reveladora do estado de degradação do sistema ou equipamento.

Para Branco Filho (2008), a manutenção preditiva é todo o trabalho de acompanhamento e monitoração das condições da máquina, de seus parâmetros operacionais e sua eventual degradação.

Tavares (1999) contribui para o assunto com a informação que ela também pode ser chamada de Manutenção Previsiva ou Controle Preditivo da Manutenção e afirma que em seu entendimento ela é a determinação do ponto ótimo para execução da manutenção preventiva em um equipamento, ou seja, o ponto a partir do qual a probabilidade do equipamento falhar assume valores indesejáveis.

Mobley, Higgins e Wikoff (2008) afirma que ela é uma técnica de gerenciamento que, simplesmente, utiliza avaliações regulares das condições operacionais atuais dos equipamentos da planta, sistemas de produção, e funções do gerenciamento da planta para otimizar toda a operação da planta.

Definida por Kardec e Nascif (2001) como a atuação realizada com base em modificação de parâmetro de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática.

Para Kardec, Nascif e Baroni (2002) a definição mais adequada para manutenção preditiva é qualquer atividade de monitoramento que seja capaz de fornecer dados suficientes para uma análise de tendências, emissão de diagnóstico e tomada de decisão.

Sobre tomada de decisão, Mobley, Higgins e Wikoff (2008) complementam o assunto afirmando que a saída de um programa de manutenção preditiva são dados e até que uma ação seja tomada para resolver os desvios ou problemas revelados pelo programa, o desempenho da planta não será melhorado.

Kardec e Nascif (2001) afirmam que quando o grau de degradação se aproxima ou atinge o limite previamente estabelecido, é tomada a decisão da intervenção.

O limite previamente estabelecido é chamado de Ponto Preditivo, e podem ser determinados de duas formas, em função das características dos equipamentos: Análise de Sintomas e Análise Estatística (TAVARES, 1999).

A ABNT (1994) em sua norma NBR 5462 introduz a manutenção corretiva na sua definição e diz que a Manutenção Preditiva permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

Mobley, Higgins e Wikoff (2008) afirmam que como ferramenta de gerenciamento da manutenção, a manutenção preditiva pode fornecer os dados necessários para programar as tarefas das manutenções preventivas e corretivas.

Kardec, Nascif e Baroni. (2002) afirma que a Manutenção Preditiva não é absoluta e nem todos os equipamentos requerem o mesmo tratamento. A escolha do tipo ou modalidade de manutenção a ser aplicada a este ou àquele equipamento é puramente gerencial.

Kardec e Nascif (2001) apresentam como condições básicas para se adotar a Manutenção Preditiva o seguinte:

- O equipamento, sistema ou instalação devem permitir algum tipo de monitoramento/medição;
- O equipamento, sistema ou instalação devem merecer esse tipo de ação, em função dos custos envolvidos.
- As falhas devem ser oriundas de causas que possam ser monitoradas e ter progressão acompanhada.
- Seja estabelecido um programa de acompanhamento, análise e diagnóstico, sistematizado.

Segundo Arato Junior (2004) a principal vantagem desse programa de manutenção é a diminuição do custo de produção devido às paradas periódicas

e a diminuição da probabilidade de introdução de novos defeitos nas operações sistemáticas de montagem e desmontagem.

Mobley, Higgins e Wikoff (2008) alertam que a Manutenção Preditiva não é uma panacéia para todos os fatores que limitam o desempenho total da planta. Ela não afeta diretamente o desempenho da planta.

#### **2.3.4. Engenharia de Manutenção**

A Engenharia de Manutenção é um tipo que também é conhecida por Manutenção por Melhorias ou Manutenção Melhorativa e está ligada diretamente a proposta ou implementação de ações para reduzir as manutenções ou eliminar causas raízes.

Para Xenos (2004) um importante método de manutenção é a melhoria que deve acontecer gradativamente e continuamente para além das especificações originais.

Kardec e Nascif (2001) alerta para necessidade de mudança cultural para sua operacionalização. O serviço centrado na busca das causas básicas, modificação de situações permanentes de mau desempenho, melhoria de padrões e sistemáticas, desenvolvimento da manutenibilidade, *feedback* ao projeto do produto, interferência técnica nas compras.

#### **2.4. Metodologias de Gerenciamento da Manutenção**

Há uma grande variedade de metodologias de gestão da manutenção a disposição das organizações, entre elas:

- CBM - *Conditioned Based Maintenance*
- MBR – Manutenção Baseada no Risco
- MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade
- MPT – Manutenção Produtiva Total
- OEE - *Overall Equipment Efficiency*

Alkaim (2003) afirma ainda haver mundialmente duas vertentes de metodologias de gerenciamento de manutenção que se sobressaem: a

Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) e a Manutenção Produtiva Total (MPT). Isto é corroborado pelo destaque dado por vários autores a estas duas metodologias, por exemplo:

MPT: Kardec e Nascif (2001), Xenos (2004), Tavares (1999), Fogliatto e Ribeiro (2009), Levitt (2009), Pereira (2009), Mobley, Higgins e Wikoff (2008), Viana (2002) e Verri (2007).

MCC: Kardec e Nascif (2001), Mobley, Higgins e Wikoff (2008), Fogliatto e Ribeiro (2009) e Levitt (2009).

#### **2.4.1. Manutenção Centrada em Confiabilidade - MCC**

Utilizando o conceito genérico de Scapin (1999) podemos definir a confiabilidade como sendo a probabilidade de um sistema ou de um produto executar sua função de maneira satisfatória, dentro de um intervalo de tempo e operando conforme certas condições. Para Fogliatto e Ribeiro (2009), em seu sentido mais amplo, ela está associada à operação bem-sucedida de um produto ou sistema, na ausência de quebras e falhas.

A Manutenção Centrada em Confiabilidade – MCC é um processo usado para determinar os requisitos de manutenção de qualquer item físico no seu contexto operacional (KARDEC e NASCIF, 2001).

Para Fogliatto e Ribeiro (2009) ela é um programa que reúne várias técnicas de engenharia para assegurar que os equipamentos de uma planta fabril continuarão realizando as funções especificadas.

Nunes (2001) define a MCC como um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer sempre o que seu usuário deseje que ele faça em seu presente contexto operacional.

Para Fogliatto e Ribeiro (2009) a MCC está baseada em alguns pilares próprios desse programa: (i) amplo envolvimento de engenheiros, operadores e técnicos de manutenção; (ii) ênfase no estudo das conseqüências das falhas, que direcionam todas as tarefas de manutenção; (iii) abrangência das análises,

que consideram questões associadas à segurança, meio ambiente, operação e custos; (iv) combate às falhas escondidas, que reduzem a confiabilidade do sistema.

Levitt (2009) afirma que uma MCC formal é um programa de 5 passos:

- 1) Identificar todas as funções do ativo;
- 2) Procurar por todos os meios que podem fazer o ativo perder funcionalidade, chamadas de falhas funcionais;
- 3) Rever cada perda de função e determinar todos os modos de falha que podem causar perdas;
- 4) Rever todos os modos de falha. As conseqüências para os modos de falha estão em 4 categorias: Problemas de segurança severo (S), Dano Ambiental (E), Operacional (O) e não-operacional (N).
- 5) Determinar uma tarefa que é tecnicamente possível e que poderá detectar a condição antes da falha ou caso contrário evitar as conseqüências.

Mobley, Higgins e Wikoff (2008) afirma que qualquer programa MCC deve garantir que sete perguntas sejam respondidas satisfatoriamente e na ordem mostrada abaixo:

- 1) Quais as funções e padrões de desempenho esperados para os ativos?
- 2) De que modo os equipamentos podem falhar em cumprir suas funções?
- 3) O que causa cada falha funcional?
- 4) O que acontece quando cada falha ocorre?
- 5) De que forma cada falha interessa?
- 6) O que pode ser feito para prevenir ou impedir cada falha?
- 7) O que deve ser feito quando não pode ser estabelecida uma atividade pró-ativa pertinente?

Sobre a última pergunta, Slack, Chambers e Johnston (2002) faz uma colocação interessante: se a manutenção não pode prever ou mesmo prevenir

falhas, e as falhas tem conseqüências importantes, então os esforços deveriam ser dirigidos a reduzir o impacto de tais falhas.

#### **2.4.2. Manutenção Produtiva Total - MPT**

A Manutenção Produtiva Total – MPT ou *Total Productive Maintenance* - TPM, surgiu na década de 70, dentro da indústria automobilística japonesa.

Para Kardec e Nascif (2001) na década de 70 do século XX, vários fatores econômico-sociais, imprimiram ao mercado exigências cada vez mais rigorosas, que obrigaram as empresas a serem cada vez mais competitivas para sobreviver.

Alkaim (2003) menciona que foi desenvolvida na Nippon Denso, a maior supridora da Toyota, como um elemento necessário do novo sistema de produção da Toyota que incorporava Controle de Qualidade Total (TQC), Just in Time (JIT) e Envolvimento dos Empregados (TEI).

Para Xenos (2004) a MPT pode ser entendida como a melhor aplicação dos diversos métodos de manutenção, visando otimizar os fatores econômicos da produção, garantindo a melhor utilização e maior produtividade dos equipamentos com o custo mais baixo.

Outra definição para MPT, é a utilizada por Slack, Chambers e Johnston (2002) que afirma que é a manutenção produtiva realizada por todos através de atividades de pequenos grupos.

Qualidade e MPT funcionam em conjunto. Para Slack, Chambers e Johnston (2002) a MPT adota alguns princípios de trabalho em equipe e autonomia, bem como uma abordagem de melhoria contínua para prevenir falhas e vê a manutenção como um assunto de toda a empresa, para qual todas as pessoas podem contribuir de alguma forma. É análogo à abordagem de Qualidade Total.

Como base nas citações anteriores, podemos afirmar que MPT é a forma de gerenciamento que enfatiza a importância das pessoas, a filosofia do “fazer” e da “melhoria contínua” e a importância do pessoal de manutenção e

produção trabalhar juntos. Maintenance 2000 (2003) afirma que na essência, a MPT procura reformular a organização e liberar seu potencial.

Para Fogliatto e Ribeiro (2009) a medida que a MPT incorpora uma visão mais abrangente, incluindo as preocupações com a qualidade e grande envolvimento dos operadores, o termo manutenção preventiva não era suficiente para representá-la. Assim surgiu o termo manutenção produtiva.

A MPT preocupa-se com o repensar, fundamental, dos processos de negócios para alcançar melhorias em custo, qualidade, velocidade, etc. (MAINTENANCE 2000, 2003). Ela encoraja mudanças radicais, como:

- Estruturas organizacionais com menos gerentes e times com autonomia;
- Forças de trabalho polivalentes;
- Simplificação dos processos.

Tavares (1999) afirma que a MPT tem com conceito básico a reformulação e a melhoria da estrutura empresarial a partir da reestruturação e melhoria das pessoas e dos equipamentos, com envolvimento de todos os níveis hierárquicos e a mudança de postura organizacional.

Para Mobley, Higgins e Wikoff (2008) seu objetivo é a melhoria contínua da disponibilidade e da prevenção das degradação dos equipamentos para atingir a máxima eficiência.

Há cinco metas, é o que afirma Slack, Chambers e Johnston (2002), que devem ser perseguidas para o estabelecimento da prática da MPT:

1. Melhorar a eficácia dos equipamentos – Verifica como as instalações estão contribuindo para a eficácia da produção por meio da análise de todas as perdas que ocorrem.
2. Realizar manutenção autônoma – Permitir que o pessoal que opera ou usa os equipamentos de produção assumam a responsabilidade por pelo menos algumas das tarefas da manutenção.
3. Planejar a manutenção – Ter uma abordagem elaborada para todas as atividades de manutenção.

4. Treinar todo o pessoal em habilidades relevantes de manutenção – A MPT coloca forte ênfase no treinamento adequado e contínuo.
5. Conseguir gerir os equipamentos logo no início – Busca evitar totalmente a manutenção. Compreende considerar as causas de falhas e a manutenibilidade dos equipamentos durante sua etapa de projeto, na manufatura e na instalação.

Levitt (2009) faz a ressalva que a MPT é mais apropriada para certas configurações de ativos, onde:

- As máquinas são pequenas;
- Poucas ferramentas são necessárias para executar o trabalho básico no equipamento;
- O conjunto de habilidades para a manutenção básica pode ser identificado, e não é muito grande;
- Não existir excessivos perigos para se trabalhar no equipamento;
- O grupo de operadores deverá ser estável (baixa rotatividade);
- Operadores são bem remunerados.

Verri (2007) exemplifica a indústria de processamento contínuo, que se caracteriza pelo grande porte dos equipamentos, operados em conjunto por um grupo muito pequeno de operadores, normalmente através de operações realizadas em salas de controle onde não se tem contato com os equipamentos, como um tipo onde a aplicação integral dos conceitos do MPT é complicada.

## **2.5. Planejamento e Programação da Manutenção**

Sobre o planejamento da manutenção, Belhot e Campos (1995) afirmam que numa empresa existe a necessidade de se fazer o planejamento da manutenção, visando a adoção de políticas de manutenção apropriadas para as operações de reparo, substituição e recondicionamento dos sistemas e componentes, e que esteja em conformidade com a estratégia de controle de recursos adotada pela empresa. Já Palmer (2006) afirma que as empresas precisam de um planejamento da manutenção porque as ajuda a aumentar o

tempo que os técnicos gastam diretamente no trabalho, reduz o tempo gasto pelos técnicos na busca de componentes e ferramentas, no recebimento de instruções ou em outras situações de atraso.

Para Wireman (2008), o objetivo do planejamento e da programação é otimizar qualquer recurso consumido nas atividades de manutenção de equipamentos, enquanto minimizam a interrupção das atividades existentes na programação de produção.

Segundo Gilbert e Finch (1985), o planejamento da manutenção, tipicamente, consiste no planejamento das tarefas de manutenções futuras e estas tarefas são limitadas às tarefas de manutenções preventivas.

O planejamento e programação não é exclusividade das atividades de manutenção preventiva, pois também é necessária nas tarefas de manutenções preditivas, manutenções corretivas planejadas, análise de quebras, paradas de produção para manutenção, gestão de estoque de sobressalentes, análise de acidentes e incidentes, gestão da mudança, etc.

Para Levitt (2009) existe certa confusão entre as funções do planejamento e da programação. Parte do problema é que as duas funções são frequentemente niveladas, particularmente nos trabalhos menores.

O planejamento foca nos trabalhos futuros e nos recursos necessários para sua execução, e na programação é definido quem irá executar e quando irá executar.

Há dois importantes atores no planejamento da manutenção: O plano de manutenção e o Programador de Manutenção.

Para Levitt (2009), no plano são listados todos os recursos necessários para a execução do trabalho. Belhot e Campos (1995) ressaltam que o plano de manutenção deve fornecer uma base racional para a formulação de um programa de manutenção preventiva e para o estabelecimento dos princípios de controle e acompanhamento da condição dos parâmetros, além de fornecer diretrizes para a manutenção corretiva.

Wireman (2008) resume que é o Planejador o responsável por fornecer o suporte logístico para a equipe de manutenção. Ele deve ter as seguintes qualificações:

- Habilidade de pensar no trabalho com tendo dois aspectos: um aspecto mecânico e outro abstrato (tempo, ferramentas, necessidade de espaço);
- Habilidade de se expressar verbalmente e por escrito;
- Bom relacionamento com os outros;
- Trabalhar com diferentes tipos de pessoas em todos os níveis da organização;
- Poder representar os interesses da organização em discussões com outras empresas;
- Ter conhecimento na área que será planejada;
- Ter respeito pelas áreas dos trabalhadores;
- Ter uma atitude positiva para com a empresa, supervisores e gerentes;
- Ter a habilidade de planejar o trabalho e prever problemas;
- Entendimento ou pode ser ensinado planejamento e programação;
- Conhecimento em informática;
- Algum treinamento em orçamentação;
- Entendimento dos pontos controversos do departamento do usuário;
- Entendimento de trabalho seguro e poder identificar perigos potenciais.

As atividades de planejamento e programação da manutenção podem ser executadas pelo mesmo profissional ou por profissionais diferentes.

## **2.6. Sistemas de Gerenciamento da Manutenção**

Uma simples tarefa de manutenção gera uma grande quantidade de dados que vão desde quando foi realizada até como foi realizada e estes dados deverão ser armazenados e irão compor o histórico do equipamento. O volume de dados gerados é proporcional a quantidade de equipamentos, complexidade destes e a maneira que a organização gerencia sua manutenção.

Alves e Falsarella (2009) alertam que o acesso a esses dados tem necessidade premente por rapidez, confiabilidade e facilidade.

Wireman (2008) afirma que o volume de dados gerado dificulta o gerenciamento da manutenção utilizando métodos manuais. Esta dificuldade faz com que seja natural que os Sistemas de Informação alcancem um papel de grande destaque nas atividades de Manutenção (ALVES E FALSARELLA, 2009).

O sistema utilizado para gerenciar os processos gerenciamento da manutenção são comumente referenciados como CMMS - *Computerized Maintenance Management Systems* (WIREMAN, 2008). No Brasil são chamados, simplesmente, de Sistema de Manutenção.

Os CMMS são ferramentas para as empresas rastrearem equipamentos e itens de estoque, detalhar quando e como as ordens de serviço deverão ser executadas nos ativos, associar todos os custos ligados ao trabalho, materiais e ferramentas. (TECHNOLOGY CONCEPTS GROUP, 2012 e LEVITT, 2009).

Tavares (1999) afirma que o objetivo de um sistema aplicado à manutenção é proporcionar informações que permitam obter aumento de rentabilidade da empresa, utilização mais eficiente das pessoas envolvidas e material disponível, melhoria no desempenho, confiabilidade dos equipamentos, segurança e meio ambiente.

Para Kardec e Nascif (2001), um CMMS permitirá entre outras coisas, identificar claramente:

- Que serviços serão feitos;
- Quando os serviços serão feitos;
- Que recursos serão necessários para a execução dos serviços;
- Quanto tempo será gasto em cada serviço;
- Qual será o custo de cada serviço, custo por unidade e custo global;
- Que materiais serão aplicados;
- Quais máquinas, dispositivos e ferramentas serão necessárias.

- Nivelamento de recursos – Mão-de-Obra
- Programação de máquinas operatrizes ou de elevação de carga;
- Registro para consolidação do histórico e alimentação de sistemas especialistas;
- Priorização adequada dos trabalhos.

Com apenas alguns itens a mais ou a menos, a lista acima também representa a opinião de outros autores como Levitt (2004) e Weir (2004).

Há no mercado centenas de CMMS, alguns específicos para determinado tipo de instalação ou filosofia de gerenciamento de manutenção e outros que são parte do ERP adquirido pela organização.

Os CMMS mais utilizados por organizações de grande porte são: R/3 PM fornecido pela SAP, Maximo fornecido pela IBM e o MP2 fornecido pela *Datastream*. (PLANT MAINTENANCE RESOURCE CENTER, 2012).

Em função da praticidade e ganho de produtividade, os fornecedores de CMMS disponibilizam versões capazes de serem utilizados em dispositivos portáteis como celulares ou *tablets*, sendo que a maior resistência encontrada para adesão refere-se a questão da resistência física destes dispositivos para quedas ou contato com produtos químicos e em alguns casos a questão de ser a prova de explosão, requisito para indústria de óleo e gás.

Bagadia e Kossik (2012) dividem os CMMS para dispositivos portáteis em três tipos:

- Os dispositivos móveis são os principais componentes da aplicação. Os dispositivos móveis podem ser Assistentes Móveis Digitais - PDA (*Personal Digital Assistants*), telefones celulares, *tablets* e laptops. Estes dispositivos ajudam técnicos carregar mais informações do que se no formato impresso, completar as ordens de serviço mais rapidamente e com precisão, e enviar as informações para o banco de dados mais rapidamente.
- Os aplicativos do software permitem que os gestores criem formulários eletrônicos, que transformam os dados-chave do CMMS em ordens de

serviço manipuláveis facilmente pelos técnicos em dispositivos móveis. O software integra-se com um CMMS existente, para os técnicos poderem extrair dados diretamente do banco de dados e atualizá-lo remotamente. O aplicativo também gerencia a sincronização automática de dados entre os dispositivos portáteis e o banco de dados do CMMS.

- Tecnologia de comunicação de dados, que inclui: acesso sem fio, tecnologia baseada na web, código de barras e RFID (*Radio Frequency Identification*). O acesso sem fio à rede permite que os técnicos com dispositivos móveis possam trocar informações com os CMMS de forma imediata. As tecnologias baseadas na WEB permitem o acesso aos CMMS de qualquer lugar do mundo, desde que o técnico possua uma identificação e senha de usuário válida, com o uso de códigos de barras e tecnologias RFID pode-se ampliar o leque de possibilidades com a tecnologia móvel, pois ao invés de digitar um número de equipamento em um dispositivo portátil, um técnico pode verificá-lo usando um leitor de código de barras, economizando tempo e aumentando a precisão.

## CAPÍTULO 3

### TEORIA DAS RESTRIÇÕES

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica sobre a história da Teoria das Restrições, definições e conceitos com o objetivo de fornecer embasamento teórico para o estudo de caso.

#### **3.1. Teoria das Restrições - História e Evolução**

Corrêa e Corrêa (2009) informam que alguns pesquisadores que trabalhavam em Israel, nos anos 60, começaram a constatar que a não consideração da questão dos recursos restritivos de capacidade de forma especial pode levar a conclusões equivocadas, e a partir desta conclusão, construíram uma lógica alternativa àquela vigente, de encarar a gestão de operações, principalmente no que se refere à gestão de capacidade produtiva e de fluxos processados por esta capacidade. Deste grupo de pesquisadores fazia parte o físico Eliyahu Goldratt, que acabou por ser o maior divulgador dos princípios de uma Metodologia conhecida como *Optimized Production Technique* – OPT.

Franco (1998) complementa com a informação que o OPT surgiu no final da década de 70, e se tratava basicamente de um Kanban automatizado. Eram pacotes computacionais, apresentados como verdadeiras caixas pretas, que calculavam para cada estação o lote de transferência chamado de Quantidade de Lote Mínimo (*Minimum Batch Quantity* – MBQ) e o lote de processo, Limite de Estoque da Estação (*Station Stock Limitation* – SSL).

Em 1980, o software foi modificado de maneira a ampliar sua aplicação em ambientes *job shop*<sup>3</sup> com o desenvolvimento do módulo HALT (COX III e SPENCER, 2002).

Sobre o HALT, Franco (1998) informa que através dele, toda vez que um pulmão se enchia, havia uma parada de produção de cada operação que alimentava caminhos onde mais que um pulmão estava cheio. Cox III e Spencer (2002) afirmam que o conceito HALT reduzia os estoques sem ameaçar as vendas.

Com a Utilização do conceito HALT, percebeu-se que poucos equipamentos e pessoas trabalhavam a 100% e podiam gerar excessos (estoques). A partir daí que Eliyahu Goldratt reconheceu a contradição entre balancear o fluxo e capacidade balanceada em um ambiente de flutuações estatísticas e de recursos dependentes.

Em 1984, Goldratt em parceria com Jeff Cox publicam o livro *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*, traduzido para o português como *A Meta*. Segundo Cox III e Spencer (2002) neste livro foi dedicado considerável atenção para a importância do gargalo e para os conflitos entre os indicadores de desempenho tradicionais de custos e a meta real de uma empresa de manufatura. O termo OPT (Tecnologia de Manufatura Otimizada) não aparece no livro e a metodologia de programação foi pouco enfatizada.

A medida que o algoritmo do OPT e os conceitos associados a TOC evoluíam foram lançados outros livros, entre eles:

- A Corrida pela vantagem competitiva (*The Race*) (GOLDRATT e FOX, 1994). Publicado pela primeira vez em 1986 explica a metodologia da Teoria das Restrições para a logística de produção, chamada de Tambor-Pulmão-Corda (TPC).
- A Síndrome do Palheiro: garimpando informações num oceano de dados (*The Haystack Syndrome*) (GOLDRATT, 1992-A). Publicado pela primeira

---

<sup>3</sup> Tipo de processo onde é produzido um elevado número de artigos diferentes, normalmente em pequenas quantidades e freqüentemente de acordo com determinadas especificações do cliente.

vez em 1990, apresenta a solução da teoria das restrições para os erros da contabilidade de custos e aprofunda os conceitos da metodologia TPC.

- *What is this thing called Theory of Constraints, and how should it be implemented?* (GOLDRATT, 1990). Apresenta os princípios básicos da TOC e os pilares da sua implementação. O autor faz muitas referências ao livro *A Meta* (GOLDRATT e COX, 2002), sendo pré-requisito para sua leitura.
- *Late night discussions on the Theory of Constraint* (GOLDRATT, 1992-B). É uma coletânea de 12 artigos publicados durante o ano de 1991 na revista *Industry Week*, onde os personagens do livro *A Meta* (GOLDRATT e COX, 2002), discutem vários problemas enfrentados atualmente pelas organizações. Não há tradução para o português destes artigos, mas o professor Thomas Corbertt, um dos principais tradutores das obras do Godratt, fez um resumo do que trata cada um dos artigos (CORBERTT NETO, 2010):
  1. Sistemas de Distribuição no Mercado.
  2. Fonte Única de Suprimento.
  3. Preços de Transferência entre Divisões de uma mesma Corporação.
  4. Automação - Bom Caminho?
  5. Técnicas Japonesas na Visão da TOC.
  6. TOC x TQM.
  7. Engenharia.
  8. Sincronização (Tambor-Pulmão-Corda).
  9. Segmentação Lógica de Mercado.
  10. Segmentação Lógica de Mercado.
  11. Os Desvios Comportamentais nas Empresas e suas Raízes.
  12. As Falácias da Contabilidade de Custos.

- Não é sorte: a aplicação dos processos de raciocínio da Teoria das Restrições (*It's not luck*) (GOLDRATT, 2004). Publicado pela primeira vez em 1994 é uma continuação do livro a Meta (GOLDRATT e COX, 2002), com os mesmos personagens mas desta vez o personagem principal compreende os processos de raciocínio da TOC.
- Corrente Crítica (*Critical Chain*) (GOLDRATT, 1998), publicado pela primeira vez em 1997, apresenta a aplicação da Teoria das Restrições no Gerenciamento de projetos e os possíveis ganhos em prazo, custo e garantia do escopo.
- Necessária, sim, mas não suficiente (*Necessary but not sufficient – A theory of constraints business novel*) (GOLDRATT; SCHRAGENHEIM e PTAK, 2007). Publicado pela primeira vez em 2000, no auge da chamada bolha da internet, onde o valor das ações das empresas chamadas pontocom e de alta tecnologia superou os das empresas de negócios tradicionais, ele chama atenção que somente o emprego de tecnologia não é suficiente para atingir resultados. A tecnologia é uma ferramenta no processo de mudança. O livro trata dos sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*), das limitações dos sistemas de planejamento e controle baseado no MRP (*Manufacturing Resource Planning*) e a integração entre o *Lean Production* com o TPC.

## **3.2. Definições e Conceitos da Teoria das Restrições**

### **3.2.1. A Teoria das Restrições**

Para Cox e Spencer (2002) a teoria das restrições é uma filosofia de administração que pode ser vista como três áreas diferentes, mas inter-relacionadas: Logística, indicadores de desempenho e pensamento lógico.

Segundo Corbett Neto (1997) ela é baseada no princípio de que existe uma causa comum para muitos efeitos, de que os fenômenos vistos são consequência de causas mais profundas, encara qualquer empresa como um sistema, isto é, um conjunto de elementos entre os quais há alguma relação de interdependência. Cada elemento depende de esforços conjuntos de todos os seus elementos.

Cox e Spencer (2002) chamam atenção para a confusão entre os termos: teoria das restrições, gerenciamento das restrições e OPT. Sendo o gerenciamento das restrições a prática de gerenciar recursos e organizações de acordo com os princípios da teoria das restrições.

A confusão entre a definição da TOC, seus princípios e aplicação pode advir da amplitude de sua aplicação. Para Gusmão (2004) nem todos os autores abordam a teoria de forma completa e sistematizada e mesmo Goldratt, o criador da teoria, não chegou a unificar todo o conhecimento desenvolvido em uma obra única.

Cox e Spencer (2002) esclarecem que a TOC consiste dos componentes apresentados na figura 2.1.

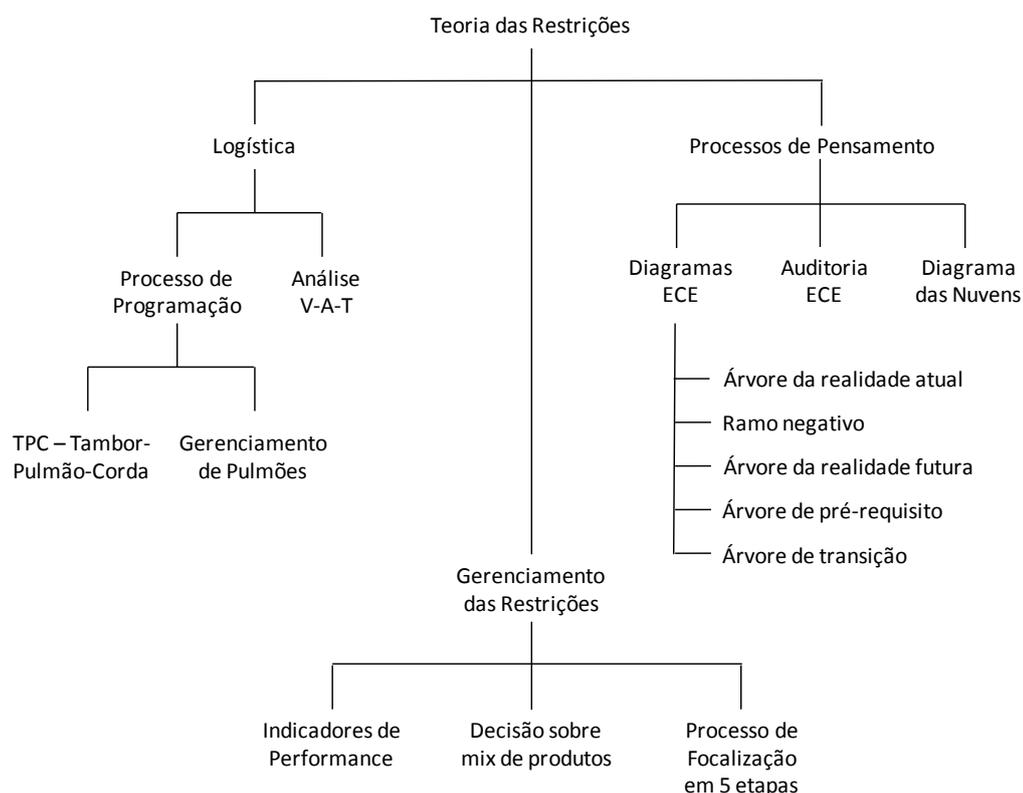


Figura 3.1 – Representação esquemática do gerenciamento das restrições

Fonte: Adaptado de Cox e Spencer (2002)

Os mesmos Cox e Spencer (2002) explicam que o ramo logístico engloba as metodologias de programação e controle de produção e estoques, como o sistema TPC: Tambor-Pulmão-Corda, as estruturas lógicas de análise V-A-T. O

segundo ramo da TOC trata do gerenciamento das restrições, englobando o processo de focalização em 5 etapas, dos indicadores de desempenho do sistema (ganho, estoque e despesas operacionais) e das aplicações de decisão de composto de produção e o terceiro ramo contempla o Processo de Pensamento que consistem em diagramas de Efeito-Causa-Efeito (ECE) e seus componentes, o processo de auditoria ECE, e a metodologia de “dispersão das nuvens”.

### **3.2.2. Restrições e Tipos de Recurso**

Uma definição simplista para restrição ou gargalo é que ela é tudo que limita, dificulta ou atrapalha uma organização atingir seu objetivo. Sendo que para Goldratt e Cox (2002) o principal objetivo de uma empresa é ganhar dinheiro.

Corrêa e Corrêa (2009) esclarecem que recurso é qualquer elemento necessário a produção de um produto, como pessoas, equipamentos, dispositivos, instrumentos de medição, ferramentas, espaço, etc. Isto também é válido para a produção de serviços.

Para Antunes et. al. (2008) os recursos gargalos se constituem de recursos cuja capacidade disponível é menor do que a capacidade necessária para atender às ordens demandadas pelo mercado no período de tempo, geralmente longo, considerado para análise.

Existem os Recursos Restritivos de Capacidade ou CCR, sigla de *Capacity Constraints Resources*. Antunes et. al. (2008) explicam que os CCR são os recursos que, em média, têm capacidade superior à necessária, mas que em função das variabilidades que ocorrem nos sistemas produtivos ou devido a variações significativas da demanda, podem conjuntamente apresentar restrições de capacidade.

Tanto os recursos gargalos quanto os Recursos Restritivos de Capacidade são restrições físicas, mas a diferença está que o primeiro é de cunho estrutural e o segundo é conjuntural. No Quadro 3.1 é apresentado as diferenças básicas entre os recursos.

Quadro 3. 1– Representação esquemática do gerenciamento das restrições

Fonte: Adaptado de Antunes (2008)

<b>Tipo de Recurso</b>	<b>Comportamento no cotidiano</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Necessidade de modificação de ativos?</b>
Gargalo	Tendência de não se modificar	Normalmente são poucos	Pode ser necessário investimentos em ativos.
Restritivos de Capacidade	Mudam ao longo do tempo	Podem variar de apenas um a muitos	Normalmente não. Necessita de gestão eficiente.

As restrições podem ser não-físicas, nestas estão as restrições de ordem gerencial e as de mercado.

Para Gusmão (1998), as restrições gerenciais aparecem nas empresas segundo uma determinada seqüência de eventos, que tende a se repetir como um círculo vicioso e é semelhante a apresentada abaixo:

1. Um problema aparece;
2. Uma política é criada para resolver o problema;
3. A situação muda, eliminando o problema original;
4. A política permanece e causa uma restrição de produção;
5. Como a mudança é emocionalmente difícil, a política é mantida e todos continuam atuando segundo ela.

Ele afirma que a resistência a mudança e inércia tornam-se a maior e mais duradoura restrição, impedindo o alcance do objetivo da organização.

Para restrição de mercado, Gusmão (1998) afirma que ela está associada a condição onde a demanda é menor que a capacidade produtiva da empresa. O mercado pode não aceitar o produto em função do momento que ele encontra-se em seu ciclo de vida econômico (introdução, crescimento, maturidade e declínio). O próprio Gusmão (1998) lista situações em que o mercado não aceita o produto, como: desconhecimento do produto, não

atendimento as exigências de preço ou qualidade, ou simplesmente falta de interesse.

### **3.2.3. TPC – Tambor – Pulmão - Corda**

O TPC é uma técnica genérica utilizada para gerenciar os recursos a fim de maximizar o ganho (COX e SPENCER, 2002).

Para Ferreira (2007), os sistemas de produção precisam de um ponto de controle, como forma de controlar o fluxo do produto no sistema. Se há um gargalo, então esse é o ponto a ser controlado. Na TOC o sistema de controle é o TPC.

O sistema TPC foi desenvolvido com o objetivo de promover um processo de subordinação e sincronização entre os diversos recursos constitutivos do sistema de produção (GUSMÃO, 1998).

Cox e Spencer (2002) afirmam que apesar dos elementos da metodologia TPC estar presente no livro *A Meta*, ela somente foi formulada e explicada no livro *A Corrida pela vantagem competitiva*.

Goldratt e Fox (1994) explicam a metodologia TPC pela analogia com a tropa de soldados em uma marcha forçada. Nesta analogia, a dispersão da tropa significa estoque alto e a reunião da tropa estoque menor, a tropa deverá ser organizada de forma os soldados mais lentos na frente e os mais rápidos atrás, ou seja, as máquinas mais carregadas (os gargalos ou RRC) deverão estar nas primeiras operações. Um tambor deverá ir à frente para marcar o ritmo para evitar espaços livres, ou seja, o gargalo que ditará o ritmo do sistema. O segundo passo consiste em passar uma corda pelas fileiras de soldados, a idéia é limitar a dispersão (estoque) ao comprimento da corda e garantir que todos os recursos não-gargalos sejam sincronizados de forma a manter o ritmo do trabalho.

Slack, Chambers e Johnston (2002) afirmam que o centro da produção, o gargalo, é o tambor, ditando o ritmo do restante da fábrica, Esse ritmo determina a programação de setores não gargalo, puxando o trabalho (a “corda”) de acordo com a capacidade do centro de trabalho gargalo, e não com

a capacidade do próprio centro de trabalho. Conseqüentemente, estoques de proteção (pulmão) deverão ser colocados antes do gargalo de modo a garantir que ele nunca pare por falta de trabalho.

### **3.2.4. Processo de Focalização em Cinco Etapas**

Para Cox e Spencer (2002) as cinco etapas de focalização permitem que os gerentes planejem o processo global de produção e que focalizem sua atenção nos recursos que criam o maior impacto.

Segundo Lustosa et al. (2008) as cinco etapas são fundamentais na implantação e manutenção de um sistema de produção estruturado com base na TOC.

Antunes et. al. (2008) afirmam que as cinco etapas da TOC visam alcançar a meta.

Goldratt e Cox (2002) listam as cinco etapas que são as seguintes:

1. Identificar a(s) restrição(ões) do sistema;
2. Decidir como explorar a(s) restrição(ões) do sistema;
3. Subordinar tudo mais à decisão anterior;
4. Elevar a(s) restrição(ões) do sistema;
5. Se em um passo anterior uma restrição tiver sido quebrada, volte a etapa 1.

#### **3.2.4.1. Identificar a(s) restrição(ões) do sistema**

A primeira etapa consiste em identificar a restrição no sistema que limita o ganho. (COX e SPENCER, 2002).

Quanto a demanda total de um dado mix de produtos ou serviços é maior do que a capacidade da organização, diz que há um gargalo de produção e capacidade da organização é igual a capacidade dos gargalos (ANTUNES et. al., 2008).

Cox e Spencer (2002) afirmam que se um sistema de produção não tivesse nenhuma restrição, a organização teria lucro ilimitado.

Antunes et. al. (2008) lembram que as restrições podem ser internas ou externas. Uma restrição externa é o mercado, que está presente quando a capacidade de produção é superior a demanda de produção. Outra restrição externa são os fornecedores que podem ter capacidade inferior à necessidade da empresa.

Cox e Spencer (2002) alertam que a identificação do gargalo dá certo trabalho e recomenda que se não possuir uma ferramenta ou sistemática de identificação de gargalos, o melhor método é dirigir-se a própria organização e fazer perguntas aos funcionários que conhecem o fluxo dos produtos e serviços através do processo de produção.

#### **3.2.4.2. Decidir como explorar a(s) restrição(ões) do sistema**

Esta etapa está associada a maximização do ganho no recursos gargalo e sua lógica baseia-se que o ritmo da produção é ditado pelo gargalo, portanto todo o ganho nele se refletirá em todo o processo.

Para Cox e Spencer (2002) a exploração da(s) restrição(ões) significa aproveitar a capacidade existente na restrição. Eles também afirmam que a capacidade no gargalo é freqüentemente desperdiçada na produção e venda de produtos errados ou por causa da utilização de regras e procedimentos inadequados para programar e controlar a restrição.

Noreen, Smith e Mackey (1996) listam algumas ações para maximizar o ganho no gargalo:

- Unidades defeituosas destinadas a sucata devem ser removidas do fluxo de trabalho antes de passarem pela restrição, e não depois;
- Força de trabalho pode ser acrescentada à restrição para assegurar que ela seja mantida em operação durante os intervalos normais de descanso e mudanças de turno;

- A restrição pode receber pessoal para ajudar a reduzir o tempo perdido devido a preparações (*setups*) e à manutenção de rotina feita depois do expediente normal.

As ações visam manter o fluxo de produção através da restrição, pois tanto Cox e Spencer (2002) quanto Noreen, Smith e Mackey (1996) alertam que a restrição deverá ser utilizada para produzir o que trará maior ganho, ou aproximar a organização de sua meta.

#### **3.2.4.3. Subordinar tudo mais à decisão anterior**

Segundo Cox e Spencer (2002) esta é uma etapa difícil de ser implementada, pois significa subordinar todas as outras atividades a restrição.

Para Antunes et. al. (2008) a lógica desta etapa consiste no interesse de reduzir ao máximo os investimentos e as despesas operacionais, e ao mesmo tempo garantir o ganho teórico máximo do sistema de produção, definir a partir da exploração do gargalo.

Segundo Noreen, Smith e Mackey (1996) a subordinação define o papel das operações não-restrição e seu propósito é proteger o conjunto de decisões relativas ao aproveitamento da restrição durante as operações diárias.

Antunes et. al. (2008) alertam que garantir o máximo ganho depende da redução da variabilidade do sistema, o que pode também ser conseguido pela correta gestão dos estoques.

#### **3.2.4.4. Elevar a(s) restrição(ões) do sistema;**

Segundo Antunes et. al. (2008) se a restrição for interna, a idéia é aumentar a capacidade de produção dos gargalos ou reduzir a demanda de tempos dos produtos.

Noreen, Smith e Mackey (1996) sugerem que para a elevação da restrição:

- Parte do trabalho que rotineiramente passaria pelo gargalo pode ser enviado para fábricas externas;
- Se o gargalo for uma máquina, outra pode ser adquirida.

Antunes et. al. (2008) complementam que se as restrições forem externas, são necessárias ações diretamente vinculadas ao aumento de demanda do mercado e/ou política de preços.

#### **3.2.4.5. Se em um passo anterior uma restrição tiver sido quebrada, volte a etapa 1.**

Segundo Noreen, Smith e Mackey (1996) se uma restrição for elevada, algo imediatamente tornar-se a restrição e para Antunes et. al. (2008) deve-se voltar a etapa 1 para deixar que a inércia tome conta do sistema.

Para Cox e Spencer (2002) a inércia não deve interromper o processo de melhoria contínua que é definida como um movimento em direção à meta da organização que é ganhar mais dinheiro hoje e no futuro.

Noreen, Smith e Mackey (1996) esclarecem que energia e atenção devem se concentrar em identificar e lidar efetivamente com a nova restrição que surgirá após o tratamento da última.

Antunes et. al. (2008) reforçam que na abordagem da TOC, as melhorias não devem ter fim, ou seja, a TOC visa um processo de mudanças contínuas, na busca permanente e sistemática da meta.

#### **3.2.5. Processo de Raciocínio**

Ao se apresentar os conceitos da teoria das restrições, principalmente quando se lista os cinco passos do processo de focalização, o que vem a mente são as restrições físicas, mais fáceis de visualizar, principalmente para quem lida com a produção de bens. Para Noreen, Smith e Mackey (1996) o aprimoramento constante da área de produção leva a eventualmente a um excesso na capacidade produtiva, sem qualquer aumento de lucro.

A falta de lucro advém do fato que nem sempre o mercado tem capacidade de absorver mais produtos, a restrição deixa de ser física para ser não-física.

Segundo Noreen, Smith e Mackey (1996) normalmente a nova restrição é uma restrição política em vez de uma restrição física. Eles explicam que as

políticas são, no geral, respostas a problemas que ocorreram há muito tempo e são quase sempre aceitas e seguidas sem pensar e podem ser não-escritas e apenas parte da tradição ou cultura da organização e podem ser difíceis de identificar e uma vez identificadas podem ser difíceis de elevar.

Cox e Spencer (2002) explicam que o Processo de Raciocínio (PR) são um conjunto de ferramentas para serem utilizadas individualmente ou ligadas logicamente, baseadas em um relacionamento causal.

Sobre aplicação, Cox e Spencer (2002) informam que as ferramentas são úteis na identificação do problema central em uma situação pessoal, organizacional ou de qualquer tipo, na determinação dos obstáculos para a implementação e de como suplantar esses obstáculos.

Noreen, Smith e Mackey (1996) informam que embora o PR possa ser usado para resolver restrições físicas e as devidas políticas, ele é especialmente valioso quando se trata das últimas.

Segundo Noreen, Smith e Mackey (1996) e Cox e Spencer (2002), o PR fornece as ferramentas as pessoas e os gerentes de produção a determinar as respostas de três perguntas:

- O que mudar?
- Para o que mudar?
- Como causar a mudança?

As ferramentas lógicas fornecidas por Goldratt (2004) são:

- Árvore da Realidade Atual (ARA);
- Diagrama de Dispersão de Nuvem (DDN);
- Árvore de Realidade Futura (ARF);
- Árvore de Pré-Requisitos (APR);
- Árvore de Transição (AT).

Noreen, Smith e Mackey (1996) descrevem que as ferramentas se ajustam da seguinte forma: “Uma análise completa se inicia com uma Lista de Efeitos Indesejáveis que o preparador gostaria de ver eliminada. A Árvore da

Realidade Atual é usada para identificar um ou mais problemas-kerne que são aparentemente a causa desses Efeitos Indesejáveis. O objetivo imediato, ou primeiro passo para a solução, é o oposto do problema-kerne. Se o objetivo parecer impossível, um Diagrama de Dispersão da Nuvem é usado para expor os pressupostos subjacentes que fazem com que ela pareça inatingível. Uma injeção é uma mudança que, uma vez posta em prática, modificará o ambiente de tal forma que os pressupostos na Nuvem perdem seu valor. A Árvore da Realidade Futura é usada para verificar se a injeção vai eliminar os Efeitos Indesejáveis originais sem criar mais problemas. A Árvore de Pré-Requisitos é usada na identificação de obstáculos para implementação da injeção. A Árvore da Transição é um plano detalhado para superar esses obstáculos”.

Noreen, Smith e Mackey (1996) resumem a relação entre as perguntas básicas e as ferramentas do PR na tabela 3.2.

Quadro 3.2- As ferramentas do Processo de Raciocínio.  
Fonte: Adaptado de Noreen, Smith e, Mackey (1996)

O que mudar?	Para o quê mudar?	Como mudar?
Árvore da Realidade Atual	Diagrama de Dispersão de Nuvem Árvore da Realidade Futura	Árvore de Pré-Requisitos Árvore de Transição

### 3.2.6. Indicadores de Desempenho

A teoria das restrições não abrange somente as restrições físicas e as não físicas, ela avança também sobre como a empresa vê sua geração de valor.

Segundo Cox e Spencer (2002) qualquer sistema de indicadores de desempenho deve relacionar o potencial do mercado e as oportunidades de incremento dos investimentos associados com os recursos que fornecem produtos e serviços para atender o potencial e as oportunidades.

Se o objetivo é ganhar mais dinheiro, agora e no futuro, no esquema de classificação de Goldratt só existem três maneiras de se fazer isto: aumentar o ganho, diminuir as despesas operacionais, ou diminuir o investimento no ativo. (NOREEN, SMITH e MACKEY, 1996)

Segundo Lustosa et al. (2008) é proposto por Goldratt três indicadores que influenciam na capacidade da organização ganhar dinheiro:

- Taxa de Vendas: Indica a capacidade de uma organização obter ganho através das vendas. É nas vendas que se “materializa” o ganho.
- Estoque: Identifica o dinheiro gasto com a compra e o armazenamento de itens, o qual tem de ser recuperado pela organização.
- Despesas Operacionais: Relaciona o dinheiro gasto pelo sistema de produção para que o mesmo transforme matéria-prima em produtos de fato vendidos.

Os indicadores listados acima são chamados de indicadores operacionais que possuem uma relação causal com os chamados indicadores globais: Lucro Líquido, Retorno sobre o Investimento e Fluxo de Caixa.

Segundo Lustosa et al. (2008) os indicadores globais, usados tradicionalmente para avaliar se uma organização está tendo ganho, se usados de forma isolada são insuficientes como medida para se avaliar a capacidade da organização cumprir sua meta, ou seja, eles devem ser usados de forma que haja articulação entre eles.

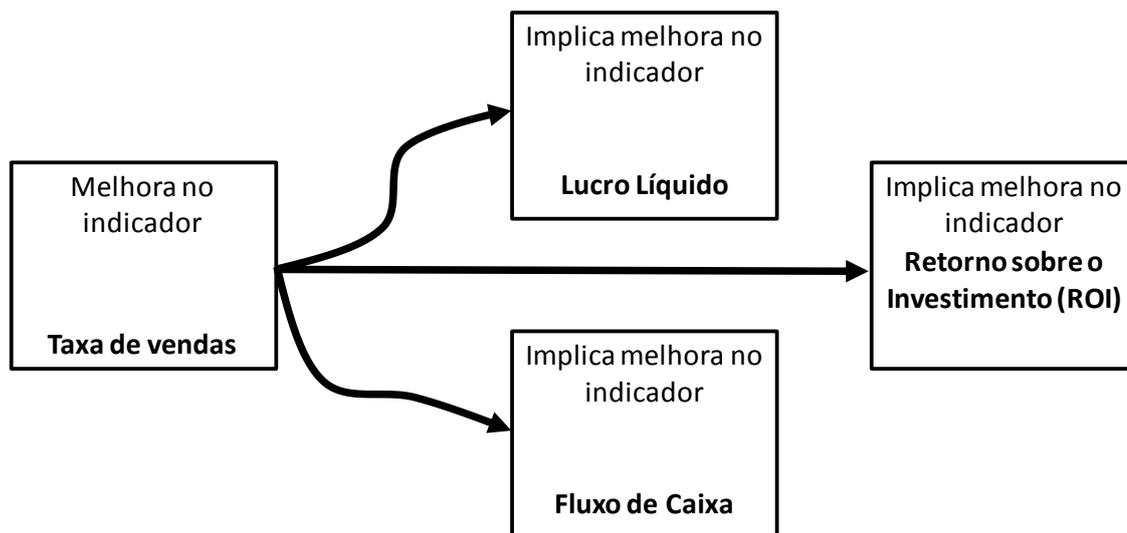


Figura 3.2 - Relação entre a taxa de vendas e os indicadores globais

Fonte: Adaptado de Lustosa et al. (2008)

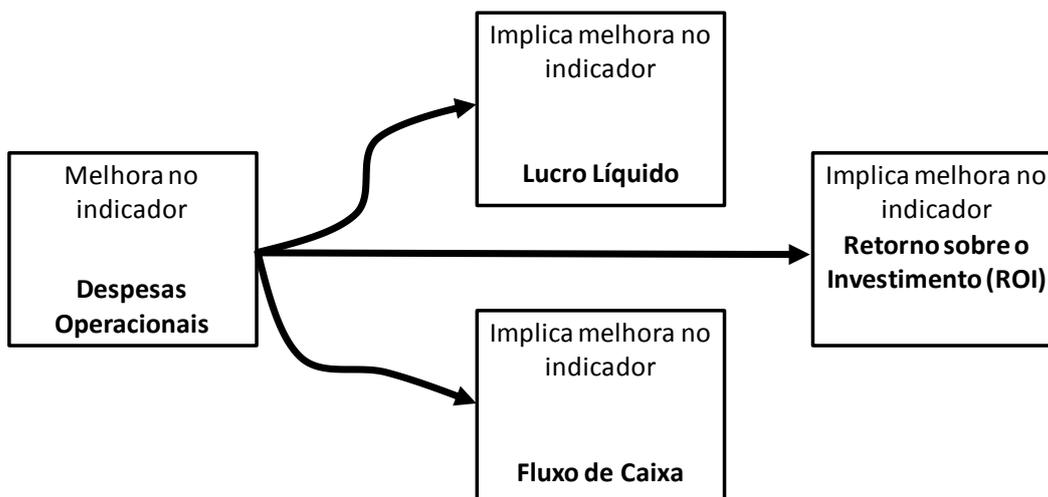


Figura 3.3 - Relação entre as Despesas operacionais e os indicadores globais

Fonte : adaptado de Lustosa et al. (2008)

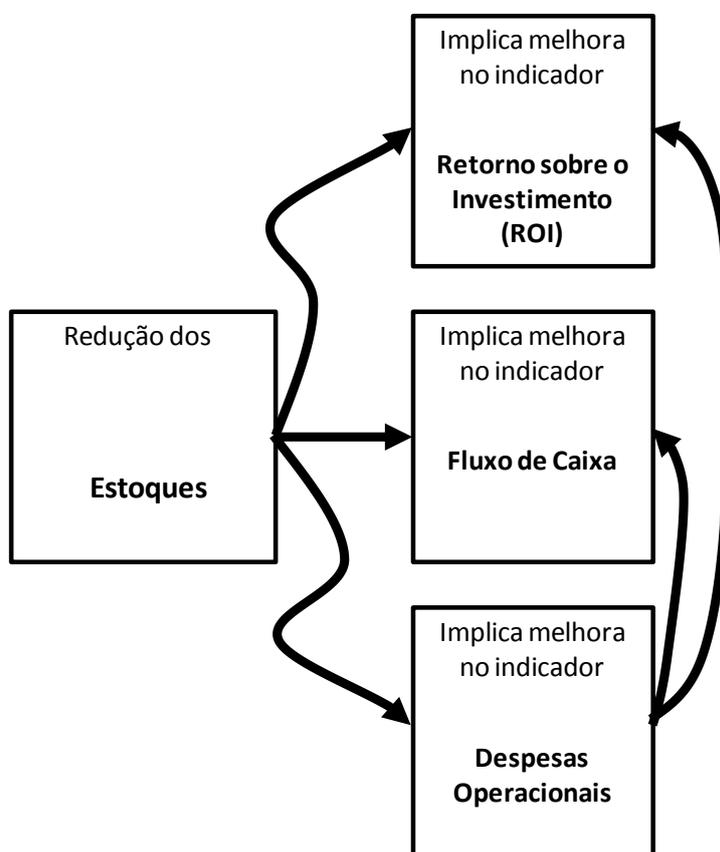


Figura 3.4 - Relação entre os estoques e os indicadores globais

Fonte: Adaptado de Lustosa et al. (2008)

## **CAPÍTULO 4**

### **ESTUDO DE CASO**

Neste capítulo é descrito a metodologia do trabalho e apresentado o estudo de caso de aplicação da teoria das restrições em uma Unidade Marítima de Produção de Óleo e Gás.

#### **4.1. Metodologia**

A metodologia utilizada neste trabalho será baseada em uma pesquisa descritiva e exploratória, um estudo de caso, a ser realizado em uma unidade marítima de produção de óleo e gás que opera no norte do Estado do Rio de Janeiro, com o objetivo de identificar as restrições na gestão da manutenção e daí propor ações para eliminá-las.

Para Malhotra (2006) uma pesquisa Descritiva é uma metodologia que procura quantificar os dados e, geralmente, aplica alguma forma de análise estatística. A sua coleta de dados é estruturada e seus resultados normalmente recomendam uma linha de ação final.

Segundo Gil (1991), a pesquisa exploratória visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico; entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; análise de exemplos que estimulem a compreensão. Assume, em geral, as formas de pesquisas bibliográficas e estudos de caso.

Para Yin (2001), o estudo de caso é uma forma de pesquisa empírica, que visa investigar fenômenos contemporâneos, considerando o contexto real do fenômeno estudado, geralmente quando as fronteiras entre o contexto e o fenômeno não estão bem definidas.

O estudo de caso segue as seguintes etapas:

- Descrição da Unidade Marítima avaliada;
- Determinação do conjunto de avaliadores;
- Elaboração do instrumento de pesquisa;
- Coleta de dados;
- Avaliação e Análise dos dados;
- Aplicação das Ferramentas do Processo de Raciocínio da TOC;
- Apresentação das conclusões.

#### **4.2. Descrição da Unidade Marítima Avaliada**

Para realização da pesquisa foi utilizada como objeto de estudo uma unidade marítima (UM) instalada ao norte da Bacia de Campos, a aproximadamente 80 km do Cabo de São Tomé.

A UM é uma plataforma de produção do tipo jaqueta (fixa) e foi lançada ao mar no ano de 1983, em lâmina d'água de 143,0 metros. A jaqueta inferior tem as dimensões de 83,03 x 58,66 metros e a superior 66,50 x 38,00 metros, totalizando um peso (massa) de 11.473 toneladas. Ela é habitada, possuindo 207 leitos e um heliponto.

##### **4.2.1. Estrutura Organizacional da Manutenção na Unidade Marítima**

A estrutura organizacional da manutenção da unidade marítima é definida de forma corporativa em função da complexidade de seu processo de produção e reflete o fato de ser uma unidade marítima com escala de revezamento de 14 dias de trabalho por 21 dias de descanso para a força de trabalho própria e 14 dias de trabalho por 14 dias de descanso para a força de trabalho terceirizada.

São responsáveis pela unidade marítima, três gerentes de plataforma, também chamados de GEPLAT, sendo um por escala de embarque e dois de

folga com 7 dias de coincidência de escala entre eles. Esta coincidência de escala visa uniformizar as ações e decisões.

Subordinados diretamente aos GEPLAT estão os Coordenadores de Produção, chamados de COPROD, e Coordenadores de Manutenção, chamados de COMAN. A UM possui três COPROD e três COMAN.

Subordinados aos COPROD estão cinco Supervisores de Produção, chamados de SUPROD, cada um responsável por um dos grupos de operadores de produção que operam e executam manutenções simples como limpezas, inspeções e reapertos chamadas de Primeiro Escalão.

Subordinados aos COMAN estão cinco Supervisores de Elétrica e Instrumentação, chamados de SUEIN, cinco Supervisores de Mecânica, chamados de SUMEC e um Programador de Manutenção, sendo que o último fica lotado em terra.

A equipe do SUEIM é responsável pela operação dos equipamentos elétricos dos sistemas de facilidades e pela manutenção dos equipamentos elétricos e de instrumentação e controle de toda a unidade marítima. Todos, inclusive o SEIM trabalham em turno de revezamento, sendo uma semana de 07h às 19h e uma semana de 19h às 07h.

A equipe do SUMEC é responsável pela operação dos equipamentos não-elétricos dos sistemas de facilidades e pela manutenção dos equipamentos mecânicos de toda a unidade marítima. Todos, inclusive o SUMEC trabalham em turno de revezamento, sendo uma semana de 07h às 19h e uma semana de 19h às 07h.

O programador de manutenção é responsável pelo cadastramento e manutenção dos planos de manutenção, bem como a emissão e encaminhamento das ordens de serviço de manutenção resultantes destes planos.

Cada GEPLAT possui um staff composto de Fiscal de Construção e Montagem, Supervisor de Turbomáquinas, Técnico de Inspeção e Planejador Integrado *Offshore*.

Há uma equipe responsável pelas modificações em sistemas e estruturas da unidade marítima, esta equipe possui uma estrutura organizacional própria que a bordo é representada por técnico de nível médio responsável pela fiscalização da execução dos serviços, o chamado Fiscal de Construção e Montagem.

Uma particularidade desta unidade marítima é que a operação e manutenção dos turbogeradores e dos turbocompressores foram terceirizadas possuindo a empresa terceirizada um supervisor a bordo que responde diretamente ao GEPLAT, o chamado Supervisor de Turbomáquinas.

O Técnico de Inspeção é responsável pela inspeção dos equipamentos categorizados pela Norma Regulamentadora 13 - Caldeiras e Vasos de Pressão devido a empresa proprietária da Unidade Marítima possuir o SPIE - Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos.

Cabe ao Planejador Integrado o controle da execução das tarefas e atualizar o Cronograma Integrado Físico e Financeiro Anual de Atividades da UM, assim como o recebimento a bordo de materiais, utilização de vagas, utilização de recursos críticos e equipamentos especiais e demais recursos necessários à execução dos projetos em andamento e priorizar, em conjunto com o COMAN e Técnico de Inspeção, a carteira de serviços de baixa complexidade da UM, para os quais não haja requisito de planejamento de recursos e qualificação durante a sua execução.

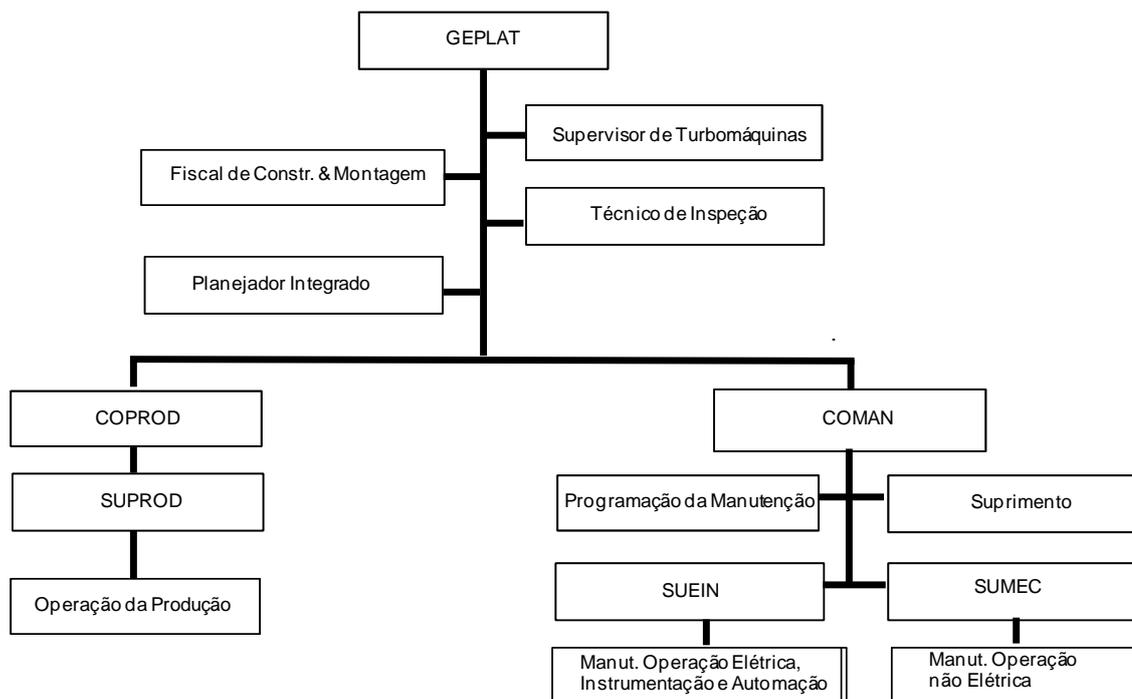


Figura 4.1 - Organograma da Unidade Marítima

#### 4.2.2. Planejamento e Programação da Manutenção na Unidade Marítima

A divisão entre planejamento e programação da manutenção na UM reflete a estruturação da área de manutenção pela empresa proprietária.

A manutenção dos equipamentos estáticos e dinâmicos e seus acessórios são responsabilidade de três equipes de manutenção, cada uma com sua estrutura de planejamento e programação:

- Equipe de Turbomáquinas - Responsável pela manutenção dos turbocompressores e Turbogeneradores e seus auxiliares. É executada por empresa contratada, que também é responsável pela operação dos equipamentos;
- Equipe de Construção e Montagem - Responsável pela manutenção de equipamentos estáticos, como vasos, tubulações e estruturas, cujas características do trabalho de manutenção faz com que se utilizem as práticas de gerenciamento de projeto para realizar a programação e controle das atividades;
- Equipe de Manutenção do setor de operação - Responsável pela manutenção das bombas, motores elétricos e a diesel, válvulas,

instrumentos de controle e monitoramento, guindastes, compressores de ar e sistema de monitoramento e controle da plataforma, composto por Controladores Lógico Programável (CLP) e Interface Homem-Máquina (IHM).

Serão detalhadas as atividades de planejamento e programação da manutenção realizada para a equipe de Equipe de Manutenção do setor de operação, pois por ser a equipe responsável pela maior quantidade de equipamentos e ser comum a todos as UM de produção de óleo e gás.

O planejamento é executado por profissional específico, que trabalha na base de operações em terra, enquanto a programação é feita pelos supervisores a bordo da UM. No Apêndice B é apresentado um fluxograma simplificado do planejamento e programação da manutenção.

Até 2008 os programadores trabalhavam embarcados e quase a totalidade das atividades, hoje desempenhadas pelos supervisores eram executadas pelos programadores de manutenção. Neste ano foram criadas as funções de supervisores, estabelecido que a manutenção iria trabalhar em 2 turnos de 12h e os programadores foram remanejados para o trabalho na base de operações.

A parte técnica do trabalho de programação da manutenção é executada pelo engenheiro de manutenção e não pelo programador, isto em parte é devido a dificuldade de alocar profissional experiente para a função, cabe ao programador de manutenção, basicamente, a operação do CMMS.

Outro ponto é que o levantamento dos insumos para a execução do trabalho é realizado após a emissão da Ordem de Manutenção para programação, ou seja, no plano de manutenção estes insumos não estão mapeados, entre eles: ferramentas, sobressalentes, andaimes, movimentação de grandes cargas e serviços a serem executados por terceiros, o que pode levar a uma baixa utilização da força de trabalho, caso estes recursos não estejam disponíveis para uma grande quantidade de trabalhos a serem executados em um determinado mês.

Além da impressão da ordem de manutenção para entrega para o mantenedor, o supervisor também é responsável pelo cadastramento manual

do serviço da ordem no software de permissão para execução do serviço, já que o CMMS (*Computerized Maintenance Management System*), não possui esta funcionalidade e nem comunicação com este software.

Existe orientação para que o cadastramento dos serviços no software de permissão de trabalho seja feito pelo programador de manutenção, e em algumas isto já é feito, mas nesta unidade em específico, o planejado é para que isto seja iniciado no segundo semestre de 2012. Para isto ocorrer, o plano de manutenção deve ser revisado e incluído informações sobre os pré-requisitos e insumos para o trabalho.

#### **4.2.3. Sistemas de Gerenciamento da Manutenção da Unidade Marítima**

A empresa proprietária da Unidade Marítima foi uma das primeiras empresas a utilizar um sistema informatizado para o planejamento, programação e controle da manutenção no Brasil, muitas vezes produzindo seus próprios programas de gestão da manutenção. A unidade marítima utilizava um destes programas criado dentro de uma das unidades de negócio da empresa.

O software próprio da empresa foi desenvolvido para ser utilizado em rede de computadores tipo PC (*Personal Computer*) e banco de dados cliente/servidor em ambiente MS-DOS, mas havia várias reclamações sobre a dificuldade de comunicação e integração com outros sistemas da empresa, como sistema de estoque e compras.

Em 2004 entrou em operação em toda a empresa o sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*) adquirido da empresa alemã SAP: O R/3 e em 2005 a unidade marítima e todas as outras instalações da empresa tiveram que abandonar os CMMS utilizados e adotar o módulo de gestão de recursos de manutenção do R/3: O *Plant Maintenance* - PM.

A empresa migrou as informações do CMMS antigo para o módulo PM, mas segundo os técnicos relatam, algumas informações de histórico dos equipamentos e informações das ordens de serviço foram perdidas.

O CMMS antigo ainda está disponível para consulta e é bem comum encontrar técnicos pesquisando nele informações que não foram encontradas no módulo de manutenção do ERP.

Com relação à treinamentos para utilização foi relatado que a empresa fez um grande esforço para treinar a força de trabalho na utilização dos módulos pertinentes ao módulo de manutenção, entre eles o próprio PM, e o módulo de Gestão de Materiais. Atualmente, não são realizados cursos presenciais com frequência, mas os usuários têm a sua disposição uma ampla biblioteca de passo a passo e suporte através de *help desk*.

Na programação de manutenção foi relatado o problema de não utilização do controle de capacidade do PM, fazendo com que sejam programadas com frequência uma quantidade de ordens de manutenção superiores a capacidade de execução da equipe de manutenção, como se a capacidade fosse infinita, gerando um grande *backlog*. Mensalmente os coordenadores de manutenção emitem relatórios para justificar a quantidade de homens-hora disponíveis no mês e onde eles foram empregados, pois a empresa adota indicadores de manutenção que avaliam o cumprimento do plano de manutenção e não de eficácia do plano de manutenção.

Sobre as ordens de serviço de manutenção ainda é necessário que sejam aprimoradas com informações que agilizem o processo de programação como ferramentas necessárias, recursos para trabalho em altura (andaimes), recursos de terceiros, e sobressalentes. Há uma queixa sobre a falta de integração da ordem de serviço com o módulo de materiais. A idéia básica é cadastrar os sobressalentes para o serviço na ordem de serviço e o próprio sistema verifique se estes estão disponíveis no estoque ou emitam solicitação de compra antes da emissão para programação pelos supervisores.

O retorno das informações das ordens de serviços é realizado pelos mantenedores quando estes são próprios ou pelos supervisores quando os mantenedores são contratados. Questionados sobre a possibilidade de fornecer acesso e treinamento para os mantenedores contratados fazerem o retorno das ordens de serviço verificou-se que não existe impedimento contratual, apenas uma determinação local.

Outro problema relatado é que o PM é responsável pela emissão das ordens de manutenção, mas esta não é válida como permissão para trabalho, ficando a cargo de outro software, este desenvolvido pela própria empresa. Como não existe comunicação entre o PM e o software de permissão de trabalho, o supervisor tem que preencher manualmente as informações para liberação do trabalho, aumentando o tempo de programação e não transferindo para o PM o histórico das recomendações de segurança para a atividade da ordem de serviço de manutenção.

A avaliação dos supervisores é que a maior dificuldade com o PM é a própria comparação com programa anterior, mas a vantagem de comunicação com outros módulos do ERP é inquestionável.

#### **4.3. Determinação do Conjunto de Avaliadores**

A escolha do conjunto de avaliadores foi feita de acordo com o objetivo da avaliação. A identificação das restrições na gestão da manutenção foi realizada segundo a percepção de cada membro da equipe de manutenção, medindo a importância de cada restrição listada.

Dentro da equipe de manutenção da organização, existem tipos diferentes de profissionais que podem ser estratificadas em características e atributos (faixa etária, nível educacional, habilitação, tempo de experiência, etc.).

O formulário foi respondido individualmente (por cada avaliador, ou seja, por meio de auto-preenchimento) com a presença do pesquisador para esclarecimento de dúvidas.

#### **4.4. Elaboração do instrumento de pesquisa**

Neste trabalho será realizada uma coleta estruturada de dados que apresenta questões em uma ordem pré-determinada. Segundo Malhotra (2006), o método mais utilizado de coleta de dados, o exame estruturado direto, inclui a aplicação de um questionário.

Para Mattar (2005), no instrumento de pesquisa as sentenças e/ou perguntas são apresentadas aos avaliadores e é onde são registradas as respostas. O questionário é uma das formas desses instrumentos.

Para a pesquisa, propõe-se um questionário estruturado em três blocos:

- Bloco I - composto de itens que visam estabelecer um perfil do profissional de manutenção, sendo o campo de maior interesse o tempo de experiência deste profissional na área
- Bloco II - composto de critérios o qual os avaliadores expressarão o grau de importância de cada uma das restrições listadas;
- Bloco III - Um item de resposta aberta é apresentado com o objetivo de captar outras restrições indicadas pelos avaliadores que não estão presentes no questionário.

No instrumento de pesquisa foi utilizada uma escala de julgamento contínua, também conhecida como escala gráfica. Os entrevistados classificam os objetos fazendo uma marca no local que julguem adequado em uma linha que vai de um extremo ou outro da variável critério (MALHOTRA, 2006)

No instrumento de pesquisa, as escalas apenas apresentarão conceitos nos dois extremos: nada importante e muito importante (para mensuração do grau de importância). Para cada critério de avaliação será inserida a opção de resposta “N.A. (Não Avaliado)”, a ser assinalada pelo entrevistado em função de algumas situações típicas, quando este: não se sentir capaz de avaliar, não desejar avaliar ou se determinado critério não fizer parte das restrições da manutenção da organização.

As restrições relevantes ao problema foram levantadas em reuniões, durante o período de embarque, com os supervisores e coordenadores de manutenção da unidade marítima e com os engenheiros e técnicos de manutenção da base de operações, no período de setembro a novembro.

O quadro 4.1. apresenta os 20 problemas que constituem a lista de problemas da manutenção que serão priorizadas após a pesquisa.

Quadro 4.1 – Lista de restrições a serem priorizadas

<b>Problemas</b>	<b>Descrição</b>
Grande quantidade de equipamentos Obsoletos	Equipamentos os quais os fabricantes não fornecem suporte técnico e os sobressalentes são fornecidos sob encomenda.
Falta de sobressalentes e materiais	Não há disponibilidade do sobressalente do material e/ou sobressalente e o equipamento fica fora de operação durante um longo período.
Baixa qualidade dos sobressalentes e materiais	Sobressalentes e/ou materiais cuja a qualidade na percepção dos mantenedores é baixa e implica em retrabalho.
Falhas no Planejamento dos trabalhos a serem executados	O planejador permite a emissão de uma ordem de manutenção sem que exista recurso de materiais, infra-estrutura ou pessoal para executá-la.
Falhas na Programação dos trabalhos a serem executados	Os supervisores, responsáveis pela programação, emitem a permissão de trabalho para a ordem planejada sem que exista recurso de materiais, infra-estrutura ou pessoal para executá-la.
Utilização inadequada do Programa de gerenciamento da manutenção.	A organização utiliza o módulo de manutenção de seu ERP ( <i>Enterprise Resource Planning</i> )
Alta ocorrência de manutenções Corretivas.	Uma grande quantidade de manutenções corretivas implica em menor emprego da força de trabalho em manutenções preventivas e preditivas.
Baixa ocorrência de manutenções Preventivas.	Quanto menor o número de manutenções preventivas maior o número de corretivas, pois o equipamento pode operar até a o momento da falhar ou queda de desempenho.
Baixa quantidade de manutenções Preditivas.	Quanto menor o número de preditivas maior o número de preventivas ou corretivas, e maior o emprego da força de trabalho e custo da atividade de manutenção.
Plano de manutenção Inadequado.	O plano de manutenção deve evoluir a medida que o equipamento envelhece ou as condições operacionais são alteradas. Se o plano não é atualizado periodicamente poderá implicar em maior quantidade de corretivas ou preventivas desnecessárias.
Falta de padrões para execução das tarefas.	A escala de revezamento 14 x 21 ou 14 x 14 impõem uma descontinuidade na execução de tarefas e uma despadronização. Quanto mais padronizada e com maior número de informações melhor será o planejamento, programação e execução das tarefas.
Falta de registro de histórico dos equipamentos e serviços realizados.	O registro do que foi executado e de como foi executado é importante para referência futura e ajustes do plano de manutenção.
Falta de treinamento da Força de Trabalho.	As atividades de manutenção de equipamentos complexos dependem de conhecimento sobre o equipamento. Quanto menor o treinamento maior o tempo de intervenção e maior a chance de retrabalho.

*(continua)*

*(continuação)*

Baixa produtividade da Força de Trabalho.	Quanto maior o número de atividades de manutenção para um determinado número de horas, melhor a produtividade da força de trabalho.
Falta de experiência prática da força de trabalho.	A experiência é importante para a execução do trabalho, principalmente quando necessário vários cuidados para a liberação do equipamento.
<i>Backlog</i> extenso.	Mensalmente são emitidas ordens de manutenção para serem executadas em um determinado mês. Aquelas não executadas vão para uma fila de espera denominado backlog e ficam à espera da liberação do equipamento ou pessoal disponível para executá-la.
Muito tempo consumido na preparação para os trabalhos de manutenção.	O tempo de preparação é o tempo gasto na separação de ferramentas, leitura de manuais e padrões do equipamento, movimentação de materiais. Quanto maior o tempo de preparação maior o tempo total da atividade de manutenção.
Muito tempo consumido na liberação do equipamento para iniciar o trabalho.	A liberação do equipamento normalmente é executada pela equipe de operação e inclui o desligamento do equipamento e a retirada de energias residuais (pressão, calor, etc) para permitir o trabalho.
Retrabalho ocasionado por não-conformidades na execução dos trabalhos de manutenção.	Retrabalho significa fazer novamente o trabalho de manutenção com consumo de tempo, materiais e/ou sobressalentes novamente.
Falta de discussão sobre a Estratégia para a área de manutenção da unidade	Quanto maior a participação da força de trabalho nas discussões sobre a gestão maiores as chances dos problemas serem conhecidos e "atacados".

#### 4.5. Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada entre os dias 26 de dezembro de 2011 e 06/02/2012 e abrangeu quatro das cinco equipes de manutenção da UM. Não foi possível distribuir os questionários para a quinta equipe devido as escalas de embarque não serem coincidentes com a do pesquisador.

Os questionários foram distribuídos durante as reuniões matinais para passagem de serviço do turno da noite para o turno do dia, em um total de 63 questionários. Foram respondidos na presença do pesquisador que retirou as dúvidas dos respondentes, todos retornaram preenchidos e considerados válidos para análise, e os dados tabulados em uma planilha eletrônica, com o objetivo de identificar as restrições mais relevantes para a força de trabalho da unidade marítima.

## 4.6. Avaliação e Análise dos dados

### 4.6.1. Perfil dos Avaliadores

Uma análise dos dados do instrumento de pesquisa referentes ao perfil dos avaliadores é possível observar que a média de idade é de 40 anos e 75% possui o ensino médio profissionalizante, requisito mínimo para atuar na atividade de mantenedor na organização avaliada.

Outra informação importante é o tempo de experiência dos avaliadores, onde 55,7% possui mais de 10 anos de experiência, mostrando que esta vivência na área pode levar à uma percepção das restrições da atividade.

Um dos avaliadores não respondeu sobre sua habilitação e outros dois avaliadores não registraram a sua experiência.

Quadro 4.2 - Resultado da Análise dos itens de avaliação de perfil

Escolaridade	Freq	%
Médio	47	74,6
Superior	14	22,2
Pós-graduação	2	3,2
<b>Soma</b>	63	100

Habilitação	Freq	%
Mecânica	20	32,3
Elétrica	11	17,7
Instrumentação	11	17,7
Operação	10	16,1
Liderança	10	16,1
<b>Soma</b>	62	100

Experiência	Freq	%
< 5 anos	8	13,1
5 ≥ Exp < 10	19	31,1
10 ≥ Exp < 20	10	16,4
20 anos ≥	24	39,3
<b>Soma</b>	61	100

### 4.6.2. Análise de Confiabilidade dos Dados

Para avaliar a confiabilidade dos dados foi utilizado o Statistica, programa de análises estatísticas. Os dados resultantes da pesquisa foram tabulados para aplicação da função *Reliability and Item Analysis* do programa.

Para Freitas e Rodrigues (2005) no desenvolvimento de questionários devem ser consideradas a validade e confiabilidade, sendo que Hora, Monteiro e Arica (2010) e Albernaz e Freitas (2010) utilizam o coeficiente alfa ( $\alpha$ ) de Cronbach para a análise de confiabilidade.

O alfa de Cronbach geral, quando todos os critérios foram considerados, foi de 0,95177 indicando uma confiabilidade alta para os dados.

#### **4.7. Aplicação da Teoria das Restrições na Manutenção**

Este trabalho utilizará as ferramentas do processo de raciocínio da TOC para melhorar o gerenciamento da manutenção de uma unidade marítima produção de petróleo.

O gestor da manutenção deverá planejar, organizar, verificar e corrigir os desvios, mas é importante saber o que exatamente corrigir pois para Monchy (1989) quanto mais custosa for a disponibilidade, mais a manutenção é econômica e quanto mais a segurança está jogado, mais a manutenção torna-se indispensável.

Para Neto (2001) a aplicação das ferramentas do processo de raciocínio permite descobrir os efeitos indesejáveis, encontrar o problema-raiz, verificar a solução para este problema-raiz, visualizar os possíveis problemas que esta solução poderá trazer, levantar os principais obstáculos a serem ultrapassados, definir objetivos intermediários para cada um dos obstáculos identificados e preparar um plano de ação para o alcance da solução almejada.

##### **4.7.1. O que mudar?**

Será utilizada a Árvore de realidade Atual (ARA) para identificar qual o problema cerne do gerenciamento da manutenção na unidade marítima. O processo baseia-se na identificação dos Efeitos Indesejáveis e uma conexão lógica do tipo: Se, então. Se o problema cerne for eliminado, consequentemente os efeitos indesejáveis também serão eliminados.

Para aplicação da Arvore de Realidade Atual se faz necessário a listagem de 5 a 10 efeitos indesejáveis (EI), no formulário de pesquisa foram chamados simplesmente de restrições.

Para a classificação dos itens foram calculadas as médias de cada EI e depois estas foram classificadas da maior para a menor.

Quadro 4.3 - Classificação dos efeitos indesejáveis

No.	Descrição	Média	Desvio Padrão
R3	Baixa Qualidade dos sobressalentes e materiais	79	24
R14	Baixa Produtividade da Força de Trabalho.	78	20
R2	Falta de sobressalentes e materiais	77	25
R13	Falta de treinamento da Força de Trabalho.	75	29
R4	Falhas no Planejamento dos trabalhos a serem executados	72	27
R7	Alta ocorrência de manutenções Corretivas.	71	25
R12	Falta de registro de histórico dos equipamentos e serviços realizados.	71	28
R8	Baixa ocorrência de manutenções Preventivas.	71	28
R1	Grande quantidade de Equipamentos Obsoletos	69	27
R5	Falhas na Programação dos trabalhos a serem executados	69	28
R6	Utilização inadequada do Programa de gerenciamento da manutenção.	68	30
R20	Falta de discussão sobre a Estratégia para a área de manutenção da unidade	67	28
R19	Retrabalho ocasionado por não-conformidades na execução	67	29
R16	Backlog extenso.	66	25
R15	Falta de experiência prática da força de trabalho.	66	27
R10	Plano de manutenção Inadequado.	66	29
R18	Muito Tempo consumido na liberação do equipamento para iniciar o trabalho.	66	24
R11	Falta de padrões para execução das tarefas.	65	27
R9	Baixa Quantidade de manutenções Preditivas.	63	29
R17	Muito Tempo consumido na preparação para os trabalhos de manutenção.	62	22

Foram selecionados os 10 efeitos indesejáveis que obtiveram as maiores médias para utilização.

Noreen, Smith e Mackey (1996) e Cox III e Spencer (2002) indicam as diretrizes para a construção da ARA:

1. Listar de 5 a 10 efeitos indesejáveis relacionados a situação;
2. Testar a clareza de cada EI;
3. Procurar alguma relação causal entre quaisquer dos EI;
4. Determinar qual EI é a causa e qual é o efeito;
5. Continuar o processo de conexão dos EI até que todos estejam conectados.
6. Em caso de necessidade, expandir a árvore;
7. Reexamine os EI, buscando os efeitos que não tenham causas visíveis.
8. Excluir as entidades que não são necessárias.

9. Apresentar a ARA para pessoas envolvidas ou que conheçam o processo.
10. Estudar os pontos de entrada da árvore e decidir qual o problema a atacar, escolhendo aquele que contribui para um maior número de efeitos indesejáveis, ou seja, o problema-raiz.

Os efeitos indesejáveis escolhidos foram:

EI01 - Baixa Qualidade dos sobressalentes e materiais

EI02 - Baixa Produtividade da Força de Trabalho.

EI03 - Falta de sobressalentes e materiais

EI04 - Falta de treinamento da Força de Trabalho.

EI05 - Falha no Planejamento dos trabalhos a serem executados

EI06 - Grande quantidade de manutenções Corretivas.

EI07 - Falta de registro de histórico dos equipamentos e serviços realizados.

EI08 - Baixa ocorrência de manutenções Preventivas.

EI09 - Grande quantidade de Equipamentos Obsoletos

EI10 - Falha na Programação dos trabalhos a serem executado

Foi construída uma relação de causa-efeito entre os Efeitos Indesejáveis, utilizando as 10 diretrizes chegou-se a ARA apresentada na figura 4.2.

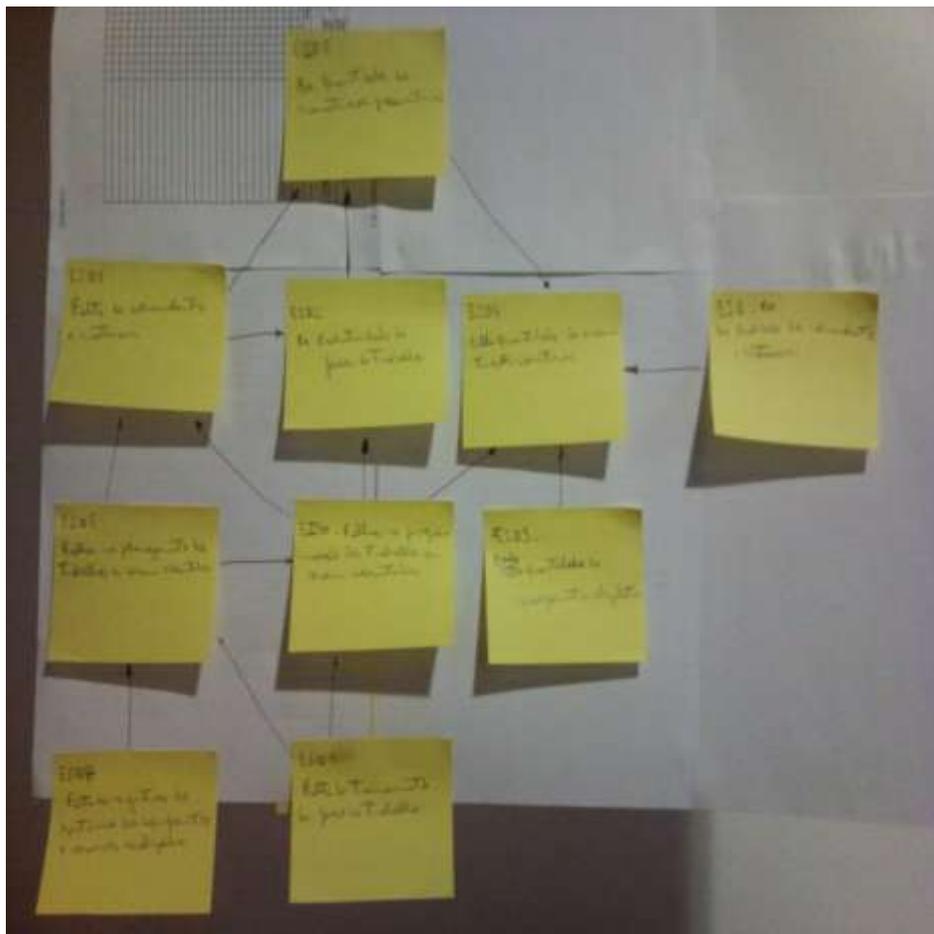


Figura 4.2. - Árvore de Realidade Atual da Manutenção da UM

Para construção da ARA foram utilizados Post-it para facilitar o processo de estabelecimento das relações de causa-efeito, depois de concluída ela foi formatada, conforme é mostrado na figura 4.3.

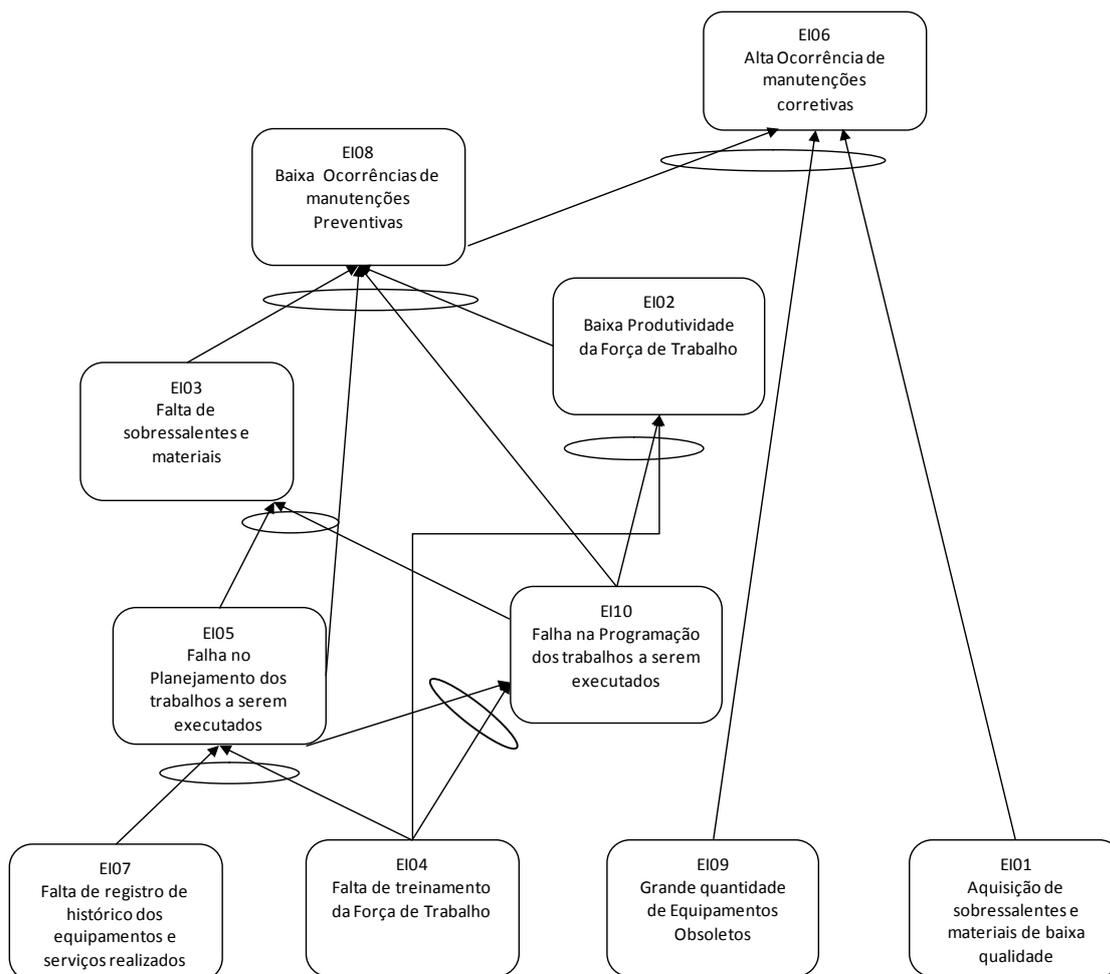


Figura 4.3. - Árvore de Realidade Atual da Manutenção da UM formatada

Cox III e Spencer (2002) orientam a leitura da ARA de baixo para cima, então:

- **Se** falta de registro de histórico dos equipamentos e serviços realizados (E07), **e** não há treinamento para a força de trabalho (E04), **então** há falhas no planejamento dos trabalhos a serem executados (E05).
- **Se** não há treinamento para a força de trabalho (E04), **e** há falhas no planejamento dos trabalhos a serem executados (E05), **então** há Falhas na Programação dos trabalhos a serem executados (E10).
- **Se** há falhas no planejamento dos trabalhos a serem executados (E05), **e** há Falhas na Programação dos trabalhos a serem executado (E10), **então** há falta de sobressalentes e materiais (E03).

- **Se** não há treinamento para a força de trabalho (EI04), **e** há Falhas na Programação dos trabalhos a serem executados (EI10), **então** há Baixa Produtividade da Força de Trabalho (EI02).
- **Se** há falta de sobressalentes e materiais (EI03), **e** há falhas no planejamento dos trabalhos a serem executados (EI 5), **e** há Falhas na Programação dos trabalhos a serem executados (EI10), **e** há Baixa Produtividade da Força de Trabalho (EI02), **então** há Baixa Quantidade de manutenções Preventivas (EI08).
- **Se** há Baixa Quantidade de manutenções Preventivas (EI08), **e** alta quantidade de Equipamentos Obsoletos (EI09), **e** Baixa Qualidade dos sobressalentes e materiais, **então** há uma grande quantidade de manutenções Corretivas.

#### **4.7.2. Para o que mudar?**

##### **4.7.2.1. Diagrama de Dispersão de Nuvem**

Para identificação da solução do problema raiz será utilizado o Diagrama de Dispersão de Nuvem (DDN), pois a solução envolve um conflito dentro da organização.

Segundo Cox III e Spencer (2002), uma vez identificado o problema raiz, o gerente deve pesquisar e identificar uma solução ganha-ganha.

Rocha Neto (2001) afirma que o DDN é uma ferramenta bastante eficaz em situações em que duas pessoas não conseguem optar por uma decisão comum, cada uma enxerga apenas uma solução, pois pela visão de ambos elas são mutuamente excludentes, ou seja, não existe uma solução conciliadora, ou se opta por uma ou por outra decisão, não há meio-termo.

Segundo Noreen, Smith, Mackey (1996), uma vez definido o problema, com o DDN é possível revelar os pressupostos relacionados ao problema, suas exigências e o conflito.

Para Goldratt (1990), sempre que um problema raiz é confrontado, verifica-se que ele era intuitivamente muito conhecido (embora não necessariamente bem verbalizado) e soluções conciliatórias são implementadas em uma tentativa inútil de solucionar o problema. Induzir as

peças a criarem soluções simples requer que as afastemos dos compromissos e a levemos a reexaminar as fundações do sistema, a fim de encontrarem o número mínimo de mudanças necessárias para criar um ambiente em que o problema simplesmente não possa existir.

A figura 4.4 mostra o esquema de um Diagrama de Dispersão de Nuvem.

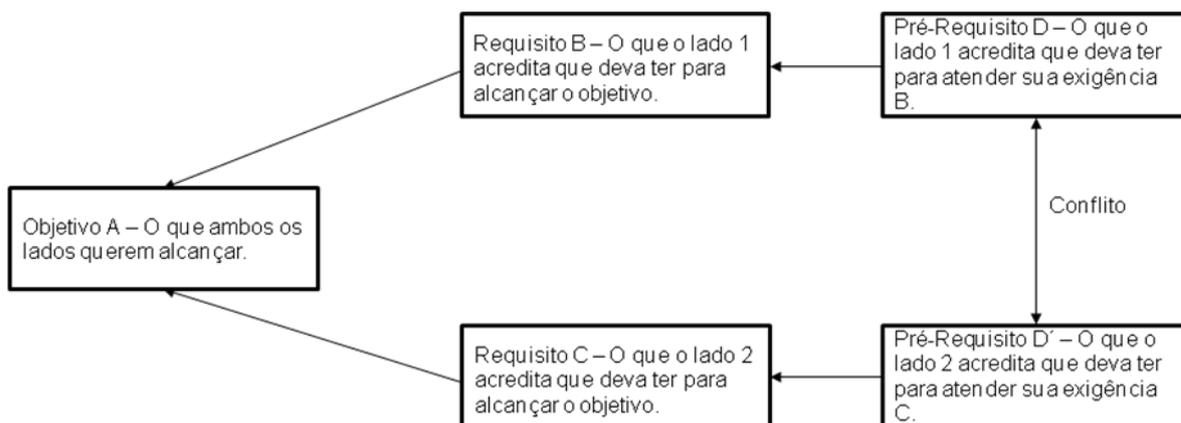


Figura 4.4 Diagrama de Dispersão de Nuvem

Fonte: Cox III e Spencer, 2002

O objetivo A é o problema raiz que se quer eliminar, para ter o objetivo são necessários os requisitos B e C. Para ter o requisito B é preciso ter o pré-requisito D e para ter o requisito C é preciso ter o pré-requisito D', o Não-D.

Segundo Rocha Neto (2001), neste ponto tem-se o conflito, pois o pré-requisito D é a negação (ou inverso) do pré-requisito Não-D, o DDN faz com que se exponham os pré-requisitos e que o analisador perceba o pressuposto errôneo em um dos pré-requisitos e descubra a solução (injeção).

Para Goldratt (2004), a Injeção é uma idéia capaz de eliminar o pressuposto.

Com a ARA é possível concluir que o problema raiz é a "Falta de treinamento da Força de Trabalho", pois este EI possui o maior número de conexões. A solução do problema parece simples: Treinar a força de trabalho! Mas por que não foi feito antes? Qual o conflito que impediu a força de trabalho ser treinada?

Foi verificado que há uma regra dentro da organização que limita a realização dos treinamentos de desenvolvimento técnico: se existir empregado lotado na UM com treinamento exigido por organismo governamental pendente, comumente chamado de treinamentos legais, nenhum empregado poderá realizar treinamentos de desenvolvimento técnico. Há funcionários lotados na manutenção que em 6 anos fez somente treinamentos legais. Os empregados também estão limitados ao máximo de 80h de treinamento por ano, salvo se os treinamentos forem exigências legais.

O objetivo do DDN será o oposto do problema raiz identificado na ARA: **Força de Trabalho devidamente Treinada.**

O DDN completo é apresentado na figura 4.5:

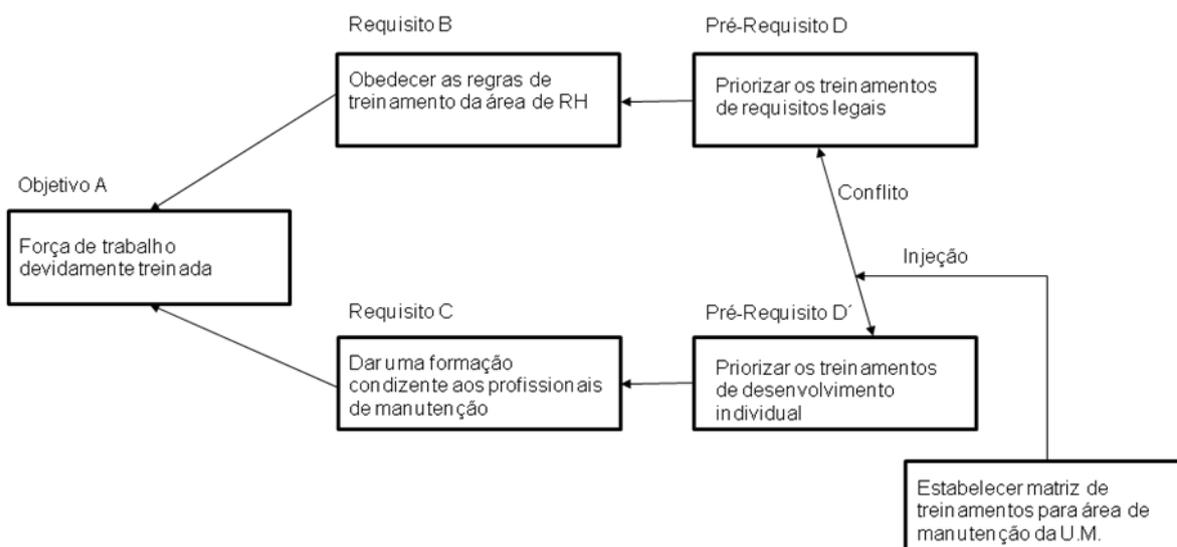


Figura 4.5 - Aplicação do Diagrama de Dispersão de Nuvem

A nuvem é lida da seguinte maneira:

- AB - Para ter uma força de trabalho devidamente treinada, os gerentes, coordenadores e supervisores devem conhecer e atender as regras de treinamento da área de RH.
- AC - Para ter uma força de trabalho devidamente treinada, deve-se dar uma formação condizente aos profissionais de manutenção.

Para se atingir o objetivo A deve-se atender os requisitos B e C, os pré-requisitos D e D' deverão ser atendidos para atendimento do seus respectivos requisitos, então:

- BD - Para obedecer as regras de treinamento da área de RH é necessário priorizar os treinamentos legais da força de trabalho.
- CD´ - Para dar uma formação condizente aos profissionais de manutenção é necessário priorizar os treinamentos de desenvolvimento individual.

Como resolver o conflito entre os pré-requisitos D e D', se eles parecem excludentes? O que está por traz deste conflito?

Para Noreen, Smith e Mackey (1996), dispersar a nuvem consiste essencialmente em expor um pressuposto inválido a uma das flechas.

Com a análise da nuvem é possível ver que o pressuposto com menor sustentação é o que liga o pré-requisito C ao requisito D. Priorizar os treinamentos de desenvolvimento leva a dar uma formação condizente da força de trabalho é um pressuposto inválido devido a forma que a indicação dos treinamentos é realizada: Anualmente os empregados podem indicar os treinamentos que gostariam de realizar, limitados a 80h/ano e a necessidade de aprovação dos gerentes da UM, ou seja, os treinamentos solicitados podem ser do interesse do empregado mas não necessariamente trarão melhores resultados para a manutenção da instalação.

Os treinamentos legais possuem uma periodicidade de reciclagem que varia de 1 a 5 anos, sendo os listados a seguir os principais:

Quadro 4.4 - Lista de Treinamentos de Requisitos Legais

Treinamento Legal	Validade	Órgão Legal
CBSP - Curso Básico de Segurança de Plataformas	5 anos	Marinha
CACI - Curso Avançado de Combate a Incêndio	5 anos	
CESS - Curso de Embarcação de Sobrevivência e Salvamento	5 anos	
NR-10 - Segurança em Instalações e Serviços com Eletricidade	2 anos	Ministério do Trabalho e Emprego
NR-33 - Curso de espaço confinado	1 ano	

Portanto, a priorização dos treinamentos de desenvolvimento em si não traz melhores resultados, somente se esta for precedida do estabelecimento de

uma matriz de treinamentos coerente com a formação e necessidades da instalação.

Se for estabelecida uma matriz de treinamentos que atenda as necessidades da UM, ou seja, treinamentos que forneçam a força de trabalho o conhecimento para melhorar o desempenho da área de manutenção. Estabelecer a matriz de treinamentos da área de manutenção da U.M. é a injeção que quebra o pré-requisito Não D.

#### **4.7.2.2. Árvore da Realidade Futura**

Uma dúvida da maioria dos decisores é se a implementação de uma solução pode trazer problemas novos para a organização. A Árvore da Realidade Futura (ARF) permite visualizar as consequências negativas que podem surgir e a elaboração de ações de neutralização.

Segundo Goldratt (2004), a Arvore de Realidade Futura é basicamente o reflexo da Árvore de Realidade Atual. Para Dedonato et al (2008), a ARF serve para programar soluções a partir dos problemas encontrados. Para Sellitto (2005), ela explicita os pressupostos de uma situação conflituosa, mostra por que o problema em foco não foi ainda resolvido, permite que se verifique que pressuposto errôneo gera o conflito e possibilita o surgimento de uma idéia nova e transformadora em relação à situação em análise.

O processo de construção de uma ARF é descrito abaixo:

- a) Listar os Efeitos Desejáveis (ED) pretendidos. Para Hilgert (2000) e Rocha Neto (2001), os EDs são o oposto do Efeitos Indesejáveis listados para elaboração da Arvore de Realidade Atual, mostrado no quadro 4.5.

Quadro 4.5 - Lista de Efeitos Indesejáveis

Efeitos Indesejáveis (EI)	Efeitos Desejáveis (ED)
EI01 - Aquisição de sobressalentes e materiais de baixa qualidade	ED01 - Aquisição de sobressalentes e materiais de boa qualidade
EI02 - Baixa Produtividade da Força de Trabalho.	ED02 - Produtividade da Força de Trabalho adequada
EI03 - Falta de sobressalentes e materiais	ED03 - Sobressalentes e Materiais Disponíveis
EI04 - Falta de treinamento da Força de Trabalho.	ED04 - Força de trabalho devidamente treinada
EI05 - Falha no Planejamento dos trabalhos a serem executados	ED05 - Planejamento dos trabalhos a serem executado adequado
EI06 - Alta Ocorrência de manutenções corretivas.	ED06 - Baixa Ocorrência de manutenções corretivas.
EI07 - Falta de registro de histórico dos equipamentos e serviços realizados.	ED07 - Existência de Registro histórico dos equipamentos e serviços realizados
EI08 - Baixa ocorrência de manutenções Preventivas.	ED08 - Alta Ocorrência de manutenções Preventivas.
EI09 - Grande quantidade de Equipamentos Obsoletos	ED09 - Ausência de equipamentos obsoletos.
EI10 - Falha na Programação dos trabalhos a serem executado	ED10 - Programação dos trabalhos a serem executados adequada.

- b) Construir a árvore. Segundo Hilgert (2000), o processo de construção da ARF tomar como ponto de partida a injeção, a partir da qual são conectados os efeitos desejáveis (ED), segundo os relacionamentos de efeito-causa-efeito;
- c) Verificar a consistência da Injeção. Rocha Neto (2001) explica que neste passo deve-se fazer a checagem da injeção obtida no DDN e verificar se ela é realmente capaz de transformar os Efeitos Indesejáveis em ED;
- d) Propor injeções adicionais. Noreen, Smith e Mackey (1996), informa que no processo de construir a ARF, injeções adicionais são frequentemente acrescentadas para desenvolver a solução e evitar possíveis consequências negativas. Hilgert (2000), ressalva que este processo deve ser repetido até que o conjunto de injeções seja capaz de levar aos EDs estabelecidos.

A ARF construída a partir dos passos "b", "c", e "d" é apresentada na figura 4.6.

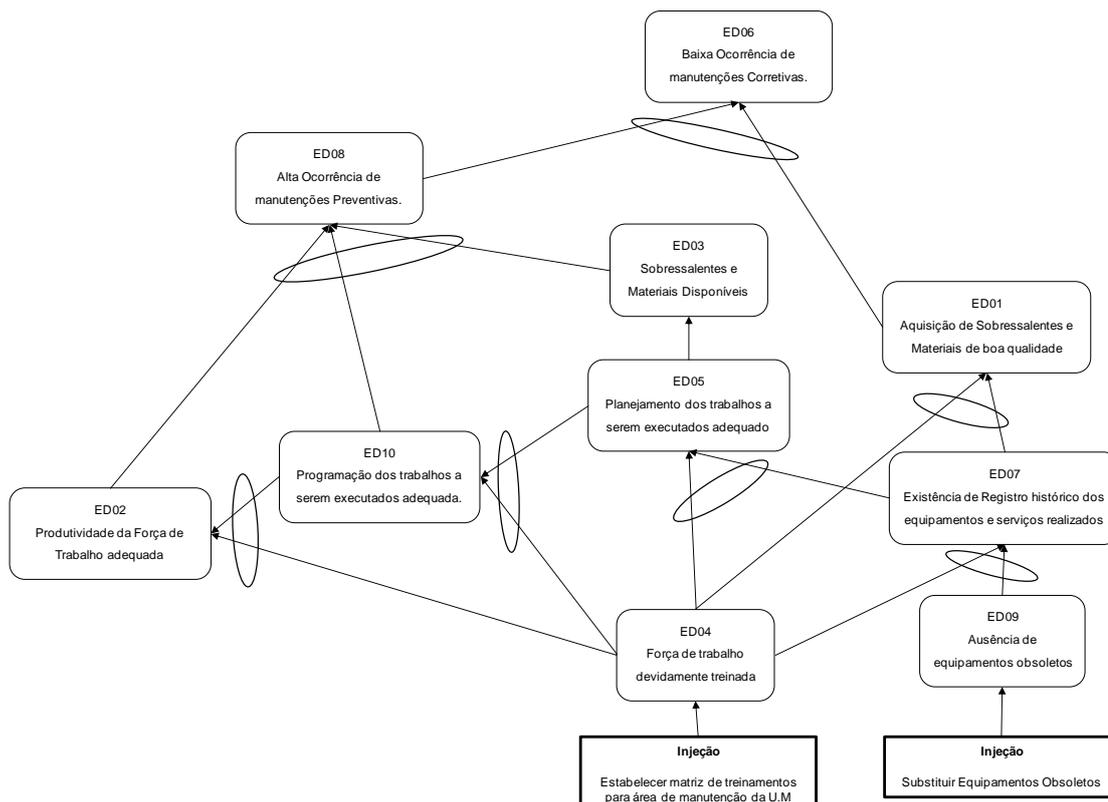


Figura 4.6 - Árvore de Realidade Futura

A ARF deve ser lida da seguinte maneira:

- a) Com a injeção: Estabelecer matriz de treinamentos para área de manutenção da U.M **tem-se a** força de trabalho devidamente treinada.
- b) Com esta mesma injeção: Estabelecer matriz de treinamentos para área de manutenção da U.M **tem-se a** força de trabalho devidamente treinada **que juntamente com a** programação dos trabalhos a serem executados adequada consequentemente **tem-se uma** produtividade da força de trabalho adequada.
- c) Com a injeção: Substituir equipamentos obsoletos **tem-se a** ausência de equipamentos obsoletos.
- d) Com esta mesma injeção: Substituir equipamentos obsoletos **tem-se a** ausência de equipamentos obsoletos **que juntamente com** força de trabalho devidamente treinada **tem-se a** existência de registros históricos dos equipamentos e serviços realizados.
- e) Com esta mesma injeção: Substituir equipamentos obsoletos **tem-se a** ausência de equipamentos obsoletos **que juntamente com** força de

trabalho devidamente treinada tem-se a existência de registros históricos dos equipamentos e serviços realizados **que com a** força de trabalho devidamente treinada, **e conseqüentemente a** aquisição de sobressalentes de boa qualidade.

- f) Com a injeção: Estabelecer matriz de treinamentos para área de manutenção da U.M **tem-se a** força de trabalho devidamente treinada **que juntamente com a** existência de registros históricos dos equipamentos e serviços realizados, **e conseqüentemente, um** planejamento adequado dos trabalhos a serem executados.
- g) Com esta mesma injeção: Estabelecer matriz de treinamentos para área de manutenção da U.M **tem-se a** força de trabalho devidamente treinada **que juntamente com a** existência de registros históricos dos equipamentos e serviços realizados, **e conseqüentemente, um** planejamento dos trabalhos a serem executados adequado, **e portanto,** sobressalentes e materiais disponíveis.
- h) **Com esta mesma injeção:** Estabelecer matriz de treinamentos para área de manutenção da U.M **tem-se a** força de trabalho devidamente treinada **que juntamente com o** planejamento dos trabalhos a serem executados adequado, **e conseqüentemente, uma** programação dos trabalhos a serem executados adequada.
- i) Com o efeito desejável: Sobressalentes e materiais disponíveis, **juntamente,** com a programação dos trabalhos a serem executados adequada, **e juntamente,** com produtividade da força de trabalho adequada, **tem-se** uma alta ocorrência de manutenções preventivas.
- j) Com o efeito desejável: alta ocorrência de manutenções preventivas, **juntamente,** com a aquisição de sobressalentes e materiais de boa qualidade, **tem-se** uma baixa ocorrência de manutenções corretivas.

#### 4.7.3. Como mudar?

##### 4.7.3.1. Árvore de Pré-Requisitos (APR)

Avraham e Goldratt Institute (2012) afirmam que a resistência à mudança pode bloquear até mesmo as estratégias e planos perfeitamente definidos e a construção de consenso e colaboração ativa é fundamental.

Segundo Noreen, Smith e Mackey (1996), o propósito da Árvore de Pré-Requisitos (APR) é identificar os obstáculos à implementação da mudança. Para Kim, Mabin e Davies (2008), ela também determina a sequência para superar os obstáculos. Higert (2000) informa que é através da utilização da APR que são levantados os objetivos intermediários que precisam ser atendidos, de forma a implementar a injeção.

Rocha Neto (2001), lista as seguintes possibilidades geradas pela APR:

- Quebrar os vários obstáculos que impedem as ações ocorrerem, ou seja, ela realça os obstáculos que se opõe à conclusão destas ações, assim todos os envolvidos têm uma clara definição do que deve ser realizado.
- Verificar que cada obstáculo pode ser ultrapassado por um objetivo intermediário correspondente, dando a todos os envolvidos uma estratégia consistente.
- Compreender que no tempo correto é possível atingir todos os objetivos e então coordenar as ações de todos os envolvidos.

A injeção da ARF é o ponto de partida da APR, onde é desdobrado. Para construir a APR deve-se definir os obstáculos á implementação da injeção. Para cada obstáculo identificado, gerar um Objetivo Intermediário (OI) capaz de ultrapassá-lo.

Se durante a construção da APR o objetivo intermediário não ocorrer, o elaborador pode escrevê-lo como sendo o oposto do obstáculo.

Higert (2000) alerta que é importante verificar se todos os obstáculos foram "eliminados" pelos Objetivos Intermediários e caso seja determinado novos obstáculos deve-se reiniciar o processo de construção a APR varias vezes até que não surjam mais obstáculos novos.

Rocha Neto (2001) conclui que com o objetivo intermediário alcançado, a injeção será alcançada, e como a injeção é a chave dos efeitos indesejáveis, resultará na solução do problema.

Noreen, Smith e Mackey (1996) chamam atenção para ordem dos Objetivos intermediários, pois existe uma dependência implícita de tempo com

a finalidade dos OIs sejam alcançados na ordem inversa, a partir da base da árvore.

Na Arvore de Realidade Futura foram definidas duas injeções, e como para cada injeção constrói-se uma APR, foram construídas duas APR.

As Arvores de Pré-Requisitos construídas a partir das injeções da Arvore de Realidade Futura são apresentadas nas figuras 4.7 e 4.8.

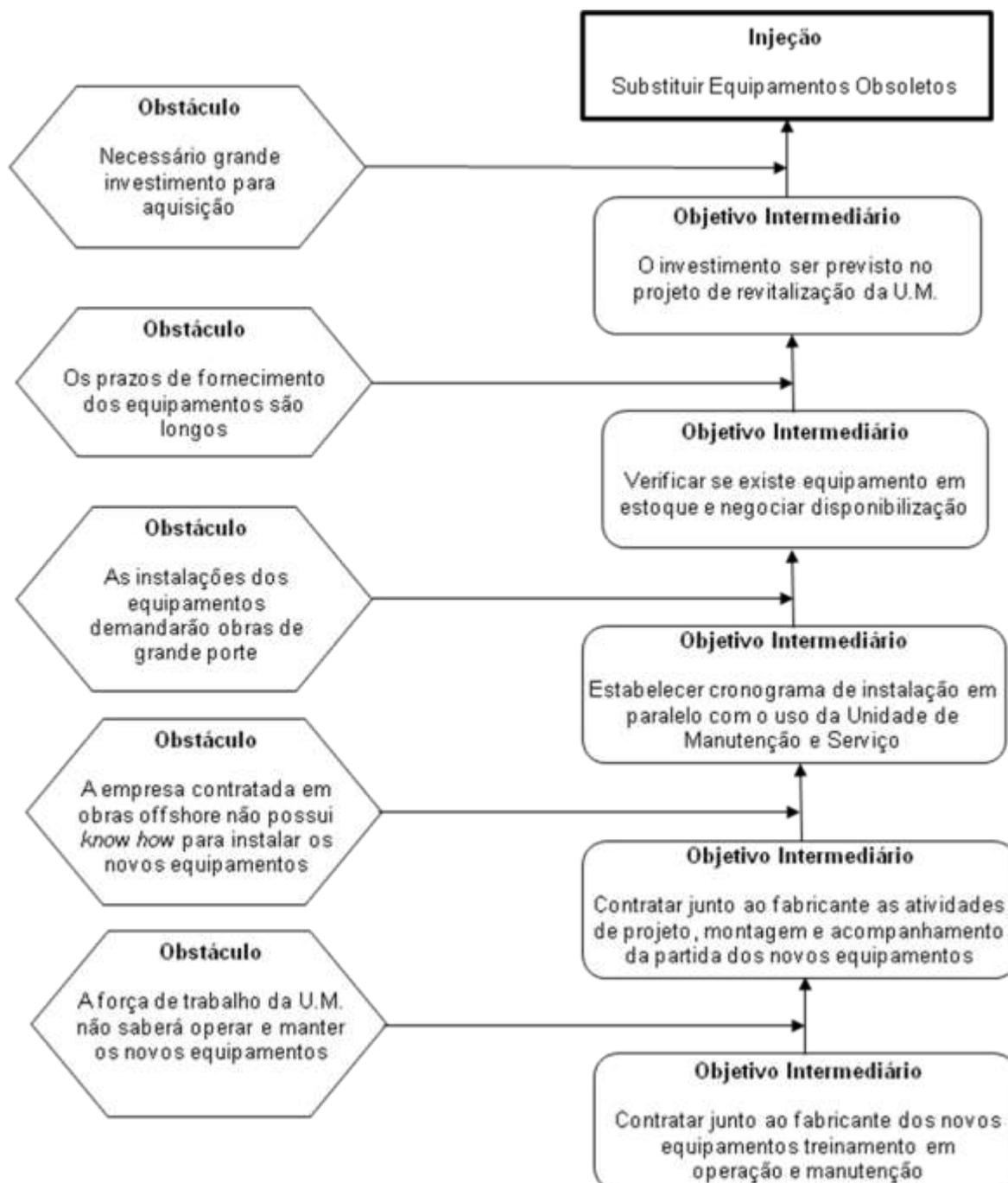


Figura 4.7 - APR da Injeção Substituir Equipamentos Obsoletos

Segundo Noreen, Smith e Mackey (1996) as flechas na APR possuem um significado diferente das outras árvores, como ARA e ARF, a ligação entre as três entidades (injeção, objetivo intermediário e obstáculo) deve ser lida da seguinte maneira : para alcançar um determinado Objetivo (injeção), devemos ter o Objetivo Intermediário adequado, por causa do obstáculo.

A leitura da APR mostrada na figura 4.7 é a seguinte:

Para alcançar o objetivo " Substituir Equipamentos Obsoletos" devemos ter os Objetivos Intermediários: "O investimento ser previsto no Projeto de Revitalização da UM", "Verificar se existe equipamento em estoque e negociar disponibilização", " Estabelecer cronograma de instalação em paralelo com o uso da Unidade de Manutenção e Serviço", " Contratar junto ao fabricante as atividades de projeto, montagem e acompanhamento da partida dos novos equipamentos", " Contratar junto ao fabricante dos novos equipamentos treinamento em operação e manutenção", por causa dos obstáculos: "Necessário grande investimento para aquisição", " Os prazos de fornecimento dos equipamentos são longos", " As instalações dos equipamentos demandarão obras de grande porte", " A empresa contratada em obras *offshore* não possui *know how* para instalar os novos equipamentos" e " A força de trabalho da U.M. não saberá operar e manter os novos equipamentos".

A segunda APR é apresentada na figura 4.8.

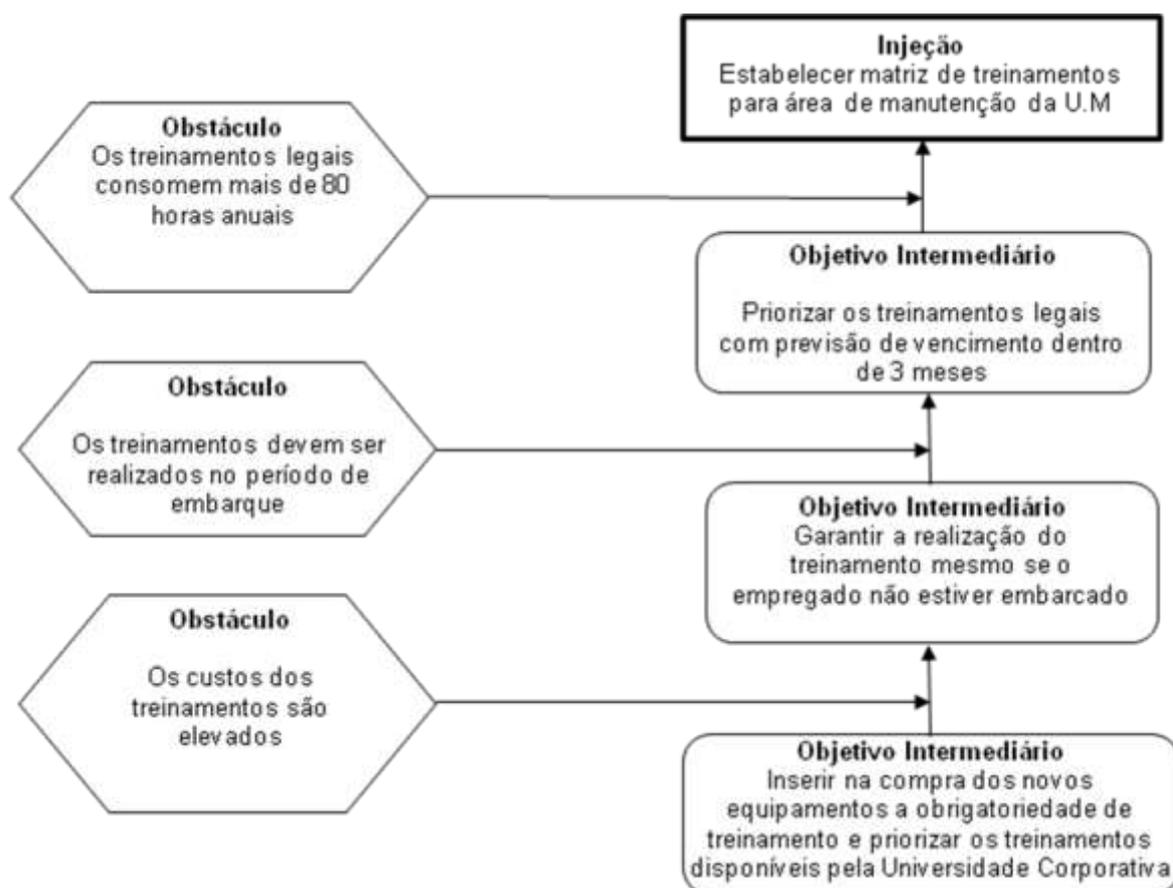


Figura 4.8 – APR da Injeção Estabelecer Matriz de treinamentos para a área de manutenção da UM

A leitura da APR mostrada na figura 4.8. é a seguinte:

Para alcançar o objetivo " Estabelecer matriz de treinamentos para área de manutenção da U.M" devemos ter os Objetivos Intermediários: "Priorizar os treinamentos legais com previsão de vencimento dentro de 3 meses", " Garantir a realização do treinamento mesmo se o empregado não estiver embarcado" e " Inserir na compra dos novos equipamentos a obrigatoriedade de treinamento e priorizar os treinamentos disponíveis pela Universidade Corporativa" , por causa dos obstáculos: " Os treinamentos legais consomem mais de 80 horas anuais", " Os treinamentos devem ser realizados no período de embarque" e "Os custos dos treinamentos são elevados".

O próximo passo é a montagem do plano de ação para solução dos problemas, isto é conseguido através da Arvore de Transição (AT).

#### 4.7.3.2. Arvore de Transição (AT)

Podemos definir a Arvore de Transição como sendo um plano de ação, o planejamento de todas as ações necessárias para atingir os objetivos intermediários.

Para Noreen, Smith e Mackey (1996), a APR força o indivíduo a pensar nso obstáculos que irão provavelmente surgir e a AT o leva a tratar sistematicamente deles.

Segundo Detonatto (2008), a AT é usada para detalhar os planos de ação para melhor visualizar os objetivos que a empresa pretende alcançar.

Hilgert (2000) esclarece que o nome da técnica, Arvore de Transição, vincula-se à transição de uma realidade problemática, com a presença de vários Efeitos Indesejáveis (EI), para uma realidade na qual os EI foram substituídos por Efeitos Desejáveis através de ideias criativas. A lógica é: se for realizada a ação, então o Objetivo Intermediário (OI) será alcançado.

Rocha Neto (2001) informa que a AT possui os seguintes elementos : a necessidade da ação, ação, a justificativa do porque a ação irá atingir seu objetivo, o resultado da ação e o porque do sequenciamento lógico de cada passo. Com a AT lista-se cada uma das ações pertinentes para atingir cada um dos objetivos intermediários encontrados, bem como a interdependência destas ações, ou seja, qual a sequencia correta na execução destas ações.

Hilgert (2000), sumarizou a construção da AT da seguinte forma:

1. Colocar na árvore os objetivos Intermediários obtidos com a APR;
2. Determinar ações capazes de levar ao atendimento dos objetivos intermediários;
3. Verificar se com as ações estabelecidas, pode-se garantir a obtenção dos resultados esperados.
4. Caso as ações estabelecidas não forem suficientes, voltar ao passo 2.

Para Rocha Neto (2001), a AT responde algumas questões frequentes que surgem quando uma tarefa é designada, como:

- Por que e quando se deve executar determinada atividade?
- Quando sabe-se que houve sucesso na execução de uma determinada atividade e pode-se executar uma próxima atividade?
- Qual o objetivo que se deve alcançar?
- Qual o objetivo de cada atividade?
- Por que executar a atividade A antes da atividade B? E, quando a atividade foi concluída?
- Por que se afirma que a execução de determinada atividade leva ao objetivo almejado?

Foram construídas duas Árvores de Transição, uma para cada Árvore de Pré-requisitos, de forma a levantar todas as ações necessárias para atingir cada Objetivo Intermediário. Estas ATs são apresentadas nas figuras 4.9 e 4.10.

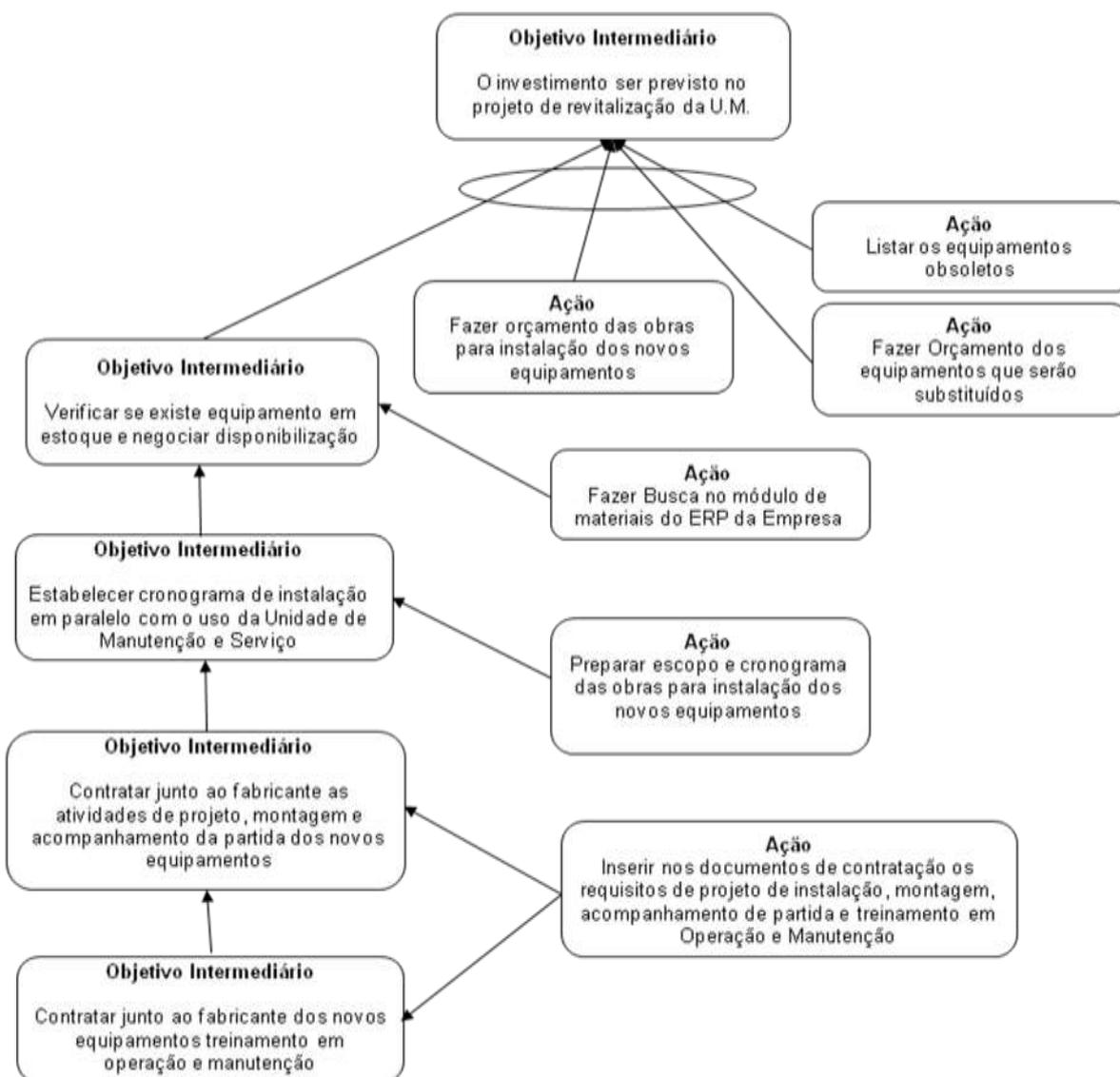


Figura 4.9 - Arvore de Transição da APR da Injeção Substituir Equipamentos Obsoletos

A leitura da AT da figura 4.9 é feita da seguinte maneira:

Para obter o OI "Contratar junto ao fabricante dos novos equipamentos treinamento em operação e manutenção", a ação requerida é "Inserir nos documentos de contratação os requisitos de projeto de instalação, montagem, acompanhamento de partida e treinamento em Operação e Manutenção".

Para obter o OI "Contratar junto ao fabricante as atividades de projeto, montagem e acompanhamento da partida dos novos equipamentos", a ação requerida é "Inserir nos documentos de contratação os requisitos de projeto de instalação, montagem, acompanhamento de partida e treinamento em Operação e Manutenção".

Para obter o OI " Estabelecer cronograma de instalação em paralelo com o uso da Unidade de Manutenção e Serviço", a ação requerida é "Preparar escopo e cronograma das obras para instalação dos novos equipamentos".

Para obter o OI " Verificar se existe equipamento em estoque e negociar disponibilização", a ação requerida é "Fazer Busca no módulo de materiais do ERP da Empresa".

Para obter o OI " O investimento ser previsto no projeto de revitalização da UM", as ações requeridas são "Listar os equipamentos obsoletos" e " Fazer Orçamento dos equipamentos que serão substituídos" e " Fazer orçamento das obras para instalação dos novos equipamentos" e obter o OI " Verificar se existe equipamento em estoque e negociar disponibilização".

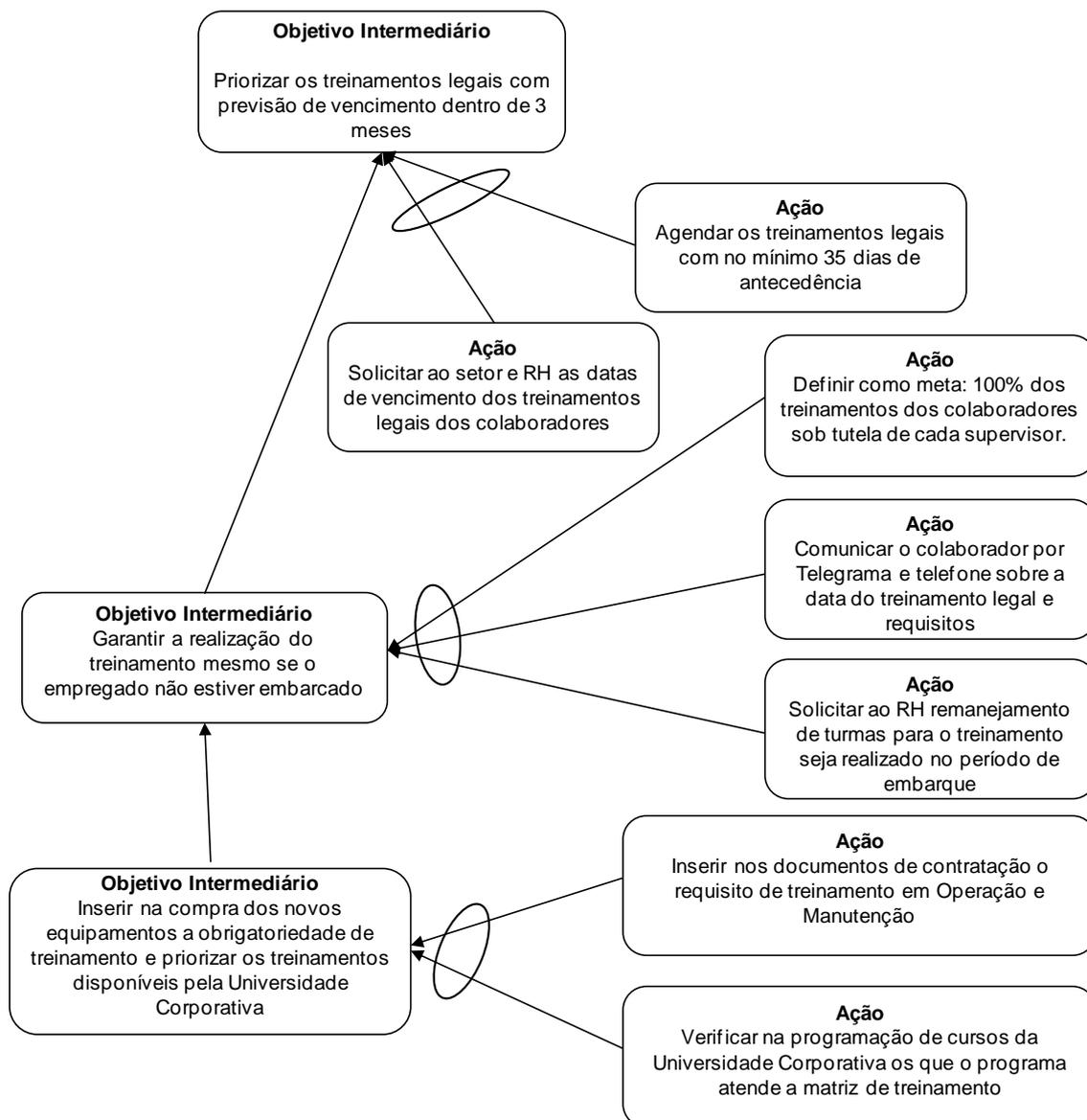


Figura 4.10 - Arvore de Transição da APR da Injeção Estabelecer Matriz de treinamentos para a área de manutenção da U.M.

A leitura da AT da figura 4.10 é feita da seguinte maneira:

Para obter o OI "Inserir na compra dos novos equipamentos a obrigatoriedade de treinamento e priorizar os treinamentos disponíveis pela Universidade Corporativa", as ações requeridas são " Inserir nos documentos de contratação o requisito de treinamento em Operação e Manutenção" e "Verificar na programação de cursos da Universidade Corporativa os que o programa atende a matriz de treinamento".

Para obter o OI "Garantir a realização do treinamento mesmo se o empregado não estiver embarcado", as ações requeridas são " Solicitar ao RH

remanejamento de turmas para o treinamento seja realizado no período de embarque" e " Comunicar o colaborador por Telegrama e telefone sobre a data do treinamento legal e requisitos" e "Definir como meta: 100% dos treinamentos dos colaboradores sob tutela de cada supervisor".

Para obter o OI "Priorizar os treinamentos legais com previsão de vencimento dentro de 3 meses", as ações requeridas são "Agendar os treinamentos legais com no mínimo 35 dias de antecedência" e " Solicitar ao setor e RH as datas de vencimento dos treinamentos legais dos colaboradores".

Com base nas ações levantadas na Arvore de transição, foi estabelecido um plano de ação com o uso de um 5W1H, que é um documento estruturado de forma a ligar as ações e as responsabilidades do executor, através de seis simples perguntas, conforme apresentado no quadro 4.6:

Quadro 4.6 – 5W1H

Fonte: Adaptado de Rossato (1996)

Pergunta		Descrição
What?	O que?	<b>O que</b> será feito (etapas)
How?	Como?	<b>Como</b> deverá ser realizado cada tarefa/etapa (método)
Why?	Por que?	<b>Por que</b> deve ser executada a tarefa (justificativa)
Where?	Onde?	<b>Onde</b> cada etapa será executada (local)
When?	Quando?	<b>Quando</b> cada uma das tarefas deverá ser executada (tempo)
Who?	Quem?	<b>Quem</b> realizará as tarefas (responsabilidade)

O plano de ação é apresentado no quadro 4.7:

Quadro 4.7 – 5W1H das ações das Árvores de Transição

What?	How?	Why?	Where?	Who?	When?
O que?	Como?	Por que?	Onde?	Quem?	Quando?
Listar os equipamentos obsoletos	- Verificar no CMMS quais os equipamentos com maior número de corretivas e valores de indisponibilidade - Consultar os fabricantes sobre a declaração de obsolescência.	- Identificar os equipamento que precisam ser substituídos	Base de Operações	Engenheiros de Manutenção da UM	Dezembro/2011
Fazer Orçamento dos equipamentos que serão substituídos	- Verificar no módulo de materiais do ERP, os valores de aquisição de equipamentos semelhantes - Fazer consulta informal aos fornecedores cadastrados.	- Calcular o custo de aquisição dos equipamentos que precisam ser substituídos	Base de Operações	Engenheiros de Manutenção da UM	Dezembro/2011
Fazer orçamento das obras para instalação dos novos equipamentos	- Verificar junto ao setor de projetos de instalações de superfície os valores de obras semelhantes.	- Calcular o custo das obras para instalação dos equipamentos que precisam ser substituídos	Base de Operações	Coordenador do Projeto de Revitalização	Dezembro/2011
Fazer Busca no módulo de materiais do ERP da Empresa	- Fazer busca baseado nas especificações fornecidas pelos engenheiros de equipamentos	- Se o equipamento estiver disponível, programar a instalação após aprovação do projeto de revitalização.	Base de Operações	Técnico de Materiais	Dezembro/2011
Preparar escopo e cronograma das obras para instalação dos novos equipamentos	- Verificar junto ao setor de projetos de instalações de superfície os escopos e prazos de obras semelhantes.	- Inserir no escopo e cronograma integrado do projeto de revitalização	Base de Operações	Coordenador do Projeto de Revitalização	Dezembro/2011

(continua)

(continuação)

Inserir nos documentos de contratação os requisitos de projeto de instalação, montagem, acompanhamento de partida e treinamento em Operação e Manutenção	- Solicitar ao setor de contratação de bens orientação sobre redação da solicitação	- Garantir que os equipamentos sejam instalados corretamente e a qualidade da operação e manutenção.	Base de Operações	Engenheiros de Manutenção da UM	Maio/2012
Agendar os treinamentos legais com no mínimo 35 dias de antecedência	- Encaminhar e-mail para o setor de Desenvolvimento de Recursos Humanos	- Garantir que o colaborador possa se programar para realizar o treinamento caso ele seja na folga.	Base de Operações	Agente de Relacionamento com o RH	Janeiro/2012
Solicitar ao setor e RH as datas de vencimento dos treinamentos legais dos colaboradores	- Encaminhar e-mail para o setor de Desenvolvimento de Recursos Humanos	- Programar a liberação do colaborador para o treinamento na data agendada; - Alertar ao agente de relacionamento com o RH e o supervisor da necessidade de programar o treinamento legal.	Base de Operações	Gerente da U.M.	Dezembro/2011
Definir como meta: 100% dos treinamentos dos colaboradores sob tutela de cada supervisor.	- Inserir meta para os supervisores no módulo de Desenvolvimento de Pessoas do ERP	- Incentivo para os supervisores liberarem os colaboradores para os treinamentos.	Unidade Marítima	Gerente da U.M	Abril/2012
Comunicar o colaborador por Telegrama e telefone sobre a data do treinamento legal e requisitos	- Encaminhar Telegrama - Ligar para o número de telefone registrado na ficha pessoal.	- Garantir que o colaborador em folga saberá a data e local do treinamento.	Base de Operações	Agente de Relacionamento com o RH	Dezembro/2011

(continua)

(continuação)

Solicitar ao RH remanejamento de turmas para o treinamento seja realizado no período de embarque	- Encaminhar e-mail para o setor de Desenvolvimento de Recursos Humanos	- Garantir que o empregado não fique com treinamento vencido por impossibilidade e de comparecimento por problemas pessoais (folga) ou necessidade da UM.	Base de Operações	Agente de Relacionamento com o RH	Janeiro/2012
Inserir nos documentos de contratação o requisito de treinamento em Operação e Manutenção	- Solicitar ao setor de contratação de bens orientação sobre redação da solicitação	- Garantir que os operadores e mantenedores conheçam os novos equipamentos e o procedimento corretos de operação e manutenção	Base de Operações	Engenheiros de Manutenção da UM	Mai/2012
Verificar na programação de cursos da Universidade Corporativa os que o programa atende a matriz de treinamento	- Solicitar à Universidade Corporativa o cronograma de cursos e conteúdo programático.	- Minimizar os custos de treinamentos com a contratação de entidades externas.	Base de Operações	Agente de Relacionamento com o RH	Julho/2012

#### 4.8. Considerações do Estudo de Caso

Este Estudo de Caso apresentou uma aplicação da teoria das restrições e seu Processo de Raciocínio na Gestão de Manutenção de uma Unidade Marítima de Produção de Petróleo e Gás.

O Processo de Raciocínio foi aplicado através da utilização de seus diagramas: Uma ARA (Árvore de Realidade Atual) foi utilizada para encontrar o problema-raiz da Gestão da Manutenção. O oposto deste problema-raiz gerou um objetivo que não poderia ser alcançado devido a um conflito.

Um DDN (Diagrama de Dispersão de Nuvem) foi utilizado para encontrar uma injeção, uma idéia que quando posta em prática dissolve o conflito, permitindo a solução do problema-raiz.

Uma solução pode trazer novos problemas ou ser insuficiente, então, foi utilizada uma ARF (Árvore de Realidade Futura) para verificar eficácia da solução proposta e nova injeção foi encontrada.

Árvores de Pré-Requisitos (APR) foram utilizadas para determinar os pontos de resistência a mudança, estes pontos geraram os chamados Objetivos Intermediários que uma vez alcançados vencerão as resistências.

Por fim, utilizamos Árvores de Transição para gerar um plano de implementação com ações para alcançar os objetivos intermediários, superando com isto as resistências à mudanças e atingido as injeções e alcançando os resultados desejáveis.

Foi encontrado farto material sobre a utilização das ferramentas do processo de raciocínio mas sua utilização não é simples, exigindo um conhecimento prévio do negócio onde será aplicado, ou cercado de pessoas que conheçam, e um grande número de revisões, principalmente na elaboração da Árvore de Realidade Futura. Importante salientar, que na literatura, não foi encontrada aplicação na área de serviços de manutenção.

Os diagramas foram apresentados para os supervisores e coordenadores durante sua elaboração e após a conclusão para validação e o plano de ação está em fase de implementação, com algumas ações já implementadas, listadas abaixo:

- Listar os equipamentos Obsoletos;

Os engenheiros de manutenção lotados na base de operações, com o apoio dos supervisores de manutenção, listaram os equipamentos obsoletos e eles são os seguintes:

- 02 motores de bombas de Incêndio;
- 01 Moto-Gerador de Emergência

- 03 compressores de ar
  - Válvulas borboleta do Anel de Incêndio
  - 02 Guindastes
  - 01 Sistema Ininterrupto de Energia, também chamado de UPS - *Uninterruptible Power Supply*, para iluminação de emergência e equipamentos essenciais
  - 01 Banco de Baterias do sistema de Telecomunicações.
- Fazer Busca pelos **equipamentos** no módulo de materiais do ERP da Empresa

Em busca realizada foram encontrados 02 equipamentos em estoque que depois de negociação com as áreas da empresa que os compraram foram disponibilizados para aplicação na unidade marítima do estudo de caso, eles são os seguintes:

- 01 motor de bombas de Incêndio - O projeto para o qual foi adquirido foi revisto e não era mais necessário.
  - 01 Moto-Gerador de Emergência - Uma mudança de normas fez com que sua especificação não atendesse os requisitos para a unidade para o qual foi originalmente adquirido.
- Preparar escopo e cronograma das obras para instalação dos novos equipamentos

As obras para instalação dos novos equipamentos foram baseadas no projeto de instalação dos equipamentos antigos e foi verificado que apenas as bombas de incêndio, o moto-gerador e os compressores necessitam de grandes obras para instalação.

Os projetos finais das obras e os cronogramas de instalação do motor da bomba de incêndio e do moto-gerador de emergência, já em estoque, foram entregues em abril/2012. As obras serão divididas em duas fases, a primeira com 45 dias de duração e com início previsto para Julho/2012, contempla as facilidades para movimentação dos equipamentos até o local de instalação

devido seu tamanho e massa. A segunda fase, que contempla a instalação final e testes de funcionamento está em fase de contratação junto ao fabricante.

O cronograma de instalação dos demais equipamentos foi influenciado pelos prazos de aquisição dos equipamentos, sendo o tempo indicado abaixo o tempo de entrega pelo fabricante após a colocação do pedido:

- Motor de bombas de Incêndio: 18 meses
- Compressor de ar: 210 dias
- Válvula borboleta do Anel de Incêndio: 270 dias
- Guindaste - 19 meses
- Sistema Ininterrupto de Energia - 120 dias
- Banco de Baterias do sistema de Telecomunicações - 90 dias

– **Fazer orçamento dos equipamentos e das obras para instalação dos novos equipamentos**

Os novos equipamentos e as obras para sua instalação foram orçados em US\$9,5 milhões. Os valores foram obtidos através dos valores de compras de equipamentos semelhantes nos últimos 12 meses e no escopo das obras para instalação.

– **Inserir nos documentos de contratação os requisitos de projeto de instalação, montagem, acompanhamento de partida e treinamento em Operação e Manutenção.**

Os engenheiros de manutenção elaboraram os documentos de especificação técnica dos equipamentos e requisição de compra com a premissa que o fornecedor que vencesse a concorrência de fornecimento de cada equipamento também deveria fornecer o projeto de instalação, bem como executar a instalação e treinar os colaboradores em operação e manutenção dos novos equipamentos.

A maioria dos fornecedores informou que o requisito de treinamento e operação não influencia o preço final do equipamento sendo padrão o seu fornecimento.

– **Agendar os treinamentos legais com no mínimo 35 dias de antecedência**

A premissa de agendamento dos treinamentos legais com três meses de antecedência foi formalizada para os responsáveis, agente de relacionamento com o RH e supervisores, sendo que para os que estão com treinamento a vencer em 30 dias foi solicitado a marcação imediata para evitar ficar com o treinamento pendente.

A razão do prazo mínimo ser de 35 dias é devido a escala de trabalho dos funcionários ser de 14 x 21 dias.

– **Solicitar ao setor de RH as datas de vencimento dos treinamentos legais dos colaboradores**

Os responsáveis pelos treinamentos no setor de RH informaram que há um informativo que é publicado mensalmente com a lista dos colaboradores com treinamentos legais vencidos ou a vencer nos próximos 90 dias, e o acesso é liberado para todos os gerentes das UM e uma listagem com os colaboradores e as datas de realização dos treinamentos legais foram encaminhadas para os gerentes da UM.

O informativo e a listagem foram encaminhados para a agente de relacionamento e para os supervisores para marcar os treinamentos dos colaboradores e iniciar o processo.

– **Definir como meta: 100% dos treinamentos dos colaboradores sob tutela de cada supervisor.**

Os gerentes da UM definiram como meta para o processo de promoção e aumento por mérito dos supervisores de manutenção e operação que nenhum colaborador sob sua responsabilidade tenham treinamentos legais vencidos.

O processo é anual e o período de avaliação é de 01 ano, sendo que as medições possuem etapas intermediárias para renegociação das metas e justificativas. A medição final será realizada em março de 2013.

– **Comunicar o colaborador por telegrama e telefone sobre a data do treinamento legal e requisitos**

A prática de comunicação por telefone já é praticada pelas agentes de relacionamento pois segunda era comum os colaboradores alegarem faltas ao treinamento por não terem lido a comunicação via e-mail.

A comunicação via telegrama será encaminhada toda vez que a comunicação for realizada no período de folga do colaborador.

– **Solicitar ao RH remanejamento de turmas para o treinamento seja realizado no período de embarque**

A agente de relacionamento já colocou em prática esta ação, até porque existe um acordo com o sindicato da categoria que os treinamentos sejam realizados durante o período de embarque para não comprometer o período de descanso do colaborador. O setor de RH informou que sempre tentará remanejar os colaboradores mas a preferência sempre será de quem tem treinamento vencido ou a vencer em período menor que 30 dias.

– **Verificar na programação de cursos da Universidade Corporativa os que o programa atende a matriz de treinamento**

A Universidade Corporativa libera sua programação de treinamentos no mês de janeiro e ela é de livre acesso para toda a força de trabalho. Foi elaborada uma matriz de treinamento para com validade a partir de 2013 e esta submetida a validação do setor de assessoria técnica em equipamentos e manutenção.

A matriz de treinamento básica da UM é apresentada no quadro 4.9:

Quadro 4.8 – Matriz de treinamento básica da UM

Treinamento	Carga Horária	Função
Análise de falhas em equipamentos dinâmicos	24h	Supervisor de Mecânica
		Técnicos de Manutenção Mecânica
Bombas Centrífugas - Operação e Manutenção	40h	Supervisor de Produção
		Operadores de Produção
		Operadores de Sistemas
Controle de processo	40h	Coordenador de Produção
		Supervisor de Elétrica e Instrumentação
		Supervisor de Produção
		Operadores de Produção
		Operadores de Sistemas
Introdução a engenharia de confiabilidade	32h	Coordenadores
Manutenção de Motores Diesel – Caterpillar	24h	Técnicos de Manutenção Mecânica
Medição e análise de vibrações	32h	Técnicos de Manutenção Mecânica
Planejamento, Programação e controle de manutenção	40h	Coordenador de Manutenção
		Supervisor de Mecânica
		Supervisor de Elétrica e Instrumentação
Controlador Lógico Programável	40h	Técnicos de Manutenção de Instrumentação e automação
Retificadores	40h	Técnicos de Manutenção Elétrica
		Técnicos de Manutenção de Instrumentação e automação
		Operadores de Facilidade Elétrica
UPS	24h	Técnicos de Manutenção Elétrica
		Operadores de Facilidade Elétrica
Variador de Frequência	24h	Técnicos de Manutenção Elétrica
		Operadores de Facilidade Elétrica

Até Abril/2012 a unidade marítima não possuía nenhum colaborador com treinamentos legais vencidos e foram realizadas algumas programações para treinamentos de desenvolvimento técnicos presentes na matriz, entre eles,

- Análise de falhas em equipamentos dinâmicos: 01 técnico de manutenção mecânica e 01 supervisor de mecânica.

O investimento para substituição dos equipamentos obsoletos foi inserido no escopo do projeto de revitalização da UM.

A TOC e suas ferramentas do Processo de Raciocínio podem ser utilizadas na gestão da manutenção de uma unidade marítima de produção de petróleo e gás, ajudando na focalização dos problemas.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste capítulo são apresentadas as conclusões desta dissertação, composta pelas considerações finais, por suas limitações e por fim, sugestões para trabalhos futuros

#### **5.1. Aspectos Gerais**

Esta dissertação cumpriu seu objetivo principal ao verificar a viabilidade da aplicação dos conceitos da Teoria das Restrições na atividade de manutenção de uma unidade marítima de produção na indústria petrolífera upstream, principalmente no que tange as ferramentas do Processo de Raciocínio para resolução dos problemas na área de manutenção da unidade marítima de produção de óleo e gás.

Com a utilização das cinco ferramentas do Processo de Raciocínio definiu-se o que mudar, para o que mudar e como mudar de forma a eliminar o problema raiz e conseqüentemente seus efeitos indesejáveis.

Durante a revisão bibliográfica foi grande a dificuldade em obtenção de bibliografia sobre o processo de raciocínio, já que a maioria da bibliografia tratava da aplicação TOC em sistema de produção de bens, notadamente a aplicação do TPC. A literatura no Brasil basicamente limita-se a obra do Goldratt e alguns de seus colaboradores.

A utilização das ferramentas do processo de raciocínio foi facilitada pela experiência do autor em ferramentas como FTA (*Fault Tree Analysis*) mas mesmo assim exigiu a leitura repetidas vezes do material pesquisado para um melhor entendimento. O processo de raciocínio foi apresentado para dois gerentes da unidade marítima que manifestaram que o resultado era claro mas o entendimento sobre o uso das ferramentas não era tão simples.

As árvores e diagramas do processo de raciocínio foram apresentadas e lidos para quatro supervisores de manutenção, dos 10 existentes, que concordaram com o resultado.

Sobre os problemas da manutenção, chamou atenção a pouca importância dada a manutenção preditiva pela liderança da manutenção e ausência de indicadores que indiquem como anda a eficácia da manutenção realizada. Isto pode ser parcialmente explicado pela ausência de treinamentos na área de engenharia de confiabilidade e planejamento da manutenção pela liderança (coordenadores e supervisores). Não se sente falta daquilo que não se conhece. A ausência de treinamentos nestas áreas foi verificada através de seus currículos disponíveis no módulo de RH do ERP.

Foi verificado que existe um desnivelamento entre as atribuições do programador de manutenção e dos supervisores, sendo que estes últimos executam tarefas que poderiam ser realizadas pelo programador, como por exemplo, o preenchimento das permissões para liberação de execução das ordens de serviço. Questionados os coordenadores de manutenção foi informado que esta mudança está em curso com previsão de conclusão até o final de 2012.

As exigências do regulamento técnico da Resolução Nº 43 da ANP aumentaram a cobrança sobre a efetividade da manutenção na unidade marítima e deixou claro a sua relação direta com a segurança das pessoas e da instalação.

Através do estudo de caso realizado em uma unidade marítima de produção, foram propostas ações que foram ou estão sendo implementadas para melhoria da área de manutenção.

A indústria petrolífera é intensiva em capital e conhecimento e o resultado deste trabalho mostrou que investir em treinamento é importante para as organizações atingirem seus objetivos e metas. Sem pessoas devidamente treinadas para executar suas atividades e até criticar o como elas são executadas não há evolução.

A TOC e suas ferramentas do Processo de Raciocínio podem ser utilizadas na gestão da manutenção de uma unidade marítima de produção de petróleo e gás, ajudando na focalização dos problemas.

## **5.2. Limitações da Dissertação**

Este trabalho se caracteriza pela aplicação do Processo de Raciocínio da Teoria das Restrições na área de manutenção da unidade marítima de produção de óleo e gás, um estudo de caso.

Quando aplicado o Processo de Raciocínio da Teoria das Restrições na área de manutenção de outras unidades unidade marítima os resultados deverão ser diferentes devido as suas particularidades, problemas diferentes.

A aplicação da metodologia TPC (tambor-pulmão-corda) na programação dos trabalhos de manutenção não faz parte dos objetivos deste trabalho.

## **5.3. Sugestões para Trabalhos futuros**

Sugere-se que após a implementação das ações indicadas deste trabalho seja utilizado o processo de focalização das 5 etapas para verificar quais são as novas restrições.

Para os novos equipamentos sugere-se que seja calculada a confiabilidade destes equipamentos e utilizados indicadores que indiquem a eficácia da manutenção, como o Tempo Médio Entre Falhas ou MTBF (*Mean Time Between Failures*), de forma a verificar se este também não é um problema e um acompanhamento do ciclo de vida das mudanças.

Para selecionar os Efeitos Indesejáveis foram coletadas as opiniões da força de trabalho da área de manutenção da Unidade Marítima, os

especialistas. Propõem-se a aplicação do teorema de Bayes, a exemplo do que é utilizado no trabalho de Jacinto, Garcia e Droguett (2006) para tratamento destas opiniões a priori e a posteriori.

Por último, sugere-se a aplicação da metodologia TPC na programação da manutenção e comparar os resultados com a forma que a programação é executada atualmente. Existe uma lacuna na bibliografia sobre a utilização do TPC na programação da manutenção, onde o mais próximo encontrado foi o artigo de Chakravorty e Atwater (2004) sobre a utilização da TOC na manutenção preventiva.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **Confiabilidade e manutenibilidade: NBR ISO 5462**. Rio de Janeiro, 1994.

ALBERNAZ, C. M. R. M.; FREITAS, A. L. P. **Um modelo para avaliação da qualidade de serviços de suporte de Tecnologia da Informação**. Anais do XXX ENEGEP, 2010.

ALKAIM, J. L.. **Metodologia para incorporar conhecimento intensivo às tarefas de manutenção centrada na confiabilidade aplicada em ativos de sistemas elétricos**. Dissertação de Doutorado em Engenharia de Produção – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis. 2003.

ALVES, R. P.; FALSARELLA, O. M.. **Modelo conceitual de inteligência organizacional aplicada à função manutenção**. Revista Gestão e Produção., São Carlos, v. 16, n. 2, June 2009 . Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttextepid=S0104-530X2009000200013&lng=en&enrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttextepid=S0104-530X2009000200013&lng=en&enrm=iso)>. Acesso em 30 de maio 2012.

ANP. **RESOLUÇÃO Nº 43, de 06 de dezembro de 2007. Instituído o Regime de Segurança Operacional para as Instalações de Perfuração e Produção de Petróleo e Gás Natural**. Disponível em: [http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes\\_anp/2007/dezembro/ranp%2043%20-%202007.xml](http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2007/dezembro/ranp%2043%20-%202007.xml). Acesso em 03 junho de 2012.

ANTUNES, J.; ALVAREZ, R.; KLIPPEL, M; BORTOLOTTI, P; PELLEGRIN, I.. **Sistema de Produção: Conceitos e práticas para projetos e gestão da produção enxuta**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

ARATO JUNIOR, A. **Manutenção Preditiva: Usando Análise de Vibrações**. Barueri, SP: Manole, 2004.

AVRAHAM, Y.; GOLDRATT INSTITUTE. **The Theory of Constraints and its Thinking Processes: A Brief Introduction to TOC**. Disponível em: <<http://www.goldratt.com/pdfs/toctpwp.pdf>>. Acesso em 27 de abril de 2012.

BAGADIA, K.; KOSSIK, R. **CMMS: Three Categories of Mobile Maintenance**. Disponível em: <http://www.facilitiesnet.com/software/article/CMMS-Three-Categories-of-Mobile-Maintenance--10969#>. Acessa em 01 de junho de 2012.

BELHOT, R. V.; CAMPOS, F. C. **Relações entre manutenção e engenharia de produção: uma reflexão**. Prod., São Paulo, v. 5, n. 2, Dec. 1995 . Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttextepid=S0103-65131995000200001&lng=en&enrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttextepid=S0103-65131995000200001&lng=en&enrm=iso)>. Acesso em 27 de Maio de 2012.

BRANCO FILHO, G. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

CHAKRAVORTY, S.S.; ATWATER, J.B., **How theory of constraints can be used to direct preventive maintenance**, Industrial Management, Vol. 36 No. 6, 1994, pp. 10-13.

CORBERTT NETO, T.. **Livros e artigos sobre a TOC**. Disponível em: <http://www.corbett.pro.br/tocbiblio.asp#umbl1>. Acesso em 17 de maio de 2010.

CORBERTT NETO, T.. **Contabilidade de ganhos: a nova contabilidade gerencial de acordo com a teoria das restrições**. São Paulo: Nobel, 1997.

CORRÊA, H. L; CORRÊA, C. A. **Administração de Produção e Operações: Manufatura e Serviços**. 2° Edição. São Paulo: Atlas, 2009.

CORRÊA, H. L; GIANESI, I. G. N. **JUST IN TIME, MRP II E OPT: Um enfoque estratégico**. 2° Edição. São Paulo: Atlas, 2009.

COX III, J. F.; SPENCER, M., S. **Manual da teoria das restrições**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

DEDONATTO, O ; ROCHA NETO, A. ; GAZZONI, F.; MAZZIONI, S.. **Processo de raciocínio da teoria das restrições em empresa de planos de saúde**. RGO. Revista de Gestão Organizacional (UNOCHAPECÓ), v. 1, p. 20-30, 2008.

FERREIRA, A. H.. **Aspectos importantes na implantação da teoria das restrições na gestão da produção: um estudo multicaso**.. Dissertação de Mestrado em Administração apresentada a Universidade de São Paulo. São Paulo. 2007

FOGLIATTO, F. S ; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FRANCO, G. N.. **A teoria das restrições integrada a simulação em computador para a análise de viabilidade de mudanças em sistemas produtivos**.Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica apresentada a Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1998

FREITAS, A. L. P.; RODRIGUES, S. G. **A avaliação da confiabilidade de questionários: uma análise utilizando o coeficiente alfa de Cronbach**. XII Simpósio de Engenharia de Produção. Bauru, 2005.

GIL, A. C.. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991

GILBERT, J.P., FINCH, B.J. **Maintenance Management: Keeping Up with Production's Changing Trends and Technologies**. Journal of Operations Management, 6:1-12, Novembro 1985.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **A meta: Um processo de Melhoria Contínua**. São Paulo: Nobel, 2002.

GOLDRATT, E.M.; FOX, R.E. **A corrida pela vantagem competitiva.**São Paulo: Educator, 1994.

GOLDRATT, E.M. **A Síndrome do Palheiro: garimpendo informações num oceano de dados.** São Paulo: Educator, 1992.

GOLDRATT, E.M. **Corrente Crítica.** São Paulo: Nobel, 1998.

GOLDRATT, E. M. **Late night discussions on the Theory of Constraint.** United States of America: North River Press, 1992.

GOLDRATT, E. M. **Não é sorte: a aplicação dos processos de raciocínio da Teoria das Restrições.** São Paulo: Nobel, 2004.

GOLDRATT, E.M. **What is this thing called Theory of Constraints, and how should it be implemented?** United States of America: North River Press, 1990.

GOLDRATT, E. M.; SCHRAGENHEIM, E.; PTAK, C. A. **Necessária, sim, mas não suficiente.** São Paulo: Nobel, 2007.

GUSMÃO, C. A. **Índices de desempenho da manutenção - Um enfoque prático.** Disponível em <http://www.datastream.net/latinamerica/mm/articulos/default.asp>. Acesso em 16 de novembro de 2003.

GUSMÃO, S. L. **Proposição de Um Esquema Integrando a Teoria das Restrições e a Teoria dos Custos de Transação para Identificação e Análise de Restrições em Cadeias de Suprimentos: estudo de casos na cadeia de vinhos finos do Rio Grande do Sul.** Tese de Doutorado em Administração do Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.Porto Alegre, 2004

GUSMÃO, S. L.. **Um Modelo Conceitual para Integração do Just-in-Time com a Teoria das Restrições em Pequenas e Médias Empresas Industriais.** Dissertação de Mestrado em Administração do Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1998.

HIGERT, C. M. T. **Proposta de desenvolvimento de um método de tomada de decisão usando a Teoria das Restrições para sistemas de produção.** 2000. 0 f. Dissertação de Mestrado apresentado a Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

HORA, H. R. M.; MONTEIRO, G. T. R.; ARICA, J. **Confiabilidade em Questionários para Qualidade: Um Estudo com o Coeficiente Alfa de Cronbach.** Revista Produto e Produção, vol. 11, n. 2, p. 85 - 103, jun. 2010.

JACINTO, C. M. C. ; GARCIA, P. A. A. ; DROGUETT, E. A. L. . **Aspectos teóricos e metodológicos para a realização de uma análise quantitativa de risco na construção e restauração de poços**. Boletim de Geociências da PETROBRAS, v. 1, p. 157-182, 2006.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção - Função Estratégica**. Segunda edição. Rio de Janeiro: QualityMark, 2001.

KARDEC, A. ; NASCIF, J.; BARONI, T. **Gestão Estratégica e técnicas preditivas**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

KIM, S.; MABIN, V. J.; DAVIES, J. **The theory of constraints thinking process: retrospect and prospect**. International Journal of Operations & Production Management, v. 28, n. 2, p. 155-184, 2008.

LEVITT, J. **The Handbook of Maintenance Management**. 2. ed. USA: Industrial Press, 2009.

LEVITT, J.. **50 questions to help your CMMS search**. Disponível em: <http://www.plant-maintenance.com/articles/50questions.shtml>. Acesso em 30 de maio de 2012.

LUSTOSA, L.; MESQUITA, M. A.; QUELHAS, O.; OLIVEIRA, R. **Planejamento e Controle da Produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

MAINTENANCE 2000. **What is Total Productive Maintenance?** Disponível em: <http://http://www.maint2k.com/tpm-total-productive-maintenance-training.html>. Acesso em 16 de novembro de 2003.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de Marketing. Uma orientação aplicada**. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

MATTAR, F. N. **Pesquisa de Marketing : metodologia, planejamento**. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2005.

MOBLEY, R. K.; HIGGINS, L. R.; WIKOFF, D. J. **Maintenance Engineering Handbook**. 7° Edição. USA:McGraw-Hill, 2008.

MONCHY, F. **A Função Manutenção – Formação para a Gerência da Manutenção Industrial**. São Paulo, Editora Durban Ltda. / EDBRAS – Editora Brasileira Ltda, 1989.

NEI. **Quanto custa e como é a manutenção no Brasil/2007**. São Paulo: TL Publicações Eletrônicas Ltda, 2007. Disponível em: <<http://www.nei.com.br/artigos/artigo.aspx?i=60>>. Acesso em 7 de setembro. 2010.

NOREEN, E.; SMITH, D.; MACKEY, J.T. **A Teoria das Restrições e suas implicações na Contabilidade Gerencial**. São Paulo: Educator, 1996.

NUNES, E. L. **Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC): Análise da implantação de uma sistemática de manutenção preventiva consolidada..** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC. Florianópolis. 2001

ORDOÑES, R. **ANP interditou onze plataformas de petróleo desde agosto de 2010.** Disponível em : <http://oglobo.globo.com/economia/anp-interditou-onze-plataformas-de-petroleo-desde-agosto-de-2010-3419363#ixzz1wjmMr1W4> . Acesso em 03 de junho de 2012.

PALMER, R. D. **Maintenance Planning and Scheduling Handbook.** 2. ed. USA: McGraw-Hill, 2006.

PEREIRA, M. J. **Engenharia de Manutenção: Teoria e Prática.** Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2009.

PLANT MAINTENANCE RESOURCE CENTER. **CMMS Implementation Survey Results** - 2004. Disponível em: [http://www.plant-maintenance.com/articles/CMMS\\_survey\\_2004.shtml](http://www.plant-maintenance.com/articles/CMMS_survey_2004.shtml). Acesso em 30 de maio de 2012.

ROCHA NETO, A. **O processo de raciocínio da teoria das restrições em instituições de ensino superior : Um estudo de caso.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2001

ROSSATO, I.F. **Uma metodologia para a análise e solução de problema.** Florianópolis, Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistema da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 1996

SCAPIN, C. A. **Análise sistêmica de falhas.** Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

SELLITTO, M.A. **Processos de pensamento da TOC como alternativa sistêmica de análise organizacional: uma aplicação em saúde pública.** Gestão e Produção (Universidade Federal de São Carlos. Impresso), S. Carlos, v. 12, n. 1, p. 81-96, 2005.

SEONMIN K.; MABIN,V.J.; DAVIES,J. **The theory of constraints thinking processes: retrospect and prospect,** International Journal of Operations e Production Management, Vol. 28 Iss: 2, pp.155 – 184. 2008.

SLACK, N. ; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção.** 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

TAVARES, L. **Administração Moderna da Manutenção.** Segunda edição. Rio de Janeiro: Novo Polo Publicações, 1999.

TECHNOLOGY CONCEPTS GROUP. **What is CMMS?**. Disponível em: <http://www.cmmscity.com/articles/what-is-cmms/>. Acesso em 30 de maio de 2012.

Verri, L.A. **Gerenciamento pela qualidade total na manutenção industrial: aplicação prática**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007.

VIANA, H. R. G. **Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

WEIR, B.. **An Impartial View of CMMS Functions, Selection and Implementation**. Disponível em: [http://www.plant-maintenance.com/articles/CMMS\\_systems.shtml](http://www.plant-maintenance.com/articles/CMMS_systems.shtml). Acesso em 30 de maio de 2012.

WIREMAN, T. **Maintenance Work Management Process**. USA: Industrial Press, 2008.

WYREBSKI, J. **Manutenção Produtiva Total – Um Modelo Adaptado**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas do Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Belo Horizonte: Editora Desenvolvimento Gerencial, 2004.

YIN, Roberto K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 2.ed. São Paulo: Bookman, 2001.

## **APÊNDICE A - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA UNIDADE MARÍTIMA**

## Descrição

A unidade marítima possui os seguintes conveses:

- a. **Convés Superior:** Também é chamado de *Drilling Deck* e possui 66,50 m x 38,00 m. Foi projetado para as operações de Sondas de Produção Marítima, além de possuir oficina de manutenção e guindastes para movimentação de cargas.
- b. **Convés Intermediário:** Também é chamado de *Mezzanino Deck* e possui os vasos separadores de produção, hidrociclones, vaso flutuador e demais equipamentos de produção e facilidades.
- c. **Convés de Produção:** Também é chamado de *Production Deck* e é onde estão localizadas as Árvores de Natal Convencionais (ANC) dos poços, sala de painéis dos Turbo Geradores, oficina de manutenção e outros equipamentos do processo de produção.
- d. **Convés Inferior:** Também é chamado de *Cellar Deck* e é neste convés que estão localizados o sistema de transferência de óleo, o *manifold* de chegada dos poços satélites (ANM) e os demais equipamentos do processo de produção.
- e. **Spider Deck:** Neste convés estão localizados os suportes dos *risers* e tubulações.

O sistema de produção da UM estudada envolve uma estrutura submarina composta por poços produtores e injetores, linhas de fluxo do processo (produção, injeção de gás, injeção de água e umbilicais de controle), por equipamentos submarinos (ANM – Árvores de Natal Molhadas dos poços e PLET – *Pipeline End Terminal*). Também fazem parte deste sistema, as operações de transferência de óleo, realizadas através do oleoduto que liga a outras unidades marítimas.

Os poços produtores da unidade marítima estudada utilizam os métodos de elevação artificial designados por *gas lift* e bombeio centrífugo submerso.

Cada poço satélite está provido da sua árvore de natal molhada (ANM), operada da Plataforma através da Unidade Hidráulica. As linhas de produção entre as árvores de natal molhadas (ANM) e a plataforma são independentes e conectadas na mesma através de *risers* fixados na sua estrutura. Em cada linha de produção, próximas aos *risers*, estão instaladas duas (02) SDV's (Válvulas de *Shutdown*) para isolar a Plataforma dos poços quando houver condições anormais de processo ou por comando manual através da IHM (Interface Homem-Máquina).

Após os *risers*, as linhas de produção são então encaminhadas e conectadas aos três coletores: Produção "A", Produção "B" ou de Teste.) instalados no convés de Produção. Neste trecho, a montante dos coletores, está instalada em cada linha, uma válvula "choke" com o intuito de controlar a vazão de produção de cada poço.

### **Sistemas e Equipamentos da Unidade Marítima**

A complexidade de uma unidade marítima de produção é definida em função da quantidade de sistemas desta UM e dos equipamentos destes sistemas. Conseqüentemente, quanto mais complexa é uma unidade marítima mas complicado é a gestão das atividades de manutenção.

De forma a facilitar o gerenciamento da operação da unidade os sistemas foram agrupados em duas classes: Sistemas de Facilidades e Sistemas de Produção.

Os sistemas de Facilidades são os seguintes:

- Captação e distribuição de água salgada
- Água de resfriamento
- Água doce
- Água quente para o processo
- Ar comprimido
- Ar condicionado e ventilação

- Óleo diesel
- Combate a incêndio por água salgada
- Fixo de combate a incêndio por gás inerte
- Movimentação de carga
- Injeção de água

Os sistemas de Produção são os seguintes:

- Processamento de óleo
- Processamento de gás
- Injeção de gás
- Tratamento de água oleosa produzida
- Tratamento de águas e efluentes

## **1 - Sistema de Captação e distribuição de água salgada**

O propósito do Sistema é fornecer água do mar para planta de processo: Sistemas de injeção de água, Água de resfriamento, Combate a incêndio por água salgada e para produção de água industrial e potável através da Unidade de Dessalinização (UD). A água não utilizada pelos sistemas retorna ao mar (*overboard*).

A captação da água do mar é utiliza duas motobombas elétricas centrífugas de captação vertical, sendo na configuração 1 de 2, ou seja, uma operando e outra reserva.

Na entrada dessas bombas é injetado hipoclorito de sódio para uma concentração de água de 3 ppm devido à presença de microorganismos.

Na descarga das motobombas de captação, a água salgada passa por uma filtração grosseira que retém partículas maiores que 100  $\mu\text{m}$ , realizada por dois filtros, sendo um para cada bomba. Após a filtração, a água salgada segue para os dois permutadores de calor de placa para resfriar a água do sistema de água de resfriamento (água industrial dentro de um circuito fechado).

## **2 - Sistema de Água de resfriamento**

O sistema é fechado utilizando água doce e tem como objetivo receber a energia térmica em excesso das correntes de processo.

A água doce é bombeada por bombas centrífugas numa configuração 2 em 3, ou seja, duas operando e uma na reserva. Segue fria para os consumidores, onde através de permutadores próprios de cada consumidor, troca o calor. Retorna quente para os trocadores, onde é resfriada pela água do mar. A água retorna ao coletor de sucção das bombas centrífugas, iniciando novamente o ciclo.

A principal demanda de água de resfriamento ocorre no sistema de compressão de gás (turbocompressores e motocompressores); os demais usuários são: os compressores de ar de instrumento, a unidade de glicol, as bombas de injeção de água, as bombas de água quente, as turbinas dos turbogeradores, o sistema de ar condicionado.

## **3 - Sistema de Água doce**

O consumo de água doce divide-se em consumo de água para uso humano e para uso industrial.

A água potável é estocada em dois tanques de 50 m<sup>3</sup> situados no convés intermediário. Há duas bombas de água doce que conduzem a água para outros dois tanques situados no convés de inferior, com capacidade de 368 m<sup>3</sup>. A água desses dois tanques abastece o módulo de acomodações (Boiler, Cozinha e Banheiros), e a Sonda de Produção Marítima.

Para o recebimento de água doce de embarcações de apoio, existe uma tomada com conexão universal para mangueiras nas estações de recebimento, localizadas na Face Sul e na Face Norte do convés de produção junto das tomadas de óleo Diesel. A água recebida dos rebocadores é estocada nos tanque A/B do convés inferior para posteriormente ser bombeada para os tanques de água potável.

Há uma unidade de dessalinização por osmose reversa com capacidade de produção de 52 m<sup>3</sup>/dia de água doce que abastece qualquer tanque de água doce através das linhas de abastecimento.

#### **4 - Sistema de Água quente para o processo**

O sistema de água quente tem como objetivo transferir a energia térmica da água quente para as correntes de processo da planta, usando o calor residual dos gases de exaustão (~600 °C) dos turbogeradores para gerar água quente. A água quente é necessária para: aquecer a corrente de óleo produzida pelos poços até 70°C, e com isso facilitar a separação de óleo/água/gás; O sistema de água quente também é utilizado para aquecer a corrente de gás combustível.

Esse sistema é basicamente constituído de um circuito fechado de água quente. Para a circulação da água quente existem três bombas centrífugas com capacidade de 350 m<sup>3</sup>/h na configuração 2 de 3, onde duas operam em paralelo e uma fica na reserva, um vaso de expansão e dois recuperadores de calor. Os recuperadores de calor são permutadores tipo casco e tubo aletado, um para cada turbogerador onde a água circula através dos tubos e os gases quentes através do casco. O vaso de expansão é utilizado para atender as perdas por evaporação e ao volume requerido na expansão da água de aquecimento.

O controle de temperatura da água aquecida é manual, realizado por meio de indicador de temperatura (TI) instalado na linha de água quente logo na saída do recuperador. Caso a temperatura da água esteja abaixo do ponto de controle estabelecido (130°C a 135°C) o operador deverá regular a quantidade de gases de exaustão que passará pelo recuperador de calor, abrindo ou fechando os reguladores da chaminé, chamados de dampers. Desviando uma quantidade maior ou menor de gases de exaustão do turbogerador para o interior do recuperador de calor, aumenta ou diminui o calor fornecido à água quente, restabelecendo a temperatura da água ao valor pré-estabelecido (set-point) no TI.

## **5 - Sistema de Ar comprimido**

O ar comprimido requerido pelos instrumentos e outros serviços é provido por dois compressores de ar, na configuração 1 de 2, e uma unidade de secagem de ar. No caso de alto consumo do ar de serviço, a pressão do sistema cai e o compressor de reserva começa a operar.

O ar comprimido proveniente de qualquer compressor segue para o vaso de ar úmido que serve de pulmão para a unidade de secagem. O ar úmido passa através dos filtros iniciais com a finalidade de eliminar gotículas de água e óleo, seguindo para uma coluna de adsorção, em alumina, para eliminar sua umidade e, finalmente sendo novamente filtrada. O ar sai da filtração final completamente purificado e seco. Enquanto uma das colunas opera na secagem do ar a outra será reativada por uma parcela de ar seco que atravessa o aquecedor elétrico e entra na coluna para eliminar a umidade do material de adsorção. Depois da unidade de secagem o ar é enviado para o vaso de ar seco que serve de pulmão à rede de distribuição de ar de instrumentos. O ar de serviço é retirado numa conexão à montante. O ar seco é usado para instrumentos e serviço.

Os compressores são unidades do tipo rotativo, livres de óleo, de dois estágios de compressão, acionados por um motor elétrico com sistema de resfriamento do ar com água doce.

## **6 - Sistema de ar condicionado e ventilação**

Este sistema garante a climatização e a pressurização das áreas internas de escritórios, dormitórios, cozinha, refeitórios, salas de estar, banheiros e para as salas de painéis elétricos, sala de Transformadores, salas de controle, salas de UPS, sala Banco de Capacitores e salas de Baterias. É composto de seis unidades de ar condicionado e oito unidades de ventilação.

## **7 - Sistema de Óleo diesel**

O óleo diesel para combustível na plataforma é recebido por duas estações de recebimento localizadas nas faces sul e norte do convés de produção, através de barcos. Todo diesel que chega na plataforma é

considerado sujo e precisa ser filtrado. Após passar por um filtro, o diesel é enviado para um tanque de estocagem de diesel bruto com capacidade de 50 m<sup>3</sup>. O diesel bruto é enviado, por gravidade, para o tanque de diesel limpo, com capacidade de 100 m<sup>3</sup>, e depois bombeado aos consumidores através das bombas de distribuição A/B, na configuração 1 de 2.

Os consumidores de óleo diesel são: Motogerador de emergência, Bombas de Incêndio, Guindastes e a sonda do tipo SPM (Sonda de Produção Marítima). Se não houver consumo, uma válvula de controle, direciona o óleo diesel para o tanque limpo.

## **8 - Sistema de Combate a incêndio por água salgada**

O sistema é composto por uma tubulação que circula toda a plataforma e que se encontra pressurizada caso venha ocorrer um incêndio ela possa servir para combate do mesmo, o anel de incêndio, com diâmetro de 14" interligando 42 hidrantes. Os hidrantes do sistema são de saída dupla com 2 1/2" tendo sempre ao lado um armário com vários equipamentos de combate a incêndio, inclusive para produção de espuma nas áreas de processo. O anel de incêndio é mantido pressurizado por bombas de pressurização de água salgada, chamadas bombas Jockey, que mantém constantemente pressurizado a aproximadamente 12 kg/cm<sup>2</sup>.

Há três bombas do anel acionadas por motores diesel, cada uma com um tanque de óleo diesel com capacidade para 3 m<sup>3</sup>. Seus comandos podem ser locais, através do painel da motobomba ou remotos, com atuação pela IHM na sala de controle ou automáticos, através de chaves de pressão em pontos diversos no anel de incêndio.

Havendo demanda de água por abertura de hidrante, canhão ou dilúvio, e quando a pressão cair para 6,5 kg/cm<sup>2</sup>, um dos 03 pressostatos do anel enviará um sinal para o painel de intertravamento do CLP, Controlador Lógico Programável, da sala de controle de processo, que comandará automaticamente a partida das motobombas acionadas por motor diesel do sistema.

Em caso de queda de energia elétrica, da geração principal, irão parar as bombas jockey de pressurização do anel, o que ocasionará a partida das bombas diesel, que são tem partidas por banco de baterias, que estiverem em automático.

## 9 - Sistema fixo de combate a incêndio por gás inerte

O Sistema tem como objetivo detectar e extinguir o fogo através de inundação total por gás inerte, no caso CO<sub>2</sub>, na área efetiva de risco. O CO<sub>2</sub> diminui a concentração de oxigênio do ambiente fazendo com que o fogo não possa mais realizar o trabalho de combustão.

O Sistema é composto por 102 cilindros de armazenamento, válvula de abertura rápida, tubos coletores, acionador, bicos nebulizadores e detectores automáticos. Desses 102 cilindros, 51 são garrafas do banco principal e outras 51 no banco reserva, cada cilindro com 45 kgf/cm<sup>2</sup> de pressão.

Os cilindros de CO<sub>2</sub> são instalados em *racks* com um coletor geral de saída. Há um rack central de estocagem de CO<sub>2</sub> no convés intermediário, racks individuais para os compartimentos das turbinas, coifa da cozinha, sala dos transformadores da sonda e sala dos painéis elétricos do Sistema de Ventilação e Ar Condicionado. Os *racks* individuais são instalados adjacentes as áreas que protegem.

O acionamento desse sistema ocorre automaticamente nos locais não habitados e de forma manual nos locais habitados.

## 10 - Sistema de Movimentação de cargas

A movimentação de cargas é feita através de 04 guindastes que têm as seguintes características:

Localização	Capacidade
Convés Superior - Módulo 11	5,1t
Convés Superior - Módulo 7	5,1t
Convés Superior - Deck de Tubos da Sonda	18t
Convés Superior - Deck de Tubos da Sonda	18t

Tabela 1. Lista de guindastes da UM

Caso necessário, a movimentação de pessoal pode ser feita por via marítima com a utilização de cestas de transbordo através dos guindastes.

## **11 - Sistema de Injeção de água**

A injeção de água é o principal método para preservar a pressão no reservatório.

A água é captada no sistema de resfriamento após os trocadores de calor. Passa por filtros e o oxigênio dissolvido é retirado na desaeradora para evitar o desenvolvimento de microorganismos e diminuir a corrosividade natural da água do mar.

A água desaerada é mandada para os filtros de polimentos, através de bombas chamadas “BOOSTER”. Estas bombas servem para elevar a pressão da água desaerada a um nível tal que permita a etapa de filtração de polimento e também atenda ao NPSH requerido (na sucção) pelas bombas principais de injeção. A filtração de polimento é quem dá a qualidade final, em termos de tamanho de partículas em suspensão, à água de injeção. Na saída dos filtros é adicionado um inibidor de incrustação.

Após a filtração, a água é succionada pelas bombas principais de injeção, onde recebe energia suficiente para ser injetada nos poços de reservatório.

## **12 - Sistema de Processamento de óleo**

A planta de processo da unidade marítima é baseada em separadores horizontais (produção).

A planta possui dois trens de produção onde são distribuídas as correntes, cada um contendo seqüencialmente o permutador (aquecedor) e separador de produção.

A desestabilização de emulsões pela ação do calor é realizada pelos Aquecedores de Produção (água quente/óleo produzido). É ainda injetado produto químico tipo desemulsificante a montante dos separadores a fim de auxiliar na desestabilização da emulsão.

A planta de produção possui ainda um Separador de Teste (*start-up well*). É um separador trifásico dedicado, do tipo cilíndrico horizontal. Nele são determinadas as produções individuais dos poços, tanto de líquido como de gás, alinhando-se um poço por vez. Possui em sua saída de líquido um medidor do tipo mássico para determinação das vazões, bem como uma tomada de amostra para que sejam efetuadas as análises de teor de água (BSW) e densidade, entre outras.

### **13- Sistema de Processamento de gás**

O processamento do gás consiste na compressão e desidratação. O processamento do gás de alta pressão consiste no direcionamento para unidades de compressão (duas) sendo que cada uma é baseada em dois compressores (cada compressor correspondendo a um estágio de compressão). As duas unidades serão capazes de processar juntamente uma vazão total máxima de 1.800.000 Nm<sup>3</sup> de gás por dia (a 20°C e 101,3 kPa).

Em cada unidade de compressão, trocadores de calor (casco/tubo) resfriam o gás entre os estágios de compressão do gás através de um sistema fechado de água doce. Após o segundo estágio de compressão, o gás é enviado à unidade de desidratação para remoção de água. Esta unidade consiste de uma coluna de absorção à base de TEG (trietileno glicol – substância com caráter hidrófilo) além de um sistema de regeneração de TEG. A remoção de água visa evitar corrosão das paredes dos gasodutos e demais equipamentos além de evitar a formação futura de hidratos nos gasodutos.

Após o segundo estágio de compressão, o gás é enviado para o sistema de gás combustível, sistema de injeção de gás lift e finalmente exportado para plataformas adjacentes. No sistema de gás combustível, o gás é fornecido em duas especificações: alta pressão (20 Kgf/cm<sup>2</sup>) e baixa pressão (5 kgf/cm<sup>2</sup>). Os principais consumidores de gás combustível de alta pressão são basicamente os turbogeradores e turbocompressores. O gás de baixa pressão é fornecido para o desaerador (tratamento de água para injeção) e *flare*.

Os equipamentos da planta de processos possuem sistemas de despressurização automáticos para proteção. Os gases oriundos desses

sistemas são coletados por uma rede de tubulações que os direciona para o header de alívio.

O header de alívio encaminham o gás para os vasos do *flare*, onde é realizada a separação das gotículas de líquido arrastadas pelo gás. O gás isento de líquido é encaminhado para o *manifold* do *flare*, de onde escoo para o queimador. O líquido coletado na base desses vasos é enviado através de bombas para o sistema de processamento de óleo.

#### **14- Sistema de Injeção de gás**

A injeção de gás e método de elevação artificial de óleo e consiste na injeção contínua de parte do gás comprimido nos dois turbocompressores a uma pressão em torno de 102 kgf/cm<sup>2</sup>. O gás é direcionado para sistema de desidratação, podendo seguir para distribuição de gás *lift*, para exportação ou para servir como gás combustível.

Em alguns poços há a necessidade de injetar gas *lift* com pressão superior à pressão de gas *lift* fornecida pelos turbocompressores e essa demanda é suprida por dois motocompressores alternativos de duplo efeito (MCI) com capacidade máxima de vazão de 120.000m<sup>3</sup>/d, para o MCI -0900-01, e 240.000m<sup>3</sup>/d, para o MCI-0470-01, que eleva a pressão para 135 kgf/cm<sup>3</sup>

O gas *lift* é injetado no anular do poço e serve para reduzir o peso específico do fluido dentro da coluna de produção, facilitando a elevação do petróleo.

#### **15- Sistema de Tratamento de água oleosa produzida**

A unidade marítima trata e enquadra, em valores de teor de óleos e graxas (TOG) exigidos pelos órgãos ambientais, a água produzida antes descartá-la para o oceano. Este sistema trata em torno de 5000 m<sup>3</sup>/dia de água produzida.

A água produzida separada pelos separadores de produção e encaminhada para os hidrociclones. A fim de melhorar a qualidade da água a ser descartada é realizado injeção de produto químico (polieletrolito) no fluxo à

montante do hidrociclone, com a função de promover a aglutinação das gotas de óleo, ocorrendo assim, uma melhor separação das fases.

O óleo é direcionado para o vaso de drenagem pressurizada e bombeado desse vaso através das bombas A/B à montante dos permutadores cascos e tubo de óleo produzido. A água é direcionada para o vaso de tratamento de água oleosa, o qual tem a finalidade remover o gás e óleo ainda remanescente na água produzida. A água separada é direcionada por meio das bombas A/B para o sistema aberto de descarte de água produzida, denominado *Caisson*.

## **16- Tratamento de águas e efluentes**

O sistema de drenagem aberta da área classificada recolhe os efluentes oleosos dos *skids* de contenção e envia para o tanque de resíduos, de onde é bombeado pela bomba de drenagem para o vaso *slop* que retorna para o processo. A drenagem aberta das áreas não classificadas (composta de águas pluviais) é descartada diretamente ao mar.

O rejeito do sistema de drenagem fechada é direcionado diretamente ao vaso *slop*, onde retorna ao processo para reincorporar o óleo e descartar a água.

A quantidade de águas e efluentes tratados por esse sistema é variável.

**APÊNDICE B - FLUXOGRAMA DO PLANEJAMENTO E  
PROGRAMAÇÃO DA MANUTENÇÃO**

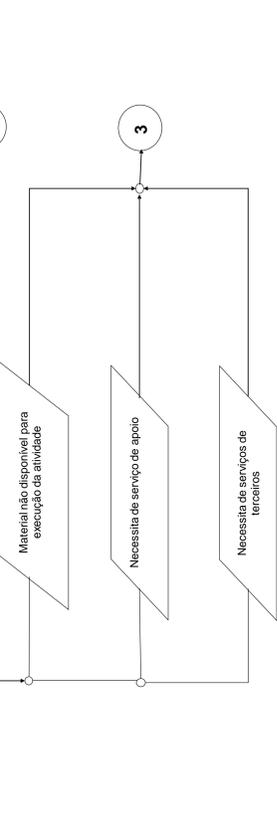
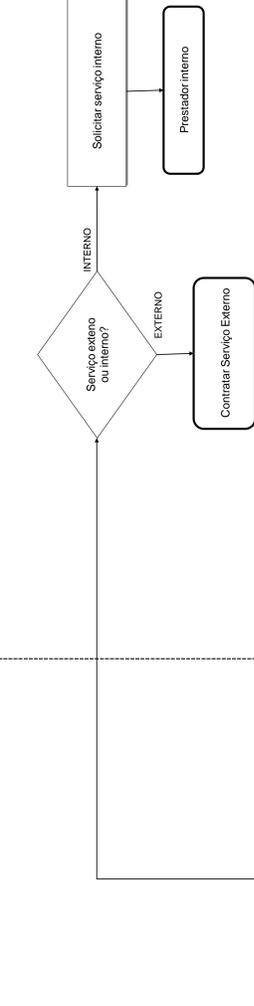
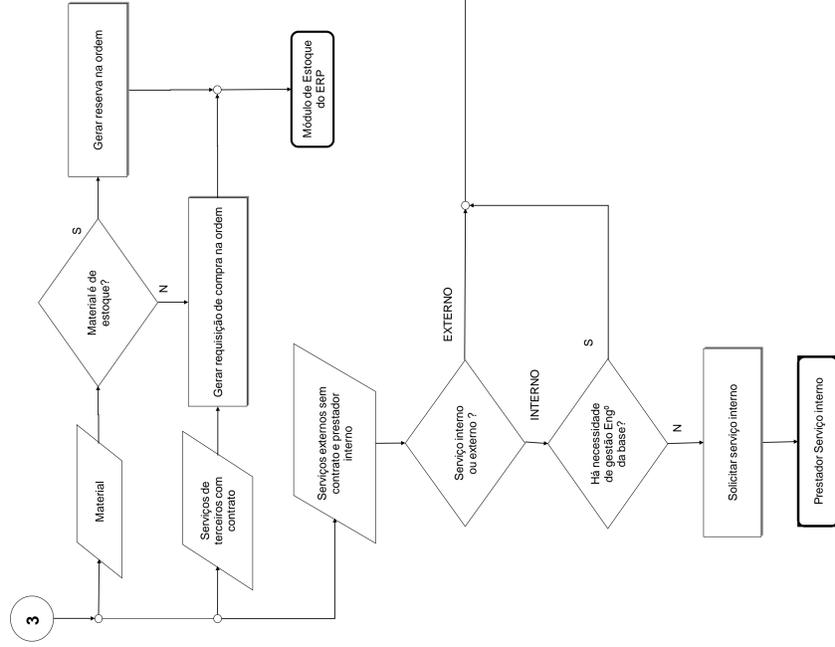
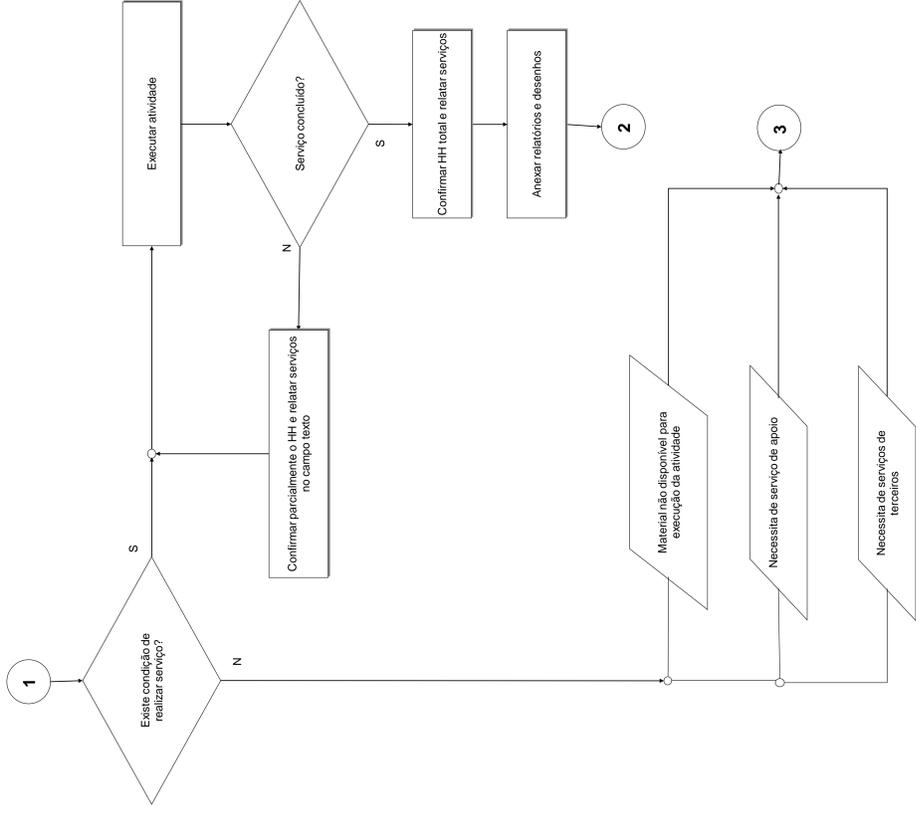
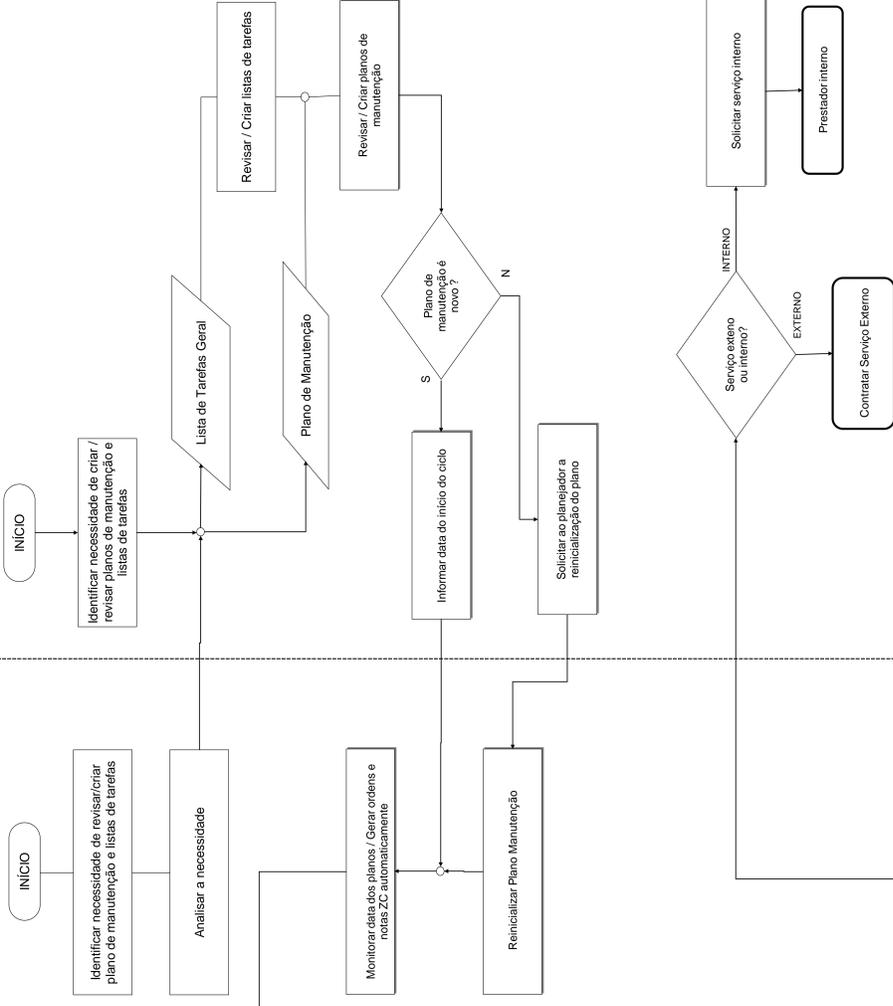
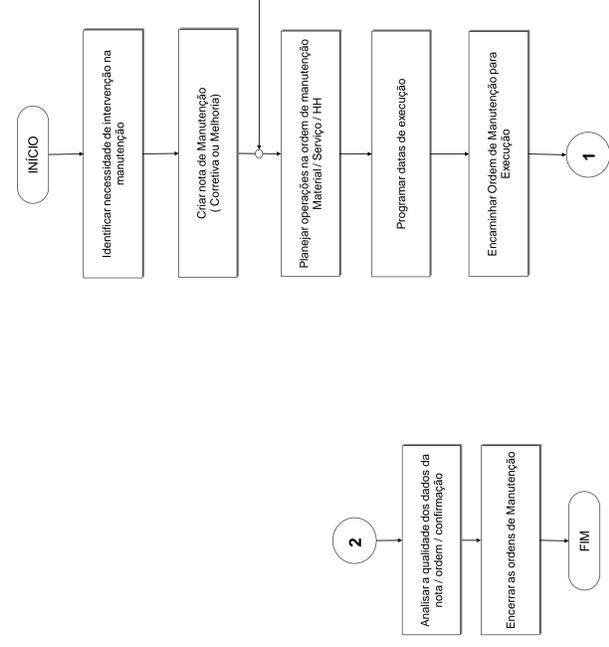
# Anexo 02 - Fluxograma Simplificado do Planejamento e Programação da Manutenção na Unidade Marítima

SUPERVISOR

PLANEJADOR DE MANUTENÇÃO (PM)

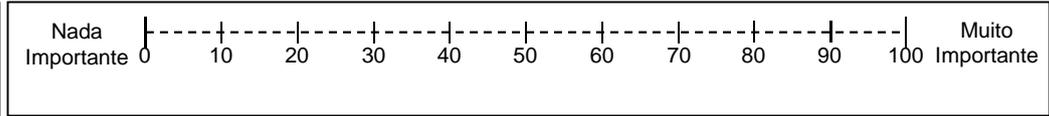
ENGENHEIRO DA BASE

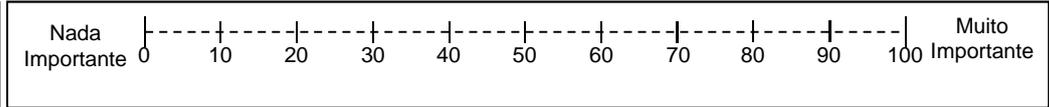
MANTENEDOR



## **APÊNDICE C - INSTRUMENTO DE PESQUISA**



Retrabalho ocasionado por não-conformidades na execução dos trabalhos de manutenção.	N. A.	
--	-------	--

Falta de discussão sobre a Estratégia para a área de manutenção da unidade	N. A.	
--	-------	--

**Informe outros aspectos que considerar IMPORTANTES em relação as RESTRIÇÕES NA GESTÃO DA MANUTENÇÃO**

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---