

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**Escola de Engenharia de São Carlos**  
**Departamento de Engenharia de Produção**

**José Carlos Martins Júnior**

**Método estruturado para aplicação das técnicas de aumento da  
capacidade de produção de recursos gargalo em células de  
manufatura**



**São Carlos**

**2009**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



**José Carlos Martins Júnior**

**Método estruturado para aplicação das técnicas de aumento da  
capacidade de produção de recursos gargalo em células de  
manufatura**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Processos e Gestão de Operações

Orientador: Prof. Associado Antonio Freitas Rentes



**São Carlos – SP**

**2009**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

M386m Martins Júnior, José Carlos  
Método estruturado para aplicação das técnicas de aumento da capacidade de produção de recursos gargalo em células de manufatura / José Carlos Martins Júnior ; orientador Antonio Freitas Rentes. -- São Carlos, 2009.

Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Área de Concentração em Processos e Gestão de Operações -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009.

1. Elevação da restrição. 2. Capacidade produtiva.  
3. Recurso gargalo. I. Título.

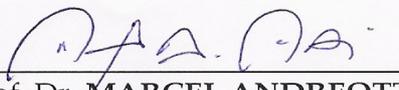
**FOLHA DE JULGAMENTO**

Candidato: Engenheiro **JOSÉ CARLOS MARTINS JUNIOR.**

Dissertação defendida e julgada em 31/08/2009 perante a Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Associado **ANTONIO FREITAS RENTES (Orientador)**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

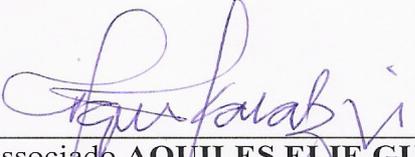
Aprovado

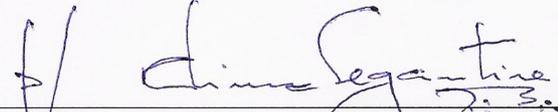
  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. **MARCEL ANDREOTTI MUSETTI**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. **MOACIR GODINHO FILHO**  
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Aprovado

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Associado **AQUILES ELIE GUIMARÃES KALATZIS**  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Titular **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**  
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC



**DEDICO** este trabalho aos meus pais,  
José Carlos e Maria Nilse e  
à minha esposa Gleice.

...

**AGRADEÇO** a DEUS;

Aos meus pais, por todo apoio e carinho;

A minha esposa Gleice pelo apoio e paciência;

A toda minha família pela ajuda nos momentos difíceis;

As minhas irmãs Evani e Eloisa pelo apoio e colaboração;

Ao meu orientador Rentes, cujo conhecimento e  
empreendedorismo motivam a todos;

Ao amigo Luiz Paulo pelo apoio para que esta conquista  
fosse possível;

Aos membros da banca pelas sugestões e orientações  
valiosas;

A todas as pessoas que conheci nesta jornada;

**Muito Obrigado!**

*“Não basta ensinar ao homem uma especialidade, porque se tornará assim uma máquina utilizável e não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, um senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto”.*

**Alberto Einstein**

## **Resumo**

MARTINS JÚNIOR, J.C. (2009). **Método estruturado para aplicação das técnicas de aumento da capacidade de produção de recursos gargalo em células de manufatura.** 155p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

O propósito deste trabalho é estruturar uma sequência de aplicação de uma série de técnicas de aumento da capacidade de produção em um equipamento gargalo citadas na literatura. Esta sequência deverá ser colocada em prática para aumentar a capacidade de produção de linhas de fabricação em ambientes de manufatura enxuta. O trabalho foi desenvolvido através da análise das técnicas encontradas para aumento de capacidade de produção de equipamentos (Pesquisa Aplicada) e da estruturação de uma aplicação sequencial das técnicas (Pesquisa-Ação). Esta sequência de aplicação é seguida até que a melhoria de capacidade de produção necessária seja atingida. A sequência de aplicação desenvolvida foi aplicada em uma linha de arranjo celular numa empresa de autopeças. As Metodologias de Pesquisa utilizadas foram a Pesquisa Aplicada e Pesquisa-ação. Foi possível observar que os assuntos que mais contribuíram para as bases deste trabalho foram a Teoria das Restrições e a Produção Enxuta, em particular o Processo de Focalização em Cinco Etapas da Teoria das Restrições. Foi possível identificar a necessidade de aumento da capacidade de produção tanto quando a capacidade é insuficiente para atendimento do cliente como quando uma estratégia de redução de custo impõe uma impossibilidade de atendimento à demanda do cliente. Futuros trabalhos podem explorar as diferentes incidências de aplicação de cada uma das técnicas apresentadas para cada tipo de equipamento. Tipos estes ligados à indústria, complexidade, porte, custo, etc. Novas técnicas podem surgir e ser anexadas à sequência apresentada. Esta forma estruturada de elevação da restrição, neste caso o gargalo de fabricação, poderá ser utilizada em diferentes ambientes fabris pelos profissionais responsáveis por estas ações de melhoria.

Palavras-chave: Elevação da restrição. Capacidade produtiva. Recurso gargalo.

## **Abstract**

MARTINS JÚNIOR, J.C. (2009). **Structured method for the application of techniques to increase bottleneck resource production capacity in manufacturing cells.** 155p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

The purpose of this work is structuring a sequence of application of a series of production capacity increase techniques mentioned in literature on an equipment bottleneck. This sequence must be placed into practice to increase production capacity of manufacturing lines in lean manufacturing environments. The work was developed through the analysis of the techniques have been found to increase equipment production capacity (applied research) and a sequential procedure to techniques application (action research). This sequential procedure is followed up until the improvement required production capacity is reached. The sequential procedure developed was applied in one line of cellular arrangement in an auto parts company. Research methodologies used were the applied research and research-action. It was possible to observe that matters most contributed to the foundations of this work were the theory of constraints and lean production, in particular the process of focus on five stages of the theory of constraints. It was possible to identify the need of using this sequential procedure when production capacity is insufficient to support the customer demand as when a cost reduction strategy imposes an inability to support the customer demand. Future work can explore the different number of using of each of the techniques presented for each type of equipment. These equipment types are related to complexity, cost, etc. New techniques may arise and be attached to the sequential procedure.

This structured way of elevating the restriction in this case the bottleneck manufacturing could be used in different environments works by professionals responsible for these actions for improvement.

**Keywords:** Constraint elevation. Production capacity. Bottleneck resource.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Diagrama das possibilidades de Metodologia de Pesquisa.....	21
Figura 2.1 – Fluxo Contínuo e Fluxo em Ilhas Isoladas.....	31
Figura 2.2 – Programação em grandes Lotes e Programação Nivelada.....	35
Figura 2.3 – Programação Nivelada e Modelos Mesclados.....	36
Figura 2.4 – Gráficos dos ciclos dos equipamentos e dos operadores.....	39
Figura 2.5 – Ambiente de um sistema básico.....	41
Figura 2.6 – Um exemplo de Fluxo de Produção.....	47
Figura 2.7 – Outra versão do exemplo de produção.....	48
Figura 2.8 – Um exemplo simples de produção.....	52
Figura 2.9 – Sequência de Produção.....	56
Figura 2.10 – Tipos diferentes de Pulmão.....	61
Figura 2.11 – Quadro de Ruínas.....	62
Figura 2.12 – Quadro de Ruínas nivelado.....	63
Figura 2.13 – Quadro de Ruínas sem atividades no passado.....	63
Figura 2.14 – Estrutura lógica tipo T.....	67
Figura 2.15 – Estrutura lógica tipo V.....	68
Figura 2.16 – Estrutura Lógica Tipo A.....	69
Figura 2.17 – Pontos de Controle das Estruturas Lógicas VAT.....	70
Figura 2.18 – Avaliação do Valor Agregado.....	73
Figura 2.19 – Estratégia Pro-ativa.....	75
Figura 2.20 – Estratégia Reativa.....	76
Figura 2.21 – Estratégia Neutra.....	76
Figura 2.22 – Gráfico da disposição das operações do processo de fabricação.....	83
Figura 2.23 – Ciclo de operação das etapas de um processo .....	84
Figura 3.1 – Gráficos dos ciclos dos equipamentos e dos operadores .....	90
Figura 3.2 – Fluxo para identificar aplicabilidade do Método Proposto.....	91
Figura 3.3 – Processo de Focalização em Cinco Etapas.....	92
Figura 3.4 – Fluxograma do Método Proposto.....	94
Figura 4.1 – Layout da linha de montagem.....	107
Figura 4.2 – Mapa de Fluxo de Estado Atual da linha de montagem do DCP .....	108

Figura 4.3 – Mapa de Fluxo de Estado Atual da linha de montagem do DCP com destaque dos pontos de melhoria.....	109
Figura 4.4 –Mapa de Fluxo do Estado Futuro da linha de montagem do DCP.....	110
Figura 4.5 – Gráficos dos ciclos dos equipamentos e dos operadores da linha de montagem do DCP.....	112
Figura 4.6 –Perfis de velocidade no fechamento do molde de injeção.....	116
Figura 4.7 – Gráfico de Gantt das Etapas do Processo.....	117
Figura 4.8 – Movimentos otimizados.....	119
Figura 4.9 – Diferentes perfis de velocidade.....	119
Figura 4.10 –Distribuição das prateleiras na parte interna dos fornos.....	126
Figura 4.11 – Gráfico dos ciclos dos equipamentos após a aplicação do Método Proposto.....	130
Figura 4.12 – Número de utilizações das técnicas .....	132
Figura 4.13 – Distribuição entre iniciativas temporárias e definitivas.....	132
Figura 4.14 – Número de técnicas aplicadas em cada equipamento tratado.....	133

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1– Dados da situação exemplificada.....	54
Tabela 2.2– Lista das técnicas e referências bibliográficas.....	88
Tabela 3.1– Tabela de ciclos dos equipamentos.....	95
Tabela 3.2– Tabela de Priorização preenchida.....	96
Tabela 4.1– Ciclos efetivos por unidade final do produto.....	111
Tabela 4.2– Plano Anual do Fluxo de Valor.....	113
Tabela 4.3– Resultado da análise da injetora 160.....	115
Tabela 4.4– Resultado da análise da máquina 30 .....	118
Tabela 4.5– Resultado da análise da máquina 60.....	121
Tabela 4.6– Resultado da análise da máquina 80.....	123
Tabela 4.7– Resultado da análise dos fornos.....	125
Tabela 4.8– Resultado da análise da máquina 110.....	127
Tabela 4.9– Resultado da análise da máquina 140.....	128
Tabela 4.10– Ciclos efetivos após Método Proposto .....	131
Tabela 4.11– Distribuição das iniciativas por máquina e tipo de técnica.....	134

## LISTA DE SIGLAS

GM	General Motors
STP	Sistema Toyota de Produção
MPT	Manutenção Produtiva Total
OEE	<i>Overall Equipment Efficiency</i> - Eficiência Global do Equipamento
LL	Lucro líquido
RSI	Retorno Sobre o Investimento
G	Ganho
I	Investimento
DO	Despesa Operacional
P	Preço de venda unitário do produto
CTV	Custo Totalmente Variável.
RRC	Recursos com Restrição de Capacidade
MRP	<i>Material Requirements Planning</i>
OPT	<i>Optimized Production Technology</i>
TPC	Método de Programação Tambor-Pulmão-Corda
RPM	Rotações por Minuto
CNC	Controle Numérico Computadorizado
CLP	Controlador Lógico Programável
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

s	Segundos, unidade de tempo
min	Minutos, unidade de tempo
h	Hora, unidade de tempo
Mbar	Milibar, unidade de pressão

## SUMÁRIO

### Resumo

### Abstract

<b>1 Apresentação do Trabalho .....</b>	<b>15</b>
1.1 Contexto .....	15
1.2 Justificativa.....	16
1.3 Objetivo.....	17
1.4 Método de Pesquisa Utilizado.....	18
<b>2 Produção Enxuta e Teoria das Restrições.....</b>	<b>22</b>
2.1 Produção Enxuta.....	22
2.1.1 Valor Agregado e Perda.....	24
2.1.2 Fluxo de Valor.....	25
2.1.3 Fluxo de Produção.....	29
2.1.4 Produção Puxada.....	36
2.1.5 Perfeição.....	37
2.1.6 Identificação do Gargalo.....	38
2.2 Teoria das Restrições.....	40
2.2.1 Meta Global da Empresa.....	42
2.2.2 Restrição do Sistema.....	47
2.2.3 Processo de Focalização de Cinco Etapas.....	50
2.2.4 Método de Programação Tambor-Pulmão-Corda.....	58
2.2.5 Estrutura Lógica V-A-T.....	64
2.3 Técnicas de elevação do Gargalo.....	71
<b>3 Desenvolvimento do Método Proposto.....</b>	<b>89</b>
3.1 Identificação da necessidade de utilização do Método Proposto.....	89
3.2 Método Proposto.....	93
<b>4 Aplicação do Método Proposto.....</b>	<b>100</b>
4.1 Apresentação do objeto da aplicação.....	100
4.2 Situação anterior à aplicação.....	104
4.3 Aplicação do Método Proposto.....	114
4.4 Considerações finais sobre a aplicação do Método Proposto.....	130

<b>5 Conclusões.....</b>	<b>136</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>141</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>147</b>

## **1 Apresentação do Trabalho**

Este capítulo tem o objetivo de mostrar o contexto no qual o problema a ser estudado está inserido, o que justifica a pesquisa, os objetivos e o método utilizado.

### **1.1 Contexto**

As empresas buscam sempre aumentar sua participação no mercado no qual atuam. Esta maior participação permite à empresa escala de operação que permite uma melhor lucratividade e competitividade. A situação de perda do mercado no qual uma empresa atua pode levar a mesma a uma escala na qual não seja mais viável a competição com os concorrentes. Desta forma a empresa deve sempre estar preparada para reagir às mudanças do mercado no qual atua para manter e, na medida do possível, conquistar mercado.

A atividade econômica apresenta comportamento cíclico, alternando períodos de aceleração e desaceleração. Este comportamento associado à possibilidade de conquista ou perda de clientes faz com que as empresas necessitem ser flexíveis quanto ao volume de demanda de seus produtos e serviços. Algumas vezes estas variações são previstas com antecedência e por outras acontecem repentinamente. Estas variações algumas vezes necessitam de respostas a longo e médio prazo e algumas vezes exigem respostas a curto ou curtíssimo prazo. Estas variações acontecem algumas vezes como crescimentos e outras como reduções do volume demandado.

No crescimento, a reação inadequada da empresa, ao volume desejado pelo cliente, pode ter consequências drásticas para a empresa como um todo. Esta situação pode facilitar o surgimento de novos entrantes e/ou a conquista de parcela do mercado, pertencente à empresa, pelos concorrentes. Se a reação for adequada, a situação de perda potencial pode se transformar em possibilidade de conquista de parcela do mercado de concorrentes que não tenham reagido adequadamente ao crescimento.

Na redução da demanda dos produtos e serviços fornecidos pela empresa, a empresa necessitará reduzir seus custos fixos para que possa manter sua margem de lucro e continuar competitiva.

Desta forma o contexto no qual o trabalho está inserido é o da participação da função manufatura na estratégia da empresa através da flexibilidade de volume.

## 1.2 Justificativa

A empresa precisa acompanhar as variações de demanda do mercado e para isto precisa que a função produção adeque sua capacidade de produção à necessidade do mercado.

Segundo Antunes (2008), podem ser encontradas três situações possíveis no que tange à relação entre capacidade produtiva e demanda dos produtos fabricados. A primeira é quando a capacidade produtiva é superior à demanda dos produtos, esta situação é chamada de Recurso com Capacidade. A segunda acontece quando a capacidade produtiva é igual ou próxima da demanda dos produtos, e esta situação é chamada de Recurso com Restrição de Capacidade, pois qualquer problema imprevisto pode acarretar em falta de capacidade produtiva. A terceira situação possível é quando a capacidade produtiva é inferior à demanda dos produtos, esta situação é chamada de Recurso Sem Capacidade. O recurso de maior restrição é chamado de Gargalo.

Segundo Davis et al. (2001), a capacidade do sistema de produção define os limites competitivos da empresa. Especificamente, determina a taxa de resposta da empresa ao mercado, a sua estrutura de custo, a composição de sua força de trabalho, o seu nível de tecnologia, as suas exigências de gestão e de apoio ao quadro funcional e a sua estratégia geral de estoques.

Segundo Chase et al. (2006), se a capacidade é excessiva, isto é, se não existe um Gargalo ou Recurso com Restrição de Capacidade RRC nas condições atuais de operação é importante que a administração da empresa se desafie a operar em condições de menor inventário e/ou numa condição de menores custos fixos. Estas melhorias de inventário e de custos fixos podem ser alcançadas, por exemplo, através de uma maior frequência de troca de modelos e redução de turnos de trabalho. As duas alternativas citadas reduzem o tempo disponível de operação dos equipamentos e podem levar a que a capacidade de produção no tempo disponível remanescente tenha que ser maior para que o cliente continue a ser atendido.

Slack et al. (2002, p. 77) descreve que:

Sem dúvida todas as operações podem, teoricamente, ignorar essas flutuações de demanda, dispensar qualquer flexibilidade de volume e manter sua atividade em nível constante. Entretanto, esta opção totalmente “inflexível” pode gerar sérias consequências no serviço ao consumidor, custos operacionais ou ambos.

Como se pode perceber, a questão de ajuste da capacidade de produção à demanda do cliente é de fundamental importância para a função produção. Este ajuste é uma atividade muito dinâmica pois as flutuações citadas por Slack et al.(2002) ocorrem, algumas vezes, muito rapidamente exigindo ações de resultado quase imediato para evitar que as consequências da insuficiência de capacidade produtiva frente à demanda dos produtos não possam se tornar realidade. Esta situação mesmo que por um reduzido período de tempo pode ter como consequências a perda de parcela do mercado para um competidor já presente e/ou favorecer um novo entrante, como descreve Davis et al. (2001).

Desta forma, este trabalho tem como meta buscar as técnicas de elevação da capacidade produtiva de equipamentos existentes na literatura e estabelecer uma sequência de aplicação que englobe uma série de técnicas de aumento da capacidade produtiva de curto, médio e longo prazo.

O método tem aplicação geral, pois como descreve Slack et al.(2002, p.77) “todas as operações necessitarão mudar seus níveis de atividades porque, de alguma forma, terão que enfrentar demanda flutuante por seus produtos e serviços”.

### 1.3 Objetivo

Segundo Yin (1994), a visão do que se busca num trabalho de pesquisa é bastante elucidada na medida em que se estabelecem as informações que se esperam encontrar na pesquisa bibliográfica e os aspectos factuais que se desejam observar. Uma forma de enxergar as informações buscadas e os aspectos factuais a serem observados é através da elaboração de questões que resumam o objeto da pesquisa.

A questão principal que se busca responder nesta pesquisa é:

Como as ferramentas e mecanismos de aumento da capacidade produtiva de equipamentos apresentados na literatura podem ser reunidos numa sequência estruturada de aplicação para aumento da capacidade produtiva, na operação gargalo, em uma célula de manufatura em ambientes com variação de demanda a curto, médio e longo prazo ?

E como questões secundárias:

Como a Teoria das Restrições e outros assuntos na literatura podem colaborar com técnicas de identificação e elevação da capacidade produtiva?

O que é apresentado pela literatura como técnicas de aumento da capacidade produtiva?

Como a Teoria das Restrições e demais temas disponíveis na literatura podem ser integrados à metodologia de padronização de atividades da Produção Enxuta para a identificação das restrições e formas de ação para o atendimento à necessidade de demanda dos clientes?

O objetivo desta pesquisa é:

Criar uma sequência estruturada de aplicação das técnicas de aumento da capacidade de produção numa célula de manufatura para as situações de variação da demanda a curto, médio e longo prazos

#### 1.4 Método de Pesquisa Utilizado

Neste subitem será descrita a sequência de execução das fases do trabalho:

- Definição do tema da pesquisa: Identificação da oportunidade de contribuição na exploração do tema e o que a justifique. Busca bibliográfica inicial para identificar fontes bibliográficas que permitissem a exploração do assunto. Pesquisa por fontes sobre o assunto que se contrapõe ou tem o efeito complementar. Definição do objetivo da pesquisa e planejamento inicial do trabalho.
- Revisão bibliográfica: Levantamento bibliográfico nas diversas possibilidades existentes como, livros, artigos, dissertações e teses correlatas, publicações especializadas. Após o levantamento e seleção dos textos pertinentes à pesquisa é iniciado o estudo detalhado de cada referência encontrada e são destacadas as contribuições para a pesquisa pretendida. As referências encontradas trazem em suas referências bibliográficas importantes fontes de pesquisa do assunto abordado.
- Definição final do escopo: Após estudo da bibliografia encontrada, confirmação da viabilidade do método pretendido.

- Construção preliminar do método: Com base na bibliografia encontrada e estudada, elaborar um método de abordagem da situação, sob análise, baseado nas diferentes abordagens encontradas na literatura. Associar os conceitos e técnicas apresentados pelos diferentes autores estudados.
- Utilização do método: Aplicar em uma situação real da empresa estudada o método elaborado acompanhando os comportamentos esperados e inesperados apresentados na aplicação do método. Levantamento das dificuldades e facilidades encontradas na utilização do método.
- Análise da utilização do método: Análise da adequação do método proposto à situação prática estudada, dificuldades de implantação e uso do método e principalmente da relação entre resultados esperados e resultados alcançados no uso do método.
- Revisão do método: Tendo como base os resultados alcançados e dificuldades de implantação e uso do método, realizar a revisão do mesmo de forma que o uso do método tenha a função de gerar subsídios para o ajuste do método proposto.
- Preparação do texto final da dissertação: Relatar as informações mais importantes levantadas na bibliografia, análise das informações levantadas, detalhes do método proposto, situações observadas na aplicação prática, correções necessárias no método, conclusões e proposta de novas pesquisas observadas durante o desenvolvimento do trabalho. Elaboração da apresentação.

Quanto à metodologia de pesquisa utilizada, a primeira classificação foi quanto à sua natureza. A natureza da pesquisa utilizada foi a da Pesquisa Aplicada. A pesquisa aplicada objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos. Desta forma, envolve verdades e interesses sociais. A classificação seguinte é quanto à abordagem do problema, utilizada na pesquisa. As abordagens apresentadas são: Quantitativa e Qualitativa. A abordagem utilizada nesta pesquisa foi a Qualitativa. Esta considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito. Não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. A pesquisa envolve a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzida em números. A próxima classificação é quanto aos objetivos da pesquisa. Eles

podem ser: Exploratórios, Descritivos e Explicativos. A pesquisa foi Exploratória pois visou proporcionar maior familiaridade com o problema com a intenção de torná-lo explícito e construir hipóteses. Envolveu levantamento bibliográfico e análise de exemplos que estimulem a compreensão (SILVA; MENEZES, 2000).

A classificação neste momento avalia os procedimentos técnicos utilizados. Nesta pesquisa foram utilizados dois procedimentos técnicos e suas respectivas técnicas de coleta de dados.

O primeiro foi o procedimento técnico Não-experimental que são estudos que se realizam sem a manipulação deliberada de variáveis e nos quais se observam os fenômenos apenas em seu ambiente natural para depois analisá-los. Este procedimento técnico pode ser combinado com a técnica de coleta de dados Transversal que acontece quando são coletados dados em um só momento (SAMPIERI, 2006). Neste procedimento técnico e sua respectiva técnica de coleta de dados está representada a observação realizada da utilização das técnicas de aumento de capacidade de produção num exemplo prático sem controle das variáveis situacionais e realizado num momento de tempo específico. A Pesquisa-Aplicada foi a metodologia preponderante nesta pesquisa.

O segundo foi o procedimento técnico Ação que acontece quando a pesquisa é concebida em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo. Este procedimento técnico pode ser combinado com a técnica de coleta de dados Observação Participativa que acontece quando os pesquisadores e participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo (BRYMAN, 1989; SILVA; MENEZES, 2000; THOLLENT, 2000). Neste procedimento técnico e sua respectiva técnica de coleta de dados estão representadas a concepção do fluxo do Método Proposto e a modificação pela qual ele passou durante a aplicação realizada.

Segundo Silva e Menezes (2000), “os tipos de pesquisa apresentados nas diversas classificações não são estanques. Uma mesma pesquisa pode estar, ao mesmo tempo, enquadrada em várias classificações, desde que obedeça aos requisitos inerentes a cada tipo”.

. Na Figura 1.1 é apresentado um diagrama com algumas das diferentes metodologias de pesquisa que podem ser utilizadas e dentre elas as escolhidas.

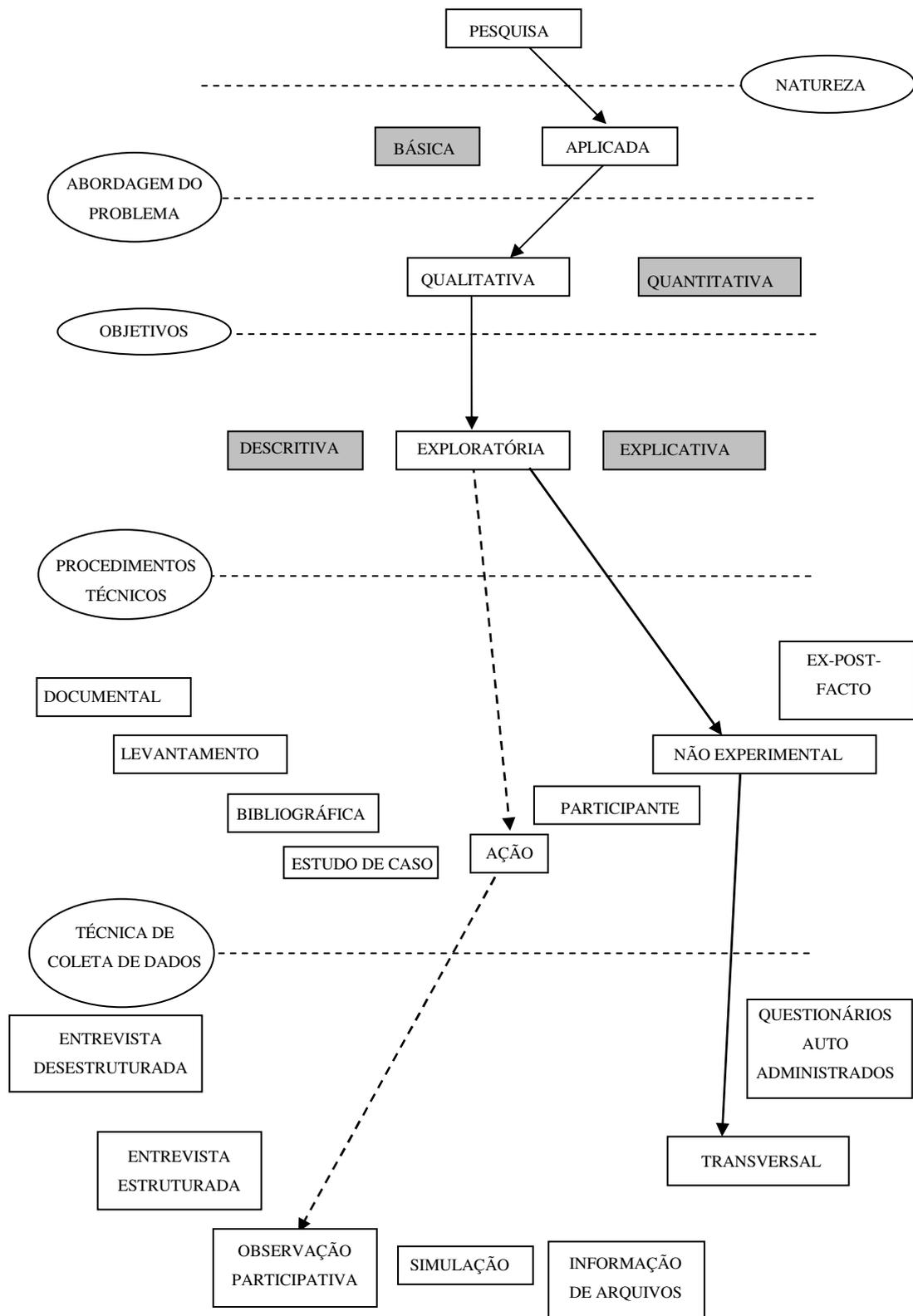


Figura 1.1 – Diagrama das possibilidades de Metodologia de Pesquisa

## **2 Produção Enxuta e Teoria das Restrições**

Este capítulo tem o objetivo de apresentar os assuntos que formam a base para o entendimento das técnicas e do método proposto para o aumento da capacidade de produção. Estes assuntos são principalmente a Produção Enxuta, Teoria das Restrições e Coletânea de Técnicas de Aumento de Capacidade de Produção. Os três assuntos serão apresentados nos subitens 2.1, 2.2 e 2.3 respectivamente.

### **2.1 Produção Enxuta**

A Indústria Automobilística Mundial teve início com a Produção Artesanal. Neste tipo de produção artesãos recebiam encomendas para a fabricação de carros. Como citam Womack et al. (1992), estes trabalhadores conheciam com minúcia os princípios de mecânica e os materiais necessários à fabricação de um automóvel daquela época.

A primeira mudança drástica na fabricação de automóveis aconteceu com a inserção da Produção em Massa por Henry Ford. Ele colocou em prática a Produção em Massa reduzindo os custos e tornando o automóvel acessível a um maior número de pessoas. Segundo Womack et al. (1992), a chave para a Produção em Massa reside na completa e consistente intercambiabilidade das peças e na facilidade de ajustá-las entre si. Estas inovações tornaram a linha de produção possível. De acordo com Womack e Jones (1998), Ford desenvolveu o fluxo de produção para um produto fabricado em uma linha de montagem de alta velocidade e cujo produto fabricado não tinha variações de modelo.

A segunda mudança drástica na fabricação de automóveis que, assim como a primeira mudança se aplica a todo tipo de fabricação, foi a da colocação em prática da Produção Enxuta pela empresa Toyota do Japão

Segundo Liker (2005), a empresa japonesa Toyota surpreendeu o mundo com uma qualidade dos produtos e uma eficiência do sistema de produção superiores na década de 1980. As empresas japonesas causaram um choque no mundo devido ao desempenho junto aos clientes relativo à qualidade, durabilidade, confiabilidade e preço de seus produtos.

Corrêa e Corrêa (2006) citam que na década de 1980 uma série de empresas japonesas, alavancadas pelo esforço do pós-guerra, apresentava níveis de competitividade sem precedentes na história. Estas atuavam em mercados com líderes tradicionais bem

estabelecidos. Este comportamento foi sentido nas indústrias de automóvel, motocicletas, aparelhos elétricos, entre outros.

Segundo Womack et al. (1992), por volta de 1990 ficou evidente que a Toyota tinha algo ainda mais especial se comparada às outras empresas automobilísticas japonesas.

O restante do mundo percebeu neste fato uma ameaça e também o surgimento de novos conceitos que, pelos resultados mostrados, eram em muito superiores aos adotados pelo restante das empresas dos demais países. Corrêa e Corrêa (2006) descrevem que a sociedade americana logo sentiu os efeitos destes novos conceitos de projeto e produção através de fechamento de fábricas no território americano com a consequente perda de emprego por milhares de americanos.

Como uma iniciativa de contrarreação, uma série de estudiosos e pessoas ligadas às empresas de vários países iniciou pesquisas para identificar e colocar em prática estes novos conceitos e transformar uma situação de ameaça em uma oportunidade de melhoria (CORRÊA; CORRÊA, 2006).

A busca dos concorrentes pelos novos conceitos, técnicas e ferramentas que geravam uma vantagem competitiva muito grande à Toyota foi bastante facilitada pelo fato de a Toyota ter sido especialmente aberta no sentido de compartilhar estas práticas com o restante do mundo. Em especial com a indústria automobilística americana, sendo estabelecida uma *joint venturi* com a General Motors - GM planejada para ensinar o Sistema Toyota de Produção – STP - para a GM, segundo Liker (2005).

Novos conceitos, metodologias e ferramentas foram observadas e estavam ligadas às formas de gerenciar e conduzir as atividades de projeto e produção. O sistema de produção adotado pela Toyota é chamado de Sistema Toyota de Produção – STP.

Neste trabalho serão descritos alguns aspectos destas inovações no âmbito da produção. Segundo Womack e Jones (1998), esta forma de gerenciar e organizar a produção, o sistema Toyota de produção, foi denominado de Produção Enxuta, pois faz cada vez mais com cada vez menos.

A Produção Enxuta será apresentada na sequência que é apresentada por Womack e Jones (1998), isto é, os assuntos serão apresentados na ordem Valor Agregado e Perda, Fluxo de Valor, Fluxo de Produção, Produção Puxada e Perfeição.

Na apresentação do Fluxo de Valor serão apresentados a ferramenta Mapa do Fluxo de Valor e a métrica Eficiência Geral do Equipamento. Estes dois últimos assuntos serão utilizados no método proposto.

Uma técnica de identificação do gargalo de produção será apresentada no subitem 2.6. Esta técnica é utilizada na Produção Enxuta para identificar possíveis desbalanceamentos de utilização de equipamentos e/ou operadores.

### 2.1.1 Valor Agregado e Perda

Valor é o primeiro princípio da Produção Enxuta. Este Valor pode somente ser definido pelo foco do cliente final e somente faz sentido se relacionado a um produto ou serviço. Quem cria o Valor é quem produz o produto ou serviço. Do ponto de vista do cliente, criar valor é o que justifica a existência do produtor (WOMACK; JONES, 1998).

A Produção Enxuta busca somente realizar as atividades que agregam valor ao cliente.

Uma forma para verificar se uma atividade agrega valor ao cliente é imaginando se o cliente estaria disposto a pagar por aquela atividade.

A produção enxuta identifica todas as atividades que não agregam valor ao cliente como Perdas, que também são chamadas de Desperdício. O termo japonês utilizado para identificar este tipo de perda é a palavra *muda* (HINES et al., 2004).

A Toyota relacionou sete grandes tipos de perdas que são encontrados nos ambientes que produzem produtos ou serviços. A descrição das sete perdas feita por Liker (2005) será mostrada no próximo parágrafo.

A primeira perda é a superprodução, que é a produção de itens para os quais não há demanda, o que gera perda com excesso de pessoal e de estoque, também gerando custos com transporte devido ao estoque excessivo.

A segunda é a espera, quando funcionários apenas servem para vigiar uma máquina automática ou ficam esperando pelo próximo passo no processamento, pela ferramenta, pelo suprimento ou pela peça. Também se enquadram aqui funcionários que não têm trabalho a fazer devido à falta de estoque, atrasos no processamento, interrupção do funcionamento de equipamentos e gargalos de capacidade.

A terceira é o transporte ou movimentações desnecessários, movimento de estoque em processo por longas distâncias, criação de transporte ineficiente ou movimentação de materiais, peças ou produtos acabados para dentro ou fora do estoque ou entre processos.

A quarta é o super-processamento ou processamento incorreto, passos desnecessários para processar a peça. Processamento ineficiente devido a uma ferramenta ou ao projeto de baixa qualidade do produto, o que causa movimento desnecessário e produz defeito. Geram-se perdas quando se oferecem produtos com qualidade superior à que é necessária.

A quinta é o excesso de estoque (excesso de matéria prima, de estoque de material em processo ou de produtos acabados) causando: longa duração de tempo desde o início da produção até sua finalização, obsolescência, produtos danificados, aumento do custo de transporte, custo de armazenagem elevado e atrasos nas entregas. Além disso, o estoque extra nos permite conviver com problemas deste tipo porque oculta-os, como por exemplo, desbalanceamento de produção, entregas atrasadas dos fornecedores, defeitos, equipamentos em conserto e longo tempo de *setup*.

A sexta é o movimento desnecessário, qualquer movimento inútil que os funcionários têm que fazer durante o trabalho, tais como procurar, pegar ou empilhar peças, ferramentas entre outras. O caminhar também se enquadra aqui.

A sétima é o defeito, produção de peças defeituosas ou correção. Consertar ou retrabalhar, descartar ou substituir a produção e inspecionar significam perdas de manuseio, tempo e esforço.

Liker (2005) acrescentou uma oitava perda que é o desperdício de criatividade dos funcionários, perda de tempo, idéias, habilidades, melhorias e oportunidades de aprendizagem por não se ouvirem os funcionários ou por não envolvê-los no processo.

Possivelmente, eliminar todas as perdas realizando somente as atividades que agregam valor é um estado ideal almejado (WOMACK; JONES, 1998), mas as empresas devem adotar objetivos que as levem nesta direção. As empresas terão que conviver com as atividades que não geram valor para o cliente, perdas que no momento não possam ser eliminadas, ou porque ainda não foram desenvolvidas as condições para eliminá-las ou porque são necessárias à dinâmica de funcionamento da empresa. Um exemplo de atividade que não agrega valor ao cliente mas é necessária ao funcionamento da empresa é a parada dos funcionários para a refeição.

Nas empresas menos de 30% do custo está nas atividades que agregam valor e menos de 5% do tempo total é dedicado às atividades que agregam Valor (HARRINGTON, 1993). Desta forma, é importante desenvolver formas de destacar as perdas do sistema e desenvolver uma dinâmica para a sua eliminação.

### 2.1.2 Fluxo de Valor

Segundo descrevem Womack e Jones (1998), o Fluxo de Valor é o conjunto de todas as ações específicas necessárias para se levar um produto específico, que pode ser um bem ou

serviço ou uma combinação destes, a passar pelas três tarefas críticas de qualquer negócio. Sejam elas:

- a solução de problemas desde a concepção do produto até seu lançamento;
- Gerenciamento da informação que vai desde o recebimento do pedido até a entrega;
- A transformação física que vai da matéria prima ao produto acabado nas mãos do cliente.

Como foi comentado, a Produção Enxuta busca identificar as atividades que agregam valor e as que não agregam valor ao cliente. Depois busca por formas de eliminar as que não agregam valor.

Para a análise do Fluxo de Valor de forma que se identifiquem as oportunidades de eliminação das atividades que não agregam valor é necessário que se estabeleça uma forma gráfica de representação deste fluxo. Esta forma gráfica auxiliará na visualização e compreensão do Fluxo de Valor como um todo.

Uma ferramenta utilizada para identificar as atividades ao longo de todo o fluxo de produção, desde a matéria prima até o consumidor final, é o Mapa do Fluxo de Valor.

Este mapa descreve o fluxo de materiais, o fluxo de informações e as principais características dos processos realizados no produto ou serviço (ROTHER; SHOOK, 2003).

No Apêndice A é mostrado um mapa de fluxo de valor.

O mapa de fluxo de valor permite uma análise do sistema como um todo. Desta forma podem-se priorizar as mudanças de maior impacto para o sistema. É adotada aqui a visão sistêmica e a utilização da análise por processos conforme indicam Antunes et al.(2008 ).

Rother e Shook (2003) destacam as razões pelas quais o Mapa do Fluxo de Valor é uma ferramenta essencial. São elas: ajuda a visualizar mais do que simplesmente os processos individuais; ajuda a identificar as fontes das perdas no fluxo de valor; fornece uma linguagem comum para tratar dos processos de manufatura; torna as decisões sobre fluxo visíveis, de modo que possam ser discutidas; junta conceitos e técnicas enxutas, o que pode evitar que a aplicação aconteça isoladamente; forma a base de um plano de implementação; mostra a relação entre fluxo de informação e fluxo de material; e por fim, é uma ferramenta qualitativa com a qual se descreve em detalhe como a unidade produtiva deveria operar para criar o fluxo.

A metodologia adotada para elaborar o plano de melhoria contínua na eliminação das perdas mais relevantes do fluxo de produção será descrito e segue o indicado por Rother e Shook (2003).

Esta metodologia tem se mostrado uma ferramenta adequada para a transformação de sistemas de produção (Lasa et al., 2008).

A primeira etapa é a construção do mapa de fluxo de valor, sem nenhuma melhoria. Este mapa de fluxo de valor é chamado de mapa do estado atual. Neste mapa devem-se destacar os pontos nos quais aparecem as maiores perdas que serão eliminadas. O Apêndice B mostra um mapa de fluxo de valor no qual as melhorias prioritárias estão destacadas.

A segunda etapa é a construção de um segundo mapa de fluxo de valor com as mudanças que foram destacadas no mapa anterior, já implantadas. Desta forma a situação futura é visualizada e a presença de algum efeito indesejado pode ser detectada. Este mapa de fluxo de valor é chamado de mapa do estado futuro (REALI, 2006). O Apêndice C mostra como é um mapa do estado futuro.

Lasa et al. (2008) indicam que dentre as melhorias buscadas no mapa do estado futuro estão o fluxo contínuo de produção, produção puxada, nivelamento do mix de produção, melhorias de ciclo gargalo, redução do tempo de troca de modelo, entre outras iniciativas.

A terceira etapa é a construção de um plano de ação com cada uma das ações que serão necessárias para que o estágio futuro seja alcançado. Este plano deve ter a descrição, a data de encerramento e o responsável de cada uma das ações, entre outras informações. Rother e Shook (2003) chamaram este plano de Plano Anual do Fluxo de Valor.

Assim que o plano de ação foi realizado e o estado futuro já é uma realidade deve-se reiniciar o processo sendo que o estado atual passa a incorporar as melhorias já inseridas e um novo mapa de estado futuro deve ser gerado, seguido por um novo plano de ação. Sendo assim, o ciclo de melhoria contínua se estabelece. É de responsabilidade da administração da empresa a continuidade deste ciclo de melhoria permanente.

Na análise do Fluxo de Valor, cada uma das operações de fabricação deve apresentar suas características mais relevantes. Uma destas características é a eficiência operacional do processo. Esta eficiência será apresentada e será importante na compreensão e utilização do Método Proposto.

Segundo Corrêa e Corrêa (2006), a métrica normalmente utilizada para o estabelecimento de metas e o acompanhamento da evolução de um equipamento é o índice de Eficiência Global do Equipamento – OEE – (*Overall Equipment Efficiency*). Segundo Moellmann et al. (2006), este índice é uma ferramenta importante na linha de produção para

se conhecer o desempenho dos equipamentos da mesma. Este índice busca considerar todos os impactos gerados na operação como consequência da indisponibilidade de seus recursos físicos.

Este índice OEE é formado pelo efeito de três outros índices como mostrado na Equação 2.1.

$$OEE = ID * IP * IQ \quad (2.1)$$

O índice ID é chamado de Índice de Disponibilidade e é expresso pela Equação 2.2 .

$$ID = \frac{\text{tempo de produção planejado} - \text{tempo das paradas não planejadas}}{\text{Tempo de produção planejado}} \quad (2.2)$$

São exemplos destas paradas não planejadas: quebras de equipamento, tempos de troca de modelo, necessidade de ajustes do equipamento, entre outros.

O índice IP é chamado Índice de Performance e é expresso pela Equação 2.3.

$$IP = \frac{\text{tempo de ciclo unitário} * \text{quantidade de produtos processados}}{\text{Tempo de produção}} \quad (2.3)$$

São exemplos dos efeitos que afetam este índice: perdas de ritmo originadas por problemas nos recursos, diminuição da velocidade do equipamento, dificuldade no encaixe do produto no ponto de operação, atrasos no início da atividade laboral, entre outros.

O índice IQ é chamado de Índice da Qualidade e é expresso pela Equação 2.4.

$$IQ = \frac{\text{quantidade de peças processadas} - \text{quantidade de peças refugadas}}{\text{quantidade de peças processadas}} \quad (2.4)$$

O efeito deste índice são os ciclos que não geram produto em condições de envio pois não apresentam os requisitos desejados pelo cliente. Este não atendimento aos requisitos pode estar ligado à variação do processo desenvolvido pelo equipamento.

Segundo Slack et al. (2002) e Moellmann et al. (2006), a eficiência global do equipamento é dada pela razão entre o volume de produção real e a capacidade bruta. Desta

forma a capacidade líquida de produção esperada é a multiplicação da capacidade bruta pelo índice de Eficiência Global do Equipamento- OEE.

Um exemplo de aplicação deste conceito é um equipamento que possui ciclo de produção de 30 segundos para cada produto, tempo disponível de operação de 7 horas por dia e eficiência geral do Equipamento igual a 85%. Qual a produção real diária esperada? O cálculo é apresentado na Equação 2.5.

$$\text{Capacidade líquida diária} = \frac{7 \text{ h} * 3600 \text{ s/h} * 0,85}{30 \text{ s /peça}} = 714 \text{ peças por dia} \quad (2.5)$$

Moellmann et al. (2006) indicam que “A capacidade líquida de produção é a quantidade de peças que a operação vai efetivamente produzir”.

Esta afirmação pode ser estendida ao ciclo definindo o Ciclo Efetivo, que é o ciclo com o qual o equipamento produz peças de forma a obter a produção igual à capacidade líquida no tempo de produção considerado. O Ciclo Efetivo pode ser calculado como mostrado na Equação 2.6.

$$\text{Ciclo Efetivo} = \frac{\text{ciclo do equipamento}}{\text{OEE do equipamento}} \quad (2.6)$$

O Ciclo Efetivo é um conceito que deriva da afirmação feita por Moellmann et al. (2006) e da relação entre ciclo e capacidade de produção e da definição da eficiência OEE.

A métrica OEE foi inicialmente proposta por Nakajima em 1998 como uma métrica chave para suportar a Manutenção Produtiva Total e atualmente esta métrica é amplamente utilizada e aceita na determinação do real desempenho de um equipamento (BRAGLIA et al., 2009). Segundo Corrêa et al. (1997) a disponibilidade real é a disponibilidade efetivamente utilizável para a produção. Esta retira da disponibilidade total os problemas de natureza evitável e inevitável. Para o Método Proposto será considerada a eficiência que considera como perdas os problemas de natureza evitável e inevitável.

### 2.1.3 Fluxo de Produção

Uma vez identificado o que agrega valor ao produto, é necessário que o fluxo de produção se estabeleça para que o cliente receba o produto ou serviço desejado.

Womack e Jones (1998) identificam um método para colocação do fluxo em prática. Este método compreende três etapas.

A primeira etapa ocorre após a identificação daquilo que agrega valor ao produto e a identificação da cadeia de valor, que é composta por todas as atividades que são realizadas no produto, desde as matérias primas até o consumidor final. Esta primeira etapa pede que o produto ou serviço fornecido seja o foco central da atenção.

O produto ou serviço fornecido nunca deve deixar de ser o foco de atenção do início ao final da cadeia de valor. Muitas vezes o foco de atenção se volta para a máxima utilização de um equipamento ou às conveniências de um específico departamento da empresa.

A segunda etapa, que é pré-requisito para a primeira, determina que as fronteiras tradicionais como tipo de tarefa, função, qual departamento é responsável por determinadas atividades, sejam ignorados. A análise deve ser por processos e não por departamentos e funções da empresa, buscando a eliminação de todos os obstáculos ao fluxo contínuo do produto ou da família específica de produtos.

O fluxo contínuo do produto é alcançado quando o produto não tem ponto de parada e espera em nenhum ponto do processo ao longo de toda a cadeia de valor. Uma família específica de produtos é um conjunto de produtos que podem ser agrupados, pois têm características semelhantes que tornam seus processos de fabricação quase iguais do ponto de vista de processos fabris e equipamentos utilizados.

A terceira etapa é repensar as práticas e ferramentas de trabalho específicas com o intuito de eliminar refluxos, sucata e paralisações do processo de fabricação de todos os tipos a fim de que a produção possa fluir continuamente.

As três etapas descritas devem ser praticadas simultaneamente.

Segundo Rother e Shook (2003), sempre que possível o fluxo contínuo de produção deve ser buscado. Ele descreve o fluxo contínuo como sendo a produção de uma peça de cada vez, com cada item sendo passado imediatamente de um estágio do processo para o seguinte sem nenhuma parada entre eles. Ele ainda ressalta que o fluxo contínuo é o modo mais eficiente de produção e que este modo deve ser perseguido.

A negação do fluxo contínuo é o fluxo em ilhas isoladas. A Figura 2.1 ilustra as formas de organização em fluxo contínuo e em ilhas isoladas.

Para Womack e Jones (1998), no fluxo contínuo as etapas de produção são dispostas em sequência, normalmente dentro de uma única célula, e o produto passa de uma etapa para a seguinte, um produto por vez, sem estoques intermediários de itens semiacabados.

Liker (2005) aponta a dificuldade que inicialmente é encontrada com a aplicação do fluxo contínuo. Esta ocorre pois todo problema enfrentado por uma estação de trabalho pertencente ao fluxo, acarretará uma parada em todo o fluxo. Esta é uma dificuldade que colocará à mostra os problemas ao invés de escondê-los. Desta forma os envolvidos poderão eliminar os problemas ao invés de conviver com eles.

Womack e Jones (1998) ressaltam que os benefícios da aplicação do fluxo contínuo são bastante significativos podendo, numa implantação inicial, reduzir pela metade a quantidade de esforço humano, tempo de atravessamento, espaço utilizado, ferramentas e estoques necessários. Em mais alguns anos de continuidade desta aplicação pode-se reduzir novamente à metade o desperdício destes recursos necessários.

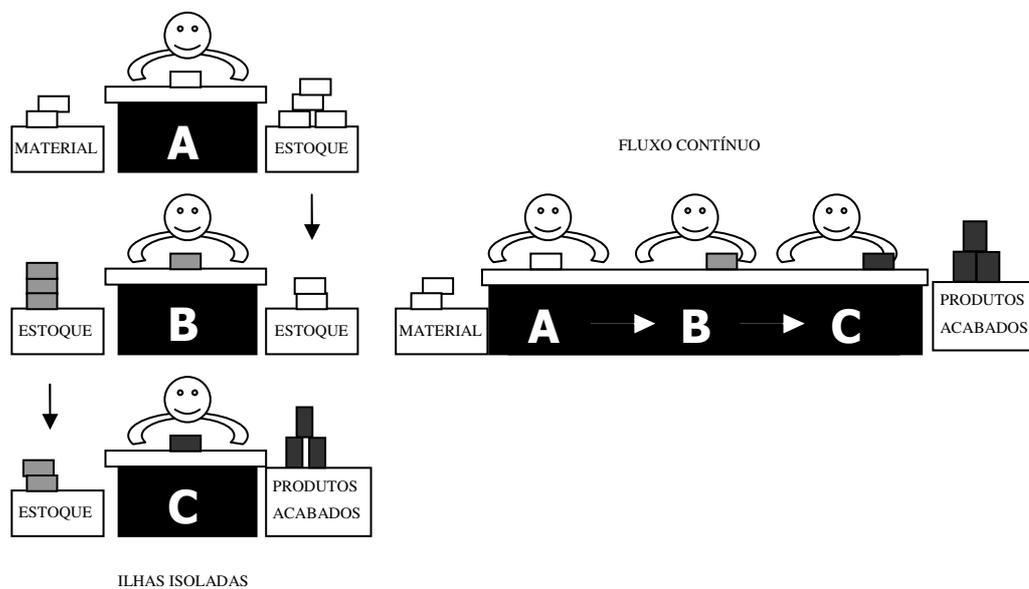


Figura 2.1 – Fluxo Contínuo e Fluxo em Ilhas Isoladas

Fonte: Rother e Shook (2003)

Segundo Womack e Jones (1998), para que o fluxo contínuo seja viável uma série de condições tem que ser satisfeita. Todas as máquinas e todos os operários precisam ser totalmente capazes, isto é, precisam estar sempre operando e gerando somente peças em boas condições. Para isso uma série de ferramentas deve ser colocada em prática, entre elas: o conceito de *takt-time*, manutenção produtiva total – MPT, trabalho padronizado, *poka-yoke*, sistema de troca rápida de modelo, controles visuais, entre outros.

A primeira é o *takt-time*. O *takt-time* é definido partindo da demanda do mercado e do tempo disponível para a produção. É a razão entre o tempo disponível para a produção e o

número de unidades a serem produzidas. É o ritmo de produção necessário para atender a uma demanda específica num determinado período (ANTUNES et al., 2008).

Rother e Shook (2003) apresentam um exemplo de cálculo do *takt time* esclarecendo desta forma o conceito tratado neste índice. O exemplo foi adaptado do exemplo dado pelos autores citados.

O cálculo do *takt time* utiliza o tempo disponível de operação e a necessidade demandada pelo cliente neste mesmo período.

No exemplo o tempo total para o trabalho é de 8 horas em cada turno de operação. Para obter o tempo disponível de operação é necessário retirar todos os períodos de tempo nos quais o trabalho não acontece. No exemplo o trabalho não acontece durante dois intervalos de dez minutos que ocorrem em cada turno de operação.

A demanda do cliente por turno de operação é de 460 unidades.

As etapas do cálculo do Takt time são mostradas nas equações: Equação 2.7, Equação 2.8, Equação 2.9, Equação 2.10, Equação 2.11 e Equação 2.12.

$$\text{Tempo de Trabalho Disponível} = (8 \text{ h} * 3600 \text{ s / h}) - (2 * 10 \text{ min} * 60 \text{ s/min}) \quad (2.7)$$

$$\text{Tempo de Trabalho Disponível} = 27.600 \text{ s por turno de operação} \quad (2.8)$$

$$\text{Demanda do cliente} = 460 \text{ unidades por turno de operação} \quad (2.9)$$

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Tempo de trabalho Disponível}}{\text{Demanda do Cliente}} \quad (2.10)$$

$$\text{Takt Time} = \frac{27.600 \text{ s}}{460 \text{ unidades}} \quad (2.11)$$

$$\text{Takt Time} = 60 \text{ s} \quad (2.12)$$

Este índice representa que para atender à demanda do cliente dentro do tempo de trabalho disponível, a empresa em questão terá de produzir uma unidade do produto ou serviço a cada 60 segundos.

Para o fluxo contínuo o ritmo de produção de todas as operações deve estar em sincronismo com o *takt-time*. Do contrário, ociosidade de mão obra ocorreria nos postos de trabalho ou estoques seriam gerados entre os postos de trabalho.

Para que o ciclo de produção das operações seja sincronizado com o *takt-time*, operadores podem ser adicionados ou retirados das estações de trabalho para aumentar ou diminuir o ritmo das mesmas.

A segunda delas é a Manutenção Produtiva Total – MPT – que segundo Slack et al. (2002), busca a evolução da manutenção corretiva para a manutenção preventiva como forma de prevenir as falhas nos equipamentos, tornando-os confiáveis.

A terceira é a padronização que é o detalhamento da forma como uma atividade deve ser realizada, passo a passo. Segundo Henry Ford (FORD<sup>1</sup>, 1926 *apud* LIKER, 2005, p. 147):

A padronização atual... é a base necessária sobre a qual a melhoria de amanhã será fundamentada. Se você pensar em padronização como o que há de melhor hoje, mas que deverá ser melhorado amanhã, você conseguirá chegar a algum lugar. Mas se você pensar em padrões como um limite, o progresso é interrompido.

A padronização acontece em todas as atividades, incluindo o abastecimento, a movimentação de materiais, os processos de produção, entre outros.

A quarta ferramenta é a utilização de *poka-yoke* o que pode ser traduzido como sistema à prova de erros. Segundo Corrêa e Corrêa (2006), este tipo de sistema impede que um erro se transforme numa peça defeituosa. Se o erro ocorreu, a máquina o detecta através de dispositivos e o sistema não permite a operação. Se o potencial defeito de uma peça fosse a falta de um furo fabricado num processo de usinagem, um pino poderia ser colocado na etapa subsequente de forma a não permitir que uma peça sem o furo seja processada. Este seria um sistema de *poka-yoke*. Este tipo de sistema realiza uma inspeção em todas as peças sem que o fluxo de produção seja prejudicado e não permite que o fluxo de produção seja contaminado por um problema de qualidade.

---

<sup>1</sup> FORD, H. (1988). **Today and Tomorrow**. Garden City: Doubleday, Page & Company, 1926. Reprint Edition. Portland: Productivity Press.

A quinta ferramenta é o sistema de troca rápida de modelo. Este é um assunto que impacta a possibilidade de fluxo contínuo de forma muito forte. O fluxo de produção é interrompido para que a troca de modelo ocorra no equipamento. Se o tempo de troca de modelo é significativo, o fluxo de produção fica prejudicado e estoques se formam antes da estação que passa pela troca. As estações posteriores ficam em ociosidade até que o fluxo de produção seja restabelecido.

As técnicas de redução do tempo de troca de modelo foram bastante desenvolvidas por Shingo (2000). O ideal para o fluxo contínuo é que na troca de modelo o intervalo de tempo desde a última peça boa do modelo anterior até a primeira peça boa do modelo posterior seja igual ou menor que o ciclo de produção de uma peça.

A sexta ferramenta é o controle visual. Estes controles existem para que todos os envolvidos sejam capazes de ver e compreender todos os aspectos da operação, isto é, se as metas propostas estão sendo ou não atendidas em todos os momentos (WOMACK; JONES, 1998). Num ambiente organizado, limpo e no qual as informações estão visualmente acessíveis, é bastante facilitada a oportunidade de detectar situações anormais de operação. Do contrário, a falta de ordem e a dificuldade de acesso às informações ocultam os problemas que possam ocorrer.

Enquanto as condições necessárias à operação de fluxo contínuo não estão colocadas em prática, será necessário operar o fluxo de produção no modo de lotes, com estoques intermediários de peças entre a etapa anterior e a próxima etapa de produção (WOMACK; JONES, 1998). Frequentemente isto ocorre devido à longa duração da troca de modelo, à utilização de equipamentos comuns a várias linhas diferentes de famílias de produto, a equipamentos com ciclos de produção bastante diferentes, à operação dos vários equipamentos em quantidade de turnos diferentes, à falta de confiabilidade nos equipamentos, entre outros motivos.

Uma forma pela qual o fluxo contínuo pode ser buscado é através do nivelamento do volume de produção. Segundo Slack et al. (2002), o Nivelamento do Volume de Produção ocorre quando a produção é programada de forma que os diferentes tipos de peça se alternem na produção, e que o volume produzido nos consecutivos intervalos de tempo seja o mais uniforme possível.

Este tipo de programação é chamado de *Heijunka* na língua japonesa (LIKER; 2005).

A diferença entre a Programação Convencional e a Nivelada é exemplificada por Slack et al. (2002) utilizando a Figura 2.2. Na sequência (a) da Figura 2.2, a produção de cada modelo é agrupada e mostra uma programação menos nivelada do que a programação da

sequência (b). Nesta todos os modelos são produzidos todos os dias, de forma a mostrar um nivelamento da produção dos diferentes modelos e também da quantidade produzida de cada modelo.

Este tipo de programação estabelece um ritmo constante para cada diferente produto produzido, mesmo produzindo no mesmo equipamento diferentes modelos. As várias etapas de fabricação e montagem parecem estar seguindo as batidas de um tambor (SLACK et al., 2002).

O nivelamento pode ser atingido em vários níveis. Na sequência (a) da Figura 2.2 a produção se repete a cada quatro dias, enquanto que na sequência (b) esta repetição ocorre a cada dia. Um próximo passo seria a repetição a cada meio dia, um quarto de dia e assim por diante. O limite acontece quando as peças se alternam em lotes de apenas uma unidade. Neste caso a programação é chamada de Modelos Mesclados. A Figura 2.3 mostra como o tempo de mudança de modelo – tempo de *set up*- possibilita diferentes níveis de nivelamento e também qual o nível relativo de flexibilidade que resulta de diferentes níveis de nivelamento.

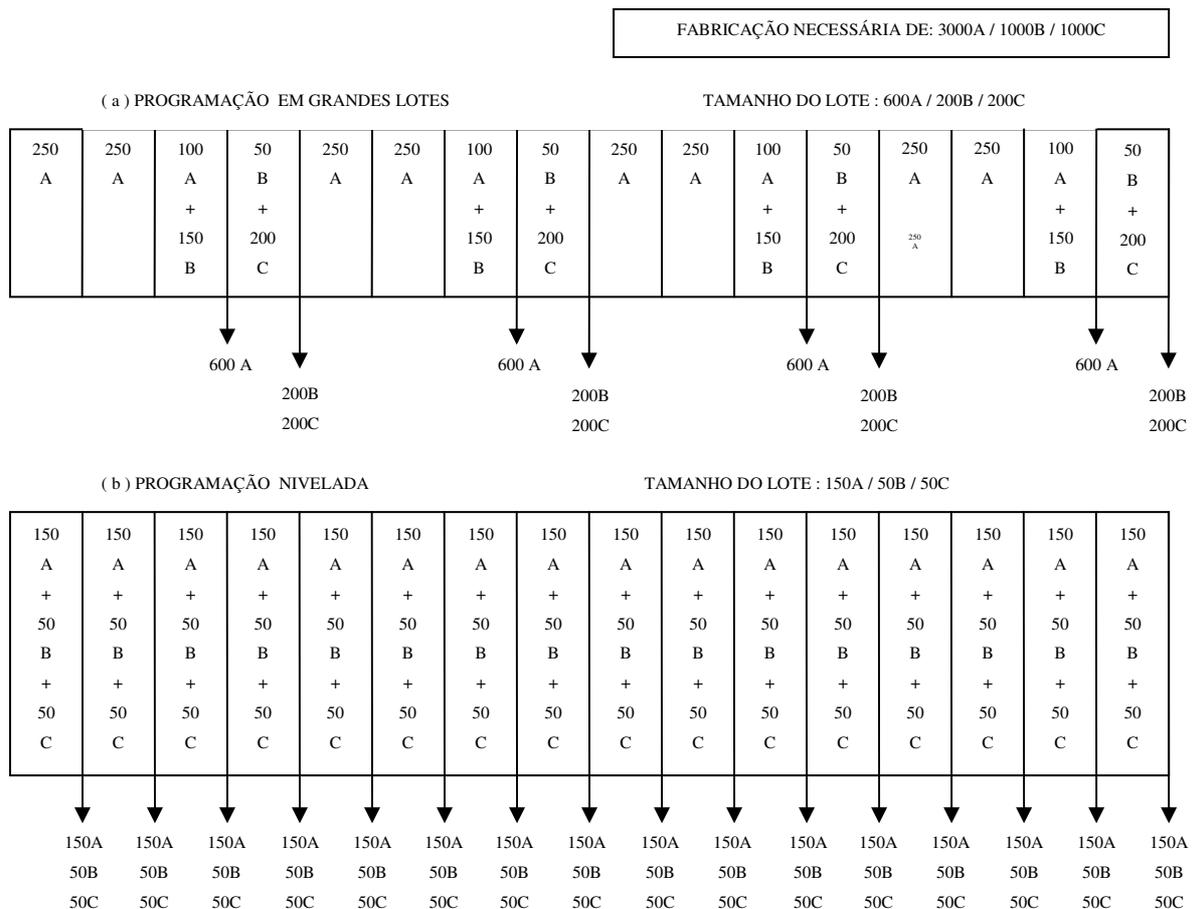


Figura 2.2 – Programação em grandes Lotes e Programação Nivelada  
 Fonte: Slack et al.(2002)

Segundo Liker (2005), quatro benefícios resultam do nivelamento da produção:

- Flexibilidade para fabricar o que o cliente quer no prazo que ele deseja;
- Redução do risco de não vender os produtos. Produzindo somente o que será entregue ao cliente a empresa não precisará se preocupar com os estoques e espaços para guardar os mesmos.
- Uso balanceado de mão de obra e de máquinas. As características de duração das operações de cada tipo de produto são diferentes e a fabricação mesclada pode encaixar estas diferenças levando a um melhor aproveitamento de máquinas e mão de obra.
- Demanda uniformizada para os processos e para os fornecedores da planta. O nivelamento imprime um ritmo de produção a toda a cadeia de valor, uniformizando as demandas para os processos antecessores. Os processos posteriores com demanda uniforme permitem uma melhor programação e estabilidade de produção.

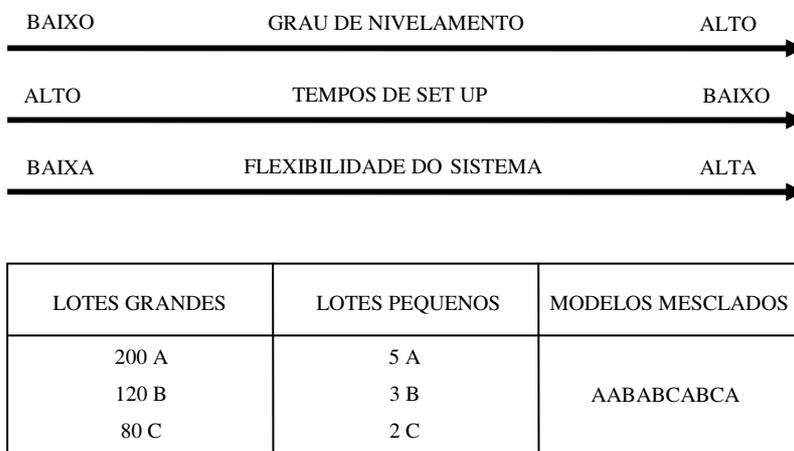


Figura 2.3 – Programação Nivelada e Modelos Mesclados

Fonte: Slack et al. (2002)

#### 2.1.4 Produção Puxada

Segundo Womack e Jones (1998), o primeiro efeito que aparece da transformação da organização de departamentos e lotes de fabricação para arranjo por processo e fluxo é a drástica redução do tempo de atravessamento, que é o período de tempo desde a obtenção da

matéria prima até a etapa final de fabricação do produto ou serviço. O aspecto revolucionário da produção enxuta não está no fato de os estoques terem sido reduzidos e sim na possibilidade de resposta rápida ao desejo do cliente, sem que seja necessária a utilização de projeções de demanda, que nunca são exatas e levam a empresa a produzir o que o cliente não deseja, e a perder os prazos na entrega do que o cliente deseja. Ou seja, a empresa espera que o cliente puxe os produtos desejados da empresa, conforme sua necessidade, ao invés de fabricá-los e empurrá-los independentemente do real desejo do cliente.

Um efeito também descrito por Womack e Jones (1998) é o de que as demandas dos clientes se tornam muito mais estáveis quando eles sabem que podem conseguir o que querem imediatamente, e também quando os produtores interrompem as campanhas periódicas de descontos destinadas a vender mercadorias, que já estão prontas, e que foram fabricadas por projeções que não se confirmaram.

O conceito de produção puxada é válido tanto para a relação do cliente com a empresa como entre as várias operações internas da empresa. Nas operações internas da empresa cada operação é cliente da operação anterior e fornecedora da operação posterior. Para as operações internas o ideal é a busca pelo sistema de fluxo contínuo. Nas situações nas quais o fluxo contínuo não é possível passa a ser necessário fabricar em lotes e estabelecer a produção puxada. As razões para que esta impossibilidade ocorra são segundo Rother e Shook (2003):

- Alguns processos são projetados para operar em tempos de ciclo muito rápidos ou lentos e necessitam mudar para atender a múltiplas famílias de produtos. São exemplos disso os processos de estamperia e injeção plástica;

- Alguns processos, como os localizados nos fornecedores, são distantes e o transporte de uma peça de cada vez não é realista;

- Alguns processos têm tempo de atravessamento muito elevado ou não são muito confiáveis para ligarem-se diretamente a outros processos em fluxo contínuo.

De forma simples Womack e Jones (1998) afirmam que o significado de produção puxada pode ser observado quando um processo inicial não deve produzir um bem ou serviço sem que o cliente de um processo posterior solicite.

### 2.1.5 Perfeição

Segundo Womack e Jones (1998), na medida em que a empresa começar a identificar o que é valor para o cliente, com precisão, identificando a cadeia de valor como um todo, tornando o fluxo cada vez mais contínuo nas operações que geram valor e organizando a

empresa para que o cliente puxe o valor, algo de muito estranho irá acontecer. Passa a ser percebido pelos envolvidos que o processo de redução de esforço, tempo, espaço, custo e erros é infinito. E cada vez se aproxima mais do que realmente o cliente deseja. O que se busca é a perfeição em termos operacionais e de satisfação do cliente. O primeiro movimento de aplicação da produção enxuta tem, em geral, dobrado a produtividade e reduzido fortemente erros e sucata. Este movimento de mudança radical inicial é chamado pelos japoneses de *kaikaku* que significa melhoria radical.

Após esta fase inicial de mudança radical, deve acontecer uma fase de melhorias incrementais e permanentes. Reduções, do mesmo nível das alcançadas na fase de mudança radical, serão alcançadas nesta nova fase, ou até superadas.

Esta etapa de mudanças incrementais e permanentes é chamada de *kaizen*, que significa melhoria incremental contínua.

Segundo Rother e Shook (2003), existem dois tipos de *kaizen*, o de fluxo e o de processo. O *kaizen* de fluxo busca o fluxo contínuo e a produção puxada pelo cliente final e é de responsabilidade preponderante da administração da empresa. O *kaizen* de processo busca as reduções das perdas, isto é, busca remover tudo o que não gera valor para o cliente, e é de responsabilidade principal da linha de frente da empresa.

O *kaizen* de fluxo tem seu foco no fluxo de materiais e informações, enquanto o *kaizen* do processo tem seu foco no fluxo de pessoas e dos processos.

Este ciclo de melhorias não tem fim, a cada novo desafio alcançado novas oportunidades são descobertas a caminho da perfeição.

#### 2.1.6 Identificação do Gargalo

O gargalo de uma linha de produção pode acontecer devido ao ciclo de máquina de um dos equipamentos ou devido ao ciclo de operação de um dos operadores. É importante reforçar que um operador pode operar mais de um equipamento e seu ciclo será o tempo total necessário à operação de todos os equipamentos pelos quais este é responsável.

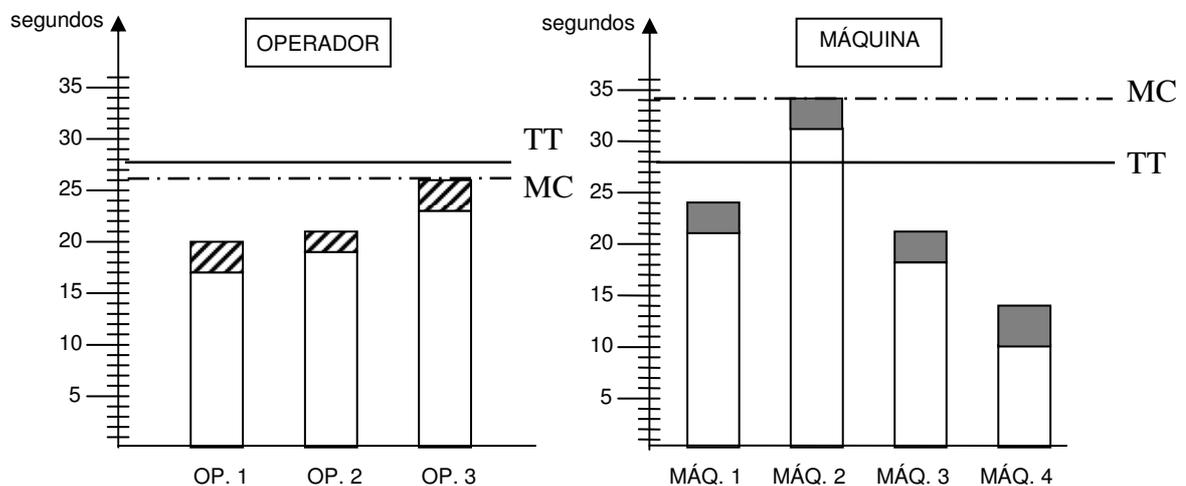
Uma forma de representar estes ciclos para que possa ser identificado o gargalo é apresentada na Figura 2.4.

Os gráficos tem no eixo vertical o tempo de ciclo em segundos e no eixo horizontal a análise dos operadores no gráfico esquerdo e das máquinas no gráfico direito.

Para cada um dos operadores, identificados no gráfico pela abreviatura OP. 1, OP. 2 e OP. 3, é desenhada uma barra sem preenchimento interno que representa o tempo total da

operação manual daquele operador. Os tempos de ciclo identificados com preenchimento interno da barra do operador são explicados na legenda na parte de baixo do gráfico.

Para cada uma das máquinas, identificadas no gráfico pela abreviatura MÁQ. 1, MÁQ. 2, MÁQ. 3 e MÁQ. 4, é desenhada uma barra sem preenchimento interno que representa o tempo de ciclo de operação da máquina para cada unidade de produto. O tempo representado com preenchimento xadrez indica o tempo de equipamento parado necessário à colocação do material a ser processado, e a retirada do material já processado no final da operação de cada unidade do produto.



LEGENDA

- Tempo utilizado pelo operador caminhando em cada ciclo de produção de um produto e/ou tempo de espera do mesmo frente ao equipamento.
- Tempo de carga e descarga do equipamento, com o mesmo parado.

Figura 2.4 – Gráficos dos ciclos dos equipamentos e dos operadores

Fonte: Adaptado de Perin (2005) e de Lee-Mortimer (2006) e de Alvarez e Antunes (2001)

Duas linhas são desenhadas neste gráfico e suas posições relativas indicam se a capacidade produtiva é suficiente ou não ao atendimento da demanda do cliente.

A primeira delas é o ciclo de produção do recurso de maior restrição quanto à capacidade produtiva. No gráfico esta linha deve ser desenhada tangenciando a barra mais alta. Esta linha é identificada com a sigla MC – maior ciclo- e descreve em quantos segundos

esta operação permite fabricar uma unidade do produto. A segunda linha é a representação do *takt-time* – TT –, que indica em quantos segundos deve ser produzido um produto para que o cliente seja atendido.

A relação entre as linhas é a de que se a linha MC estiver acima da linha TT a capacidade produtiva não é suficiente para o atendimento da demanda do cliente e o Gargalo é o recurso que determinou o posicionamento da linha MC. É possível que isto ocorra somente num dos gráficos ou em ambos. Se ocorrer em ambos a situação apresenta tanto uma restrição ao atendimento da demanda do cliente devido a um ciclo de máquina quanto a um ciclo de um dos operadores. O gargalo do todo será o que apresentar menor ciclo dentre as operações de máquina e do operador.

Caso a linha MC esteja abaixo da linha TT, em ambos os gráficos, a capacidade produtiva é suficiente para o atendimento da demanda do cliente e não existe um recurso Gargalo.

Desta forma, através da utilização destes gráficos é possível identificar a operação gargalo de uma linha de montagem e se esta é devida a um ciclo de equipamento ou a um ciclo de operador.

## 2.2 Teoria das Restrições

A Teoria das Restrições foi apresentada na década de 1970, quando o físico israelense Eliyahu Goldratt se envolveu com a solução dos problemas logísticos de produção. Goldratt não tinha conhecimento sobre os métodos de administração utilizados, mas buscou resolver os problemas da logística de produção apresentados com os métodos de solução de problemas que ele conhecia da física. Goldratt concebeu um método de administração totalmente original, pois ele desconhecia os métodos já existentes. Para ele os métodos de administração tradicionais não fazem muito sentido lógico (CORBETT, 2005).

Segundo Dettmer (1997), a Teoria das Restrições é uma filosofia de melhoria de um sistema. Nesta forma de análise do sistema, o sistema é observado como um todo. Desta maneira as ações são idealizadas de forma a maximizar o resultado esperado do sistema como um todo. Algumas vezes é necessário que os resultados de uma parte do sistema sejam prejudicados para que o resultado do todo seja maximizado. A diferença desta forma de análise da situação para as formas de análise anteriores é que estas buscavam a melhoria das partes do sistema e julgavam que isto garantiria o melhor resultado para o sistema como um todo. Esta forma de análise tem uma visão incompleta do sistema, uma vez que ignora as

interdependências e relacionamentos entre as partes que constituem o sistema como um todo. Goldratt insiste no fato de que os sistemas alcançam o sucesso ou o fracasso como sistema, não sendo possível isto ocorrer a um processo isoladamente. Goldratt ainda diz que o sucesso ou fracasso de um sistema é função de como os diferentes processos intrínsecos ao sistema interagem entre si. Ele ainda compara os sistemas às correntes ou às malhas formadas por correntes. E diz que o limite de desempenho do sistema estará limitado ao desempenho do elo mais fraco desta corrente. Ainda indica que melhorias que não sejam no ponto mais fraco da corrente, não produzirão melhores resultados para o sistema como um todo. O elo mais fraco de um sistema é chamado de restrição do sistema. A teoria das restrições se dedica a identificar e a melhorar o desempenho desta restrição.

A Teoria das Restrições é uma metodologia aplicada a sistemas de múltiplos propósitos que tem sido progressivamente desenvolvida para auxiliar pessoas e organizações a analisar os problemas, desenvolver soluções inovadoras e implementar as mesmas com sucesso (MABIN; BALDERSTONE, 2003).

Segundo Dettmer (1997) e Antunes et al. (2008), para começarmos a discutir a teoria das restrições é necessário entender a visão de sistema e como ela se aplica a uma empresa. Um sistema pode ser entendido como uma coleção de processos ou componentes inter-relacionados e interdependentes que agem em conjunto para transformar entradas recebidas pelo sistema em alguns tipos de saídas gerados pelo sistema, que visam à busca de alguma meta global da empresa.

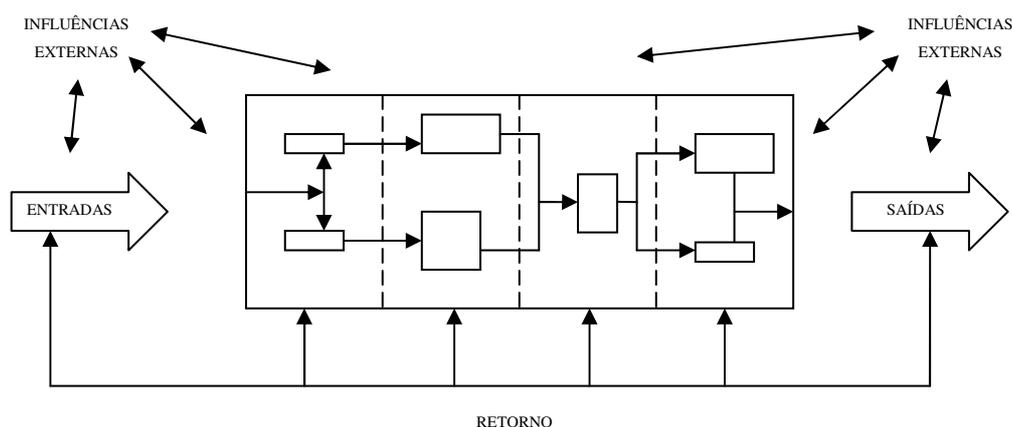


Figura 2.5 – Ambiente de um sistema básico

Fonte: Dettmer (1997)

Na Figura 2.5 é mostrada uma representação esquemática de um sistema.

É necessário visualizar a empresa como um sistema, e desta forma buscar qual é a sua meta global.

Para a apresentação da Teoria das Restrições a sequência escolhida foi de apresentar o conceito do que é uma restrição, indicando que para uma restrição existir deve primeiramente haver um propósito a ser maximizado. Este propósito é a Meta Global da Empresa.

Após isto são apresentados os assuntos Processo de Focalização de Cinco Etapas, Método de Programação Tambor-Pulmão-Corda e estrutura V-A-T seguindo a sequência utilizada por Cox e Spencer (2002).

### 2.2.1 Meta Global da Empresa

Dettmer (1997) lança o questionamento do porquê de os seres humanos criarem os sistemas, e descreve que sempre haverá um propósito nisto. E o propósito principal será a meta global deste sistema. Ele ainda cita que quem determina a meta global de um sistema é o seu proprietário. Exemplifica que em empresas particulares, seus proprietários é que definiram a meta global da empresa. Nas empresas com ações lançadas no mercado, serão seus acionistas que definirão as metas globais da empresa. Nas empresas governamentais, a meta global da empresa deve ser definida pelos cidadãos que são aqueles que pagam os impostos que as mantêm.

Segundo Goldratt<sup>2</sup> (1990 *apud* CORBETT, 2005, p. 35):

O primeiro passo é reconhecer que todo sistema foi constituído para um propósito; não criamos nossas organizações sem nenhuma finalidade. Assim, toda ação tomada por qualquer parte da empresa deveria ser julgada pelo seu impacto no propósito global. Isto implica que, antes de lidarmos com aprimoramentos em qualquer parte do sistema, primeiro precisamos definir qual é a meta global do mesmo e as medidas que vão permitir que possamos julgar o impacto de qualquer subsistema e de qualquer ação local nessa meta global [...] A restrição de um sistema é nada mais do que sentimos estar expresso nestas palavras: qualquer coisa que impeça um sistema de atingir um desempenho maior em relação à sua meta [...] Na nossa realidade qualquer sistema tem bem poucas restrições e ao mesmo tempo qualquer sistema na realidade tem que ter pelo menos uma restrição.

.

---

<sup>2</sup> GOLDRATT, E.M. (1990). **What is this thing called the theory of constraints, and how should it be implemented.** Croton-on-Hudson: North River.

Segundo Dettmer (1997), a Meta Global de um sistema pode ser entendida de diferentes formas por diferentes partes interessadas (*stakeholders*). Os acionistas da empresa podem enxergar a meta de empresa como sendo o gerar mais dinheiro, pois assim eles receberão maiores dividendos. Os administradores podem visualizar a meta global de uma forma um pouco diferente e embora saibam da necessidade de gerar dinheiro para os acionistas da empresa, observam que outras coisas são também importantes, como: vantagem competitiva, participação de mercado, satisfação do cliente, força de trabalho satisfeita trabalhando com segurança e qualidade dos processos de fabricação. Estas são chamadas de Condições Necessárias.

Aqui aparecem duas definições, o de meta global do sistema e o de condição necessária. A meta global de um sistema pode ser definida como um resultado ou obtenção, para o qual os esforços são direcionados. Condição necessária é definida como sendo uma circunstância indispensável para algum resultado, e tudo mais é contingência. De acordo com Goldratt as relações entre a meta global do sistema e as condições necessárias são de interdependência. E isto faz com que não importe o que é chamado de meta global do sistema e de condição necessária, pois ambas terão que ser atingidas (DETTMER, 1997).

Como já foi dito, a meta global de um sistema deve ser definida por seus proprietários. Para o caso das empresas, Corbett (2005) assume ser a meta global do sistema o ganhar dinheiro no presente, bem com no futuro.

Goldratt e Cox (1990) afirmam que a meta de uma empresa de produção é ganhar dinheiro.

Inicialmente Goldratt propôs que a meta global das organizações seria “ganhar dinheiro hoje e no futuro”. Posteriormente, Goldratt ampliou sua visão da meta global das empresas adicionando dois outros tópicos. O primeiro é “satisfazer os empregados hoje e no futuro” e o segundo é “satisfazer os clientes hoje e no futuro”. Segundo Goldratt os dois tópicos acrescentados são pressupostos básicos, sem os quais não seria possível atingir o identificado inicialmente (ANTUNES et al., 2008). Os dois tópicos adicionados posteriormente mostram uma característica de condições necessárias.

Para que a evolução no alcance da Meta Global seja gerenciada é necessária a criação de métricas para o monitoramento do grau de alcance da Meta Global.

Segundo Corbett (2005), as organizações precisam de um sistema de informação que sirva de orientação e motivação para os gerentes na busca em direção à meta organizacional. Este sistema de informação torna possível para os gerentes identificar em que direção devem ser colocados seus esforços, para que a organização se aproxime cada vez mais de sua meta.

De acordo com Goldratt<sup>3</sup> (1990 *apud* CORBETT, 2005, p. 40):

[...] antes de lidarmos com aprimoramentos em qualquer parte do sistema, primeiro precisamos definir qual é a meta global do mesmo e as medidas que vão permitir que possamos julgar o impacto de qualquer subsistema e de qualquer ação local nesta meta global.

Como já foi dito, a meta de um sistema deve ser determinada pelos seus proprietários (GOLDRATT, 1991). Para as organizações, Goldratt (1991) propôs que seria “ganhar dinheiro hoje e no futuro”. Conforme destacado por Goldratt (1991), as medidas de desempenho utilizadas para monitorar as organizações na busca desta meta são basicamente o lucro líquido-LL e o retorno sobre o investimento- RSI. Estas duas métricas mostram como a organização está posicionada com relação a sua meta, mas não são muito úteis no direcionamento da tomada de decisões locais. Entenda-se por decisões locais aquelas tomadas em cada um dos vários processos que compõem a organização como um sistema.

Ainda segundo Corbett (2005), para que as decisões locais tenham indicadores que as orientem em relação à meta global do sistema é necessário que sejam feitas três perguntas simples :

- Quanto dinheiro é gerado pela organização?
- Quanto dinheiro é capturado pela organização?
- Quanto dinheiro é gasto para operar a organização?

As métricas, que orientam a organização em suas decisões locais relativas às três perguntas anteriores, são descritas:

- Ganho-G
- Investimento - I
- Despesa operacional- DO

---

<sup>3</sup> GOLDRATT, E.M. (1990). **What is this thing called the theory of constraints, and how should it be implemented.** Croton-on-Hudson: North River.

Segundo relata Corbett (2005), Goldratt afirma que qualquer outro indicador pode ser classificado em uma destas três métricas. Corbett (2005) destaca que estas três métricas formam a base da bússola financeira, que segundo ele orientarão todos os gerentes em suas decisões locais, de forma que estejam direcionadas e alinhadas com a meta global da organização.

Serão apresentadas as métricas Ganho, Investimento e Despesa Operacional.

- Ganho-G

Segundo Goldratt (1991), ganho é definido como todo dinheiro gerado pelo sistema através das vendas.

Ganho é definido como o valor total vendido menos custos variáveis totais (MABIN; BALDERSTONE, 2003)

Goldratt (1991, p.17) disse que:

comumente, obteremos uma definição mais precisa se apagarmos as três últimas palavras: *através das vendas*. Observe se o sistema gera dinheiro com juros bancários, isto é, definitivamente ganho. Por que acrescentei estas três palavras? Devido ao comportamento em nossas empresas. Muitos gerentes de produção acham que se produzirem algo, isto merece ser chamado de ganho... Ganho não pode ser associado à manobra interna de dinheiro. Ganho significa trazer dinheiro fresco de fora, daí as palavras adicionais: *através das vendas*.

A fórmula para calcular o ganho é mostrada na Equação 2.13.

$$G=P-CTV \quad (2.13)$$

Onde: G- ganho unitário do produto; P- preço de venda unitário do produto; CTV- custo totalmente variável.

O ganho é composto de dois componentes: a Receita e os Custos Totalmente Variáveis.

Segundo Corbett (2005), o uso dos termos *custo* e *variável* pode confundir-se com termos utilizados na contabilidade de custos. O custo totalmente variável é aquele montante

gasto quando um produto a mais é vendido. Exemplos podem ser os custos da matéria prima, parte de sua despesa com energia de uma empresa fabricante de alumínio, comissão pela venda aos vendedores, entre outros. Alguns custos terão parte totalmente variável e parte fixa como o exemplo do gasto com energia elétrica de uma empresa fabricante de alumínio. Somente a parcela variável comporá o custo totalmente variável-CTV.

- Investimento-I

Investimento, segundo Corbett (2005), é todo dinheiro que está preso dentro da organização. São exemplos dele: prédios e terrenos, computadores, móveis de escritório, máquinas, carros, caminhões, capital de giro líquido. Ele ainda descreve a divisão do investimento em duas categorias, sendo a primeira relativa aos estoques de matéria prima, de produtos em processo e de produtos acabados, e a segunda, relativa aos demais ativos. E por final explica que o valor atribuído ao estoque em processo e estoque acabado deve ser igual ao seu Custo Totalmente Variável - CTV. Com este enfoque o objetivo é eliminar a geração de lucros aparentes devido ao processo de alocação de custos. Custos não devem ser rateados entre os produtos, mas isto não significa que os custos que não são totalmente variáveis serão ignorados. Eles serão considerados e intitulados na seção seguinte.

Mabin e Balderstone (2003) definem investimento como o total de dinheiro investido em produtos ou serviços que serão ou poderão ser vendidos.

- Despesa Operacional - DO

Segundo descrevem Mabin e Balderstone (2003), despesa operacional é toda despesa, não variável, que a organização gasta transformando investimento em ganho. Todos os custos que não são totalmente variáveis são as despesas operacionais. A despesa operacional pode ser compreendida como todo o dinheiro que deve ser colocado dentro da organização para que a mesma se mantenha em funcionamento. São exemplos: todos os salários; desde o presidente da empresa até o da mão de obra direta; alugueís, energia, encargos sociais e depreciações.

A teoria das restrições não identifica as despesas como fixas ou semi-variáveis e, sim, como totalmente variáveis e não totalmente variáveis.

Goldratt (1991) e Antunes et al. (2008) propõem que a empresa deve privilegiar em primeiro lugar o ganho, em segundo o investimento e em terceiro, as despesas operacionais.

### 2.2.2 Restrição do Sistema

Conforme Guerreiro (1999), a restrição é qualquer coisa que limita o melhor desempenho de um sistema, como o elo mais fraco de uma corrente. Ou ainda pode ser algo que a empresa não tem em quantidade suficiente.

Segundo Bernardi (2008), a Restrição é qualquer coisa que limita um sistema em conseguir maior desempenho em relação a sua meta.

Dettmer (1997) apresenta um exemplo de restrição aplicado a um sistema de produção para auxiliar na compreensão do conceito de restrição. Este exemplo será mostrado com o auxílio das Figuras 2.6 e 2.7. Na Figura 2.6 a matéria prima é fornecida, e para que o produto seja finalizado ele deve passar por todos os processos na sequência indicada pelas setas. Cada processo tem uma taxa diária de processamento que é indicada no desenho. É também indicada a necessidade do mercado.

Nesta situação a restrição é o processo C, pois ele só processa seis unidades por dia.

Como resultado do processo de melhoria, os processos do exemplo anterior tiveram suas taxas de processamento diárias modificadas. A nova situação está descrita na Figura 2.7.

A situação agora revela que a restrição do sistema é a demanda do mercado que consome o item fabricado. A restrição pode se transferir de um ponto do sistema para outro na medida em que as condições internas ou externas ao sistema se alteram.

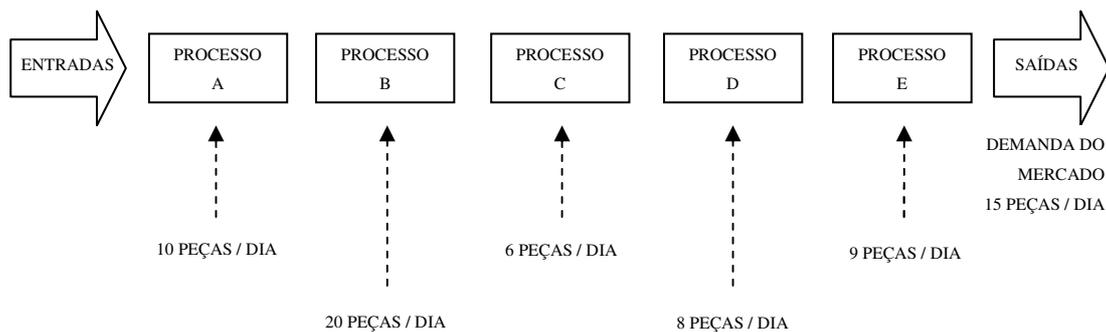


Figura 2.6 – Um exemplo de Fluxo de Produção

Fonte: Dettmer (1997)

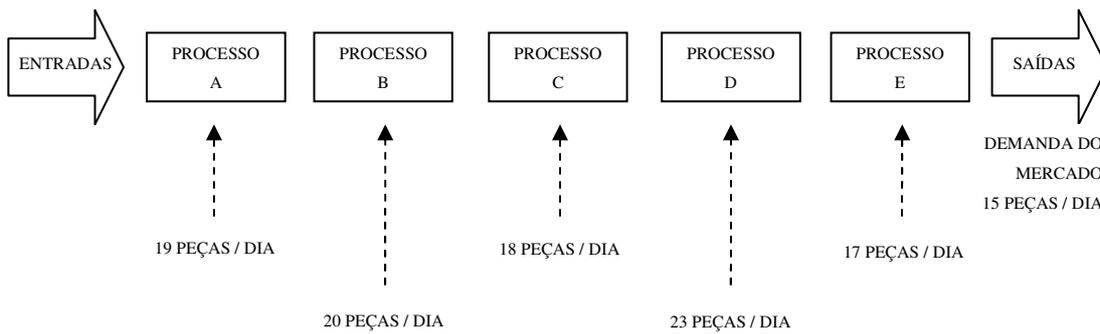


Figura 2.7 – Outra versão do exemplo de produção

Fonte: Dettmer (1997)

Segundo Antunes et al. (2008), o entendimento da distinção entre os dois tipos de restrição que podem acontecer num sistema produtivo é essencial para a compreensão do conceito de restrição. Ele apresenta os dois tipos de restrição que são os Gargalos e os Recursos com Restrição de Capacidade - RRC.

O gargalo, do ponto de vista operacional, é o processo com insuficiência de capacidade para atender à demanda (GUPTA; BOYD, 2008).

Se mais de um recurso se enquadrar nesta definição o gargalo será aquele que mais longe estiver de atender a demanda do mercado. São características relacionadas aos Gargalos (ANTUNES et al., 2008):

- Na prática, se em curto prazo não forem viabilizadas atividades de melhorias, os gargalos tendem a permanecer nesta condição. Isto dá um sentido estrutural ao conceito de Gargalo;
- Os Gargalos existentes em um sistema de fabricação tendem a ser poucos, podendo se reduzir a um por um período considerável de tempo;
- Para que o Gargalo passe a ser outro processo, são possíveis tanto ações que permitam aumentar a capacidade do recurso, como ações para reduzir a demanda dos produtos que se utilizam deste processo.

Os Recursos com Restrição de Capacidade segundo Antunes et al. (2008, p. 110):

[...] são aqueles recursos que, em média, têm capacidade superior à necessária, mas que em função das variabilidades que ocorrem nos sistemas produtivos ou devido a variações significativas da demanda, podem conjuntamente apresentar restrições de capacidade.

Algumas das causas que fazem com que um processo não produza sua máxima capacidade são descritas nos próximos parágrafos. Esta perda de capacidade pode transformar um processo/recurso em recurso com restrição de capacidade (BRAGLIA et al., 2009)

- Quebras dos equipamentos;
- Tempo de troca de modelo e ajustes de produção;
- Tempo parado e paradas de pequena duração;
- Velocidade reduzida;
- Queda de rendimento do início da atividade até estabelecer regime de operação;
- Rejeições e retrabalhos de qualidade.

Um exemplo elucidativo é mostrado destacando a diferença entre gargalo e recurso com restrição de capacidade (ANTUNES et al., 2008, p. 113):

[...] suponha que um dado recurso tenha uma demanda de seis horas e uma capacidade instalada de oito horas. Obviamente, tal recurso não se constitui em um gargalo, dado que a capacidade é nitidamente superior à demanda. Porém, suponha que um dado fornecedor atrase em três horas o material necessário para viabilizar a produção neste recurso. Neste caso, este recurso passará a restringir o desempenho econômico do sistema, uma vez que, das oito horas de capacidade, somente cinco horas poderão ser utilizadas. Porém, trata-se de um aspecto tipicamente conjuntural relativo à gestão do sistema.

As restrições podem ser divididas em diferentes características como será mostrado.

Uma classificação das restrições é citada por Guerreiro (1999), na qual é feita a distinção em dois diferentes tipos. O primeiro é a restrição de recurso ou restrição física, que engloba as restrições de: mercado, fornecedor, máquinas, materiais, pedido, projeto e pessoas. Neste tipo de restrição a limitação está condicionada à capacidade interna ou externa ao sistema. O segundo tipo é a restrição de política, na qual normas, procedimentos e práticas usuais do passado limitam a atuação do sistema. Como por exemplo, limitações legais, acordos sindicais e proibições impostas por procedimentos internos.

Outra classificação possível é apresentada por Antunes (1998) que é a distinção entre restrição interna e restrição externa. A primeira ocorre quando o sistema não tem capacidade de gerar o resultado a ser entregue para o cliente na quantidade desejada. Isto pode ser exemplificado numa indústria de fabricação de automóveis quando os clientes querem mais carros do que a fábrica consegue produzir devido a uma operação de ciclo tal que não permite o atendimento completo a todos os clientes. A segunda ocorre quando o sistema tem capacidade de gerar o resultado a ser entregue aos clientes acima da quantidade desejada por estes. Neste caso quem restringe a execução no sistema não é o sistema, e sim, o desejo do cliente. Exemplificando, a fábrica de automóveis teria a capacidade de produzir mil carros por dia, mas os clientes só estão dispostos a adquirir oitocentos carros por dia. Para as restrições externas a tratativa adotada deve ser a de estabelecer estratégias de mercado através das áreas de vendas e marketing, que podem, por exemplo, oferecer novos produtos ou reduzir os preços para que a demanda aumente. Para as restrições internas serão descritas técnicas de tratamento da situação no Método Proposto.

As restrições podem surgir nas quatro combinações possíveis de tipologia. Podem ser interna e de recurso, interna e de política, externa e de recurso ou externa e de política.

Segundo Corbett (2005), as restrições não são, em essência, boas ou ruins. Elas simplesmente existem, são um fato. Se forem ignoradas, tornam-se fonte de risco para o sistema. Se forem identificadas e administradas podem passar a ser grandes oportunidades de melhoria.

### 2.2.3 Processo de Focalização de Cinco Etapas

Como já foi descrito anteriormente, adotando uma visão sistêmica, as restrições devem ser identificadas e administradas. A esta atividade é dado o nome de gerenciamento das restrições – GR.

Este processo é utilizado como uma sequência estruturada de trabalho para guiar as ações de um time de melhoria orientado para o sistema que vise tornar sua organização mais ágil com relação à demanda do cliente em mercados competitivos e dinâmicos (REID, 2007).

Segundo Cox e Spencer (2002) o sistema de Gerenciamento das Restrições tem início com um Processo de Focalização em Cinco Etapas que gera a estrutura para o gerenciamento efetivo da produção. O processo de Gerenciamento das Restrições busca desfazer a confusão que frequentemente parece existir na produção. As cinco etapas de focalização tornam possível aos gerentes planejarem o processo geral de produção e focalizarem sua atenção nos

recursos que criam o maior impacto para o sistema como um todo. Este processo de focalização de cinco etapas se aplica mais ao aprimoramento das restrições de recurso, enquanto o Processo de Pensamento se aplica mais ao aprimoramento das restrições de política ou procedimentos.

O Processo de Focalização de Cinco Etapas como um processo de melhoria é bastante focado pois ele atua onde resultará o máximo impacto no sistema se comparado a qualquer outro ponto, isto é, no Gargalo (BOYD; GUPTA, 2004).

Na seções seguintes serão descritas cada uma das cinco etapas do Processo de Focalização de Cinco Etapas.

- Identificação da Restrição do Sistema

Segundo Antunes et al. (2008), as restrições a serem identificadas podem ser internas ou externas ao sistema produtivo. Quando a demanda do mercado é maior do que o sistema de produção pode fabricar, ou quando um dos fornecedores não tem capacidade produtiva para atender a necessidade da empresa, a restrição é externa ao sistema produtivo. Quando a demanda total de um dado *mix* de produtos excede a capacidade da empresa, um Gargalo de produção existe, e a capacidade de produção da empresa será a capacidade do Gargalo. Neste caso tem-se a restrição interna ao sistema.

Segundo Guerreiro (1999), todo sistema deve ter pelo menos uma restrição. Cox e Spencer (2002) indicam que qualquer empresa tem algo que limita sua produção. Caso isso não ocorresse a empresa cresceria sem limites consumindo tudo em seu caminho. Se a produção da empresa não tiver algo que a limite, ou seja, as restrições, ela terá um lucro ilimitado. Eles estabelecem uma comparação entre o sistema de produção de uma organização e um sistema biológico que também sempre tem algo que o limita para que ele não cresça sem parar.

Elliott (2008) exemplifica que em uma reação química, a duração de uma transformação em várias etapas é ditada pela etapa de reação mais lenta. Sendo esta etapa a restrição do sistema quanto ao tempo total da transformação. Para a agilização desta transformação é prioritário o emprego de um catalisador que aja na etapa mais lenta (restrição) para que os resultados de rapidez sejam maximizados.

A Figura 2.8 mostra um exemplo dado por Cox e Spencer (2002).

Na Figura 2.8 o produto C é composto de duas sub-montagens, componentes A e componentes B. Cada produto C consome uma sub-montagem A e uma B.

Os componentes A e B são produzidos a partir de matérias primas fornecidas por outras empresas e são produzidos nas sequências das operações 10,20, 30 e 15, 25, 35 respectivamente. Após a montagem do produto final C ele é enviado à expedição para envio ao cliente.

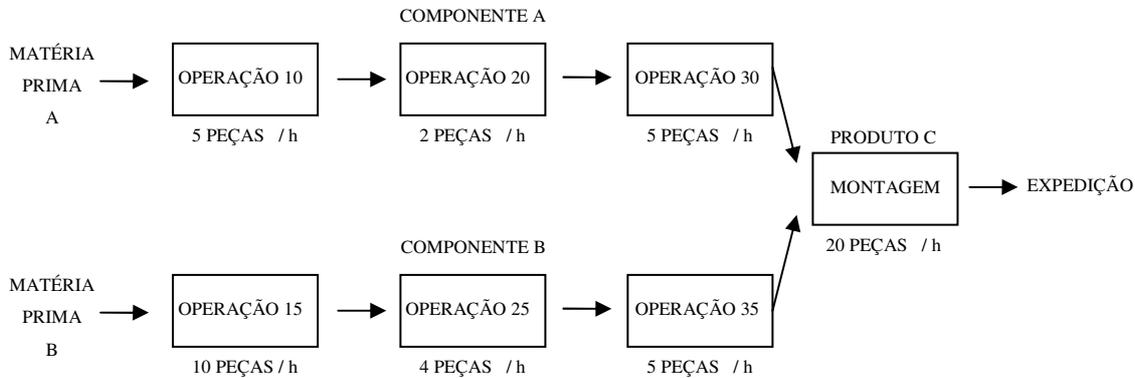


Figura 2.8 - Um exemplo simples de produção

Fonte: Cox e Spencer (2002)

Abaixo de cada operação, entre parênteses, é apresentada a taxa de produção de cada processo, expressa em peças processadas por hora.

Para efeito de exemplo não é considerada a possibilidade da demanda do mercado e da capacidade dos fornecedores serem a restrição. Após esta consideração é possível identificar que a restrição do sistema apresentado é a operação 20. Esta operação tem a capacidade de processar duas peças por hora. Todas as outras têm capacidades superiores a esta. Esta empresa só poderá assumir com o cliente a produção de dois produtos C por hora. A restrição do sistema é a operação 20, pois ela é que limita a meta global da empresa, que é o Ganho.

Cox e Spencer (2002) indicam que a identificação da restrição consome uma quantidade considerável de trabalho. Eles descrevem que a entrevista com programadores de produção, funcionários da expedição, supervisores de produção, entre outros funcionários, pode ter informações que podem ser utilizadas para a determinação da restrição do sistema. Também os registros de horas extras podem ajudar nesta determinação.

O mapa de fluxo de valor identifica o ciclo de cada operação e pode ser utilizado como uma ferramenta para a detecção da restrição do sistema. Ele poderá tornar a restrição detectável sendo ela uma restrição de recurso, de mercado, de fornecedores e até mesmo de fluxo de informação e programação.

- Decisão de como Explorar a Restrição do Sistema

Nesta etapa, a busca é maximizar a eficiência operacional do recurso restritivo existente na situação atual. A gerência deve buscar a eliminação de todos os tempos e atividades não produtivos (REID, 2007).

Nesta etapa são buscadas formas de explorar da melhor maneira a Restrição. A palavra *explorar*, neste caso, tem o significado de aproveitar-se de algo, tirar o máximo proveito. Este proveito está ligado à meta global que se quer buscar. Pela definição o Gargalo limita o desempenho do sistema produtivo e desta forma não consegue processar tudo o que o mercado demanda.

Não sendo possível o processamento de tudo o que o mercado quer, é importante que a empresa priorize a fabricação daqueles produtos que darão o maior Ganho para a empresa. A empresa deve se assegurar de que o Gargalo estará ocupado com os produtos de maior ganho. Procedimentos inadequados de programação e controle do Gargalo podem fazer com que a empresa permita que o Gargalo fique ocioso ou produza itens que não maximizem o seu Ganho (COX; SPENCER, 2002).

No exemplo será mostrada uma situação que ajudará a fixar este conceito de exploração da restrição.

A empresa indicada fabrica dois produtos, A e B. A Tabela 2.1 mostra as informações de preço, custos, tempos de processamento nos dois processos necessários a ambos os produtos.

As despesas operacionais são as mesmas independentemente do produto que seja produzido.

A busca é a maximização do ganho. Neste caso não é possível atender a todas as demandas, pois mensalmente o tempo disponível de fabricação é conforme mostra a Equação 2.14.

$$\begin{aligned} \text{Tempo disponível} &= 60 \text{ min/h} * 8 \text{ h/dia} * 5 \text{ dias/semana} * \\ &30 \text{ dias/mês} = 72.000 \text{ min/mês.} \end{aligned} \quad (2.14)$$

Tabela 2.1 – Dados da situação exemplificada

	Produto A	Produto B
Demanda mensal ( unidades )	3.600	3.600
Preço de venda ( \$ )	100	100
Custo unitário de matéria prima ( \$ )	60	80
Ganho unitário ( \$ )	40	20
Tempo de processamento na usinagem (min)	4	4
Tempo de processamento na solda (min)	20	5

E a necessidade de disponibilidade, para que cada um dos processos atenda ao total da demanda é mostrada nas Equações 2.15 e 2.16.

$$\begin{aligned} \text{Usinagem} &= 3.600 \text{ produtos A} * 4 \text{ min} + 3.600 \text{ produtos B} * \\ &4 \text{ min} = 28.800 \text{ min} \end{aligned} \quad (2.15)$$

$$\begin{aligned} \text{Solda} &= 3.600 \text{ produtos A} * 20 \text{ min} + 3.600 \text{ produtos B} * \\ &5 \text{ min} = 90.000 \text{ min} \end{aligned} \quad (2.16)$$

O Processo de soldagem não tem capacidade para produzir toda a demanda dos Produtos A e B, pois o tempo total de disponibilidade de 72.000 minutos não é suficiente para processar os 90.000 minutos necessários ao processamento da demanda total mensal dos Produtos A e B. O Gargalo, neste exemplo, é o Processo de soldagem.

A decisão para maximizar o lucro poderia ser a de produzir a máxima quantidade do produto que gera maior Lucro por unidade fabricada. Neste caso o Produto A. Se sobrar capacidade, o Produto B seria produzido.

A produção de 3.600 Produtos A no processo de soldagem ocuparia a disponibilidade total do processo que é de 72.000 min /mês, conforme cálculo mostrado na Equação 2.17.

$$\text{Tempo para a produção} = 3.600 \text{ Produtos A} * 20 \text{ min} = 72.000 \text{ min} \quad (2.17)$$

Desta forma, nenhum Produto B seria produzido e o ganho mensal é calculado pela Equação 2.18.

$$\text{Ganho mensal} = 3.600 \text{ produtos A} * \$ 40 = \$ 144.000. \quad (2.18)$$

A situação apresentada pode ser analisada, de outra forma, centralizando-se a atenção no Gargalo, que é o processo de soldagem. O Gargalo deve ser explorado, como indica a etapa em estudo. Esta exploração tem que levar em conta a Meta Global do Sistema, que é o Ganho.

Cada minuto do gargalo deve ser explorado buscando o maior Ganho. Para isto é necessário que se calcule, para cada produto, o ganho gerado por minuto consumido do Gargalo. Este cálculo é apresentado nas Equações 2.19 e 2.20.

$$\text{Produto A} = \frac{\text{ganho unitário produto A}}{\text{tempo de processamento na soldagem}} = \frac{\$40}{20 \text{ min}} = \underline{2\$/\text{min}} \quad (2.19)$$

$$\text{Produto B} = \frac{\text{ganho unitário produto B}}{\text{tempo de processamento na soldagem}} = \frac{\$20}{4 \text{ min}} = \underline{4\$/\text{min}} \quad (2.20)$$

Pelos resultados apresentados anteriormente, o lucro por minuto utilizado do gargalo é maior no Produto B. A empresa deve produzir tudo o que puder do Produto B e então utilizar a capacidade restante para produzir o que puder do Produto A.

Os passos para o cálculo do Ganho para esta nova estratégia será mostrado pelas Equações 2.21 a 2.24.

$$\text{Tempo ocupado pela produção do Produto B no processo de soldagem} = 3.600 * 5 \text{ min} = 18.000 \text{ min} \quad (2.21)$$

$$\text{Tempo restante do processo de soldagem para produção do Produto A} = 72.0000 - 18.000 = 54.000 \text{ min} \quad (2.22)$$

$$\text{Produção possível do produto A} = \frac{54.000}{20 \text{ min}} = 2.700 \text{ produtos A.} \quad (2.23)$$

$$\text{Ganho} = 3.600 * \$ 20 + 2.700 * \$ 40 = \$ 180.000. \quad (2.24)$$

Este ganho é superior aos \$144.000 alcançados quando o Gargalo não foi explorado adequadamente.

A adequada exploração do Gargalo tem que considerar o índice descrito pelo ganho por tempo de utilização do Gargalo. Caso a Meta Global do Sistema analisado seja diferente do Ganho, o índice deve ser a razão da Meta Global do Sistema pelo tempo ocupado do Gargalo.

O exemplo anterior foi montado tendo como base o exemplo apresentado por Corbett (2005).

- Subordinação de todo o Sistema à Restrição

Nesta etapa a busca é por um gerenciamento das atividades ou recursos não restrição de forma que sua atuação esteja sincronizada com o suporte total à estratégia de gerenciamento da otimização da Restrição. Esta etapa esbarra na dificuldade de reconhecimento pelos gerentes das áreas não restrição de que sua área não é a prioridade e que esta deve sim moldar-se às necessidades da área à qual pertence a Restrição ( REID, 2007).

O exemplo anterior descreve que a fabricação do Produto A consome 4 minutos da operação de usinagem e 20 minutos da operação de soldagem. Estas operações ocorrem em sequência conforme mostrado na Figura 2.9.

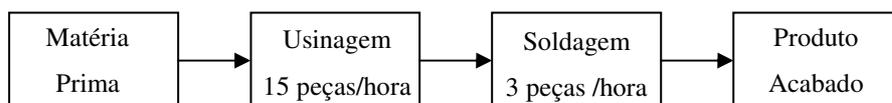


Figura 2.9 – Sequência de Produção

Dentro de cada representação dos processos foi colocada a taxa horária de produção. E o mercado demanda cinco peças por hora.

Neste exemplo a meta global da empresa é o ganho, e a restrição é o processo de soldagem.

É possível perceber que se os dois processos buscarem atingir a máxima eficiência em relação a sua capacidade, o processo de usinagem produzirá muito mais rapidamente do que o

processo de soldagem. Isto levará a um acúmulo de peças entre os processos de usinagem e soldagem. Este acúmulo não aumenta a possibilidade de ganho, uma vez que a quantidade horária produzida será limitada pela restrição, que apenas produz três peças por hora.

Este acúmulo irá crescer continuamente até que algo limite seu crescimento, como por exemplo, a falta de recursos da empresa para continuar comprando matéria prima. Este acúmulo fere a segunda prioridade da meta global buscada, que é o inventário.

O processo de soldagem deve controlar o processo de usinagem para que o acúmulo seja controlado, e ao mesmo tempo o processo de soldagem não pare por falta de peças já usinadas. Todo o esforço deve ser feito para que o processo de soldagem não pare (pois é a restrição), e sua parada afetará o ganho, que é a meta global do sistema.

Mais à frente será explicada a técnica utilizada pela Teoria das Restrições que possibilita a subordinação das atividades não restritivas à melhor utilização da atividade que é a Restrição. Esta técnica é chamada de Método de Programação Tambor- Pulmão-Corda.

Como citam Cox e Spencer (2002), uma dificuldade na subordinação da atividade restrição às que não o são, é o conjunto de indicadores de desempenho normalmente utilizados no ambiente de produção. No exemplo anterior, o supervisor do departamento de usinagem, com o intuito de maximizar seu indicador de desempenho de produtividade, poderá imprimir um ritmo na operação de usinagem superior ao necessário para o fornecimento de peças à soldagem. Ou ainda poderá reduzir o número de operadores na atividade de usinagem para que a taxa de produção seja a mesma da soldagem e ele possa apresentar indicadores de produtividade excelentes.

Será explicado no Método de Programação Tambor-Pulmão-Corda que as atividades que não são restrição devem operar com uma ociosidade em relação à atividade Gargalo. Caso contrário, as atividades que não são restrição podem se tornar Recurso com Restrição de Capacidade – RRC. Pode-se ressaltar que o nível desta ociosidade deve ser controlado.

- Elevação da Restrição do Sistema

Elevar a Restrição é a ação de torná-la menos limitadora da Meta Global do Sistema, podendo até transferir para outra atividade o papel de Restrição para a maximização da Meta Global.

Como indica Reid (2007) esta etapa é atendida com o aumento de capacidade do recurso restritivo, isto é a Restrição. As etapas 2 e 3 frequentemente não envolvem

investimento financeiro. Em contrapartida esta etapa frequentemente necessita de investimento, como por exemplo compra de equipamentos ou melhorias nos mesmos.

No caso das Restrições Externas, as ações de Vendas e Marketing devem ser priorizadas de forma a “aumentar a demanda pelos produtos da empresa” (UMBLE; SRIKANTH<sup>4</sup>, 1990 *apud* ANTUNES, 1998).

As Restrições Internas podem ser de Recurso ou de Política. Para as Restrições de Política a elevação deve ser buscada através da ferramenta chamada Processo de Pensamento, que não é o foco desta pesquisa.

No Método Proposto são apresentadas e discutidas, em detalhes, as citações encontradas na bibliografia relativas à elevação da capacidade do Gargalo, quando este é um equipamento.

- Reinicialização do Processo

Segundo Cox e Fox (2002), a quinta etapa do processo de focalização de cinco etapas busca evitar que a inércia interrompa o processo de melhoria contínua.

Se o sucesso na etapa de elevação da atividade restrição fez com que a Restrição deixasse de ser esta atividade, então o processo deve ser iniciado novamente na etapa um.

Desta forma um ciclo de melhoria contínua é estabelecido, buscando sempre melhorar a Meta Global da empresa como um todo. A administração da empresa deve exercer vigilância para garantir que este processo cíclico se mantenha e a melhoria contínua seja um processo inerente à empresa.

#### 2.2.4 Método de Programação Tambor-Pulmão-Corda

Em 1982 Goldratt propôs uma solução para uma série de problemas através de uma lógica de programação que levava em consideração o conceito de Recurso Gargalo e não Gargalo. O Gargalo necessita produzir o tempo todo, com exceção dos tempos de preparação. As operações que não são Restrição à frente do Gargalo têm seu fluxo de produção empurrado por ele, e as operações que não são restrições anteriores ao Gargalo têm sua produção puxada por ele. Outro conceito que Goldratt, em 1985, desenvolveu nas aplicações do Método OPT

---

<sup>4</sup> UMBLE, M.M.; SRIKANTH, M.L. (1990). **Synchronous Manufacturing**. South-Western Cincinnati, Publishing CO.

foi o conceito expandido de estoques de proteção, que foram chamados de Pulmões de Tempo. Goldratt agrupa os novos conceitos desenvolvidos propondo a lógica do Método de Programação Tambor-Pulmão-Corda – TPC (ANTUNES, 1998).

Segundo Goldratt e Fox, num ambiente produtivo podem existir alguns poucos recursos cuja capacidade seja inferior à demanda do mercado. Estes recursos limitarão a capacidade produtiva da empresa. A lógica do Método TPC reconhece que esta Restrição ditará o ritmo de produção de todo o Sistema de Manufatura (GOLDRATT; FOX<sup>5</sup>, 1989 *apud* ANTUNES, 1998).

Todo Sistema de Manufatura precisa definir um ponto do fluxo de produção no qual será controlada a produção. Se o sistema possui um Gargalo, o melhor ponto para que se estabeleça o controle é ele mesmo. Lembrando que o Gargalo, por definição, é a atividade cuja capacidade de produção é menor que a demanda do mercado, e sendo desta forma, ele precisa funcionar o tempo todo. Estabelecendo-se no Gargalo o controle do sistema produtivo é possível controlar e garantir a máxima utilização deste recurso que limita o ganho de empresa (CHASE et al., 2006).

No Método TPC o Gargalo é o Tambor, pois dita o ritmo que o restante do sistema deve seguir e é o ponto do sistema que deve ser controlado. Se o ritmo não for determinado pelo Gargalo dois efeitos podem ocorrer:

- Acúmulo de peças antes do Gargalo e conseqüente impacto negativo no inventário;
- Parada do Gargalo por falta de peças a processar e conseqüente perda de Ganho.

Se não existir um Gargalo no sistema, o melhor ponto para o controle, assumindo a função de Tambor do sistema, é o Recurso com Restrição de Capacidade que, por definição, é aquele que tem a capacidade necessária, mas próxima à demanda do mercado e que pode se transformar em limitante do Ganho do sistema se for mal programado, se tiver número de trocas de modelo excessivo ou se o tamanho de lote de processo for muito grande (CHASE et al., 2006).

---

<sup>5</sup> GOLDRATT, E.M.; FOX, R.E. (1989). **A Corrida pela vantagem competitiva**. Tradução de Claudiney Fullmann. São Paulo: IMAN.

Se não houver nenhum Gargalo e nenhum Recurso com Restrição de Capacidade, o local da escolha do ponto de controle não terá impacto significativo para a maximização do Ganho (CHASE et al., 2006).

Com o exposto anteriormente fica claro que o Gargalo, que tem a função de Tambor, deve receber um tratamento especial, pois é muito relevante na determinação do desempenho econômico financeiro do sistema como um todo. O Gargalo deve ser protegido dos problemas que podem afetar as atividades que vêm antes como, por exemplo, variabilidade de tempos de processo, problemas associados à qualidade, quebra de máquinas ou falta de matérias primas. Esta proteção é chamada de Pulmão de Tempo, pois assegura um determinado tempo de abastecimento de peças a serem processadas pelo Gargalo. Assim, as perturbações que ocorrem nas operações que antecedem o Gargalo, que não ultrapassem o tempo equivalente à quantidade de peças do Pulmão de Tempo, não afetarão os Ganhos do Sistema Produtivo (GOLDRATT; FOX, 1989; ANTUNES, 1998).

O dimensionamento do Pulmão de Tempo é diretamente relacionado com o grau de confiabilidade das operações que antecedem o Gargalo. Foram idealizados dois outros tipos de pulmões além do Pulmão de Tempo. Um é o Pulmão de Montagem, que tem a função de assegurar que todas as peças que passem pelo Gargalo não tenham seu fluxo interrompido por problemas ocorridos nas demais linhas de alimentação das montagens posteriores. O outro é o Pulmão de Entrega, que fica logo após o final do fluxo produtivo, aguardando a entrega do produto ao mercado. Este pulmão objetiva possibilitar a entrega dos produtos dentro do prazo estabelecido (ANTUNES, 1998).

Na Figura 2.10 é possível identificar os três tipos de pulmões descritos.

Como visto, é necessário o controle do ritmo das operações anteriores ao Gargalo para que não ocorra o acúmulo crescente de peças antes do Gargalo. Este controle é realizado pelo terceiro elemento do Método Tambor-Pulmão-Corda, isto é, a Corda.

A Corda é um sistema de sinal. O objetivo consiste em sinalizar o momento correto para a liberação da produção nos processos que antecedem os pulmões. A necessidade ocorre à medida que os RRC processam as peças e os Pulmões devem ser mantidos para proteção dos RRC. A Figura 2.10 mostra as funções do Método TPC em uma estrutura de produção.

A programação do Tambor, para um determinado período de tempo, é feita através de um Plano Mestre de Produção. Este Plano Mestre de Produção é gerado tendo como ponto de partida a necessidade do mercado neste período de tempo, com quantidades por tipo de peça e datas de entrega desejadas. Se a Restrição for um Gargalo, esta análise servirá para explorar ao máximo o Gargalo priorizando quais pedidos serão atendidos de forma a maximizar o

ganho. Se a Restrição for um RRC a programação deve ser feita de forma que todos os pedidos sejam atendidos no prazo explorando a Restrição ao máximo. Nesta situação a programação da restrição é decisiva para que todos os pedidos sejam atendidos. Como cita Bernardi (2005, p. 188):

Programar o recurso de forma a ocupar, da melhor maneira possível, seu tempo disponível, levando-se sempre em consideração os prazos de entrega dos pedidos.

Esta etapa de exploração do RRC, que também pode ser entendida como a subordinação do RRC à exploração da restrição do mercado, implica em gerar um programa de produção para o RRC de maneira que todo o seu tempo disponível seja utilizado da melhor maneira possível ao propósito da empresa toda.

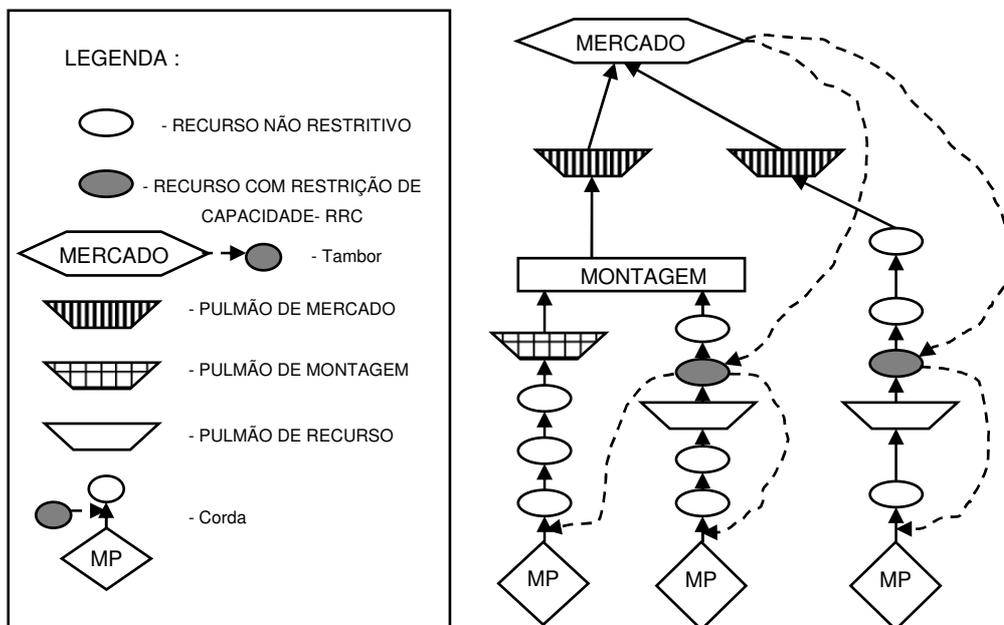


Figura 2.10 - Tipos diferentes de Pulmão

Fonte: Bernardi (2005)

O processo de programação pode ser dividido em vários passos, como descrito por Bernardi (2005):

- Passo 1- nesta etapa devem ser considerados todos os pedidos a serem entregues no período de tempo analisado, isto é, no horizonte do programa mais o período de tempo do Pulmão de Entrega;

- Passo 2 - Calcular a quantidade de peças ou subconjuntos que o RRC deve processar de cada pedido a partir de sua estrutura de produto, rendimento, estoque em processo e produtos acabados. Os produtos acabados devem ser distribuídos segundo as datas requeridas dos pedidos;
- Passo 3 – Calcular o montante de carga exigida do RRC a partir do tempo necessário para processar a peça ou subconjunto e do tempo de preparação;
- Passo 4 – Colocar as tarefas do RRC numa linha do tempo, sendo que o RRC deve terminar o processamento num instante que anteceda a data de entrega desejada, equivalente ao Pulmão de Entrega, mais o tempo de atravessamento desde o RRC até a última operação do produto. Feita esta análise para cada um dos pedidos, cada pedido deve ser colocado em uma linha do tempo. Esta colocação deve seguir a ordem de vencimento do prazo de entrega. Esta representação gráfica foi chamada por Goldratt (1991) de Quadro de Ruínas e é mostrada na Figura 2.11.

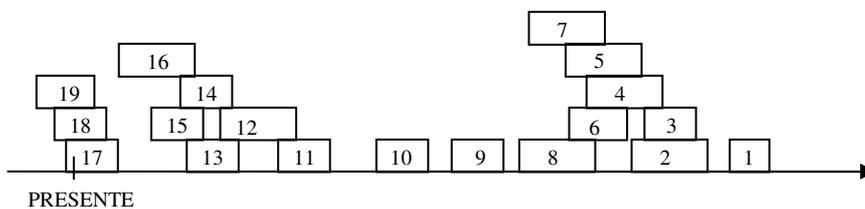


Figura 2.11 – Quadro de Ruínas

Fonte: Goldratt (1991)

- Passo 5 – A representação mostra os pedidos 2, 3, 4, 5 e 7 sendo processados ao mesmo tempo pelo RRC. No exemplo será considerado que existe duplicidade do RRC. Desta forma é possível o processamento de no máximo dois pedidos simultaneamente. Nesta etapa é tratado o nivelamento para que a simultaneidade de processamento obedeça ao limitante do número de RRC. Para este nivelamento o deslocamento pode ocorrer para a direita ou para a esquerda. Para a direita significa consumir parte do pulmão de mercado, podendo até, se o deslocamento for muito grande, perder o prazo de entrega. Para a esquerda o impacto será um inventário superior ao planejado inicialmente. A Teoria das Restrições prioriza o Ganho em relação ao Investimento (Inventário). Sendo assim, o deslocamento preferencial é o da

esquerda. Este deslocamento para a esquerda deve manter a sequência de entrega inicial como mostrado na Figura 2.12.

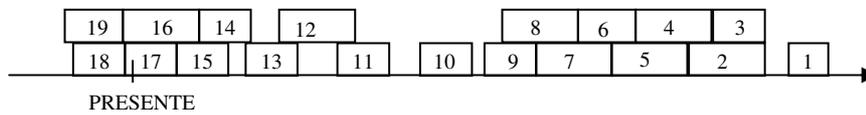


Figura 2.12 – Quadro de Ruínas nivelado

Fonte: Goldratt (1991)

- Passo 6 – Após o Passo 5 alguns pedidos mostram a necessidade de serem executados no passado, o que não é possível. Assim é necessário que os blocos sejam arrastados para o presente. A situação após esta ação é mostrada na Figura 2.13.

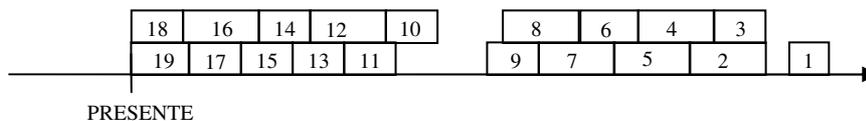


Figura 2.13 – Quadro de Ruínas sem atividades no passado

Fonte: Goldratt (1991)

- Passo 7 – A operação de arrastar os blocos para a direita pode posicionar alguns blocos à direita de sua posição inicial. Se o deslocamento para a direita for equivalente a até metade do Pulmão de Entrega, Goldratt (1991) identifica uma situação que deve ser acompanhada pela gerência e o prazo pode ser atendido. Caso este deslocamento exceda metade do Pulmão de Entrega, estes blocos são identificados em vermelho pelo sistema e Goldratt (1991) sugere os passos seguintes:
- Passo 8 – A posição dos blocos até este momento deve ser validada quanto à possibilidade dos processos anteriores em fornecer os materiais necessários ao RRC. Esta possibilidade é verificada quando os recursos anteriores têm mais de metade do Pulmão de Tempo do RRC de folga para este fornecimento. Caso algum recurso anterior apresente um conflito de fornecimento, os blocos

necessários devem ser deslocados para a direita na linha do tempo do RRC. Isto pode tornar mais blocos vermelhos;

- Passo 9 – Aglutinar blocos que não requeiram preparação entre eles, economizando em preparação e, assim, conseguindo mais tempo produtivo para a Restrição. Esta aglutinação é feita com o deslocamento dos blocos para a esquerda, antecipando a realização das atividades. Após esta análise deve ser verificado se ainda existem blocos vermelhos. Só devem ser aglutinados blocos se houver um bloco vermelho à direita, pois do contrário o sacrifício do Inventário não levaria a uma melhoria do Ganho, que é prioridade. Somente se houver um reflexo positivo no Ganho é que se devem aglutinar blocos para reduzir o número de trocas de modelo. Esta questão mostra como a Teoria das restrições determina os tamanhos de lotes de processo.
- Passo 10 – Utilização de horas extras ou o desvio de parte das operações, realizadas pelo RRC, para outros processos e, após isto, a observação da permanência dos blocos na condição “vermelhos”. Estas horas extras devem ser realizadas no processo representado pelo primeiro bloco à esquerda de cada bloco vermelho para que o inventário seja minimizado;
- Passo 11 – Após a aplicação das etapas anteriores, o que resta é negociar com o cliente a data de entrega dos blocos que ainda continuam vermelhos. A data negociada deve ser a data do final do bloco mais o tempo de atravessamento até a operação final e mais o Pulmão de Entrega.

O Método de Programação TPC viabiliza a terceira etapa do Processo de Focalização em Cinco Etapas. Lembrando, a terceira etapa diz que todo o sistema deve estar subordinado à Restrição para que a Meta Global do Sistema seja maximizada (ANTUNES, 1998).

#### 2.2.5 Estrutura Lógica V-A-T

Segundo Cox e Spencer (2002) a primeira etapa para conceber uma Visão Sistêmica do Processo de Produção é o desenvolvimento de uma estrutura lógica. A Estrutura Lógica do Produto é composta de dois documentos básicos de manufatura: a Estrutura do Produto e o Roteiro de Produção. O primeiro descreve que peças e subconjuntos compõem o produto final e o segundo, a sequência de formação dos subconjuntos até o produto final.

A razão de estabelecer uma tipologia de categorização da estrutura de arranjo do sistema produtivo tem como objetivos principais: estabelecer soluções que se apliquem a toda uma tipologia em particular, identificar obstáculos comuns a cada tipologia e definir estratégias de implementação de manufatura sincronizada para cada tipologia (ANTUNES, 1998).

Até o momento foi concentrada atenção no Gargalo ou no RRC. É importante que atenção seja dada à Estrutura Lógica da Produção pois, do contrário, recursos que não são Restrição podem limitar a capacidade da Restrição e, por conseguinte, reduzir o Ganho do sistema. Goldratt reconhece este efeito como acúmulo de flutuações estatísticas em recursos dependentes. A aplicação destas duas características, ou seja, as flutuações estatísticas e a dependência entre recursos, levam à necessidade dos recursos não Restrição terem capacidade ociosa a fim de que possam garantir e proteger o ritmo da Restrição (COX; SPENCER, 2002).

A Restrição deve estar protegida para que a dependência e a flutuação dos recursos não Restrição não a afetem. Para que a Restrição esteja protegida da dependência e da flutuação dos processos anteriores ao Gargalo existe o Pulmão de Tempo ou de Recurso como já foi descrito. Para a proteção quanto aos processos posteriores ao Gargalo é concebido um estoque que leva o nome de Pulmão de Espaço. Este Pulmão evita que problemas de fluxo nos processos posteriores à Restrição façam com que a Restrição pare ou reduza o seu ritmo de produção, o que reduziria o Ganho do sistema (COX; SPENCER, 2002).

Para que a Restrição seja protegida os processos não Restrição devem possuir uma ociosidade. A capacidade de um processo não Restrição é dividida em:

- Capacidade Produtiva – Capacidade de produção para acompanhar o processo restrição;
- Capacidade de Proteção – Capacidade acima da capacidade Produtiva que é necessária à proteção do processo restrição.
- Capacidade em Excesso - É a capacidade que excede as duas anteriores.

As estratégias de proteção do Ganho dependerão de como a estrutura lógica da produção é organizada.

A esta subdivisão de três categorias de arranjo de configuração do produto/processo desenvolvida dentro da Teoria das Restrições foi dado o nome de classificação V-A-T (ANTUNES, 1998).

São identificadas três categorias gerais de estruturas ou formas de produção, cada uma exigindo uma abordagem um pouco diferente para o gerenciamento de programação e controle (COX; SPENCER, 2002).

Serão apresentadas as três categorias citadas.

- Estrutura Tipo T

Os sistemas de manufatura que se enquadram nesta tipologia podem ser considerados como divididos em duas partes distintas: uma planta de fabricação e uma planta de montagem. A primeira planta, fabricação, produzirá para manter o desejado nível de estoque, já a segunda planta produzirá os produtos finais para atender a demanda dos clientes. Para isto a montagem utilizará os estoques colocados à disposição pela fabricação. Uma característica deste tipo de estrutura é também a grande variedade de produtos acabados e a pouca variedade de matérias primas (UMBLE<sup>6</sup>, 1992 *apud* ANTUNES, 1998).

A Figura 2.14 mostra uma estrutura tipo T. Esta é a estrutura mais comum nas instalações de produção modernas. Como a Figura 2.14 mostra, a estrutura tipo T descreve o fluxo dos componentes comuns e as montagens através dos mesmos processos para produzir e/ou montar uma variedade de produtos semelhantes. Leva este nome pois sua forma se assemelha à letra T. Esta estrutura consiste na possibilidade de gerar diversas combinações de produtos finais a partir de um número limitado de etapas similares (COX; SPENCER, 2002).

A montagem final e a distribuição são geralmente baseadas em pedidos confirmados pelos clientes, sob encomenda. Um problema gerencial comum neste tipo de estrutura é a alocação indevida de uma montagem comum de um produto para outro o que leva a horas extras e acelerações de pedidos para que os prazos sejam cumpridos.

- Estrutura Tipo V

Esta tipologia tem a característica de predominância de pontos de divergência de materiais ao longo da sequência de produção. O fluxo parte de uma quantidade muito pequena de matérias primas que, a cada processo produtivo, vão gerando uma quantidade cada vez maior de componentes, o que gerará uma quantidade de produtos acabados muito grande (ANTUNES, 1998).

---

<sup>6</sup> UMBLE, M.M. (1992). Analysing manufacturing problems using V-A-T analysis. **Production and Inventory Management Journal**, second quarter, p.55-60.

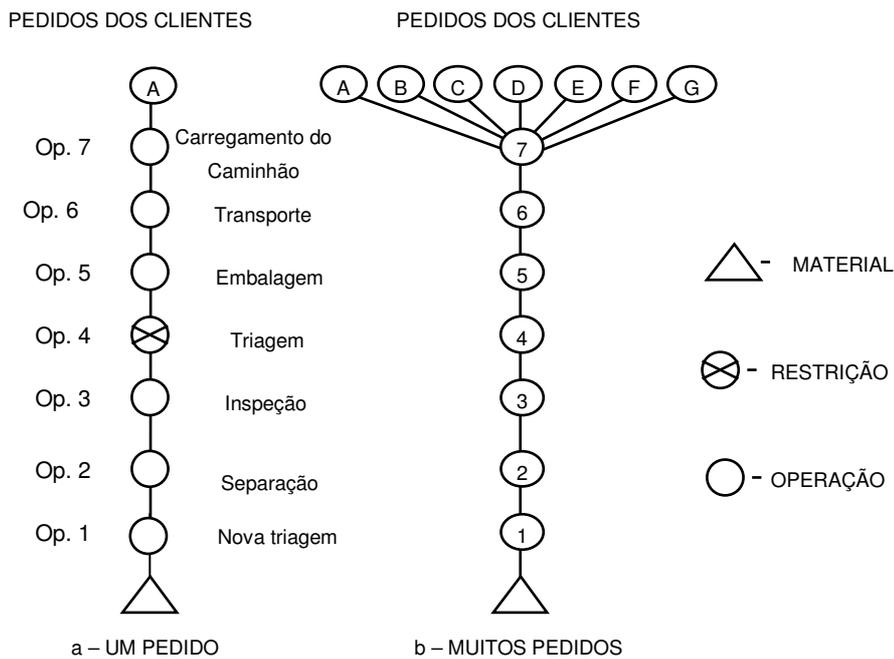


Figura 2.14 – Estrutura lógica tipo T

Fonte: Cox e Spencer (2002)

A Figura 2.15 mostra uma estrutura tipo V. Nesta estrutura poucos tipos de material, geralmente um apenas, são utilizados para originar vários produtos. Uma vez que o material foi processado em uma operação, geralmente não pode alterar seu caminho no processo a fim de gerar outro produto com outras características. Os pontos de divergência são os pontos do fluxo nos quais uma característica é definida e geralmente é irreversível. Cox e Spencer (2002) exemplificam esta situação que ocorre em um restaurante quando o bife, dentro das opções possíveis (bem-passado, ao ponto e malpassado) é preparado na opção bem-passado. Desta forma, não será mais possível que venha a ser preparado ao ponto.

A personalização é comum neste tipo de estrutura. Como consequência desta personalização, existe uma chance de alocação indevida do produto por outro produto. A busca por um elevado nível de utilização do equipamento, que para esta tipologia geralmente exigem capital investido elevado, pode gerar níveis de estoque nos quais a matéria prima já passou por um ponto de divergência e não pode mais atender a um pedido específico de um cliente (CHASE; AQUILIANO<sup>7</sup>, 1995 *apud* ANTUNES, 1998).

<sup>7</sup> CHASE, R.B.; AQUILIANO, N.J. (1995). **Production and Operation Management: Manufacturing and Services**, Chicago: Editora Irwin 7nd.

Uma estrutura tipo V pode ter mais de um ponto de divergência e os pontos de divergência devem ser planejados e controlados cuidadosamente, pois precisam garantir que darão o fluxo adequado para as peças que já passaram ou passarão pela restrição de forma a maximizar o Ganho (COX; SPENCER, 2002).

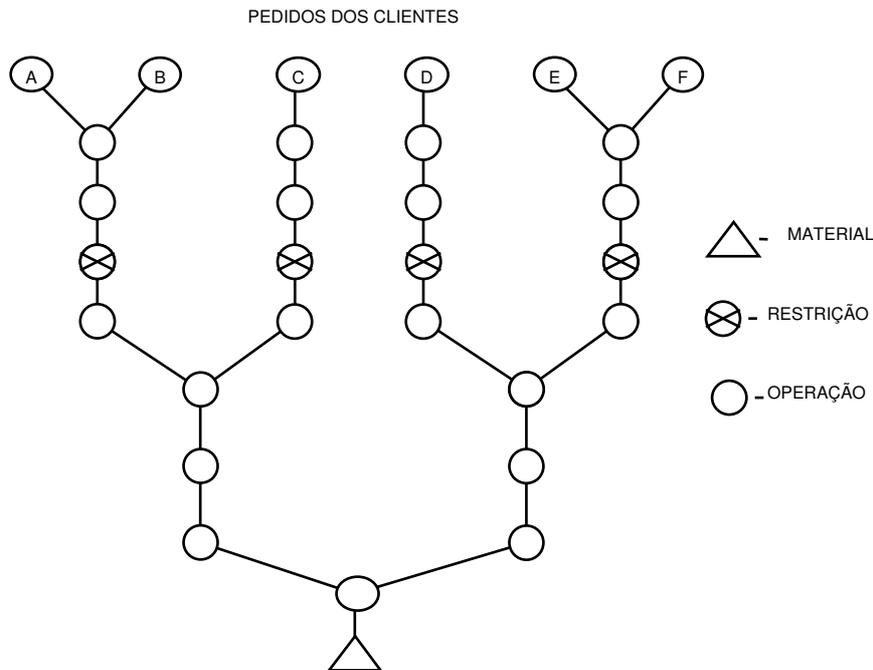


Figura 2.15 – Estrutura lógica tipo V

Fonte: Cox e Spencer (2002)

- Estrutura Tipo A

Os sistemas de manufatura que se enquadram nesta tipologia são caracterizados pela produção de um pequeno número de produtos acabados produzidos a partir de um grande número de matérias primas e componentes. A predominância é a de pontos de convergência. A característica predominante é a de montagem (ANTUNES, 1998).

A Figura 2.16 mostra uma estrutura tipo A. Tanto a estrutura T como a A tem pontos de convergência. A diferença é que na Estrutura A após esta convergência ainda existe uma série de processos. Uma diferença desta estrutura em relação às outras duas anteriores é a grande variedade de roteiros, que são necessários para atendimento dos pedidos. Geralmente, na estrutura do tipo A é mais difícil identificar a Restrição. A programação e o controle ocorrem nos mesmos pontos que em uma estrutura do tipo T (COX; SPENCER, 2002).

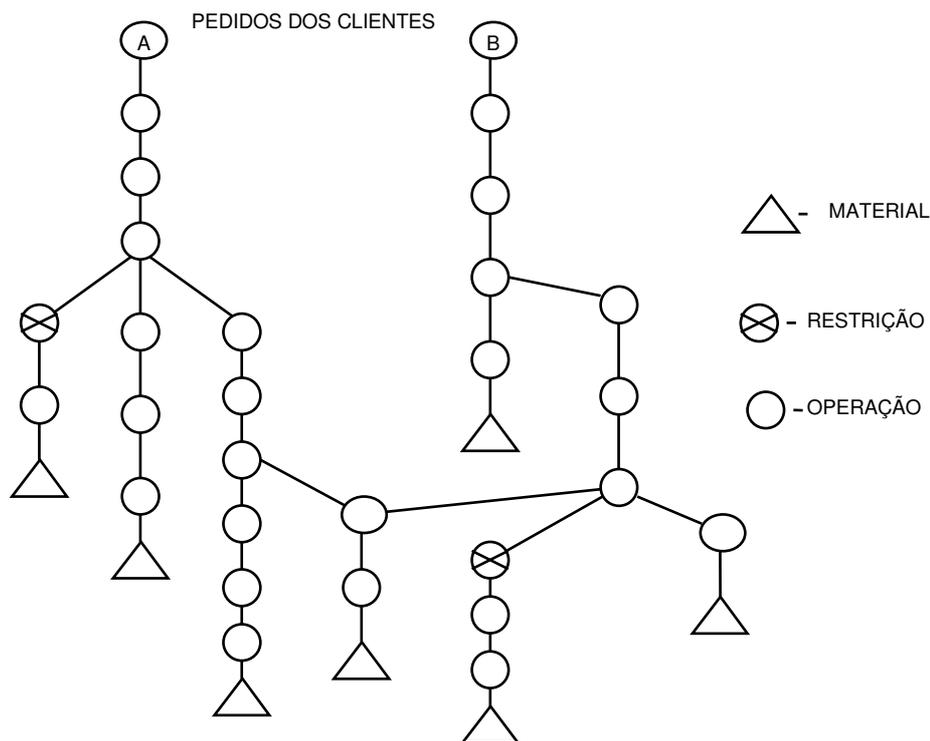


Figura 2.16 – Estrutura Lógica Tipo A

Fonte: Cox e Spencer (2002)

Segundo Antunes (1998), as três classificações apresentadas são puras. Podem ser encontradas estruturas que mais se assemelham a um dos tipos, ou ainda, uma mistura dos tipos apresentados.

Umble e Srikanth<sup>8</sup> (1990, *apud* ANTUNES, 1998) propõem a existência de cinco combinações mais comuns de arranjo:

- V na base e T no topo;
- A na base com T no topo;
- V na base e A no topo;
- V na base com A no meio e T no topo;
- A e V lado a lado e T no topo

Ainda segundo Umble e Srikanth<sup>9</sup> (1990, *apud* ANTUNES, 1998), é preciso perceber que a intensificação do processo de verticalização das operações gerará estruturas cada vez mais complexas e desafiadoras no processo de gerenciamento, controle e sincronização.

<sup>8</sup> UMBLE, M.M.; SRIKANTH, M.L. (1990). **Synchronous Manufacturing**. South-Western Cincinnati, Publishing CO.

Conforme Cox e Spencer (2002, p. 128):

No gerenciamento das restrições, cinco pontos de controle são usados para gerenciar o processo de produção. O formato das estruturas lógicas (V, A e T) influencia os pontos de controle dominantes no processo. O primeiro ponto de controle é a Restrição. O segundo ponto de controle é o Ponto de Divergência, se houver. O terceiro ponto de controle é o Ponto de Convergência, se houver. O quarto ponto de controle é a Operação de Entrada. O quinto ponto de controle é a Operação de Expedição. A Restrição determina o Ganho para o sistema todo que é controlado pelo Método de Programação Tambor-Pulmão-Corda. A programação da restrição determina as programações de suporte para a programação e controle da operação de entrada, para a operação de expedição e para os pontos de divergência e convergência.

Cox e Spencer (2002) apresentam a Figura 2.17 que mostra os pontos de controle em cada um dos três tipos de estrutura.

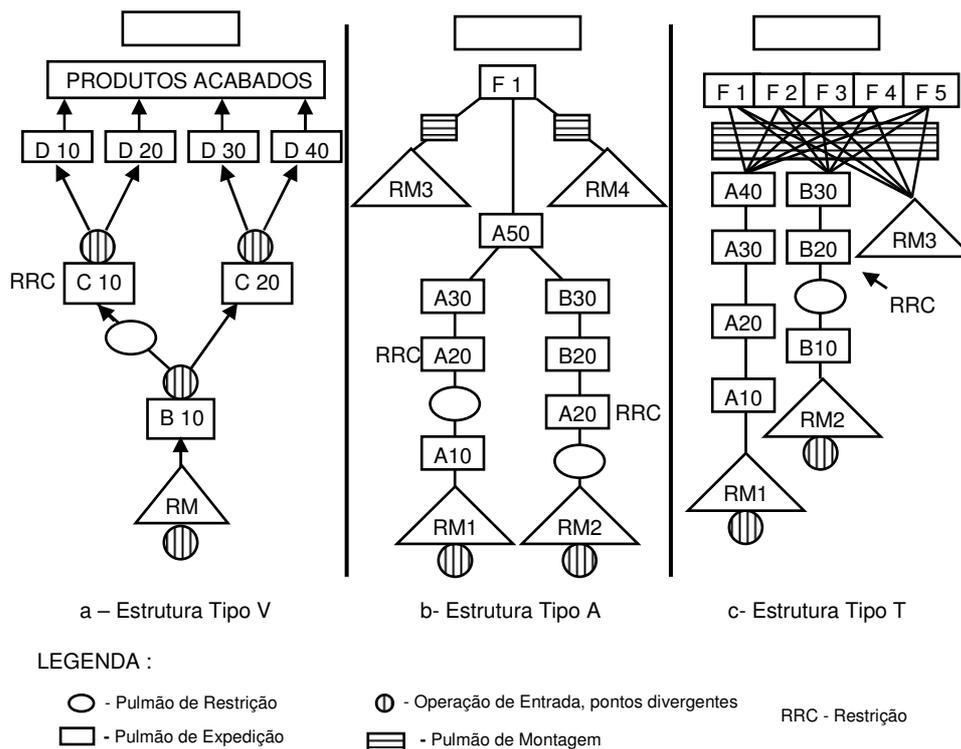


Figura 2.17 – Pontos de Controle das Estruturas Lógicas VAT

Fonte: Cox e Spencer (2002)

<sup>9</sup> UMBLE, M.M.; SRIKANTH, M.L. (1990). **Synchronous Manufacturing**. South-Western Cincinnati, Publishing CO.

### 2.3 Técnicas de Elevação do Gargalo

Esta pesquisa reúne uma série de técnicas de aumento de capacidade de produção de um equipamento, que estão dispersas pela bibliografia e este trabalho desenvolve a oportunidade de reuní-las para que possam ser utilizadas num método abrangente de elevação dos Gargalos.

Na maioria das vezes existe mais de uma forma para que uma restrição seja elevada. Segundo Antunes et al. (2008), devem-se escolher as ações mais adequadas e que exijam o mínimo de investimentos.

As técnicas encontradas serão apresentadas e serão identificadas com uma letra T maiúscula seguida de numeração sequencial. A sequência de apresentação das técnicas obedece à ordem alfabética dos títulos das mesmas.

Algumas técnicas que apresentavam semelhança foram agrupadas numa única técnica.

- T1 – Mudança de ruptura às condições atuais

Algumas vezes os pequenos aperfeiçoamentos não geram as melhorias necessárias. Isto ocorre com frequência quando a atividade já passou por vários ciclos de melhoria e o potencial para lapidação do processo é pequeno. Esta ferramenta orienta a que seja buscada uma solução sem que os detalhes da atividade atual sejam limites para a busca de nova solução. A busca é a de quebra de paradigma, não permitindo que a atividade atual bloqueie a possibilidade de inovações mais abruptas (HARRINGTON, 1993).

Caputo e Pelagagge (2003) indicam a necessidade da flexibilidade de volume e que esta, por vezes, impõe uma mudança abrupta na forma de pensar e modelar o sistema de produção e processo através da reengenharia da operação de manufatura adotando uma análise sistêmica.

- T2 – Automação e/ou Mecanização

Atividades que apresentam ganhos com a automação e/ou mecanização são geralmente atividades repetitivas, que serão aperfeiçoadas se forem realizadas mais rapidamente, atividades compostas por um grande número de etapas. Cuidado deve ser tomado na adoção deste tipo de direcionamento por modismo ou desejo de ter este tipo de tecnologia no sistema de produção. A decisão pela utilização deste tipo de solução deve vir da

necessidade de velocidade de uma atividade já bastante sob controle e conhecida (HARRINGTON, 1993).

Exemplos de utilização desta técnica são apresentados por Mortimer (2007) e Ingemansson e Bolmsjo (2004) nos quais a utilização de robôs teve por finalidade aumentar a capacidade de produção de uma célula de manufatura.

Petroni e Bevilacqua (2002) destacam o ganho de capacidade produtiva que é alcançado quando equipamentos de multi-função e automação dos sistemas de manuseio de materiais são utilizados. Esta melhoria permite maior flexibilidade de rotas de fabricação.

Boyle e Scherrer (2009) apresentam a automatização/robotização como técnicas de aumento de capacidade de produção. Este aumento acontece através da redução das incertezas no fluxo de produção, como por exemplo, erros de processo levando a perdas por rejeição e baixa velocidade devido a falta de experiência do operador. Um exemplo no qual este tipo de aplicação aconteceu é apresentada por Caputo e Pelagagge (2003) no qual equipamentos de polimento e teste, que eram gargalo, foram automatizados e desta forma seus ciclos de produção foram reduzidos.

Uma variante desta técnica de aumento da capacidade do processo é a modernização. A tecnologia utilizada nos equipamentos e métodos das atividades passa por desenvolvimentos constantes. Desta forma, é importante verificar se a tecnologia utilizada na atividade Restrição não passou por algum desenvolvimento recente, que permita um melhor desempenho e, por conseguinte, um ciclo de operação menor. A absorção da nova tecnologia pela Restrição não necessariamente incorrerá em investimento financeiro (HARRINGTON, 1993).

Mahr (2000) descreve uma aplicação na qual um sistema inovador que orienta as peças antes que elas sejam pegas foi colocado em prática e aumentou a capacidade de produção. Isto aconteceu pois foi removido um dos motivos que causavam baixo rendimento na célula de fabricação. Aplicação semelhante relatam Caputo e Pelagagge (2008) na qual equipamentos antigos foram substituídos por outros, de nova geração, com funções e capacidades de operação maiores.

Collins e Schmenner (2007) e Boyle (2006) indicam a substituição de antigos equipamentos como uma das importantes fontes de melhoria no desempenho de manufatura. A mesma melhoria pode ser alcançada através da implementação de novas tecnologias segundo Boyle e Scherrer (2009), Motwani e Vogelsang (1996) e Boyd e Gupta (2004).

- T3 – Avaliação do Valor Agregado.

Cada etapa do processo deve passar pela avaliação sobre agregar ou não Valor ao cliente. As etapas que não agregam Valor ao cliente devem ser eliminadas (CAPUTO; PELAGAGGE, 2003; GUNASEKARAN et al., 2000).

Harrington (1993) inclui a definição de atividade que agrega Valor Empresarial, que é aquela que não agrega valor ao cliente, mas agrega valor ao funcionamento da empresa. A Figura 2.18 orienta como classificar as atividades da Restrição;

Lee-Mortimer (2006); Taj e Berro (2006) relatam a utilização desta técnica para a redução do ciclo da operação gargalo, sendo que na segunda referência é relatada uma aplicação na qual esta redução foi alcançada através da eliminação de operações de solda que antes eram realizadas pelo robô e puderam ser eliminadas. Caputo e Pelagagge (2003) trazem um exemplo de aplicação através da eliminação de operação de estampagem e substituição da mesma por uma bem mais simples de etiquetagem.

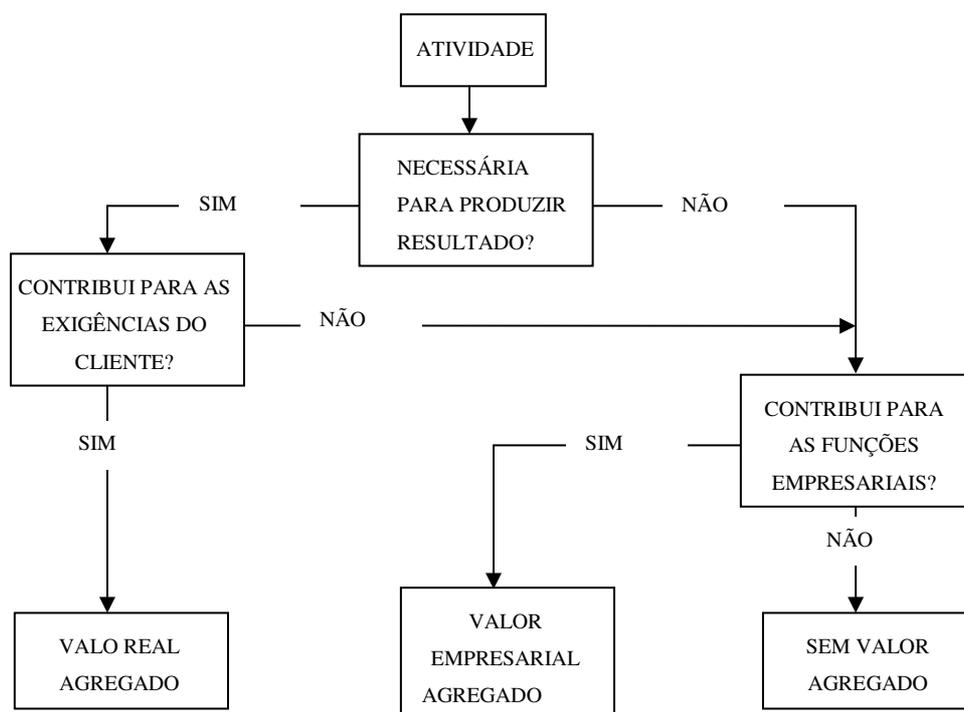


Figura 2.18 – Avaliação do Valor Agregado

Fonte: Harrington (1993)

- T4 – Compra da Atividade do Gargalo de Terceiros.

Esta ação pode ser adotada para que a Restrição seja elevada, uma vez que, parte do trabalho a ser processado na Restrição é feito por outra empresa e desta forma a Restrição não limita mais o Ganho do sistema (ANTUNES et al., 2008; JACK; RATURI, 2002; MOTWANI; VOGELSANG, 1996; OLHAGER; WEST, 2002; REID, 2007). Esta alternativa é bastante empregada e tem uso especial quando a demanda do mercado é maior que a capacidade produtiva por um intervalo de tempo, seguido da possibilidade de redução num futuro próximo (JACK; RATURI, 2002).

Também é citada como técnica utilizada quando a necessidade de aumento de capacidade é imediata (JACK; RATURI, 2002)

Ehie e Sheu (2005) apresentam, no estudo de caso, a preocupação de que o aumento de custos envolvidos na terceirização deve ser compensado pelas vantagens do completo atendimento da demanda.

- T5 – Compra de mais Equipamentos

Esta técnica é colocada em prática através da compra de mais equipamentos que realizam a operação completa do Gargalo ou uma das operações que o Gargalo realiza (ANTUNES, 1998; ANTUNES et al., 2008; CAPUTO; PELAGAGGE, 2008; COLLINS; SCHMENNER, 2007; COUSENS et al., 2009; EHIE; SHEU, 2005; JACK; RATURI, 2002; MOTWANI; VOGELSANG, 1996; NILSSON; NORDAHL, 1995a; NILSSON; NORDAHL, 1995b; PETRONI; BEVILACQUA, 2002; REID, 2007).

Olhager e West (2002) explicam que para áreas de atuação nas quais a margem de lucro é reduzida, o aumento de capacidade de produção através da compra de mais equipamentos produtivos deve ser rápida, isto para que a compra de terceiros, da atividade do gargalo, não prejudique a situação de lucratividade da empresa.

Aumento de capacidade é conquistado pela compra de mais equipamentos tanto para entrar em operação como para ficar como equipamento sobressalente, e assim, reduzir a incerteza. Um exemplo deste efeito pode ser observado quando um equipamento Gargalo quebra e existe um sobressalente, redundante. O efeito desta quebra será neutralizado para

toda a linha de montagem. (ATWATER; CHAKRAVORTY<sup>10</sup>, 1994 *apud* SARMIENTO et al., 2007).

Chase et al. (2006) apresentam três estratégias para aumento da capacidade de produção de uma empresa através da compra de novos equipamentos, e são elas:

- Estratégia Pró-Ativa – a administração antecipa o crescimento futuro e se prepara com capacidade para a demanda que ocorrerá. A Figura 2.19 mostra o comportamento da capacidade produtiva nesta estratégia.
- Estratégia Reativa – a administração aguarda o crescimento futuro e então investe em novos equipamentos. A Figura 2.20 mostra o comportamento da capacidade produtiva nesta estratégia.

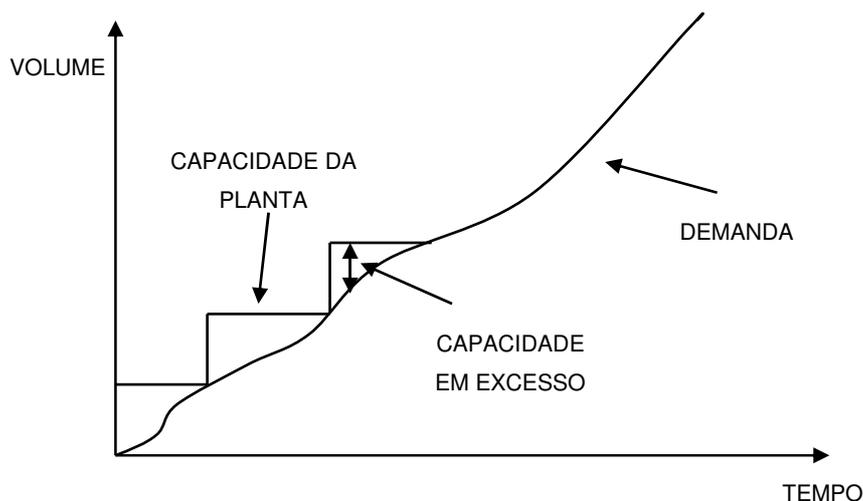


Figura 2.19 - Estratégia Pró-ativa

Fonte: Davis et al. (2001)

- Estratégia Neutra – a administração adota uma estratégia intermediária entre a pró-ativa e a reativa. A Figura 2.21 mostra o comportamento da capacidade produtiva nesta estratégia.

---

<sup>10</sup> ATWATER, J.B.; CHAKRAVORTY, S.S. (1994). Does protective capacity assist manager in competing along time-based dimensions? **Production & Inventory Management Journal**, third quarter, p.53-59.

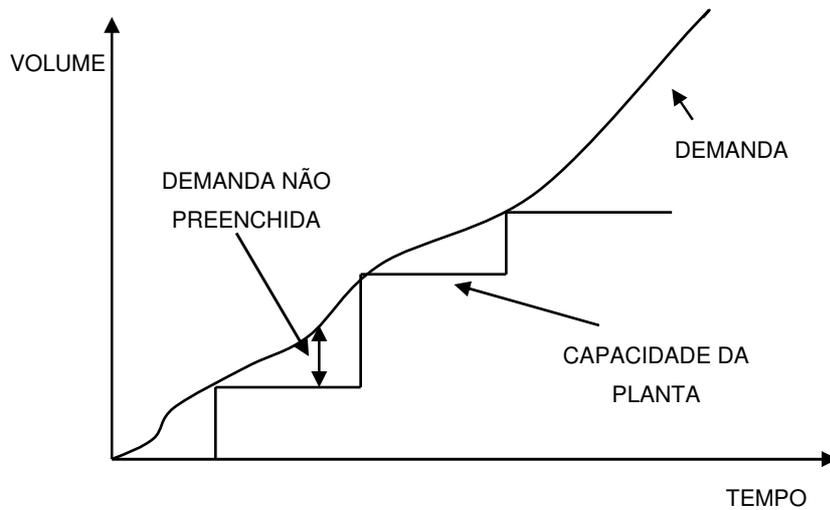


Figura 2.20 - Estratégia Reativa

Fonte: Davis et al. (2001)

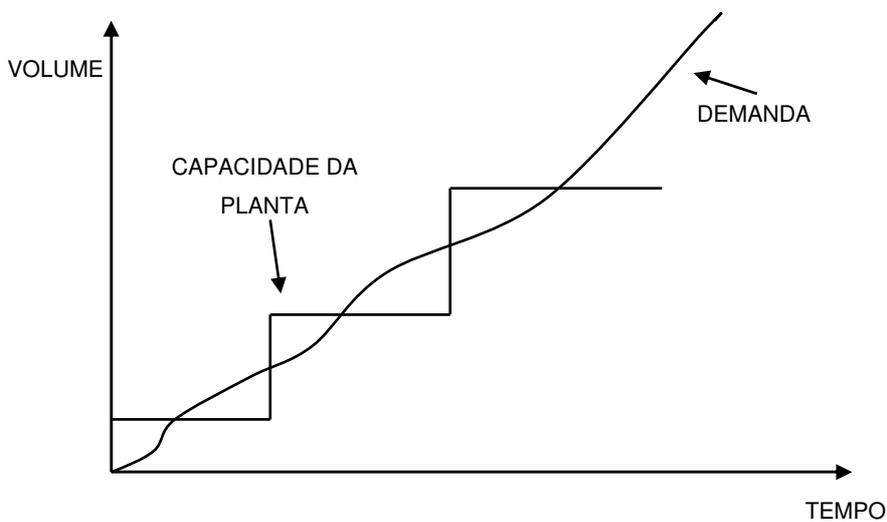


Figura 2.21 - Estratégia Neutra

Fonte: Davis et al. (2001)

As características que nortearam a escolha da administração por cada uma das três estratégias anteriores serão o custo dos equipamentos, o risco e a perda de Ganho associados ao período de não atendimento da demanda do mercado.

Exemplos de utilização desta técnica são reportados nos trabalhos de Caputo e Pelagagge (2003) e Ingemansson et al. (2005)

- T6– Eliminação de períodos de tempo morto no Gargalo

Esta técnica busca eliminar ou reduzir ao máximo os períodos de tempo em que a restrição para de exercer sua atividade. As fontes de paradas que devem ser identificadas e eliminadas são o abandono do posto de operação pelo operador por uma série de motivos e o desligamento da máquina Gargalo por algum motivo (AHUJA; KHAMBA, 2008; BRAGLIA et al., 2009; NACHIAPPAN; ANANTHARAMAN, 2006).

Braglia et al. (2009), Ahuja e Khamba (2008) e Nachiappan e Anantharaman (2006) chamam a atenção para as paradas, que por serem de duração reduzida, não chamam a atenção, mas que por ocorrerem de forma frequente podem ter um impacto acumulado acentuado sobre a capacidade de produção do Gargalo. Eles utilizam o termo *Micro Stoppages*.

Exemplos de momentos nos quais isto ocorre: paradas para almoço, troca de turnos, parada para café, ginástica laboral, folgas ligadas a questões ergonômicas e ida do funcionário ao banheiro (ANTUNES, 2008; LEE-MOTIMER, 2006).

Como é descrito por Antunes et al. (2008), nestes casos a elevação não deve ser atingida pelo cerceamento das atividades que distanciam os funcionários da restrição e sim pela viabilização da operação da Restrição, mesmo com a ausência momentânea do funcionário. Oportunidade de melhoria é perdida se esta parada não é identificada como uma perda como indica Gunasekaran et al.(2000).

Um exemplo de não cerceamento seria a parada para almoço. O funcionário João paralisa sua atividade na Restrição para realizar seu almoço das 12 às 13 horas e a Restrição fica parada durante este período. Uma elevação possível neste caso seria um funcionário Paulo, de outra atividade não restritiva, almoçar das 11 às 12 horas e substituir o funcionário João, rodando a Restrição das 12 às 13 horas. É claro que, para isto, a atividade que Paulo exerce deverá permitir uma parada das 11 às 13 horas sem que ela se torne a Restrição do sistema. A Restrição não para durante o horário de almoço. Portanto, a operação anterior deverá ter preparado um estoque para que possa parar durante este horário, sem que faltem peças para a operação que é a Restrição.

Inman et al. (2009) citam a utilização desta técnica. No caso apresentado ela foi empregada através da redução do tempo de treinamento dos funcionários, como forma temporária de aumento de capacidade enquanto novos equipamentos eram comprados.

- T7– Estoques protegendo o gargalo

Esta técnica de elevação do Gargalo é colocada em prática com a criação de um estoque antes do Gargalo. Este estoque é composto de produtos semi-beneficiados aptos a ingressar no Gargalo (SIVASUBRAMANIAN et al., 2003).

O intuito é o de reduzir ou eliminar a dependência da operação Gargalo do desempenho das operações à montante do fluxo de fabricação. Desta forma eventuais problemas nas operações anteriores ao Gargalo não causarão a imediata parada do Gargalo. Este estoque também protege o Gargalo quando um dos processos à montante tem ciclo mais baixo, porém próximo ao do Gargalo e o processo à montante tem ciclo que apresenta variação estatística. Nesta condição a flutuação estatística do ciclo deste processo poderia causar paradas em alguns momentos na operação Gargalo caso não existisse o estoque de proteção em questão (ANTUNES, 1998; BERNARDI, 2005; BOYD; GUPTA, 2004; BOYLE; SCHERRER, 2009; GUNN; NAHAVANDI, 2000; GUPTA; BOYD, 2008; INGEMANSSON; BOLMSJO, 2004; INGEMANSSON et al., 2005; ).

Estoques também devem ser permitidos à frente do Gargalo. Desta forma o Gargalo não parará caso alguma operação a jusante apresente problemas (BERNARDI, 2005).

A maximização da capacidade de produção de uma linha de montagem pode ser obtida através da alocação de estoques entre as operações de forma a desvinculá-las com respeito a suas eficiências. Cada máquina funcionará como um segmento independente (BRAGLIA et al., 2009).

- T8– Fabricação de parte ou totalidade da operação Gargalo em outro equipamento da empresa.

Esta técnica envolve a transferência de atividade que é realizada no equipamento/operação gargalo para outro equipamento da empresa. Isto deve ocorrer sem que o equipamento que irá realizar a operação passe a ser um gargalo ainda mais restritivo que o anterior (BOYLE, 2006; SARMIENTO et al., 2007).

Em muitas situações a operação realizada na Restrição pode ser dividida em várias sub-atividades. É importante que a atividade que recebe sub-atividades da Restrição não se transforme em Restrição devido a esta transferência (PETRONI; BEVILACQUA, 2002).

Cousens et al. (2009) indicam que a empresa já pode ter um modelo flexível das linhas de fabricação desde sua concepção. De forma que estas já estejam preparadas para fabricar os produtos dela e das outras linhas de fabricação.

Segundo relatam Cousens et al. (2009) e Olhager e West (2002), uma possibilidade é a transferência de produção, para aliviar a carga de trabalho do Gargalo, para outras unidades fabris da empresa que tenham disponibilidade.

- T9– Melhoria da Qualidade que afeta a produção do Gargalo

As rejeições e retrabalhos reduzem a capacidade de produção (AHUJA; KHAMBA, 2008; CAPUTO; PELAGAGGE, 2003; FERNANDES et al., 2009; GUNASEKARAN et al., 2000; HALES et al., 2006; LJUNGBERG, 1998; NACHIAPPAN; ANANTHARAMAN, 2006; OLHAGER; WEST, 2002; SARMIENTO et al., 2007).

Esta técnica utiliza as ferramentas de melhoria e controle da qualidade para prevenir, reduzir e eliminar os retrabalhos e rejeições do processo que reduzem a capacidade de produção. As ferramentas de solução dos problemas da Qualidade, isto é, cartas de fluxo do processo, digramas de causa e efeito, cartas de controle do processo e *six sigma* também podem ser utilizadas para maximizar o desempenho do Gargalo (GUPTA; BOYD, 2008).

Cada ciclo do Gargalo que gera uma peça a ser retrabalhada ou uma peça rejeitada é um ciclo perdido, que não gerará ganho para a empresa. Este sistema capacita a máquina ou o operador a identificar uma característica da atividade que não está conforme deveria e, caso a atividade prossiga, a matéria prima e um ciclo serão perdidos. Este tipo de técnica é *chamada POKA YOKE*. (BOYLE; SCHERRER, 2009; HARRINGTON, 1993).

Não somente a rejeição no Gargalo irá prejudicar a capacidade de produção da linha de montagem. A qualidade das operações posteriores e anteriores ao Gargalo também podem afetá-la, como será explicado nos próximos parágrafos.

Uma situação na qual a qualidade das operações à montante do gargalo afetam o Gargalo acontece quando o nível de rejeição é tal que faltam peças para o processamento no Gargalo e o mesmo tem sua operação interrompida (BRAGLIA et al., 2009).

Antunes et al. (2008) e Boyle (2006) indicam que técnicas de controle da qualidade podem ser utilizadas para reduzir a entrada de material não conforme no sistema de produção,

e desta forma reduzir seu impacto negativo na capacidade de produção. Estas peças com problemas ocupariam o tempo do Gargalo mas não gerariam uma peça boa no final da montagem.

A situação desejada é que nenhuma peça seja rejeitada ou retrabalhada no circuito que vai da restrição do sistema de produção até o mercado. Estas peças alocaram o tempo do Gargalo mas não gerarão um produto final (ANTUNES, 1998; ANTUNES et al., 2008; BRAGLIA et al., 2009; COLLINS; SCHMENNER, 2007).

- T10– Melhoria na Manutenção do Equipamento Gargalo

A elevação, neste caso, ocorre devido ao aumento do tempo no qual a Restrição está efetivamente funcionando. Há dois motivos, ligados a manutenção, que não permitem a produção. São eles: a Manutenção Corretiva e a Manutenção Planejada. Na Manutenção Planejada estão sendo consideradas a Manutenção Preventiva e as intervenções que são consequência da Manutenção Preditiva. A Manutenção Corretiva tem a característica de não ser planejada, pois ocorre num momento fora do controle da administração da empresa (INGEMANSSON; BOLMSJO, 2004).

Segundo Antunes et al. (2008) e Ljungberg (1998), a redução do tempo das paradas planejadas e não planejadas na Restrição permitirá um maior tempo do equipamento em operação e, por conseguinte, um maior Ganho para a empresa.

Corrêa e Corrêa (2006), Ingemansson e Bolmsjo (2004), Motwani e Volgesang (1996), Gruberg (2003), Ahuja e Khamba (2008), Braglia et al. (2009), Boyle e Scherrer (2009) descrevem a abordagem organizacional TPM – Manutenção Produtiva Total que busca melhorar a capacidade de produção real dos equipamentos, reduzindo os tempos de parada do equipamento devido à quebra do mesmo.

Nachiappan e Anantharaman (2006) levantam a preocupação não somente com a falha de equipamento que paralisa a produção mas também a falha que reduz a taxa de produção abaixo do nível normal.

Gunasekaran et al. (2000) relatam um estudo de caso na qual as paradas no Gargalo podiam ser reduzidas pela existência de peças de reposição no estoque da empresa, não sendo necessárias paradas longas para que a peça necessária fosse buscada.

Boyle e Scherrer (2009) expõem o fato de que para aumentar a capacidade de produção, reduzindo a parada por falha do equipamento, pode-se ter um equipamento

sobressalente mas que isto vai contra a busca da Produção Enxuta. A administração deve identificar as necessidades e prioridades da empresa e escolher o caminho adequado.

- T11– Melhoria do Sistema de Alimentação do Gargalo

O sistema de alimentação da matéria prima ou do produto semiacabado para o processamento no Gargalo pode ter impacto na capacidade de produção da linha de montagem. Este impacto acontece se o Gargalo vier a interromper seu processamento à espera da próxima peça (ANTUNES et al., 2008; BRAGLIA et al., 2009). Nesta situação, se o sistema de alimentação for melhorado, esta melhora trará benefícios ao ciclo do Gargalo e consequentemente a capacidade de produção do gargalo será aumentada.

Antunes (1998) cita um caso desenvolvido pelo NUTEC/UFRGS no qual uma melhoria no sistema de alimentação da máquina gargalo dobrou a produção horária global do sistema.

Braglia et al. (2009) apresentam um exemplo no qual um robô é utilizado para carga e descarga do Gargalo. O robô deve primeiro retirar a peça da máquina e colocá-la em uma estação de espera para então poder coletar a próxima peça a ser processada e colocá-la no Gargalo. Durante este período de tempo o Gargalo não está processando peça alguma. A solução apresentada foi a dupla garra do robô. Este já leva a próxima peça a ser processada quando vai retirar a que acabou de terminar o processamento.

#### T12– Redução da duração da troca de modelo no Gargalo

A empresa frequentemente processa mais de um tipo diferente de produto. Esta diferença pode ser de formato, cor, especificação, aplicação, tamanho, material, identificação e etc.

É comum que alterações sejam necessárias nas atividades quando acontece a mudança de um tipo de produto para outro. Isto faz com que os equipamentos fiquem sem produzir enquanto as mudanças necessárias são realizadas nos equipamentos. Para a Restrição esta parada acarreta uma diminuição na produção e, por consequência, uma redução na capacidade de produção (ANTUNES et al., 2008; BOYD; GUPTA, 2004; BOYLE, 2006; BOYLE; SCHERRER, 2009; BRAGLIA et al., 2009; CAGLIANO; SPINA, 2002; COLLINS; SCHMENNER, 2007; COUSENS et al., 2009; EHIE; SHEU, 2005; GUNASEKARAN et al., 2000; INGEMANSSON; BOLMSJO, 2004; JACK; RATUR, 2002;

LJUNGBERG, 1998; MOTWANI; VOGELSANG, 1996; NACHIAPPAN; ANANTHARAMAN, 2006; NILSSON; NORDAHL, 1995b; PEGELS; WATROUS, 2005; PETRONI; BEVILACQUA, 2002; SIVASUBRAMANIAN et al., 2003).

Shingo (2000) desenvolveu uma técnica chamada SMED – *Single Minute Exchange of Die* que busca reduzir ao máximo o tempo utilizado para as mudanças necessárias nos equipamentos, quando uma mudança de modelo produzido é requisitada.

São recomendados cinco estágios:

- Estágio preliminar – são coletados a duração anterior da mudança de modelo, o detalhamento de cada atividade e vídeos que facilitam o trabalho de análise;
- Estágio 1 – São identificadas as Atividades Internas, aquelas que obrigam o equipamento a estar parado para que possam ocorrer, e as Atividades Externas, aquelas que permitem que o equipamento opere enquanto são realizadas. Neste estágio também é observada a disponibilidade dos recursos necessários à mudança como, por exemplo, empilhadeiras, a proximidade dos moldes, o acesso às ferramentas manuais necessárias, entre outros;
- Estágio 2 – buscar transformar o maior número possível de Atividades Internas em Externas, buscando formas para que isto seja possível;
- Estágio 3 – redução ao máximo do tempo das Atividades Internas e, se possível, das Externas também;
- Estágio 4 – documentação da sequência e detalhamento das atividades de mudança de modelo.

Outra forma de preparação das máquinas são os testes de acompanhamento do processo que devem ser feitos periodicamente para assegurar que o processo de fabricação esteja operando da forma adequada. Isto ocorre mesmo que não aconteça mudança do modelo fabricado. A técnica SMED também pode auxiliar nestes casos.

A aplicação destas técnicas deve privilegiar as Restrições do sistema de fabricação (ANTUNES; RODRIGUES, 1993; BOYD; GUPTA, 2004).

Segundo expõe Sugai et al. (2007) a sequência de troca de modelos pode ser escolhida de forma a que os tempos de troca sejam minimizados. Isto acontece quando a sequência de trocas obedece a uma ordem de semelhança, e assim um menor número de alterações será necessário. É claro que esta sequência não pode afetar as datas de entrega do

produto ou serviço ao cliente. Se o período consumido pelas trocas de modelos for minimizado haverá mais tempo disponível para produção e a quantidade de produtos produzidos num intervalo de tempo será aumentada.

A melhor forma de reduzir o tempo de troca de modelo é eliminá-lo. Esta eliminação geralmente é possível quando da concepção de projeto tanto do produto ou serviço como do equipamento que será utilizado na fabricação. Outra forma de obter o tempo de troca de modelo igual a zero é a automatização da troca de modelo. Esta automatização é uma solução a ser explorada quando seu custo não é proibitivo (FLOGLIATTO; FAGUNDES, 2003).

### T13– Redução do Tempo de Ciclo da Restrição

Como será mostrado, são vários os tipos de iniciativas possíveis para a redução do tempo de duração do ciclo da operação Gargalo. A possibilidade de aumento da capacidade de produção através da redução do ciclo da operação Gargalo é imediata e citada por todos os autores que serão citados nesta técnica.

O uso de fluxogramas de processo auxilia na compreensão das etapas que compõem o ciclo da operação Gargalo e dos inter-relacionamentos entre as mesmas. Desta forma auxilia na detecção de oportunidades de redução. Exemplos deste tipo de recurso visual para análise do ciclo são apresentados por Lee-Mortimer (2006), Helo (2004) e Corrêa e Corrêa (2006).

Segundo Corrêa e Corrêa (2006), o Gráfico de Gantt também tem sido usado para o controle de fabricação. Na Figura 2.22 é mostrado um gráfico de Gantt que ajuda a identificar as oportunidades de melhoria do ciclo da Restrição como, por exemplo, as atividades mais longas, as que poderiam ocorrer em paralelo, esperas desnecessárias, entre outras.

O gráfico apresentado por Lee-Mortimer (2006) tem algumas características diferentes do apresentado na Figura 2.22. O Gráfico apresentado por ele é mostrado na Figura 2.23.

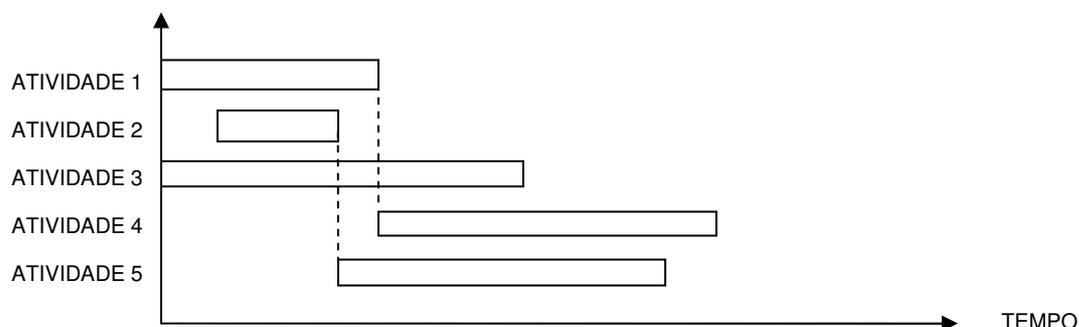


Figura 2.22 – Gráfico da disposição das operações do processo de fabricação

Fonte: Adaptado de Corrêa e Corrêa, 2006 e Helo (2004)

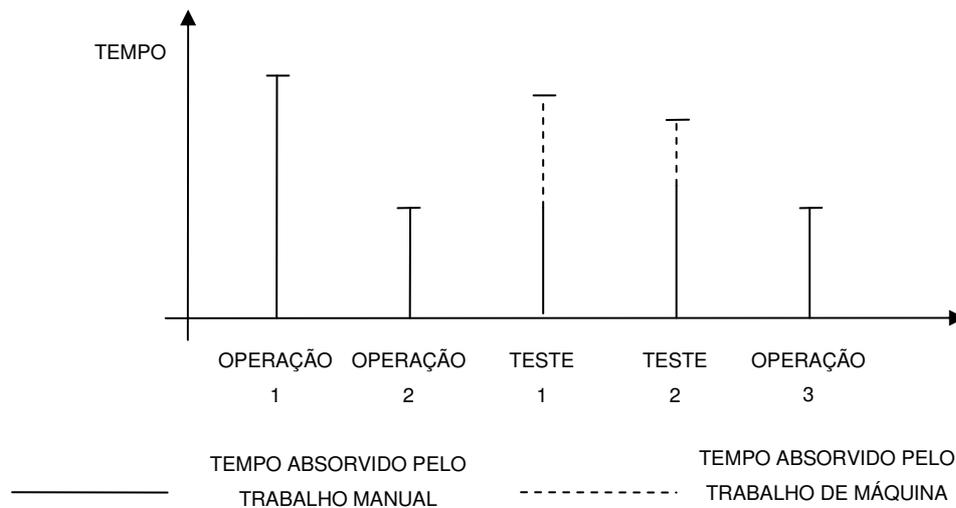


Figura 2.23 – Ciclo de operação das etapas de um processo

Fonte: Adaptado de Lee-Mortimer (2006).

O Grupo que fará uso deste tipo de recurso deverá escolher qual dos dois tipos de gráfico atende mais adequadamente a situação analisada.

Serão apresentadas algumas possibilidades de melhoria de ciclo encontradas. Elas serão apresentadas na sequência de “A” a “E”. Cada uma delas deve ser explorada quanto à sua viabilidade podendo mais do que uma ser utilizada simultaneamente ou de forma sequencial.

#### A- Eliminação da Duplicidade

Esta técnica é colocada em prática através da retirada de atividades idênticas, que acontecem em estágios diferentes na sequência de processo (HARRINGTON, 1993).

Uma interessante aplicação desta técnica é apresentada por Lee-Mortimer (2006) na qual duas operações sequenciais de teste, realizadas em dois berços na mesma bancada, foram unificados em um único berço e desta forma a duplicidade, da operação de carregar e descarregar a peça do ponto de teste, foi eliminada.

Algumas vezes esta duplicidade tem origem na falta de confiança no processo em questão, e desta forma, antes da eliminação é necessário o restabelecimento da confiança no processo. Outras vezes a duplicidade foi originada no desenvolvimento do equipamento, quando a demanda exigida não impunha uma racionalização do ciclo. Desta forma não foi

dada a devida atenção a este tipo de ocorrência. No ambiente competitivo não é recomendado que este tipo de ocorrência seja negligenciado (HARRINGTON, 1993).

#### B- Eliminação da Burocracia / Simplificação da atividade Gargalo

A Eliminação da burocracia visa a retirada de rotinas administrativas, aprovações e preenchimento de documentos desnecessários que fazem com que a operação Gargalo fique paralisada (HARRINGTON, 1993).

Gunasekaran et al. (2000) citam a simplificação como uma fonte possível de redução de ciclo.

Com relação à simplificação, é observado que a cada dia os critérios exigidos das atividades são mais severos. Isto leva a que constantemente sejam modificadas as atividades para que elas se adaptem aos novos critérios. Na medida em que novas exigências são acrescentadas às atividades, estas vão se tornando mais complexas.

A simplificação significa reduzir a complexidade sempre que possível. Ela leva a menos fases na atividade e menos interdependências. Pode ser entendida como a redução da complexidade de uma atividade nova ou uma reorganização de uma atividade que já foi muito modificada (HARRINGTON, 1993).

Algumas técnicas descritas por Harrington (1993) são: combinação de tarefas, eliminação de redundâncias, combinação de atividades semelhantes e redução do manuseio.

#### C – Utilização das técnicas de Redução do Tempo de Troca de Modelo para a redução do Ciclo de máquina

Corrêa e Corrêa (2006) dizem que a metodologia SMED utilizada para redução do intervalo de duração da troca de modelo pode também ser utilizada para redução do ciclo de uma atividade.

Rodrigues (2006) soma às formas descritas na técnica T12 as indicadas:

- Eliminar ajustes– sistemas de batentes e outros, que introduzam robustez ao sistema de posicionamento das partes, sem a necessidade de ajustes (RODRIGUES, 2006). Conforme citam Fogliatto e Fagundes (2003) o ajuste é uma operação desnecessária, que não agrega valor, e deve-se sempre buscar

sua eliminação. Os ajustes consomem de 50% a 70% do tempo total de troca de modelo (RODRIGUES, 2006).

- Usar gabaritos intermediários – este procedimento diminui o tempo de centralização e posicionamento das partes nas atividades internas. Enquanto uma está sendo utilizada a outra está sendo preparada para a reposição imediata (RODRIGUES, 2006). Nachiappan e Anantharaman (2006) e Ahuja e Khamba (2008) citam os ajustes na correta posição de componentes como fonte de perda de rendimento do Gargalo.
- Realizar operações paralelas – esta iniciativa viabiliza a economia de movimentos (GUNASEKARAN et al., 2000; HARRINGTON, 1993; RODRIGUES, 2006).  
Harrington (1993) indica que com a transformação de atividades em série para atividades em paralelo o ganho pode chegar a 80%.
- Usar dispositivos de aperto funcionais – são sistemas criativos que buscam soluções que tenham o maior conteúdo possível de agregação de valor na necessidade buscada pelo sistema (RODRIGUES, 2006). Sivasubramanian et al. (2003) indicam que ferramentas de apoio melhores podem reduzir o ciclo da operação Gargalo.
- Transformar atividades Internas em Externas – Desta forma estas atividades, que passaram a ser externas ao ciclo não mais impactarão o ciclo total da operação Gargalo (HARRINGTON, 1993; SHINGO, 2000).

#### D- Mudança da sequência das operações realizadas pelo Gargalo

A possibilidade de ganho no ciclo total devido à mudança da sequência das atividades que compõem o ciclo total deve ser explorada. Esta possibilidade para o aumento da capacidade de produção é citada por Gunasekaran et al.(2000) e Harrington (1993).

## E – Melhor Aproveitamento do ciclo

Alguns processos trabalham com um determinado número de peças de cada vez. O aumento da capacidade de produção nesta técnica advém do aumento da quantidade de peças processadas a cada ciclo (ANTUNES et al., 2008).

Antunes et al.(2008) citam o exemplo da quantidade de peças dentro de um forno ou esteira de pintura, otimizando o espaço interno disponível no Gargalo.

As iniciativas que fazem uso desta técnica estão ligadas ao melhor uso do espaço interno no qual é realizado o processo ou do número de peças processadas ao mesmo tempo.

A elevação da restrição através da melhoria dos tempos de processamento por unidade tem um potencial bastante forte, uma vez que a redução alcançada acontecerá a cada ciclo de fabricação durante todo o tempo no qual a máquina operará.

Tomando como base as citações encontradas na literatura das técnicas de aumento de capacidade de um equipamento apresentadas no Capítulo 2, foi estabelecida uma lista de técnicas de aumento de capacidade de um equipamento.

Na Tabela 2.2 é apresentada esta tabela das técnicas e as referências bibliográficas nas quais são encontradas citações do impacto das mesmas sobre a capacidade de produção de um equipamento.

Na Tabela 2.2 as técnicas estão apresentadas numa sequência que vai do T1 à T13. Na coluna seguinte é apresentada a descrição da técnica e na próxima coluna são apresentadas as referências onde cada uma das técnicas foi encontrada.

Os principais bancos de dados de onde foram prospectadas as referências deste trabalho foram os sites [www.emeraldinsight.com](http://www.emeraldinsight.com), [www.scielo.br](http://www.scielo.br), [www.capes.gov.br](http://www.capes.gov.br), biblioteca da Escola de Engenharia de São Carlos - USP e a biblioteca da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP.

Tabela 2.2- Lista das técnicas e referências bibliográficas

NUMERAÇÃO	DESCRIÇÃO DA TÉCNICA	REFERÊNCIAS NAS QUAIS ESTA TÉCNICA É CITADA
T1	Mudança de ruptura às condições atuais	(CAPUTO; PELAGAGGE, 2003) (HARRINGTON, 1993)
T2	Automação e/ou Mecanização	(BOYLE; SCHERRER, 2009) (MORTIMER, 2007) (INGEMANSSON; BOLMSJO, 2004) (CAPUTO; PELAGAGGE, 2003) (PETRONI; BEVILACQUA, 2002)(HARRINGTON, 1993)
T3	Avaliação do Valor Agregado	(GUNASEKARAN et al., 2000)(TAJ; BERRO, 2006)(LEE-MORTIMER, 2006)(CAPUTO; PELAGAGGE, 2003)(HARRINGTON, 1993)
T4	Compra da Atividade do Gargalo de Terceiros	(REID, 2007)(EHIE; SHEU, 2005)(JACK; RATURI, 2002)(OLHAGER; WEST, 2002)(MOTWANI; VOGELSANG, 1996)(ANTUNES, 1998)(ANTUNES et al., 2008)
T5	Compra de mais Equipamentos	(REID, 2007)(JACK; RATURI, 2002)(EHIE; SHEU, 2005)(COUSENS et al, 2009)(SARMIENTO et al., 2007)(INGEMANSSON et al., 2005)(COLLINS; SCHMENNER, 2007)(OLHAGER; WEST, 2002)(CAPUTO; PELAGAGGE, 2003)(CAPUTO; PELAGAGGE, 2003)(MOTWANI; VOGELSANG, 1996)(PETRONI; BEVILACQUA, 2002)(NISSON; NORDAHL, 1995a)(NISSON; NORDAHL, 1995b)(ANTUNES, 1998)(ANTUNES et al., 2008)(CHASE et al., 2006)(DAVIS et al., 2001)
T6	Eliminação de períodos de tempo morto no Gargalo	(NACHIAPPAN; ANANTHARAMAN, 2006)(GUNASEKARAN et al., 2000)(INMAN et al., 2009)(LEE-MORTIMER, 2006)(AHUJA; KHAMBA, 2008)(BRAGLIA et al., 2009)(ANTUNES et al., 2008)
T7	Estoques protegendo o gargalo	(BOYLE; SCHERRER, 2009)(BOYD; GUPTA, 2008)(BOYD; GUPTA, 2004)(SIVASUBRAMANIAN et al, 2003)(INGEMANSSON et al., 2005)(INGEMANSSON; BOLMSJO, 2004)(PETRONI; BEVILACQUA, 2002)(GUNN; NAHAVANDI, 2000) (BERNARDI, 2005)(ANTUNES, 1998) (BRAGLIA et al., 2009)
T8	Fabricação de parte ou totalidade da operação Gargalo em outro equipamento da empresa	(BOYLE, 2006)(COUSENS et al, 2009)(SARMIENTO et al., 2007)(INGEMANSSON; BOLMSJO, 2004)(OLHAGER; WEST, 2002)(PETRONI; BEVILACQUA, 2002)(ANTUNES, 1998)
T9	Melhoria da Qualidade que afeta a produção do Gargalo	(BOYLE; SCHERRER, 2009) (NACHIAPPAN; ANANTHARAMAN, 2006)(BOYD; GUPTA, 2008)(GUNASEKARAN et al., 2000)(BOYLE, 2006)(AHUJA; KHAMBA, 2008)(SARMIENTO et al., 2007)(FERNANDES et al., 2009)(COLLINS; SCHMENNER, 2007)(OLHAGER; WEST, 2002)(HALES et al., 2006)(BRAGLIA et al., 2009)(CAPUTO; PELAGAGGE, 2003)(LJUNGBERG, 1998)(ANTUNES, 1998)(ANTUNES et al., 2008)
T10	Melhoria na Manutenção do Equipamento Gargalo	(BOYLE; SCHERRER, 2009) (NACHIAPPAN; ANANTHARAMAN, 2006)(GUNASEKARAN et al., 2000)(AHUJA; KHAMBA, 2008)(INGEMANSSON; BOLMSJO, 2004)(GRUNBERG, 2003)(BRAGLIA et al., 2009)(MOTWANI; VOGELSANG, 1996)(LJUNGBERG, 1998)(ANTUNES et al., 2008)(CORRÉA; CORRÉA, 2006)
T11	Melhoria no Sistema de Alimentação do Gargalo	(BRAGLIA et al., 2009)(ANTUNES, 1998)(ANTUNES et al., 2008)
T12	Redução da duração da troca de modelo no Gargalo	(BOYLE; SCHERRER, 2009)(NACHIAPPAN; ANANTHARAMAN, 2006)(GUNASEKARAN et al., 2000)(PEGELS; WATROUS, 2005)(BOYD; GUPTA, 2004)(SIVASUBRAMANIAN et al, 2003)(INMAN et al., 2009)(LEE-MORTIMER, 2006)(EHIE; SHEU, 2005)(BOYLE, 2006)(AHUJA; KHAMBA, 2008)(JACK; RATURI, 2002)(COUSENS et al, 2009)(INGEMANSSON; BOLMSJO, 2004)(COLLINS; SCHMENNER, 2007)(CAGLIANO; SPINA, 2002)(BRAGLIA et al., 2009)(MOTWANI; VOGELSANG, 1996)(LJUNGBERG, 1998)(PETRONI; BEVILACQUA, 2002)(NISSON; NORDAHL, 1995b)
T13	Redução do Tempo de Ciclo da Restrição	(BOYLE; SCHERRER, 2009)(NACHIAPPAN; ANANTHARAMAN, 2006)(GUNASEKARAN et al., 2000)(TAJ; BERRO, 2006)(BOYD; GUPTA, 2004)(INMAN et al., 2009)(SARMIENTO et al., 2007)(INGEMANSSON et al., 2005)(FERNANDES et al., 2009)(COLLINS; SCHMENNER, 2007)(MAHR, 2000)(BRAGLIA et al., 2009)(CAPUTO; PELAGAGGE, 2003)(LJUNGBERG, 1998)(LEE-MORTIMER, 2006)(HARRINGTON, 1993)(ANTUNES, 1998)(ANTUNES et al., 2008)(AHUJA; KHAMBA, 2008)(SIVASUBRAMANIAN et al, 2003)

A lista da Tabela 2.2 será utilizada no Método Proposto como um guia sequencial da análise da viabilidade de cada técnica. Funcionará como um *Check list*.

### 3 Desenvolvimento do Método Proposto

Neste capítulo serão apresentados os passos que compõem o método de aumento de capacidade, o Método Proposto. Este será utilizado para a busca da solução de problemas nos quais a capacidade produtiva de um equipamento não é suficiente para atender a demanda total do cliente. Este método também poderá ser aplicado em situações nas quais não existe propriamente um Gargalo e sim um Gargalo Induzido. Esta situação ocorre quando a produção é desafiada a operar de forma a reduzir os seus custos trazendo como efeito colateral o surgimento de um Gargalo que antes não existia.

Inicialmente será apresentada uma sequência lógica para a identificação da necessidade de uso do Método Proposto. Esta sequência utiliza as ferramentas Mapa de Fluxo de Valor, Gráficos dos ciclos dos equipamentos e dos operadores e Processo de Focalização de Cinco Etapas.

#### 3.1 Identificação da necessidade da utilização do Método Proposto

A necessidade de aumento de capacidade produtiva de um ou mais equipamentos deve ser identificada para que, em consequência disso, o Método Proposto de aumento de capacidade produtiva seja utilizado. A identificação da insuficiência de capacidade produtiva de um ou mais equipamentos será realizada através da sequência mostrada na Figura 3.2. A explicação de cada uma das ações que compõe esta sequência será dada em seguida.

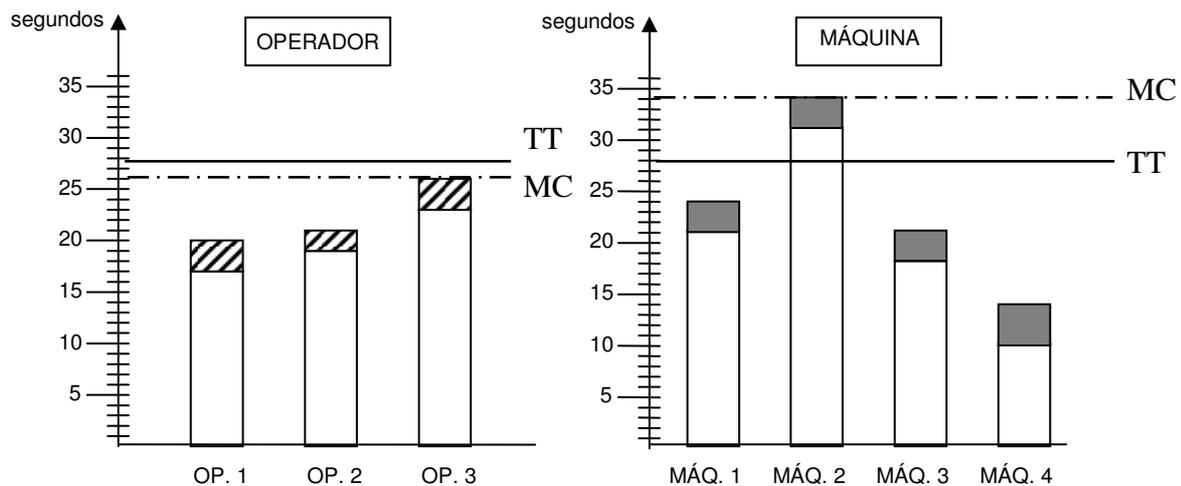
A primeira etapa da Sequência Lógica de Identificação da Insuficiência de Capacidade Produtiva é a análise da situação através do Mapa de Estado Atual. Esta análise poderá mostrar uma insuficiência ou não de capacidade produtiva do sistema para o atendimento da demanda total do cliente.

Esta insuficiência de capacidade poderá ser detectada através da comparação entre o *Takt time* necessário ao atendimento dos clientes e os ciclos efetivos das operações identificadas no Mapa de Estado Atual. Caso alguma operação descrita pelo Mapa de Estado Atual apresente ciclo efetivo maior que o *Takt time*, a insuficiência de capacidade é detectada e esta insuficiência deve gerar um item no Plano Anual do Fluxo de Valor.

Caso não apresente a insuficiência, deve ser preparado o Mapa de Estado Futuro e verificada se a insuficiência ocorre neste. Caso ocorra a insuficiência no Mapa de Estado Futuro, esta necessidade de melhoria deve ser indicada no Plano Anual do Fluxo de Valor.

Se a insuficiência não ocorre também no Mapa de Estado Futuro o Método Proposto de aumento de capacidade não é aplicável.

Caso a necessidade de aumento de capacidade apareça no Plano Anual do Fluxo de Valor, os Gráficos dos ciclos dos equipamentos e dos operadores, mostrado na Figura 3.1, deve ser confeccionado para identificar se a insuficiência é relativa à mão de obra ou aos equipamentos.



#### LEGENDA

-  - Tempo utilizado pelo operador caminhando em cada ciclo de produção de um produto e/ou tempo de espera do mesmo frente ao equipamento.
-  - Tempo de carga e descarga do equipamento, com o mesmo parado.

Figura 3.1 – Gráficos dos ciclos dos equipamentos e dos operadores

Fonte: Adaptado de Perin (2005) e de Lee-Mortimer (2006) e de Alvarez e Antunes (2001)

É importante ressaltar que os ciclos dos equipamentos, inseridos no gráfico, são os Ciclos Efetivos dos mesmos. Quanto aos ciclos dos operadores, estes não devem ser corrigidos. Esta é uma adaptação desta análise para o método, pois nas referências tanto de Perin (2005) como de Lee-Mortimer (2006) os ciclos plotados nos gráficos são os ciclos medidos e não os ciclos efetivos.

Como já foi indicado, o Gargalo acontece onde o ciclo desenhado em um dos gráficos estiver acima da linha de *Takt time*.

Somente se o Gargalo estiver localizado no gráfico dos equipamentos, sendo o Gargalo um equipamento, é que a verificação da aplicação do Método Proposto deve prosseguir. Caso contrário o Método Proposto não se aplica.

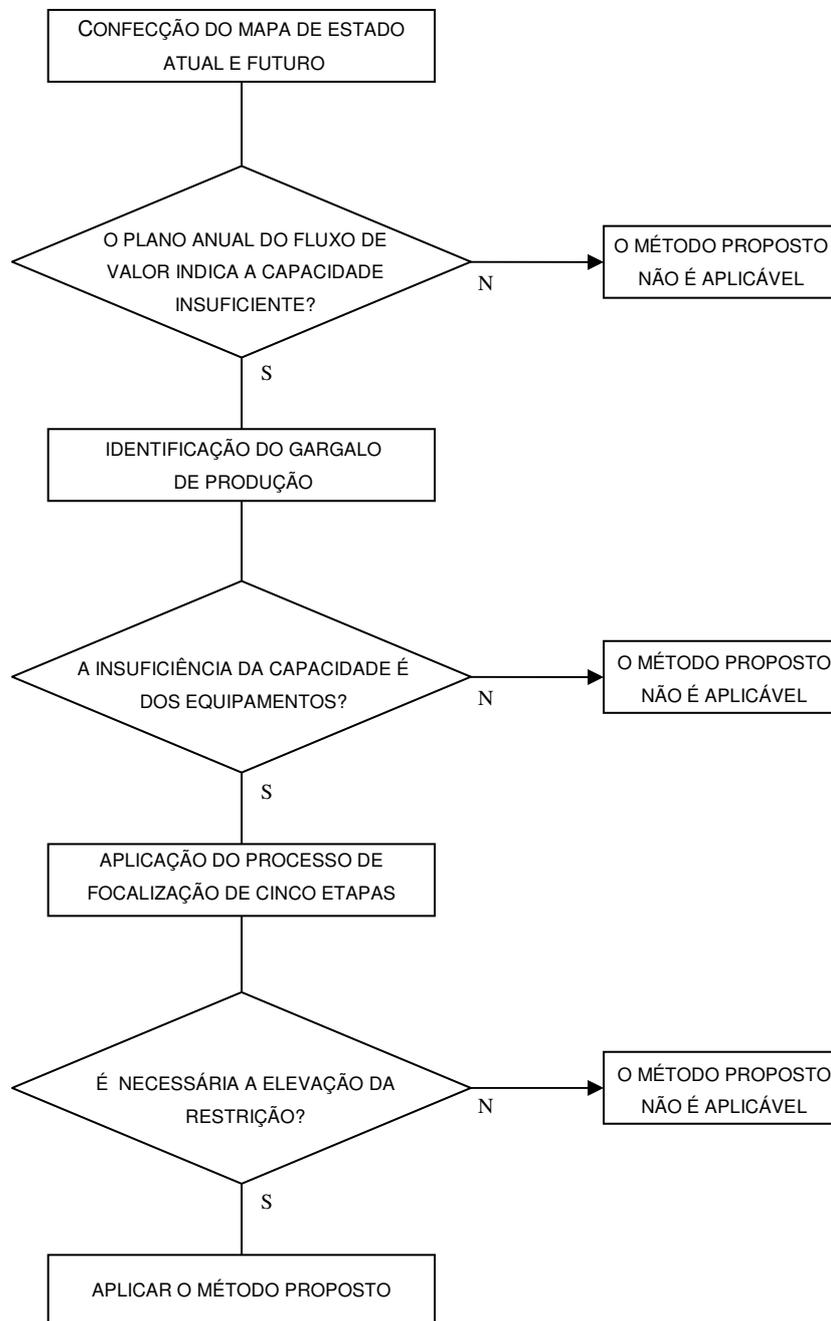


Figura 3.2 – Fluxo para identificar aplicabilidade do Método Proposto

Fonte: Baseado em figura de Alvarez e Antunes (2001)

Os equipamentos, cuja capacidade líquida não seja suficiente para atender a demanda do cliente, deverão ser tratados através do Processo de Focalização de Cinco Etapas. A primeira Etapa do Processo de Focalização de Cinco Etapas é a identificação da Restrição

que já foi realizada nos passos anteriores. A Restrição neste caso é o Gargalo. As duas próximas etapas do Processo de Focalização de Cinco Etapas, a de exploração do Gargalo e a de subordinação de todo o restante do sistema à máxima produção do Gargalo, devem ser colocadas em prática. Caso nenhuma das duas etapas citadas solucione a insuficiência de capacidade produtiva do Gargalo então o Método Proposto tem seu emprego indicado. Na Figura 3.3 é mostrado um fluxo que descreve o Processo de Focalização em Cinco Etapas e destaca no quadro escurecido o uso do Método Proposto. Pode ser observado que somente após as etapas de exploração e subordinação do Processo de Focalização de Cinco Etapas não terem resolvido a insuficiência de capacidade de produção é que o Método Proposto é colocado em prática.

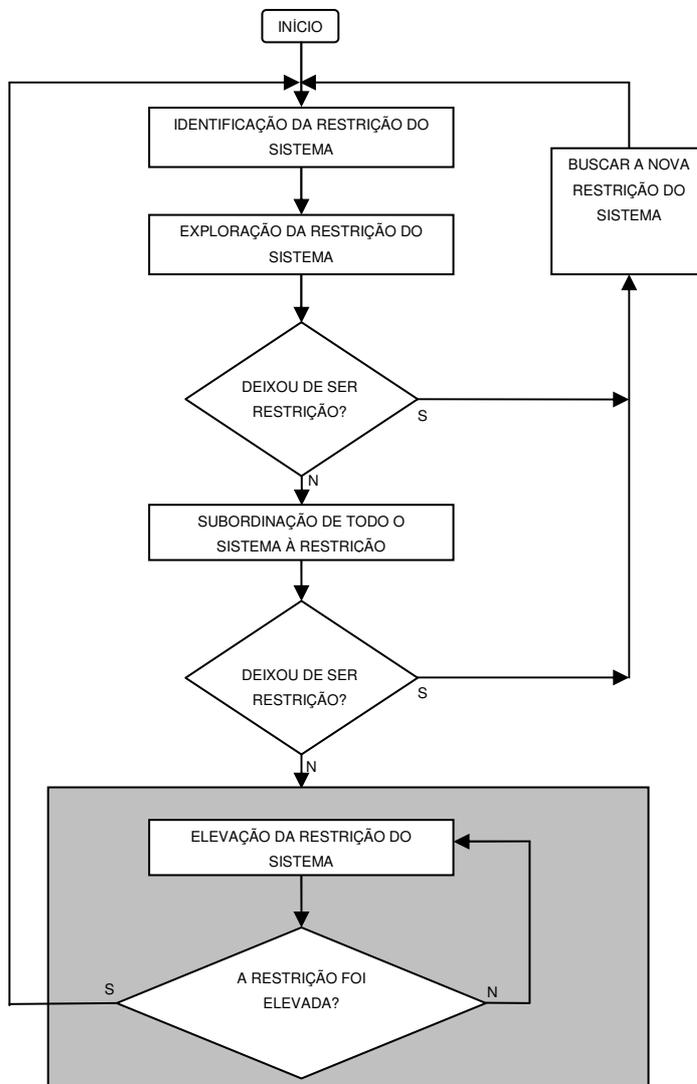


Figura 3.3 – Processo de Focalização em Cinco Etapas

Fonte: Baseado em Goldratt <sup>11</sup>(1990 apud REID, 2007)

<sup>11</sup> GOLDRATT, E.M. ( 1990). Theory of Constraints. North River Press, Cróton-on-Hudson, NY.

O Método Proposto é o detalhamento da etapa de elevação da Restrição quando esta elevação se faz necessária em um ou mais equipamentos de uma linha de montagem.

### 3.2 Método Proposto

Uma vez identificada a necessidade de aumento da capacidade de produção de um ou mais equipamentos o Método Proposto de aumento de capacidade de produção poderá ser utilizado.

O fluxograma do Método Proposto, destacando cada um dos cinco passos, é apresentado na Figura 3.4.

Serão explicados cada um dos passos do Método Proposto.

- **PASSO 1 – Identificação da necessidade de aumento da capacidade de produção de um equipamento-** Esta atividade abre a utilização do Método Proposto. Ela geralmente virá de outra análise, como por exemplo, a necessidade levantada na identificação da necessidade de utilização do Método Proposto. É necessário identificar quais são os equipamentos que necessitam ter sua capacidade de produção aumentada. Para esta identificação deve ser comparado o ciclo de produção do equipamento e sua eficiência de operação contra o *Takt time* necessário ao atendimento do cliente. Esta comparação é feita com a ajuda de uma tabela. Um exemplo de desta tabela preenchida é mostrado na Tabela 3.1.

Na primeira coluna é apresentada a descrição do equipamento. Na segunda, seu ciclo de operação. Quando o equipamento fabrica produtos com diferentes ciclos de operação, o ciclo médio deve ser utilizado. O ciclo médio deve ser calculado como a média ponderada dos ciclos. A ponderação para esta média ponderada deve ser o volume de produção de cada um dos diferentes produtos fabricados.

A terceira coluna trata da eficiência do equipamento, e na quarta tem-se seu Ciclo Efetivo, que é o resultado da divisão do ciclo pela eficiência do equipamento.

Os equipamentos que apresentarem a quarta coluna da tabela superior ao *Takt time* são os equipamentos que não possuem capacidade de produção suficiente para o atendimento do cliente.

- **PASSO 2 – Quantificar o aumento necessário –** Deste passo em diante, cada equipamento, que deve ter sua capacidade de produção aumentada, deve ser analisado separadamente.

O Ciclo Efetivo do equipamento deve ser menor ou no máximo igual ao Takt time para que a demanda do cliente possa ser atendida. Esta afirmação está expressa através do Equação 3.1.

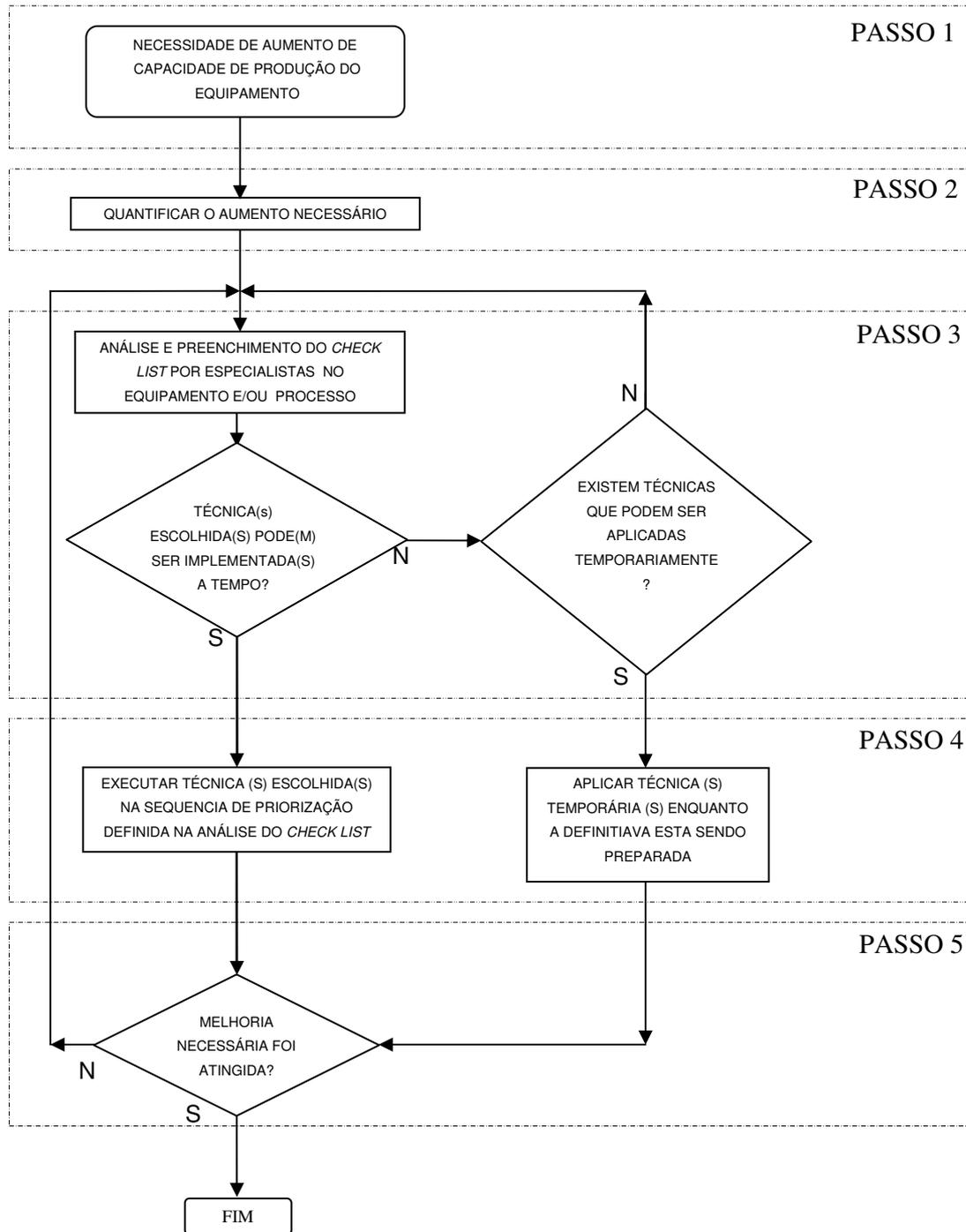


Figura 3.4 – Fluxograma do Método Proposto

$$\text{Ciclo Efetivo} \leq \text{Takt time} \quad (3.1)$$

Existem duas formas pelas quais o ciclo efetivo pode ser reduzido e, por conseguinte a capacidade de produção aumentada. A primeira é a redução do ciclo de operação do equipamento e a segunda é o aumento da eficiência geral do equipamento. Também pode ocorrer que a diminuição do ciclo efetivo aconteça através de uma combinação das duas possibilidades descritas.

Para que sirva de referência para o grupo que irá analisar as técnicas de redução de ciclo efetivo será calculado o ciclo de operação máximo que deve ser alcançado, que mantendo a eficiência atual irá gerar o ciclo efetivo necessário.

O ciclo máximo como mostrado na Equação 3.2.

$$\text{Ciclo máximo} = \text{Takt time} * \text{Eficiência do equipamento} \quad (3.2)$$

Tabela 3.1 – Tabela de ciclos dos equipamentos

EQUIPAMENTO	CICLO DO EQUIPAMENTO (s)	EFICIÊNCIA DO SEGMENTO (%)	CICLO EFETIVO DO EQUIPAMENTO (s)
INJETORA 180	24,0	93	25,8
INJETORA 50	8,0	95	8,4
INJETORA 160	39,1	90	43,4

E a redução de ciclo mínima que deve ocorrer no ciclo de operação do equipamento é o resultado da Equação 3.3.

$$\text{Redução de ciclo mínima} = \text{Ciclo atual do equipamento} - \text{Ciclo máximo} \quad (3.3)$$

O cálculo da magnitude da redução mínima que deve ocorrer no ciclo do equipamento será importante como balizadora da análise que ocorrerá no PASSO 3.

- PASSO 3 : Análise e preenchimento da Planilha de Priorização por especialistas no equipamento e/ou processo.

Neste passo um grupo composto pelas pessoas que mais conhecem o funcionamento do equipamento e/ou o respectivo processo deve ser reunido. Este grupo será chamado de Grupo de Análise. Nesta reunião, o Grupo de Análise deve analisar cada uma das técnicas apresentadas na Tabela 2.2 e preencher o formulário mostrado no Apêndice D com cada uma das iniciativas levantadas pelo grupo. Esta planilha, que é preenchida pelo Grupo de Análise, é chamada de Planilha de Priorização.

Na Tabela 3.2 é apresentado um exemplo da Planilha de Priorização já preenchida para que seja possível a explicação da função de cada um dos campos que a compõe. A Planilha de Priorização foi criada tendo como base a Lista de técnicas da Tabela 2.2.

Tabela 3.2 – Planilha de Priorização preenchida

Tipo de iniciativa	Descrição da Iniciativa	É aplicável ?	Tempo para viabilização	Investimento Necessário	Dificuldade Técnica	Estimativa do Impacto	Ordem de execução
T4	Compra da peça injetada da unidade de Portugal.	sim	baixo	baixo	baixa	alto	1
T2	Utilização de nova técnica de injeção que permite reduzir a temperatura e o tempo de resfriamento.	sim	médio	baixo	média	alto	2
T8	---	não	---	---	---	----	----
T13	Redução do curso de abertura do molde de injeção.	sim	baixo	baixo	baixa	médio	1
T13	Aumento de velocidade no fechamento do molde de injeção.	sim	baixo	baixo	baixa	médio	1

A Planilha de Priorização é composta de oito colunas de “a” a “h”. Cada linha apresenta as informações sobre uma iniciativa diferente.

O conteúdo de cada coluna é:

- Coluna (a) – Técnica explorada. Apresenta o número sequencial da técnica analisada;
- Coluna (b) – Descrição da iniciativa. Deverá ser sucinta;
- Coluna (c) – Todas as técnicas devem ser analisadas e as que forem aplicáveis recebem “sim” nesta coluna, caso contrário recebem “não”;

- Coluna (d) – Tempo para viabilização. Deve ser uma avaliação do intervalo de tempo que será necessário para colocar em prática a iniciativa. São utilizados os níveis alto, médio e baixo;
- Coluna (e) – Investimento necessário – Deve avaliar o capital necessário à colocação em prática da iniciativa. Também serão utilizados os níveis alto, médio e baixo;
- Coluna (f) - Dificuldade técnica – Indica a avaliação da dificuldade técnica envolvida no desenvolvimento da iniciativa. São utilizados os níveis: alta, média e baixa;
- Coluna (g) – Estimativa do impacto – é uma avaliação do impacto que a iniciativa terá sobre a capacidade de produção do equipamento tratado. Ou melhor, o impacto sobre o Ciclo Efetivo do equipamento. São utilizados os níveis alto, médio e baixo;
- Coluna (h) – Ordem de execução – indica a ordem de implementação das iniciativas até que o propósito de aumento de capacidade de produção seja alcançado.

O Grupo de Análise deverá se reunir na frequência e duração de reunião que sejam necessários para o preenchimento da Planilha de Prioridade. Devem ser analisadas e discriminadas segundo a necessidade de investimento, dificuldade/viabilidade técnica e tempo de resposta.

Cada linha preenchida traz um iniciativa.

Caso uma técnica tenha mais de uma possibilidade, cada uma das possibilidades deve ser analisada como um item independente. Cada uma das possibilidades deve ser alocada em uma linha, sendo então uma iniciativa diferente.

Os impactos de investimento, dificuldade técnica e tempo de resposta não são características intrínsecas de cada técnica. Uma mesma técnica de elevação do Gargalo pode apresentar impactos totalmente diferentes para tipos diferentes de indústria. Por exemplo, a técnica de compra de novos maquinários tem impacto de investimento totalmente diferente se imaginadas empresas que operam com equipamentos de alto e baixo custo respectivamente.

A prioridade deverá ser dada às iniciativas de menor investimento, mais rápido tempo de resposta e menor dificuldade técnica.

Os níveis Alto, Médio e Baixo utilizados nas classificações de investimento, dificuldade técnica e estimativa de impacto são classificações relativas entre as iniciativas analisadas. Desta forma não apresentam indicações dos valores absolutos e não obedecem a uma escala de valores para cada uma dos níveis e tipos de classificação.

Nada impede, e em alguns casos será necessário, que mais do que uma iniciativa seja colocada em prática simultaneamente. Isto pode ser necessário dependendo da magnitude do aumento de capacidade de produção necessária e da urgência da resposta à situação de não atendimento do cliente.

Realizado o preenchimento da Planilha de Priorização o Grupo de Análise deve verificar se as iniciativas escolhidas gerarão os resultados no prazo necessário. Caso o prazo seja atendido deve-se passar para o PASSO 4 e iniciar a execução das ações necessárias à operacionalização das iniciativas escolhidas.

Caso o prazo não seja atendido o Grupo de Análise deverá buscar iniciativas que possam ser utilizadas temporariamente até que as iniciativas definitivas possam estar implementadas. A execução das iniciativas definitivas deverá ocorrer simultaneamente à execução e à utilização das iniciativas temporárias.

A necessidade do Método Proposto de englobar a utilização de iniciativas temporárias foi detectado e somado ao método durante a aplicação na linha de montagem. Isto devido à necessidade de criação de alternativa quando as iniciativas escolhidas não cumpriam o prazo necessário.

O que diferencia uma iniciativa temporária de uma definitiva é que a temporária traz efeitos colaterais prejudiciais, que se deseja abandonar assim que as iniciativas definitivas forem colocadas em prática. Estes efeitos colaterais podem ser desgaste acelerado devido ao trabalho do equipamento em condições de sobrecarga, aumento do nível de retrabalho ou rejeição da operação, custo de produção alto, custo de manutenção alto, entre outros motivos.

- PASSO 4 – Execução das técnicas escolhidas.

Neste passo as técnicas escolhidas devem ser executadas. As iniciativas devem ser aplicadas seguindo a sequência definida na priorização estabelecida pelo Grupo de Análise na Tabela de Priorização. As técnicas definitivas e as técnicas temporárias devem ser executadas obedecendo aos prazos para que a demanda do cliente seja atendida.

- PASSO 5 – Verificação do atendimento ao aumento de capacidade de produção necessária.

Neste passo é realizada a verificação da eliminação da insuficiência de capacidade de produção do equipamento para o atendimento à demanda do cliente.

Para esta verificação deve-se coletar o novo ciclo do equipamento após a execução das iniciativas de aumento de capacidade de produção. Este ciclo deve ser corrigido pelo efeito da eficiência do equipamento, estabelecendo o ciclo efetivo do equipamento. Este é mostrado na Equação 3.4.

$$\text{Ciclo efetivo do equipamento} = \frac{\text{Novo ciclo do equipamento}}{\text{Eficiência do equipamento}} \quad (3.4)$$

O ciclo efetivo do equipamento deverá ser comparado com o *Takt time*. Caso este seja menor ou igual ao *Takt time* a demanda do cliente será atendida e o método se encerra para este equipamento. Caso seja maior que o *Takt time*, as técnicas de aumento de capacidade implementadas não foram suficientes para o atendimento à demanda do cliente e o Grupo de Análise deverá retornar ao PASSO 3 e buscar novas técnicas para serem colocadas em prática até que o PASSO 5 seja atendido.

A sequência de Passos descritos deve ser executada para todos os equipamentos que apresentam capacidade de produção insuficiente até que toda a linha de fabricação tenha a capacidade de produção adequada.

A cada aplicação do Método Proposto devem ser identificadas as técnicas de aumento da capacidade de produção que foram utilizadas. Caso alguma iniciativa utilizada não possa ser categorizada dentre as técnicas já existentes no método, uma técnica deve ser acrescentada ao método que descreva a concepção desta iniciativa. Desta forma o método tem a oportunidade de ser aprimorado através de sua utilização.

## 4 Aplicação do Método Proposto

Na aplicação do Método Proposto foi escolhida uma linha de montagem de uma empresa de autopeças. Esta linha de autopeças será apresentada, em linhas gerais, no subitem 4.1.

Nesta linha de montagem será verificada a ocorrência da situação que caracteriza a utilização do Método Proposto. Isto acontecerá no subitem 4.2. Após isto o Método Proposto será aplicado em cada uma das máquinas nas quais o aumento de capacidade de produção é necessário. A descrição dos detalhes de aplicação, em cada equipamento será apresentado no subitem 4.3

Para finalizar este capítulo serão apresentadas algumas considerações finais sobre a utilização do Método Proposto e a aplicação na linha de montagem no subitem 4.4.

### 4.1 Apresentação do objeto da aplicação do Método

O Método Proposto tem como foco a colocação em prática de uma série de técnicas de aumento da capacidade produtiva de um equipamento quando este apresenta insuficiência desta.

O Método Proposto será aplicado em uma empresa da Indústria de Autopeças.

A empresa, na qual será aplicado o Método Proposto, fabrica dezoito produtos finais diferentes, sendo todos sensores ou atuadores que participam do sistema de gerenciamento dos motores de combustão interna com injeção eletrônica.

A aplicação será feita na linha de montagem da bobina de ignição desta empresa. Esta linha é chamada de linha de montagem do DCP (*Dual Coil Pack*). A escolha desta linha de montagem foi motivada pelo fato de que este produto é o que é utilizado em um maior número de aplicações automotivas do principal cliente da empresa e assim sendo, o impacto de aumento de demanda do cliente é sentido mais fortemente nesta linha de montagem.

A bobina de Ignição é responsável pelo fornecimento da alta tensão necessária à geração da centelha nas velas do motor. Em essência este produto é um transformador que, partindo da tensão gerada pela bateria do carro de aproximadamente 12 volts, fornece uma tensão de aproximadamente 40.000 volts necessária à geração da centelha.

Para esta transformação de tensões este produto tem como componentes básicos dois enrolamentos primários, dois enrolamentos secundários, as conexões elétricas de entrada e saída dos sinais elétricos e o corpo injetado que condiciona todo o conjunto.

O índice de verticalização deste produto, na empresa estudada, é bastante grande. Prova disto é que a empresa executa em suas instalações a injeção de todos os itens plásticos e o enrolamento das bobinas primárias e secundárias.

Na Figura 4.1 é apresentado um Layout da célula de manufatura que será objeto da aplicação do Método Proposto.

Será dada uma breve descrição das operações realizadas em cada uma das máquinas. Inicialmente serão descritas as submontagens que se somam ao fluxo de fabricação principal e a partir da Máquina 10 serão descritos os processos do fluxo principal de fabricação.

Os processos executados pelas máquinas são:

- INJETORA 180 – é uma injetora horizontal de 250 toneladas de força de fechamento. Neste equipamento é injetada a Tampa do DCP. Após a injeção este item é fornecido para a operação de montagem da máquina 130. Esta injetora não fica junto ao DCP e sim no parque de injetoras no prédio ao lado. Por isso este equipamento aparece no layout na região superior.
- INJETORA 50 – é uma injetora horizontal de 50 toneladas de força de fechamento. Nesta injetora é produzido o Suporte Plástico que depois de injetado é fornecido para a Bancada de Montagem do Suporte. Assim como a injetora 180, esta também fica no parque de injetoras e sua localização é representada no layout numa posição deslocada na parte superior.
- INJETORA 160 – é uma injetora horizontal de 80 toneladas de força de fechamento. Esta injetora produz o Carretel Plástico ( *Spool* Plástico). Este item é enviado para a Máquina 10 e lá será montado num subconjunto e seguirá no fluxo principal de fabricação do produto.
- INJETORA 170 – é uma injetora vertical de 140 toneladas de força de fechamento. Esta injetora produz o compartimento dentro do qual todo o conjunto será montado. Este compartimento é chamado de *Case*. Na injeção

do *Case* são sobreinjetados os terminais elétricos, tanto os de entrada como os de saída.

- TAMBOREADORA – são equipamentos que vibram as peças juntamente com produtos abrasivos para que as rebarbas sejam retiradas dos componentes sinterizados comprados de outra empresa. Os componentes tamboreados são o Núcleo do Enrolamento Primário e o Suporte Metálico. Após o tamboreamento estes componentes são enviados respectivamente para a Máquina 60 e para a Bancada de Montagem do Suporte.
- BANCADA DE MONTAGEM DO SUPORTE – Nesta bancada é feita a montagem do subconjunto Suporte que é composto do Suporte Plástico injetado na Injetora 50 e o Suporte Metálico processado pela TAMBOREADORA. É uma montagem simples com apenas um cilindro pressionando um componente contra o outro.
- MÁQUINA 10 – Nesta máquina os dois terminais (comprados) são cortados e inseridos no Carretel Plástico (Injetora 160). Após a inserção os terminais têm sua ponta inserida dobrada.
- MÁQUINA 20 – Esta máquina produz, através do processo de conformação, um *looping* de 360 graus em cada um dos terminais.
- MÁQUINA 25 – Este equipamento é composto de uma escova com a qual as rebarbas geradas no processo de conformação da Máquina 20 são retiradas.
- MÁQUINA 30 – Esta máquina faz o enrolamento do fio de cobre sobre o Carretel Plástico já com os terminais. Ela processa seis carretéis de cada vez e para isto gira os carretéis a uma velocidade de aproximadamente 8000 rotações por minuto. O Número de voltas necessárias é de aproximadamente 9000. Além de enrolar o fio no carretel ela também enrola as duas extremidades do fio nos terminais.
- MÁQUINA 40 – Este equipamento solda por imersão as extremidades do fio enrolado nos terminais do Carretel Plástico e gira os terminais para que eles fiquem na posição correta após a solda.
- MÁQUINA 50 – Esta máquina verifica a resistência elétrica do conjunto de enrolamento secundário que foi montado até este momento. Este teste verifica, de forma indireta, se o número de voltas do fio, a espessura do fio utilizado, a

condição da solda nos terminais, a continuidade do fio e a condição do verniz de isolamento externo do fio estão todos adequados.

- MÁQUINA 60 – Este equipamento faz o enrolamento da Bobina do Primário. Para isto ele recebe o Núcleo do Primário da tamboreadora e enrola o fio de cobre sobre este núcleo. Após o enrolamento o operador deste equipamento faz a montagem do subconjunto formado pelos enrolamentos primário e secundário e fecha o conjunto com o suporte recebido da Bancada de Montagem do Suporte. Este equipamento processa dois primários por vez.
- MÁQUINA 70 – Neste equipamento dois conjuntos montados na Máquina 60 são inseridos dentro do *Case* com a introdução de uma peça chamada escudo entre o *Case* e cada um dos subconjuntos. Após o posicionamento manual, um cilindro realiza a força necessária à inserção. A máquina também verifica a continuidade dos circuitos elétricos.
- MÁQUINA 80 – Na operação realizada neste equipamento os fios do primário são enrolados nos terminais de entrada do sinal elétrico do *Case*. Também é realizada a solda dos fios nos respectivos terminais.
- MÁQUINA 90 – Nesta etapa o terminal do secundário é soldado por resistência ao terminal de conexão de saída do sinal elétrico do *Case* e a resistência elétrica do conjunto após a solda é verificada.
- FORNOS 101 a 107 – O conjunto montado até este estágio é colocado no forno por 96 minutos para a secagem interna. Esta secagem é necessária para que o silicone que será colocado dentro do *Case* não aprisione bolhas de ar ou de vapor de água. Esta secagem ocorre à temperatura controlada dentro do forno. Em cada forno cabem 48 *Cases*.
- MÁQUINA 110 – esta máquina é uma envazadora e seu papel é preencher os espaços internos do *Case* com silicone. A máquina mistura dois componentes que compõem o silicone e procede ao envaze da mistura dentro dos *Cases*. Esta máquina envaza quatro *Cases* por vez.
- FORNOS 101 a107 – Após a colocação do Silicone, os *Cases* voltam para o forno para a etapa de cura do silicone. Esta etapa dura 100 minutos e novamente em cada forno cabem 48 *Cases*. Esta cura tem que ocorrer no Forno pois precisa ser acelerada para que já exista a cura no momento do teste

final do produto. Para que seja acelerada, a cura deve ocorrer à temperatura controlada.

- MÁQUINA 130 – Esta máquina solda por vibração a Tampa (Injetora 180) que fecha o Case e agora a Bobina de ignição já está completa. Este equipamento processa uma bobina de cada vez.
- MÁQUINA 140- Este equipamento é um equipamento de teste final de certificação do produto. Ele verifica o comportamento e o funcionamento do produto nas condições de uso. O secundário é submetido às condições de alta tensão que enfrentará no campo e sua resposta a estas condições é testada. Todas as Bobinas de Ignição são testadas neste equipamento antes do envio ao cliente. Somente após aprovação o produto recebe uma marcação a quente que é um certificado de conformidade de cada produto que marca a data e o turno no qual o produto foi fabricado.

Após estas etapas o produto é embalado e enviado ao cliente.

Assim encerra-se a descrição, em linhas gerais, da linha de montagem que será o objeto da aplicação realizada do Método Proposto.

#### 4.2 Necessidade de utilização do Método Proposto na linha de montagem.

Para verificação da necessidade e aplicabilidade do Método Proposto na situação da linha de montagem sob estudo será seguido o fluxo de análise mostrado na Figura 3.2.

Os primeiros passos são: elaboração do Mapa de Estado Atual e Futuro, elaboração do Plano Anual do Fluxo de Valor e verificação da presença da ação de aumento de capacidade neste plano. Cada uma destas ações será mostrada na sequência.

O Mapa de Estado Atual foi construído e é mostrado na Figura 4.2.

Um ponto de melhoria que pode ser observado é que a programação do cliente deve ser recebida pelo controle de produção e enviada ao início do fluxo de produção principal, na MÁQUINA 10. Desta máquina em diante o fluxo passa a ser empurrado até a expedição.

É também possível observar a oportunidade de estabelecer produção puxada nos processos de injeção, tamboreamento e montagem do suporte. Estes processos são todos internos à empresa e desta forma passariam a operar segundo o ritmo da operação seguinte

não exigindo a atenção constante da supervisão e também evitando situações de falta destes subconjuntos ou de estoque excessivo dos mesmos.

È importante verificar o ritmo de produção que deve ser utilizado para o atendimento do cliente, sem falta nem excesso de produção. Para isso será calculado o *Takt time* e o ciclo efetivo das operações mostradas no Mapa de Estado Atual.

O cálculo do *Takt time* considera que a linha de montagem opera durante os 3 turnos de fabricação (24 horas), só parando 20 minutos em cada turno para os testes de verificação da adequação dos resultados de cada operação. Além destes, para 5 minutos em cada turno para a limpeza das estações de trabalho. Nos horários de refeição os operadores de outras linhas trabalham nesta, de forma que ela não pare nestes períodos de tempo.

Esta linha de montagem trabalha desta forma seis dias por semana e, aos domingos, opera em três turnos de seis horas cada sem parada para refeição e com as paradas planejadas iguais às de um dia da semana.

As etapas do Cálculo do *Takt time* são apresentadas nas Equações 4.1 a 4.9.

$$Takt\text{-}time = \frac{\text{Tempo Disponível}}{\text{Demanda do cliente}} \quad (4.1)$$

$$\text{Tempo Disponível (dia semana)} = 24 \text{ h} - 1 \text{ h (liberações)} - 0,25 \text{ h (limpezas)} \quad (4.2)$$

$$\text{Tempo Disponível (dia semana)} = 22,75 \text{ h} \quad (4.3)$$

$$\text{Tempo disponível (dia domingo)} = 18 \text{ h} - 1 \text{ h (liberações)} - 0,25 \text{ h (limpezas)} \quad (4.4)$$

$$\text{Tempo Disponível (dia domingo)} = 16,75 \text{ h} \quad (4.5)$$

$$\text{Tempo Disponível (mês)} = 26 * \text{Tempo Disponível (dia semana)} + 4 * \text{Tempo Disponível (dia domingo)} \quad (4.6)$$

$$\text{Tempo Disponível (mês)} = 658,5 \text{ h} \quad (4.7)$$

O cliente demanda mensalmente 64.800 DCP.

Logo, o *Takt time* é:

$$Takt\ time = \frac{\text{Tempo disponível}}{\text{Demanda do cliente}} \quad (4.8)$$

$$Takt\ time = \frac{658,5\ h * 3600\ s / h}{64.800} = 36,6\ s \quad (4.9)$$

Este valor de *Takt time* indica que a cada 36,6 s deve ser produzida uma peça para que o cliente seja atendido. O próximo Passo é verificar se as operações descritas no Mapa de Estado Atual têm condição de atender a este ritmo. É importante considerar a eficiência das operações, para que se compare o *Takt time* ao ciclo com o qual as operações realmente têm condição de produzir. Como já foi discutido, este é o Ciclo Efetivo das operações.

A Tabela 4.1 apresenta todos os ciclos corrigidos pela eficiência operacional de cada segmento no qual as operações trabalham conectadas. Quando as operações estão conectadas não é permitido que uma operação continue produzindo quando outra, posterior ou anterior, tenha parado de operar por algum motivo.

A comparação entre o Ciclo Efetivo de cada operação apresentado na Tabela 4.1 e o *Takt time* calculado de 36,6 s mostra que existe insuficiência de capacidade produtiva nas operações realizadas nas máquinas: INJETORA 160, MÁQUINA 30, MÁQUINA 60, MÁQUINA 80, MÁQUINA 100 / 120 (FORNOS), MÁQUINA 110 e MÁQUINA 140.

Neste ponto será preparado o Mapa de Estado Atual com as melhorias planejadas para esta etapa de melhoria do sistema. As melhorias são buscadas por etapas, isto é, não são colocadas em prática todas as melhorias de uma só vez. O processo acontece de forma contínua com várias etapas sequenciais de melhoria. O Mapa de Estado Atual com as melhorias previstas para esta etapa em destaque é mostrado na Figura 4.3.

Neste ponto o Mapa de Estado Futuro foi preparado e é mostrado na Figura 4.4. E na sequência, o Plano Anual de Fluxo de Valor com as ações necessárias à viabilização das melhorias é mostrado na Tabela 4.2.

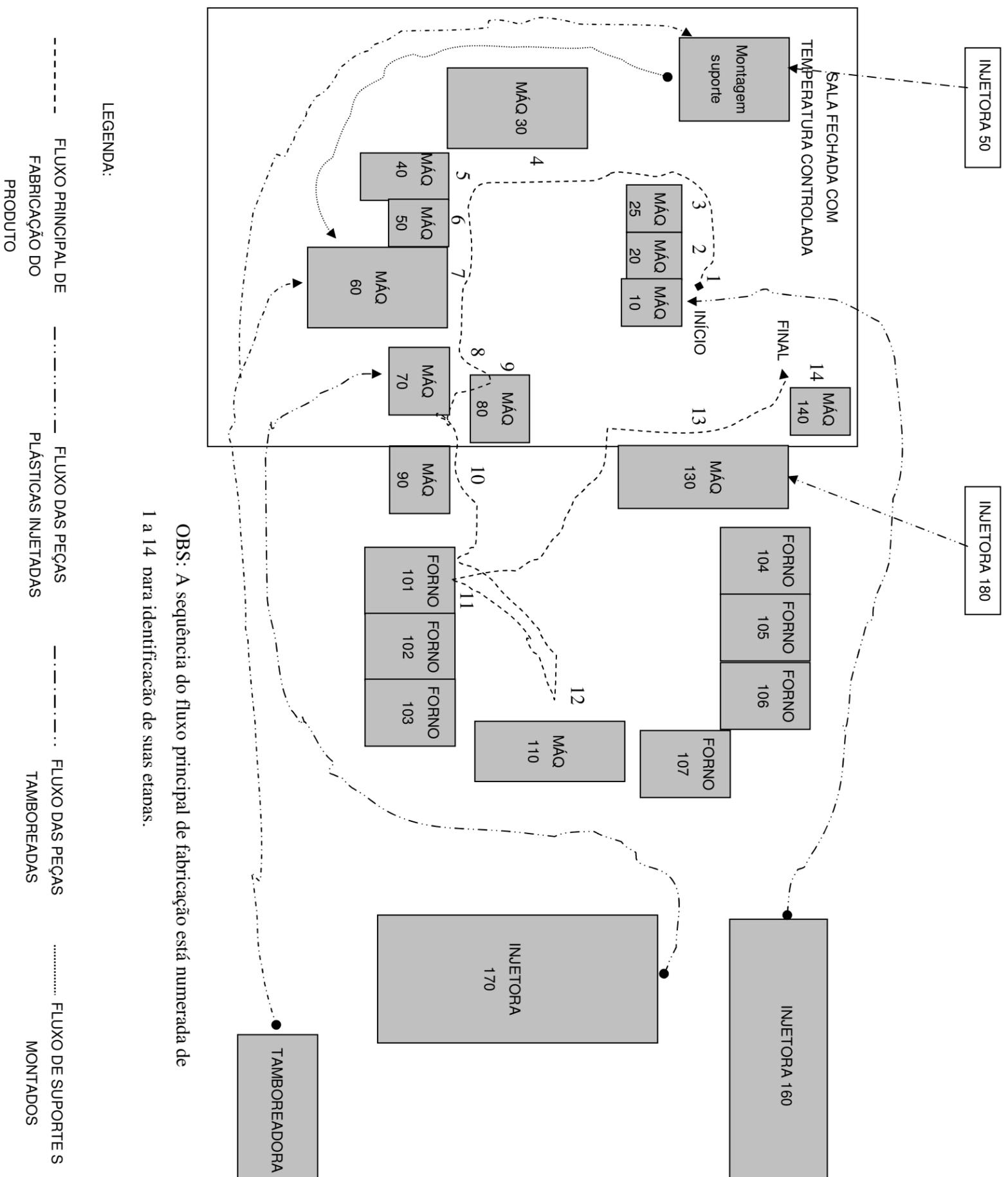


Figura 4.1 – Layout da linha de montagem



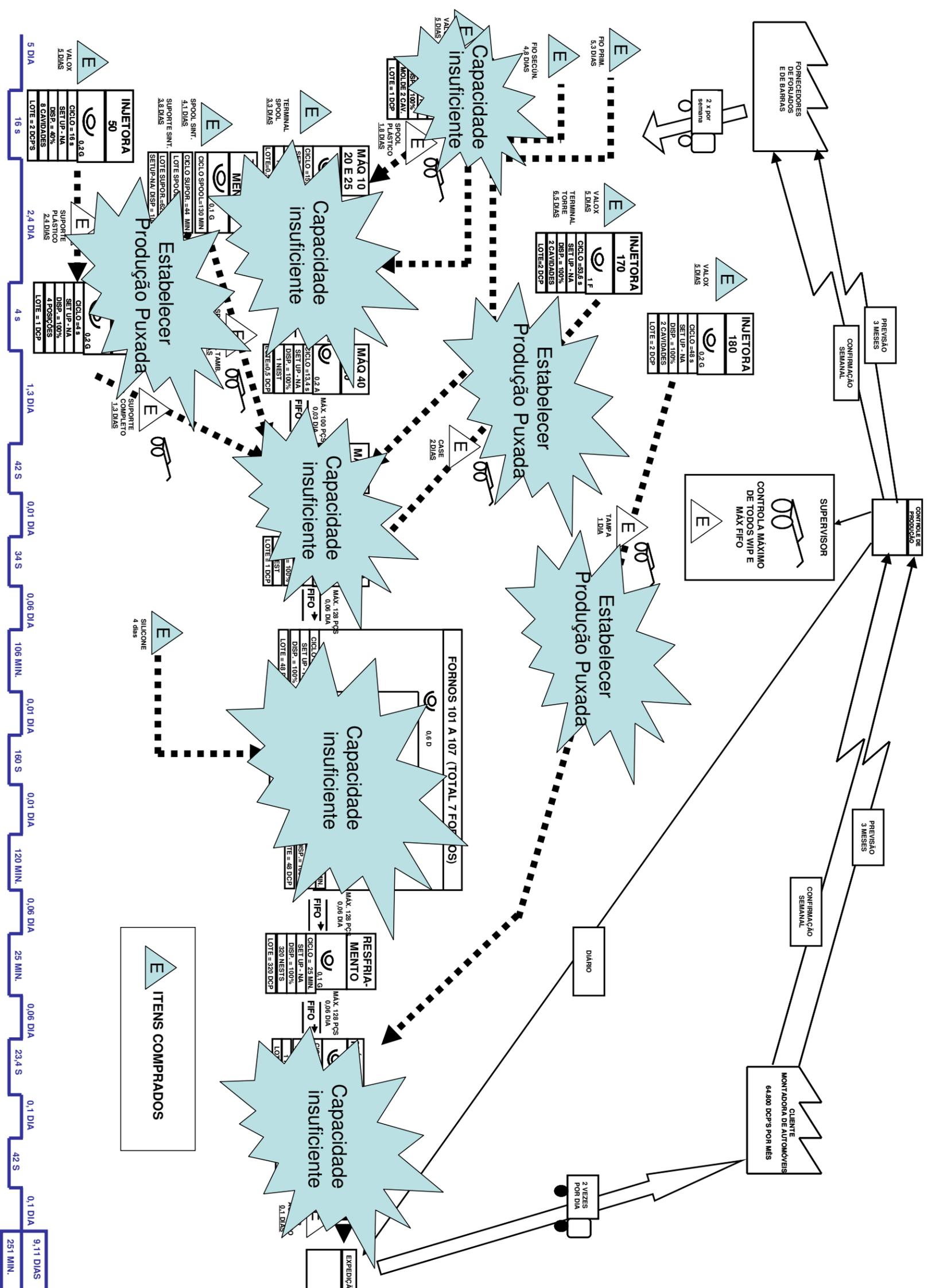


Figura 4.3 – Mapa de Fluxo do Estado Atual da linha de montagem do DCP com destaque dos pontos de melhoria

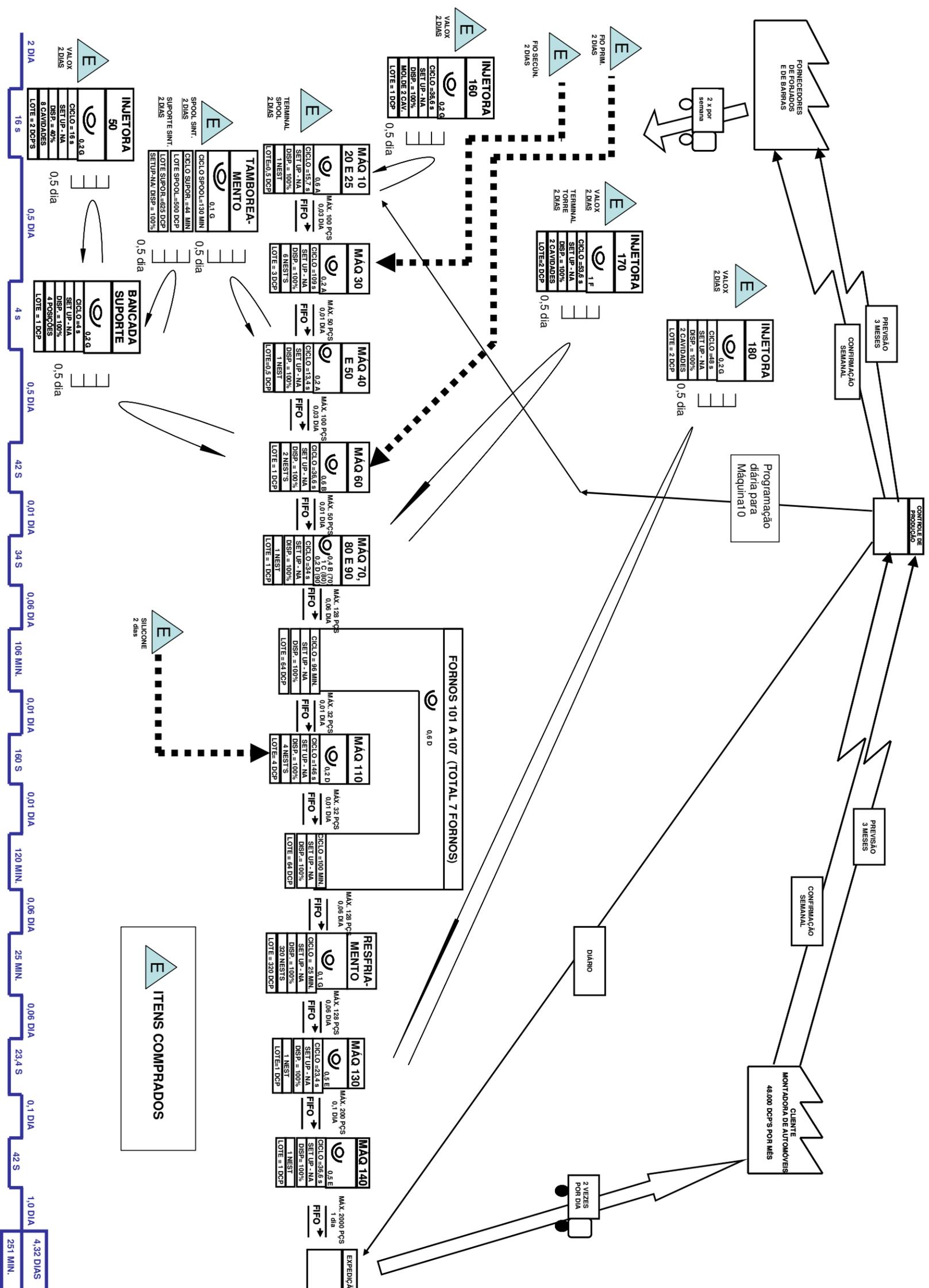


Figura 4.4 – Mapa de Fluxo do Estado Futuro da linha de montagem do DCP

Tabela 4.1 – Ciclos Efetivos por unidade final do produto

OPERAÇÃO	CICLO DA OPERAÇÃO (s)	EFICIÊNCIA DO SEGMENTO (%)	CICLO EFETIVO DA OPERAÇÃO (s)
INJETORA 180	24,0	93	25,8
INJETORA 50	8,0	95	8,4
INJETORA 160	39,1	90	43,4
INJETORA 170	26,75	87	30,7
TAMBOREADORA	19,8	97	20,4
MÁQUINA 10	31,4	86	36,5
MÁQUINA 20	29,0	86	33,7
MÁQUINA 25	10,0	86	11,6
MÁQUINA 30	42,0	86	48,8
MÁQUINA 40	23,4	86	27,2
MÁQUINA 50	26,8	86	31,2
MÁQUINA 60	42,0	86	48,8
MÁQUINA 70	21,0	86	24,4
MÁQUINA 80	34,0	86	39,5
MÁQUINA 90	30,0	86	34,9
FORNOS (MÁQ. 100)	40,7	86	47,3
MÁQUINA 110	40,0	86	46,5
FORNOS (MÁQ. 120)	40,7	86	47,3
RESFRIAMENTO	23,4	86	27,2
MÁQUINA 130	4,7	86	5,5
MÁQUINA 140	42,0	86	48,8

Como o Plano Anual de Fluxo de Valor apresenta a ação de aumento da capacidade produtiva de uma ou mais operações, a próxima etapa é a elaboração dos Gráficos dos ciclos dos equipamentos e dos operadores. A intenção com este gráfico é a de identificar se a insuficiência é devida à mão de obra ou aos equipamentos.

Na Figura 4.5 é apresentado o Gráficos dos ciclos dos equipamentos e dos operadores para a situação estudada.

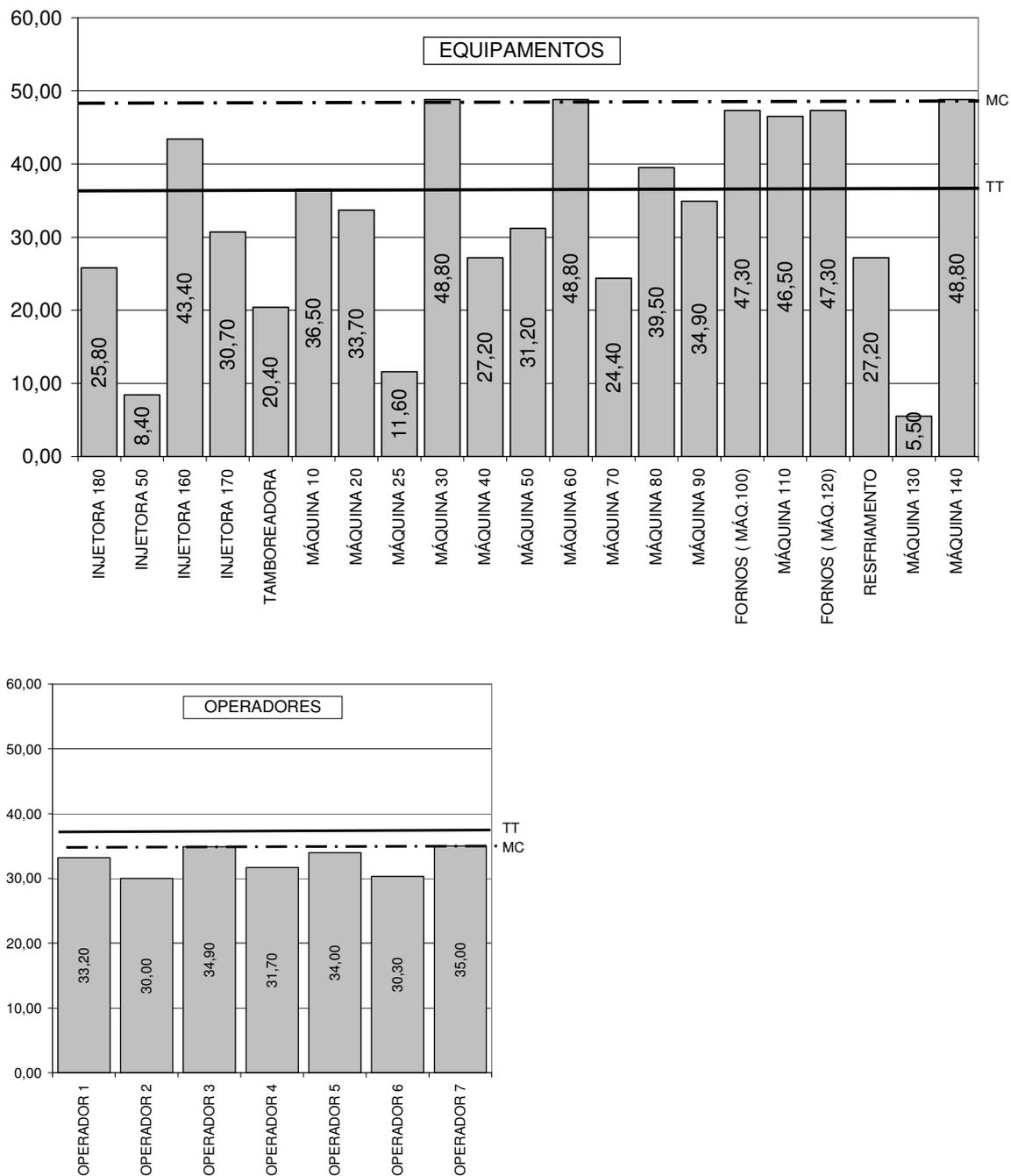


Figura 4.5 – Gráficos dos ciclos dos equipamentos e dos operadores da linha de montagem do DCP

É possível identificar nos Gráficos dos ciclos dos equipamentos e dos operadores que a insuficiência de capacidade de produção é devida aos equipamentos e que desta forma, segundo o fluxo de identificação da necessidade de utilização do Método Proposto, a análise deve prosseguir para as duas primeiras etapas do Processo de Focalização de Cinco Etapas.

O Processo de Focalização de Cinco Etapas deve ser analisado através das etapas de exploração da restrição e subordinação do restante do sistema à restrição.

Tabela 4.2 – Plano Anual do Fluxo de Valor

OBJETIVO DO FLUXO DE VALOR	META	PROGRAMAÇÃO ANUAL											RESPONSÁVEL	DEPARTAMENTOS RELACIONADOS	
		AGOTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO			JULHO
ATENDER O TAKT TIME DO CLIENTE NA INJETORA 160	CICLO EFETIVO $\leq 36,6$ S													PAULO	ENGENHARIA, MANUFATURA, MANUTENÇÃO E QUALIDADE
ATENDER O TAKT TIME DO CLIENTE NA MÁQUINA 30	CICLO EFETIVO $\leq 36,6$ S													JOÃO	ENGENHARIA, MANUFATURA, MANUTENÇÃO E QUALIDADE
ATENDER O TAKT TIME DO CLIENTE NA MÁQUINA 60	CICLO EFETIVO $\leq 36,6$ S													CAIO	ENGENHARIA, MANUFATURA, MANUTENÇÃO E QUALIDADE
ATENDER O TAKT TIME DO CLIENTE MÁQUINA 80	CICLO EFETIVO $\leq 36,6$ S													PAULO	ENGENHARIA, MANUFATURA, MANUTENÇÃO E QUALIDADE
ATENDER O TAKT TIME DO CLIENTE NOS FORNOS	CICLO EFETIVO $\leq 36,6$ S													PITA	ENGENHARIA, MANUFATURA, MANUTENÇÃO E QUALIDADE
ATENDER O TAKT TIME DO CLIENTE NA MÁQUINA 110	CICLO EFETIVO $\leq 36,6$ S													SERGIO	ENGENHARIA, MANUFATURA, MANUTENÇÃO E QUALIDADE
ATENDER O TAKT TIME DO CLIENTE NA MÁQUINA 140	CICLO EFETIVO $\leq 36,6$ S													ASSIS	ENGENHARIA, MANUFATURA, MANUTENÇÃO E QUALIDADE
PRODUÇÃO PUXADA DO COMPONENTE PRODUZIDO NA INJETORA 50 (SUPORTE PLÁSTICO)	-ESTOQUE 2 DIAS -PROGRAMAÇÃO PUXADA.													SERGIO	MANUFATURA E LOGÍSTICA
PRODUÇÃO PUXADA DO SUBCONJUNTO PRODUZIDO NA BANCADA SUPORTE (SUPORTE COMPLETO)	-ESTOQUE 2 DIAS -PROGRAMAÇÃO PUXADA.													PAULO	MANUFATURA E LOGÍSTICA
PRODUÇÃO PUXADA DO COMPONENTE PRODUZIDO NA INJETORA 50 (SUPORTE PLÁSTICO)	-ESTOQUE 2 DIAS -PROGRAMAÇÃO PUXADA.													DENIS	MANUFATURA E LOGÍSTICA
PRODUÇÃO PUXADA DOS COMPONENTES PRODUZIDOS NA TAMBOREADORA (SPOOL METÁLICO-TAMBOREADO E SUPORTE METÁLICO-TAMBOREADO)	-ESTOQUE 2 DIAS -PROGRAMAÇÃO PUXADA.													SERGIO	MANUFATURA E LOGÍSTICA
PRODUÇÃO PUXADA DO COMPONENTE PRODUZIDO NA INJETORA 160 (SPOOL PLÁSTICO)	-ESTOQUE 2 DIAS -PROGRAMAÇÃO PUXADA.													PAULO	MANUFATURA E LOGÍSTICA
PRODUÇÃO PUXADA DO COMPONENTE PRODUZIDO NA INJETORA 170 (CASE PLÁSTICO)	-ESTOQUE 2 DIAS -PROGRAMAÇÃO PUXADA.													DENIS	MANUFATURA E LOGÍSTICA
PRODUÇÃO PUXADA DO COMPONENTE PRODUZIDO NA INJETORA 180 (TAMPA PLÁSTICA)	-ESTOQUE 2 DIAS -PROGRAMAÇÃO PUXADA.													FERNANDO	MANUFATURA E LOGÍSTICA

Quanto à exploração da restrição, esta linha de montagem só produz um modelo do produto final. Desta forma não é possível pensar num mix de produção que maximize o Ganho da empresa. Outra forma de exploração é aquela na qual a linha opera o máximo de tempo possível. Isto já foi buscado através do revezamento do trabalho nos horários de refeição, do trabalho em jornada normal nos sábados e do trabalho nos domingos em turnos

de 6 horas. O período de 6 horas de parada aos domingos é utilizado para paradas planejadas de manutenção, e mesmo que fosse utilizado para produção levaria a um aumento de 3,5 % na capacidade de produção. Este aumento não seria suficiente para mudar a situação atual de necessidade de elevação da Restrição.

Quanto à subordinação de todo o restante do sistema à Restrição, novamente ela não mudaria a situação de necessidade de elevação da Restrição. Pois mesmo que o restante das máquinas operasse de forma a neutralizar totalmente a eficiência de 86% das máquinas Gargalo, o ciclo efetivo das máquinas Gargalo seria de 42 s e não seria suficiente para atender a um *Takt time* de 36,6 s.

Desta forma o próximo passo é a utilização do Método Proposto para as máquinas que apresentam insuficiência de capacidade produtiva.

Será apresentada no subitem 4.3 a análise utilizando o Método Proposto para cada uma das máquinas com insuficiência, pois estas precisam ter sua capacidade de produção aumentada para que a demanda do cliente possa ser atendida.

### 4.3 Aplicação do Método Proposto

Neste subitem será mostrado como o Método Proposto foi colocado em prática em cada um dos equipamentos nos quais foi detectada a insuficiência de capacidade produtiva. A sequência desta apresentação é INJETORA 160, MÁQUINA 30, MÁQUINA 60, MÁQUINA 80, FORNOS (MÁQUINA 100 E 120), MÁQUINA 110, MÁQUINA 140.

#### ❖ Aplicação do Método na Máquina 160:

PASSO 1 : O primeiro passo é a identificação da necessidade de aumento de capacidade. Este equipamento tem ciclo efetivo de 43,4 s (82 peças por hora) e necessita atingir 36,6 s.(99 peças por hora).

PASSO 2 : Como a máquina possui uma eficiência de 90% e é necessário atingir um ciclo efetivo de 36,6 s . O cálculo do ciclo de máquina necessário é mostrado na Equação 4.9.

$$\text{Ciclo de máquina necessário} = 36,6 * 0,90 = 32,9\text{s} \quad (4.9)$$

Logo é necessária uma redução de 6,2 s (39,1s – 32,9s).

PASSO 3 : O resultado do preenchimento da tabela está apresentado na Tabela 4.3 na qual foram destacadas as técnicas viáveis e as técnicas priorizadas pelo Grupo de Análise.

As duas formas de utilização da técnica T13 são de viabilização rápida, mas a técnica T2 exigiu um período para ser desenvolvida, o que levou o grupo a utilizar a técnica temporária T4.

PASSO 4 :A técnica T4, temporária, foi colocada em prática através da compra da peça que é injetada nesta operação de outra unidade da empresa localizada na Europa.

Será descrito como as técnicas T13 e T2 foram aplicadas.

A técnica T13 foi aplicada de duas formas: redução do curso de abertura do molde de injeção e aumento da velocidade no fechamento do molde de injeção.

Tabela 4.3 – Resultado da análise da injetora 160

Tipo de Iniciativa	Descrição da Iniciativa	É aplicável ?	Tempo para viabilização	Investimento Necessário	Dificuldade Técnica	Estimativa do Impacto	Ordem de execução
T4	Compra da peça injetada da unidade de Portugal.	sim	baixo	baixo	baixa	alto	1
T2	Utilização de nova técnica de injeção que permite reduzir a temperatura e o tempo de resfriamento.	sim	médio	baixo	média	alto	2
T13	Redução do curso de abertura do molde de injeção.	sim	baixo	baixo	baixa	médio	1
T13	Aumento de velocidade no fechamento do molde de injeção.	sim	baixo	baixo	baixa	médio	1

A redução da abertura do molde foi buscada através de testes práticos que demonstrassem a mínima abertura que possibilitasse a saída da peça injetada de forma repetitiva. Foi possível uma redução de 200 mm de abertura para 80 mm de abertura.

A segunda forma com a qual foi utilizada a técnica T13 foi a de aumento das velocidades internas no fechamento do molde. Na Figura 4.6 é possível identificar os perfis de velocidade nas etapas do fechamento do molde.

Com estas mudanças utilizando técnica T13 foi possível reduzir o ciclo da máquina em 1,7 s.

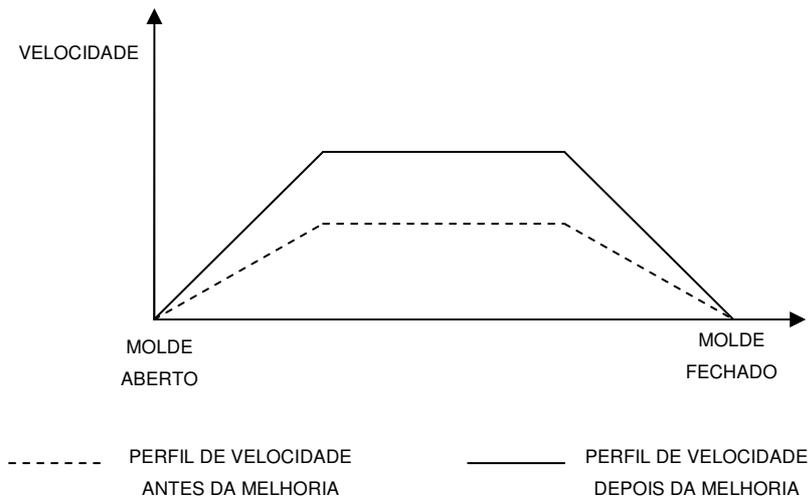


Figura 4.6– Perfis de velocidade no fechamento do molde de injeção

A técnica T2 foi aplicada através da redução do tempo de resfriamento. O ciclo de injeção é composto das etapas mostradas na Figura 4.7.

Na Figura 4.7 é possível identificar a significância do tempo de resfriamento no ciclo total. Este comportamento é característico deste tipo de processo.

A melhoria planejada e implementada foi a utilização de novas técnicas de injeção que permitissem a redução da temperatura que faz a refrigeração do molde, de 80 °C para 60 °C. Esta alteração permitiu uma redução de 27 s para 22 s no tempo de resfriamento. O limite para esta redução é dado pelo aparecimento de torções e quebras na peça injetada. O tempo necessário para a implementação desta melhoria é devido à necessidade de testes e ajustes do processo que só são possíveis através da experimentação de cada condição analisada.

PASSO 5 : A melhoria na Injetora160 foi atingida pois o novo ciclo de máquina é de 32,4 s, o que somado à eficiência de 90%, apresenta um ciclo efetivo de 36s (32,4s /0,90). Este ciclo efetivo é capaz de atender ao *Takt time* necessário ao atendimento do cliente que é de 36,6s. Desta forma, esta injetora não é mais problema para o atendimento ao cliente.

#### ❖ Aplicação do Método na Máquina 30:

PASSO 1 : O primeiro passo é a identificação da necessidade de aumento de capacidade. Este equipamento tem ciclo efetivo de 48,8 s (73 peças por hora) e necessita atingir 36,6 s.(99 peças por hora).

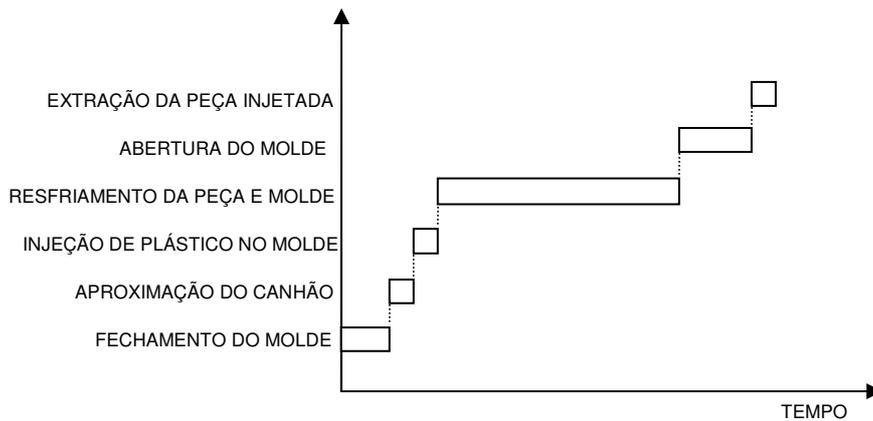


Figura 4.7– Gráfico de Gantt das Etapas do Processo

PASSO 2 : Como a máquina possui uma eficiência de 86% e é necessário atingir um ciclo efetivo de 36,6 s. O cálculo do ciclo de máquina necessário é mostrado na Equação 4.10.

$$\text{Ciclo de máquina necessário} = 36,6 * 0,86 = 31,4 \text{ s} \quad (4.10)$$

Logo, é necessária uma redução de 10,6 s (42,0 s– 31,4 s).

PASSO 3 : O resultado do preenchimento da tabela está apresentado na Tabela 4.4 e foram destacadas as técnicas viáveis e as técnicas priorizadas pelo Grupo de Análise.

O grupo identificou a técnica T5 como sendo a que trará a melhoria definitiva necessária, mas outras técnicas terão que ser utilizadas enquanto a nova máquina não chega. As técnicas utilizadas para o período de espera foram as técnicas T12, T13 e T2 que serão explicadas no PASSO 4.

PASSO 4 : A técnica T12 foi utilizada reduzindo o tempo de parada de máquina nas liberações de início de turno. Em todo início de turno o operador que opera esta máquina produzia as amostras de liberação e então abandonava a máquina para realizar as medições e testes necessários. Durante o período destas medições e testes o equipamento ficava parado. A mudança foi colocada em prática com um segundo operador coletando as amostras de liberação e realizando as medições e testes enquanto o operador da máquina 30 continuou produzindo no equipamento.

Tabela 4.4 – Resultado da análise da máquina 30

Tipo de Iniciativa	Descrição da Iniciativa	É aplicável ?	Tempo para viabilização	Investimento Necessário	Dificuldade Técnica	Estimativa do Impacto	Ordem de execução
T5	Compra de mais um equipamento.	sim	alto	alto	baixa	alto	2
T2	Viabilizar o aumento de rotação no embobinamento.	sim	médio	baixo	alta	alto	1
T12	Operador da máquina não interrompe operação para liberar a máquina no início do turno.	sim	baixo	baixo	baixa	baixo	1
T13	Redução de trajetória de alguns movimentos da máquina.	sim	baixo	baixo	média	médio	1
T13	Aumento da velocidade de alguns dos movimentos da máquina.	sim	baixo	baixo	baixa	médio	1

A técnica T13 foi aplicada de duas formas: através da redução de trajetória e do aumento da velocidade de alguns dos movimentos da máquina.

A redução de trajetória foi possível através de um recurso disponível em máquinas CNC. Este tipo de equipamento pode buscar uma localização num plano XY através de um, dois ou três comandos. Existe uma redução de tempo de movimentação quando o recurso de movimentação através de um comando é utilizado. Esta melhoria só é possível quando não há um obstáculo que impeça este movimento único. Quando existe um obstáculo a melhor solução é a busca de um movimento de 3 comandos que reduza ao máximo o tempo de movimentação. As duas situações de 2 e 3 comandos são mostradas na Figura 4.8.

A explicação foi dada para uma movimentação em 2 eixos mas pode ser entendida para mais de 2 eixos. O que foi analisado e colocado em prática pelo grupo foi a análise de todos os movimentos da máquina e a melhoria no tempo de movimentação em todos os movimentos que possibilitavam algum ganho de tempo de movimentação.

Outra iniciativa utilizando a técnica T13 foi a de aumento da velocidade de movimentação da máquina, nos movimentos, nos quais mesmo com o tempo de aceleração e desaceleração havia oportunidade de ganho, conforme mostra a Figura 4.9. Onde havia possibilidade de ganho foi alterada a velocidade máxima de 2,0 m/s para 5,0 m/s.

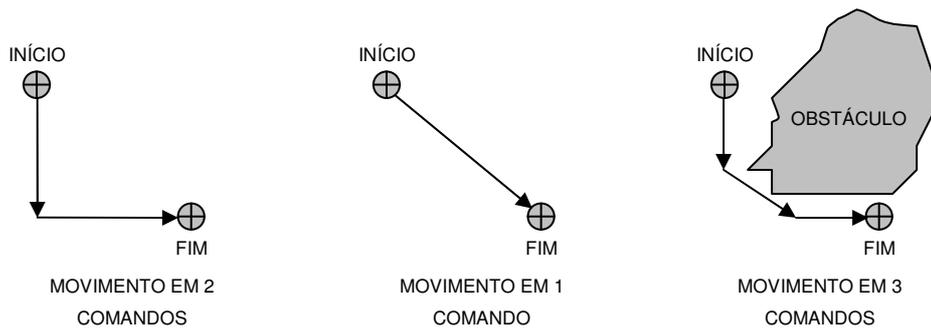


Figura 4.8 – Movimentos otimizados

Ainda neste PASSO foi utilizada a técnica T2. Nesta melhoria foi aumentada a velocidade de rotação das peças no momento do embobinamento do fio. A rotação foi alterada de 8.500 RPM para 12.000 RPM. Esta mudança proporcionou um ganho de 6 segundos no ciclo total do equipamento. Ela foi possível devido à utilização de correias que transmitem o movimento entre o motor e os cabeçotes de embobinamento, com malhas de aço interna que possibilitaram o trabalho numa rotação como esta. Esta mudança trouxe uma série de efeitos colaterais que com fizeram que ela fosse retirada de uso assim que a nova máquina chegou. Os efeitos colaterais foram a diminuição da vida de vários componentes do equipamento devido ao regime de trabalho superior ao do projeto inicial, o aumento do MTBF – *Mean Time Between Failures* do equipamento, o conseqüente aumento dos custos de manutenção do equipamento e o aumento da ocorrência de rejeição do equipamento.

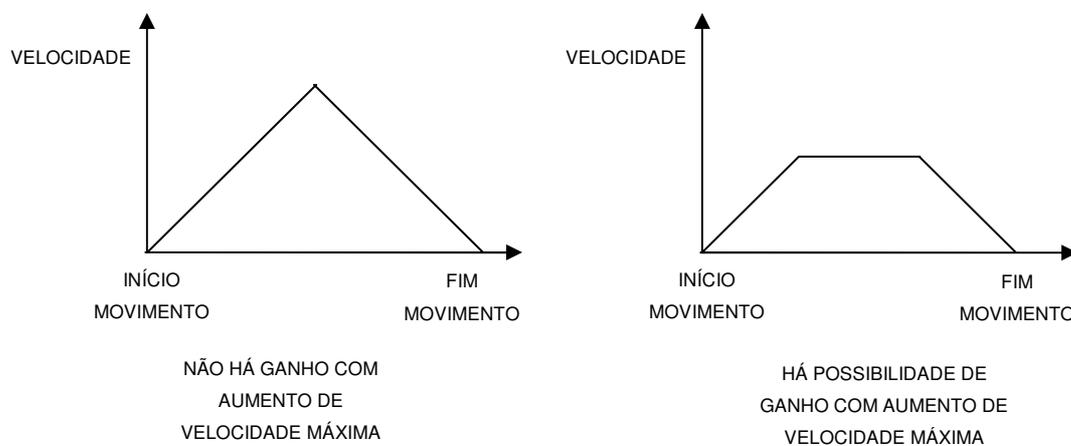


Figura 4.9 – Diferentes perfis de velocidade

A técnica T5 utilizada para a melhoria definitiva foi a compra de um novo equipamento junto ao fabricante que produziu o já existente. As melhorias temporárias que não traziam efeitos colaterais maléficis foram mantidas aumentando-se a capacidade de produção dos equipamentos.

PASSO 5 : A melhoria na máquina foi atingida enquanto a máquina nova não chegava pois o novo ciclo de máquina, com as alterações temporárias foi de 31,1 s, o que somado à eficiência de 86%, apresenta um ciclo efetivo de 36,1 s ( $31,1s / 0,86$ ). Este ciclo efetivo foi capaz de atender ao *Takt time* necessário ao atendimento do cliente que era de 36,6s. Desta forma, esta máquina não foi mais problema para o atendimento ao cliente durante a espera pelo novo equipamento. Após sua chegada, o ciclo foi reduzido pela metade, isto é, passou a ser igual a 21,0 s, o que somado à eficiência de 86 %, apresentou um ciclo efetivo de 24,4 s ( $21,0 s / 0,86$ ). Este ciclo efetivo foi capaz de atender ao *Takt time* necessário ao atendimento do cliente que era de 36,6s. Desta forma, esta máquina não foi mais um obstáculo ao atendimento ao cliente com a medida definitiva.

❖ Aplicação do Método na Máquina 60:

PASSO 1 : O primeiro passo é a identificação da necessidade de aumento de capacidade. Este equipamento tem ciclo efetivo de 48,8 s (73 peças por hora) e necessita atingir 36,6 s (99 peças por hora).

PASSO 2 : Como a máquina possui uma eficiência de 86% e é necessário atingir um ciclo efetivo de 36,6 s. O cálculo de máquina necessário é mostrado na Equação 4.11.

$$\text{Ciclo de máquina necessário} = 36,6 * 0,86 = 31,4 \text{ s} \quad (4.11)$$

Logo é necessária uma redução de 10,6 s ( $48,8 \text{ s} - 31,4 \text{ s}$ ).

PASSO 3 : O resultado do preenchimento da tabela está apresentado na Tabela 4.5 na qual foram destacadas as técnicas viáveis e as técnicas priorizadas pelo Grupo de Análise.

O grupo identificou a técnica T5 como sendo a que trará a melhoria definitiva necessária, mas outras técnicas terão que ser utilizadas enquanto a nova máquina não chega.

As técnicas utilizadas para o período de espera forma as técnicas T13, T3, T5 e T8 que serão explicadas no PASSO 4.

Tabela 4.5 – Resultado da análise da máquina 60

Tipo de Iniciativa	Descrição da Iniciativa	É aplicável ?	Tempo para viabilização	Investimento Necessário	Dificuldade Técnica	Estimativa do Impacto	Ordem de execução
T3	Eliminação da perda de tempo desnudando fio que não será utilizado.	sim	baixo	baixo	baixa	baixo	1
T5	Compra de equipamento de desnude manual.	sim	médio	baixo	baixa	alto	2
T5	Compra de outra máquina igual à máq. 60.	sim	alto	alto	baixa	alto	3
T8	Transferir a operação de embobinamento para a máquina da linha de fabricação do CCP.	sim	baixo	baixo	baixa	alto	1
T13	Redução da trajetória de alguns movimentos da máquina.	sim	baixo	baixo	média	médio	1
T13	Aumento da velocidade de alguns dos movimentos da máquina.	sim	baixo	baixo	baixa	médio	1

PASSO 4 : A técnica T13 foi aplicada de duas formas: através da redução de trajetória e do aumento da velocidade de alguns dos movimentos da máquina. Esta também é uma máquina CNC e as melhorias que foram implementadas com a técnica T13 foram as mesmas daquelas utilizadas na máquina 30, descritas anteriormente.

Nesta máquina foi aplicada a técnica T3. Isto foi possível pois esta máquina realiza o desnude do verniz do fio na sua parte final que será soldada a um terminal em uma operação posterior. Após o desnude esta máquina corta o fio ficando sua extremidade desencapada. O que o grupo observou é que a parte do fio cortado, que é resíduo do processo e portanto não será utilizado, tinha uma parcela de fio desnudada. A máquina estava perdendo tempo desnudando em demasia o fio, já que parte dele seria descarte do processo. A mudança foi o ajuste do processo para que a máquina somente utilizasse tempo para desnudar a porção de fio que seria utilizada nas próximas operações.

Outra técnica utilizada foi a T8. Nesta situação a operação de desnude descrita no parágrafo anterior foi transferida para um equipamento de outra linha de fabricação e montagem da empresa. Como esta operação é a última da máquina 60, as peças eram acumuladas sem esta operação, em lotes, e então eram enviadas para a outra linha na qual

eram desnudadas. Após este desnude as peças retornavam para a linha do DCP e continuavam a sequência de fabricação.

Este deslocamento das peças para a outra linha de fabricação trouxe dois inconvenientes que levaram a que o grupo buscasse outra técnica temporariamente. Os inconvenientes foram o acúmulo de peças dentro da linha do DCP antes e depois do desnude e a dificuldade da outra linha de fabricação em processar as peças da própria linha e também as da linha do DCP.

Assim sendo o grupo utilizou a técnica T5 através da compra de um equipamento manual de desnude de fios que foi instalado na linha de fabricação do próprio DCP. Este desnude com equipamento manual não teve a mesma precisão e repetibilidade do processo utilizado pelo equipamento CNC. Desta forma, a compra do novo equipamento não foi abandonada pelo grupo.

A técnica T5 utilizada para a melhoria definitiva foi a compra de um novo equipamento junto ao fabricante que produziu o já existente. As melhorias temporárias, que não traziam efeitos colaterais maléficis, foram mantidas aumentando a capacidade de produção dos equipamentos.

PASSO 5 : A melhoria na máquina foi atingida enquanto a máquina nova não chegava pois o novo ciclo de máquina foi de 28,2 s o que somado à eficiência de 86%, apresenta um ciclo efetivo de 32,8 s ( $28,2 \text{ s} / 0,86$ ). Este ciclo efetivo é capaz de atender ao *Takt time* necessário ao atendimento do cliente que é de 36,6s. Desta forma, esta máquina não foi mais problema para o atendimento ao cliente durante a espera da chegada do novo equipamento. Após a chegada do novo equipamento o ciclo foi reduzido pela metade, isto é, passou a ser igual a 21,0 s, o que somado à eficiência de 86 %, apresenta um ciclo efetivo de 24,4 s ( $21,0 \text{ s} / 0,86$ ). Este ciclo efetivo é capaz atender ao *Takt time* necessário ao atendimento do cliente que é de 36,6s. Desta forma, esta máquina não foi mais um obstáculo ao atendimento ao cliente com a medida definitiva.

#### ❖ Aplicação do Método na Máquina 80:

PASSO 1 : O primeiro passo é a identificação da necessidade de aumento de capacidade. Este equipamento tem ciclo efetivo de 39,5 s (91 peças por hora) e necessita atingir 36,6 s (99 peças por hora).

PASSO 2 : Como a máquina possui uma eficiência de 86% e é necessário atingir um ciclo efetivo de 36,6 s. O cálculo do ciclo de máquina necessário é mostrado na Equação 4.12.

$$\text{Ciclo de máquina necessário} = 36,6 * 0,86 = 31,4 \text{ s} \quad (4.12)$$

Logo é necessária uma redução de 2,6 s (34,0 s– 31,4 s).

PASSO 3 : O resultado do preenchimento da tabela está apresentado na Tabela 4.6 na qual foram destacadas as técnicas viáveis e as técnicas priorizadas pelo Grupo de Análise.

O grupo identificou a técnica T8 como sendo a que trará a melhoria definitiva necessária, mas outras técnicas terão que ser utilizadas enquanto a bancada não é modificada e outra bancada é fabricada. Esta melhoria será explicada no PASSO 4. A técnica utilizada para o período de espera foi a técnica T7 que será explicada no PASSO 4.

PASSO 4 : A técnica T7 foi aplicada através da criação de dois estoques de peças semiacabadas. Um destes estoques foi criado antes da operação da máquina 80 e o outro foi criado logo após a máquina 80. Desta forma a máquina 80 está desconectada do fluxo das outras máquinas e não mais parará quando as máquinas anteriores a ela tenham problemas de operação. Neste momento ela produzirá com peças do estoque de proteção ao gargalo. Da mesma forma, quando uma das máquinas posteriores a ela tiver problemas, isto não interromperá seu funcionamento pois ela produzirá para o estoque que existe após.

Tabela 4.6 – resultado da análise da máquina 80

Tipo de Iniciativa	Descrição da Iniciativa	É aplicável ?	Tempo para viabilização	Investimento Necessário	Dificuldade Técnica	Estimativa do Impacto	Ordem de execução
T7	Estabelecimento de estoques de proteção antes e depois do Gargalo.	sim	baixo	baixo	baixa	médio	1
T8	Construção de outra bancada e divisão das atividades entre as duas bancadas.	sim	médio	médio	baixa	alto	2

A máquina 80 somente terá sua eficiência afetada por seus próprios problemas de operação. A eficiência da máquina 80 calculada desta forma é igual a 94%. Este equipamento é constituído de uma enroladora pneumática manual de fios e um ferro de soldar manual, sendo assim um equipamento de alta eficiência.

Com esta eficiência calculada com a máquina desconectada do fluxo das outras máquinas o ciclo efetivo passa a ter outro valor cujo cálculo é mostrado na Equação 4.13.

$$\text{Ciclo efetivo} = 34 \text{ s} / 0,94 = 36,2 \text{ s} \quad (4.13)$$

Esta mudança traz efeitos colaterais que são o aumento de estoque em processo e o fluxo não contínuo, situações indesejáveis a uma produção enxuta. Isto somado ao fato de a alternativa definitiva (que será explicada logo a frente) ter baixo custo, guiou o grupo para que optasse pela técnica T8 como solução definitiva.

Neste parágrafo será apresentada a melhoria definitiva. A técnica T8 utilizada foi a compra de uma bancada e a transferência da operação de solda manual para esta nova bancada. Desta forma passa-se a ter dois equipamentos: o equipamento de enrolamento dos fios, que continuou sendo chamado de máquina 80, e o equipamento de solda manual que passou a ser chamado de máquina 85. Arranjada desta forma a máquina 80 passou a ter um ciclo de operação de 19,2 s e a nova máquina 85 um ciclo de operação de 24,6 segundos.

PASSO 5 : O aumento de capacidade de produção da máquina existente foi atingido enquanto a máquina nova não foi construída pois a nova eficiência de operação com as alterações do PASSO 4 foi de 94%, o que somado ao ciclo de 34,0 s, apresenta um ciclo efetivo de 36,2 s ( $34,0 \text{ s} / 0,94$ ). Este ciclo efetivo foi capaz atender ao *Takt time* necessário ao atendimento do cliente que é de 36,6s. Desta forma, esta máquina não foi mais problema para o atendimento ao cliente durante a espera da implementação da técnica definitiva. Após a criação da nova máquina o ciclo foi reduzido para 19,2 s e 24,6 s respectivamente para as máquinas 80 e 85. Com eficiência de 86 %, já não tendo mais os estoques de proteção, os ciclos efetivos passaram a ser respectivamente 22,3 s ( $19,2 \text{ s} / 0,86$ ) e 28,6 s ( $24,6 \text{ s} / 0,86$ ). Estes ciclos efetivos foram capazes de atender ao *Takt time* necessário ao atendimento do cliente que é de 36,6s. Desta forma esta operação, agora dividida em duas máquinas, não foi mais um obstáculo ao atendimento ao cliente com a medida definitiva.

❖ Aplicação do Método nos Fornos:

PASSO 1 : O primeiro passo é a identificação da necessidade de aumento de capacidade. Este equipamento tem ciclo efetivo de 47,3 s (76 peças por hora) e necessita atingir 36,6 s.(99 peças por hora).

PASSO 2 : Como a máquina possui uma eficiência de 86% e é necessário atingir um ciclo efetivo de 36,6 s. O cálculo do ciclo de máquina necessário é mostrado na Equação 4.14.

$$\text{Ciclo de máquina necessário} = 36,6 * 0,86 = 31,4 \text{ s} \quad (4.14)$$

Logo, é necessária uma redução de 9,3 s (40,7 s– 31,4 s).

PASSO 3 : O resultado da análise está apresentado na Tabela 4.7 na qual foram destacadas as técnicas viáveis e as técnicas priorizadas pelo Grupo de Análise.

Tabela 4.7 – Resultado da análise dos fornos

Tipo de Iniciativa	Descrição da Iniciativa	É aplicável ?	Tempo para viabilização	Investimento Necessário	Dificuldade Técnica	Estimativa do Impacto	Ordem de execução
T11	Colocação de uma prateleira a mais dentro do forno	sim	baixo	baixo	média	alto	1

O grupo identificou a técnica T11 como sendo a que trará a melhoria definitiva necessária, não sendo necessárias outras técnicas pois esta é de rápida implementação.

PASSO 4: A técnica T11 utilizada foi a mudança do forno para que mais peças pudessem ser alimentadas dentro dele para cada ciclo. A Figura 4.10 mostra como o forno foi modificado internamente para que mais peças pudessem ser colocadas dentro dele.

PASSO 5 : A melhoria nos fornos foi atingida pois o novo ciclo passou a ser de 29,9 s. O ciclo efetivo passou a ser de 34,8 s (29,9 s / 0,86 ). Este ciclo efetivo é capaz atender ao *Takt time* necessário ao atendimento do cliente que é de 36,6s. Desta forma, os fornos não foram mais problema para o atendimento ao cliente.

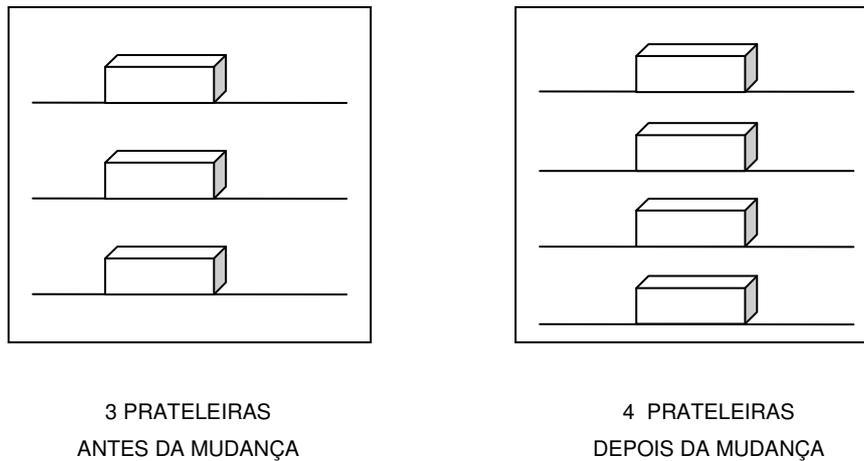


Figura 4.10 – Distribuição das prateleiras na parte interna dos fornos

❖ Aplicação do Método na Máquina 110:

PASSO 1 : O primeiro passo é a identificação da necessidade de aumento de capacidade. Este equipamento tem ciclo efetivo de 46,5 s (77 peças por hora) e necessita atingir 36,6 s.(99 peças por hora).

PASSO 2 : Como a máquina possui uma eficiência de 86% e é necessário atingir um ciclo efetivo de 36,6 s. O cálculo do ciclo de máquina necessário é mostrado na Equação 4.15.

$$\text{Ciclo de máquina necessário} = 36,6 * 0,86 = 31,4 \text{ s} \quad (4.15)$$

Logo, é necessária uma redução de 8,6 s (40,0 s– 31,4 s).

PASSO 3 : O resultado do preenchimento da tabela está apresentado na Tabela 4.8 na qual foram destacadas as técnicas viáveis e as técnicas priorizadas pelo Grupo de Análise.

O grupo identificou as técnicas T3 e T13 como sendo as que trarão a melhoria definitiva necessária e o atendimento ao prazo de implementação estabelecido.

PASSO 4: A técnica T3 foi utilizada através da análise da etapa de estabilização da câmara de vácuo. Nesta etapa o equipamento acionava a bomba de vácuo e depois de atingida

a pressão de 40 mbar o equipamento mantinha esta pressão estabilizada por 8 s e depois disso permitia a entrada de ar até que a pressão de 150 mbar fosse atingida. A mudança que ocorreu foi a eliminação de 7 s deste tempo de estabilização na pressão de 40 mbar. Este tempo excessivo de estabilização não agregava nenhum valor.

Tabela 4.8 – Resultado da análise da máquina 110

Tipo de Iniciativa	Descrição da Iniciativa	É aplicável ?	Tempo para viabilização	Investimento Necessário	Dificuldade Técnica	Estimativa do Impacto	Ordem de execução
T3	Eliminação de período de tempo sem função na estabilização do vácuo na câmara.	sim	baixo	baixo	baixa	médio	1
T13	Aumento da vazão de enchimento pelo uso de um reservatório paralelo à bomba.	sim	baixo	baixo	média	médio	1
T13	Enchimento pela bomba já no início do movimento do batente (paralelo).	sim	baixo	baixo	baixa	médio	1
T13	Aumento da velocidade do batente mecânico.	sim	baixo	baixo	baixa	baixo	1

Outra técnica utilizada foi a T13 na qual a velocidade de movimentação do batente mecânico do movimento das hastes dos cilindros foi aumentada em 3 vezes. Ainda nesta atividade, primeiro o batente se posicionava e só então a bomba enchia os cilindros com silicone. A mudança transformou estas atividades sequenciais em atividades em paralelo, pois a bomba passou a começar a encher os cilindros no início do movimento do batente e não só após o movimento deste, como era no passado. As transformações de atividades em série em atividades em paralelo são descritas na técnica T13.

Outra aplicação da técnica T13 ocorreu na operação de enchimento e esvaziamento dos cilindros de silicone. Antes da melhoria, somente após o total esvaziamento dos cilindros é que a bomba começava a enchê-los. Com a melhoria, durante o esvaziamento dos cilindros, a bomba irá bombear o silicone para um reservatório que, no momento de enchimento dos cilindros, somará sua vazão à vazão da bomba. Assim o tempo de enchimento dos cilindros acontecerá num intervalo de tempo inferior ao anteriormente obtido.

PASSO 5 : A melhoria na capacidade de produção da máquina 110 foi atingida pois o novo ciclo passou a ser de 25,3 s. O ciclo efetivo passou a ser de 29,4 s ( 25,3 s / 0,86 ). Este

ciclo efetivo é capaz de atender ao *Takt time* necessário ao atendimento do cliente, que é de 36,6s. Desta forma, a máquina 110 não é mais problema para o atendimento ao cliente.

❖ Aplicação do Método na Máquina 140:

PASSO 1 : O primeiro passo é a identificação da necessidade de aumento de capacidade. Este equipamento tem ciclo efetivo de 48,8 s (73 peças por hora) e necessita atingir 36,6 s (99 peças por hora).

PASSO 2 : Como a máquina possui uma eficiência de 86% e é necessário atingir um ciclo efetivo de 36,6 s. O cálculo do ciclo de máquina necessário é mostrado na Equação 4.16.

$$\text{Ciclo de máquina necessário} = 36,6 * 0,86 = 31,4 \text{ s} \quad (4.16)$$

Logo é necessária uma redução de 10,6 s (42,0 s– 31,4 s).

PASSO 3 : O resultado do preenchimento da tabela está apresentado na Tabela 4.9 na qual foram destacadas as técnicas viáveis e as técnicas priorizadas pelo Grupo de Análise.

Tabela 4.9 – Resultado da análise da máquina 140

Tipo de Iniciativa	Descrição da Iniciativa	É aplicável ?	Tempo para viabilização	Investimento Necessário	Dificuldade Técnica	Estimativa do Impacto	Ordem de execução
T3	Eliminação dos tempos de espera internos ao programa CLP.	sim	médio	baixo	média	médio	1
T13	Colocação de sinal que oriente o operador quando ele já pode invadir a cortina ótica.	sim	baixo	baixo	baixa	médio	1
T13	Aumento da temperatura e redução do tempo de marcação a quente.	sim	baixo	baixo	baixa	médio	1
T13	Aumento da velocidade do carro de transporte da peça.	sim	baixo	baixo	baixa	baixo	1

O grupo identificou as técnicas T3 e T13 como sendo as que trarão a melhoria necessária. Estas melhorias serão explicadas no PASSO 4.

PASSO 4: A técnica T3 foi utilizada através da eliminação de tempos de espera colocados como segurança em várias etapas do programa CLP- Controlador Lógico Programável, pelo fabricante do equipamento. Alguns tempos de espera foram eliminados e outros foram reduzidos.

Outra técnica utilizada foi a T13. Uma das formas de utilização foi a aumento da velocidade do carro de movimentação e do *flap* que mede a resistência elétrica da peça. Nesta alteração foi possível reduzir 2,0 s no ciclo total da operação.

Outra forma de aplicação da técnica T13 foi a redução do tempo necessário para que a operação de marcação a quente (*hot stamp*) produzisse uma marcação legível na peça. Esta redução no tempo foi possível com o aumento da temperatura da peça metálica que faz a marcação. Nesta iniciativa foi possível reduzir 1,0 s no ciclo da operação da máquina.

A máquina 140 é uma máquina de teste da funcionalidade das peças acabadas. Quase a totalidade do tempo de teste é dedicada a medir a resposta da peça a um sinal elétrico. Este sinal elétrico é emitido várias vezes e a medição ocorre várias vezes. A melhoria foi o aumento da frequência destes sinais. Desta forma, o número de vezes que a peça deve receber este sinal ocorrerá num menor intervalo de tempo e o ciclo total da operação será reduzido. A redução de ciclo alcançado com esta iniciativa foi de 2,7 s.

Outra técnica adotada para a redução do ciclo do equipamento foi a técnica T13. Nesta aplicação foi colocada uma luz que indica para o operador quando ele já pode invadir a cortina ótica, pois o ciclo já se encerrou. Antes da lâmpada, por vezes o operador se antecipava e a máquina interrompia o ciclo que precisava ser repetido para aquela peça. Outras vezes o operador se atrasava ao retirar a peça perdendo tempo e fazendo aumentar o tempo de operação.

Com a lâmpada, através de uma linguagem simples, o operador é orientado quanto ao correto momento de retirada da peça já testada.

PASSO 5 : A melhoria na capacidade de produção da máquina 140 foi atingida pois o novo ciclo passou a ser de 30,2 s. O ciclo efetivo passou a ser de 35,1 s ( $30,2 \text{ s} / 0,86$ ). Este ciclo efetivo é capaz de atender ao *Takt time* necessário ao atendimento do cliente que é de 36,6s. Desta forma, a máquina 140 não é mais problema para o atendimento ao cliente.

#### 4.4 Considerações finais sobre a aplicação do Método Proposto.

Neste subitem serão descritos, nesta ordem, a verificação da eficácia do aumento de capacidade de produção pretendido com o Método Proposto, a observação de algumas tendências na distribuição das utilizações das iniciativas e as condições, características, vantagens e desvantagens encontradas durante a aplicação do Método Proposto.

Após a aplicação do Método Proposto, em cada um dos equipamentos que apresentava capacidade de produção insuficiente, foi possível levantar a nova realidade dos ciclos efetivos de produção. Esta nova realidade, após a utilização do Método Proposto, é apresentada na Figura 4.11.

É necessário calcular o ciclo efetivo de cada máquina para que ele possa ser comparado ao *Takt time* necessário ao atendimento total da demanda do cliente.

Como já calculado anteriormente, o *Takt time* necessário é de 36,6 s e o ciclo efetivo é o resultado da divisão do ciclo do equipamento pela eficiência geral do mesmo. O ciclo do equipamento, a eficiência geral e o ciclo efetivo de cada equipamento estão indicados na Tabela 4.10.

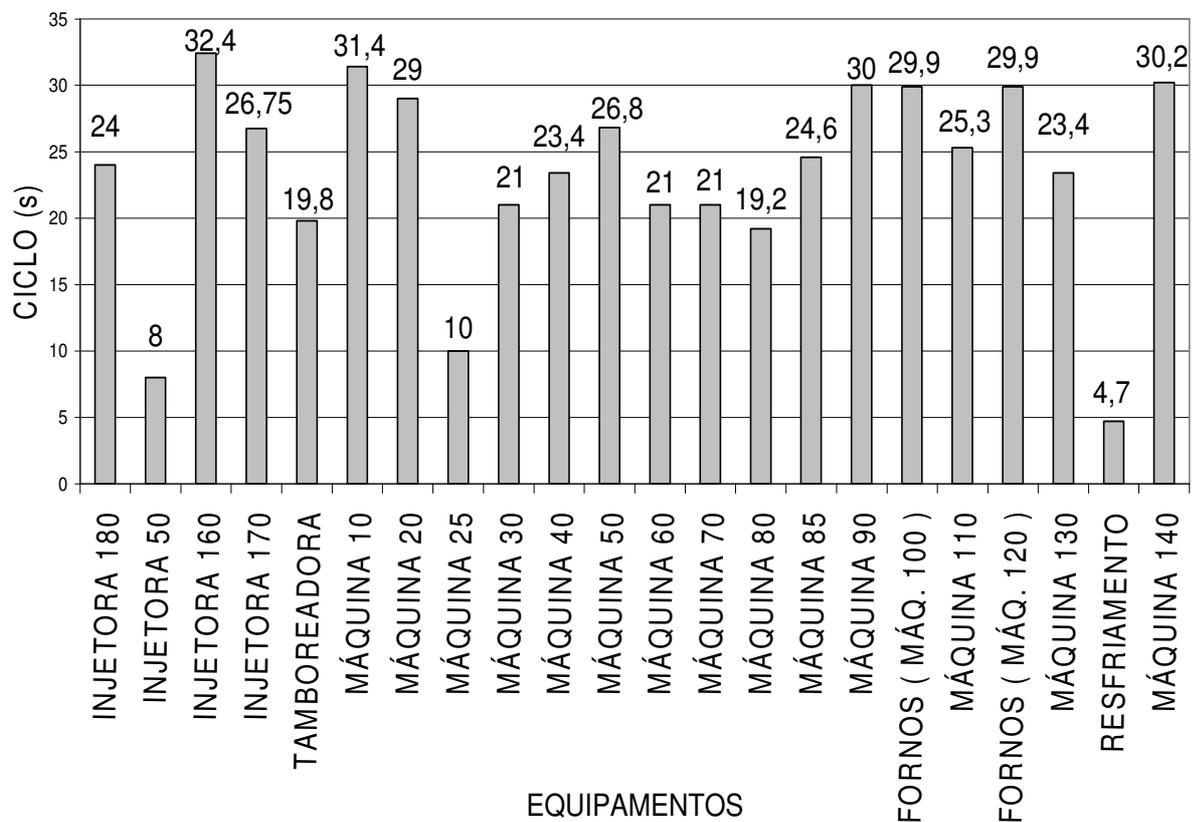


Figura 4.11 – Gráfico dos ciclos dos equipamentos após a aplicação do Método Proposto

Como todos os ciclos efetivos estão abaixo de 36,6 s (Takt time que precisa ser atendido) já é possível atender a demanda do cliente do ponto de vista dos equipamentos. Desta forma, o Método Proposto termina sua aplicação.

Algumas características puderam ser observadas nos resultados da aplicação do Método Proposto.

Tabela 4.10 – Ciclos efetivos após Método Proposto

MÁQUINA	CICLO DA MÁQUINA (s)	EFICIÊNCIA DO SEGMENTO (%)	CICLO EFETIVO DA MÁQUINA (s)
INJETORA 180	24,0	93	25,8
INJETORA 50	8,0	95	8,4
INJETORA 160	32,4	90	36,0
INJETORA 170	26,75	87	30,7
TAMBOREADORA	19,8	97	20,4
MÁQUINA 10	31,4	86	36,5
MÁQUINA 20	29,0	86	33,7
MÁQUINA 25	10,0	86	11,6
MÁQUINA 30	21,0	86	24,4
MÁQUINA 40	23,4	86	27,2
MÁQUINA 50	26,8	86	31,2
MÁQUINA 60	21,0	86	24,4
MÁQUINA 70	21,0	86	24,4
MÁQUINA 80	19,2	86	22,3
MÁQUINA 85	24,6	86	28,6
MÁQUINA 90	30,0	86	34,9
FORNOS (MÁQ. 100)	29,9	86	34,8
MÁQUINA 110	25,3	86	29,4
FORNOS (MÁQ. 120)	29,9	86	34,8
RESFRIAMENTO	23,4	86	27,2
MÁQUINA 130	4,7	86	5,5
MÁQUINA 140	30,2	86	35,1

A primeira delas é o número de iniciativas colocadas em prática de cada uma das técnicas, considerando todos os equipamentos tratados pelo Método Proposto. Esta distribuição das iniciativas por técnica utilizada é mostrada na Figura 4.12.

È possível observar: a concentração na técnica T13 - Redução do tempo de ciclo de processo, a ocorrência de utilização de outras técnicas em menor número e ainda técnicas que não foram utilizadas. Este quadro precisaria ser confirmado por um número maior de aplicações para ser verificado se realmente ele revela uma tendência. Este assunto pode ser um futuro tema de pesquisa.

O comportamento da distribuição de utilização das técnicas quanto ao fato de terem uma aplicação definitiva ou temporária é mostrado na Figura 4.13.

Não é possível verificar uma concentração de alguma das técnicas como tendo uma característica predominantemente definitiva ou temporária. Novamente esta característica precisaria ser confirmada por um número maior de aplicações para que seja verificado se realmente ela revela uma tendência. Este assunto pode ser estudado por futuros trabalhos.

Outra característica observada foi o número de técnicas que foram aplicadas em cada equipamento. Este comportamento é mostrado na Figura 4.14.

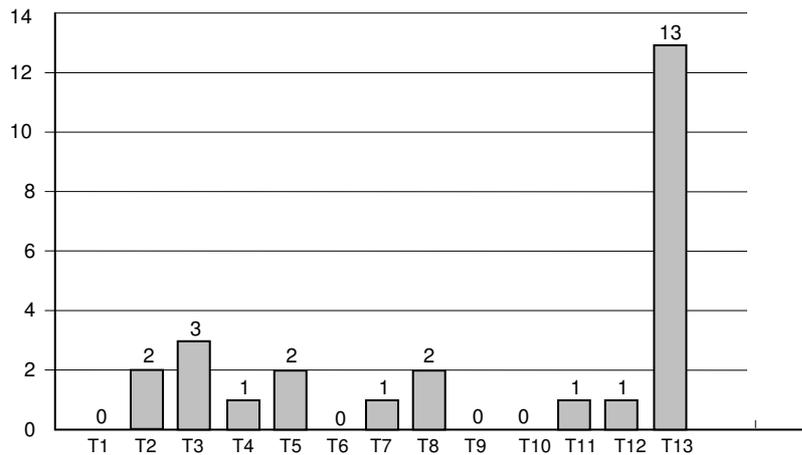


Figura 4.12 – Número utilizações das técnicas

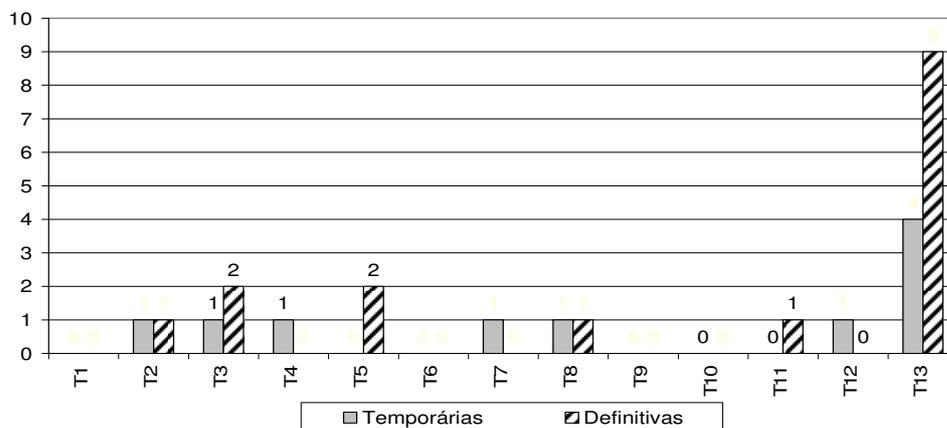


Figura 4.13 – Distribuição entre iniciativas temporárias e definitivas

É possível perceber uma tendência de maior número de técnicas utilizadas nos equipamentos INJETORA 160, MÁQUINA 30, MÁQUINA 60, MÁQUINA 110 E MÁQUINA 140 com relação aos equipamentos MÁQUINA 80 e FORNOS.

Esta tendência pode estar ligada à complexidade do equipamento e do processo envolvido, pois os equipamentos INJETORA 160, MÁQUINA 30, MÁQUINA 60, MÁQUINA 110 E MÁQUINA 140 têm estas características de maior complexidade com relação aos equipamentos MÁQUINA 80 e FORNOS.

Novamente esta característica é apenas uma observação, pois mais testes teriam que ser realizados para que verificações estatísticas pudessem confirmá-la, o que pode vir a ser estudado no futuro.

Na Tabela 4.11 é mostrada uma representação gráfica que mostra a distribuição das iniciativas tanto por equipamento como por tipo de técnica utilizada. Estas tendências podem ser temas de futuras pesquisas.

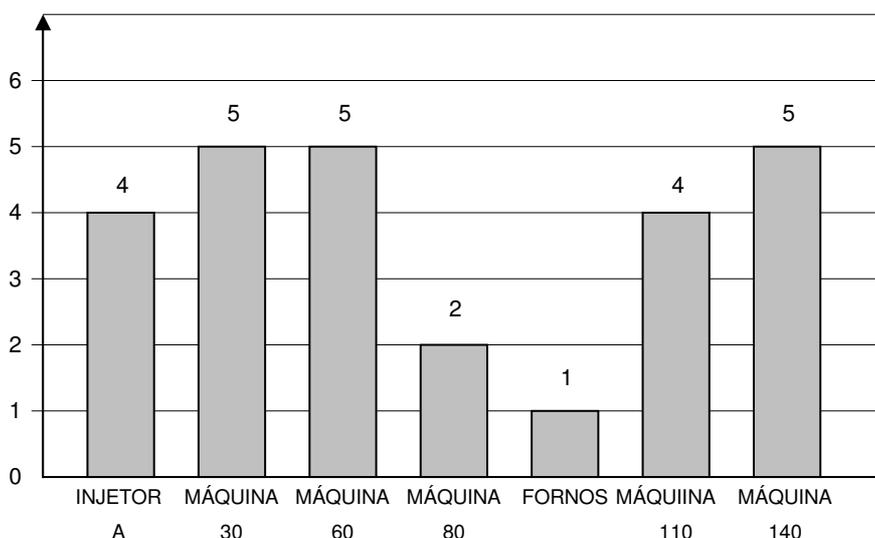


Figura 4.14 – Número de técnicas aplicadas em cada equipamento tratado

Quanto à utilização do Método proposto, outras características puderam ser observadas e serão descritas.

Uma limitação que pôde ser observada na utilização do Método Proposto foi a dependência do mesmo com relação ao nível de conhecimento do grupo que faz a análise. A lista de técnicas guia o grupo numa análise estruturada e sequencial, mas caberá ao grupo a detecção de como aquela técnica pode ser aplicada no equipamento analisado. O conhecimento sobre o equipamento e/ou processo e a criatividade do

Tabela 4.11 – Distribuição das iniciativas por máquina e tipo de técnica

EQUIPAMENTO								
TÉCNICA	INJETORA 160	MÁQUINA 30	MÁQUINA 60	MÁQUINA 80	FORNOS	MÁQUINA 110	MÁQUINA 140	TOTAL DE UTILIZAÇÕES
T1								0
T2	I	I						2
T3			I			I	I	3
T4	I							1
T5		I	I					2
T6								0
T7				I				1
T8			I	I				2
T9								0
T10								0
T11					I			1
T12		I						1
T13	I I	I I I	I I			I I I	I I I	13
TOTAL DAS TÉCNICAS	4	5	5	2	1	4	5	26

Grupo de Análise serão críticos para maximizar os resultados da aplicação do Método Proposto.

Um ganho que o Método Proposto incorporou à busca de melhoria de capacidade de produção foi a análise estruturada discutindo uma técnica de cada vez e explorando, se for o caso, mais de uma alternativa da mesma técnica. Anteriormente esta busca acontecia de forma espontânea e, na maioria das vezes, a solução era escolhida sem que todas as técnicas fossem consideradas.

Com o Método Proposto o Grupo de Análise é guiado a realizar uma avaliação comparativa de investimento, de tempo de colocação em prática e da dificuldade técnica das alternativas para então priorizá-las. Da forma como era feito anteriormente tudo isso era, por vezes, esquecido e toda a análise tinha que ser refeita pois uma alternativa escolhida era depois inviabilizada por um destes fatores.

De forma geral o Método Proposto se mostrou um bom guia para o grupo na estruturação da análise e na consideração dos aspectos mais importantes na escolha das alternativas. O Método Proposto também explicita a necessidade de adoção de alternativas temporárias quando as definitivas não podem ser operacionalizadas no prazo requerido.

Resumindo, o Método Proposto se mostrou adequado à utilização, atingindo seu propósito na aplicação prática realizada e mostrando ser um bom guia para análise e solução do problema de capacidade insuficiente que foi estudado.

## 5 Conclusão

Neste capítulo, primeiramente serão analisadas as questões que resumem o objetivo da pesquisa apresentadas no Capítulo 1. Na sequência serão descritas as ocorrências observadas na utilização do Método Proposto. Finalizando, serão apresentados temas que poderão ser utilizados em futuras pesquisas sobre o assunto tratado.

A avaliação das questões que resumem a pesquisa será iniciada pelas questões secundárias, passando para a principal..

As questões secundárias e respectivos comentários são:

➤ Como a Teoria das Restrições e demais temas disponíveis na literatura podem colaborar com técnicas de identificação e elevação da capacidade produtiva?

Quanto à identificação de um equipamento Gargalo em um sistema produtivo, a Produção Enxuta apresentou o Mapa de Fluxo de Valor, com o qual é possível identificar se a insuficiência de capacidade é um dos problemas do sistema produtivo.

A Manutenção Produtiva Total colaborou com o conceito da Eficiência Geral do Equipamento que possibilitou a identificação do Gargalo, considerando a situação de real utilização, isto é, operando com as ineficiências inerentes ao equipamento naquele momento.

A Produção Enxuta acrescentou o conceito de *Takt time* para trazer a demanda do cliente para a comparação com a capacidade de produção atual do sistema. E também a ferramenta Gráficos dos ciclos dos equipamentos e dos operadores que possibilitam a distinção entre um problema de capacidade devido aos equipamentos e um devido à mão de obra.

A Teoria das Restrições adicionou os conceitos de exploração da Restrição e subordinação à restrição, do Processo de Focalização de Cinco Etapas, na detecção de possibilidades de neutralizar a restrição imposta pelo Gargalo, sem necessidade de mudança das características do Gargalo.

Quanto à elevação da capacidade produtiva, a Teoria das Restrições traz, no Processo de Focalização de Cinco Etapas, a etapa de Elevação da Restrição, cujo conceito é exatamente o de aumentar a capacidade de produção de uma atividade.

➤ O que é apresentado, pela literatura, como técnicas de aumento da capacidade produtiva?

Uma série de referências bibliográficas traz técnicas de aumento da capacidade de um equipamento ou apontam a influência de determinados fatores sobre a capacidade de um equipamento. Quando é indicada a influência de determinado fator sobre a capacidade de produção, como consequência disso é possível identificar nas técnicas de melhoria deste fator técnicas de melhoria da capacidade produtiva.

Foram encontrados tanto citações das técnicas de aumento de capacidade como vários exemplos de aplicação nos quais as soluções adotadas revelam as técnicas utilizadas.

Os assuntos que mais proporcionaram textos sobre técnicas de aumento de capacidade foram: Teoria das Restrições (Processo de Focalização de Cinco Etapas) e Flexibilidade de Volume da Manufatura.

➤ Como a Teoria das Restrições e outros assuntos na literatura podem ser integrados à metodologia de padronização de atividades da Produção Enxuta para a identificação das restrições e formas de ação para o atendimento à necessidade de demanda dos clientes?

A forma encontrada foi a utilização da Produção Enxuta, através do Mapa de Fluxo de Valor para identificação da insuficiência de capacidade do equipamento, já considerando a Eficiência Geral dos Equipamentos (Manutenção Produtiva Total).

As Etapas de Exploração da Restrição e Subordinação do Sistema à Restrição foram utilizadas e necessárias para verificar a real necessidade de melhoria da Restrição, neste caso o Gargalo. Estes dois assuntos do Processo de Focalização de Cinco Etapas da Teoria das Restrições tratam da extração do melhor desempenho da restrição sem que ela seja modificada nas suas características específicas.

E por final as técnicas de elevação das restrições encontradas são aplicadas até que a restrição seja elevada.

A questão primária e respectivo comentário são:

➤ Como as ferramentas e mecanismos de aumento da capacidade produtiva de equipamentos apresentados na literatura podem ser reunidos numa sequência estruturada de aplicação para aumento da capacidade produtiva, na operação gargalo, em uma célula de manufatura em ambientes com variação de demanda a curto, médio e longo prazo?

O fluxo estabelecido foi de confirmação da necessidade de aumento de capacidade produtiva do equipamento e avaliação do quanto este ciclo necessita ser reduzido. Após isto,

um grupo de especialistas no processo e/ou equipamento se reúne para análise da situação tendo como guia uma lista de todas as técnicas de aumento de capacidades encontradas na literatura. Eles devem explorar as possibilidades de cada técnica e priorizá-las segundo o investimento, tempo de implementação e dificuldade técnica estimados. Na ordem de priorização as iniciativas devem ser executadas até que o aumento de capacidade necessário seja atingido.

Na aplicação foi constatada a necessidade de colocação em prática de iniciativas temporárias enquanto as iniciativas definitivas eram implementadas. Isto acontece principalmente nas exigências do cliente no curto prazo. A Figura 3.4 descreve esta sequência estruturada.

A variação de demanda pode ocorrer com aumento ou redução de demanda .

Na redução de demanda, o Método Proposto também pode ser necessário uma vez que, devido à necessidade de redução de custos fixos, podem ser estabelecidas novas condições de operação e estas podem conduzir a empresa a uma necessidade de aumento de capacidade de produção horária.

Respondidas as questões que resumem a pesquisa serão agora discutidas as características encontradas na utilização do Método Proposto.

Nos artigos pesquisados as técnicas de aumento de capacidade são utilizadas de forma espontânea, isto é, sem que sejam baseadas em uma forma estruturada de aplicação. As análises são descritas de forma desestruturada e ótimas oportunidades podiam não ser analisadas devido ao caráter de improvisado que tinha a análise. Sendo assim vários retornos à etapa de análise pode acontecer pois o grupo, depois de ter iniciado uma melhoria, poderá levantar uma possibilidade mais interessante sob algum aspecto. Assim o esforço já investido na melhoria anterior seria perdido e o tempo desperdiçado.

Com a utilização do Método Proposto na aplicação realizada o grupo de análise pôde estruturar a análise de todas as técnicas descritas no método. Desta forma, antes de iniciar a execução da melhoria ou melhorias escolhidas o grupo já analisou as alternativas viáveis, impactos relativos quanto ao investimento necessário, tempo de implementação e impacto na capacidade de produção.

Uma limitação do Método Proposto é a dependência do nível do conhecimento do Grupo de Análise com relação ao processo e detalhes do funcionamento do equipamento sob análise. O método guia o grupo para que todas as técnicas descritas sejam analisadas, mas a

descoberta de possibilidades de cada técnica no equipamento em questão dependerá do nível de conhecimento e criatividade do grupo.

O Método Proposto mostrou-se aplicável à situação pretendida e de fácil entendimento e utilização.

Na aplicação realizada foi possível observar uma concentração de aplicação das técnicas T13 – Redução do tempo de ciclo do processo, T3 – Avaliação do valor agregado, T5 – Compra de mais equipamentos, T8- Fabricação de parte ou totalidade da operação em outro equipamento da empresa e T2 – Modernizando. Em especial da técnica T13. A concentração da técnica T13 ocorreu nos equipamentos de processo mais complexo: INJETORA 160, MÁQUINAS 30, 60, 110 e 160. Esta concentração já não aconteceu nas máquinas de ciclo menos complexo: MÁQUINA 80 e FORNOS.

Outra característica que pode ser observada é que os equipamentos de processo mais complexo utilizaram 4 ou 5 técnicas para atingir a melhoria necessária enquanto os de processo menos complexo utilizaram 2 e 1 técnicas.

As observações dos dois últimos parágrafos não têm sustentação estatística, mas poderiam ser sugestões para futuros estudos sobre este tema.

Inicialmente o Método Proposto não tinha um caminho para a análise de técnicas temporárias que fossem aplicadas enquanto as técnicas definitivas, de maior tempo de implementação, eram colocadas em prática. Esta necessidade foi constatada na utilização do método na aplicação realizada e contribuiu para a adequação e o aperfeiçoamento do método. Desta forma a metodologia de Pesquisa pretendida e preponderante foi a da Pesquisa-Aplicada, mas como durante a aplicação do Método Proposto, este foi modificado devido a necessidades observadas durante a aplicação, têm-se também elementos da Metodologia de Pesquisa Pesquisa-Ação.

Como sugestões para futuras pesquisas apresentam-se:

- - Pesquisa buscando mais alternativas de técnicas de aumento de capacidade produtiva de um equipamento, para que sejam somadas às técnicas existentes no Método Proposto.

- - Aplicação do Método Proposto em diferentes ramos industriais e de serviços, como por exemplo: indústrias químicas, restaurantes, rede hospitalar, sistema de transporte, entre outras possibilidades.

➤ Criação de método novo ou adaptação do Método Proposto ao aumento de capacidade de operações que não envolvem um equipamento, como por exemplo, operações totalmente manuais, com conseqüente busca de técnicas com este propósito na literatura.

➤ Outra sugestão para futuros estudos é a detecção de quais técnicas são mais úteis para diferentes tipos de fabricação, tipos de equipamentos e grau de complexidade do processo. Esta parametrização poderia ser incluída no Método Proposto através de prioridade na análise das técnicas dependendo do tipo de equipamento a ser analisado. Ela serviria para chamar a atenção do Grupo de Análise para as técnicas que são mais empregadas no tipo de equipamento analisado. Uma possibilidade a ser explorada em futuras pesquisas poderia ser a incidência das diferentes técnicas de aumento de capacidade de produção em relação ao grau de maturidade do sistema de produção no qual são aplicadas. Esta maturidade refere-se ao nível de implementação dos conceitos de Produção Enxuta.

➤ Futuros trabalhos podem compor uma metodologia que contenha o método proposto indicado neste trabalho, mas também métodos que explorem as análises financeiras de retorno de investimento das iniciativas e do impacto sobre a estratégia da empresa quanto ao total atendimento da demanda do cliente.

## REFERÊNCIAS

- AHUJA, I.P.S.; KHAMBA, J.S. (2008). Total productive maintenance: literature review and directions. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.25, n.7, p.709-756.
- ALVAREZ, R. R.; ANTUNES JR, J. A. V. (2001). Takt-time: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção. **Gestão & Produção**, v.8, n.1, p.1-18.
- ANTUNES JR, J. A. V.; RODRIGUES, L. H. (1993). A Teoria das Restrições como Balizadora das Ações Visando a Troca Rápida de Ferramentas. **Revista Produção**, v.3, n.1, p.73-86.
- ANTUNES JR., J. A. V. (1998). **Em direção a uma teoria geral do processo na administração da produção**: uma discussão sobre a possibilidade de unificação da teoria das restrições e da teoria que sustenta a construção dos sistemas de produção com estoque zero. 1998. 401 p. Tese (Doutorado em Administração) – Escola de Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.
- ANTUNES JR., J. A. V. et al. (2008). **Sistemas de Produção**: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta. Porto Alegre: Bookman.
- BERNARDI, F. S. (2005). Do OPT à Teoria das Restrições: avanços e mitos. **Revista Produção**, v. 15, n. 2, p. 184-197, mai.
- BERNARDI, F. S. (2008). **TOC( Theory of Constraints)**: Conceitos Básicos. Disponível em: <[http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos\\_port/pag\\_conhec/TOC.html](http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_port/pag_conhec/TOC.html)>. Acesso em: 20 abr. 2008.
- BOYD, L.H.; GUPTA, M.C. (2004). Constraints management: What is the theory? . **International Journal of Operations & Production Management**, v.24, n.4, p.350-371.
- BOYLE, T. A. (2006) Towards Best management practices for implementing manufacturing flexibility. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.17, n.1, p.6-21.
- BOYLE, T. A.; SCHERRER, M. R. (2009). An empirical examination of the best practices to ensure manufacturing flexibility. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.20, n. 3, p.348-366.
- BRAGLIA, M. et al. (2009). Overall equipment effectiveness of a manufacturing line (OEEML). **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.20, n.1, p.8-29.
- BRYMAN, A. (1989). **Research Methods and Organization Studies**. New York: Routledge.

CAGLIANO, R.; SPINA, G. (2002). A comparison of practice-performance models between small manufactures and subcontractors. **International Journal of Operations & Production Management**, v.22, n.12, p.1367-1388.

CAPUTO, A. C.; PELAGAGGE, P. M. (2003). Manufacturing reengineering in tubular radiator production plant. **Integrated Manufacturing**, v.14, n.2, p.95-102.

\_\_\_\_\_. (2008). Capacity upgrade criteria of large-intensive material handling and storage systems: a case study. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.19, n.8, p.953-978.

CHASE, R. B. et al. (2006). **Administração da Produção para a Vantagem Competitiva**. Tradução de R. Brian Taylor. 10 ed. Porto Alegre: Bookman.

COLLINS, R. S.; SCHMENNER, R. W. (2007). Understanding persistently variable performance in plants. **International Journal of Operations & Production Management**, v.27, n.3, p.254-281.

CORBETT, T. (2005). **Bússola Financeira: o processo decisório da teoria das restrições**. São Paulo: Nobel.

CORRÊA, H. L. et al.(1997). **Planejamento, programação e controle da produção: MRP II/ERP: conceitos, uso e implantação**. São Paulo: Atlas.

CORRÊA, H.L.; CORRÊA, C. A. (2006). **Administração da Produção e Operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 2. ed. São Paulo: Atlas.

COUSENS, A. et al. (2009). A process for managing manufacturing flexibility. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 29, n. 4, p.357-385.

COX, J. F.; SPENCER, M. S. (2002). **Manual da Teoria das Restrições**. Tradução de Fernanda Kohmann Dietrich. Porto Alegre: Bookman.

DAVIS, M.M. et al. (2001). **Fundamentos da Administração da Produção**. Tradução de Eduardo D'Agord Schann et al.. 3. ed. Porto Alegre: Bookman.

DETTMER, H.W. (1997). **Goldratt's Theory of Constraints: a systems approach to continuous improvement**. Milwaukee: ASQC.

EHIE, I.; SHEU, C. (2005). Integrating six sigma and theory of constraints for continuous improvement: a case study. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.16, n.5, p.542-553.

ELLIOTT, J. (2008). **Hitting the bottleneck**. Disponível em:<<http://goldratt.com/hlthmgmtmn.htm>>. Acesso em: 13 Apr. 2008.

FERNANDES, F.C.F. et al. (2009). A Proposal for integrating production control and quality control. **Industrial Management & Data Systems**, v.109, n.5, p.683-707.

- FLOGLIATTO, F.S.; FAGUNDES, P.R.M. (2003). Troca rápida de ferramentas: proposta metodológica e estudo de caso. **Gestão de Produção**, v.10, n.2, p.163-181, ago.
- GOLDRATT, E.M. (1991). **A Síndrome do palheiro**: garimpando informação num oceano de dados. Tradução de Claudiney Fullmann. São Paulo: Uducator.
- GOLDRATT, E.M.; COX, J. (1990). **A Meta**. Tradução de Claudiney Fullmann. 4.ed. São Paulo: IMAM.
- GRUNBERG, T. (2003). A Review of improvement methods in manufacturing operations. **Work Study**, v.52, n.2, p.89-93.
- GUERREIRO, R. (1999). **A Meta da empresa**: seu alcance sem mistérios. 2.ed. São Paulo: Atlas.
- GUNASEKARAN, A. et al. (2000). Improving operations performance in a small company: a case study. **International Journal of Operations & Production Management**, v.20, n.3, p.316-335.
- GUNN, B.; NAHAVANDI, S. (2000). Determining the optimum level of work in progress using constraint analysis and computer simulation. **Assembly Automation**, v.20, n.4, p.305-312.
- GUPTA, M.C.; BOYD, L.H. (2008). Theory of constraints: a theory for operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v.28, n.10, p.991-1012.
- HALES, D.N. et al. (2006). Prioritizing tactical quality improvement. **International Journal of Operations & Production Management**, v.26, n.8, p.866-881.
- HARRINGTON, H.J. (1993). **Aperfeiçoando processos empresariais**: estratégia revolucionária para o aperfeiçoamento da qualidade, da produtividade e da competitividade. Tradução de Luiz Liske. São Paulo: Makron Books.
- HELO, P. (2004). Managing agility and productivity in the electronics industry. **Industrial Management & Data Systems**, v.104, n.7, p.567-577.
- HINES, P. et al. (2004). Learning to evolve: a review of contemporary lean thinking. **International Journal of Operations & Production Management**, v.24, n.10, p.994-1011.
- INGEMANSSON, A.; BOLMSJO, G.S. (2004). Improved efficiency with production disturbance reduction in manufacturing systems based on discrete-event simulation. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.15, n.3, p.267-279.
- INGEMANSSON, A. et al. (2005). Reducing bottle-neck in a manufacturing system with automatic data collection and discrete-event simulation. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.16, n.6, p.615-628.

- INMAN, R.A. et al. (2009). Analysis of the relationships among TOC use, TOC outcomes, and organizational performance. **International Journal of Operations & Production Management**, v.29, n.4, p.341-356.
- JACK, E.P.; RATURI, A. (2002). Sources of volume flexibility and their impact on performance. **Journal of Operations Management**, v.20, n.5, p.519-548.
- LASA, I.S. et al. (2008). An Evaluation of the stream mapping tool. **Business Process Management Journal**, v.14, n.1, p.39-52.
- LEE-MORTIMER, A. (2006). A Lean route to manufacturing survival. **Assembly Automation**, v.26, n.4, p.265-272.
- LIKER, J.K. (2005). **O Modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Tradução de Lene Belon Ribeiro. Porto Alegre: Bookman.
- LJUNGBERG, O. (1998). Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities. **International Journal of Operations & Production Management**, v.18, n.5, p.495-507.
- MABIN, V.J.; BALDERSTONE, S.J. (2003). The Performance of the theory of constraints methodology. **International Journal of Operations & Production Management**, v.23, n.6, p.568-595.
- MAHR, C. (2000). Beyond the standard cycle: increasing total work cell productivity by optimizing robot placement and other key performance influencers. **Industrial Robot: a international journal**, v.27, n.5, p.334-337.
- MOELLMANN, A.H. et al. (2006). Aplicação da teoria das restrições e do indicador de eficiência global do equipamento para melhoria de produtividade em uma linha de fabricação. **Revista Gestão Industrial**, v.2, n.1, p.89-105, jan./mar.
- MORTIMER, J. (2007). GMM Luton examines the case for more robots to boost van output. **Assembly Automation**, v.27, n.2, p.103-108.
- MOTWANI, J.; VOGELSANG, K. (1996). The Theory of constraints in practice-at Quality Engineering, Inc. **Managing Service Quality**, v.6, n.6, p.43-47.
- NACHIAPPAN, R.M.; ANANTHARAMAN, N. (2006). Evaluation of overall line effectiveness (OLE) in a continuous product line manufacturing system. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.17, n.7, p.987-1008.
- NISSON, C.H.; NORDAHL, H. (1995a). Making manufacturing flexibility operational- part1: a framework. **Integrated Manufacturing Systems**, v.6, n.1, p.5-11.
- \_\_\_\_\_. (1995b). Making manufacturing flexibility operational- part 2: distinctions and an example. **Integrated Manufacturing Systems**, v.6, n.2, p.4-10.

OLHAGER, J.; WEST, B.M. (2002). The House of flexibility: using the QFD approach to deploy manufacturing flexibility. **International Journal of Operations & Production Management**, v.22, n.1, p.50-79.

PEGELS, C.C.; WATROUS, C. (2005). Application of the theory of constraints to a bottleneck operation in a manufacturing plant. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.16, n.3, p.302-311.

PERIN, P. C. (2005). **Metodologia de padronização de uma célula de fabricação e de montagem, integrando ferramentas de produção enxuta**. 2005. 228 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

PETRONI, A.; BEVILACQUA, M. (2002). Identifying manufacturing flexibility best practices in small na medium enterprises. **International Journal of Operations & Production Management**, v.22, n.8, p.929-947.

REALI, L. P. P. (2006). Um modelo de aplicação dos elementos da manufatura enxuta baseado na técnica de eventos kaizen: estudo e análise de casos em uma empresa de autopeças. 2006. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

REID, R.A. (2007). Applying the TOC Five step focusing process in the service sector. **Managing Service Quality**, v.17, n.2, p.209-234.

RODRIGUES, I.A. (2006). **Implementação de técnicas da produção enxuta numa empresa de manufatura do setor eletroeletrônico**. 95 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

ROTHER, M.; SHOOK, J. (2003). **Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar desperdício**. Tradução de José Roberto Ferro e Telma Rodrigues. São Paulo: The Lean Enterprise Institute.

SAMPIERI, R.H. et al. (2006). **Metodologia de Pesquisa**. Tradução de Fátima Conceição Murad et al.. 3.ed. São Paulo : McGraw-Hill.

SARMIENTO, R. et al. (2007). Delivery reliability, manufacturing capabilities and new models of manufacturing efficiency. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.18, n.4, p.367-386.

SHINGO, S. (2000). **Sistema de troca rápida de ferramenta: uma revolução nos sistemas produtivos**. Porto Alegre: Bookman.

SILVA, E.L.; MENEZES, E.M. (2000). **Metodologia da pesquisa e elaboração da dissertação**. 118 p. Dissertação ( Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

SIVASUBRAMANIAN, R. et al. (2003). Utilization of bottleneck resources for profitability through a synchronized operation of marketing and manufacturing. **Integrated Manufacturing Systems**, v.14, n.3, p.238-246.

SLACK, N. et al. (2002). **Administração da produção**. Tradução de Maria Teresa Corrêa de Oliveira e Fábio Alher. 2.ed. São Paulo: Atlas.

SUGAI, M. et al. (2007). Metodologia de Shigeo Shingo ( SMED ): análise crítica e estudo de caso. **Gestão e Produção**, v.14, n.2, p.323-335, maio/ago.

TAJ, S.; BERRO, L. (2006). Application of constrained management and lean manufacturing in developing best practices for productivity improvement in auto-assembly plant. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v.55, n.3/4, p.332-345.

THIOLLENT, M. (2000). **A Metodologia da pesquisa-ação**. 10.ed. São Paulo: Cortez.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. (1998). **A Mentalidade enxuta nas empresas**: elimine o desperdício e crie riquezas. Tradução de Ana Beatriz Rodriguez e Priscilla Martins Celeste. 3.ed. Rio de Janeiro: Campus.

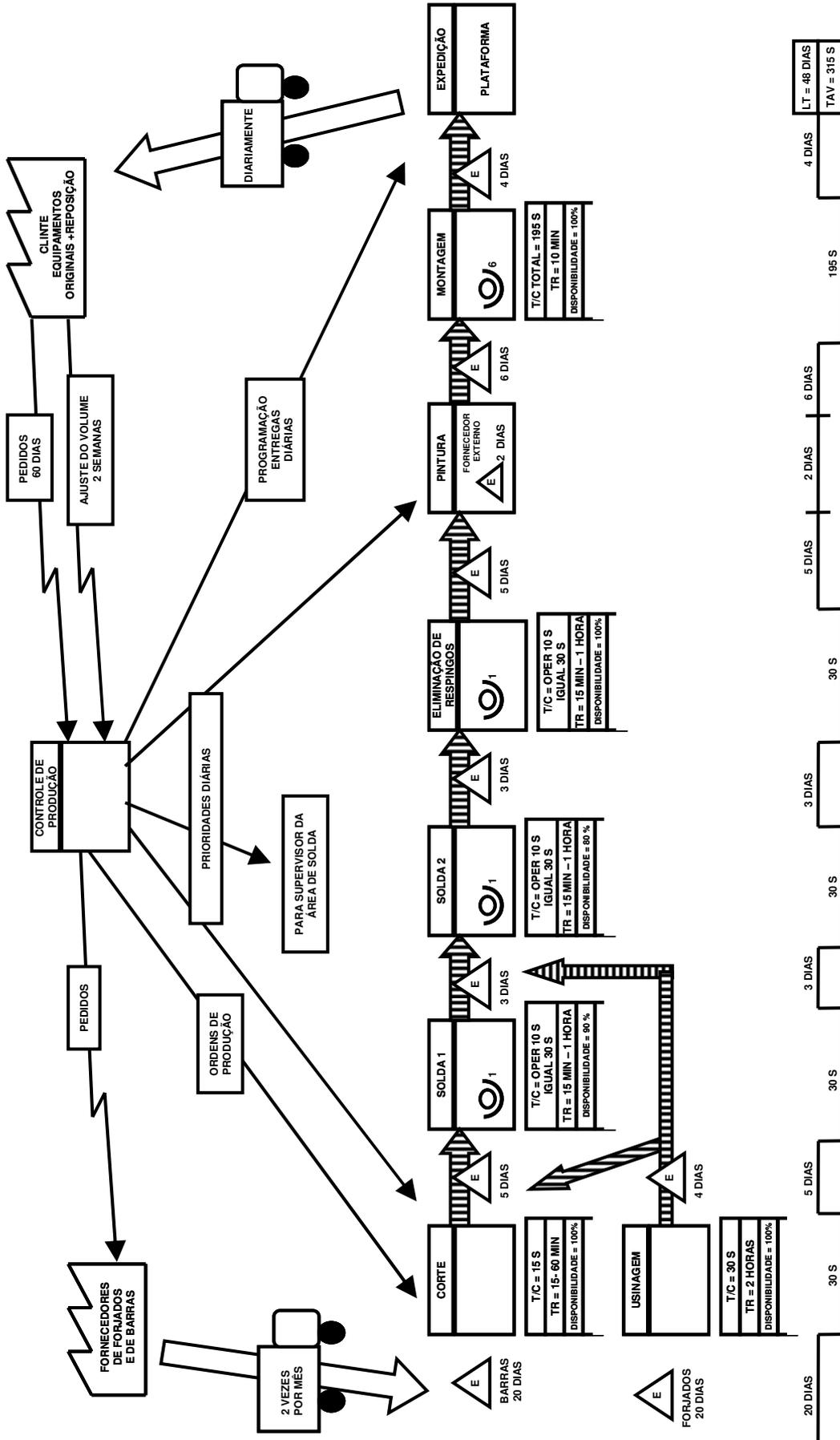
WOMACK, J. P. et al. (1992). **A Máquina que mudou o mundo**. Tradução de Ivo Korytovski. 3.ed. Rio de Janeiro: Campus.

YIN, R.K. (1994). **Estudo de caso – planejamento e métodos**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman.

## APÊNDICES

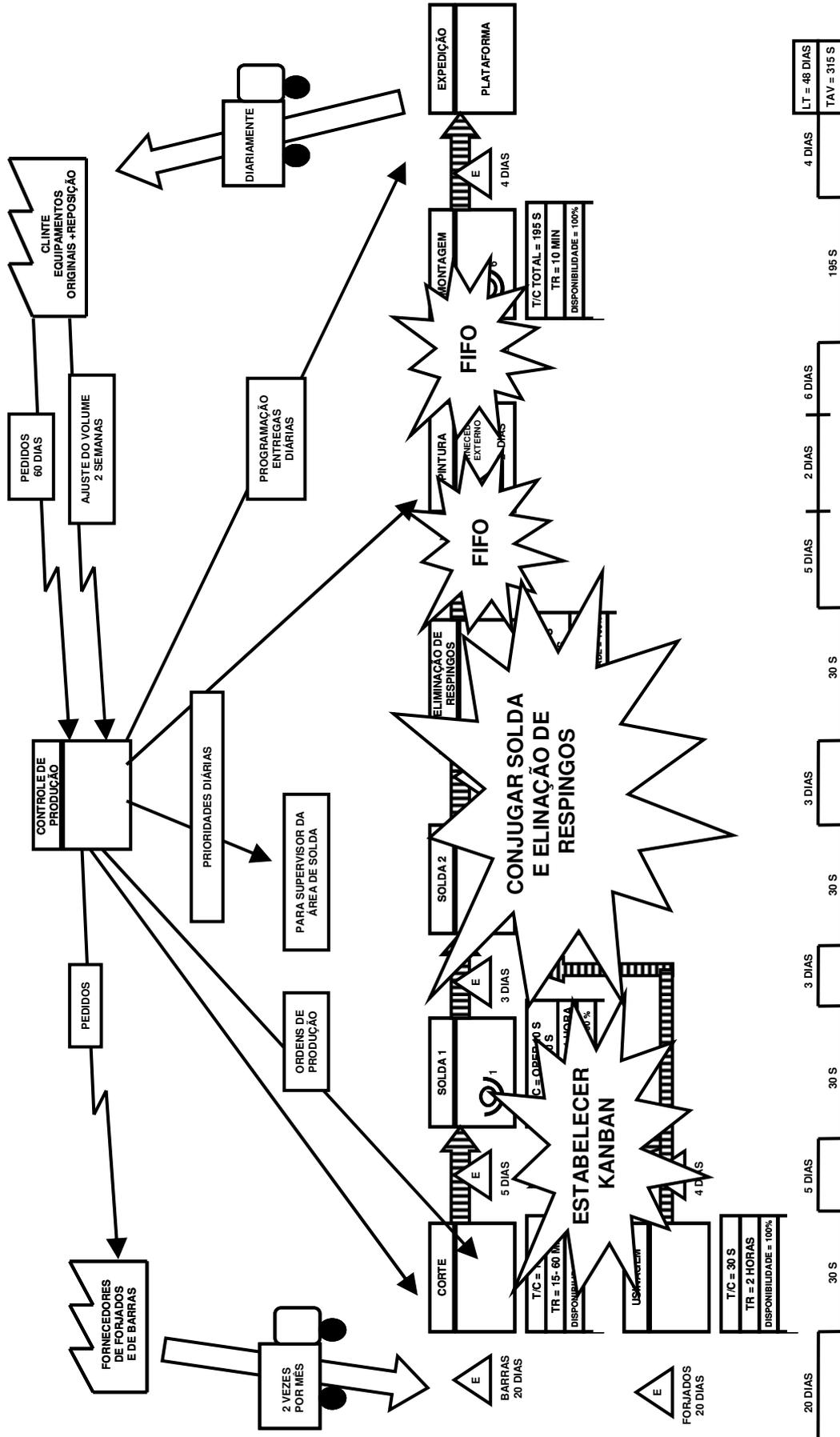
## APÊNDICE A

### Exemplo de Mapa do Fluxo de Valor Do Estado Atual



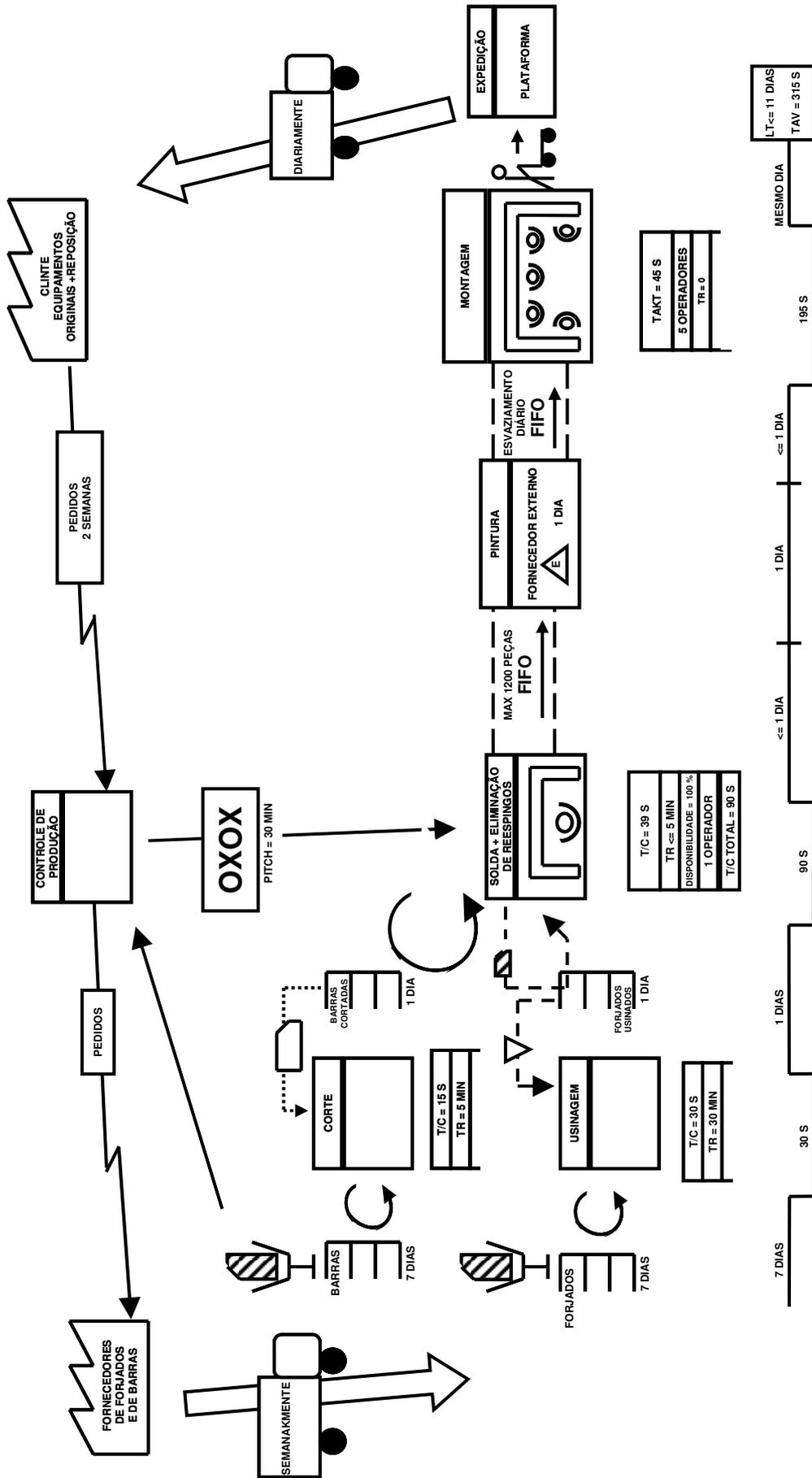
## APÊNDICE B

Exemplo de Mapa do Fluxo de Valor  
Do Estado Atual com as Oportunidades em  
Destaque



## APÊNDICE C

### Exemplo de Mapa do Fluxo de Valor Do Estado Futuro



## APÊNDICE D

Planilha de Priorização ainda não preenchida

Tipo de Iniciativa	Descrição da Iniciativa	É aplicável ?	Tempo para viabilização	Investimento Necessário	Dificuldade Técnica	Estimativa do Impacto	Ordem de execução
T1							
T2							
T3							
T4							
T5							
T6							
T7							
T8							
T9							
T10							
T11							
T12							
T13							

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)