

**UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E URBANISMO**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**O USO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES NA DEFINIÇÃO DAS  
POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO**

**ALDO CÉSAR JULIATO**

**ORIENTADOR: PROF. DR. CARLOS ROBERTO CAMELLO LIMA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção.

**SANTA BÁRBARA D'OESTE**

**2005**

# **O USO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES NA DEFINIÇÃO DAS POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO**

**ALDO CÉSAR JULIATO**

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, em xx de fevereiro de 2005,  
pela Banca Examinadora constituída pelos Professores:

Prof. Dr. Carlos Roberto Camello Lima, Presidente  
UNIMEP

Prof. Dr. Néocles Alves Pereira  
UFSCar

Prof. Dr. Fernando Bernardi de Souza  
UNIMEP

Prof. Dr. Felipe Araujo Calarje (Suplente)  
UNIMEP

À

Minha Família

Especialmente a minha esposa, que colocou toda a sua paciência e compreensão durante este trabalho, jamais me deixando esmorecer, e também aos meus filhos a quem, minha esposa e eu, dedicamos toda nossa vida.

## **AGRADECIMENTOS**

À professora Rosângela M. Vanalle pela forma de conduzir suas aulas norteando com maestria nossa aquisição de conhecimento nas questões estratégicas.

À professora Maria Isabel Santoro pela orientação metodológica que muito contribuiu para este trabalho.

Ao professor Nivaldo Lemos Coppini pela forma como conduz o time, responsável pela pós-graduação.

Ao professor Silvio R. Pires, pela amizade e pela simplicidade como consegue envolver os alunos seja nas questões da cadeia de suprimentos como nas relativas à programação e controle da produção.

Ao professor Fernando Bernardi de Souza pelo fato de, muito embora tendo feito uma pequena participação em algumas aulas das quais participei durante este curso, conseguiu me cativar com seu entusiasmo voltado ao tema TOC, o que fez com que este projeto se tornasse realidade.

Ao professor Carlos Roberto Camello Lima pela sua competência nas disciplinas que estivemos trabalhando durante o curso e, especialmente, por ter aceitado o desafio de trabalharmos juntos neste trabalho que envolve um tema ainda tão novo, porém tão cativante.

À Secretaria da Pós-Graduação da Faculdade pelo suporte que nos deu durante o processo todo e, pela amizade demonstrada por todos.

Ao pessoal de apoio dos Laboratórios de Informática da UNIMEP e da Biblioteca, pelo auxílio nos acessos às informações, indispensáveis para este tipo de trabalho.

“Nenhuma vida jamais se tornará grande enquanto não for orientada,  
consagrada, disciplinada.”

Harry E. Fosdick

JULIATO, Aldo César. ***O Uso da Teoria das Restrições na Definição das Políticas de Manutenção***. 2005. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste.

## **RESUMO**

Este trabalho visa estabelecer um paralelo entre o que já fora adotado em relação às decisões baseadas na TOC (Teoria das Restrições) dentro de outras áreas da produção e sua possível aplicação dentro da área de manutenção. Seu intuito é o de contribuir para a correta tomada de decisão quando do estabelecimento das políticas de manutenção de uma unidade produtiva. Muito se tem percebido nas empresas a respeito da aplicação da análise de gargalos nos processos produtivos, porém, raramente de forma científica. Quando isso ocorre, normalmente ocorre de forma empírica. Daí a necessidade de um estudo mais aprofundado sobre aplicações já adotadas baseadas na análise da TOC e de se traçar um paralelo com a possibilidade de a área de manutenção fazer uso das mesmas práticas, porém adaptadas às suas necessidades específicas. De forma geral, pode-se afirmar que o maior objetivo deste trabalho é o de alavancar o uso da TOC dentro do setor de manutenção das empresas, a fim de contribuir para que a produção possa atingir os seus objetivos de desempenho.

**PALAVRAS-CHAVE:** Manutenção, Produção, TOC, Restrições, Gargalo.

JULIATO, Aldo César. ***O Uso da Teoria das Restrições na Definição das Políticas de Manutenção***. 2005. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste.

### **ABSTRACT**

*This essay was developed in order to establish a comparison between what has already been adopted regarding the decisions based on TOC (Theory of the Constraints) in the manufacturing areas and its possible application in the maintenance area. The objective is to contribute for the correct decision taking when establishing maintenance policies. A lot has been noticed in the companies regarding the practice of the bottleneck analysis in the manufacturing processes, although seldom in a scientific way and most of the times, in an empiric way. Therefore, the need of a deeper study on applications adopted based on the analysis of TOC arises as well as the tracing of a comparison to check the feasibility of the maintenance area using the same practices, even though they should be adapted to its own needs. Overall, it can be stated that the main objective of this essay is to intensify the use of TOC by the maintenance areas inside the companies, aimed at helping the manufacturing areas reach their performance goals.*

**KEYWORDS:** *Maintenance, Production, TOC, Constraints, Bottleneck.*

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VII</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>X</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1. RELEVÂNCIA DO TEMA.....	12
1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA.....	13
1.3. METODOLOGIA E ESTRUTURA DO TRABALHO.....	13
<b>2. ESTRATÉGIA DE PRODUÇÃO E A MANUTENÇÃO</b> .....	<b>14</b>
2.1. A PRODUÇÃO COMO ÁREA FUNCIONAL ESTRATÉGICA.....	14
2.2. MANUTENÇÃO COMO PARTE DA ÁREA FUNCIONAL DA PRODUÇÃO.....	22
<b>3. A TEORIA DAS RESTRIÇÕES (TOC) E SEU PAPEL NA PRODUÇÃO</b> .....	<b>26</b>
3.1. A TOC COMO CIÊNCIA.....	26
3.2. O RACIOCÍNIO LÓGICO DA TOC .....	27
3.3. A BUSCA DO IDEAL FOCADO EM GANHOS.....	30
3.4. A TOC VOLTADA PARA A PRODUÇÃO .....	34
3.5. GERENCIAMENTO DO PULMÃO.....	35
3.6. IMPACTO DA TOC NAS POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO .....	41
<b>4. MANUTENÇÃO: APOIO OU RESTRIÇÃO À PRODUÇÃO?</b> .....	<b>47</b>
4.1. MANUTENÇÃO TRADICIONAL E SUAS POLÍTICAS .....	47
4.2. TPM ( <i>TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE</i> ) .....	51
4.3. RCM ( <i>RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE</i> ).....	56
4.4. MANUTENÇÃO COMO APOIO ÀS POLÍTICAS DE PRODUÇÃO .....	61
<b>5. A TOC COMO APOIO ÀS POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO</b> .....	<b>64</b>
5.1. A CRITICIDADE DAS MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS .....	64
5.2. APLICAÇÃO DA TOC E GERAÇÃO DO MODELO.....	65
<b>6. O MODELO</b> .....	<b>68</b>
6.1. DESENHO DO MODELO .....	68
6.2. ANÁLISE DO MODELO.....	70
<b>7. CONCLUSÕES</b> .....	<b>78</b>
7.1. TRABALHOS FUTUROS .....	79
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>80</b>

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

<i>ABC</i>	<i>Activity Based Cost ou Custo Baseado em Atividades</i>
<i>APS</i>	<i>Advanced Planning Schedule ou Programa de Planejamento Avançado</i>
<i>ARA</i>	<i>Árvore da Realidade Atual</i>
<i>DBR</i>	<i>Drum-Buffer-Rope ou Tambor-Pulmão-Corda</i>
<i>JIT</i>	<i>Just-In-Time ou Produção no Momento Preciso</i>
<i>MPS</i>	<i>Master Production Schedule ou Programa Mestre de Produção</i>
<i>MRP</i>	<i>Material Resource Planning ou Planejamento de Necessidade de Materiais</i>
<i>MRS</i>	<i>Material Resource Schedule ou Programação de Entrega de Materiais</i>
<i>MTBF</i>	<i>Mean Time Between Failure ou Tempo Médio entre Falhas</i>
<i>MTRR</i>	<i>Mean Time To Repair ou Tempo Médio para o Reparo</i>
<i>OPT</i>	<i>Optimized Production Technology ou Tecnologia Aplicada à Otimização da Produção</i>
<i>P&amp;D</i>	<i>Pesquisa e Desenvolvimento</i>
<i>RCM</i>	<i>Reliability-Centred Maintenance ou Manutenção Centrada em Confiabilidade</i>
<i>ROG</i>	<i>Rendimento Operacional Global</i>
<i>RRC</i>	<i>Recurso com Restrição de Capacidade</i>
<i>SDBR</i>	<i>Simplified Drum-Buffer-Rope ou Tambor-Pulmão-Corda Simplificado</i>
<i>SMI</i>	<i>Strategic Manufacturing Initiatives ou Iniciativas das Estratégias de Produção</i>
<i>TPM</i>	<i>Total Productive Maintenance ou Manutenção Produtiva Total</i>
<i>TQC</i>	<i>Total Quality Control ou Controle da Qualidade Total</i>
<i>TOC</i>	<i>Theory of Constraints ou Teoria das Restrições</i>
<i>UN</i>	<i>Unidades de Negócio</i>
<i>WIP</i>	<i>Work In Processes ou Estoque Intermediário de Materiais</i>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ORGANOGRAMA DE UMA EMPRESA MANUFATUREIRA NORTE AMERICANA.....	16
FIGURA 2 – VISÃO INTEGRADA DO PLANEJAMENTO DAS ESTRATÉGIAS DE PRODUÇÃO.....	21
FIGURA 3 – MODELO DE ESTRATÉGIAS DE PRODUÇÃO.....	23
FIGURA 4 – DECISÕES/INFLUÊNCIAS EM DIFERENTES NÍVEIS DA HIERARQUIA ESTRATÉGICA.....	24
FIGURA 5 – ADAPTADA DE UM EXEMPLO DE SISTEMA PRODUÇÃO.....	43
FIGURA 6 – MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL - TPM.....	53
FIGURA 7 – ANÁLISE DE EFEITOS E MODOS DE FALHA (FMEA).....	58
FIGURA 8 – VISÕES DIFERENTES SOBRE FALHAS.....	60
FIGURA 9 – MODELO PARA GERENCIAMENTO DAS POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO À LUZ DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES.....	69
FIGURA 10 – TENDÊNCIA DE ESFORÇO DA MANUTENÇÃO EM RELAÇÃO AO RRC.....	76

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1- CAPACIDADE INICIAL REQUERIDA .....	44
TABELA 2- CAPACIDADE REQUERIDA SEM TEMPO PERDIDO EM B, C E D .....	44
TABELA 3. PRIORIDADE INICIAL POR PRODUTO .....	44
TABELA 4- CAPACIDADE REQUERIDA SEM TEMPO PERDIDO EM A.....	45
TABELA 5- CAPACIDADE REQUERIDA SEM TEMPO PERDIDO EM A E B .....	45

## **1. INTRODUÇÃO**

A Teoria das Restrições (TOC - *Theory Of Constraints*) tem, nos últimos anos, conquistado certo espaço dentro dos processos de produção. Na maioria das vezes, tem sido utilizada na priorização dos recursos restritivos envolvidos nos processos produtivos, sempre buscando corrigir um tempo perdido, seja por falta de programa ou, ainda, por políticas de pessoal, que fazem com que as restrições tenham sua operação interrompida, entre outros. Porém, a interrupção inesperada dos recursos produtivos é o que mais tem preocupado a área administrativa da produção, já que impede o cumprimento dos programas de produção estabelecidos. Por este motivo, os órgãos de manutenção têm desenvolvido técnicas para diminuir os impactos dos tempos perdidos por motivo de manutenção nas máquinas e equipamentos de produção. Tais técnicas, no entanto, muitas vezes exigem um alto investimento adicional que, se mal empregado nos recursos produtivos, pode causar um custo adicional desnecessário no processo de manutenção, além de perda da flexibilização do processo produtivo.

### **1.1. RELEVÂNCIA DO TEMA**

Tendo percebido que as empresas, cada dia mais, estão preocupadas com questões tais como produtividade, flexibilidade, custos, qualidade, entre outras, que levam a um maior ou menor grau de competitividade, nota-se que, na atualidade, vêm aumentando consideravelmente o universo de publicações focadas na melhoria dos processos de produção, muitas delas baseadas no uso da TOC aplicada à produção. A partir das estruturas organizacionais hoje montadas, e que têm a área de manutenção incorporada à área de produção, foi vislumbrada a possibilidade da aplicação da TOC como instrumento de determinação do grau de criticidade das máquinas e equipamentos no ambiente fabril, visando uma melhor adequação das políticas de manutenção como parte da estratégia de produção. Assumindo, então, a área de

manutenção como parte integrante da produção, e que os temas TOC e produção têm sido explorados conjuntamente, pode-se deduzir que, se o tema manutenção for analisado conjuntamente com o tema produção, aumenta-se a probabilidade de êxito na implementação de políticas de manutenção mais adequadas quando baseadas no raciocínio lógico da TOC.

## **1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA**

Este trabalho tem como objetivo criar um modelo de análise adequado para o estabelecimento de políticas de manutenção à luz da Teoria das Restrições através de:

- Estudos da TOC em questões inerentes à criticidade quando da necessidade de recursos;
- Estudo das metodologias TPM (Manutenção Produtiva Total) e RCM (Manutenção Centrada em Confiabilidade), metodologias de manutenção mais discutidas atualmente nas empresas consideradas de classe mundial;
- Avaliação da Capacidade, Disponibilidade e Confiabilidade nas metodologias TPM, RCM e na TOC.

## **1.3. METODOLOGIA E ESTRUTURA DO TRABALHO**

Este trabalho foi estruturado baseado na escassez de material teórico suficiente que combine as questões da manutenção e TOC e também a partir da hipótese de se aplicar a TOC na definição das Políticas de Manutenção. Todo ele será baseado em pesquisa bibliográfica, passando pelo estudo do conteúdo anteriormente citado no item 1.2, até a formulação de um modelo teórico para aplicação na área de manutenção, modelo este que objetiva atingir um valor teórico até sua possível validação em projetos futuros.

## **2. ESTRATÉGIA DE PRODUÇÃO E A MANUTENÇÃO**

Este capítulo apresenta conceitos sobre Estratégia de Produção e onde as questões de manutenção podem contribuir com os objetivos estratégicos da produção. Observa-se que é do planejamento estratégico, nos seus mais diversos níveis hierárquicos, que nascem os objetivos de desempenho. Desde a década de 70, a produção tem-se preocupado em trabalhar por objetivos (BUFFA, 1979). A partir deste pensamento, nota-se, então, o direcionamento que leva às diversas áreas funcionais a formular suas próprias estratégias, e estas têm como função principal estabelecer objetivos de desempenho próprios, os quais, depois de atendidos, devem levar ao atendimento dos objetivos corporativos. Esta forma de estabelecer estratégia voltada a colocar a empresa no rol das empresas classe mundial é uma necessidade premente das empresas que pretendem ampliar suas fronteiras (AMATO NETO *et al*, 2001).

Várias podem ser as definições de estratégia de produção e, por isso, adotou-se neste trabalho aquela onde “Uma Estratégia de Produção é uma coleção de padrões de tomada de decisão acerca das categorias que as compõe” (HAYES, WEELWRIGHT e CLARK, 1988).

### **2.1. A PRODUÇÃO COMO ÁREA FUNCIONAL ESTRATÉGICA**

O importante é cuidar para que as estratégias desenvolvidas nas diversas áreas funcionais, incluindo a de produção, estejam em sintonia com as estratégias da empresa, e os objetivos determinados para a produção alinhados com os estabelecidos para a manutenção.

Nota-se que a formulação estratégica empresarial pode ser analisada em três níveis: primeiro, a estratégia corporativa, onde se encontra o tipo de negócio, o

ambiente, os recursos necessários, entre outras questões que a definem; em segundo lugar encontra-se a estratégia competitiva do negócio, a qual está mais voltada aos planos de ação que ela deve desenvolver para suportar a estratégia empresarial; por fim, têm-se as estratégias da função, que devem, além de suportar e viabilizar a estratégia competitiva da empresa, especificar como as unidades funcionais, em conjunto, poderão complementar sua estratégia de maneira integrada, incluindo-se aí, por conseguinte, o estabelecimento de políticas de produção (SLACK *et al*, 2002).

Para um melhor entendimento, na Figura 1 pode-se vislumbrar uma estrutura tipicamente norte-americana de organização manufatureira, ilustrada por Hayes, Weelwright e Clark (1988), onde a engenharia de manutenção está situada abaixo da divisão manufatureira. Ainda na mesma figura, observa-se a área de manufatura sendo dirigida por um único diretor, sendo que, abaixo dele, se encontra uma área de engenharia industrial/processos, que é comandada tecnicamente pela engenharia de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), hierarquicamente acima do diretor da divisão de produção. A engenharia industrial/processos, por sua vez, comanda tecnicamente a engenharia de manutenção, que responde administrativamente para uma gerência de planta, que está subordinada administrativamente ao diretor de produção. Este tipo de estrutura de dupla resposta muitas vezes pode gerar um descompasso no andamento das atividades, o qual será comentado com maiores detalhes posteriormente.

As políticas estabelecidas refletem medidas ou decisões que representam a própria estratégia competitiva da área funcional. Tais políticas englobam as questões relacionadas à capacidade, instalações, tecnologia, integração vertical, força de trabalho, qualidade, planejamento da produção e organização. Assim, a primeira proposta é a de certificar que decisões críticas na área produtiva suportem as prioridades definidas em nível corporativo (VOSS, 1992). Quanto à literatura a respeito de planejamento estratégico, tem-se observado um cuidado todo especial quanto ao planejamento, em relação ao modo como os objetivos, políticas e planos têm sido formulados e, depois, em

como se obter um sincronismo entre os diversos níveis organizacionais (SKINNER, 1985).

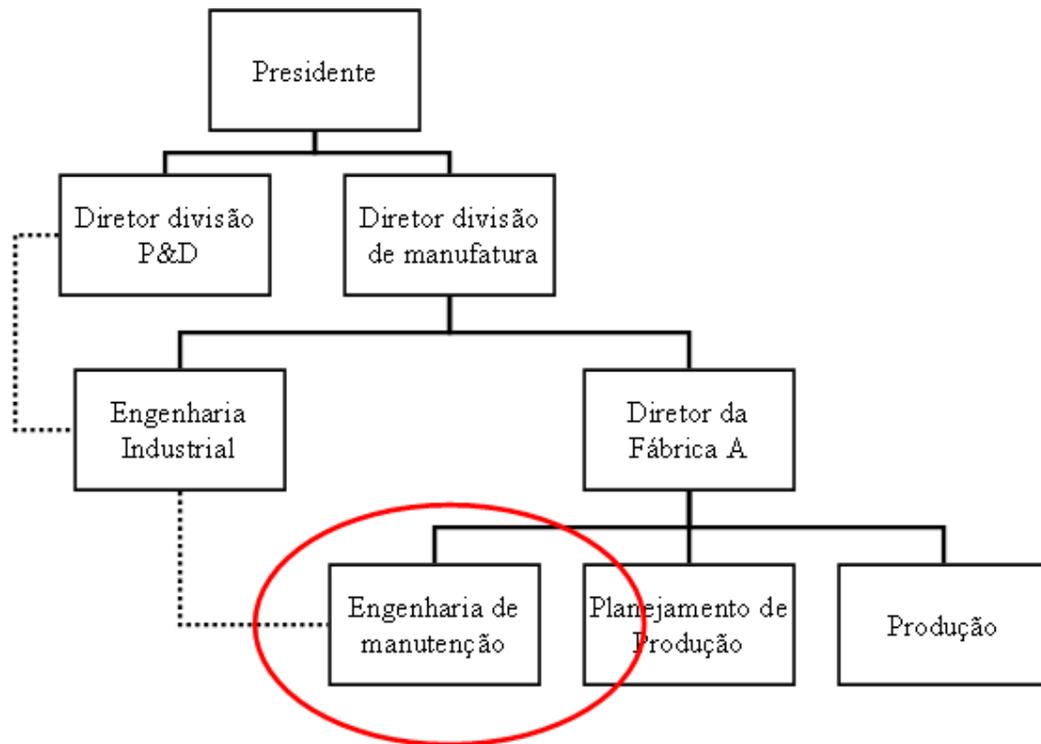


FIGURA 1 – ORGANOGRAMA DE UMA EMPRESA MANUFATUREIRA NORTE AMERICANA

FONTE: HAYES, WHEELWRIGHT E CLARK (1988:100).

Não é o objetivo principal deste trabalho, detalhar estratégia corporativa, mas sim, o de conceituar objetivos corporativos dentro das estratégias da organização. Sendo assim, podem-se definir objetivos corporativos como aqueles que levam a empresa a desenvolver uma vantagem competitiva (SLACK, 1993).

As estratégias de negócio devem estar alinhadas com as estratégias corporativas e funcionar como propulsores para o estabelecimento das estratégias nas áreas funcionais. Sendo assim, dever-se-ia ter o estabelecimento dos objetivos nos níveis funcionais de forma conjugada, onde

todas as áreas funcionais pudessem conhecer o estabelecido nos níveis maiores e, a partir deste conhecimento, definir seus próprios objetivos. Porém, muito se tem dito a respeito dos objetivos das áreas funcionais, mas pouco se tem explicitado de como estabelecê-los (CORREA, 1998).

Portanto, se uma empresa estabelece como objetivo corporativo ser a número um em prazo de entrega, quais serão os objetivos da produção para que estejam em linha com este objetivo corporativo? Neste caso, a função produção deve assumir a providência de “fazer as coisas com rapidez” ou minimizar o tempo entre a solicitação de bens ou serviços por parte do consumidor até que ele os receba. Assim se aumenta a disponibilidade e, conseqüentemente, atinge-se a vantagem da rapidez (SLACK, 1993).

Tendo, então, entendido que existe uma grande importância dos objetivos das áreas funcionais estarem em linha com os objetivos corporativos e, portanto, que eles servem de apoio às prioridades estratégicas, passa-se, agora, a discutir, com um pouco mais de profundidade, os objetivos das áreas funcionais, especialmente no tocante à área de manutenção, vista como uma parte da produção. Pode-se observar que, dentre as áreas funcionais, a área de manutenção, via de regra, tem se envolvido através do tempo mais proximamente das questões estratégicas da produção.

Quanto ao conceito das áreas de decisão das estratégias de produção, encontram-se várias delas que têm seu enfoque voltado para alguns aspectos particulares, porém, todas voltadas à produção. Sendo assim, dentre as áreas estruturais, encontram-se as das instalações industriais e a da tecnologia, e dentre as infra-estruturais, a do planejamento e controle da produção e materiais (WEELWRIGHT, 1984). O objetivo, aqui, é o de comentar que os objetivos estratégicos da produção são afetados na mesma proporção em que uma área funcional falhe na conquista de seus objetivos particulares.

Podem-se analisar vários aspectos que influenciam nas decisões estratégicas. Alguns autores focam mais a preocupação com a introdução de novos produtos (CLARK e WEELWRIGHT, 1993), enquanto Robert (1998) avalia o impacto

causado nos problemas estratégicos, administrativos e operacionais da alta administração, quando da entrada da empresa numa indústria emergente. Robert (1998) ainda apresenta quatro alternativas: a primeira delas é a de primeiro no mercado, associada a um forte esforço em P&D (Pesquisa e Desenvolvimento), buscando liderança de mercado, e aos riscos a ela associados; a segunda, a de seguidor do líder, baseada numa reação forte frente à concorrência; a terceira, a de aplicador de engenharia, onde se procura aumentar sua eficiência, porém, dentro de uma fatia do mercado que já possui; por fim, a quarta, a do “eu também”, onde os custos de desenvolvimento são eliminados frente ao comodismo que leva a este tipo de ação.

Sendo assim, o ambiente tecnológico estará sendo analisado de forma intrinsecamente relacionada ao ambiente econômico de um determinado setor. Portanto, antes de implementar uma estratégia tecnológica ou até mesmo pensar em fazê-lo, toda empresa deve analisar o ambiente econômico, assim como suas capacidades ou potencialidades em decidir quais esforços empreender no sentido de intensificar o ritmo nas questões tecnológicas. Tais esforços serão tanto maiores quanto maior for a defasagem tecnológica que uma empresa apresenta.

Atualmente, as mudanças de entendimento quando à necessidade de melhoria do produto no mercado têm levado a uma estratégia tecnológica mais voltada aos projetos de produtos buscando melhoria de qualidade, agilização da produção, redução de custos, redução de recursos, melhoria da qualidade, padronização, redução ou ampliação de linhas de produtos, modificação estética e facilidade de produção. Nesta análise, pode-se perceber uma mudança tecnológica, normalmente, suportando outras mudanças que possam levar a um outro conjunto de objetivos.

Por fim, pode-se concluir que os autores focam as ocorrências de direcionamento estratégico de tecnologia em função do ciclo de vida em que o setor se encontra, do tipo de sistema de produção e da composição do capital da empresa. Assim, não buscam fundamentar aspectos atuais em detrimento dos antigos Fordistas, mas, sim, colocar em face questões da busca da

especialização e das mudanças, na direção do sistema japonês, que procura melhorar a atuação tecnológica no que diz respeito à flexibilidade dos sistemas de produção (HILL, 1994).

No conceito estratégico de produção, tem-se, no momento de sua formulação, uma situação global maior e faz-se necessário sua desagregação. Na desagregação, pode-se então trabalhar: Custo, que pode ser subdividido em custo inicial, custo operacional e custo de manutenção; Qualidade, que pode ter seu enfoque em desempenho, características, confiabilidade, conformidade, durabilidade, serventia, estética e qualidade percebida; Entrega, que busca desempenho, precisão de entrega, confiabilidade, disponibilidade, velocidade, acessibilidade de informações, facilidade para colocar pedido, flexibilidade nos tipos de pedidos, flexibilidade de remessa e facilidade de retorno, quando necessário; Flexibilidade, para colocar novos produtos, personalizações, modificações, adequações em previsões incorretas, velocidade de se subir de um patamar baixo de volume de produção para um patamar alto, flexibilidade de mistura, flexibilidade de comutação, flexibilidade em mudança de fluxo do processo, flexibilidade com material e flexibilidade de sequenciamento; Serviço, seja no suporte ao cliente, apoio a vendas, resolução de problemas e informações (GARVIN, 1993).

O Processo de Planejamento pode ser adaptado no transcorrer do tempo, sendo os planos de curto prazo elaborados dentro de um período de um a três anos, envolvendo as SMI - *Strategic Manufacturing Initiatives* ou Iniciativas das Estratégias de Produção, Programas e Projetos e, por causa do grande suporte, normalmente são completados e podem ser implementados imediatamente. Por outro lado, entre três e cinco anos, encontram-se os planos intermediários, os quais reconhecem as SMI e suportam os projetos, mas deixam as coisas um tanto quanto indefinidas. Finalmente, os planos de longo prazo, entre cinco e dez anos, estão mais distantes de serem atingidos. Traçam grandes realizações futuras, mas sem grandes explicações. Os programas a implementar somente serão identificados num próximo passo e os

projetos serão formalizados bem mais tarde (HAYES e WHEELWRIGHT, 1984).

Enfim, o melhor de tudo é que este processo adiciona uma nova força através de um elemento dinâmico para o planejamento estratégico da produção. Por causa do processo gradativo através do tempo, assim como do fato de que cada SMI é identificada e mais detalhada, sustentando as atividades, equivale dizer que as iniciativas críticas devem ser atualizadas e revisadas regularmente. Ao mesmo tempo, os planos de curto prazo estão sendo cumpridos e novas SMI estão sendo adicionadas nos planos de longo prazo, assegurando um ciclo de melhoria sem fim.

Estabelecidas prioridades competitivas da produção, que podem estar fundamentadas em qualidade, flexibilidade, prazo de entrega, serviço, custo ou outra qualquer, pode-se partir, então, para a elaboração dos planos de ação que irão culminar nas estratégias de produção.

É essencial o uso cuidadoso de um modelo para uma melhor formulação dos objetivos estratégicos e, para sua melhor aplicação, é preciso entender melhor o conceito das SMI. A SMI representa o maior esforço de busca pela melhoria dentro de um tempo especificado. Este critério inclui tanto objetivos passíveis de serem quantificados, quanto realizações não mensuráveis. Na verdade, pode-se aplicar esta metodologia em toda a estrutura organizacional de uma empresa, porém é de fundamental importância entender que as iniciativas não devem ser confundidas com políticas, muito embora ambas contribuam para o andamento das operações de uma empresa. Primeiramente, pode-se dizer que as iniciativas direcionam os processos de melhoria e, por isso mesmo, são dinâmicas. Outra questão é que, enquanto as políticas atuam em todas as categorias de tomadas de decisão, as SMI são mais objetivas. Enfim, elas se diferenciam de acordo com o impacto que proporcionam à organização (GARVIN, 1993).

A definição que se dá a estratégias de produção pode agora ser combinada com as iniciativas estratégicas da produção para formar uma estrutura mais

sólida, como apresentada na Figura 2. Esta nova estrutura incorpora, também, idéias sobre planejamento estratégico para assegurar que foram tomados os cuidados necessários durante o processo de planejamento. Na verdade, num ambiente integrado de planejamento estratégico, as SMI devem ser utilizadas para modificar ou eliminar políticas que não dão suporte às prioridades estratégicas da produção.

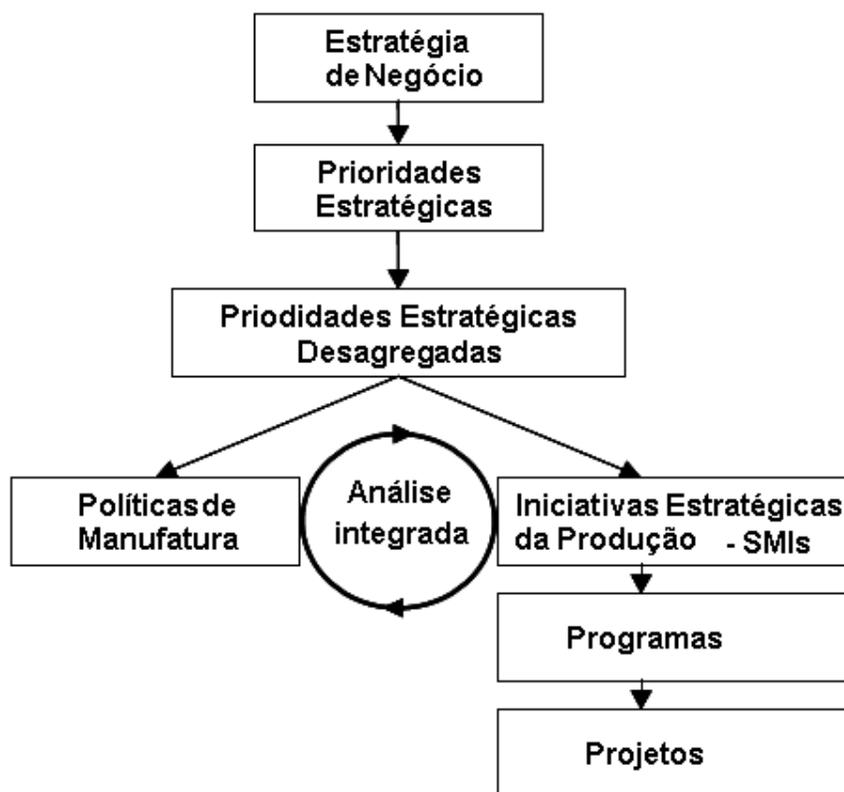


FIGURA 2 – VISÃO INTEGRADA DO PLANEJAMENTO DAS ESTRATÉGIAS DE PRODUÇÃO.

FONTE: GARVIN (1993).

Uma vez que as SMI tenham sido selecionadas, deve-se, então, repetir os passos da metodologia para se identificar programas e projetos que possam

ainda suportar, ou não, as prioridades estratégicas. Tais programas, aí sim, podem ser identificados ou tratados como políticas a serem implementadas em cada uma das Unidades de Negócio.

Portanto, as principais Relações entre Estratégias de Produção e Políticas de Manutenção estão, muitas vezes, condicionadas à época em que se está estudando a empresa. Em períodos instáveis, podem ocorrer priorizações nas funções financeiras, custos, segurança, etc...

Considerando que podem ocorrer situações onde a estratégia tecnológica seja impulsionada pelas estratégias de produção, outras em que as estratégias de produção são impulsionadas pela tecnológica, e outras em que ambas estão num mesmo patamar dentro das prioridades na estrutura de formulação estratégica da empresa, as Políticas de Manutenção devem estar preparadas para enfoques diferenciados para atendimento a determinadas situações, possibilitando resultados mais eficazes.

## **2.2. MANUTENÇÃO COMO PARTE DA ÁREA FUNCIONAL DA PRODUÇÃO**

Deve-se, agora, analisar as questões voltadas à manutenção, no que diz respeito aos aspectos gerais geradores das estratégias de produção. A Figura 3 apresenta uma visão do modelo de estratégias de produção, na visão de Hayes e Wheelwright (1984), e coloca como aspectos a serem analisados, quando do estabelecimento dos planos de ação da produção exibidos na Figura 3 onde nota-se a capacidade, os recursos, a tecnologia, a integração vertical, a força-tarefa, a qualidade, o planejamento e a organização de forma geral.

Para Skinner (1985), a tecnologia envolve processo físico, métodos ou técnicas, ferramentas e equipamentos pelos quais se obtêm produtos ou se fornecem serviços, donde se conclui que, já que os recursos citados precisam ser mantidos para obtenção dos resultados deles esperados, a área de manutenção exerce um grande peso na área funcional da produção.

A manutenção não deve estar trabalhando seus objetivos estratégicos e, conseqüentemente, suas políticas fora deste cenário, o que equivale dizer que os mesmos aspectos a serem analisados no estabelecimento de políticas de produção devem ser levados em conta no estabelecimento das políticas de manutenção, quando parte da mesma área funcional. Enfim, elas devem ser traçadas de forma conjunta, envolvendo todas as áreas funcionais que compõem o processo produtivo.

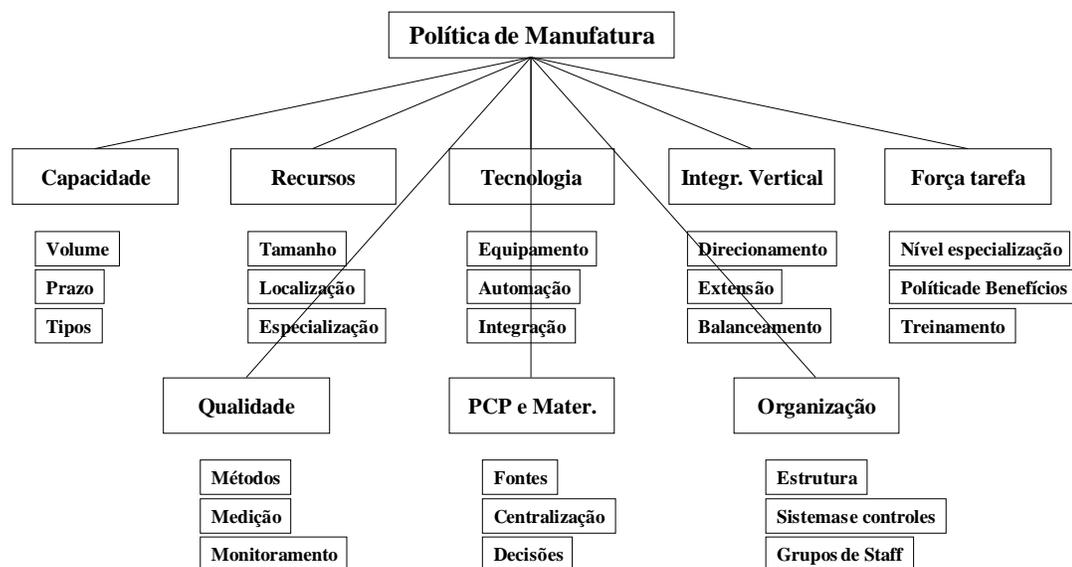


FIGURA 3 – MODELO DE ESTRATÉGIAS DE PRODUÇÃO

FONTE: HAYES E WHEELWRIGHT (1984).

A confiabilidade e a disponibilidade, aliadas às outras prioridades estratégicas, têm norteado os últimos estudos em manutenção, podendo-se notar que há espaço para uma discussão maior sobre os outros aspectos. Isto pode ser percebido nas metodologias que têm aparecido nos estudos atuais, resgatando conceitos de TPM - *Total Productive Maintenance* ou Manutenção Produtiva Total, que conclamam uma perfeita integração homem/máquina/empresa, onde

a preocupação com o equipamento passa a fazer parte da cultura de todos (MIRSHAWKA e OLMEDO, 1993) e de RCM – *Reliability-Centred Maintenance* ou Manutenção Centrada em Confiabilidade, que ganha uma roupagem nova, preocupada, agora, com as questões do compromisso social, mais precisamente com o compromisso com o meio-ambiente (MOUBRAY, 2000).

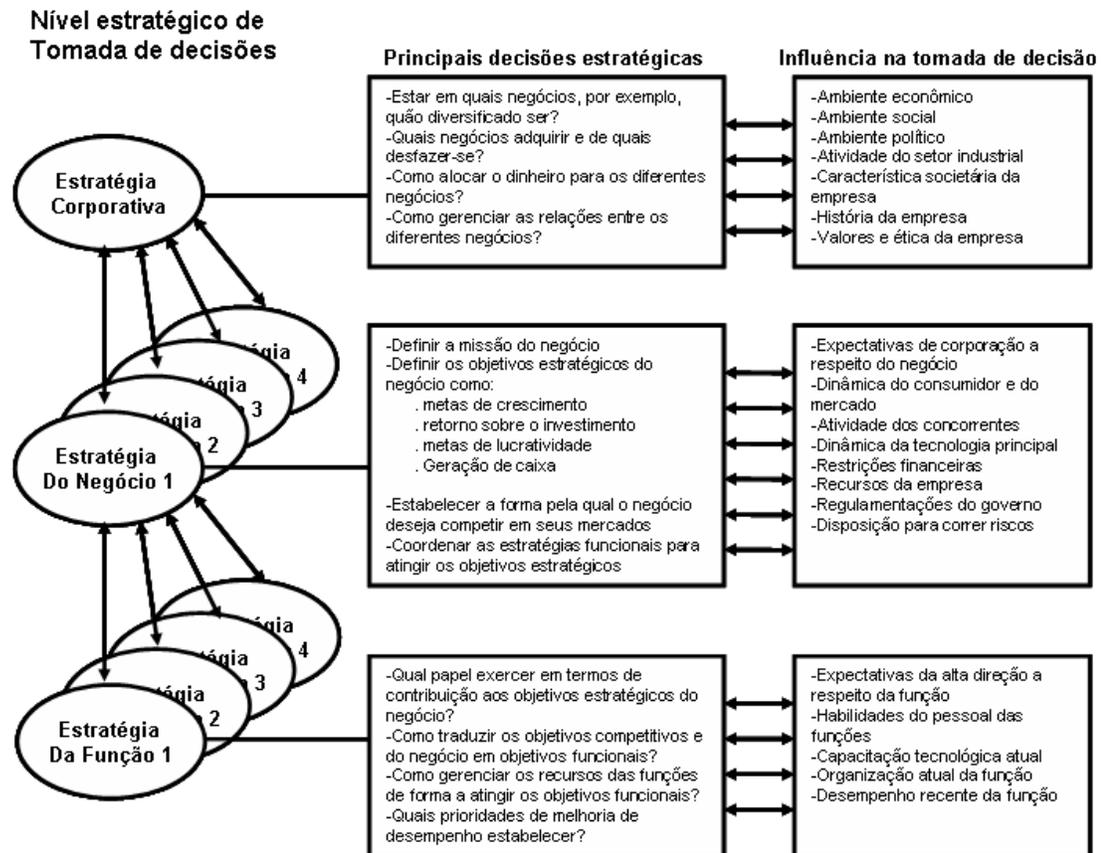


Figura 4 – Decisões/Influências em diferentes níveis da hierarquia estratégica.

FONTE: SLACK ET AL (2002).

Enfim, pode-se afirmar que, as empresas que desejam fazer parte do grupo de empresas consideradas classe mundial, devem se preocupar em preparar um

setor de manutenção também "classe mundial", sob pena de não conseguirem alcançar seus objetivos em produção e, conseqüentemente, os da corporação (WIREMAN, 1990). A Figura 4 mostra as questões hierárquicas da estratégia.

As decisões podem ser observadas em todos os níveis e não há como não se considerar os impactos que cada nível pode causar ao outro, até o topo das decisões. Todas as decisões e influências figuradas nas estratégias funcionais levam a uma problematização voltada sempre aos objetivos das áreas funcionais.

Na verdade, existe um esforço conjunto muito grande de toda a empresa em acumular capacidade para mudanças, esforço este que é seguido por cada área funcional, de uma ou outra forma, contanto que possam estas mudanças resultar, com sua implementação, em vantagem competitiva (PORTER, 1992).

Esta vantagem competitiva somente pode ser obtida através de ferramentas que a suporte. Para processos discretos de manufatura, a estratégia de produção enxuta, por exemplo, acontece com maior sucesso se implementada juntamente com *6 Sigma* (Metodologia que visa analisar processos e reduzir a dispersão dos mesmos), SCM (Gestão da cadeia de suprimentos) e TPM/RCM. Porém, o mais importante é a liderança estabelecer estratégias e metas comuns para se alcançar a excelência dentro de um alinhamento organizacional, mantendo-se a unicidade de objetivos (MOORE, 2001).

### **3. A TEORIA DAS RESTRIÇÕES (TOC) E SEU PAPEL NA PRODUÇÃO**

A partir deste ponto, serão discutidos um pouco do histórico da Teoria das Restrições, algumas questões conceituais relativas a ela e, ainda, alguns casos de sucesso que possam servir como base de sua aplicabilidade nas questões voltadas para a manutenção, objetivo deste trabalho.

#### **3.1. A TOC COMO CIÊNCIA**

Sempre que uma nova teoria é levantada, tem-se uma longa trajetória até sua concretização. A TOC (*Theory Of Constraints*) ou Teoria das Restrições, como passou a ser conhecida nos países de língua portuguesa, aponta para algo não muito diferente. Elaborada pelo físico israelense Eliyahu M. Goldratt, na década de 80, tinha por objetivo apresentar os fundamentos para a criação e implementação de um sistema de computador que pudesse suportar problemas e resolvê-los ao nível do chão-de-fábrica. Este sistema passou a ser conhecido como OPT (*Optimized Production Technology*), mas, como já era de se esperar, passou-se a perceber que, sem as alterações necessárias na forma de se administrar as empresas, não haveria como garantir um processo eficaz de melhoria contínua. Fazia-se necessário um conjunto de regras e princípios capazes de orientar um processo focalizado de se gerir a produção muito mais do que o OPT se propõe, o qual se limita a uma ferramenta de programação finita da produção baseada na otimização da produção através da operação gargalo. Porém, outras questões que a Teoria das Restrições abrange não podem ser tratadas meramente no âmbito de um sistema de computador, muito embora ela se utilize de algumas destas ferramentas e, para muitos, o OPT seja visto como sinônimo de TOC (SOUZA, 1997).

O hoje conhecido “Processo de Raciocínio da Teoria das Restrições” nasceu quando da publicação do Livro “*The Goal*” (A Meta), escrito em forma de um romance por Goldratt e Cox (1986), que fez com que se tornasse mais simples

o seu entendimento. O mais importante é que a utilização de tais conceitos passou a atender não somente os meios produtivos, mas toda decisão empresarial que pudesse se basear no Processo de Raciocínio da TOC.

A seguir, será possível um melhor entendimento do raciocínio lógico da TOC que, em geral, implica num maior peso sobre este trabalho, já que o estabelecimento de políticas é um processo decisório de planejamento.

### **3.2. O RACIOCÍNIO LÓGICO DA TOC**

Como diretiva para que uma empresa possa implementar o processo focalizado de aprimoramento contínuo, a TOC propõe um sequenciamento coerente de passos a serem adotados. Este processo visa possibilitar às empresas a identificação sistemática dos elementos do sistema que devem ser melhorados com a finalidade de aumentar o desempenho de toda uma organização. Tais elementos passam, então, a ser tratados como gargalos do processo. A metodologia para identificação dos gargalos até a melhoria da eficiência do sistema produtivo segue o seguinte raciocínio ou passos (GOLDRATT e COX, 1986):

- a) Identificar a (s) restrição (ões) do sistema;
- b) Explorar a (s) restrição (ões) identificada (s);
- c) Subordinar de tudo à decisão anterior;
- d) Elevar a (s) restrição (ões) do sistema;
- e) Se uma restrição for quebrada numa das etapas anteriores, voltar à etapa número 1, porém com o respectivo cuidado para que a inércia não se torne uma restrição do sistema.

A identificação da (ou das) restrição passa a ser, então, o início de todo o processo, onde se determina o fator limitante do sistema. Se fosse feita uma avaliação apenas pelo bom senso, o passo seguinte seria a total eliminação da

restrição identificada. Porém, a TOC, considerando que muitas vezes, no caso de restrições físicas, há necessidade de grandes investimentos, sugere explorar ao máximo tais recursos para só então dar seqüência ao processo. A partir de um melhor aproveitamento e conseqüente obtenção da maximização do(s) recurso(s) gargalo(s), deve-se observar os demais recursos, não gargalos do processo produtivo e a forma como estão sendo gerenciados, a fim de que não venham a, rapidamente, se tornar gargalos. Na seqüência, devem-se avaliar as necessidades que os recursos restritivos, quando otimizados, virão a exigir. Os recursos não restritivos devem fornecer apenas o necessário para suprir o consumo do recurso restrição. No caso de exceder a tais necessidades, passa-se a observar um desperdício de recurso e, conseqüentemente, descontrole do processo produtivo como um todo. Caso ocorra o inverso, haverá uma perda total do processo produtivo, gerando conseqüente perda do ganho total, pois quem dita o ritmo de todo processo é a restrição, e esta não seria efetivamente suprida. Desta forma, tudo passa a ser subordinado à decisão anterior (GOLDRATT e COX, 1986).

Antes de se executar o quarto passo, há necessidade de uma avaliação através de ferramentas adequadas de análise de valor. Os autores advertem que, neste ponto, deve-se tomar muito cuidado, pois algumas regras estabelecidas durante os primeiros passos do processo podem deixar de ter valor, já que a eliminação de uma restrição faz com que a realidade da empresa passe a ser outra totalmente diferente, e venham a surgir restrições em outro ponto do processo produtivo. Neste momento, podem surgir as chamadas "restrições políticas", que muitas vezes são resultado de práticas bem sucedidas, porém de uma realidade ultrapassada (GOLDRATT e COX, 1986). Isso é o que os autores costumam chamar de inércia organizacional. Como se pode observar, a Teoria das Restrições tem uma metodologia de solução de problemas bastante eficaz quando de restrições físicas. Porém, os autores advertem que, na maioria das vezes, as restrições são representadas por políticas errôneas, que nem sempre se pode traduzir em restrições físicas.

Assim, surge a proposta de uma ferramenta que possa favorecer o aprimoramento contínuo em organizações cujas restrições físicas não sejam permanentes.

Esta ferramenta é conhecida como Processo de Raciocínio da Teoria das Restrições, que consiste, na verdade, de um conjunto de ferramentas analíticas que permitem responder a três perguntas básicas de um processo decisório, sendo elas: "O que mudar?", "Para o que mudar?" e "Como motivar a Organização a mudar?". No caso de restrições políticas, o primeiro passo continua sendo o da identificação da(s) política(s) errônea(s) que estejam limitando o bom desempenho da organização (GOLDRATT, 1996).

A quantidade de situações indesejáveis provindas de restrições políticas é tão grande que se torna quase que impossível identificar as causas mais relevantes dos problemas com ferramentas usuais de análise, tais como a regra de Pareto (GUERREIRO, 1996). Portanto, neste primeiro passo, surge um método capaz de permitir aos administradores a identificação da verdadeira restrição do sistema, o qual ficou conhecido como ARA - Árvore da Realidade Atual. Tal método parte do princípio que um problema ou efeito indesejável seja, geralmente, um sintoma ou um efeito resultante de um problema raiz. Também parte de um outro princípio, que é o de que a maioria dos problemas existentes em uma organização tem certa interdependência, o que denota uma relação causa-efeito entre eles. A ARA, então, passa a ser utilizada para diagnosticar, através de um diagrama lógico de causa-efeito, o problema-raiz do sistema. A partir deste mapeamento, pode-se identificar os problemas nas entradas da ARA, os quais não provêm de causas anteriores (GOLDRATT, 1996).

Para a TOC, independente do grau de complexidade de um contexto, há como se identificar o problema raiz para a maioria dos efeitos indesejáveis de um processo pela utilização da ARA e, conseqüentemente, direcionar esforços da forma mais adequada.

### 3.3. A BUSCA DO IDEAL FOCADO EM GANHOS

A história tem mostrado, como visto anteriormente, uma preocupação constante com a contabilidade de custos. Porém, a TOC procura demonstrar, dentro da realidade atual, uma maior eficácia quando do uso da contabilidade de ganhos. Para isso, a TOC parte do pressuposto que qualquer empresa é um sistema composto de um conjunto de elementos com certa relação de interdependência. Portanto, o desempenho global do sistema depende dos esforços conjuntos de todos os seus elementos (CORBETT, 1997).

Um dos conceitos fundamentais da TOC é o reconhecimento da importância da restrição de qualquer sistema e, por isso, a contabilidade de ganhos não aloca custo aos produtos. O pressuposto básico é o de que, para se tomar boas decisões, não se devem individualizar os custos por produto. O que se tem é uma analogia com uma corrente que, se esticada, quebrará no seu elo mais fraco, ou seja, na sua restrição. Então, quando se quer aumentar sua resistência, deve-se fortalecer o elo mais fraco. Quem dita o seu desempenho é a sua restrição, levando à conclusão que, se aumentada a resistência de qualquer outro elo que não o mais fraco, não se aumenta o desempenho da corrente como um todo (BURTON, 2001).

Não se deve dispensar o sistema de contabilização adotado pela empresa, mas, sim, fazer uso da TOC nas tomadas de decisão. Vê-se que a contabilidade de custos tradicional não se adapta muito aos conceitos da TOC e encontram-se mesmo em situações, quando do uso do ABC, reconhece-se que acabam existindo alguns custos que necessitam ser distribuídos de alguma forma. Ultimamente tem-se notado um crescimento dos custos fixos na indústria comparada aos custos diretamente proporcionais à produção, ora pelo crescimento das operações ora pela diversidade de produtos que requer atividades de suporte mais variadas (SHEU *et al*, 2003).

Partindo-se do pressuposto que a meta de uma empresa é ganhar dinheiro hoje e no futuro, a TOC desenvolveu três medidas para demonstrar se uma

empresa está caminhando na direção de sua meta e, para isso, há necessidade de se responder a três perguntas: “Quanto dinheiro é gerado pela empresa?”, “Quanto dinheiro é capturado pela empresa?”, “Quanto dinheiro deve-se gastar para operá-la?”. Então, as medidas utilizadas pela TOC são:

**G (Ganho)** = Índice pelo qual o sistema gera dinheiro através das vendas.

**I (Investimento)** = Todo dinheiro que o sistema investe na compra das coisas que pretende vender.

**DO (Despesa Operacional)** = Todo dinheiro que o sistema gasta para transformar investimento em ganho.

O ganho é traduzido como sendo todo o dinheiro que entrou na empresa menos o que ela pagou aos seus fornecedores. O que entra é o dinheiro gerado na empresa e o que é pago representa a geração de dinheiro pelos fornecedores (GOLDRATT e COX, 1986).

O ganho unitário de cada produto é obtido subtraindo-se do preço de venda (PV) os Custos Totalmente Variáveis (CTV). Custo Totalmente Variável é o montante que varia para cada acréscimo de uma unidade na venda do produto que, na TOC, é geralmente considerado como o custo só da matéria-prima empregada. Dessa forma, tem-se quanto de dinheiro a empresa gera com a venda de cada unidade do produto. O cálculo do ganho total da empresa é obtido somando-se os ganhos totais de cada produto, que é representado pelo ganho unitário multiplicado pelo volume vendido (CORBETT, 1996).

Todo o dinheiro que o sistema investe na compra de coisas que pretende vender e o Ativo da contabilidade tradicional podem se confundir; porém, há uma enorme divergência quando se refere ao inventário de material. Sendo assim, de acordo com a definição acima, deve-se atribuir aos estoques apenas o preço que se paga aos fornecedores pelo material e peças compradas que entraram no produto. Não se deve acrescentar valor ao produto pelo próprio sistema, nem mesmo mão-de-obra direta. O valor a ser atribuído ao estoque, seja em processo, ou de produto acabado, é igual ao seu CTV. Um dos

objetivos desta forma de definição é o de eliminar a geração de 'lucros aparentes' devido ao processo de alocação de custos tradicional. Com este método, torna-se impossível aumentar estoques em processo e de produtos acabados para aumentar lucros no período, pois algumas despesas, com certeza, irão diminuir os lucros futuros (CORBETT, 1996).

É importante salientar que o fato de se retirar o valor acrescido nos inventários não significa que estas despesas não tenham ocorrido. Portanto, todo dinheiro que o sistema gasta para transformar investimentos em ganho está contido na unidade de medida Despesa Operacional (DO). Pode-se entendê-la como salários, aluguéis, depreciações, etc... Não existem, na TOC, os conceitos de custos fixos, variáveis, diretos, indiretos, etc... Ou seja, tudo o que não for ganho ou investimento é despesa operacional (CORBETT, 1996).

A TOC entende que qualquer despesa pode ser enquadrada dentro de um destes três tipos, dispensando nomenclaturas adicionais. Bastam estes tipos para que se possa fazer a ponte entre eles e o Lucro Líquido (LL) e o Retorno Sobre o Investimento (RSI):

- Lucro líquido é igual ao Ganho total da empresa menos a Despesa Operacional total ( $LL = G - DO$ ).
- Retorno Sobre Investimento é igual Lucro Líquido dividido pelo valor do Investimento ( $RSI = (G - DO) / I$ ).

Através destas três medidas, é possível saber o impacto que uma decisão gerencial pode causar nos resultados finais da organização (GOLDRATT e COX, 1986). O que se espera de uma decisão gerencial é o aumento do Ganho (G) e diminuição dos investimentos (I) e da despesa operacional (DO). Assim, pode-se afirmar que uma decisão que cause um impacto positivo no resultado sobre o investimento (RSI) pode ser uma decisão que leva a organização em direção à meta do sistema. Portanto, a decisão sobre a implementação de uma decisão ou não está diretamente relacionada ao RSI. Quando se tratar de uma linha de produção onde existe um recurso gargalo, há necessidade de se

decidir quais produtos são mais interessantes para a empresa produzir, já que não há capacidade para se entregar todos os produtos nas quantidades desejadas, nos tempos desejados.

É preciso entender que restrição de um recurso é sua capacidade dentro de um tempo e que, para se obter o ganho máximo possível, é preciso tirar o máximo do recurso restrição. Tem-se, então, que, preferencialmente, dar prioridade aos produtos que geram maior ganho e que, ao mesmo tempo, possa depender menos do recurso restrição. Surge, então, a necessidade de uma medida relativa que possa mostrar como maximizar o ganho da empresa, ao mesmo tempo em que se minimiza o tempo gasto do recurso restrição. Então, deve-se levar em conta o ganho unitário do produto e o tempo que ele gasta do recurso restrição. Dividindo-se o ganho unitário de um produto pelo tempo que ele utiliza o recurso restrição, obtém-se o fator Ganho por Tempo da restrição. Esta medida, porém, só leva a identificar os produtos os quais mais contribuem para a lucratividade da empresa em tempos que o mercado está disposto a absorver mais que a capacidade de produção (CSILLAG, 1991).

Se a capacidade for maior do que o mercado estiver disposto a comprar, a restrição passa a ser o próprio mercado. Nesta situação, não havendo restrição interna, basta apenas avaliar o ganho unitário de cada produto no momento de decidir. Sendo assim, qualquer decisão que leve a vender produtos cujo preço seja maior que os Custos Totalmente Variáveis (CTV) e que não venha a aumentar a Despesa Operacional (DO) passa a contribuir para um melhor desempenho nos resultados finais da empresa. Por fim, não se deve considerar isoladamente o ganho por minuto de uma restrição ou o ganho unitário sem quantificar o seu impacto no Lucro Líquido (LL) e no Retorno Sobre o Investimento (RSI) (CORBETT, 1996).

Assim, a contabilidade de custos tradicional passa a não surtir o efeito que se obtinha quando de sua criação, quando as despesas operacionais podiam ser distribuídas baseando-se nos gastos com mão de obra direta, e passa, então, a buscar métodos mais direcionados às atividades dos processos, como o ABC (*Activity Based Cost*). Porém, nota-se que, mesmo nesta nova forma de

análise, resta a necessidade de se distribuir custos a fim de se obter alocações diretas a produtos, conceito este criticado dentro da TOC (GOLDRATT e COX, 1986). Na TOC, não se deve atribuir valor ao produto enquanto ele estiver passando pelo processo produtivo. Neste momento, só se está agregando custo aos produtos. Desta forma, somente se agrega valor a partir de sua venda e, conseqüentemente, o recebimento do seu valor expresso em dinheiro (CORBETT, 1997).

O fato de se ter a TOC como idéia foco de algumas atividades nas empresas que não as de produção, tem levantado propostas interessantes quanto à possibilidade de sua utilização. Este fato pode ser notado, por exemplo, no estudo de Umble e Umble (2002), onde é realizada a simulação de um modelo de gerenciamento da cadeia de suprimentos integrado à TOC, gerando ganhos consideráveis em sua aplicação.

Também nesta mesma linha, encontram-se estudos que buscam mostrar a importância da colaboração entre as partes integrantes das rotas da cadeia de suprimentos a fim de amenizar impactos causados por decisões individuais, estabelecendo medidores de desempenho que estimulem um melhor gerenciamento de toda a cadeia (SIMATUPANG, WRIGHT e SRIDHARAN, 2004).

### **3.4. A TOC VOLTADA PARA A PRODUÇÃO**

Após o entendimento dos conceitos anteriores, será analisada, mais de perto, a metodologia criada por Goldratt para o planejamento da produção. A terminologia Tambor-Pulmão-Corda, ou no inglês *Drum-Buffer-Rope* (DBR), surgiu nos anos 80, anteriormente ao Raciocínio Lógico da TOC e mesmo às noções do mundo do ganho, vistas anteriormente. Muito embora ele seja um modelo bem mais simples que o antigo OPT (*Optimized Production Technology*) ou o mais moderno APS (*Advanced Planning Schedule*), para alguns sistemas de uma complexidade não tão grande, os quais não são

dominados por um gargalo interno ativo, pode se tornar ainda mais simples (GUERREIRO, 1996).

### **3.5. GERENCIAMENTO DO PULMÃO**

O gerenciamento do pulmão ajuda a identificar uma restrição de capacidade emergente ao indicar um aumento significativo no número de vezes as quais esta agilização ocorre, apontando para um recurso específico, onde uma grande maioria das partes atrasadas provavelmente será encontrada.

Pode ser estabelecido o uso de *softwares* (programas de computador) para auxiliar no gerenciamento do DBR na procura de se trabalhar com dois ou mais RRC (Recurso com Restrição de Capacidade) ou que estejam num mesmo nível de restrição. Mesmo assim, não é recomendado já que o ideal é se ter um RRC a se trabalhar de cada vez. A abordagem preferida é não permitir o aparecimento de mais de um RRC como prioritário, quer seja pelo aumento de capacidade, ou por mudanças no processo. O método Tambor-Pulmão-Corda se empenha em obter o seguinte: um desempenho confiável nos prazos de entrega, uma efetiva exploração da restrição e uma resposta o mais rápida possível, dentro das limitações impostas pelas restrições (GOLDRATT, 1996).

Desenhada para regular o fluxo do trabalho no processo de produção (*Work In Process*) ou próximo da capacidade máxima do recurso com maior restrição na cadeia produtiva, a TOC visa programar as entradas de ordens de trabalho sincronizadas com o padrão atual de produção da parte do processo com menor capacidade, denominada RRC.

O padrão de produção deste recurso é, neste método, associado ao ritmo de um tambor, o qual provê o ritmo para o restante do sistema. A corda é essencialmente um mecanismo de comunicação e controle que conecta o recurso restrição com o ponto de entrada do sistema e visa assegurar que os materiais não sejam inseridos no processo em um ritmo superior ao que o RRC possa comportar.

O principal objetivo da corda é proteger o RRC de ser sobrecarregado com materiais em excesso dentro do processo. Porém, para que o RRC não corra o risco de ficar ocioso, certo volume de materiais, resultante de uma liberação de material com um determinado tempo de antecedência (Pulmão), é criado para assegurar que o trabalho em processo chegue ao RRC antes mesmo de ser programado para ser processado (ATWATER e CHAKRAVORTY, 2002).

Um dos princípios básicos é que a produção coloque ordens de produção com datas bem definidas para se evitar produzir para estoque. Para este fim, a aplicação do DBR na sua forma tradicional se inicia com um MPS (*Master Production Program* ou Plano Mestre de Programação de Produção) o qual inclui a ordem do cliente com as datas de entregas previstas. Em seguida, é verificada a existência de alguma restrição interna. A identificação de certa restrição pode ser suportada por uma análise computadorizada de capacidade, mas necessita ser validada pelo gerente de produção. Imediatamente, existem duas possibilidades distintas: não existe nenhuma restrição de capacidade, ou uma limitação de capacidade é identificada (ATWATER e CHAKRAVORTY, 2002).

Conceitualmente, os três elementos principais do DBR, segundo Schragenhen e Dettmer (2000), são:

1. O plano para exploração da capacidade da Restrição (Tambor);
2. A proteção contra “Murphy” (eventos inesperados do processo) na forma de tempo (Pulmão), é preferível a se manter estoques de material em algum ponto do processo;
3. Uma programação de entrega de materiais (Corda), a qual protege o sistema contra o excesso de materiais em processo, evitando confusão. O DBR assume que uma verdadeira restrição de materiais é muito rara, e o próprio gerenciamento de inventário deve assegurar a disponibilidade de material quando requerido.

Quando não há um RRC ativo, não existem razões para que todas as ordens não sejam entregues no prazo. As listas destas ordens constituem o tambor, o qual é realmente o MPS ou Programa Mestre de Produção. O pulmão é uma estimativa livre do tempo de movimentação das matérias-primas de seu ponto de liberação, passando por todo o processo de produção, até as docas de expedição. Esta estimativa deverá considerar o impacto de “Murphy” e permitir um tempo extra para se ter uma certeza razoável de que as ordens serão entregues no prazo. Este pulmão é chamado de "pulmão de entrega", porque protege o tempo de entrega para os clientes (SCHRAGENHEN e DETTMER, 2000).

Nenhum pulmão de RRC é necessário quando o RRC não estiver ativo porém, uma vez que o pulmão de entrega é determinado, uma programação de entrega de material (MRS) é gerada. Isto constitui a mencionada corda e previne qualquer liberação de material antes da data especificada no MRS, assegurando que qualquer WIP – *Work in Process*, ou Estoque Intermediário, não seja liberado antes do tempo de entrega determinado pelo pulmão. A TOC requer subordinação total de todas as outras partes do sistema ao programa das restrições. Uma vez que, nesta situação, a demanda de mercado ou falta de pedidos de clientes para completar a capacidade disponível é a única restrição, o DBR tradicional assume que o fluxo de WIP se tornará produto acabado, pronto para embarque, ou seja, somente a quantidade vendida.

Observa-se, ainda, que quando se trabalha com um pulmão, ele deve ser constantemente monitorado, podendo ser de forma automática, utilizando-se computador, ou de forma manual, monitorando-se seus níveis durante o processo. Possivelmente, quando as unidades baixam para níveis abaixo dos da segurança é porque, em algum ponto, há uma interrupção que prejudica a continuidade do processo. Se estas interrupções raramente aparecerem, o tamanho do pulmão pode ser diminuído (GARDINER, 1992).

Quando há um RRC ativo confirmado, uma programação de capacidade finita é gerada, baseada no Programa Mestre de Produção. O MPS é subseqüentemente revisado, baseado nas limitações impostas pelo RRC. O

novo MPS e a programação detalhada para o RRC constituem o tambor. Nesta situação, três pulmões são estabelecidos como mecanismo contra variabilidades: o pulmão de entrega, que é uma estimativa livre do tempo de entrega do RRC até a finalização da ordem ou o tempo de entrega das matérias-primas e sua finalização; o Pulmão de RRC, que é uma estimativa livre do tempo de liberação matéria-prima até o local do RRC; e o Pulmão de Montagem, que é uma estimativa livre do tempo de liberação matéria-prima para a fase do processo onde as peças que não utilizam o RRC são montadas com peças que utilizam o RRC (SCHRAGENHEN e DETTMER, 2000).

A corda é o planejamento para a liberação dos materiais conforme estabelecido pelos três pulmões. Schragenhen e Dettmer (2000) explanam o conceito DBR sem o pulmão de montagem. As programações do pulmão de entrega, do RRC e da montagem são consideradas as saídas típicas do planejamento do DBR. Os demais recursos não são especificamente programados. Eles são direcionados para produzir qualquer pedido que chegue em seu local, o mais rápido possível. A corda assegura que nenhuma ordem seja liberada para a produção até que o RRC ou o Pulmão de entrega sinalize. Uma aplicação bem sucedida do DBR depende de um gerenciamento ativo dos pulmões, como forma de controle. O gerenciamento de pulmão permite aos gerentes monitorarem o estado dos pulmões e prevenirem quando os pulmões estão em perigo de esvaziamento.

Alguns conceitos de DBR podem se tornar complexos demais, dependendo da situação em que se encontra uma determinada empresa. Podem-se observar estudos como os de Atwater (2002), que necessitou definir formas diferenciadas e inéditas de medições para permitir a conclusão de seus estudos, onde ele pretende demonstrar que cem por cento da utilização do RRC não é suficiente para se atingir o ótimo global. Muitas vezes, não se tem um ferramental informatizado que permita todas estas avaliações. Assim, pode-se esperar conseguir bons resultados de uma forma mais simplificada. Nasce, então, a idéia do SDBR (*simplified drum-buffer-hope*) ou tambor-pulmão-corda simplificado (SCHRAGENHEN e DETTMER, 2000).

O SDBR inicia-se com a suposição de que a empresa não possui restrições em nenhum recurso interno, ou seja, o mercado é, na maioria das vezes, a maior causa de restrições. Acredita-se que, na maioria dos casos, esta é uma suposição realista.

Quando o mercado é claramente a restrição, a combinação da simplicidade do planejamento do DBR e o controle apurado provido pelo gerenciamento do pulmão resultam em uma subordinação completa das operações a vendas. Porém, quando surge o RRC, as seguintes mudanças significativas são observadas: a redução de capacidade interna do recurso restritivo poderá limitar a capacidade da empresa de responder ao mercado e alguns pedidos poderão não ser entregues nas datas requeridas. Para impedir que esta condição piore, provavelmente, a demanda de mercado deve ser reduzida ou, de alguma forma, a capacidade deve ser aumentada.

A primeira suposição básica leva em conta que o mercado dita certas necessidades, que a empresa deve atender. Em dado momento, a demanda pelos produtos ou serviços da empresa irá diminuir, ou talvez até desaparecer por completo. Estas mudanças impostas pelo mercado, algumas vezes, conflitam com a exploração total de uma restrição interna conhecida como RRC. Assim, quando se decide como explorar o RRC, deve-se considerar, cuidadosamente, o impacto no longo prazo desta decisão no mercado. Não se pode rejeitar um cliente cujos pedidos atuais consomem uma grande quantidade da capacidade do RRC, quando este pedido pode ser importante para o relacionamento com este cliente. Uma vez que se está comprometido com o mercado, o dano por não atender completamente este compromisso deverá ser considerado mais severo do que o fato de se sacrificar algumas das capacidades do RRC (SCHRAGENHEN e DETTMER, 2000).

Quando o RRC parece estar muito carregado, para assegurar o desempenho de entrega no prazo, uma medida temporária para aliviar o RRC é requerida. O único pulmão mantido é o pulmão de entrega. Não há diferença entre esta tática e o modo que o tradicional DBR lida com um ambiente sem RRC. Apesar de que o RRC não é totalmente protegido do esvaziamento, na maioria dos

casos, trabalho suficiente irá aparecer antes do RRC para prevenir que isto aconteça.

Os recursos não restrição devem ter uma capacidade a mais para garantir a não interrupção do fluxo produtivo, permitindo assim a continuidade do processo. A esta, se dá o nome de capacidade protetiva. O tamanho da capacidade protetiva depende do nível das flutuações estatísticas e da quantidade de estoque em processo. Quanto pior a qualidade do processo em relação à confiabilidade, maior terá que ser esta capacidade e quanto maior for o estoque em processo, menor deverá ser a capacidade protetiva. Mesmo nas poucas ocasiões quando o esvaziamento tecnicamente ocorre em pequenos períodos, tudo isto irá consumir parte da capacidade protetiva que deverá estar adequada às necessidades do processo. Manter a capacidade protetiva ajuda a garantir o desempenho dos prazos de entrega, e um mínimo de sacrifício do ganho atual será compensado pelo novo ganho, resultando da total subordinação ao mercado. A corda já não será mais vinculada à programação do RRC (CORBETT, 1996).

Por esta razão, na maioria dos casos, organizações utilizando o DBR tradicional acabam considerando o RRC como uma restrição, mesmo nos períodos de baixa demanda. Isto produz resultados em prazos quase ótimos em períodos de baixa. O SDBR é capaz de adaptar-se suavemente entre períodos de alta e baixa demanda, contanto que o foco principal do planejamento e controle não seja alterado. O SDBR é muito mais fácil de planejar e controlar com sistemas comuns de MRP (SCHRAGENHEN e DETTMER, 2000).

Em se tratando de MRP, nota-se que a TOC vem para integra-se a ele de forma que, através do tambor-pulmão-corda, busca enfatizar os processos interativos na busca da melhoria contínua a partir do reconhecimento de que as restrições, na maioria das organizações, não são físicas e sim, fruto das políticas de gerenciamento (SPENCER, 1991).

### 3.6. IMPACTO DA TOC NAS POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO

Se existem perdas por falha de planejamento, também se podem identificar outras preocupações com a perda de produção quando da interrupção de recursos produtivos por motivo de falha. Durante toda a pesquisa efetuada na literatura existente, apenas um artigo de 1994 combinando manutenção e TOC fora identificado. Assim a interrupção por falha será exemplificada baseada neste artigo de Chacravorty e Atwater (1994), onde, claramente, pode-se notar a importância da aplicação da TOC na definição das prioridades no nível dos equipamentos. Para tal, ilustram este raciocínio com um sistema de produção onde existem dois produtos (P e Q), os quais utilizam quatro recursos (A, B, C e D). O produto P tem um preço de venda de R\$ 150,00 e o produto Q um preço de R\$ 175,00. A média de demanda de ambos os produtos é de 50 unidades por semana. Ao final do esquema ilustrado pela Figura 4, pode-se consultar o tempo médio de paradas para os recursos A, B, C e D, que são 20%, 25%, 30% e 35%, respectivamente.

Cada recurso opera 2.400 minutos por semana (5 dias a 8 horas por dia). Se considerado o tempo perdido, tem-se uma disponibilidade reduzida a cada recurso em minutos, ou seja, se o recurso B perde 25% de sua disponibilidade, esta passa a ser de 1800 minutos. A Figura 5 mostra, ainda, os requerimentos de materiais e seus preços unitários, a seqüência de fabricação de cada produto e a média de tempo de processamento de cada produto em cada recurso. Neste exemplo, não serão contemplados produtos alternativos e nem a possibilidade de horas extras. Se apenas se avaliar visualmente a Figura 5, pode-se ser levado a deduzir que os esforços de manutenção devem ser investidos no recurso D, já que é o que tem maior tempo perdido e aparece mais vezes no processo. Porém, a TOC diz que o primeiro passo do raciocínio lógico é o de identificar a restrição. Isto pode ser determinado, no exemplo, computando-se a capacidade requerida de cada recurso para cada produto.

Assim, pode-se, na Tabela 1, observar que dois dos recursos não têm capacidade para atender 100% do mercado. O recurso que mais excede às

requisições da produção para atender a demanda de mercado é o recurso A, com 125% de necessidade, seguido pelo recurso B, com 116,7%. Portanto, existem dois gargalos no sistema. Porém, como na TOC o recurso A é o RRC, então todo esforço adicional nos recursos B, C e D terão seu impacto anulado pelo recurso-restrição, que estará limitando todo o processo. A Tabela 2 mostra que, mesmo com todo esforço em melhorar a confiabilidade dos recursos B, C e D, nenhum resultado positivo ocorrerá.

Dentro, ainda, do raciocínio da TOC, tem-se que, em se identificando a restrição, explorá-la ao máximo. Desta forma, deve-se executar o segundo passo, que é o de explorar a restrição identificada. A Tabela 3 demonstra a necessidade de se avaliar qual produto gera maior rentabilidade à empresa.

Como demonstrado, o produto que fornece maior rentabilidade é o produto Q. Portanto, deve-se produzir 50 produtos Q e o restante possível em produtos P. Sabendo-se que o produto Q consome 20 minutos do recurso-restrição (A), tem-se que  $50 \times 20 = 1000$ . Se o recurso-restrição (A) dispõe de 1920 minutos no total, tem-se que restarão 920 minutos, que divididos pelos 28 minutos que o produto P consome do RRC, poder-se-á então produzir 32 unidades de P, calculados a partir de  $920 \text{ minutos} / 28 \text{ minutos por unidade}$ .

Dado que a exploração do recurso-restrição já provoca algum ganho, pode-se então reproduzir e simular combinações diferenciadas de priorização sobre os tempos perdidos e propor produções para as outras situações. Assim, eles continuam atuando dentro dos passos do raciocínio lógico da TOC, estudando situações onde as restrições vão sendo eliminadas uma a uma, a fim de se conseguir a melhor situação para obtenção de resultados para a empresa (CHACRAVORTY e ATWATER, 1994).

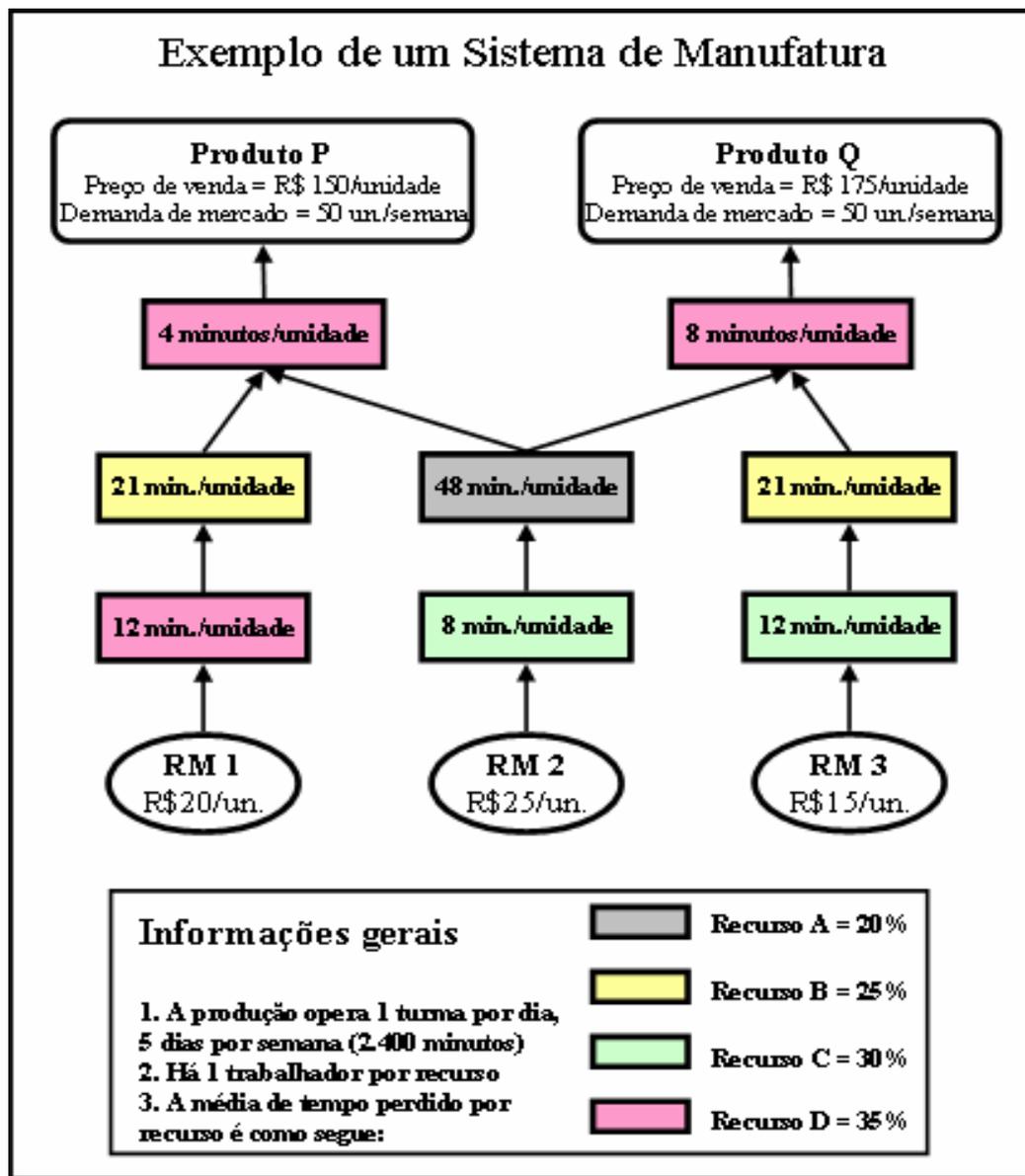


FIGURA 5 – ADAPTADA DE UM EXEMPLO DE SISTEMA PRODUÇÃO.

FONTE: CHACRAVORTY E ATWATER (1994).

TABELA 1- CAPACIDADE INICIAL REQUERIDA

Capacidade Requerida Inicial					
	Capacidade requerida		Capacidade	Capacidade	Percental
Recurso	P	Q	Total	Disponível	de carga
A	1400	1000	2400	1920	125,0%
B	1050	1050	2100	1800	116,7%
C	400	600	1000	1680	59,5%
D	800	400	1200	1560	76,9%

FONTE: CHACRAVORTY E ATWATER (1994).

TABELA 2- CAPACIDADE REQUERIDA SEM TEMPO PERDIDO EM B, C E D

Capacidade Requerida Inicial sem tempo perdido em B, C e D					
	Capacidade requerida		Capacidade	Capacidade	Percental
Recurso	P	Q	Total	Disponível	de carga
A	1400	1000	2400	1920	125,0%
B	1050	1050	2100	2400	87,5%
C	400	600	1000	2400	41,7%
D	800	400	1200	2400	50,0%

FONTE: CHACRAVORTY E ATWATER (1994).

TABELA 3. PRIORIDADE INICIAL POR PRODUTO

Prioridade inicial por produto		
Produto	P	Q
Preço de venda	R\$ 150,00	R\$ 175,00
Matéria prima	R\$ 45,00	R\$ 40,00
Custo de conversão (TV)	R\$ 105,00	R\$ 135,00
Tempo de restrição em minutos (CT)	28	20
TV / CT	R\$ 3,75	R\$ 6,75
Prioridade	2	1

FONTE: CHACRAVORTY E ATWATER (1994).

Concluindo, se reduzir-se o percentual de tempo perdido apenas do recurso A de 20% para 17%, obter-se-á um aumento de 2,46% no lucro da empresa, limitados pelo novo RRC que será o recurso B. A partir daí, a cada 1% de redução do tempo perdido nos recursos A e B obtêm-se 0,82% de aumento no lucro da empresa até que a restrição se torne o mercado, o que representará um aumento de 14,75% no lucro.

TABELA 4- CAPACIDADE REQUERIDA SEM TEMPO PERDIDO EM A

<b>Capacidade Requerida Inicial sem tempo perdido em A</b>					
	Capacidade requerida		Capacidade	Capacidade	Percental
Recurso	P	Q	Total	Disponível	de carga
A	1400	1000	2400	2400	100,0%
B	1050	1050	2100	1824	115,1%
C	400	600	1000	1680	59,5%
D	800	400	1200	1560	76,9%

FONTE: CHACRAVORTY E ATWATER (1994).

TABELA 5- CAPACIDADE REQUERIDA SEM TEMPO PERDIDO EM A E B

<b>Capacidade Requerida Inicial sem tempo perdido em A e B</b>					
	Capacidade requerida		Capacidade	Capacidade	Percental
Recurso	P	Q	Total	Disponível	de carga
A	1400	1000	2400	2400	100,0%
B	1050	1050	2100	2400	87,5%
C	400	600	1000	1680	59,5%
D	800	400	1200	1560	76,9%

FONTE: CHACRAVORTY E ATWATER (1994).

Deve-se então iniciar um esforço voltado a ganho de disponibilidade no recurso A, como observado na Tabela 4, já que este é o RRC para uma melhor rentabilidade e, quando resolvido, trabalhar o recurso B que passará a ser o RRC quando não houver mais tempo perdido em A, como demonstrado na Tabela 5.

Apesar de todo o uso de ferramentais que auxiliem na obtenção de ganhos de produtividade é preciso entender, após um processo de melhoria, para onde está indo a produção aumentada. Se ela estiver ficando parada como estoques no processo ou ao final dele, o sistema como um todo não estará gerando nenhum lucro adicional, mas sim aumentando os materiais em processo com inventários desnecessários (DIGHTMAN, 2004).

## **4. MANUTENÇÃO: APOIO OU RESTRIÇÃO À PRODUÇÃO?**

Este capítulo visa comentar as questões de manutenção dentro da área de produção, assim como discutir as situações que boa parte da indústria passa quando da necessidade de intervenção em equipamentos da produção. A idéia é que se tenha base para entendimento de como possibilitar a conciliação dos interesses individuais entre a manutenção e a produção.

### **4.1. MANUTENÇÃO TRADICIONAL E SUAS POLÍTICAS**

A partir do momento em que a disponibilidade dos recursos da produção torna-se fator crucial para o atendimento dos objetivos estratégicos das empresas, seria impossível pensar na manutenção como uma área isolada do planejamento estratégico. Porém, cabe lembrar que já houve o tempo em que a manutenção era tratada como aquela que deveria simplesmente manter em condições satisfatórias os ativos das empresas por meio das inspeções, reparos e substituições. Em função desta fase da história, até hoje, em muitas empresas, a manutenção é vista como uma área que apenas gera gastos dentro do processo produtivo, além de atrapalhar a produção, quando tem que fazer intervenções nas máquinas e equipamentos. A forma como estas ocorrem determinam a política de manutenção adotada.

Apesar de toda a roupagem que possa advir das necessidades de cada empresa em determinado período, pode-se observar que, na realidade, ocorrem apenas duas políticas mais claras: corretiva ou preventiva. Todas as demais acabam, de certa forma, sendo um tipo de preventiva (SLACK, 1993). Mesmo assim, é interessante se destacar a preditiva das demais, apesar de haver algum consenso de que a preditiva é uma forma de preventiva, a fim de se explorar um pouco de suas peculiaridades. Seguem, então, algumas definições das políticas de manutenção hoje discutidas.

### **Política Corretiva**

Antes da segunda grande guerra mundial, quando as empresas possuíam equipamentos mais simples, e numa época em que ainda não se tinha uma correta visão de produtividade, podia-se contar com uma equipe de manutenção que se mantinha preparada para intervir apenas quando ocorria a quebra do equipamento. Neste esquema de manutenção, os conflitos com a área produtiva eram menores, já que a produção tinha uma falsa impressão que só perderia produção quando não houvesse outra alternativa.

A este tipo de política dá-se o nome de política de manutenção corretiva (REYS, 1995). Porém, se analisado o tempo gasto com a recuperação da máquina ou do equipamento, associado ao custo de recuperação dos danos marginais causados pela quebra inesperada do equipamento, nota-se que os custos embutidos nesta forma de tratamento aos equipamentos passam a ser bem maiores que se fosse uma intervenção planejada.

A aplicação da manutenção corretiva, de forma planejada, ainda hoje é aceita como sendo uma forma de se tratar a correção após a falha porém, com tudo preparado para a intervenção sem grande interrupção de tempo até o reparo e, principalmente, de forma controlada.

Esta fase fica então conhecida como primeira geração da manutenção, dando passagem, ao final da segunda grande guerra, para o que se tornou conhecida como a segunda geração da manutenção, onde os investimentos feitos no aumento da mecanização tornaram as instalações industriais mais complexas, além de aumentar o parque instalado e, conseqüentemente, aumentar a competitividade (MOUBRAY, 2000).

### **Política Preventiva**

A complexidade dos novos equipamentos surgidos no período que ocorre entre a segunda grande guerra e a década de 1960, associada ao aumento dos investimentos na indústria, fez com que houvesse um aumento na competitividade e a busca pela produtividade surge como fonte estratégica

para se conseguir vantagem competitiva. Não se admite mais, neste cenário, equipamentos com os quais não se possa contar, quando necessário. Aparecem, então, os conceitos de disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos dentro da produção. Surge, assim, a idéia de se ter uma nova política, onde os componentes ou partes dos equipamentos sejam substituídos considerando-se intervalos prefixados de tempo, baseados em dados técnicos de vida dos tais componentes, a fim de se evitar a indisponibilidade do equipamento quando necessário. A tal política deu-se o nome de política de manutenção preventiva (MOUBRAY, 2000).

Surge, nesta fase, o que se pode chamar de segunda geração da manutenção que, em função da necessidade de se controlar os períodos de intervenção, gera espaço para o surgimento dos sistemas de planejamento e controle da manutenção, além de se investir duramente num trabalho de aperfeiçoamento e aumento da vida útil dos componentes, já que componentes de menor durabilidade passam a representar intervenções em períodos menores de tempo e, conseqüentemente, redução do período disponível dos equipamentos à produção embora este tempo possa ser recuperado por um menor MTTR (*mean time to repair*) ou tempo médio para reparo (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2002).

Nesta segunda geração, podem-se observar ganhos de produtividade em relação à primeira geração e que, em função das necessidades da época, foram muito válidos. Porém, com o transcorrer do tempo, observam-se novas necessidades, principalmente em função do crescimento da automação e do aparecimento de novas técnicas de se planejar a produção.

### **Política Preditiva**

O período que se inicia na década de 1970 marca o início da terceira geração da manutenção. O aumento da automação permite condições anteriormente impossíveis de se imaginar. Os métodos baseados em produção enxuta, que pressupõe um baixo nível de estoque em processo, exigem um aumento do grau de confiabilidade nos equipamentos de produção. As intervenções devem,

então, aparecer somente quando as condições dos equipamentos apontarem para sua parada. Esta política de manutenção é baseada em avaliação de parâmetros e exige acompanhamento constante dos componentes destes equipamentos. Surge, então, a política de manutenção preditiva que, na verdade, é uma variação da política preventiva onde, através de análises comportamentais dos equipamentos, pode-se prever sua intervenção o mais próximo possível da falha, porém antes que esta ocorra (NEPOMUCENO, 1985).

Algumas outras questões vêm, hoje, compor material de apoio ao estabelecimento de tal política. Questões voltadas à preservação do meio-ambiente cobram a utilização máxima de itens industrializados, retardando o retorno do produto à natureza após seu uso.

Também as questões voltadas à segurança acabam incrementando outras variações da manutenção preventiva com outros tipos de ação que passam a compor novas políticas que, se forem avaliadas com maiores detalhes, acabam se colocando entre uma das três já comentadas anteriormente (MOUBRAY, 2000). Portanto, como o título da política não é o mais importante neste trabalho, pode-se assumir que somente existam estes três tipos, mesmo havendo autores que se referem a outras políticas de manutenção (PINTO e XAVIER, 1999).

### **Política Detectiva**

A partir da necessidade do aumento da confiabilidade nos equipamentos, pode-se também identificar uma política chamada por Moubray (2000) de detectiva. Esta visa garantir que componentes pouco utilizados, porém não menos importantes, não falhem quando solicitados. Pode-se enquadrar nesta categoria de equipamentos aqueles voltados para proteção e segurança como, por exemplo, dispositivos de limite de elevadores, sensores de temperatura, pressão, enfim aqueles que possam garantir ao máximo os limites da confiabilidade contra casos de falha extrema.

#### 4.2. TPM (*TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE*)

No transcorrer dos anos, várias formas de se tratar o gerenciamento da produção surgiram e, conseqüentemente, novas formas de se tratar o gerenciamento da manutenção. O surgimento do *just-in-time* (JIT), nos anos 60, por exemplo, tornou os processos produtivos ainda mais susceptíveis às paradas, já que, neste processo, busca-se eliminar os estoques intermediários como um todo (CORREA e GIANESI, 1993). Surge, então, a necessidade de se implementar uma política de total confiabilidade em todos os equipamentos do processo, pois o atraso em um deles provoca um atraso em todo o processo. Outras idéias surgidas a partir do JIT envolvem áreas como a de qualidade, para que todos possam garantir a qualidade em cada fase do processo.

Apesar de se notar certa preocupação com a manutenção preventiva, pode-se observar que existem oportunidades de trabalho no sentido de se melhorar este quadro, a fim de colocar a área de manutenção, definitivamente, numa posição estratégica dentro das empresas.

Analisando estas questões, tem-se a manutenção como prioridade estratégica, a qual pode ser chamada, também, de manutenção pró-ativa, e cuja metodologia que mais se aproxima dela, estudada na comunidade científica, é a TPM - *Total Productive Maintenance* ou Manutenção Produtiva Total, pois coloca cada pessoa envolvida no processo como responsável pelos próprios equipamentos, como se estes fossem de propriedade de cada um deles (HERNALSTEENS, 1993).

Como a manutenção corretiva, isoladamente, se preocupa em eliminar as falhas já ocorridas, não havendo programação da missão manutenção, a indisponibilidade imprevista poderia prejudicar não somente a velocidade das trocas de ferramentas ou *setup*, como o cumprimento da própria programação da produção corrente.

Da mesma forma, isoladamente, a manutenção preventiva, que já visa a eliminação ou diminuição das possibilidades de falhas por manutenção durante o processo, e trabalha sempre em intervalos pré-planejados, pode cooperar um pouco mais com a não interrupção inesperada dos processos (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2002).

Ainda, a manutenção preditiva, que permite predizer, com elevada margem de segurança, até quando um componente resistirá aos esforços aos quais está submetido, identificando quando será a data mais provável de sua substituição, poderá prover um menor número de interrupções no processo dentro da possibilidade de substituição, num período previsível (NEPOMUCENO, 1985).

Porém, com a implementação da metodologia TPM, pode-se notar uma maior contribuição às estratégias de produção adotadas pelas empresas, especialmente a da flexibilidade, pois conclama a perfeita integração homem/máquina/empresa, onde a preocupação com a manutenção dos equipamentos passa a fazer parte da cultura de todos dentro do processo produtivo. Isso faz com que os próprios operadores, que são responsáveis pelas questões de flexibilidade da produção, engajam-se no processo a fim de não só identificar o momento oportuno para aplicação das tarefas de manutenção, como também sugerir novos métodos para aplicá-la, sem prejuízo no cumprimento dos prazos cada vez mais imprevisíveis. Pode-se notar que o envolvimento dos empregados no processo é de fundamental importância para o sucesso na implementação do TPM (CARVALHO, 2002).

Introduzida nos Estados Unidos da América em 1987, a metodologia japonesa TPM é apresentada como um remédio para problemas de ineficiência da produção. Na realidade, no Japão da década de 70, e após longos anos de reconstrução, os produtos japoneses não conseguiam competir de igual para igual nos mercados americano e europeu pela falta de qualidade. Surge, então, a idéia de se aplicar uma metodologia de TQC (*Total Quality Control* ou Controle da Qualidade Total) na tentativa de se solucionar o caso. Ocorre que, devido a constantes defeitos e quebras de equipamentos no processo produtivo japonês, tornava-se quase que impossível uma correta

implementação do TQC, já em atividade nos Estados Unidos da América. Renasce, então, a filosofia ou metodologia do TPM, que muito embora tenha entrado no ocidente apenas nos anos 80, já existia a uma década no Japão. Porém, esta metodologia fica conhecida como tal a partir de Seiichi Nakajima, precursor do TPM no Japão na década de 70, juntamente com o TQC (HERNALSTEENS, 1993).

Em seu surgimento, esta metodologia se baseava em cinco pré-requisitos básicos para um bom processo de manutenção, que ficou conhecido como os cinco pilares da TPM, que podem ser observados na Figura 6.

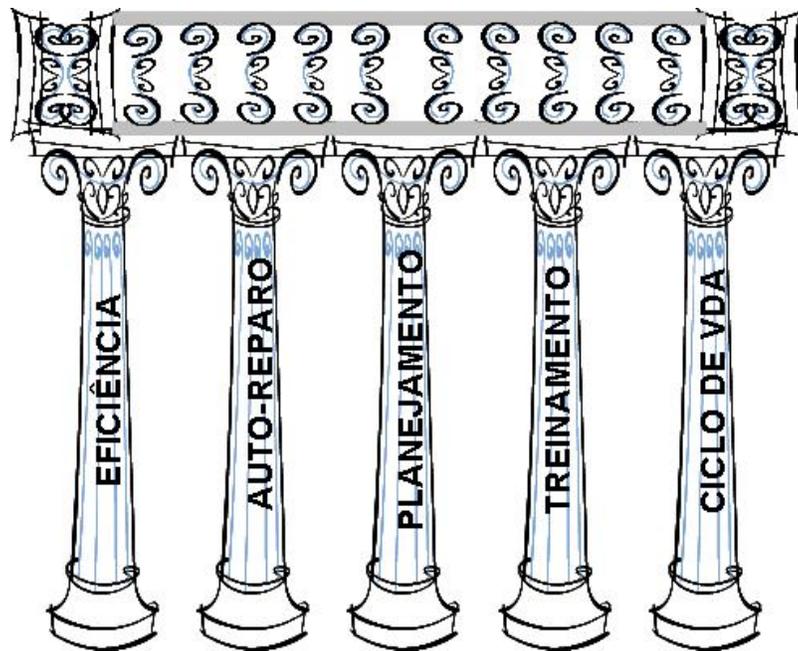


FIGURA 6 – MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL - TPM.

FONTE: TAKAHASHI E OSADA (1993).

O TPM estaria, então, fundamentado em cinco princípios:

- EFICIÊNCIA - Atividades que aumentam a eficiência dos equipamentos.
- AUTO-REPARO - Estabelecimento de um sistema de manutenção autônoma e ser executado pelos próprios operadores.
- PLANEJAMENTO - Estabelecimento de um processo de manutenção planejada.
- TREINAMENTO - Implementação de um sistema de treinamento visando melhor qualificar tecnicamente o pessoal envolvido no processo.
- CICLO DE VIDA- Estabelecimento de um sistema de gerenciamento dos equipamentos.

Em alguns casos, o programa TPM acabou não tendo sucesso, basicamente por falta de conhecimento e envolvimento do pessoal necessário no processo. Criar um programa TPM numa empresa requer grandes investimentos em treinamento do pessoal, já que todo operador passa a cuidar de sua própria máquina e o treinamento na metodologia deve ser extensivo a todos os funcionários, em todos os níveis. Muitos fracassaram pelo não entendimento do próprio pessoal de manutenção, que não aceitava o fato de o operador da máquina cuidar da sua máquina ou equipamento. Desta forma, adaptações ocorreram no transcorrer do tempo e, hoje, autores como Pinto e Xavier (1999), apresentam oito pilares que estruturam o TPM. Pode-se, então, observar certos princípios associados a cada um dos pilares:

- MELHORIA FOCADA – Ter claramente focada a melhoria que se deseja no negócio.
- MANUTENÇÃO AUTÔNOMA – Autogestão e controle voltados à conscientização da filosofia TPM.
- MANUTENÇÃO PLANEJADA – Ter um efetivo planejamento e controle dos períodos e das paradas para manutenção.

- **EDUCAÇÃO E TREINAMENTO** – Melhorar capacidades de relacionamento pessoal, técnicas e de gerenciamento dos manutentores e operadores.
- **CONTROLE INICIAL** – Envolver os manutentores desde a concepção de um novo projeto ou aquisição.
- **MANUTENÇÃO E QUALIDADE** – Estabelecer um programa de falha zero.
- **TPM OFFICE** – Envolvimento de toda a área administrativa no programa TPM.
- **SEGURANÇA, SAÚDE OCUPACIONAL E MEIO-AMBIENTE** – Estabelecer um programa específico para cuidar destes itens.

A idéia que se tinha era a de que o operador estaria executando a substituição de peças em seus equipamentos ou coisa parecida quando, na verdade, a idéia era a de ele cuidar de sua máquina como se fosse sua através de pequenas intervenções ou, ainda, da observação do comportamento da máquina, fazendo uso de suas habilidades naturais, ou seja, utilizando seus cinco sentidos, já que estava próximo à máquina durante quase todo o tempo de operação (DOUGLAS, 2002).

Então, não haveria problemas em se preparar os operadores para tal. Porém, o fato de funcionários até então operadores começarem a executar algumas atividades de inspeção de máquinas pode provocar uma série de reivindicações não previstas e que, dependendo da legislação, pode criar grandes problemas na implementação do processo. Obviamente, alguns podem entender que o tempo de preparação do pessoal operador para as atividades do TPM vai significar tempo perdido da produção, o que nem sempre deve ser levado em conta, já que a recuperação de tempo envolvido no processo de “casamento” entre o TPM e a manutenção autônoma faz com que o prolongamento do tempo de atividade de cada máquina compense tais paradas (KOELSCH, 1993).

Obviamente, todas as empresas hoje buscam fazer parte das classificadas como Empresa Classe Mundial e têm trabalhado no sentido de se tornar empresas que tenham um nível de manutenção classe mundial. Sendo assim, tem-se tentado, de muitas formas, determinar onde cada empresa está ou pretende chegar a fim de determinar as estratégias a serem estabelecidas para elas. Porém, sempre que se está frente a uma situação onde se tenha que definir a política ideal de manutenção, pode-se estar exagerando na dose e, conseqüentemente, inviabilizando sua implementação (WIREMAN, 1990).

A grande questão ainda continua sendo como definir o grau de criticidade de cada equipamento dentro da linha de produção, já que as metodologias dizem apenas que se deve definir este tal grau de criticidade sem, no entanto, indicar os caminhos para tal determinação.

Com o passar do tempo criaram-se indicadores para algumas avaliações da TPM. O Rendimento Operacional Global (ROG) é um indicador que fora criado para administrar grandes perdas de uma organização. Levam-se em consideração três fatores em seu cálculo: a disponibilidade, o desempenho e o índice de qualidade. A disponibilidade leva em consideração os tempos de parada da instalação, o desempenho considera o tempo de ciclo teórico e, por último, o índice de qualidade que é considerado em função de como a instalação está no tocante a fabricação de bons produtos da primeira vez, evitando tanto os retrabalhos como a geração de peças não aproveitáveis (MIRSHAWKA e OLMEDO, 1993).

#### **4.3. RCM (*RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE*)**

O conceito RCM nasce em 1974, quando o Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América autoriza a empresa aérea *United Airlines* a emitir um relatório a respeito dos processos utilizados pela indústria da aviação para preparar os programas de manutenção das aeronaves. Tal relatório recebeu o nome de *Reliability Centred Maintenance* ou Manutenção Centrada em Confiabilidade. Até então, tinha-se como verdade que cada parte de uma

máquina ou equipamento tinha uma idade pré-definida e a revisão completa se tornava necessária para garantia da confiabilidade das máquinas e equipamentos. No transcorrer dos tempos, porém, notou-se que certos tipos de falha eram impossíveis de serem evitados. Através da análise das causas das falhas os técnicos passaram a desenvolver projetos que contemplavam sistemas com duplicação de partes, quando necessário, estruturas tolerantes a danos, enfim, aviões tolerantes a falhas. Até o início da década de 1980, a marinha americana se utilizava intensamente da metodologia RCM e, a partir de então, inicia-se um processo de implementação da metodologia na indústria manufatureira. Em 1984, três empreendimentos de energia nuclear dos EUA começam a aplicá-la em alguns sistemas pilotos (MOUBRAY, 2000).

A RCM, sendo outra metodologia voltada à manutenção, agora centrada na confiabilidade, tende a modificar o foco de análise, porém ainda sem ajudar muito na definição das questões relativas ao grau de criticidade (HARAN, 2002). Com uma maior penetração que a TPM no mundo ocidental, perceptível pelo número de artigos dedicados a tal assunto, possivelmente pelo seu apelo à confiabilidade, pode-se esperar um pouco mais de resultado de um processo que, além de envolver o pessoal operacional profundamente, como a TPM, envolve também, com maior objetividade, todos os outros níveis organizacionais das empresas (MOUBRAY, 2000).

Com uma proposta ousada, a RCM aparece com o objetivo de ultrapassar os resultados que se apresentavam pela TPM. Pode parecer que são até metodologias contraditórias mas, na verdade, nota-se que são complementares. Ainda hoje, existem pessoas estudando esta relação, já que não se pode esperar que sejam analisadas individualmente, pois parece a muitos serem complementares (BEN, 2000).

Tem-se que entender que trabalhar com as análises das questões normalmente discutidas a respeito do estabelecimento do grau de criticidade das máquinas e equipamentos não é uma tarefa fácil. Daí o fato de a maioria da literatura a respeito deste assunto o tratar por vezes de forma displicente e outras por demais complexas, como o modelo de Jia (2002), que apresenta

uma quantidade enorme de cálculos buscando determinar alguns pontos de controle. Obviamente, esta é muitas vezes a única forma de se determinar existência de efetividade em um método. Outra questão importante é a da informatização dos dados necessários ao acompanhamento da implementação da RCM, assim como ocorre com qualquer outra metodologia administrativa implementada (REICKS JR, 2000).

Dentro deste enfoque, e ainda considerando a possibilidade de uso conjunto da TPM inicia-se uma análise das questões efetuadas por tais metodologias em relação à criticidade dos equipamentos e como a TOC pode ajudar na sua solução.

Uma das ferramentas fundamentais da RCM é a Análise de Efeitos e Modos de Falha (FMEA), ilustrada na Figura 7. O FMEA propõe que se divida a máquina ou equipamento para permitir avaliar as causas e os efeitos de cada componente sobre o sistema.

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Nível 6	Nível 7
Conjunto Bomba Falha	Bomba Falha	Rotor Falha	Rotor se solta	Porca de fixação solta	Porca não apertada corretamente	Erro de montagem
				Porca de fixação deteriorada	Porca eroida/corroida	Especificado material errado Suprido material errado
				Porca do rotor trincada	Porca do rotor super apertada	Erro de montagem Especificado material errado Suprido material errado
				Chaveta do rotor cortada	Aço especificado errado	Erro de projeto Erro de aquisição Erro de armazenagem Erro de requisição
				...	Aço suprido errado	
				...		
				...		
				...		
				...		
				...		

FIGURA 7 – ANÁLISE DE EFEITOS E MODOS DE FALHA (FMEA).

FONTE: MOUBRAY (2000).

A demonstração deste exercício de especificação de causas e efeitos visa somente estabelecer um paralelo entre o que a RCM espera em relação a cada conjunto ou componente de uma determinada máquina ou equipamento e a necessidade de se estabelecer um critério de análise de necessidade,

disponibilidade e confiabilidade para se tomar a correta decisão em relação a eles. Passa-se, então, a identificar as formas como atuar em cada situação (MOUBRAY, 2000).

Muito embora a Figura 7 apenas apresente uma ferramenta operacional da manutenção, a importância que se dá a ela está no fato de, através de uma especificação detalhada do ativo, poder-se garantir sua confiabilidade, objetivo principal da RCM.

A RCM , definida como “um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que o seu usuário quer que ele faça, no seu contexto operacional presente” (MOUBRAY, 2000), sugere sete questões básicas para garantia de sua proposta:

- Quais são as funções e padrões de desempenho de um ativo no seu contexto presente de operação?
- De que forma ele falha em cumprir suas funções?
- O que causa cada falha funcional?
- O que acontece quando ocorre cada falha?
- De que forma cada falha importa?
- O que pode ser feito para predizer ou prevenir cada falha?
- O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa pró-ativa apropriada?

Se todas as questões estão relacionadas às falhas, as definições devem ser efetuadas conjuntamente entre as diversas áreas operacionais. A Figura 8 ilustra diversas formas de entendimento de um mesmo fato que, no transcorrer do tempo, levou ao agravamento da situação, partindo de uma mera intervenção para averiguação do vazamento, até a interrupção do

funcionamento da máquina, afetando diretamente a produção. O técnico de segurança entende que a falha funcional ocorre quando o vazamento criar uma poça de óleo no chão, podendo provocar quedas ou, ainda, provocar risco de incêndio. O gerente de manutenção vai intervir, mandando que se repare o vazamento, apenas pelo fato do consumo de óleo estar afetando seu orçamento. A questão é que todos estão cientes da necessidade da prevenção. O que ocorre é a falta de se tomar o problema para chegarem a um consenso sobre exatamente o que é “falha” e quando deve ocorrer a intervenção. (MOUBRAY, 2000).

Concluem-se, daí, que, das sete questões propostas por Moubray (2000), duas delas são as perguntas-chave que podem auxiliar na análise de disponibilidade e criticidade: a primeira, que busca determinar com precisão o que os usuários esperam que os ativos sejam capazes de fazer, e a quinta, a qual busca avaliar as conseqüências da falha.

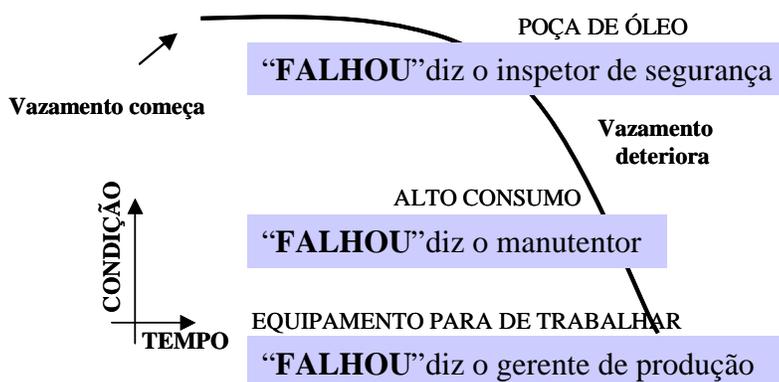


FIGURA 8 – VISÕES DIFERENTES SOBRE FALHAS.

FONTE: MOUBRAY (2000).

Assim, segundo Ben (2000), a RCM pode ser compreendida pelas seguintes características:

- Seu primeiro objetivo é preservar a funcionalidade do sistema.
- O modo de falha que causa a falha de funcionalidade deve ser identificado.
- Os modos de falha devem ser priorizados a fim de refletir seu grau de importância na funcionalidade do sistema.
- As ações de manutenção preventiva, aplicáveis, devem se direcionar aos objetivos identificados acima e os custos associados devem ser identificados para ver se são justificáveis.

Portanto, a RCM é uma abordagem sistemática que pode ser usada para implementar as quatro características acima descritas (BEN, 2000).

Pelo fato de se introduzir vários novos conceitos quando da implementação da RCM, pode-se esperar uma grande variedade de obstáculos nos mais diversos níveis da organização. Para se amenizar a resistência, há que se ter uma visão de processo o que permite ajudar na identificação de quem é quem, seus papéis, responsabilidades, rotinas, entre outras questões (BACKLUND e AKERSTEN, 2003).

#### **4.4. MANUTENÇÃO COMO APOIO ÀS POLÍTICAS DE PRODUÇÃO**

A disponibilidade dos recursos produtivos torna-se fator crucial para o atendimento dos objetivos estratégicos da produção, e seria impossível pensar na manutenção como uma área isolada do planejamento estratégico. Dentro do processo evolutivo da manutenção nas empresas, crescer-se-ia, dentre as três gerações já estudadas, uma quarta geração despontando. Além de compreender a manutenção nas suas três formas, ou seja, a Manutenção Corretiva (reparar quando falhar), a Preventiva (reparar antes que falhe) e a

Preditiva (monitorar o momento da falha e reparar somente na eminência desta), nota-se, agora, a área de manutenção como parte integrante na obtenção de vantagem competitiva na produção, independente da política, mas marcando o início de uma nova geração.

Sempre que se fala em manutenção como vantagem competitiva, tende-se a imaginá-la com políticas que consigam garantir o parque instalado sempre em funcionamento, sem interrupções e, portanto, dentro de um nível de disponibilidade total. Impossível concordar com tal situação, já que a estatística está contra esta conclusão. A falha ocorrerá, independente da política adotada. O que precisa ser bem definido é o grau de criticidade de cada equipamento e, conseqüentemente, o grau de disponibilidade necessário ao processo produtivo (MOUBRAY, 2000).

Seja através de técnicas mais antigas para determinação de itens críticos ou de metodologias mais atuais, como o TPM e o RCM, se apenas a área de manutenção estiver trabalhando nas definições de criticidade, sempre ocorrerão divergências de pensamento entre as áreas de manutenção e a área operacional. Portanto, em primeiro lugar, a equipe ou time que trabalhará este aspecto deve ser composto de pessoas de várias áreas. O que se percebe é que, para as pessoas de produção, é importante que o parque todo sempre esteja disponível. Por outro lado, para o pessoal de manutenção, há necessidade de paradas para as intervenções necessárias ao bom funcionamento dos equipamentos. Daí, nota-se que, dentre as várias técnicas modernas de se gerenciar as manutenções, todas passam por uma fase de análise de grau de criticidade para estabelecer o tratamento necessário a cada componente dos equipamentos. Basta, então, analisar algumas destas metodologias e suas dificuldades para se entender as desvantagens de uma opção equivocada da política de manutenção. Destaca-se a necessidade de medidores que possam avaliar a eficiência da aplicação de metodologias na busca da confiabilidade (GERTSBAKH, 2002).

Encontram-se, hoje em dia, várias discussões a respeito da posição estratégica da manutenção na área produtiva, tornando-a cada vez mais um elo de ligação

entre as diversas instâncias responsáveis por uma ambiência organizacional que fomenta a inovação voltada para a melhoria contínua. Neste ambiente, vislumbra-se manutentores se especializando tecnicamente e, em conjunto com a operação, buscando um melhor entendimento dos ativos sob sua responsabilidade (SILVA, 2004).

## **5. A TOC COMO APOIO ÀS POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO**

Sabe-se que uma política de manutenção mal elaborada pode levar ao fracasso da área de produção quando, se estabelece parâmetros de confiabilidade ou durabilidade dos equipamentos muitas vezes insuportáveis para a manutenção. Notam-se, também, uma profunda preocupação no sentido de se aproveitar os modelos conceituais existentes a fim de apoiar tais tomadas de decisão. Porém, o cruzamento entre modelos, como ferramentas que possam levar a uma melhor solução, parece não estar bem entendido dentro dos planos empresariais. Isso, muitas vezes, tem levado a crer que as práticas teóricas adotadas de forma isolada não surtem o efeito esperado, causando certa decepção entre os participantes do processo. Nota-se, ainda, na última década, uma preocupação com o envolvimento do pessoal decisivo das empresas em cursos de atualização tecnológica, seja de processo ou de maquinário, para se tentar justificar o fracasso dos planos mal sucedidos na área de manutenção (MIRSHAWKA e OLMEDO, 1994). Sendo assim, como a Teoria das Restrições pode colaborar para amenizar tais efeitos?

### **5.1. A CRITICIDADE DAS MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS**

Como determinar que uma máquina ou equipamento é realmente crítico ao processo produtivo se não se tiver um método de identificação adequado deste? Basicamente, o que se tem observado é uma não discussão conjunta do que deve ser levado em conta no momento das próprias definições de termos utilizados nas tomadas de decisão na área de manutenção.

Pelas avaliações obtidas até este ponto, pode-se deduzir que crítico é o recurso cuja disponibilidade for menor que o tempo de ciclo de um dado processo.

Como a disponibilidade conceitualmente é dada pela equação:

$DISP = MTBF / (MTBF+MTTR)$ , onde DISP representa o percentual de disponibilidade, MTBF (*mean time between failures*) é o tempo médio entre falhas e MTTR (*mean time to repair*) é o tempo médio para reparo, ao aumentar-se o percentual de disponibilidade de um ativo, menos crítico ele se tornará para o sistema (MIRSHAWKA e OLMEDO, 1993).

Cabe, portanto, lembrar que, se a capacidade requerida for inferior à disponibilidade, de nada adiantará aumentar o índice de disponibilidade do ativo.

Exemplificando: se um equipamento tem um tempo determinado de 1000 horas e, neste exemplo, ocorrerem 5 falhas, com um MTTR de 50 horas, ter-se-á:

$$MTBF = 1000/5 = 200 \text{ horas}$$

$$DISP = 200 / (200+50) = 0,8 \text{ ou } 80\% \text{ de disponibilidade}$$

Tradicionalmente, este valor de um indicador de disponibilidade merece atenção especial pelo seu baixo índice. Porém, se a capacidade requerida para o mesmo período for de 800 horas, de nada adiantará o aumento de disponibilidade para o sistema. O que importa é identificar se o tempo de ciclo permite atender a demanda dentro do tempo disponível. Isso fará com que o equipamento exemplificado não se enquadre como um equipamento crítico para o processo, sem se esquecer de observar a necessidade de capacidade adicional que deverá ser considerada para efeito de capacidade protetiva.

## **5.2. APLICAÇÃO DA TOC E GERAÇÃO DO MODELO**

Diante do exposto nos capítulos anteriores, sabe-se que, independente da metodologia aplicada nos processos de manutenção, há necessidade de se identificar o real grau de confiabilidade necessário a cada fase do processo produtivo para não se investir desnecessariamente em políticas mais custosas

para sistemas que permitem políticas menos rigorosas, porém que atendam às necessidades daquela fase do processo.

A TOC, então, pode aparecer como ferramenta balizadora destas necessidades ao permitir que, a partir da determinação do grupo de equipamentos críticos, em conjunto com as pessoas de produção, possa-se relacionar as políticas adequadas, dentro de padrões que tenham sido identificados pela TOC.

A partir do exemplo da Figura 5 no Capítulo 3, pode-se entender que oportunidades de utilização da TOC no estabelecimento das políticas de manutenção existem e, combinadas com metodologias TPM e RCM, podem contribuir para que os investimentos na manutenção estejam sendo aplicados nos recursos adequados.

Assim, como para Goldratt e Cox (1986) os recursos não-restrição podem e devem ser utilizados como vantagem competitiva em nível de flexibilização, para as políticas de manutenção, pode-se adotar o mesmo conceito, onde o nível da criticidade diminui no momento em que o recurso se afasta de ser restrição, podendo ser definidos critérios mais adequados de relação custo-benefício.

O estabelecimento de políticas de manutenção adequadas não implica, necessariamente, em uma ou outra metodologia e, sim, numa definição estratégica de onde os investimentos são os mais adequados a cada situação da empresa. Muitos projetos de implantação da TPM podem fracassar pela indefinição da abrangência pretendida (MIRSHAWKA, 1994).

Da mesma forma, quando do estabelecimento da política adequada, tem-se que entender que o parque todo pode estar dentro de uma mesma metodologia de tratamento da manutenção, mas não de uma única política.

Enfim, o objetivo maior desta proposta é o de suportar, por intermédio da TOC, a elaboração de um modelo onde, através da sua aplicação, possa-se estabelecer políticas de manutenção, aumentando-se ou diminuindo-se o grau

de esforço a ser empregado conforme os recursos forem sendo definidos mais próximos ou distantes do limite da carga de máquina. No capítulo que segue, será explanado o modelo proposto neste trabalho.

Importante ressaltar que a empresa não precisa ter a TOC implementada em seus processos para adotar o modelo. Um conhecimento superficial porém, um reconhecimento de sua importância ou até mesmo de seus impactos, são necessários para o sucesso da aplicação do modelo.

## **6. O MODELO**

Neste capítulo, inicia-se a discussão a respeito de um modelo baseado nos princípios analisados anteriormente. Este modelo tem como objetivo maior o de nortear aqueles que têm poder decisório no tocante ao estabelecimento das políticas de manutenção das empresas, a fim de estabelecer a melhor opção de política, independente da metodologia adotada. Porém, caso se faça necessário, devem se adotar novas metodologias a fim de atender aos princípios do modelo. Portanto, este modelo pretende concluir a parte teórica deste trabalho, sem no entanto defini-lo como uma ferramenta definitiva, necessitando para tal de testes futuros, que sejam empregados em empresas que estejam dispostas a formular suas análises decisórias à luz do raciocínio lógico da TOC. O modelo foi desenvolvido observando os processos produtivos e logísticos existentes no mundo empresarial e, a partir deles, as máquinas ou equipamentos neles contidos para, só então, se estabelecer o grau de disponibilidade e confiabilidade requerido de cada um deles.

### **6.1. DESENHO DO MODELO**

O modelo apresentado na Figura 9 foi concebido estabelecendo-se oito passos. Eles serão descritos no próximo item, buscando esclarecer os detalhes inerentes a cada um deles, além de procurar justificar sua aplicação em cada um dos níveis de decisão.

O modelo segue um esquema de fluxo cíclico e ininterrupto, numa periodicidade estabelecida de acordo com a periodicidade em que a empresa estiver sujeita a ter seus processos alterados.

Tomando-se por base o raciocínio lógico da TOC, foi desenvolvido um modelo que busca interpretar e orientar a aplicação dos recursos de manutenção de acordo com o estudo dos gargalos.

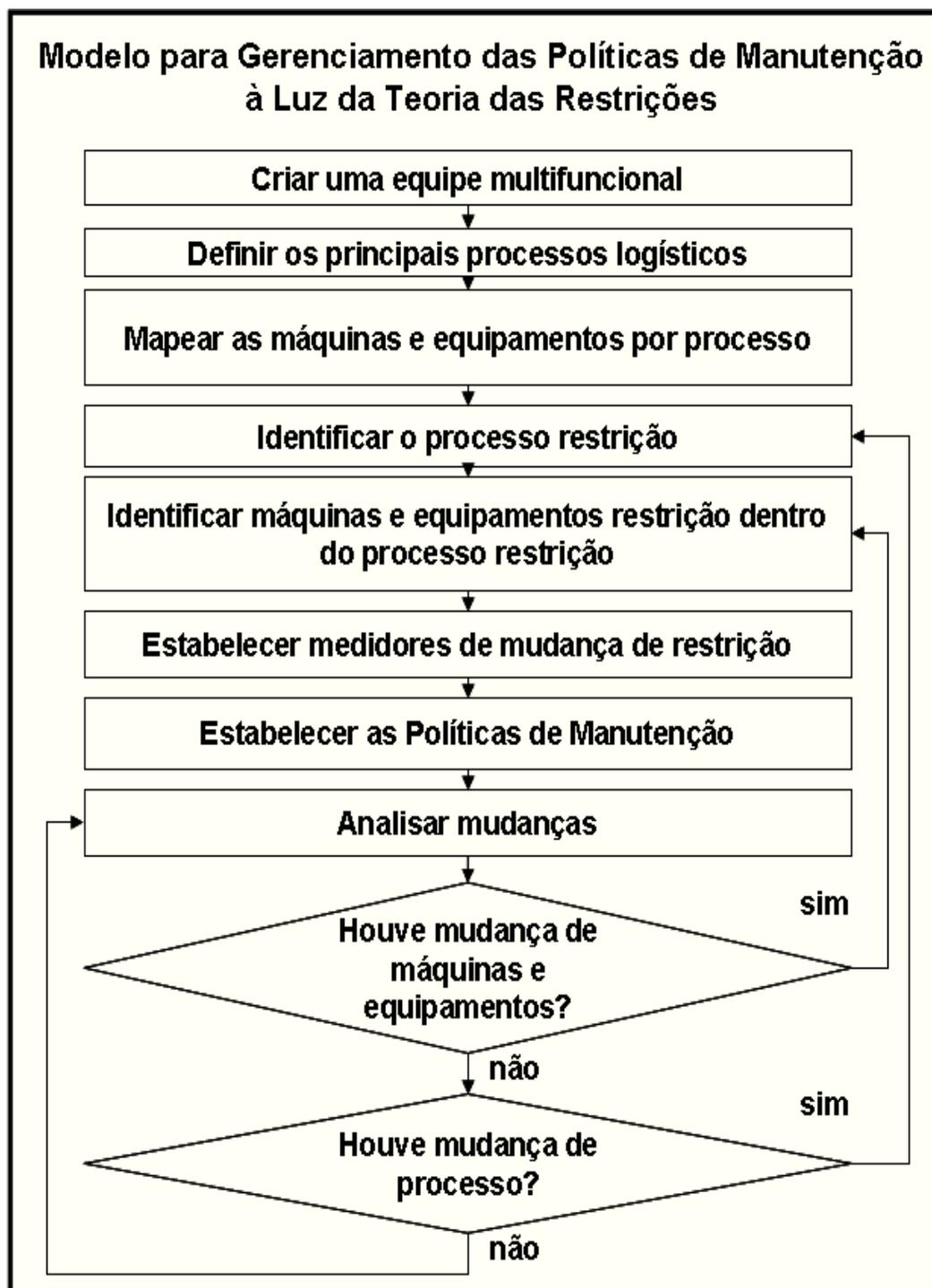


FIGURA 9 – MODELO PARA GERENCIAMENTO DAS POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO À LUZ DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES.

A contribuição da manutenção para o processo está intimamente ligada ao fato de, conhecendo os gargalos, estar mantendo-os com o máximo de disponibilidade possível, com o mínimo necessário de recurso.

## **6.2. ANÁLISE DO MODELO**

Para facilitar o entendimento do modelo, serão analisados cada um de seus passos, onde se entende por passo do modelo cada fase a ser obedecida para o correto direcionamento na tomada de decisão, objetivo deste trabalho:

### **Passo 1- Criação de uma equipe multifuncional**

Este primeiro passo visa estabelecer um time de trabalho que deverá participar dos três primeiros passos do modelo, quando da análise das questões estratégicas da empresa, devendo prever a participação de um ou mais membros de cada uma das áreas (Diretiva, Comercial, Logística, Produção e Manutenção).

A participação do(s) membro(s) da área Diretiva pressupõe seu(s) conhecimento(s) da situação da empresa em relação a suas políticas de qualidade, meio-ambiente, sociais, além de outras políticas que façam parte das estratégias corporativas.

Àquele(s) da área Comercial pressupõe-se o(s) conhecimento(s) da situação da empresa em relação a seus clientes e fornecedores.

Ao(s) da área de Logística cabe o(s) conhecimento(s) profundo(s) da logística na empresa, seja nas questões de movimentação de estoques, como na distribuição dos produtos negociados pela empresa.

Àquele(s) da área de Produção e Manutenção, espera-se informações sobre as estratégias de manufatura a serem adotadas pela área produtiva no sentido de se atingir os objetivos corporativos.

### **Passo 2- Definição dos principais processos logísticos**

Neste passo, o time formado no passo um deve levantar uma correta definição dos processos Logísticos de Produção a fim de, a partir destas definições, possibilitarem o mapeamento das máquinas e equipamentos envolvidos em cada fase do processo empresarial. Quando se utiliza a palavra definição, busca-se explicar o grande impacto deste passo dentro do processo em função de ser a base para os passos seguintes, já que cada empresa pode definir seus processos-macro de forma diferenciada.

Assumindo que definição pressupõe entendimento, este passa a ser extremamente importante para que todos dentro da empresa entendam quais são as responsabilidades de cada processo, seus limites e restrições de forma homogeneia e precisa. Assim pode-se identificar de forma precisa cada elo da corrente. Isso facilitará a determinação das necessidades em cada fase do processo empresarial e seu verdadeiro impacto. Suportando este passo, pode-se comentar o item 3.3 deste trabalho, onde Umble e Umble (2002) trabalham a gerência da cadeia de suprimentos também associada à TOC.

### **Passo 3- Mapeamento das máquinas e equipamentos por processo**

A partir do passo anterior, devem ser mapeados os equipamentos e as máquinas que participam direta ou indiretamente de cada processo.

Importante citar que metodologias largamente difundidas podem ser utilizadas durante esta fase do modelo, já que este mapeamento visa no futuro identificar o gargalo. Ferramentas de BPM (*Business Processes Management*) ou de Gerenciamento de Processos de Negócios têm recebido total apoio da tecnologia da informação, onde se vê lançamentos constantes de programas para computador que suportam esta forma de gerenciamento como, por exemplo, o Aris da IDS Scheer e ainda outras que estão em pleno desenvolvimento como o da Fuego, Vitria, Tibco, Web Methods, Sybase, BEA, FileNet, IBM, Identi-tech, Plexus. Somam-se a elas outros, que também são considerados produtores puros de BPM, como Ultimus, Pegasystems, Adobe, CA, Fujitsu e Intalio (VALIM, 2004).

Nas questões do processo de Estoque/Armazenamento, podem-se citar Prédios, Prateleiras, Empilhadeiras, Carros-reboque, Iluminação, Veículos, Docas de embarque, dentre outros.

Quanto ao processo de abastecimento, podem-se enquadrar Docas de Recebimento, Equipamentos de Transporte, Talhas, Balanças, enfim todos aqueles que, de alguma forma, possam afetar positiva ou negativamente o desempenho do processo de abastecimento.

Em relação ao processo produtivo, encontra-se o maior desafio. Faz-se necessária a subdivisão de todo o processo de acordo com a peculiaridade de cada empresa. Obviamente, em se tratando de processo produtivo, há necessidade de se observar os pontos de estoque e/ou transferência de materiais entre as áreas a fim de se determinar fases distintas que, se incorretamente tratadas, podem se transformar em um gargalo do processo como um todo.

Adota-se, após este ponto, o exemplo de Chacravorty e Atwater (1994) para exemplificar o modelo. Na Figura 5, pg. 43, pode-se observar os recursos A, B, C e D como componentes dentro do mapeamento do processo de produção para se obter os produtos P e Q, assim como o fluxo e necessidades de cada recurso requerido para a transformação dos dois produtos.

#### **Passo 4- Identificação do Processo Restrição**

Os três passos anteriores têm por objetivo preparar as bases de ação para os passos seguintes onde, a partir deste, inicia-se o processo de decisão baseado na TOC. Portanto, cabe ainda, ao time citado no passo um, estabelecer o processo restrição dentro dos identificados anteriormente, levando-se em consideração questões políticas focadas à qualidade, meio-ambiente ou de cunho social, vistas como estratégias corporativas, tratadas no Capítulo 2.

Tais políticas corporativas podem, muitas vezes, levar a tomada de decisão na área de manutenção tão somente com o intuito de atendê-las, independente da real necessidade em nível de confiabilidade ou disponibilidade. Se dentre elas não houver restrições ou, ainda, se estas estiverem satisfeitas, pode-se partir para uma análise mais aprofundada de eventuais restrições de vendas, onde qualquer atitude de melhora no desempenho da área produtiva nenhum efeito trará se a capacidade de produção for superior à capacidade de mercado. Por outro lado, dentro do mesmo enfoque de interpretação, se a capacidade de abastecimento de matéria-prima for deficiente, nada que a área produtiva estabelecer em nível de disponibilidade ou confiabilidade poderá levar a um resultado efetivo.

Em situações como as anteriormente citadas, aumenta a dificuldade de algum investimento em metodologia de manutenção voltada a atender as condições de confiabilidade e disponibilidade do processo produtivo ser aprovado. Porém, se as deficiências de abastecimento ou distribuição estiverem sendo afetadas por motivos que partem de dentro do domínio da empresa, seja nas questões de máquinas/equipamentos ou de procedimentos, torna-se necessário identificar qual dessas áreas realmente está sendo a verdadeira restrição do processo empresarial.

Por fim, tendo-se avaliado as restrições de mercado ou abastecimento, e nada nelas for identificado, o modelo aponta conseqüentemente para um problema no processo produtivo, tomando-se como verdade o fato de a restrição estar dentro dele, devendo-se então enquadrá-lo como foco de ação para os próximos passos.

No exemplo apresentado na Tabela 1, pg. 44, pode-se observar que as capacidades de recursos se esgotam antes na demanda de mercado. Conseqüentemente, o processo gargalo está no processo produtivo. Basta agora identificar quais são os recursos utilizados que podem estar atrapalhando os planos de produção para se atender ao mercado.

### **Passo 5- Identificação das Máquinas e Equipamentos Restrição dentro do Processo Restrição**

Neste momento, entra em ação o time de manutenção que, sem necessariamente alterar o pré-estabelecido pela empresa, ou seja, dentro da metodologia já adotada pela mesma, inicia um trabalho de identificação dos fatores críticos ao processo produtivo. Este passo tem por objetivo, através de um mapeamento de processo, identificar as máquinas e equipamentos que façam parte do processo restrição, seja no abastecimento, na distribuição ou dentro do próprio processo produtivo. Sempre que se faz tal identificação pode ocorrer de o gargalo estar num mesmo ponto do processo ou ter mudado. Sendo assim, como se pode estabelecer um parâmetro aceitável para se identificar tais mudanças? Surge então a necessidade de medidores.

No exemplo apresentado, pela análise da Tabela 1, pg. 44, pode-se observar os recursos A e B sendo requeridos acima do normal ou seja, com percentual de carga acima dos cem por cento, o que demonstra dois gargalos no processo. Porém, deve-se identificar qual o mais crítico e, na Tabela 3, pg. 44, pode-se verificar que a rentabilidade do produto Q é maior que P. Portanto, deve-se trabalhar otimizando-se a produção de Q. Desta forma o RRC passa a ser o recurso A muito embora, a princípio, houvesse uma pretensão em se definir o recurso D como RRC, já que este possui maior quantidade de tempo perdido.

### **Passo 6- Estabelecimento de Medidores de Mudanças de Restrição**

A partir da identificação das máquinas/equipamentos restrição, cabe ao time de manutenção estabelecer indicadores de desempenho que permitam avaliar, dentro dos cinco passos da TOC, vistos no item 3.2, a eficácia das medidas adotadas nos resultados esperados para minimizar os impactos da restrição. Podem ser aproveitados indicadores de desempenho já conhecidos e utilizados pela empresa. Exemplificando, se a empresa adota o TPM poderá aplicar o ROG (Rendimento Operacional Global) apenas no

RRC. O acompanhamento periódico de tais indicadores dará condições de se avaliar a efetividade da política adotada no passo seguinte. Porém, caso a metodologia adotada pela empresa for contrária ao estabelecido no modelo ou ainda ao estabelecido pela TOC, a empresa deverá rever sua metodologia ou adotar outra que possa permitir o grau de aplicabilidade desejado.

No exemplo, pode-se entender nas Tabelas 1 e 2, pg. 44, um possível medidor que, se acompanhado, poderá indicar mudanças de gargalo, que é o percentual de carga.

### **Passo 7- Estabelecimento das Políticas de Manutenção**

O estabelecimento de uma política adequada de manutenção está então sujeito às condições detalhadas anteriormente.

Em se tratando da identificação de um recurso restrição que possa sofrer intervenções as quais permitam paradas periódicas para substituição de partes das máquinas em períodos pré-estabelecidos, a adoção ideal será a da manutenção preventiva, onde se podem aproveitar os tempos de parada aos finais de semana, feriados ou outros períodos estabelecidos, especialmente para empresas de produção sazonal. Por outro lado, em se tratando de um processo onde não haja parada programada, deve-se estabelecer uma política preditiva com *back-up* (componentes reserva) a fim de se encurtar o período de interrupção ou, até mesmo, uma manutenção corretiva planejada que, dependendo do período de intervenção permitido (que é função do tempo médio para reparo, MTTR) possa atender as necessidades de disponibilidade do processo. Assim, tem-se um nível de relação entre o grau de importância do recurso dentro do raciocínio lógico da TOC diretamente proporcional ao esforço a ser despendido pela área de manutenção, como ilustrado na Figura 10 e que, conseqüentemente, acarreta o estabelecimento de políticas mais ou menos rígidas em cada ponto e a cada situação do processo.

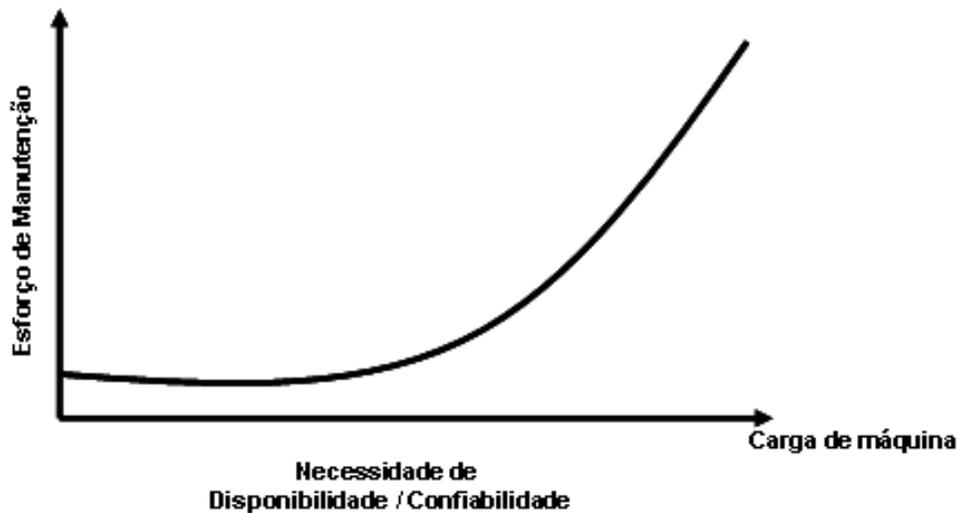


FIGURA 10 – TENDÊNCIA DE ESFORÇO DA MANUTENÇÃO EM RELAÇÃO AO RRC.

O que se busca, na realidade, com o modelo proposto é uma adequação das técnicas de manutenção que a metodologia adotada pela empresa utiliza às necessidades de disponibilidade/confiabilidade de cada máquina ou equipamento e a cada tempo, que poderia ser reconhecida como uma Política de Manutenção Situacional.

### **Passo 8- Análise das Mudanças**

O último passo do processo prevê que o time formado no primeiro passo receba as informações dos indicadores periódicos, estabelecidos no passo seis e, baseado neles, possa reavaliar as possíveis mudanças ocorridas nos processos a fim de identificar mudanças de restrição.

Em se identificando mudanças de restrição dentre os equipamentos em um mesmo processo restrição, retorna-se ao passo cinco e se redefine as máquinas/equipamentos restrição. Caso a mudança de restrição se apresente no processo, volta-se ao passo quatro, onde se redefine o processo restrição e, conseqüentemente, novas máquinas/equipamentos passam a merecer atenção especial da área de manutenção. Se nenhuma mudança houve, este passo deve ser repetido numa freqüência entendida

como a mais próxima da realidade de cada empresa, pois devem ser obedecidas as peculiaridades de cada uma delas.

Dentro desta ótica, podem-se prever mudanças estratégicas que podem ter como consequência mudanças de política para algumas máquinas ou equipamentos. Políticas de manutenção-preventiva, por exemplo, já implementadas podem não mais se justificar, devendo-se optar por uma política de manutenção menos agressiva, como por exemplo, a corretiva planejada. Pode-se, ainda, optar por manter a mesma política, já implementada, porém com parâmetros diferenciados de intensidade ou frequência. Enfim, deve-se considerar a visão sistêmica da TOC em busca do ganho global e em detrimento do ótimo isolado.

## 7. CONCLUSÕES

A primeira observação relacionada ao fato de que a TOC, por ter um enfoque sistêmico, considerar as necessidades dos recursos e seu grau de criticidade. Portanto, os recursos podem ser considerados críticos ou não dependendo da disponibilidade exigida pelo tempo de ciclo e pelas necessidades de mercado.

A metodologia TPM mostra-se bastante eficaz considerando sua missão de desenvolver uma cultura de preservação de máquinas e equipamentos, mas apresenta um conceito de ótimo global que, estatisticamente, é impraticável na visão da TOC, muito embora a TPM tenha se alterado nos últimos anos incorporando novos conceitos em seus novos pilares de sustentação que, de certa forma, redimem algumas falhas iniciais.

Quanto à RCM, que busca a confiabilidade dos ativos, nota-se uma visão um pouco mais sistêmica que a TPM, porém, ainda longe de aceitar a inexistência de uma produção balanceada. A RCM tem levado em conta problemas corporativos, porém aplicando técnicas localizadas para propiciar o sentimento de confiabilidade prometido, o que, na indústria, pode não ter o mesmo efeito que nos serviços das empresas aéreas.

Considerando-se que, por definição, a capacidade parte de uma equação que combina Disponibilidade e Tempo de Ciclo, pode-se entender que os tempos de ciclo têm fundamental importância na determinação dos recursos críticos (RRC) e até mesmo para se trabalhar a sua eliminação. Sendo assim, tendo-se um processo produtivo com vários postos de trabalho seqüenciados, seus tempos de ciclo certamente não serão perfeitamente sincronizados, exigindo critérios de priorização distintos em termos de políticas de manutenção.

Por fim, a elaboração do modelo tem por objetivo facilitar as tomadas de decisão ao se investir em manutenção buscando direcionar os administradores, numa postura sistêmica, a definir políticas de manutenção de acordo com o momento. Ainda, deve incentivar testes futuros para que possa sofrer as

alterações necessárias a sua aplicação pois, Goldratt e Cox (1986) entendiam que o pensamento lógico da TOC resume-se apenas a uma questão: “bom senso”. Obviamente, muitas ferramentas advieram da TOC ou têm se adaptado a ela e, apesar da diversidade, sempre buscam um mesmo objetivo.

Este é mais um destes trabalhos que, ao propor um modelo, busca encontrar eco em aplicações futuras, porém sem descartar o conhecimento adquirido. Portanto, não substitui ferramentas existentes mas, sim, agrega valor ao que já se tem em nível de conhecimento. Tem-se que reconhecer que tudo o que fora estabelecido pelas empresas não deve sofrer alterações bruscas para atender ao modelo aqui apresentado, mas ser a ele agregado. Se manutenção é assegurar que os ativos físicos continuem a fazer o que os seus usuários querem que eles façam, conclui-se daí que maior que a metodologia ou ferramenta disponível aplicadas na empresa é o processo decisório em relação às questões de disponibilidade e confiabilidade.

Enfim, para obtenção de maior sucesso na implementação do modelo, a empresa deverá manter seus valores, reconhecer a necessidade de estar melhorando constantemente seus processo e disponibilizar pessoal realmente capacitado a decidir pelas melhores opções dentre as oferecidas durante a aplicação do modelo.

### **7.1. TRABALHOS FUTUROS**

Obviamente, como em todo modelo teórico, é suposta a necessidade de trabalhos futuros no sentido de se analisar sua aplicabilidade e, através de testes práticos, revelarem-se os resultados no tocante a eficiência e/ou eficácia para, no futuro, introduzi-lo na lista das melhores práticas .

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMATO NETO, J. *et al.* **Produção Classe Mundial**: conceitos, estratégias e aplicações. São Paulo: Atlas, 2001.

ATWATER, J.B. and CHAKRAVORTY, S. S. A Study of the Utilization of Capacity Constrained Resources in Drum-Buffer-Rope Systems, **Production and Operations Management**, v.11, 2002, p.259-273.

BACKLUND, F. and AKERSTEN, P.A. RCM Introduction: Process and requirements management aspects, **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, no.3, v.9, 2003, p.250.

BEN, D. You may need RCM to Enhance TPM Implementation, **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, no. 2, v.6, 2000, p.82-85.

BUFFA, E. S. **Administração da Produção**. Rio de Janeiro, LTC, 1979.

BURTON, H. The Theory of Constraints and its Thinking Processes, **Goldratt Institute Paper**, New Haven, 2001.

CARVALHO, E. G. O Envolvimento de Empregados em Atividades de Manutenção Autônoma, **Congresso Nacional de Excelência em Gestão, Universidade Federal Fluminense**, 22 e 23 de novembro, 2002, Niterói, RJ..

CHAKRAVORTY, S. S. and ATWATER, J.B. How Theory of Constraints can be used to Direct Preventive Maintenance, **Industrial Management**, v.36, 1994, p.10-13.

CORBETT NETO, T. **Contabilidade de Ganhos**. São Paulo: Nobel, 1996.

CORBETT NETO, T. **A Contabilidade Gerencial da Teoria das Restrições**: conceitos, estratégias e aplicações. São Paulo: Atlas, 1997.

CORREA, H.L. Desenvolvimento de Uma Estratégias de produção em um Ambiente Turbulento, **Revista de Administração de Empresas**, v.38, 1988, p.64-79.

CORREA, H.L. e GIANESI, I. **Just-in-Time, MRP II e OPT**: Um enfoque estratégico. São Paulo: Atlas, 1993.

CLARK, K.B., WHEELWRIGHT, S. C. **Managing New Products and Process Development**: text and cases. Toronto: The Free Press, 1993.

CSILLAG, J.M. O Significado do Mundo do Ganho, **Revista de Administração de Empresas**, no. 31, 1991, p.61-68.

DIGHTMAN, S.D. Leveraging TPM to corporate bottom line, **Plant Engineering**, no.5, v.58, 2004, p.25.

DOUGLAS, A. Improving Manufacturing Performance, Annual Quality Congress, 2002. Milwaukee. **Proceedings**. American Society for Quality.

GARDINER, S.C., BLACKSTONE J. H. and GARDINER, L. R. Drum-Buffer-Rope and Buffer Management: impact on production management study and practices, **International Journal of Operations & Production Management**, no. 6, v.13, 1993, p.68-78.

GERTSBAKH, I. Reliability Theory: With Applications to Preventive Maintenance, **IIE Transactions**, no., v.34, 2002, p.1111.

GARVIN, D.A . Manufacturing Strategic Planning , **California Management Review**, Summer, 1993.

GOLDRATT, E.M.; COX, J. **The Goal**: a process of ongoing improvement. New Haven: North River Press, 1986.

GOLDRATT, E.M. **A Síndrome do Palheiro**: garimpando informações num oceano de dados. São Paulo: Educator, 1996.

GUERREIRO, R. Os Princípios da Teoria das Restrições Sob a Ótica da Mensuração Econômica, **Caderno de estudos no. 13**, São Paulo, FIPECAFI, janeiro/junho, 1996.

HARAN, M. A. Practical Application of RCM to Local Authority Housing, **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, no. 2, v.8, 2002, p.135.

HAYES, R.H., WHEELWRIGHT, S. C. **Restoring our Competitive Edge: competing thru manufacturing**. New York: John Wiley & Sons, 1984.

HAYES, R.H., WHEELWRIGHT, S. C., CLARK, K. B. **Dynamic Manufacturing: creating the learning organization**. New York: The Free Press, 1988.

HERNALSTEENS, A. TPM: revolução do chão-de-fábrica à alta gerência, **Revista Manutenção**, Abramam, no. 33, 1993, p. 28-32.

HILL, T. **Manufacturing Strategy: text and cases**. London: Irwin, 1994.

JIA, X. and CHRISTER, A. H. A prototype cost Model of Functional Check Decisions in Reliability-centred Maintenance, **Journal of the Operational Research Society**, no. 12, v.152, 2002, p.1380-1384.

KOELSCH, J. R. A Dose of TPM, **Manufacturing Engineering**, April, 1993.

MIRSHAWKA, V., OLMEDO, M.L. **Manutenção: combate aos custos da não eficácia**. São Paulo: Makron Books, 1993.

MIRSHAWKA, V., OLMEDO, M.L. **TPM à Moda Brasileira**. São Paulo: Makron Books, 1994.

MOORE, R. Comparing major manufacturing improvement, **Plant Engineering**, no.11, v.55, 2001, p.26.

MOUBRAY, J. **Manutenção Centrada em Confiabilidade (Reliability-centred Maintenance)**. United Kingdom, Biddles Ltd., 2000.

NEPOMUCENO, L.X. **Manutenção Preditiva em Instalações Industriais:** procedimentos técnicos. São José dos Campos, Edgard Blücher, 1985.

PINTO, A. K. & XAVIER, J. N. **Manutenção:** função estratégica. Rio de Janeiro: Quality Mark, 1999.

PORTER, M. E. **Vantagem Competitiva:** criando e sustentando um desempenho superior. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

REICKS JR., W. J. A case Study for Implementing Reliability-centred Maintenance, **Marine Technology and SNAME News**, no. 1, v. 37, 2000, p. 50.

REYS, M. **Determinação de Critérios para a escolha da Metodologia de Manutenção**, 1995, p. 1-97. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

ROBERT, M. **Estratégia:** como empresas vencedoras dominam seus concorrentes. São Paulo, Negócio, 1998.

SCHRAGENHEN, E. and DETTMER, H. W. **Simplified Drum-Buffer-Rope:** a whole system approach to high velocity manufacturing. Boca Raton, St. Lucie Press, 2000.

SHEU, C., CHEN M. and KOVAR, S. Integrating ABC and TOC for better manufacturing decision making, **Integrated Manufacturing Systems**, no.5, v.14, 2003, p.433.

SILVA, J.S. Tendências da Manutenção nos Sistemas de Gestão, **Revista Manutenção**, Abraman, no. 96, 2004, p.18-24.

SIMATUPANG, T. M., WRIGHT, A.C. and SRIDHARAN, R. Applying the theory of constraints to supply chain collaboration, **Supply Chain Management: An International Journal**, no. 1, v.9, 2004, p.57-70.

SKINNER, W. **Manufacturing:** the formidable competitive weapon. New York, John Wiley & Sons Inc, 1985.

SLACK, N. **Vantagem Competitiva em Produção**: atingindo competitividade nas operações industriais. São Paulo, Atlas, 1993.

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

SOUZA, F.B. **Uma visão geral da Teoria das Restrições com aplicação em uma metodologia de integração de empresa**, 1997, Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SPENCER, M. S. Using "THE GOAL" in an MRP SYSTEM, **Production and Inventory Management Journal**, Fourth Quarter, 1991.

TAKAHASHI, Y. e OSADA, T. **TPM/MPT Manutenção Produtiva Total**. São Paulo, Instituto IMAM, 1993.

UMBLE, E.J. e UMBLE, M. Integrating the Theory of Constraints into Supply Chain Management, **Decision Sciences Institute - Annual Meeting Proceedings**, Waco, 2002.

VALIM, C.E. Um novo campo estratégico. Disponível em: [http://www.itweb.com.br/shared/print\\_story.asp?id=51191](http://www.itweb.com.br/shared/print_story.asp?id=51191). Acesso em 12 dez 2004.

VOSS, C.A. **Manufacturing Strategy**: process and content. London, Chapman & Hall, 1992.

WIREMAN, T. **World Class Maintenance Management**. New York, Industrial Press Inc, 1990.