

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
PAULO ROGERIO CAMARGO

**IMPLEMENTAÇÃO DE TÉCNICAS DA TEORIA DAS
RESTRICÇÕES E DA MENTALIDADE ENXUTA:
Estudo de Caso em uma Empresa Automobilística**

Taubaté – SP

2012

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
PAULO ROGERIO CAMARGO

**IMPLEMENTAÇÃO DE TÉCNICAS DA TEORIA DAS
RESTRICÇÕES E DA MENTALIDADE ENXUTA:
Estudo de Caso em uma Empresa Automobilística**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Chaves

Taubaté – SP

2012

PAULO ROGERIO CAMARGO

IMPLEMENTAÇÃO DE TÉCNICAS DA TEORIA DAS RESTRICÇÕES E DA MENTALIDADE ENXUTA: Estudo de Caso em uma Empresa Automobilística

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica do Programa de Mestrado Profissional do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Produção Mecânica

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Chaves

Data: 21/12/2012

Resultado: Aprovado

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Alberto Chaves

Universidade de Taubaté

Assinatura:

Prof. Dr. José Glenio Medeiro de Barros

Universidade de Taubaté

Assinatura:

Prof. Dr. Antonio Henriques Araújo Junior
Janeiro

Universidade Estadual do Rio de Janeiro

Assinatura:

Dedico este trabalho à minha querida esposa Cristina Ohara Camargo e a minha filhinha Natália Sayuri Ohara Camargo.

Aos meus pais Benedito (*in memoriam*) e Francisca Aparecida Camargo, que não pouparam esforços para poder dar a seus filhos, o grande apreço pelo saber.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Chaves meu orientador, que acreditou e me ajudou para que esse projeto tornar-se realidade, com o qual compartilho a autoria deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Giorgio Eugênio Oscare Giacaglia, fundador e ex-coordenador do Programa de Mestrado de Engenharia de Produção Mecânica, por mais esta conquista.

Aos professores Dr. José Glenio Medeiros de Barros, Artur Henrique Moellmann, Wailton Carvalho, que sempre me apoiaram e contribuíram com a descrição desta dissertação por meio de empréstimos de livros, revisões e conselhos.

Aos professores e funcionários da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade de Taubaté, que contribuíram direta ou indiretamente na execução desta dissertação, em especial para a senhora Helena Fiorio, a qual sempre gentilmente me atendeu com alegria e com presteza realizava o que era para “ontem”.

Aos amigos do curso de Mestrado, em particular para meus companheiros de grupo de estudo, apresentações e realizações de artigos: Marcelo Rebouças de Assis, Elvio Sakai, Paula Lotufo, Waldir Aguiar dos Santos, Marcelo Vianello, Arnulpho Alves de Souza Junior, Wilson Tanaka, Fernando Bitencourt e Edson Teixeira de Araújo pelo apoio, motivação e pelas lições valiosas que deixaram para minha vida.

Mas acima de tudo, agradeço a Deus por ter me colocado entre pessoas tão especiais, concedendo forças necessárias para superar todos os obstáculos que surgiram e a graça de participar deste momento.

RESUMO

A necessidade de melhorar a competitividade e de atingir metas e objetivos, dentro de uma empresa, faz com que estudos como este sejam, cada vez mais úteis. A eliminação de desperdícios é uma das principais atividades que contribuem para alcançar melhores resultados, pois além de proporcionar a redução no custo total de fabricação de peças e dos serviços prestados, eliminam também, atividades que não agregam valor ao produto, atividades estas, que os consumidores não estão dispostos a pagar. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo demonstrar um estudo real da implantação de técnicas da Teoria das Restrições “TOC”, aliado a utilização da Mentalidade Enxuta “*Lean Manufacturing*”, como ferramentas para eliminação de desperdícios, aumento da produtividade e estabilidade do processo no departamento de Carrocerias de uma indústria automobilística. Num primeiro momento foi analisado o processo produtivo como: os índices da Eficiência Global dos Equipamentos (OEE), balanceamento de cargas de trabalhos e o layout fabril, onde se pode observar várias oportunidades de melhorias como: identificação dos gargalos que restringiam o fluxo produtivo; redução dos lotes de produção em processo; redução do *takt time*; alterações de *layout* e aumento da produtividade. A partir daí, foi possível aplicar ações para melhoria do desempenho do processo produtivo, tanto na implementação das ferramentas, como na melhoria contínua. Os resultados obtidos evidenciaram que a correta utilização das técnicas da Teoria das Restrições integradas aos conceitos do *Lean Manufacturing*, podem gerar ganhos substanciais em competitividade, inclusive com a superação das metas da organização, conforme foi verificado no presente estudo.

Palavras-chave: Teoria das Restrições. Manufatura Enxuta. Indústria Automobilística.

ABSTRACT

The need to improve competitiveness and achieve goals and objectives within a company, makes studies like this are increasingly useful. Waste disposal is one of the main activities that contribute to achieving better results, as well as providing a reduction in the total cost of manufacturing parts and services, also eliminate activities that do not add value to the product, these activities, which consumers are unwilling to pay. In this context, this paper aims to demonstrate an actual study deployment techniques Theory of Constraints "TOC", combined with the use of Lean Thinking "Lean Manufacturing" as tools to eliminate waste, increase productivity and process stability Bodies department in an automobile. At first we analyzed the production process as indices of Overall Equipment Efficiency (OEE), balancing workloads and factory layout, where you can observe several opportunities for improvements such as: identification of bottlenecks restricting the production flow; reduction of production batches in process, takt time reduction; layout changes and increased productivity. From there, it was possible to implement actions to improve the performance of the production process, both in the implementation of tools such as continuous improvement. The results showed that the use of correct techniques Theory of Constraints integrated the concepts of Lean Manufacturing can generate substantial gains in competitiveness, including overcoming the goals of the organization, as was found in this study.

Keywords: Theory of Constraints. Lean Manufacturing. Automotive Industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Peugeot type 3 de 3,5 HP.....	22
Figura 2 - Cronologia da Indústria Automobilística do Brasil.....	25
Figura 3 - A indústria automobilística brasileira em 2004 e 2005.....	26
Figura 4 - Regras de Programação da TOC.....	29
Figura 5 - Processo simples com uma única restrição.....	32
Figura 6 - O método de focalização do TOC em 5 etapas.....	35
Figura 7 - Analogia entre as marchas militares e a subordinação do sistema ao seu recurso restritivo de capacidade (RRC).....	36
Figura 8 - O Sistema Toyota de Produção e os sete tipos de perdas.....	39
Figura 9 - A imagem básica da produção lean.....	40
Figura 10 - A imagem completa da produção lean.....	41
Figura 11 - Inventário mínimo padronizado e buffer	42
Figura 12 - Folha de Instrução de Trabalho Padronizado.....	43
Figura 13 - Folha de tomada de tempos.....	44
Figura 14 - Tabela de combinação de trabalho padronizado.....	45
Figura 15 - Linhas do gráfico de combinação do trabalho padronizado.....	46
Figura 16 - Pilares do TPM.....	47
Figura 17 - As doze etapas para implementação do TPM.....	48
Figura 18 - Índice de Performance Global – Relação entre as 7 grandes perdas..	49
Figura 19 - Coleta de dados para análise de gargalos.....	51
Figura 20 - Diferença entre a produção tradicional com a produção nivelada.....	53
Figura 21 - Os três tipos de atuação dos dispositivos poka-yokes.....	55
Figura 22 - Utilização do sistema andon para comunicar anomalia.....	56
Figura 23 - Layout dos departamentos produtivos.....	59

Figura 24 - Capacidade produtiva do veículo “X”	64
Figura 25 - Layout da célula gargalo.....	65
Figura 26 - Estudo de Tempo – Complementação Final.....	66
Figura 27 - Gráfico de aproveitamento – Complementação Final.....	66
Figura 28 - Layout da célula gargalo.....	67
Figura 29 - Diário de Bordo – Robô Op. 14 – Complementação Final.....	68
Figura 30 - Novo layout e balanceamento das operações.....	69

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - I.T.O. (Índice de Tempo Operacional).....	50
Equação 2 - I.P.O. (Índice da Performance Operacional).....	50
Equação 3 - I.P.A. (Índice de Produtos Aprovados).....	51
Equação 4 - Takt-time.....	53

LISTA DE SIGLAS

- ATT - Actual Takt Time (Tempo de ciclo atual)
- A.V. - Tempo que “agrega valor”
- CKD - Completely Knock-Down ou Complete Knock-Down (item completamente desmontado)
- GR - Gerenciamento das Restrições
- JIPM - Japan Institute of Plant Maintenance (Instituto Japonês de Engenheiros de Fábrica)
- JIT - Just in Time (no momento certo)
- MCBF - Mean Cycles Between Failure (ciclo médio entre falhas) ,
- MIT - Massachusetts Institute of Technology (Instituto Massachusetts de Tecnologia)
- N.A.V. - Tempo que “não adiciona valor” ao produto ou serviço
- MPS - Master Production Schedule (Plano Mestre de Produção)
- MTTR - Mean Time To Repair (tempo médio para reparo do equipamento)
- OEE - Overall Equipment Effectiveness (eficiência geral do equipamento)
- OPT - Optimized Production Timetables (software de sistema de programação de produção)
- TOC - Theory of Constraints (teoria das restrições)
- TPC - Tambor (drum), Pulmão (buffer) e Corda (rope)
- TPM - Total Productive Maintenance (manutenção produtiva total)
- TT - Takt Time (tempo de ciclo ajustado a demanda do cliente)

SUMÁRIO

Resumo.....	05
Abstract.....	06
Lista de Figura.....	07
Lista de Quadros.....	09
Lista de Equações.....	10
Glossário e Siglas Utilizadas.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 O PROBLEMA.....	16
1.2 OBJETIVOS.....	17
1.2.1 Objetivo Geral.....	17
1.2.2 Objetivo Específico.....	17
1.3 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	17
1.4 RELEVÂNCIA DO ESTUDO.....	18
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	19
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	21
2.1 A INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA BRASILEIRA.....	21
2.1.1 Estratégias para Aumento de Produtividade.....	27
2.2 TEORIA DAS RESTRIÇÕES.....	27
2.2.1 Escolha de Projetos Baseada no Rendimento.....	31
2.2.2 Programação Tambor – Pulmão – Corda (TPC)	35
2.3 MANUFATURA ENXUTA.....	37
2.3.1 O Sistema Toyota de Produção.....	37
2.3.2 Estabilidade e Padronização.....	42

2.3.2.1 Trabalho Padronizado.....	43
2.3.2.2 Manutenção Total Produtiva “TPM”.....	46
2.3.2.3 Eficiência Global dos Equipamentos “OEE”.....	49
2.3.3 A Filosofia da Manufatura Just-in-Time e Jidoka.....	52
2.3.4 Flexibilidade da Mão de Obra “Shojinka”.....	57
3 CONTEXTO HISTÓRICO DO ESTUDO.....	59
4 METODOLOGIA.....	61
4.1 TIPO DE PESQUISA.....	61
4.2 TRATAMENTO DOS DADOS.....	62
4.3 APLICANDO AS TÉCNICAS DA TOC E DO LEAN.....	63
5 CONCLUSÃO.....	71
REFERÊNCIAS.....	72
GLOSSÁRIO.....	75

1 INTRODUÇÃO

O processo de globalização, também chamado inicialmente de internacionalização ou criação de um mercado mundial, fez com que a indústria automobilística mundial passasse por importantes transformações nos seus sistemas de manufatura nas últimas décadas, devido ao aumento da escala global da concorrência neste segmento.

No Brasil a necessidade destas transformações não foi diferente, pois a partir de 1992, com a abertura da economia, redução das alíquotas de importação e a implantação de novas indústrias, onde as quatro fabricantes tradicionais de veículos (GM, Fiat, Ford e Volkswagen), passaram a dividir espaço com dezessete novas montadoras, que instalaram de forma progressiva uma ou mais fabricas no país, além de novas entrantes que anunciaram que em 2013 construirão fabricas no Brasil, obrigando assim, as empresas tradicionais a remodelarem suas estratégias, baseadas nos conceitos de eliminação de desperdícios, redução de custos, melhoria da qualidade, aumento da produtividade e desenvolvimento de veículos globais.

Dentro deste contexto o presente trabalho se faz oportuno. Ele tem como objetivo demonstrar um estudo real da implantação de técnicas da *TOC* (Teoria das Restrições) e da Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*), como ferramentas para eliminação de gargalos, visando o aumento da produtividade de um modelo de veículo no departamento de Carrocerias de uma indústria automobilística, para o atendimento da demanda externa do país.

1.1 O PROBLEMA

No final da década de 70 e no início dos anos 80, a manufatura japonesa desencadeou uma revolução global, por meio de sua eficácia operacional, atribuídas pelos baixos custos e a alta qualidade de seus produtos oferecidos, levando empresas americanas à perda de fatias de seu mercado e, conseqüentemente a imitarem práticas de gestão da qualidade total e processos de melhoria contínua das empresas japonesas. Porém, as empresas americanas descobriram mais tarde, que para se tornarem competitivas não bastava somente imitar táticas operacionais, pois mesmo com implementações bem-sucedidas, nem sempre ocorreu aumento da lucratividade (GAITHER e FRAZIER, 2001, apud CAMARGO, 2006, p. 27).

Porter (1999, *apud* GAITHER e FRAZIER, 2001, p.24) considera que “o problema fundamental é a falta de distinção entre eficácia operacional e estratégia”.

O autor complementa sua consideração com a seguinte afirmação: “eficácia operacional é a capacidade de executarmos atividades de operações similares melhores que nossos concorrentes”.

Neste contexto, faz-se necessária a reflexão de que não basta uma empresa obter somente eficácia operacional, pois com o decorrer do tempo, seus concorrentes irão imitar suas técnicas, anulando sua superioridade.

Como então estabelecer uma vantagem competitiva contínua?

Uma das respostas para esta questão é a criação de estratégias de investimentos em treinamentos e formação dos funcionários, aplicação consistente de ferramentas que tornem a empresa mais flexível, capazes de

inovarem e se adaptarem às novas demandas, para poder oferecer produtos de qualidade a preços competitivos.

Porter (1999, p. 96), cita ainda que a maioria das indústrias japonesas, após uma década de ganhos por meio da eficácia operacional, passaram a ter retornos decrescentes e conseqüentemente precisaram implantar estratégias para continuarem competindo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo central desta dissertação consistiu na busca da redução de desperdícios, eliminação de gargalos e o aumento da produtividade nos processos de um veículo denominado “X” no departamento de Carrocerias de uma indústria automobilística, para atendimento do aumento da demanda de seu mercado externo. Para tanto, dentre os conceitos e as ferramentas existentes, utilizou-se os conceitos e técnicas da Teoria das Restrições e da Manufatura Enxuta.

1.3.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos têm-se:

- Aprofundar o conhecimento sobre a metodologia de aplicação e a convergência das técnicas da Teoria das Restrições e da Manufatura Enxuta, para a melhoria do desempenho do processo produtivo da empresa;

Aplicar as ferramentas e técnicas da metodologia escolhida, como: identificação dos gargalos que restringiam o fluxo produtivo, balanceamento de cargas de trabalho, redução do *takt time*, alterações de layout e redução dos lotes de produção em processo para o aumento da produtividade.

1.4 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O trabalho limitou-se a análise do processo produtivo na área de Carroceria de uma indústria automobilística, por meio da aplicação de técnicas da Teoria das Restrições (TOC) e dos conceitos da Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*) para atendimento dos objetivos de aumento da produtividade e o aperfeiçoamento contínuo da empresa.

Cabe ressaltar que, por questões de confidencialidade das informações, não foi divulgado neste trabalho o nome da célula estudada, assim como das peças produzidas e do veículo produzido, o qual foi denominado de “X”.

1.5 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

A relevância do estudo pode ser exemplificada pela contribuição dada pela aplicação das técnicas da Teoria das Restrições e do *Lean Manufacturing*, ao mundo corporativo, e está cada vez mais se tornando peça fundamental para a sustentabilidade das empresas em termos de competitividade, qualidade, custo, redução de *lead time*, agilidade e flexibilidade, para tanto pode-se verificar na revisão de literatura, relatos por autores renomados que atuaram na implementação destas técnicas em empresas dos mais variados setores.

Vale destacar, é que o estudo foi realizado na indústria automobilística, sendo conhecida como uma das principais atividades econômica do país.

Portanto, se faz relevante oferecer a empresa estudada, a metodologia de análise e aplicabilidade das ferramentas para eliminação de gargalos com base acadêmica, além de sugerir ações para desdobramentos posteriores, para melhoria contínua.

1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho foi estruturado em cinco capítulos, cujos conteúdos resumidos encontram-se a seguir:

O Capítulo 1 apresenta a introdução e suas subseções com descrição da natureza e da importância que se deu à realização deste trabalho; seus objetivos principais e específicos; a delimitação do estudo com ressalvas para o que não se contempla na relevância do estudo; e, por fim, a organização do trabalho com sua estruturação.

O Capítulo 2 aborda a revisão de literatura, com fundamentações teóricas que contribuíram para avaliação e formulação de planos de ação para solução dos problemas levantados.

O Capítulo 3 descreve a metodologia aplicada, indicando o tipo de pesquisa utilizado, seu universo e amostra, coleta de dados, o tratamento dos dados e sua cronologia.

O Capítulo 4 apresenta a pesquisa-ação desenvolvida na indústria automobilística, com a aplicação dos princípios da Teoria das Restrições, para análise de rendimento do departamento de Carroceria e o desempenho

produtivo do veículo “X” em conjunto com a formulação de estratégias para a aplicação dos conceitos da Manufatura Enxuta, para estabilidade do processo e atendimento aos objetivos do presente trabalho.

O Capítulo 5 traz a sua conclusão e os possíveis desdobramentos posteriores deste estudo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo foi dedicado a apresentar o contexto histórico da indústria automobilística e a revisão dos conceitos e da aplicabilidade das ferramentas que foram utilizados para aumento do rendimento da empresa estudada.

A princípio o capítulo aborda a indústria automobilística brasileira, detalhando suas fases históricas, que por duas vezes no século passado passaram por grandes transformações na maneira de como produzir bens e serviços, em seguida apresenta a revisão da literatura das ferramentas mais importantes da Teoria das Restrições (TOC), da Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*). A convergência das duas ferramentas hoje citados por alguns especialistas como “*TOC + LEAN*”, orientaram os caminhos a serem trilhados para execução do planejamento estratégico e de ações para aumento da produtividade e competitividade da empresa.

2.1 A INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA BRASILEIRA

Em 1891, Alberto Santos Dumont, trouxe um único exemplar de um Peugeot, de Paris para o porto de Santos – SP, comprado diretamente da fábrica, tornando-se o primeiro importador de veículos motorizados do país (WOMACK *et al.*, 2004, p. 297).

Hoffman (2004, p.32) acrescenta que, este interesse por automóveis surgiu quando ele acompanhou o pai em uma exposição de tecnologia no Palácio da Indústria de Paris, em 1889, e que em um dado momento nesta visita, seu pai Henrique Dumont, percebeu que havia perdido de vista o filho [...], e ao encontrá-lo, visualizou o fascínio dele pelo motor a combustão interna

que ali estava exposto, e que Santos-Dumont mais tarde descrevera que: “contei ao meu pai a minha admiração de ver funcionar aquele motor”.

O autor relata ainda, que em 1891, Santos Dumont com dezoito anos de idade, visitou a fábrica da Peugeot em Valentigney e adquiriu um automóvel cupê de 3,5 HP, tendo a empresa neste ano fabricado apenas dois carros, e ao trazê-lo para a cidade de São Paulo, ficou conhecido como a “primeira pessoa a guiar um automóvel na América do Sul”.

A Figura 1 apresenta o modelo do veículo *coupê type 3*, com carroceria aberta *vis-a-vis* (em que o banco do passageiro fica voltado para o do motorista) adquirido por Alberto Santos Dumont em 1891.

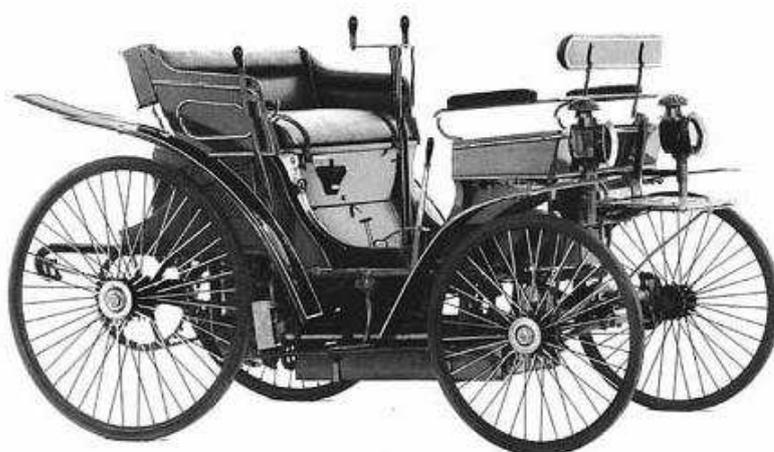


Figura 1 – Peugeot type 3 de 3,5 HP

Fonte: <<http://www.peugeotclubportugal.com/v3/index.php/historia-na-peugeot/historia-na-peugeot.html>> Acesso em 17/07/2012.

Womack *et al.* (2004) citam que, gradativamente outros membros da elite econômica e cultural brasileira foram se somando a ele, encomendando seus veículos dos revendedores locais de empresas européias e norte-americanas (WOMACK *et al.*, 2004, p.298).

Em 1903, na cidade de São Paulo havia apenas seis carros, e em 1904 a frota paulistana cresceu quatorze vezes, totalizando oitenta e três veículos, e

que neste ano foi expedida a primeira carta de habilitação para Menotti Falchi, proprietário da fábrica de Chocolates Falchi (ANFAVEA, 2006, apud FURQUIM 2007, p.57).

De acordo com Womack *et al.* (2004, p.298), os veículos montados foram importados até o final da Primeira Guerra Mundial (1914 – 1918), pois em 1919 a Ford instalou a sua primeira unidade no Brasil, utilizando-se principalmente da mão de obra migrante da Europa, vinda da produção do café.

Os autores acrescentam que, ainda que, a mão de obra não fosse qualificada, foi fácil para a Ford instalar-se em outros países, devido ao seu revolucionário sistema de produção em massa, que foi desenvolvido e aprimorado nos EUA.

Na época Henry Ford sentenciou que: "O automóvel está destinado a fazer do Brasil uma grande nação", segundo Portal do Estado de São Paulo (2009).

A fábrica de Henry Ford foi instalada no bairro Ipiranga – SP e recebia kits encaixotados no formato *CKD (Completely Knock-Down ou Complete Knock-Down)*, vinda de Detroit por meio do Porto de Santos – SP, para montagem do Ford modelo "T" e que posteriormente a GM, a International Harvest e a Fiat iniciaram também suas atividades no Brasil com o recebimento de peças importadas (ANFAVEA, 2006).

Womack *et al.* (2004, p.299), citam que nos anos 20, a frota de veículos brasileira em circulação passou de 30 mil para 250 mil veículos em 1930.

Contudo esse crescimento foi retardado durante os anos 30 a 45, devido à crise cafeeira, que era a base econômica nacional.

O Portal do Governo de São Paulo (2009) acrescenta que em 1940, com a Segunda Guerra Mundial, as importações foram prejudicadas e as frotas de veículos brasileiras ficaram ultrapassadas, devido a não fabricação de peças automotivas no país e ao fato que o então presidente da República, Getúlio Vargas, proibiu na época a importação de veículos montados e criou obstáculos à importação de peças.

O marco inicial da indústria automobilística brasileira aconteceu no dia 16 de junho de 1956, quando Juscelino Kubitschek, dentro do seu Plano de Metas, assinou o Decreto 39.412 para criação do GEIA (Grupo Executivo da Indústria Automobilística) com o intuito de favorecer a fabricação local e não somente a montagem de veículos, despertando assim, a confiança de empresas nacionais e estrangeiras, para investimento na fabricação de veículos e autopeças (ANFAVEA, 2006 apud FURQUIM, 2007, p.58).

Womack *et al.* (2004, p.301) relatam que o Plano de Metas de Juscelino Kubitschek tinha como lema “queimar etapas” e “50 anos em 5”, propunha ao país a entrada direta na produção em massa, sem passar, pelo sistema artesanal de produção de veículos. O plano definiu metas para a nacionalização da produção, [...] não restando alternativa para quem quisesse ficar de fora.

A Figura 2 apresenta a cronologia da indústria automobilística no Brasil no período das décadas de 1950 a 1990.

Cronologia Indústria Automobilística no Brasil (1950 a 1990)		
Década de 50	1953	Getúlio Vargas cria a Petrobrás
	1956	Juscelino Kubitschek cria o GEIA e inaugura oficialmente a Mercedes-Benz do Brasil
	1957	Máquinas Agrícolas Romi produz o primeiro carro do Brasil - a Romi-Isetta
	1959	Volkswagen inaugura fábrica em São Bernardo do Campo - Produção da Kombi e do Fusca
		Fusca torna-se o primeiro automóvel "popular" responsável pela motorização de milhões de brasileiros
		Juscelino Kubitschek inaugura a Fábrica da GM em São José dos Campos, SP
Lançamento do Karmann-Ghia		
Década de 60	1960	Ford, General Motors, Volkswagen e Willys Overland concentradas no ABC paulista produzem 78% dos veículos do país
	1961	Mercedez-Benz inicia exportação para a América Latina
	1965	Volkswagen assume a liderança de mercado
	1967	Ford lança o Galaxie 500 e assume a Willys Overland
		Volkswagen incorpora a Vemag - sai de linha o último DKW Vemag
	1969	Indústria brasileira de automóveis inicia as exportações: 3 unidades
Década de 70	1970	Setor vende ao mercado interno 416 mil veículos e exporta 409 unidades
	1975	Criado o Pro-álcool - Programa Nacional do Álcool
		Ford inaugura sua fábrica em Taubaté - SP e Jaboatão - PE
	1976	Inaugurada a fábrica da Fiat em Betim - MG, com a produção do modelo 147
1979	Campanha salarial do Sindicato dos Metalúrgicos de São Bernardo do Campo - greves no ABC Paulista paralisam cerca de 978 mil trabalhadores	
Década de 80	1980	Apesar das incertezas, o setor exporta 157 mil veículos
	1983	PIB em queda, desemprego e inflação em alta. Mesmo assim a Ford lança no mercado os modelos Escort XR-3 e o Del - Rey Scala
	1986	Setor tem record de empregos: 129 mil trabalhadores com carteira assinada
	1987	Volkswagen e Ford anunciam a formação da Autolatina, Comércio, Negócios e Participação - 51% de ações da VW e 49% da Ford
Década de 90	1990	Governo Collor dá abertura às importações, forçando a competitividade da indústria
	1993	Itamar Franco cria o Programa do Carro Popular com motor 1.0 e preço equivalente a US\$ 7,2 mil
	1996	Volkswagen inaugura fábricas em São Carlos - SP (motores) e Resende - RJ (caminhões e ônibus)
		Renault inaugura fábrica em São José dos Pinhais - PR
	1999	GM inaugura complexo industrial e comercial de Mogi das Cruzes - SP Volkswagen - Audi instalá-se em São José dos Pinhais - PR

Figura 2: Cronologia da Indústria Automobilística do Brasil de 1950 a 1990
Fonte: ANFAVEA (2006)

A cronologia da indústria automobilística brasileira, apresentada na Figura 2 demonstra ainda, que a partir da abertura das importações realizada em 1990 pelo governo Collor, novas montadoras se instalaram no Brasil, aumentando a competitividade, oferta de produtos e a participação de acordos bilaterais, de blocos e do fórum mundial do comércio (OMC).

Os investimentos em tecnologia e novos produtos, assim como os acordos internacionais foram importantes para a indústria brasileira incrementar suas vendas externas na década de 2000.

Segundo a ANFAVEA (2006), os negócios cresceram em 2002, a receita mais que dobrou em 2004, e deram um salto de 34% no ano seguinte. A Figura 3 ilustra o aumento da produção de veículos entre 2004 e 2005.

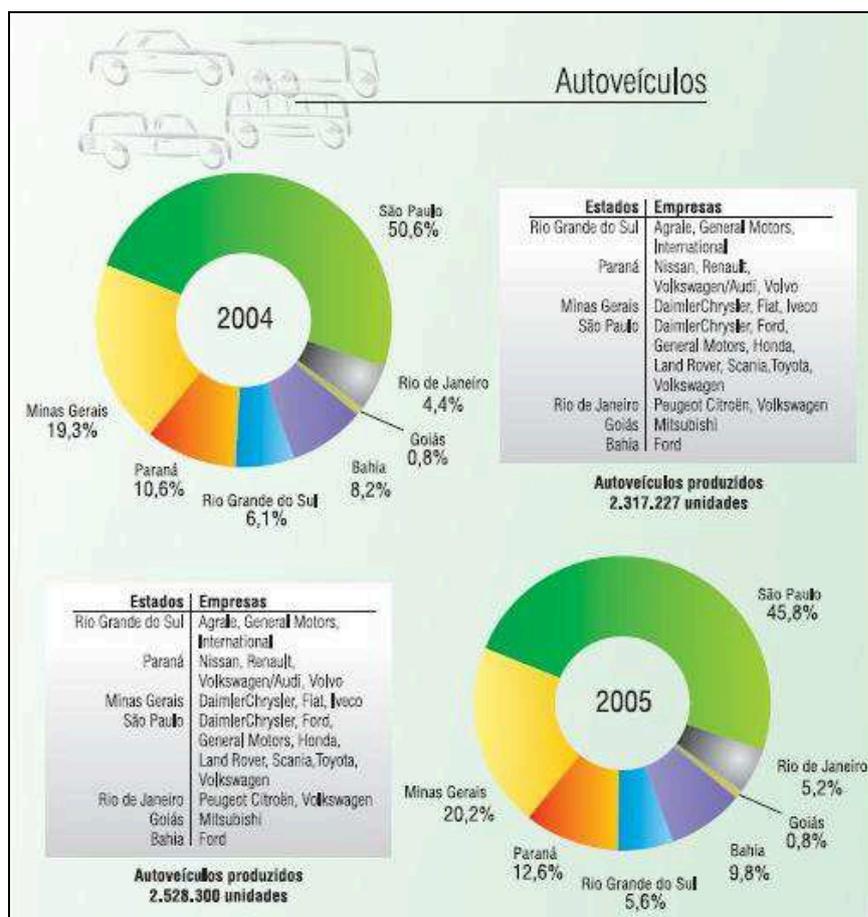


Figura 3: A indústria automobilística brasileira em 2004 e 2005
Fonte: ANFAVEA (2006)

Analisando os gráficos ilustrados na Figura 3, pode-se visualizar que as indústrias automobilísticas instaladas nos estados de Minas Gerais, Paraná, Bahia e Rio de Janeiro obtiveram incrementos em sua produtividade em 2005, já as dos estados de São Paulo e Rio Grande do Sul tiveram perdas consideráveis.

2.1.1 Estratégias para Aumento de Produtividade

A indústria automobilística brasileira desenvolveu conceitos de produção flexível, fornecedores sistemistas e ratificou a importância da engenharia local no conceito de veículos globais, por meio de investimentos em treinamentos dos funcionários e dos fornecedores. “Em fim, a estratégia foi de reformular, repensar, inovar, com os objetivos de atender os mercados internos e externos”, afirma Silva (2002, p.51).

Em linhas gerais, pode-se concluir que estas estratégias estão fundamentadas nas novas exigências do mercado consumidor, por meio do menor ciclo de vida dos produtos, agilidade na entrega, maior qualidade e custo competitivo, com base no novo paradigma da produção enxuta, associada a outras metodologias.

2.2 TEORIA DAS RESTRIÇÕES

A teoria das restrições, também conhecido como “TOC” (*theory of constraints*), foi desenvolvida pelo então estudante de física, o israelense Eliyahu M. Goldratt na década de 70, para ajudar um amigo no planejamento de sua fábrica de gaiolas para aves, que foi inicialmente fundamentada em programas de computação com o objetivo de desenvolver e implementar um sistema de programação de produção com capacidade finita para o chão de fábrica, o qual

chamou inicialmente de *Optimized Production Timetables* “OPT” e após alguns aperfeiçoamentos passou a ser denominado *Optimum Production Technology* (LEAL, 2005 p. 22 apud GUERREIRO, 1996).

Segundo Alves, Silva e Cogan (2010, p.4), inicialmente a implantação do OPT nas empresas americanas, foi conturbada devido ao fato que alguns dados do cronograma gerados pelo software eram controversos, pois as empresas mantiveram alguns centros de trabalho muito ocupados, enquanto às vezes outros ficavam ociosos e, isso contradizia o sistema de medição de desempenho, já que os trabalhadores eram geralmente medidos pela eficiência individual.

“Assim, muitos trabalhadores ignoravam o cronograma e produziam peças para o estoque em uma tentativa de se manter ocupado e evitar avaliações de desempenho desfavoráveis” (WATSON, BLACKSTONE e GADINER, 2007, p.288).

Para combater esse comportamento, Alves, Silva e Cogan (2010, p.4) explicam que Goldratt decidiu educar os gerentes e trabalhadores e abordou a primeira falácia da eficiência como a medida primordial de produtividade do trabalhador.

Analogicamente, a ideia principal da TOC consiste em demonstrar que dentro de cada sistema, existe pelo menos uma restrição que limita a sua capacidade em atingir níveis mais elevados de desempenho em relação ao seu objetivo. Corbett (2001, p.68) ainda destaca que “se uma empresa não possuísse uma restrição que limitasse seu desempenho, este seria infinito”. Diante do exposto, Goldratt lançou as nove regras de OPT que têm como lema:

“a soma dos ótimos locais não é igual ao ótimo total.” Estas regras são apresentadas na Figura 4 a seguir:

Ordem	Regras de programação da TOC
1	Balancear o fluxo, não a capacidade.
2	O nível de utilização de um não-gargalo não é determinado por seu próprio potencial, mas por alguma restrição do sistema.
3	Ativação e utilização de recursos não são sinônimas.
4	Uma hora perdida em um gargalo é uma hora perdida no sistema inteiro.
5	Uma hora economizada em um não-gargalo é apenas uma miragem.
6	Os gargalos governam tanto o fluxo como os inventários.
7	O lote de transferência não precisa e, muitas vezes, não deve ser igual ao lote de processo.
8	O lote de processo deveria ser variável e não fixo.
9	A programação deveria ser estabelecida analisando-se todas as restrições simultaneamente. Os lead times são resultantes da programação e não podem ser predeterminados.

Figura: 4 Regras de programação da TOC

Fonte: Alves, Silva e Cogan (2010, p.4 apud Watson, Blackstone e Gadiner, 2006)

Gaither e Frazier (2002, p. 262) acrescentam que software OPT continua a ser melhorado e comercializado pelo Scheduling Technology Group Ltd de Londres, Inglaterra, com uma nova sede em Dallas, Texas.

A vantagem trazida pelo software OPT é sua simplicidade na focalização das restrições críticas ou gargalos, que opera sob uma ótica similar ao *kaizen*, buscando a melhoria dos gargalos, e poupando esforços nos locais não-gargalos (MARTINS e LAUGENI, 2009, p.413).

Os autores relatam ainda, que a utilização do software OPT é mais apropriada para linhas de produção complexas com várias estações de trabalho e alto mix de demanda, pois em fábricas que são vistas como uma unidade única de produção, os conceitos de ritmos de produção podem ser gerenciados pelos programadores de produção.

Por outro lado, Moellmann (2010, p. 55 *apud* Souza, 2005) pondera que “o TOC não pode mais ser visto como sinônimo do método proposto no sistema OPT, pois a abordagem tambor-pulmão-corda (TPC) hoje é a metodologia voltada para o planejamento e controle de produção segundo a TOC.”

Para ilustrar os efeitos da TOC, de acordo com Moellmann (2010, p. 55), Goldratt a popularizou por meio das obras de ficção:

- “A Meta” (Goldratt *and* Cox, 1992/2002): foco em manufatura e TPC;
- “A Síndrome do Palheiro” (Goldratt, 1992): foco em contabilidade de custos, contabilidade de ganhos e programação;
- “Não é sorte” (Goldratt, 1994/2004): foco em negociação e processos de raciocínio;
- “Corrente Crítica” (Goldratt, 1998): foco em gerenciamento de projetos;
- “Necessária sim, mais não suficiente” (Goldratt; Schragenheim; Ptak, 2000): foco em SCM e ERPs.

Os fundamentos da TOC na visão acadêmica, recebem críticas que atrapalham sua disseminação e seriam desafios futuros: pois, a teoria produz resultados possíveis, mas não viáveis; carência de um meio de determinação do custo do produto e estabelecimento de preços; e visão de curto prazo. O mesmo problema ocorre em relação aos estudiosos e disseminadores da teoria, quanto à dificuldade de obtenção do suporte gerencial em nível alto, que delegariam a implementação a níveis gerenciais médios, mesmo que a TOC

requiera uma mudança organizacional, filosófica, prática e de medição de desempenho (WATSON, et al. 2007, p. 339).

O autor considera, ainda que, deve ser observado o conhecimento do tomador de decisão para que os fundamentos aplicados alcancem os objetivos preconizados na Teoria das Restrições: para levar a empresa à meta, ao lucro.

2.2.1 Escolha de Projetos Baseada em Rendimento

Segundo Gaither e Frazier (2002, p.262) um aspecto fundamental do TOC é a melhoria contínua no desempenho da produção e para medi-las são realizadas análises do **throughput** (a taxa de dinheiro que é gerado pela venda de produtos), estoque (dinheiro investido em estoques) e **despesas operacionais** (dinheiro gasto em converter estoques em *throughput*) ao invés de utilizar medidas contábeis tradicionais de custo por unidade e utilização de trabalhadores e equipamentos.

Pysdek e Keller (2011, p. 127) citam que apesar do planejamento e o gerenciamento de projetos serem muitos importantes, pouco importará se eles não apresentarem resultados no rendimento, pois ao escolher projetos “errados” pode-se obter grandes melhorias em qualidade e produtividade, mas que não gerem impacto nenhum na renda líquida da empresa.

Adicionalmente Hansen (2006, p.175 *apud* Cox III e Spencer, 1998) cita que “O entendimento em relação aos gargalos, relativo ao tempo necessário para produzir produtos específicos e a margem de contribuição é lucrativa”.

Cox III e Spencer (1998) apresentam em seu livro Manual da Teoria das Restrições (*The Constraints Management Handbook*) que com base nos “minutos de restrições” os planos estratégicos de produção podem ser

otimizados para gerar maior lucro líquido possível, podendo ocorrer até mesmo, sem nenhuma mudança na capacidade ou no tempo programado para produção em um recurso gargalo. Dentre os vários cenários destas melhorias apresentadas pelos autores podem ser destacadas as seguintes:

“uma fábrica de móveis modulados leva normalmente cinco a seis semanas para fabricar um conjunto de módulos sob encomenda para cozinha.

...uma empresa conseguiu reduzir seu tempo de atravessamento (*lead time*) de seis semanas para dez dias utilizando as técnicas de *Just-in-time (JIT)*. Quando está mesma empresa reduziu seu tempo de atravessamento para dois dias usando as técnicas de Gerenciamento das Restrições (GR), isso se tornou uma vantagem competitiva e ninguém na empresa quis discutir o assunto com as pessoas fora da organização.

Um produtor de selos autocolantes produzia dois milhões de cartelas por semana usando um processo contínuo (4 turnos/dia, 7 dias por semana). Empregando o GR, essas mesmas instalações, com um aumento de 8% no capital investido em equipamentos, estão produzindo agora 25 milhões de cartelas por semana em apenas três turnos durante cinco dias por semana”.

Pyzdek e Keller (2011, p. 127 *apud* Goldratt 1990) citam que o processo de melhoria contínua e retroalimentação da TOC devem ser focalizados em 5 etapas conforme regras apresentadas na Figura 5.

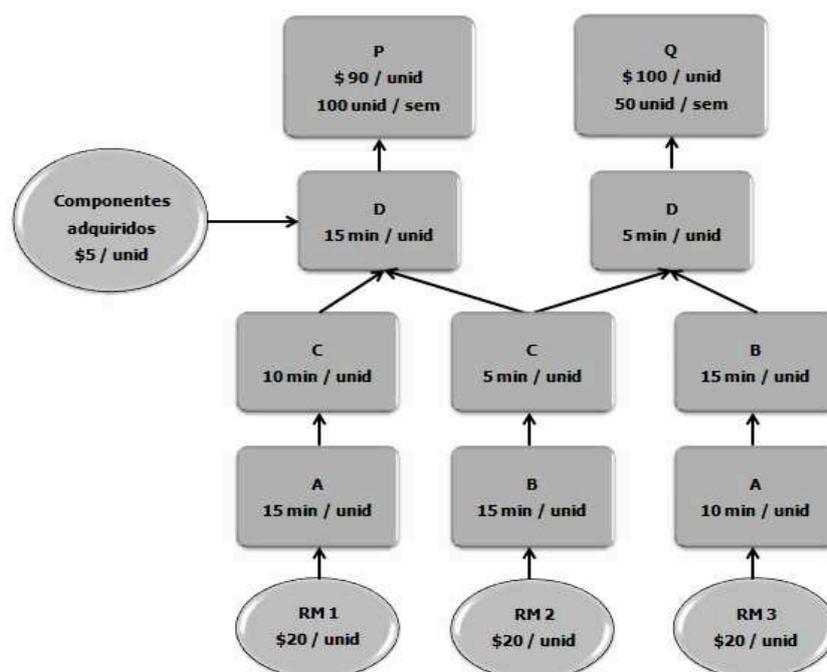


Figura 5: Processo simples com uma única restrição
Fonte: Pyzdek e Keller (2011, p. 127)

Para exemplificar o processo de melhoria contínua e a retroalimentação da TOC, considere que a Figura 4 apresente uma empresa fictícia que produza apenas dois produtos, P e Q e seguindo as seguintes etapas:

- **Identificar as restrições do sistema:** A demanda de mercado pelo produto P é de 100 unidades por semana e custa 90 dólares a unidade. A demanda pelo produto Q, que custa 100 dólares a unidade, é de 50 unidades por semana. Considere que A, B, C e D sejam trabalhadores, com habilidades distintas, e que cada um deles esteja disponível apenas 2400 minutos por semana (8 horas por dia, 5 dias por semana), para simplificar, considere que não há variação, desperdício, ou afins no processo. Imagine que esse processo tenha uma restrição, o trabalhador B. Esse fato possui grandes implicações para a escolha de projetos.
- **Decida como explorar o sistema:** Procure projetos que minimizem o desperdício da restrição. Por exemplo se a restrição for (alimentar) a demanda de mercado, devem-se buscar projetos que garantam 100% de entrega no tempo. Não se pode desperdiçar nada. Se a restrição for um equipamento ou uma etapa de um processo, como neste exemplo, priorize o tempo de configuração, eliminando erros ou sobras e mantenha a etapa do processo funcionando o máximo possível.
- **Submeta todo o resto à decisão superior:** Deve-se escolher os projetos de forma a maximizar o rendimento da restrição. Ao completar o passo 2, escolha projetos de forma a eliminar o gasto

dos processos inferiores; uma vez que a restrição tenha sido utilizada para criar algo, não se deseja perdê-lo devido a um erro. Em seguida, escolha projetos que garantam que a restrição receberá sempre recursos adequados e não defeituosos dos processos superiores. Se insistirmos nos processos superiores no final, pois por definição, seus recursos oscilam; assim, o mínimo de desperdício de baixo para cima que seja detectado antes de se alcançar a restrição causará menos danos ao *throughput*.

- **Eleve a (s) restrição (ões) do sistema:** Elevar significa “levantar a restrição”. Essa é a etapa 4 e não a 2. Geralmente, os projetos em execução nas etapas 2 ou 3 eliminarão as restrições. Se a restrição continuar a existir após as etapas 2 e 3 realize projetos que forneçam recursos adicionais contra a restrição. Por exemplo, a aquisição de um equipamento ou a contratação de mais funcionários para uma habilidade específica.
- **Se nas etapas acima, a restrição for dividida, volte para a etapa 1.** Há uma tendência a se condicionar a existência de uma restrição. Fica-se inerte. Se a restrição foi elevada, deve-se repensar todo o processo desde o início. Retornar a etapa 1 levará de volta ao início do ciclo.

Rahman (2002, p. 65 apud Moellmann 2010, p. 58) comentam que o método de focalização em 5 etapas é o principal ponto de partida para compreender o ambiente e planejar o processo de implementação e retroalimentação da TOC.

A Figura 6 ilustra o método de focalização da TOC em 5 etapas descrito acima.

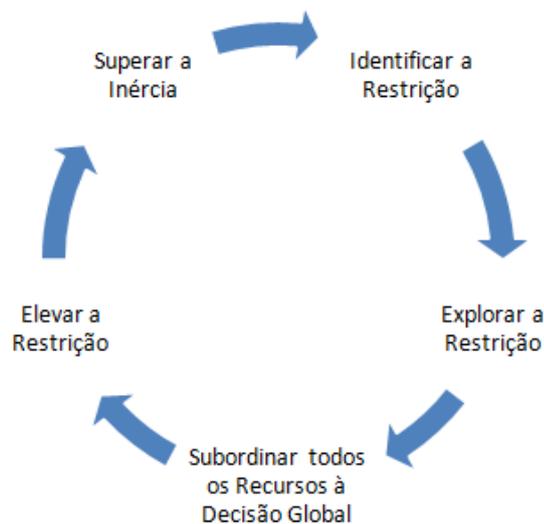


Figura 6: O método de focalização do TOC em 5 etapas
 Fonte: Rahman (2002, p. 65 apud Moellmann 2010, p. 58)

2.2.2 A Programação Tambor – Pulmão – Corda (TPC)

Conforme apresentado no capítulo 2.2, Souza (2005, p. 52 apud Moellmann 2010, p. 55) descreve que “a TOC não pode mais ser visto como sinônimo do método proposto no OPT, pois a abordagem tambor-pulmão-corda hoje é a metodologia voltada para o planejamento e controle de produção segundo a TOC.”

O sistema de controle baseado no conceito tambor-pulmão-corda proposto por Goldratt é descrito por Gaither e Frazier (2002, p. 262) informando que a produção é controlada por gargalos, que são coletivamente chamados de **tambor** (*drum*), por que estabelecem o ritmo ou a cadência a ser seguido por outras operações. Um **pulmão** (*buffer*) na forma de estoque será necessário antes do gargalo, a fim de que sempre haja material para se trabalhar. Esses pulmões garantem a segurança de que as entrega aos clientes possam ser feitas nas mais elevadas confiabilidade. Por fim, uma **corda** (*rope*) é alguma

forma de comunicação, como, por exemplo, uma programação é comunicada no sentido inverso do processo para impedir que os estoques se elevem e para coordenar as atividades necessárias para sustentar o Plano Mestre de Produção ou MPS (Master Production Schedule). Ressalta ainda os autores que a corda garante que toda etapa de produção esteja sincronizada ao MPS.

Moellmann destaca que o conceito do TPC fica muito claro no romance descrito no livro “A Meta”, de Goldratt (2002), onde o protagonista da história leva um grupo de escoteiros para caminhada, em fila indiana. Porém percebe que durante o trajeto, os mais lentos começam a ficar para trás, e conseqüentemente segurando os que estão atrás deles. Com isto a fila se estendeu, obrigando o escoteiro condutor a, periodicamente, paralisar a caminhada para reagrupá-los. O problema foi resolvido quando deslocaram para frente do grupo o escoteiro mais lento para ditar o ritmo da caminhada.

O autor exemplifica esta passagem do romance por meio da Figura 7.



Figura 7: Analogia entre as marchas militares e a subordinação do sistema ao seu recurso restritivo de capacidade (RRC)

Fonte: Moellmann (2010, p. 62 adaptado de Goldratt e Fox, 1992)

2.3 LEAN MANUFACTURING (MANUFATURA ENXUTA)

Esta seção tem como propósito delinear os principais conceitos do *Lean Manufacturing*, bem como discorrer sobre suas principais ferramentas que serão utilizadas no estudo de caso do presente trabalho.

Segundo Tapping e Shuker (2010, p. 1), o termo “produção *Lean*” ou “produção enxuta” foi introduzido em 1990 pelos pesquisadores do Massachusetts Institute of Technology (MIT), James Womack e Daniel Ross em seu livro *The Machine that Changed the World (A Máquina que Mudou o Mundo)* e desde então, tornou-se comum utilizar a palavra “*enxuta*” como abreviatura de produção *Lean*.

Faz-se necessário ressaltar que a produção enxuta refere-se ao paradigma de manufatura baseado na meta fundamental do Sistema Toyota de Produção que é de minimizar o desperdício e maximizar o fluxo de trabalho.

2.3.1 O Sistema Toyota de Produção (*Toyota Production System - TPS*)

De acordo com Ohno (1997, p.25), em 1937, um trabalhador alemão produzia três vezes o que fazia um japonês, a razão entre americanos e alemães era a mesma. Isto fazia com que a razão entre a força de trabalho japonesa e americana ficasse em 1 para 9. O autor relata ainda que “ficava surpreso em ouvir que eram necessários nove japoneses para fazer o trabalho de um americano.”

O pensamento que vingou no país era de que a produtividade poderia se multiplicar por dez, se pudessem eliminar as perdas, e está foi a ideia que marcou o início do Sistema Toyota de Produção (OHNO, 1997, p.25).

Womack e Jones (1996) ressaltam que foram sete as perdas identificadas no STP por Shigeo Shingo e descritas como:

- Superprodução: Produzir excessivamente ou cedo demais, resultando em um fluxo pobre de peças e informações, ou excesso de inventário;
- Espera: Longos períodos de ociosidade de pessoas, peças e informação, resultando em um fluxo pobre, bem como em *lead times* longos;
- Transporte excessivo: Movimento excessivo de pessoas, informação ou peças resultando em dispêndio desnecessário de capital, tempo e energia;
- Processos Inadequados: Utilização do jogo errado de ferramentas, sistemas ou procedimentos, geralmente quando uma aproximação mais simples pode ser mais efetiva;
- Inventário desnecessário: Armazenamento excessivo e falta de informação ou produtos, resultando em custos excessivos e baixo desempenho do serviço prestado ao cliente;
- Movimentação desnecessária: Desorganização do ambiente de trabalho, resultando baixo desempenho dos aspectos ergonômicos e perda freqüente de itens;
- Produtos Defeituosos: Problemas freqüentes nas cartas de processo, problemas de qualidade do produto, ou baixo desempenho na entrega.

A Figura 8 mostra a relação dos sete tipos de perdas com os processos e as operações de uma empresa.

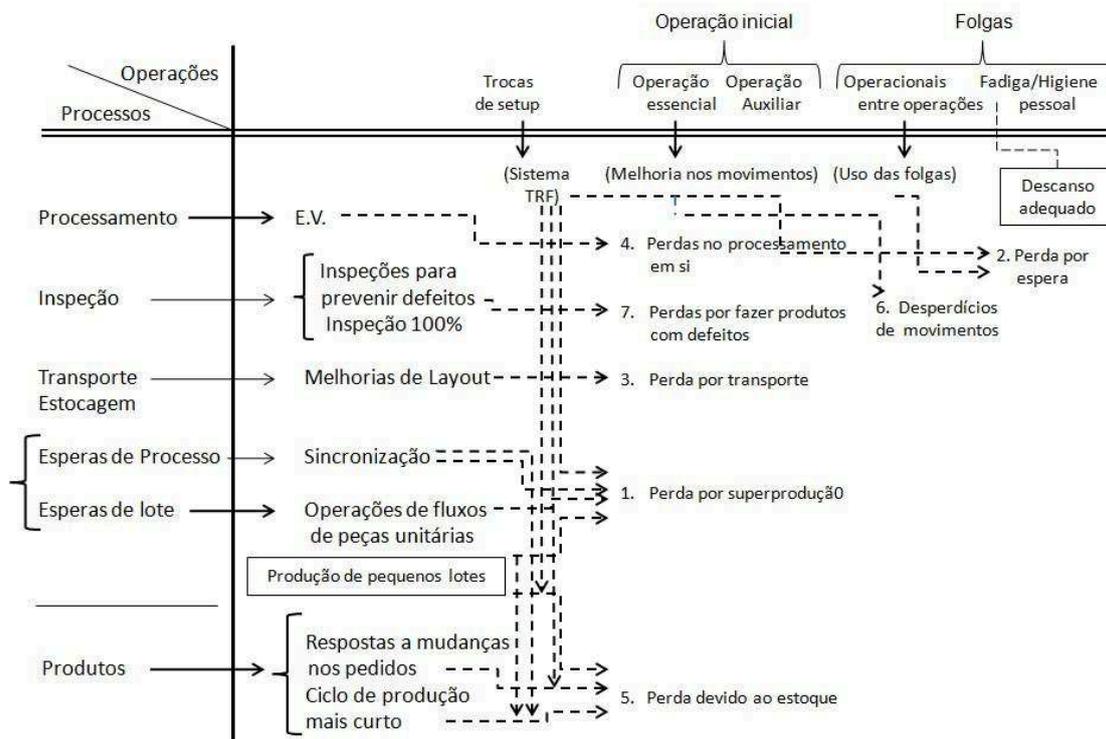


Figura 8: O Sistema Toyota de Produção e os sete tipos de perdas
Fonte: Shingo (1996 p. 227)

Camargo *et al.* (2009, p.78 apud Liker 2005, p. 47) descrevem que Liker incluiu em sua literatura o que ele chama de oitavo desperdício (perda) nas empresas, o qual foi denominado de “desperdício da criatividade dos funcionários”, que se baseia na perda de tempo, idéias, habilidades e oportunidades de aprendizagem por não envolver ou ouvir os funcionários.

Quando se pensa em eliminação total de desperdícios, Ohno (1988, p.38) relata que se deve ter em mente dois casos: (1) o aumento da eficiência é compensador quando está relacionada à redução de custos, (2) A eficiência do operador e de cada linha deve ser observado individualmente e depois como grupo e todas as linhas (toda a fábrica) e ao mesmo tempo melhorá-las.

Imai (1992, p.79) explica que Ohno observou que o excesso de produção era a principal perda e que gerava as demais perdas e para eliminar

este problema criou um sistema de produção baseado em dois aspectos estruturais: (1) o conceito “just-in-time” e (2) jidoka (autonomação).

A Figura 9 ilustra a imagem básica da produção lean e sua estrutura.

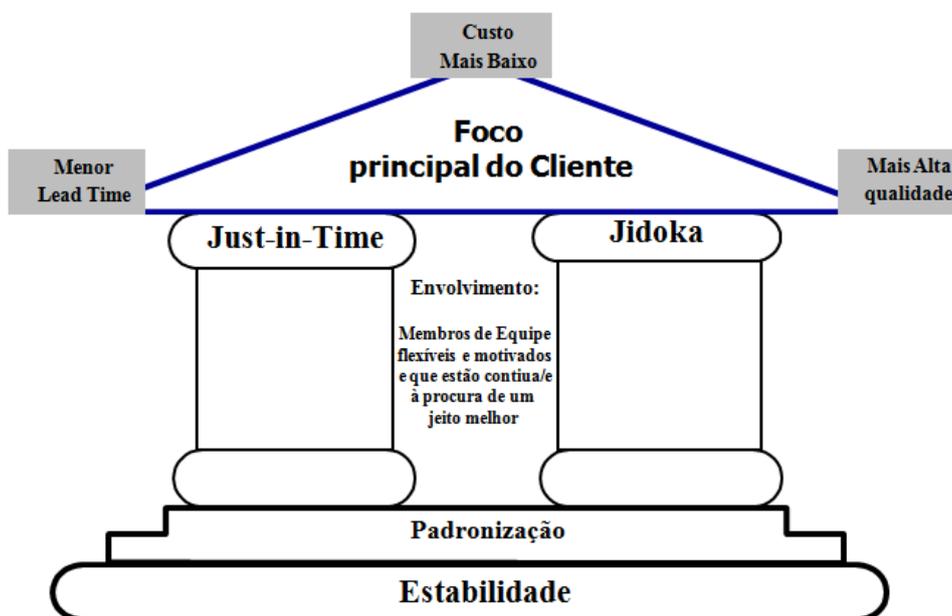


Figura 9: A imagem básica da produção lean
Fonte: Pascal (2002)

Liker (2004, p. 9) cita que novas técnicas foram desenvolvidas para a sustentação desses dois aspectos estruturais apresentados na Figura 8, dentre as quais estão: *Kanban*, Operação Padrão, *Takt-Time*, Troca Rápida de Ferramentas, *Layout* Celular (multifuncionalidade dos operadores / colaboradores), Nivelamento da Produção (*Heijunka*), Controle da Qualidade – Zero Defeito e *Poka-Yoke*, Manutenção Produtiva Total e 5S.

Liker (2004, p.51) relata que Fujio Cho, discípulo de Taiichi Ohno, desenvolveu uma representação simples “uma casa” para estender a comunicação para a base de fornecedores. Frente ao pressuposto que no dia-a-dia das primeiras décadas a Toyota não documentou sua teoria, pois a fábrica era pequena e com uma forte comunicação entre trabalhadores e administradores que estavam aprendendo constantemente. Sob a perspectiva

desta analogia a seguir apresenta-se o relato de Fujio Cho sobre: Por que uma Casa?

Por que uma casa é um sistema estrutural. A casa só é forte se o telhado, as colunas e as fundações são fortes. Uma conexão fraca fragiliza todo o sistema. Há várias versões da casa, mais os princípios fundamentais são os mesmos. Começa com a meta de melhor qualidade, menor custo e menor lead time – o telhado. Há duas colunas externas – just-in-time, provavelmente a característica mais visível e mais popularizada do STP, e automação, que essencialmente significa nunca deixar que um defeito passe para a próxima estação e liberar pessoas das máquinas – automação com um toque humano. Finalmente, há vários processos e também nivelamento de produção, que significa nivelar a programação de produção tanto em volume quanto em variedade. Uma programação nivelada, ou heijunka, é necessária para manter a estabilidade do sistema e permitir um mínimo de estoque. Grandes picos na produção de certos produtos com a exclusão de outros criarão escassez de peças, a menos que muito estoque seja acrescentado no sistema.

A Figura 10 ilustra a casa completa da produção lean.

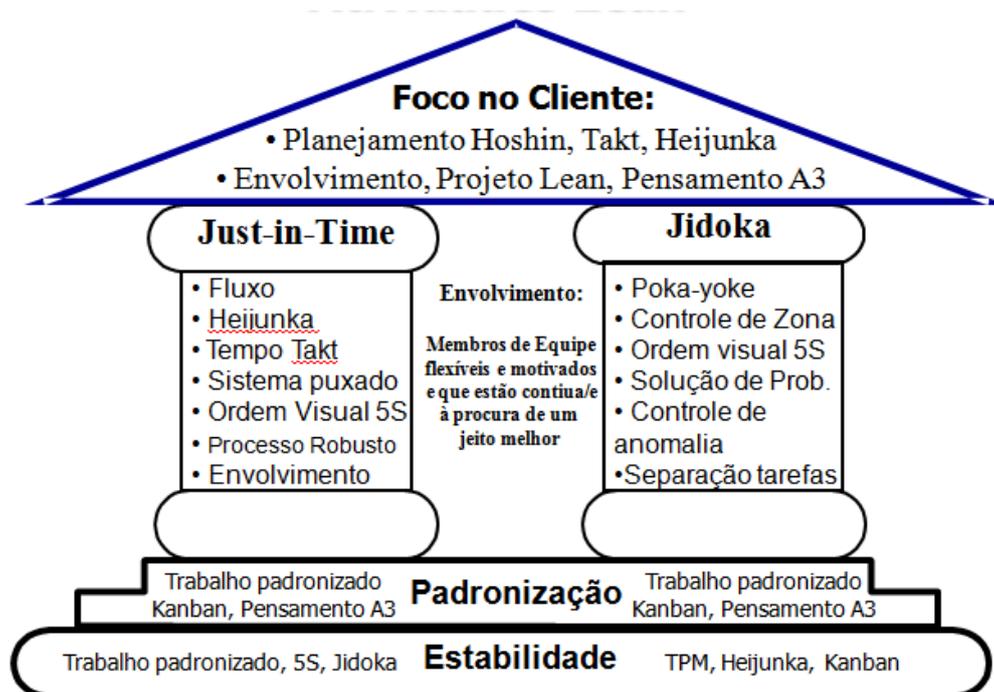


Figura 10: A imagem completa da produção lean

Fonte: Pascal (2002)

O autor acrescenta que: “O STP não é um conjunto de ferramentas enxutas, como o just-in-time, células, 5S, kanban, etc. É um sistema sofisticado de produção em que todas as partes contribuem para o todo.”

Ainda segundo Hino (2009, p.263), Michikazu Tanaka, um ex-diretor administrativo sênior da Daihatsu Kogyo, que foi treinado pessoalmente por Taiichi Ohno, descreveu as principais características do STP da seguinte maneira:

“em termos de resultados, envolve a redução de materiais em processo, o aumento da produtividade e a redução de custos. Mas o real objetivo é trazer à luz as capacidades de cada indivíduo. O objetivo maior é estimular a motivação das pessoas”.

2.3.2 Estabilidade e Padronização

Para Pascal (2002, p. 45), a estabilidade num processo se inicia com a implementação do gerenciamento visual e do programa 5S, que dão suporte para o trabalho padronizado e a manutenção produtiva total “TPM”.

Acrescenta ainda, que é impossível haver melhorias sem a estabilidade nos 4 M's: (1) *man / woman* – homem / mulher, (2) *machine* – máquina, (3) *material* – material e (4) *method* – método e que para chegar à estabilidade na Toyota, de vez em quando eles adotavam ações não Lean, tais como aumentar *buffers* ou acrescentar pessoas ou máquinas. A Figura 11 ilustra a inserção de buffer para balanceamento e alimentação de um sistema.

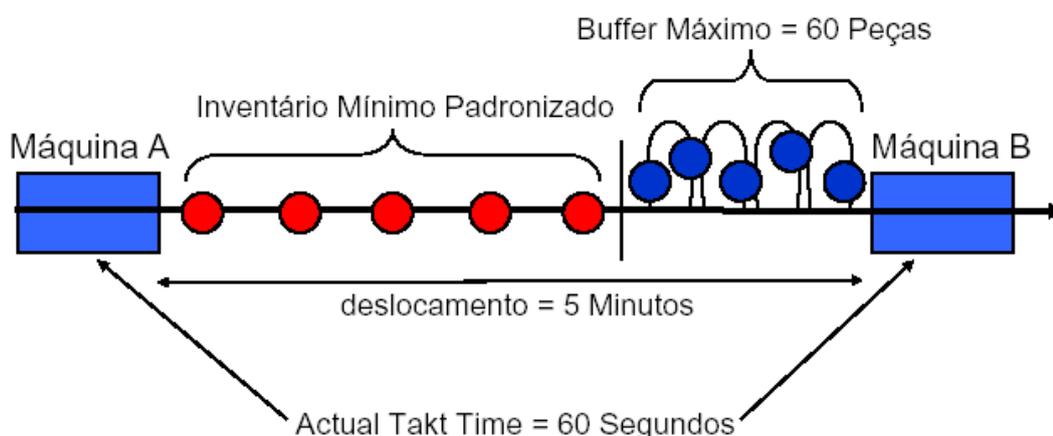


Figura 11: Inventário mínimo padronizado e buffer

Fonte: Ícone Lean Consulting (2008)

2.3.2.1 Trabalho Padronizado

Productivity Press Development Team (2002) descrevem que o trabalho padronizado é um conjunto de procedimentos que combina eficazmente as pessoas, materiais e máquinas para garantir a qualidade, eficiência, segurança e previsibilidade do trabalho. O trabalho é descrito com precisão em termos de tempo de ciclo, de processo, elencando sua sequência, *layout*, e o estoque necessário para o exercício da atividade para maximizar o desempenho e minimizar o desperdício.

Yoshida (2010, p. 35) comenta que uma das principais ferramentas relacionada aos procedimentos padronizados para a comunicação do padrão é a planilha do trabalho padronizado.

A Figura 12 exemplifica um modelo de uma planilha do Trabalho Padronizado.

Nome da Empresa		FOLHA DE INSTRUÇÃO DE TRABALHO PADRONIZADO		FIT. Nº 001/2011		
ÁREA:		TAREFA:		ELABORAÇÃO: PAULO ROGERIO CAMARGO		
ATIVIDADE:		MODELO:		APROVAÇÃO:		
		PROCESSO:		FOLIO Nº:		
OPER.	DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO	TEMPO	ILUSTRAÇÃO DAS OPERAÇÕES			
10						
20						
30						
40						
50						
60						
70						
80						
90						
00						
Operadores necessários: 01		Tempo total:		Próxima etapa:		
		Total (h):				
LAYOUT		PEÇA	MATERIAL UTILIZADO		SALVE SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE	
			CÓDIGO	DESCRIÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> Utilizar EPI's básicos Utilizar luvas de montagem Seguir layout desmontado Não descansar uma das mãos sobre o botão acionador 	<ul style="list-style-type: none"> Só realizar operação se estiver treinado ou acompanhado de pessoa experiente Caixas de papelão, resíduos de plástico, papel e outros devem ser coletados em local identificado e apropriado de sua área para destinação correta.
			FERRAMENTAS ACESSÓRIAS		PLANO DE RELIÇÃO / CONTENÇÃO <ul style="list-style-type: none"> Segregar a peça na caixa fornecida Informar o Supervisor de Qualidade para iniciar análise de causa do problema. 	OBSERVAÇÕES <ul style="list-style-type: none"> Em todo o tempo de trabalho, devem-se contar as peças e anotar na etiqueta de peças rejeitadas e informar o Supervisor de Qualidade.
HISTÓRICO DAS REVISÕES						
Data	Revisado por:	Alterações		Data	Revisado por:	
07/07/11	Paulo Rogério Camargo	Elaboração de documento				

Figura 12: Folha de Instrução de Trabalho Padronizado
Fonte: Ícone Lean Consulting (2008)

Em síntese, entende-se que o trabalho padronizado é a especificação do trabalho do operário para atingir as especificações do produto. No entanto, Yoshida (2010, p.34) destaca-se que:

“...embora o trabalho padronizado enfatize o trabalho do operário, com foco na operação, seu objetivo é, essencialmente, reduzir a variabilidade, aumentando a estabilidade para garantir um tempo de ciclo adequado à demanda do cliente (takt time) e assim, permitir que seja possível operar com pequena quantidade de trabalho em progresso”.

O trabalho padronizado é um processo cujo objetivo é identificar o desperdício para que possamos melhorar continuamente a densidade do trabalho e aumentar a quantidade de trabalho que agrega valor em cada processo com o envolvimento dos membros de equipe (PASCAL, 2002, p.34).

A Figura 13 demonstra o modelo de uma folha de tomada de tempo para análise dos elementos que adicionam valor (AV) e que não adicionam valor (NAV) que são realizados por cronoanalistas ou responsáveis por melhoria em processos.

Trabalho Padronizado																	
Folha de Tomada de Tempos																	
Fase:		Nome da Operação:								Posto:		Data : / /		Turno:			
Descrição:																	
Nº	DESCRIÇÃO DO ELEMENTO	REGISTRO DE TEMPO (Segundos)										MENOR REPETITIVO	A.V.	N.A.V.			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	

Figura 13: Folha de tomada de tempos
Fonte: Ícone Lean Consulting (2008)

Pascal (2002, p.36) relata ainda que para tornar a melhoria contínua mais fácil, deve-se separar os movimentos do operador e relacioná-los ao

tempo de máquina e utilizar uma tabela de combinação do trabalho padronizado.

O propósito da tabela de combinação do trabalho padronizado, segundo a *ICONE LEAN CONSULTING* (2008, p. 156) é de auxiliar a identificar e quantificar oportunidades de melhoria no trabalho e mostrar a interação entre operadores, equipamento, *takt - time* (TT), que é o tempo disponível para a produção dividido pela demanda de mercado e o actual *takt - time* (ATT), que é o tempo disponível para efetivamente produzir, onde já esta considerada as ineficiências do processo, podendo elas ser: parada de produção, manutenção, falta de materiais, qualidade, dentre outras.

Acrescenta-se ainda que essa ineficiência depende do histórico de paradas de cada área. A Figura 14 mostra uma tabela real.

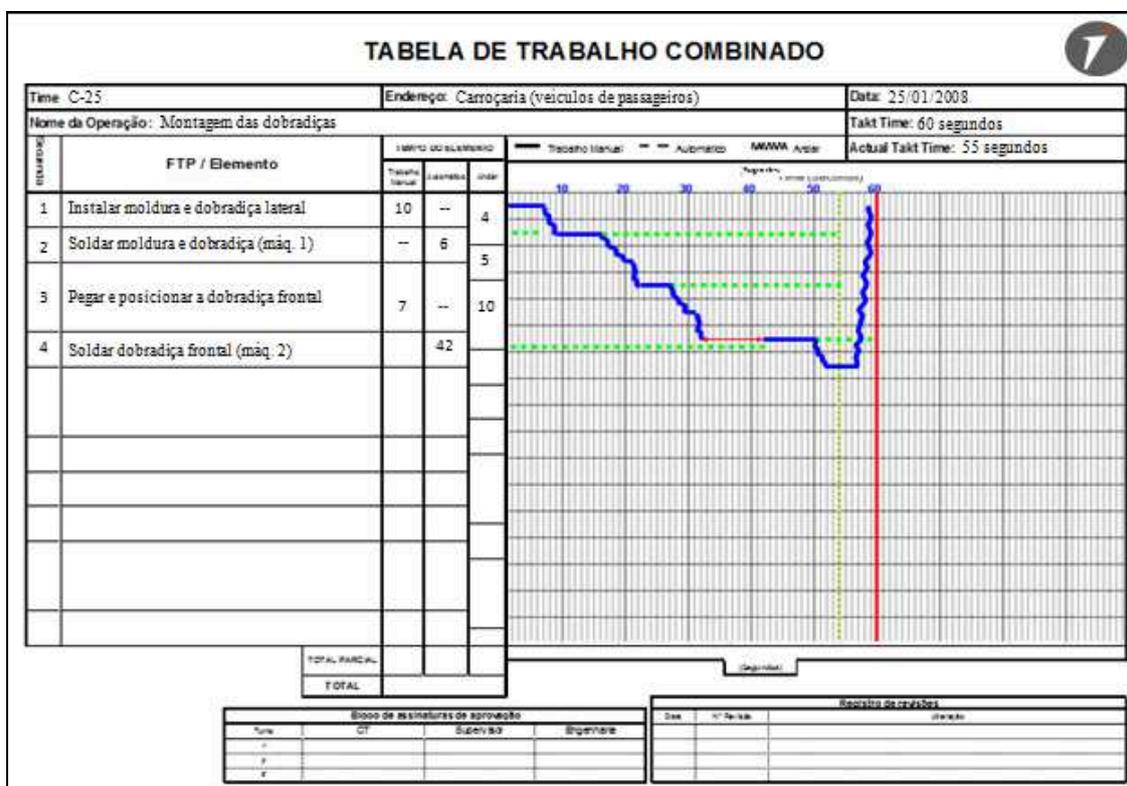


Figura 14: Tabela de combinação de trabalho padronizado
Fonte: Ícone Lean Consulting (2008)

As linhas desenhadas no gráfico criado na tabela (ICONE LEAN CONSULTING, 2008) deve seguir o padrão demonstrado na Figura 15.

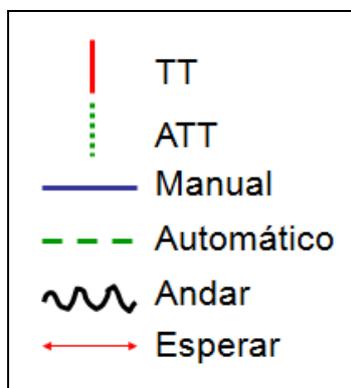


Figura 15: Linhas do gráfico de combinação do trabalho padronizado
Fonte: Ícone Lean Consulting (2008)

2.3.2.2 Manutenção Produtiva Total “TPM”

De acordo com Ribeiro (2003, p.1), a Manutenção Produtiva Total conhecida pela sigla “TPM” (*Total Productive Maintenance*) teve início na empresa Nippon Denso KK (integrante do grupo Toyota) no Japão, a qual recebeu em 1971 o Prêmio PM (Prêmio de Manutenção) concedido à empresas que se destacaram na excelência em atividades de manutenção. No Brasil o programa foi apresentado pela primeira vez em 1986.

O TPM deriva-se da Manutenção Preventiva, concebida originalmente nos Estados Unidos, sob o signo da divisão de tarefas (eu utilizo- produção → tu arruma - manutenção) e a evolução do processo até a sua concretização, se deu na Nippon Denso KK, conforme descrito acima. (RIBEIRO 2003, p.1 apud JIPM 2009).

A metodologia TPM é estruturada por 8 pilares, conforme ilustrado na Figura 16.

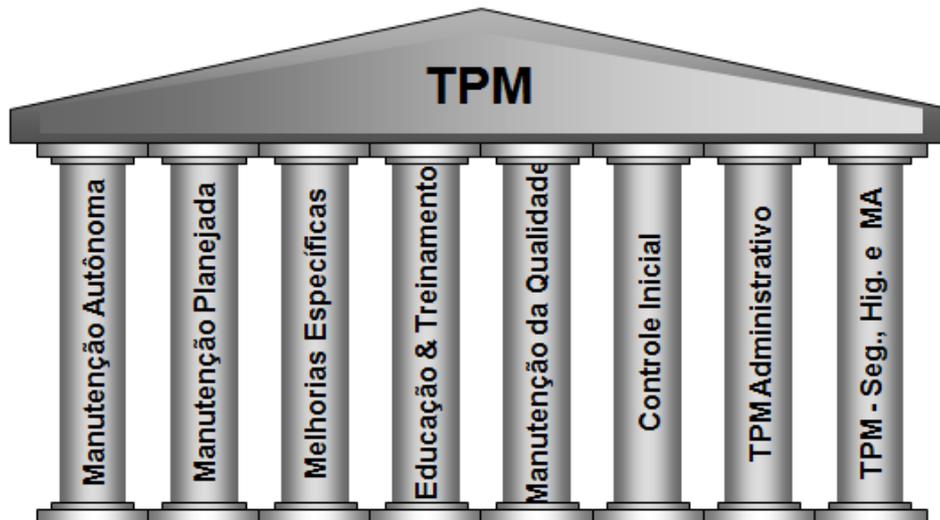


Figura 16: Pilares do TPM
 Fonte: Ícone Lean Consulting (2008)

Conforme Kelly (2006, p. 42 *apud* Tavares 1999), o tempo médio de implementação do TPM é de 3 a 6 meses para a fase preparatória e de 2 a 3 anos para o início do estágio de consolidação, considerando que já foram realizadas as doze etapas sugeridas pela metodologia do JIPM “*Japan Institute of Plant Maintenance*”.

Segundo Ribeiro (2003 p. 40), para a sua implementação deve-se:

- (a) Incorporar claramente o TPM como parte da diretriz básica e do planejamento a médio e a longo prazo.
- (b) Definir um prazo para o atingimento de um nível adequado que possibilite a candidatura da empresa à obtenção do prêmio PM (Prêmio de Manutenção).
- (c) Conhecer a situação vigente por meio dos parâmetros de avaliação, e efetuar a monitoração dos respectivos níveis.
- (d) Comparar a situação vigente com o objetivo visado, prever os resultados e alocar recursos orçamentários suficientes para sua execução.

A Figura 17 demonstra as doze etapas para implementação do TPM.

Fase	Etapa	Elementos básicos
FASE PREPARATÓRIA PARA INTRODUÇÃO DO TPM	1-Declaração de alta direção acerca da decisão de adotar o TPM	Realização de seminários Internos de apresentação e anúncio no jornal interno
	2- Campanha para divulgação treinamento inicial	Média e alta gerência: seminários dirigidos e específicos e demais funcionários: programa Expositivo
	3- Secretaria para implementação do TPM	Criação do conselho diretivo e Técnico secretaria
	4-Diretriz básica do TPM	Objetivo e sua demarcação Previsão dos resultados
	5-Plano diretor para implementação do TPM	Delineamento dos planos de cada etapa, desde a introdução até a consagração
INTRODUÇÃO	6-Decolagem do TPM	Convite aos fornecedores, as empresas compradoras.
FASE DE ASSENTAMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DO TPM	7-melhoria individualizada do rendimento de cada máquina	Seleção de equipamentos alvos Estruturação do grupo de trabalho
	8-Estruturação da auto manutenção	Técnica sequencial auditoria e confirmação da aprovação
	9- Estruturação para planejamento da manutenção	Manutenção sistemática Manutenção preliminar Gestão da infraestrutura, peças de reserva, ferramentas, desenhos técnicos
	10-Treinamento operacional, de manutenção e de habilitação	Treinamento coletivo dos líderes Treinamento dos membros e criação de elos de comunicação
	11- Estrutura para controle e gestão dos equipamentos numa fase da operação	Projeto MP Gestão do fluxo inicial Custo do ciclo de vida (LCC)
CONSOLIDAÇÃO	12- Realização do TPM e seu aperfeiçoamento	Candidatura ao prêmio PM Busca de objetivos mais ambiciosos

Figura 17: As doze etapas para implementação do TPM
Fonte: Ribeiro (2003, p.1 apud JIPM 2009)

2.3.2.3 Eficiência Global do Equipamento (OEE)

Segundo Pascal (2002, p. 57), as medidas centrais para a eficiência de máquinas são:

- **Disponibilidade** = (tempo de carregamento – tempo de parada) / tempo de carregamento; uma medida de *uptime*;
- **Eficiência de desempenho** = (tempo de operação líquido – tempo perdido) / tempo de operação líquido; uma medida da eficiência enquanto a máquina está em operação;
- **Eficácia geral de equipamento** (*Overall Equipment Effectiveness* “OEE”) = disponibilidade X eficiência de desempenho X índice de qualidade; uma medida de eficácia geral de equipamento.

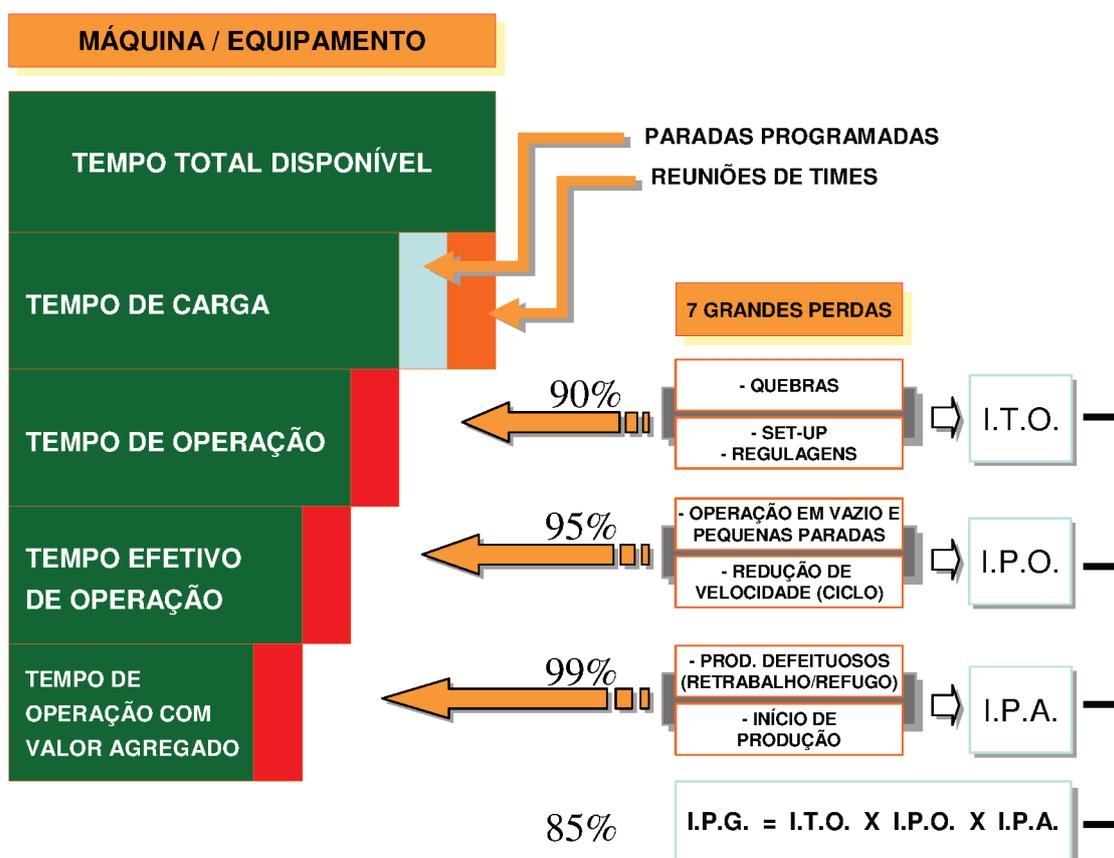


Figura 18: Índice de Performance Global – Relação entre as 7 grandes perdas
Fonte: Ícone Lean Consulting (2008)

A fórmula para se chegar ao índice de *performance* global de um equipamento, conforme apresentado na Figura 16 se da com a multiplicação dos indicadores: (ITO) X (IPO) X (IPA) relata Braz *et al.* (2006, p.24), onde:

- **I.T.O. (Índice de Tempo Operacional):** é a proporção entre o tempo de carga “TC” (tempo que o equipamento deve estar em funcionamento) subtraído do tempo efetivamente gasto na operação “TP”, dividido pelo tempo de carga, sendo expresso pela Equação 1.

$$I.T.O. = \frac{TC - TP}{TC} \quad (1)$$

- **I.P.O. (Índice da Performance Operacional):** é utilizada para verificar se o equipamento está sendo operado sob velocidade estável dentro de determinado intervalo de tempo. Sua finalidade é verificar a constância da velocidade de operação do equipamento durante um período longo, seja qual for a medida dessa velocidade, tendo como Equação 2.

$$I..P.O. = \frac{CT - QP}{TO} \quad (2)$$

- **I.P.A. (Índice de Produtos Aprovados):** é proporção entre a quantidade produto fabricado (PF) ou carregado para processamento, subtraído pela quantidade de produtos defeituosos (PD), dividido pela quantidade de produtos fabricados ou carregados. O termo “produtos defeituosos” inclui, além dos descartes, a quantidade de retrabalhos. A Equação 3 mostra o cálculo do I.P.A.

$$I..P.A. = \frac{PF - PD}{PF} \quad (3)$$

Segundo a Ícone Lean Consulting (2008, p.75), além destes indicadores de performance, também podem ser extraídos da produção, informações relevantes que auxiliam na análise de gargalos como:

- **M.T.T.R. (Mean Time To Repair):** Tempo médio para reparo do equipamento.
- **M.C.B.F. (Mean Cycles Between Failure):** é calculado dividindo-se a média de tempo entre falhas pela duração de um ciclo.

A Figura 19 exemplifica uma coleta de dados para apurar onde está o gargalo em uma linha de montagem com oito estações de trabalho.

Estação	Tempo de Ciclo (seg.)	Downtime (min.)	Ocorrências de Downtime	M.C.B.F. (seg.)	M.T.T.R. (min.)
10	42,40	0,20	1	1607	0,20
20	36,90	18,71	11	146	1,70
30	46,10	24,11	20	80	1,20
40	45,20	50,75	21	76	2,40
50	30,70	0,10	1	1607	0,10
60	42,10	51,68	8	199	6,40
70	40,20	42,72	4	395	10,50
80	43,90	0,00	1	1607	0,30

Tempo de Ciclo alto

Alto Tempo de Reparo

Alto Downtime

Alto N.º de Ocorrências

Figura 19: Coleta de dados para análise de gargalos
Fonte: Ícone Lean Consulting (2008, p. 76)

Por meio dos dados apresentados na Figura 19, seria possível dizer que a estação 40 é o principal gargalo e as estações 30 e 70 como pontos de gargalos secundários da empresa.

Vale ressaltar que a análise da frequência entre falhas e do tempo médio para repará-los, é possível colocar em prática as melhorias capazes de reduzir as falhas inesperadas e prolongar a vida útil das máquinas e equipamentos,

diminuindo assim, a frequência de manutenção e aumentando a disponibilidade dos equipamentos para a produção.

2.3.3 A Filosofia da Manufatura *Just-in-Time* e *Jidoka*

Gaither e Frazier (2002, p.409) relatam que o JIT é visto como uma inovação japonesa, popularizada pela Toyota. Entretanto Henry Ford em seu livro *Today and Tomorrow* escrito em 1926 apresentou esta abordagem na produção do Ford Modelo T, por meio do descarregamento do minério de ferro, sua transformação em aço e conversação para veículos até a entrega para o cliente, num período inferior a 48 horas.

Gaither e Frazier (2002, p. 409) acrescentam ainda que “independente da origem do JIT, essa abordagem à produção consiste em um conjunto de idéias úteis que pode ajudar as empresas a se tornarem mais competitivas”.

De acordo com Ohno (1988):

o just-in-time é mais que um sistema de redução de estoque, mais que redução de tempo de preparação, mais que usar kanban, mais que modernizar a fábrica. É fazer a fábrica operar para a empresa, assim como o corpo humano opera para o indivíduo. O sistema nervoso autônomo responde quando surge um problema no corpo. O mesmo ocorre numa fábrica: deve haver um sistema que responde automaticamente quando problemas ocorrem. Essa função é cumprida pelo JIT.

Segundo Favaretto (2005, p.22), para que a produção JIT seja viável são fundamentais:

- Nivelamento da produção (*heijunka*);
- Ligar os processos ao processo anterior e posterior através de um sistema de puxar a produção;
- Ter um fluxo suave e contínuo de produção;

- Estabelecer um compasso de produção igual ao compasso de vendas, através do *takt time*.

A Figura 20 ilustra a diferença entre a produção tradicional com a produção nivelada.

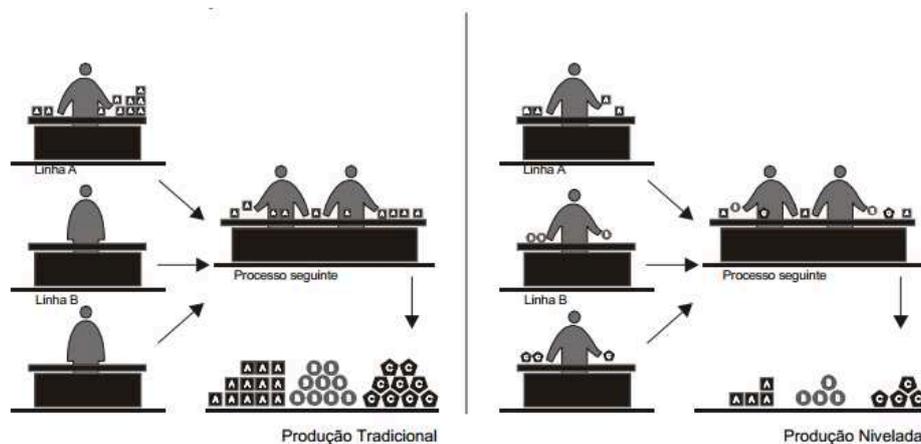


Figura 20: Diferença entre a produção tradicional com a produção nivelada
Fonte: Pascal (2002)

Segundo Pyzdek e Keller (2011, p. 325), o segredo do fluxo de valor são os requisitos do cliente. O que e quando o cliente necessita é o que conduz toda atividade. Esse conceito é frequentemente chamado de *Takt time* (*TT*), que é a divisão do tempo disponível de trabalho pela demanda do cliente. O cálculo do *Takt time* é realizado pela Equação 4.

$$TT = \frac{TP}{D} \quad (4)$$

Os autores descrevem ainda que no tempo de trabalho não se deve considerar os tempos de almoço, intervalos ou outros processos de *downtime*.

De acordo com a Ícone Lean Consulting (2008, p.95) para calcular o tempo que se precisa para atender a demanda, considerando as perdas (paradas), ou seja, o tempo realmente gasto na produção utilizamos o cálculo do o *ATT* (*Actual Takt Time*).

Um exemplo do cálculo do TT e ATT é mostrado a seguir para uma empresa fabricante de TV's de plasma com demanda de 80 peças por dia:

- 80 dividido por 8 horas de trabalho= 10 TV's por hora;
- 1 hora tem 3600 segundos que divididos por 10 TV's= 360s
- TT = 360s (Tempo para produzir 1 TV)

Mas nesta fábrica pará-se em média 06 minutos por hora para reposição e ajustes na linha, ou seja, 10% de perda de produção (1 TV por hora). Para atender a demanda então é preciso compensar esta perda já que são inevitáveis. A linha precisa trabalhar então a uma velocidade de 11 TV's por hora, onde:

- 3600 segundos divididos por 11= 327s
- Portanto o ATT = 327s (Tempo real gasto para produzir 1 TV).

O outro pilar do STP é chamado *Jidoka* ou automação, que não pode ser confundido com uma simples automatização, a qual é conhecida também como automação inteligente ou com um toque humano.

Ohno (1997, p.25) relata que na Toyota todas as máquinas eram automatizadas com um toque humano, bem como vários outros, para segurança, parada em posição fixa, sistema de trabalhos completos e sistemas *baka-yokes* (a prova de erros) por meio do acoplamento de dispositivos de parada automática. Na automação não se faz necessário a presença do operador quando a máquina está operando normalmente, sendo necessária sua atenção somente se houver uma parada por motivo anormal. E como resultado um trabalhador pode atender várias máquinas.

Segundo Shingo (1989, p. 55) o *poka-yoke* é o dispositivo mais poderoso, por que paralisa o processo até que a condição causadora do defeito seja corrigida. Os dispositivos *poka-yokes* podem ser classificados em três métodos de atuação: dispositivos de posicionamento ou contato, os dispositivos de comparação e os dispositivos de checagem de etapas. Dessa forma, de modo simples e eficaz, a garantia da qualidade é levada à fonte, evitando a geração de defeitos e, ainda mais, evitando que peças defeituosas sejam processadas nos estágios seguintes.

A Figura 21 ilustra os métodos de atuação dos *poka-yokes*.

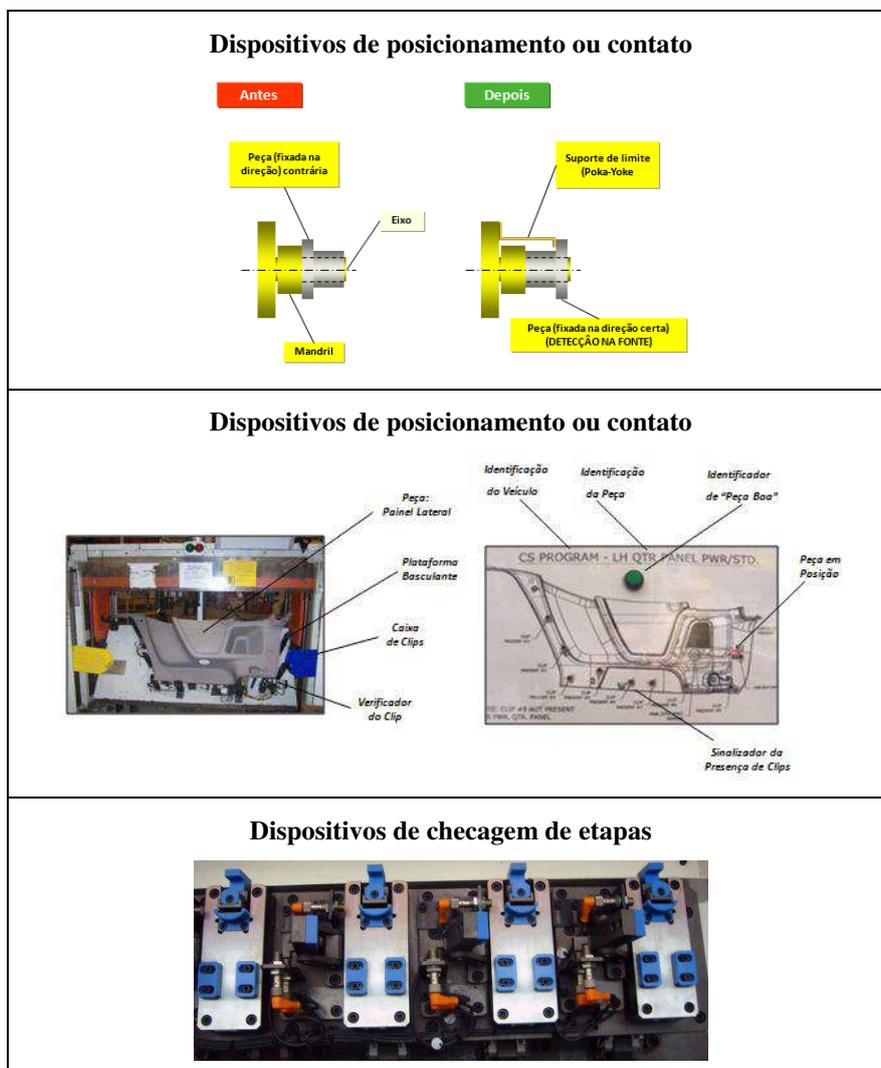


Figura 21: Os três tipos de atuação dos dispositivos poka-yokes
Fonte: Ícone Lean Consulting (2010, p.75)

A "automação inteligente" ou "automação com toque humano", assegura a qualidade, por meio da faculdade ao operador (ou à máquina) de interromper a operação sempre que ocorrer alguma situação anormal ou quando a quantidade planejada de produção for atingida. Essa intervenção, segundo Monden (1984), valoriza a atuação do operário e estimula a aplicação de melhorias.

A Figura 22 apresenta uma analogia em que o operário pára a linha de montagem por meio do sistema *andon* devido a uma anomalia.

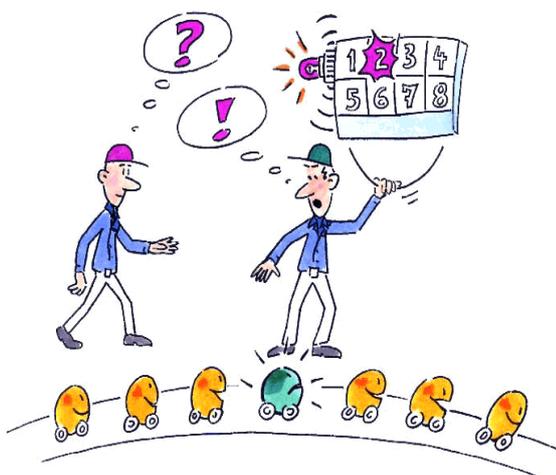


Figura 22: Utilização do sistema andon para comunicar anomalia
Fonte: Ícone Lean Consulting (2010, p.79)

De acordo com a Ícone Lean Consulting (2011, p. 58) o sistema *andon* é um controle de processo operacional de chão de fábrica que pode ser acionado manualmente ou automaticamente, a fim de comunicar a necessidade de ajuda mediante a ocorrência de condições anormais, bem como comunicar outras informações relevantes e deve ser acionado quando houver:

- Problema de segurança;
- Incapacidade de completar a tarefa dentro do ciclo de tempo determinado;

- Qualidade insatisfatória produzida em processos anteriores;
- Escassez de materiais ou peças erradas;
- Ferramentas faltantes;
- Sequencia equivocada
- Funcionamento irregular de ferramentas ou equipamentos;
- Perda de folha de verificação, cartão *kanban*, etc.;
- Peças com funcionamento deficiente ou de má qualidade;
- Situações incertas ou não confiáveis. O ato de acionar o cordão Andon não deve ser encarado como um fato negativo, mas como uma oportunidade de melhoria contínua do processo.

2.3.4 Flexibilidade da Mão de Obra (*Shojinka*)

Segundo Moden (1984, p.58), quando a demanda de uma empresa flutuar, em função da conjuntura econômica ou pela procura por seus produtos, ela deve ser capaz de igualmente reduzir ou aumentar a quantidade de operários em qualquer área de trabalho.

O autor afirma ainda, que para a implantação do conceito *Shojinka*, três fatores são pré-requisitos: (i) projeto adequado do *layout* das máquinas; (ii) operadores versáteis e bem treinados (operadores multifuncionais); (iii) avaliação contínua e revisões periódicas das rotinas de operações padronizadas.

Paes *et al.* (2003, *apud* Ohno 1997) citam que a Toyota adotou a organização do trabalho em grupo para utilizar a mão de obra de forma

eficiente e alcançar seus objetivos. Para tanto, utilizou-se de constante treinamento para melhorar a capacidade e o conhecimento de seus colaboradores, tornando-os multifuncionais para dominar todo o trabalho do grupo e, assim quando necessário, se revezarem entre os postos de trabalho, conforme padrões definidos para o cumprimento de tarefas e o desenvolvimento de uma forma única de execução, sendo este modelo de trabalho um forte elemento para motivar os operadores e dar-lhes maior satisfação no trabalho.

Para Shingo (1996, p. 59), nos tempos de folga existentes dentro de uma empresa, a multifuncionalidade permite a execução simultânea com a operação principal as secundárias ou selecionadas no processo, desenvolvendo assim, outro elemento do sistema de produção enxuta: o sistema *nagara*, que, no sentido estrito do termo, é aquele em que as tarefas aparentemente não relacionadas podem ser produzidas simultaneamente pelo mesmo operador.

3 CONTEXTO INDUSTRIAL DO ESTUDO

A indústria automobilística objeto de estudo desta dissertação, está localizada na região do Vale do Paraíba – SP, produz nos departamentos estudados, quatro diferentes famílias de veículos na mesma plataforma (linha de montagem); sua produção atende o mercado nacional e 12 países da América do Norte (México), América do Sul (Argentina, Colômbia, Equador e Venezuela), Alemanha e Inglaterra (Europa), África (África do Sul e Egito), Ásia (China), Nova Guiné e Austrália, por meio atendido da produção em CKD (veículos desmontados) ou veículos completos.

Importante ressaltar que existia a necessidade desta indústria em aumentar a capacidade produtiva do veículo “X” de 12 unidades por hora para 15 unidades por hora, para atendimento do mercado externo. A Figura 23 ilustra o *layout* da empresa.

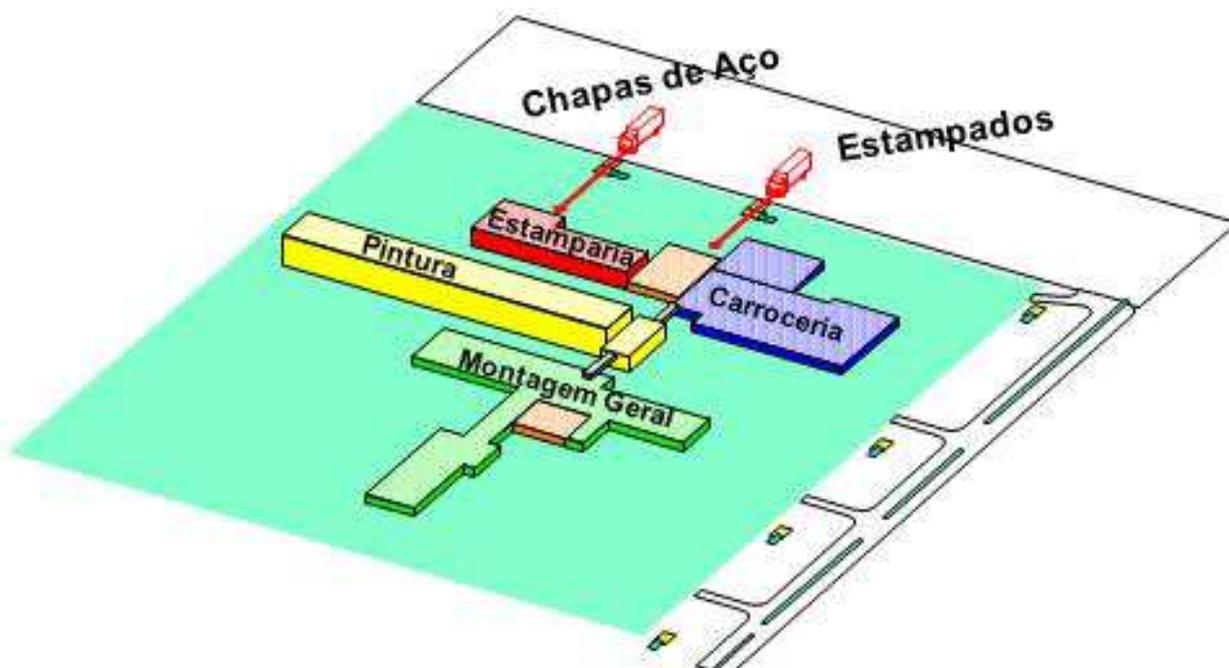


Figura 23: *Layout* dos departamentos produtivos
Fonte: Adaptado pelo autor

Os departamentos produtivos ilustrados na Figura 23 estão divididos em: (1) estamparia, (2) carroceria, (3) pintura e (4) montagem geral onde se realiza operações de montagens de itens de tapeçaria e mecânicos nos veículos.

4 METODOLOGIA

Este capítulo visa descrever e justificar a metodologia da pesquisa utilizada para o presente trabalho. Embora se apresente considerações teóricas que envolvem o processo da pesquisa científica, sua natureza central é prática.

4.1 TIPO DE PESQUISA

Vergara (2000, p. 46) propõe dois critérios básicos para informar ao leitor o tipo de pesquisa realizada, sendo eles “quanto aos fins e quanto aos meios de investigação”.

Quanto aos fins, a estratégia adotada para este trabalho, foi a de um estudo de caso, pois de forma participativa o autor desta dissertação procurou explorar e compreender os acontecimentos da indústria objeto de estudo.

O objetivo desta etapa foi de entender a estrutura do processo produtivo da indústria e propor ações para atingir os seus objetivos de eliminação de desperdícios e aumento da produtividade. Fundamentalmente, segundo Benbasat (et al., 1987) os estudos de caso são sugeridos quando:

- os fenômenos são examinados em seu ambiente natural,
- coletam-se os dados por múltiplos meios,
- uma ou algumas unidades são foco de análise,
- a complexidade de cada uma é estudada profundamente,
- contemplam-se a exploração, a classificação e o teste de hipóteses,

- não há controle experimental,
- variáveis dependentes e independentes não precisam ser determinadas a priori,
- os resultados derivados dependem do poder analítico do pesquisador,
- mudanças de unidade de análise e de método de coleta de dados podem ocorrer durante o estudo,
- abordam-se os "comos" e os "porquês" do fenômeno, e
- eventos contemporâneos estão em evidência.

Quanto aos meios, a pesquisa foi realizada pelo estudo bibliográfico, para analisar se as dimensões identificadas na literatura eram aderentes a pesquisa.

Mazzotti e Gewandsznajder (2001, p. 159) relatam que o “estudo bibliográfico apresenta subsídios para preencher as lacunas ou as inconsistências que a pesquisa se propõe a esclarecer”.

Nesse sentido, o estudo bibliográfico forneceu contribuições científicas sobre o assunto em questão.

4.2 TRATAMENTOS DOS DADOS

Segundo Yin (2005), deve-se realizar três passos para a análise das evidências coletadas em um estudo de caso:

O primeiro diz respeito às proposições teóricas relativas ao projeto original, uma vez que este deve ser baseado nos objetivos, nas questões da

pesquisa, nas revisões feitas na literatura sobre o assunto e as novas proposições ou hipóteses que possam surgir. O segundo, diz respeito às explicações concorrentes, esse tenta definir e testar explicações concorrentes e que é especialmente útil ao se fazer avaliações de um estudo de caso. E, por fim, a terceira, refere-se à descrição de caso – que é baseada no desenvolvimento de uma estrutura descritiva a fim de organizar o estudo de caso.

Assim, com a finalidade de convergir às técnicas da Teoria das Restrições com as da Manufatura Enxuta para aumento da produtividade do veículo “X”, no departamento de Carrocerias da indústria automotiva, foram analisados os procedimentos de trabalho, diários de bordos, formulários e os processos produtivos da indústria, onde se pode observar várias oportunidades de melhoria como: (a) identificação dos gargalos que restringiam o fluxo produtivo; (b) redução dos lotes de produção em processo (c) redução do *takt time*; (c) alterações de *layout*; e (d) aumento da produtividade, descritas no Subcapítulo 4.3.

Para tanto foi proposto e realizado as seguintes ações: balanceamento de cargas de trabalhos da mão de obra, melhoria na eficiência dos equipamentos “OEE” e no layout fabril.

4.3 APLICANDO AS TÉCNICAS DO TOC E DO *LEAN*

1º Passo: Identificar as restrições do sistema

A identificação das restrições num processo produtivo requer um estudo detalhado de todo o sistema. No caso em questão, tal estudo foi realizado, pelo fato de existir uma demanda de mercado de 15 veículos “X” por hora, que é

maior que a capacidade produtiva da indústria objeto de estudo, pois após análise da capacidade produtiva do veículo “X” em cada departamento, verificou-se o seguinte: estamparia produz 20 veículos/hora, carroceria produz 12 veículos/hora, pintura produz 18 veículos/hora e montagem geral 18 veículos/hora, conforme ilustrado na Figura 24.



Figura 24: Capacidade produtiva do veículo “X”
Fonte: O próprio autor

Contudo, a Figura 24 deixa transparecer que o recurso restritivo de capacidade “RRC” seja o departamento de Carrocerias, ou seja o gargalo está neste processo produtivo, que limita a produtividade do veículo “X” em 12 unidades por hora. Por sua vez, este departamento esta subdividido em 05 linhas de produção interligadas entre si, e a linha de menor produtividade é denominada Complementação Final, a qual limita a produção em 12 veículos/hora, antes da aplicação das técnicas *TOC* e *Lean*.

Se o gargalo esta na área de montagem da Complementação Final, surge a seguinte questão: Qual atividade desta célula de trabalho que restringe o alcance da meta global da empresa?

A resposta para esta questão é respondida no passo 2 através do estudo de balanceamento de cargas, de *OEE* e de layout. A Figura 25 ilustra o layout da célula gargalo.

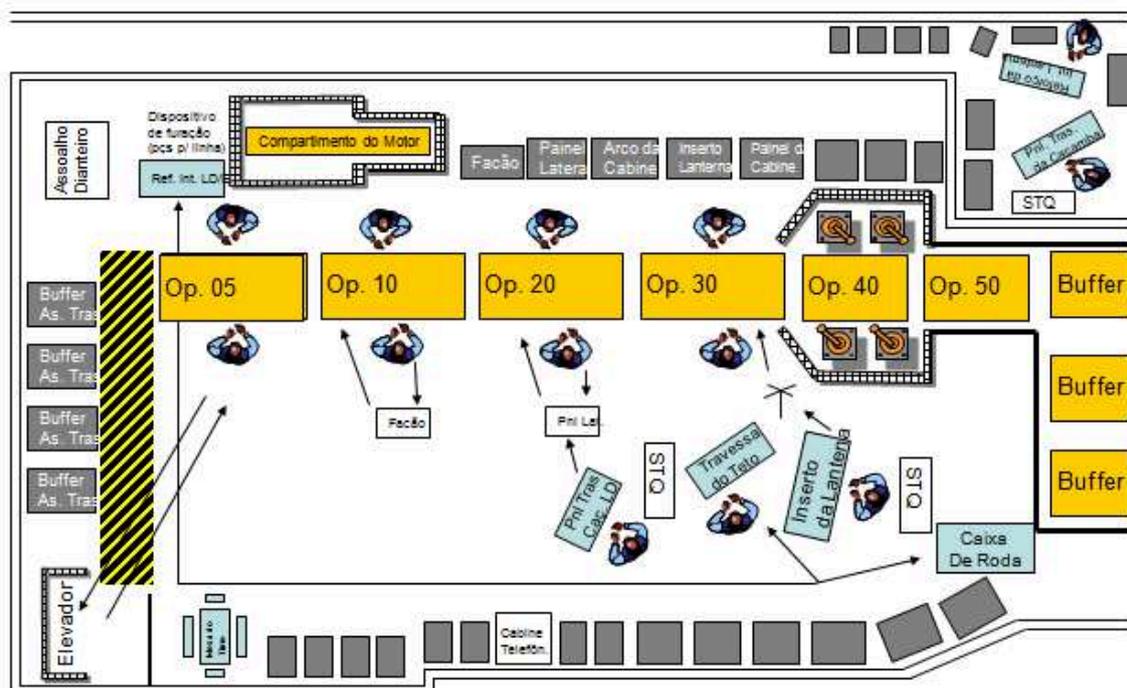


Figura 25: Layout da célula gargalo
Fonte: Adaptado pelo autor

2º Passo: Decidir como explorar as restrições do sistema

Neste passo, a princípio foi realizado o estudo de tempos de cada atividade da célula de trabalho para reconhecer onde se encontra o gargalo, bem como, os seus desperdícios, ou seja, os tempos que não adicionam valor. Os resultados estão mostrados na Figura 26 e 27.

	Atividade	Tempo AV	Tempo NAV	Tempo Ciclo	Capacidade hora	Mix	Aproveitamento	Qtde. MT's
1	Painel Tras. LD	180	27	207	18,2	100,00	69%	1
2	Trav. do Teto + Cx Roda + Ref.	100	50	150	24,0	100,00	50%	1
3	Inserto da Lanterna	202	23	225	16,3	100,00	79%	1
4	Painel Tras. Caçamba	160	29	189	18,0	100,00	68%	1
5	Reforço da Lanterna	200	49	249	15,6	100,00	89%	1
6	Op. 05 LD	184	90	264	15,6	100,00	88%	1
7	Op. 05 LE	168	32	200	18,0	100,00	67%	1
8	Op. 10 LD	142	20	162	22,0	100,00	54%	1
9	Op. 10 LE	170	22	192	19,0	100,00	64%	1
10	Op. 20 LD	190	20	210	17,1	100,00	70%	1
11	Op. 20 LE	186	24	210	17,1	100,00	70%	1
12	Op. 30 LD	222	21	243	15,5	100,00	81%	1
13	Op. 30 LE	227	21	248	15,6	100,00	83%	1
14	Op. 40 LD	240	35	245	13,0	100,00	82%	automática
15	Op. 40 LE	245	32	238	16,3	100,00	79%	automática
16	Op. 50 LD	245	38	237	16,3	100,00	79%	automática
17	Op. 50 LE	243	42	238	16,3	100,00	79%	automática
18								
Média de aproveitamento							74%	
Qtde. MT's								15

Figura 26: Estudo de Tempo – Complementação Final
Fonte: O próprio autor

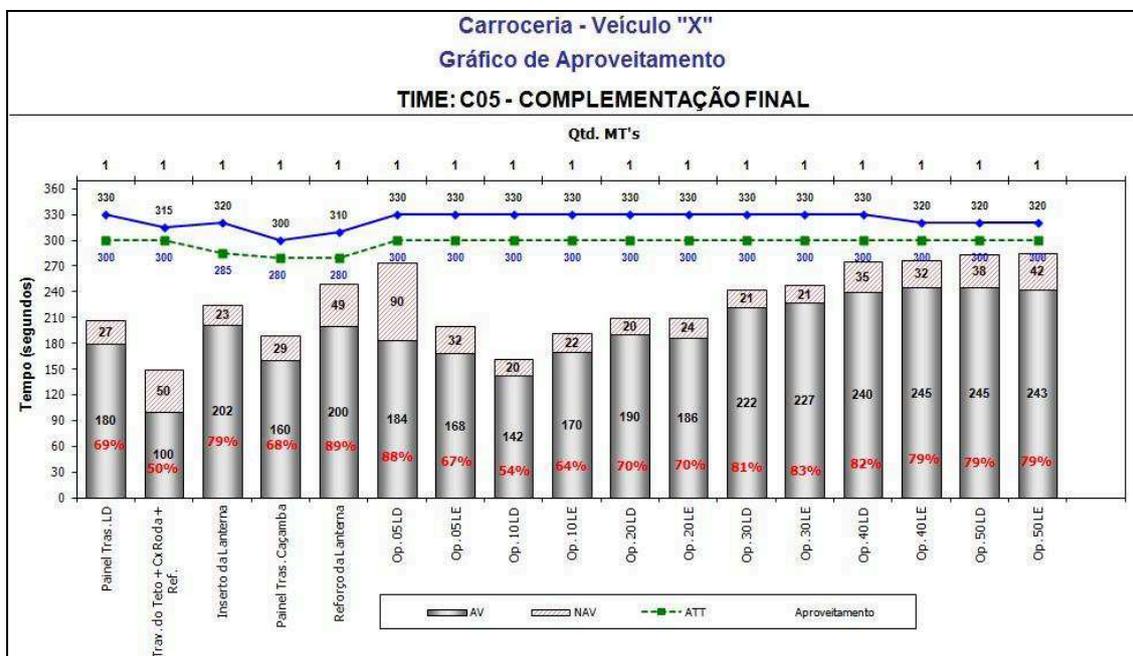


Figura 27: Gráfico de aproveitamento – Complementação Final
Fonte: O próprio autor

Com o estudo de tempos realizado por meio de cronometragens para as 17 operação da célula evidenciou-se que existe um grande desbalanceamento

entre as atividades, além dos tempos que não adicionam valor as atividades (n.a.v.) como por exemplo: a Figura 28 demonstra , a variação que vai de 150 segundos (com 50% da carga de trabalho do operador) para sub-montagem da travessa do teto + caixa de roda + reforço interno LD/LE, até 274 segundos (88% da carga de trabalho do operador da operação 05 LD).

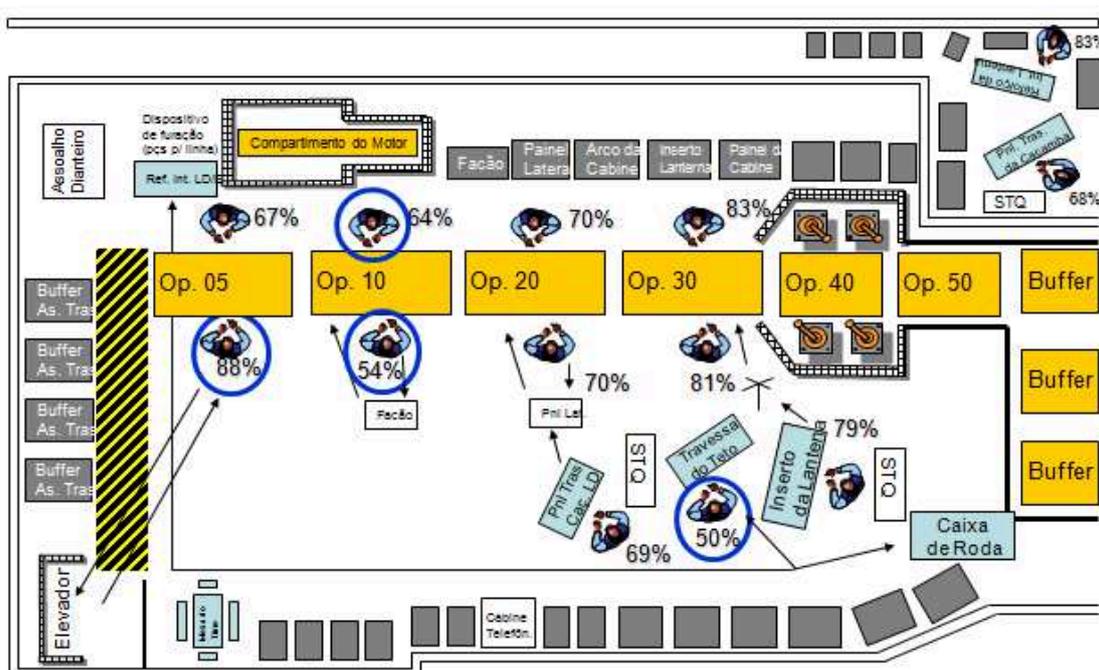


Figura 28: Layout da célula gargalo
Fonte: Adaptado pelo autor

Ressalta-se ainda, que além do trabalho de cronoanálise foram analisados os diários de bordos utilizados para medir a eficiência geral dos equipamentos (*Overall Equipment Effectiveness* - OEE) e no caso em questão, foram às atividades automáticas realizadas por robôs das operações 40 e 50 LD/LE e pode-se detectar que o “RRC” (recurso restritivo de capacidade) está na operação n.º 40 LD, pois sua capacidade produtiva é de 13 veículos.

Neste caso, a programação de produção deve iniciar por este recurso, ponto este, em que denominaremos de “tambor”, pois será o recurso que ditará o ritmo de todo o sistema produtivo.

A Figura 29 ilustra o diário de bordo do robô da operação n.º 40 LD com o seu resultado de IPG (índice de performance global).

Diário de Bordo para Máquinas / Equipamentos											TPM
Time Trabalho: Complementação Final			Epto: Robô Op. 40 LD								
Turno: 1º			Data: 25/08/2012								
Hora	Disponibilidade (Paradas)			Performance (Velocidades)			Qualidade (Produtos)			Código	Motivos
	Início	Término	Total	Forecast	Real	Dif.	Total	Scraps	Retrab.		
1ª	06:00	07:00	12	15	10	-5	10	0	0	A C	Reunião de 5 minutos atraso da logística
2ª	07:00	08:00	0	15	13	-2	13	0	0		
3ª	08:00	09:00	0	15	13	-2	12	0	0		
4ª	09:00	10:00	11	15	11	-4	12	0	1		Troca de eletrodo (5 min.)
5ª	10:00	11:00	0	15	12	-3	12	0	2	I	Falha operacional
6ª	12:00	13:00	0	15	13	-2	13	0	0		
7ª	13:00	14:00	0	15	13	-2	12	0	0		
8ª	14:00	15:15	10	16	13	-3	9	0	0	D	Falha no robô (10 min.)
IPG	Paradas: 33		462	Perdas: 23		98	Defeitos: 3		128	IPG	IPG = (0,93*0,81*0,94)*100 = 71%
	Tempo disponível		495	Objetivo do turno		121	Produzido		121		
	Disponibilidade		0,93	Performance		0,81	Qualidade		0,94		
Códigos	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Assinatura Supervisor	
	Reuniões	Parada program.	Falta peças	Quebra eqpto	Regulagens	Troca ferram.	Troca consum.	Utilidades	Outros	Dia: _____ Dia: _____	

Figura 29: Diário de Bordo – Robô Op. 14 – Complementação Final
Fonte: Adaptado pelo autor

Analisando o IPG do robô da operação 40 LD pode-se visualizar que sua performance é de somente 71% e que se deve identificar a melhor forma de utilizar este recurso restrito, com o objetivo de tirar o máximo possível dele, pois nos estudos demonstrados por meio da cronoanálise sua capacidade produtiva.

Todavia, nesse passo de número 2, ficou comprovada a necessidade da utilização da Teoria das Restrições para a tomada de decisões de quais serão as operações a serem aplicadas as ferramentas do Lean para contribuir na otimização da eficiência, eliminação do gargalo e aumento de produtividade da célula de trabalho objeto de estudo.

3º Passo: Submeta todo o resto à decisão superior

Neste passo como o objetivo é proteger o conjunto de decisões relativas ao aproveitamento da restrição durante as operações diárias, foram

subordinadas todas as atividades ao ritmo da restrição e para tanto foram desenvolvidas as seguintes ações:

- Balanceamento das cargas de trabalho;
- Mudanças de *layout*;
- Implantações de técnicas de TPM melhoria de *performance* dos robôs e equipamentos;
- Inserção de sistemas *andon* para comunicar ocorrências de anomalias;
- Inserção de *poka-yokes* para eliminação de falhas operacionais;
- Inserção de pulmões (*buffers*) para proteger os gargalos.

A Figura 30 apresenta as mudanças desenvolvidas para melhoria do rendimento da célula de Complementação Final.

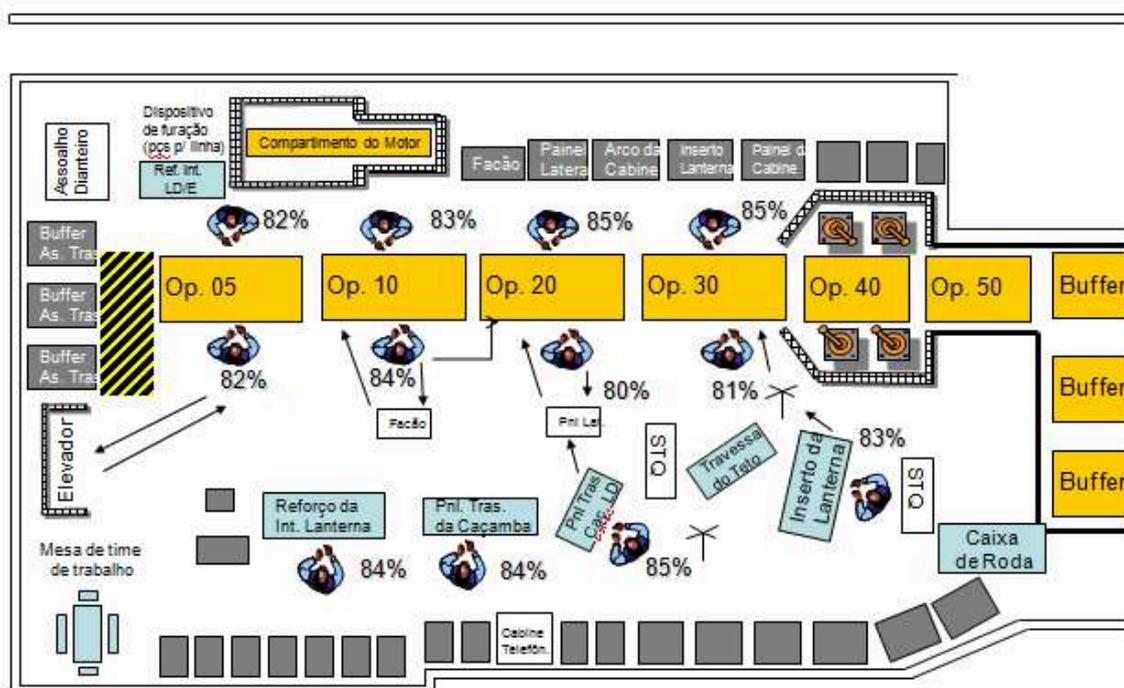


Figura 30: Novo layout e balanceamento das operações – Complementação Final
Fonte: Adaptado pelo autor

Com a implementação das ações de melhoria listadas a implementar obteve-se os seguintes resultados:

- Aumento da produtividade de 02 veículos por hora no recurso restritivo de capacidade, também denominado de gargalo;
- Aumento da carga média de trabalho de 74% para 82,2%;
- Ganho de 01 mão de obra com a distribuição de tarefas;
- Transferência de pontos de solda dos robôs para célula manual;
- Redistribuição de pontos de solda entre as operações manuais;
- Instalação de *stack light (andon)* para informar a necessidade de troca de eletrodos dos robôs;
- Diminuição dos desperdícios de deslocamento de materiais e pessoas com a mudança do layout;
- Diminuição do *downtime* (paradas) de máquinas e equipamentos.

4º Passo: Eleve a (s) restrição (ões) do sistema:

De acordo com especialistas sobre a Teoria das Restrições, geralmente os projetos em execução nos passos 2 ou 3 eliminarão as restrições. E, se a restrição continuar a existir após estes passos deve-se realizar projetos que forneçam recursos adicionais contra a restrição. Como por exemplo, a aquisição de um equipamento ou a contratação de mais funcionários para uma habilidade específica.

Nesse sentido, o 4º e o 5º passo não foram necessários realizá-los, pois com as ações de melhorias implementadas na 3ª etapa foi possível atingir os resultados esperados pela companhia para atendimento de sua demanda.

5 CONCLUSÃO

Considerando que o objetivo deste trabalho consistiu na implementação das técnicas da Teoria das Restrições e da Mentalidade Enxuta “*Lean Manufacturing*” como ferramenta para eliminação de gargalos, aumento da produtividade no departamento de Carrocerias de uma indústria automobilística, pôde-se concluir que o objetivo foi atingido.

Para tal afirmação, buscou-se por meio do estudo de caso, analisar e implementar as duas técnicas no processo produtivo na empresa objeto de estudo por meio do balanceamento de cargas de trabalhos, análise e do layout fabril, onde se podem observar várias oportunidades de melhoria como: (a) identificação dos gargalos que restringiam o fluxo produtivo; (b) redução do *takt time* (c) redução dos lotes de produção em processo, para o aumento da produtividade.

Com base nos resultados evidenciados neste trabalho, verificou-se: (a) um aumento no percentual da carga de trabalho dos montadores de 8,2% com o balanceamento da carga de trabalho sem aumentar o esforço adicional dos operadores; (b) ganho de 01 mão de obra; (c) aumento de 25% na produtividade, o que representa 02 veículos a mais do modelo “X” por hora (aproximadamente 3.840 unidade a mais por ano); (d) aumento na capacidade de resposta no manuseio de materiais, devido à mudança de *layout*, gerando assim, a aproximação de recursos dentro da célula de trabalho e eliminação de vários desperdícios existentes como: diminuição de gastos com GLP das empilhadeiras, do *lead time* para entrega de materiais e diminuição da movimentação de pessoas na célula de produção.

REFERÊNCIAS

ALVES A. P.; SILVA T. G.; COGAN S. **Utilizando os passos da teoria das restrições para a melhoria contínua da produção: Um estudo de aplicado a uma fábrica de Jeans.** In: XIII Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais, SIMPOI 2010. São Paulo: FGV-EAESP.

ANFAVEA. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira.** São Paulo, Maio – 2006.

BRAZ et. al. **O diário de bordo como fonte de informação para geração dos índices de performance operacional: uma aplicação de caso em uma indústria de automóveis.** X Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VI Encontro Latino Americano de Pós-graduação – Universidade do Vale do Paraíba. 2006.

BENBASAT, I.; GOLDSTEIN, D.K.; MEAD, M. **The case research strategy in studies of information systems.** MIS Quarterly, v. 11, n. 3, 1987, pp. 369-386.

CAMARGO, P. R. **Implantação de um Planejamento Estratégico para Solução de Problemas Operacionais.** Monografia (Programa de Pós-Graduação em MBA Gerencia da Produção e Tecnologia) – Universidade de Taubaté, 2006.

CAMARGO, P. R. **Redução de custos na movimentação de materiais em uma empresa automobilística: um estudo de caso.** Revista INGEPRO – Inovação, Gestão e Produção, vol.1, n.4, p.76-84, jun. 2009.

COBERTT, T.; CSILLAG, J. M. Analysis of the effects of seven drum-buffer-rope implementations. **Production and Inventory Management Journal**, v2, n.3/4, p.17-23, 2001.

Cox, J. F. III; Spencer, M. S. **The Constraints Management Handbook.** St Lucie. Press / APICS Series on Constraints Management: Boca Raton, FL. 1998.

FAVARETTO, A. S. **Estudo do gerenciamento de ferramentas de corte na indústria automotiva de Curitiba e Região Metropolitana.** Dissertação (Programa de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2005.

GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração da produção e operações.** 8. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

HANSEN, R. C. **Eficiência Global dos Equipamentos: uma poderosa ferramenta de produção / manutenção para o aumento dos lucros.** 1.ed. Porto Alegre –RS: Bookman, 2006.

HINO, Satoshi. **O Pensamento Toyota - Princípios de Gestão para um Crescimento Duradouro.** 1.ed. Porto Alegre –RS: Bookman, 2009.

HOFFMAN, Paul. **Asas da Loucura: A extraordinária vida de Santos Dumont**. 1. ed. São Paulo - SP: Objetiva, 2004.

ICONE LEAN CONSULTING. **Apostila de Capacitação em Lean Manufacturing**. Taubaté – SP. 2008.

ICONE LEAN CONSULTING. **Apostila de Formação de Black Belts em Lean Seis Sigma**. Taubaté – SP. 2011.

IMAI, M. **Kaizen: a estratégia para o sucesso competitivo**. 5. ed. São Paulo: IMAM, 1994.

KELLY, L. H. F. **Análise da Implementação da Manutenção Produtiva Total: um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Gestão e Desenvolvimento Regional do Departamento de Economia, Contabilidade e Administração) – Universidade de Taubaté, 2006.

LEAL, P. O. C. D. **Revisão da Literatura e análise crítica sobre teoria das restrições no contexto atual Monografia de Pós Graduação em Engenharia Elétrica e Produção**, Universidade Federal de Viçosa. VIÇOSA – MG, 2005.

LIKER, K. J. **O Modelo Toyota: 14 Princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. 1. ed. Porto Alegre –RS: Bookman, 2004.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração de Produção**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

MAZZOTTI, Alda J.A.; GEWANDSZNAJDER, Fernando. **O Método nas Ciências Naturais e Sociais: Pesquisa Quantitativa e Qualitativa** 2. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2001.

MOELLMANN, A. H. **Aplicação da teoria das restrições no gerenciamento da cadeia de suprimentos**. 1.ed. São Paulo: Blucher Acadêmico, 2010.

MONDEN, Yasuhiro., **Produção sem estoques** - Uma abordagem prática ao sistema de produção da Toyota. São Paulo: IMAM, 1984.

MORAES, P. H. A. **Manutenção Produtiva Total: estudo de caso em uma empresa automobilística**. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Gestão e Desenvolvimento Regional do Departamento de Economia, Contabilidade e Administração) – Universidade de Taubaté, 2004.

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. 1ed Porto Alegre: Artes Medicas, 1997.

PAES, R. L.; Feldens A. G. F.; Silva S. C. **Aplicação do "Shojinka" em uma empresa metalúrgica**. XXIII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção - Ouro Preto, MG, Brasil, 21 a 24 de outubro de 2003.

PASCAL, D. **Produção lean simplificada**. Porto Alegre: Bookman Companhia, 2002, 2.ed.

PRODUCTIVITY PRESS DEVELOPMENT TEAM. **Standard work for the shopfloor**. New York: Productivity Press, 2002.

PYSDEK, T.; KELLER, P. **Seis Sigma – guia do profissional**. 3. ed. São Paulo: Alta Books, 2011.

RIBEIRO, C. R. **Processo de implementação da Manutenção Produtiva Total (T.P.M.) na indústria brasileira**. Monografia (Programa de Pós-Graduação em MBA Gerencia da Produção e Tecnologia) – Universidade de Taubaté, 2003.

SHINGO, Shigeo. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da engenharia**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman Companhia, 1996.

SILVA, C. H. **As Estratégias das Indústrias Automobilísticas Brasileira**. Revista FAE Business, n.2, jun. 2002.

TAPPING D., SCHUKER T. **Lean Office: Gerenciamento do Fluxo de Valor para áreas administrativas**. 1. ed. São Paulo: Leopardo Editora, 2010.

WATSON, K. J.; BLACKSTONE, J. H.; GARDINER, S. C. **The evolution of a management philosophy: The theory of Constraints**. Journal of Operations Management, vol. 25, p. 387–402, 2007.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. **A mentalidade enxuta nas empresas – Elimine o desperdício e crie riquezas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 1996.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. **A Máquina que Mudou o Mundo: A História da Produção Enxuta**. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

YIN, R.K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

YOSHIDA, F. N. **Análise de um modelo de padronização de processos para a construção civil**. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, 2010.

VERGARA, Sylvia C. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

GLOSSÁRIO

Buffer - Pulmão para dimensionar o nível de estoque

CKD - Completely Knock-Down ou Complete Knock-Down (item completamente desmontado) , tal como um automóvel, bicicleta, mobiliário, dentre outros, que é requerido para ser montado pelo usuário final ou revendedor)

Downtime - Paralisação por um período de tempo

Heijunka - Nivelamento de Produção

Jidoka - Automação ou automação comum toque humano

Kaizen – Melhoria Contínua

Sistema Andon - É um controle de processo operacional de chão de fábrica que pode ser acionado manualmente ou automaticamente, a fim de comunicar a necessidade de ajuda mediante a ocorrência de condições anormais.

Sistemas baka-yokes ou poka-yokes - Sistemas a prova de erros

Shojinka - Flexibilidade da mão de obra

The Constraints Management Handbook - anual da Teoria das Restrições

The Machine that Changed the World - A Máquina que Mudou o Mundo

Throughput - Taxa de dinheiro que é gerado pela venda de produtos ou taxa de transferência (quantidade de dados transferidos de um lugar a outro)