

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E
SISTEMAS NÍVEL MESTRADO

RAFAEL PIERETTI DE OLIVEIRA

MÉTODO PARA DIMENSIONAMENTO E GESTÃO DE LINHAS DE
MONTAGEM EM BOXES OPERADAS POR EQUIPES: UMA ABORDAGEM A
PARTIR DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO E DA TEORIA DAS
RESTRICÇÕES.

São Leopoldo
2013

O48m

Oliveira, Rafael Pieretti de.

Método para dimensionamento e gestão de linhas de montagem em boxes operadas por equipes : uma abordagem a partir do sistema toyota de produção e da teoria das restrições / Rafael Pieretti de Oliveira. – 2013.

156 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, 2013.

"Orientador: Prof. Dr. José Antonio Valle Antunes Júnior."

1. Método. 2. Sistema Toyota de Produção. 3. Teoria das restrições. 4. Dimensionamento de linhas de montagem. I. Título.

CDU 658.5

Rafael Pieretti de Oliveira

MÉTODO PARA DIMENSIONAMENTO E GESTÃO DE LINHAS DE
MONTAGEM EM BOXES OPERADAS POR EQUIPES: UMA ABORDAGEM A
PARTIR DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO E DA TEORIA DAS
RESTRICÇÕES.

Dissertação apresentada à Universidade
do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos,
como requisito parcial para a obtenção
título de Mestre em Engenharia de
Produção e Sistemas

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Valle Antunes Júnior

São Leopoldo
2013

Rafael Pieretti de Oliveira

MÉTODO PARA DIMENSIONAMENTO E GESTÃO DE LINHAS DE
MONTAGEM EM BOXES OPERADAS POR EQUIPES: UMA ABORDAGEM A
PARTIR DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO E DA TEORIA DAS
RESTRICÇÕES.

Dissertação apresentada à Universidade
do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos,
como requisito parcial para a obtenção
título de Mestre em Engenharia de
Produção e Sistemas

Aprovado em 28 de fevereiro de 2013

Banca Examinadora

Prof. Dr. José Antonio Valle Antunes Júnior - Orientador
Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)

Prof. Dr. Luis Henrique Rodrigues
Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)

Prof. Dr. Ricardo Augusto Casse
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Prof. Dr. Miguel Afonso Sellitto
Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que diretamente ou indiretamente contribuíram de alguma maneira para a elaboração desta dissertação:

Ao Prof. Dr. José Antonio Valle Antunes Jr. pela sua paciência na orientação deste trabalho, pois muitos foram os encontros para solucionar dúvidas e colocar as ideias em ordens.

Aos Prof. Dr. Daniel Lacerda e Prof. Dr. Luis Henrique Rodrigues por suas colaborações iniciais em minha banca de qualificação, onde deram contribuições importantes para o andamento deste trabalho.

Ao Prof. Secundino Corcini pelas conversas de motivação e ajuda na formação de ideias.

Ao corpo de docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos pela ampliação de meus conhecimentos. Também gostaria de agradecer as secretárias do PPGEPS da Unisinos pela atenção na solução de problemas.

Aos amigos e colegas de trabalho que de algum jeito contribuíram para o desenvolvimento desta etapa de minha vida: Alexandre Baroni, Aline Abel, Altair Klippel, André Soares, André Dupont, Ariel Possebon, Alexandre Brasil, Bruno Baccin, Carlos Bortolotto, Carlos Hilgert, Carolina Comim, Cristiano Valer, Cleoni Vendruscolo, Eshilane Cruz, Fabian Becker, Felipe Menezes, Flávio Pizzato, Jácome Cruz, Jacinto Ponte, Lourival Stange, Luana Soratto, Luiz Henrique Pantaleão, Marcelo Klippel, Marcio Manoel Junior, Mari Almeida, Marlene Souza (Tia Marlene), Otaviano Talgatti, Paulo Gilberto de Oliveira, Priscila Inácio, Priscila Paraboni, Renato de Boer, Roberto Leal, Rodrigo Pinto, Robson Souza, Thomas Vieira. Em especial aos dois colegas que ajudaram com muito empenho na execução deste trabalho: André Seidel e Douglas Rafael Veit.

À toda minha família de modo geral e particularmente: a minha mãe Mary Helena e (em memória) a meu pai Nilson pelos ensinamentos e apoio. Gostaria de agradecer também minhas irmãs Leticia e Alexsandra e meus sobrinhos e sobrinhas. Também gostaria de agradecer minha esposa Nayane pelo apoio e força nos momentos de dificuldades e pela compreensão nos momentos de ausência, e pelo amor e companheirismo que me mantiveram firme para chegar até aqui.

RESUMO

Esta dissertação apresenta uma proposta de método para dimensionamento e gestão de linhas de montagem em boxes operadas por equipes. O método é proposto visando abordar e integrar o Sistema Toyota de Produção (STP) e a Teoria das Restrições (TOC). Esta pesquisa utiliza como base metodológica o *Design Research*, onde encontra-se estruturado em cinco fases: i) conscientização do problema; ii) sugestão; iii) desenvolvimento do artefato; iv) avaliação; e v) conclusão. O método sugerido para dimensionamento e gestão de linhas de montagem operadas por equipes consiste em 22 etapas: duas etapas preliminares: montagem da equipe de implementação e treinamento da equipe de implementação; duas etapas de Demanda: o que a linha vai produzir e qual a demanda a ser atendida, cálculo do *takt time*; cinco etapas de Oferta: qual o fluxo atual dos produtos na linha, detalhamento das operações, quantas pessoas farão parte da linha, definição dos boxes de trabalho, e divisão das atividades/trabalho nos boxes; uma de comparação do *takt time* x tempo de ciclo: a linha terá condições de atender a demanda prevista ($Takt \geq TC$); definição da estratégia de melhoria do gargalo; estratégia para redução dos custos de produção da linha; qual a documentação do projeto; definição dos indicadores de desempenho da linha; método de trabalho na linha; operacionalização da linha de montagem; e gerar ações para solucionar problemas. O desenvolvimento e avaliação do artefato foram realizados em uma empresa fabricante de carretas localizada na cidade de Caxias do Sul.

Palavras-chave: Método, Dimensionamento de linhas de montagem, Sistema Toyota de Produção; Teoria das Restrições.

ABSTRACT

This thesis presents a proposal for a method to dimension and manage assembly lines in boxes operated by teams. The method aims to approach and integrate Toyota Production System (TPS) and Theory of Constraints (TOC). This research uses Design Research as methodological basis, and is structured in five phases: i) problem awareness ; ii) proposal, iii) artifact development; iv) evaluation; and v) conclusion. The method proposed to dimension and management of assembly lines operated by teams consists of 22 steps: two preliminary steps: implementation team structure and training; two steps of demand: what the line will produce and what demand will be met, takt time calculation; five steps of supply: what the current flow is of the products on the line, operations detailing, how many people will be part on the line, boxes definition and activities in the boxes; one step of takt time x cycle time comparison: if the line meets the previewed demand ($Takt > TC$); bottleneck strategy definition; cost production strategy of the product ; what the project documentation is; indicators definition; work method on the line; assembly line operationalization; and actions to solve problems. The development and evaluation of the artifact were done in a company that assembles road implements in the city of Caxias do Sul.

Keywords: Method, Design of assembly lines, Toyota Production System, Theory of Constraints.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração de Linha de Montagem com Boxes	20
Figura 2 - Hierarquização dos planos.....	27
Figura 3 - Exemplo Arquivo PMP	28
Figura 4 - Estratégias alternativas para expansão de capacidade	29
Figura 5 - Tempo de ciclo para uma célula ou linha de produção	32
Figura 6 - Tempo de ciclo para o exemplo da Figura 5	33
Figura 7 - Família de produtos por códigos.....	35
Figura 8 - Matriz de tecnologia de grupo.....	36
Figura 9 - O método de focalização em 5 etapas.....	42
Figura 10 - Analogia da tropa ao gargalo	44
Figura 11 - Os pulmões de expedição.....	46
Figura 12 - O pulmão de tempo do RRC.....	46
Figura 13 - O pulmão de tempo de montagem.....	47
Figura 14 - Alocação dos pulmões de acordo com a metodologia TPC.....	47
Figura 15 - Logica de programação Tambor-Pulmão-Corda (TPC)	48
Figura 16 - A Rede de Processos e Operações.....	51
Figura 17 - Redução do Nível de Estoque (água)	55
Figura 18 - Elementos de operação padrão.....	62
Figura 19 - Modelo do processo de construção de conhecimento no <i>Design Research</i>	74
Figura 20 - Modelo do processo de construção de conhecimento no <i>Design Research</i>	75
Figura 21 - Quadro de pesquisa.....	78
Figura 22 - Método de trabalho	82
Figura 23 - Primeira etapa (Método de Dimensionamento de Linha)	87
Figura 24 – Segunda etapa (Método de Operacionalização da Linha)	88
Figura 25 - Método com as duas etapas mostradas simultaneamente	89
Figura 26 - Exemplo hipotético Plano Mestre de Produção (PMP)	90
Figura 27 - Exemplo Matrix Produto x Demanda.....	90
Figura 28 - Demanda para cálculo do <i>takt time</i>	92
Figura 29 - Utilização do <i>takt time</i>	93

Figura 30 - Regra para calculo do tempo de ciclo limite do gargalo.....	93
Figura 31 - Tempo de ciclo limite do box gargalo.....	94
Figura 32 - Tempo de ciclo limite dos boxes não gargalo	96
Figura 33 - Política de ocupação do gargalo	96
Figura 34 - Política de ocupação do não gargalo	97
Figura 35 - Simbologia para mapeamento	98
Figura 36 - Mecanismo da Função Produção: a rede de processos e operações de Shingo	98
Figura 37 - Formulário Mapeamento Fluxo de Valor (MFV)	99
Figura 38 - Formulário de detalhamento das operações.....	100
Figura 39 - Exemplo formulário de tempos manuais + caminhadas.....	101
Figura 40 - Orientação para arredondamento do número de operadores	102
Figura 41 - Exemplo Pareto de balanceamento	103
Figura 42 – Exemplo de folha de combinação de tarefa	104
Figura 43 – Exemplo de folha de trabalho padrão.....	105
Figura 44 - Exemplo de folha de <i>layout</i> padrão.....	105
Figura 45 - Exemplo resumo da linha (<i>takt time</i> x tempo de ciclo).....	106
Figura 46 - Exemplo hipotético indicador de desempenho produção hora/hora.....	110
Figura 47 - Exemplo hipotético Tambor-Pulmão-Corda (TPC).....	111
Figura 48 - Exemplo do funcionamento do box a jusante ao box gargalo.....	111
Figura 49 - Exemplo de gráfico de Pareto das paradas	112
Figura 50 - Exemplo de plano de ação.....	113
Figura 51 - Princípios da empresa	115
Figura 52 - Matrix Produto x Demanda	116
Figura 53 - Tempo disponível.....	116
Figura 54 - Resumo cálculos.....	118
Figura 55 - Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV)	118
Figura 56 - Controle de filmagens	119
Figura 57 - Detalhamento das operações	120
Figura 58 - Tempo manual + caminhada (TH)	121
Figura 59 - Número mínimo de operadores por box.....	122
Figura 60 - Gráfico de balanceamento dos boxes da linha	122
Figura 61 - Número de pessoas por box	123
Figura 62 - Folha de combinação de tarefas.....	123

Figura 63 - Folha de trabalho padrão	124
Figura 64 - Resumo Tempos de ciclos ponderados	125
Figura 65 - Resumo balanceamento (minutos)	125
Figura 66 - Cálculos tempos de ciclos ponderados.....	126
Figura 67 - Desenho linha de montagem	127
Figura 68 - Documentos gerados	128
Figura 69 - Box gargalo na linha	129
Figura 70 - Limites para garantir existência do gargalo (minutos).....	129
Figura 71 - Esquema de funcionamento da linha	130
Figura 72 - Produção por dia.....	131
Figura 73 - Tipologia de paradas.....	131
Figura 74 - Gráfico de paradas.....	132
Figura 75 - Plano de ação	133
Figura 76 - Folga no dimensionamento ideal	139
Figura 77 - Dificuldades de balanceamento dos boxes em relação ao modelo ideal	139
Figura 78 - Nova proposta de método (M1) construída a partir da aplicação e avaliação do método M0	148

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Orientação para arredondamento do número de operadores.	60
Quadro 2 - Principais diferenças entre pesquisa descritiva e prescritiva.	68
Quadro 3 - Saídas do <i>Design Research</i>	79
Quadro 4 - Método para avaliação do <i>Design Research</i>	80
Quadro 5 - Exemplo de cálculo do tempo de ciclo ponderado.	103
Quadro 6 - Avaliação segundo DR.....	144

LISTA DE SIGLAS

CCRs – *Capacity Constraints Resources* – Recursos com Capacidade Restritiva;

CQZD - Controle de Qualidade Zero Defeitos;

DR - Design Research;

JIT - Just-In-Time;

MPS - Planejamento Mestre da Produção;

MFP - Mecanismo da Função Produção;

MPT – Manutenção Produtiva Total;

MFV - Mapeamento do Fluxo de Valor;

OPT - Optimum Production Technology;

PAs – Planos de Ação

PMP - Plano Mestre de Produção;

PCP – Programação e Controle da Produção;

RRC - Recurso Restritivo de Capacidade;

STP - Sistema Toyota de Produção;

TOC - Teoria das Restrições;

TG - Tecnologia de Grupo;

TPC – Tambor-Pulmão-Corda;

TRF - Troca Rápida de Ferramentas;

TPM - Total Productive Maintenance;

WIP- Work-In-Process.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 QUESTÃO DE PESQUISA.....	21
1.2 OBJETIVOS	21
1.2.1 Objetivo Geral.....	21
1.2.2 Objetivos Específicos	21
1.3 JUSTIFICATIVA	22
1.3.1 Justificativa Acadêmica.....	22
1.3.2 Justificativa Empresarial	22
1.6 DELIMITAÇÕES.....	24
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	25
2 REFERENCIAL TEORICO.....	26
2.1 PLANEJAMENTO MESTRE DA PRODUÇÃO (MPS - <i>MASTER PRODUCTION SCHEDULE</i>).....	26
2.2 ESTRATÉGIA DE CAPACIDADE – O COLCHÃO DE CAPACIDADE (<i>CAPACITY CUSHION</i>).....	28
2.3 <i>TAKT TIME</i>	30
2.4 TEMPO DE CICLO.....	31
2.5 TECNOLOGIA DE GRUPO (ANÁLISE DE FAMILIAS)	33
2.4 BALANCEAMENTO DE LINHAS	36
2.6 TEORIA DAS RESTRIÇÕES (<i>THEORY OF CONSTRAINTS</i>) TOC.	39
2.6.1 Fundamentos da TOC	40
2.6.1.1 O conceito de restrição.....	40
2.6.1.2 O processo de focalização em 5 passos (melhoria contínua).....	41
2.6.1.3 Tambor-Pulmão-Corda (TPC).	43
2.7 SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO - STP	49
2.7.1 As Bases do Sistema Toyota de Produção.....	49
2.7.2 Os Princípios e as Técnicas do Sistema Toyota de Produção	53
2.7.2.1 O <i>Just-in-Time</i> (JIT).....	54
2.7.2.2 A Automação	56
2.8 PADRONIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES.....	58
2.8.1 Origem.....	58
2.8.2 Distribuição do Trabalho	60

2.8.3 Padronização das Operações	61
2.8.3.1 Determinação do Tempo para Completar uma Unidade	62
2.8.3.2 Determinação das Rotinas de Operações Padronizadas.....	63
2.8.3.3 Redação da Folha de Operações Padronizadas.....	64
2.8.3.4 Treinamento e Verificação.....	65
3 METODOLOGIA.....	66
3.1 MÉTODO DE PESQUISA	66
3.2 <i>DESIGN RESEARCH</i>	68
3.2.1 Produto do <i>Design Research</i>	72
3.2.2 Processo de construção do conhecimento	73
3.2.3 Metodologia do <i>Design Research</i>	74
3.2.4 Resultados do <i>Design Research</i>	78
3.2.5 Processo de avaliação do <i>Design Research</i>	79
3.3 MÉTODO DE TRABALHO	81
4 SUGESTÃO: PROPOSTA DE METODO M0	85
4.1 INTRODUÇÃO	85
4.2 DESCRIÇÃO DA PRIMEIRA ETAPA – MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE LINHA.....	90
4.3 DESCRIÇÃO DA SEGUNDA ETAPA – MÉTODO DE OPERACIONALIZAÇÃO DA LINHA.....	110
5 DESENVOLVIMENTO: APLICAÇÃO DO MÉTODO EM AMBIENTE EMPRESARIAL.....	114
5.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	114
5.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO NA EMPRESA	115
5.2.1 Passo 1 (DEMANDA): O que a linha vai produzir e qual a demanda a ser atendida?	115
5.2.2 Passo 2: Cálculo do <i>takt time</i>	116
5.2.3 Passo 3 (OFERTA): Qual o fluxo atual dos produtos na linha?	118
5.2.4 Passo 4: Detalhamento das operações.....	119
5.2.5 Passo 5: Quantas pessoas farão parte da linha? – dimensionamento de operadores mínimo.	120
5.2.6 Passo 6: Definição dos boxes de trabalho.....	122
5.2.7 Passo 7: Divisão das atividades / Trabalho nos boxes.....	124

5.2.8 Passo 8: A linha terá condições de atender a Demanda prevista? (Takt > TC)	127
5.2.9 Documentação do projeto	127
5.2.10 Indicadores de desempenho da linha	128
5.2.11 Método de trabalho - TOC	129
5.2.12 Operacionalização da linha de montagem	130
5.2.12 Ações para solução de problemas	131
6 AVALIAÇÃO DO MÉTODO	134
6.1 AVALIAÇÃO DO MÉTODO DE TRABALHO	134
6.1.1 Tentativa de execução do método	134
6.2 AVALIAÇÃO SEGUNDO O <i>DESIGN RESEARCH</i>	144
6.3 AVALIAÇÃO GERAL DO MÉTODO E APRESENTAÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA MELHORIA DO MESMO	145
6.3 MÉTODO PROPOSTO M1	146
7 CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	149
7.1 CONCLUSÕES	149
7.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	150
7.3 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	151
REFERÊNCIAS	152

1 INTRODUÇÃO

A aplicação de linhas de montagem na manufatura tem sua origem atribuída a Henry Ford que ficou conhecido por seus esforços na otimização dos tempos de montagem dos automóveis. Em suas duas grandes realizações (partes/peças intercambiáveis e linhas de montagem móvel) Ford conseguiu reduzir o ciclo de montagem de 510 minutos, ou oito horas e meia para aproximadamente 2,3 minutos (ROMM, 1996). Mas seu maior salto se deu quando ele implementou a linha de montagem móvel conseguindo diminuir ainda mais este tempo de 2,3 minutos para 1,19 minutos (ROMM, 1996).

Conforme Shingo (1996) o sistema de produção desenvolvido por Ford compreendia que estoques eram um “mal necessário”. Neste contexto a palavra “necessário” obtinha um peso maior enquanto o “mal” era considerado como algo inevitável e até útil. Este acúmulo de estoques, solucionava uma série de problemas como por exemplo: i) respostas imediatas para demandas não previstas; ii) para minimizar os tempos de *setups* criava-se lotes econômicos e com isso aumentava o tamanho dos lotes de produção; iii) para compensar peças defeituosas utilizava-se o estoque como peças boas; iv) em caso de quebra de máquinas se utilizava das peças do estoque para suprir este problema; e v) paradas na produção devido a falta de operadores ou qualquer outro problema. Já no sistema de produção desenvolvido por Ohno (1997) este estoque é considerado um “mal absoluto” que deve ser totalmente eliminado e substituído por: i) diminuição do *lead time*, possibilitando atender a pedidos de ultima hora; ii) redução do tempo de *setup* de horas para menos de 10 minutos; iii) eliminação de defeitos através da implantação de *poka-yoke* e pela inspeção na fonte; iv) eliminação de quebra de máquinas através da verificações na fonte e pelo sistema *poka-yoke*; e v) implantação de pré-automação e trabalhadores multifuncionais para eliminação de absenteísmos.

Goldratt (2009) destaca que Ford revolucionou a produção em massa ao introduzir as linhas de montagem. E que Taichii Ohno valeu-se desta ideia para formar o embrião do que hoje denominamos Sistema Toyota de Produção (STP).

Conforme Ford (1927) entre os anos de 1906 e 1907, Henry Ford colocou em prática sua ideia de produzir um modelo padronizado e de baixo custo que não necessitava de cuidados especiais, com isso conseguiu reduzir seus custos de manutenção: o Modelo “T”. Com o lançamento deste carro em 1908 e que foi

sucesso durante 19 anos, chegando a produzir neste período um total de 15 milhões de carros, Ford lançou o princípio das linhas de montagem móvel que sustentou a lógica de produção em massa.

De acordo com Becker (2006), linhas de montagem são sistemas de fluxo de produção orientada para produção industrial de bens de alta quantidade e padronizados. Já para Manitz (2008) linhas de montagem são instaladas para produtos que são produzidos em quantidades elevadas. A disposição destes sistemas de produção é determinada de acordo com o fluxo de material em conformidade com a sequência das operações a serem executadas. A flexibilidade é necessária, se os clientes podem escolher as variantes de um determinado produto ou família de produtos.

Segundo Ozbakir *et al.* (2011) linhas de montagem são formadas por estações de trabalho conectadas em série com correias transportadoras ou outros sistemas de manuseio de materiais para produzir produtos de alta quantidade e padronizados. A finalidade principal de tais sistemas é a redução dos custos de produção em massa de produtos padronizados. No entanto, os requisitos dos sistemas atuais de produção estão mudando em função da necessidade do cliente de diversificar.

Para Boysen *et al.* (2008) uma linha de montagem é um sistema de produção de fluxo orientado onde as estações estão alinhadas de uma forma em série. As peças são sucessivamente movidas ao longo da linha geralmente por algum tipo de sistema de transporte, por exemplo, uma correia transportadora. Uma linha de montagem consiste em estações, geralmente dispostas ao longo de uma correia transportadora ou um material semelhante mecanicamente manuseado. As peças são consecutivamente lançadas na linha e são movidas de estação para estação. Em cada estação, certas operações são repetidamente realizadas em relação ao tempo de ciclo (tempo máximo ou média disponível para cada ciclo de trabalho).

Boysen *et al.* (2008) destaca três modelos genéricos de linhas de montagem: i) linhas de montagem com modelo único; ii) linhas de montagem com modelo misto; e iii) linhas de montagem com multi-modelos.

i. Linhas de montagem com modelo único: em sua forma tradicional, linhas de montagem foram utilizadas para produção de alto volume de um único produto. Hoje, os produtos sem qualquer variação raramente podem atrair clientes suficientes para permitir a utilização rentável do sistema de montagem.

Tecnologias avançadas de produção automatizadas permitem a obtenção de tempo de preparações (*set-ups*) curto. Se mais do que um produto é montado na mesma linha, mas nem os *set-ups* nem as variações são significativas nos tempos de funcionamento, o sistema de montagem pode ser tratado como uma linha de modelo único.

ii. Linhas de montagem com modelo misto: no modelo misto de produção os *set-ups* podem ser suficientemente reduzidos, de modo que misturando as sequências de modelos os mesmos podem ser montados na mesma linha. Como consequência, é geralmente assumido que todos os modelos são variações do produto da mesma base diferindo apenas em atributos específicos de produtos personalizáveis, também conhecidos como opções.

As instalações de opções variadas tipicamente conduzem as variações nos tempos de processamento. Na produção de automóvel, por exemplo, a instalação de um teto de abrir elétrico requer uma quantidade de tempo diferente do que a de um manual. Portanto, o tempo da estação vai depender muito do modelo específico a ser montado. Se vários modelos de trabalho intensivo seguem uns aos outros na mesma estação, o tempo de ciclo pode ser ultrapassado e uma sobrecarga ocorrer, o que necessita de ser compensada por algum tipo de reação.

iii. Linhas de montagem com multi-modelos: em uma linha multi-modelo de produção, a homogeneidade de produtos montados e seus processos de produção não são suficientes para permitir as sequências de produção facultativas. A fim de evitar a definição dos tempos e/ou dos custos o conjunto é organizado em lotes. Isto leva a um problema de muito curto prazo de dimensionamento dos grupos e modelos para tomada de decisão de montagem.

Se todos os modelos de uma linha de multi-modelo são para ser equilibradas em simultâneo, os alvos de produção são diferentes para cada modelo, necessitando de ser tomadas em consideração. Assim, os tempos de ciclo podem variar de acordo com cada modelo considerado.

Já para Johnson (1991) as linhas de montagem podem ser divididas em três tipos: i) linhas de montagem com trabalho individual; ii) linhas de montagem operadas por equipes de trabalho; e iii) linhas de montagem operadas por equipes auto gerenciadas.

i. Nas linhas de montagem com trabalho individual encontra-se um trabalhador para cada posto de trabalho. Estes operários estão fixos em cada posto

de trabalho, com isso muitas vezes confunde-se com estação de trabalho, que neste caso podem ser considerados como sinônimos. Aqui o balanceamento é feito sempre considerando toda linha de montagem. Neste caso podem existir duas subdivisões: a) não havendo rotação de trabalho (cada operário é fixo a um mesmo posto de trabalho); b) Havendo rotação de trabalho (neste caso os operários trocam de posto de trabalho de acordo seu treinamento).

ii. Nas linhas de montagem operadas por equipes de trabalho encontra-se a linha de montagem dividida em sublinhas, em cada sublinha contem estações de trabalho, ou seja, cada sublinha tem um número determinado de estações de trabalho ou postos e conta com um numero determinado de operadores.

iii. Já nas linhas de montagens operadas por grupos auto-gerenciados, onde inicialmente as estações de trabalho são montadas e logo após são distribuídas as tarefas para cada estação. Cada grupo de trabalho opera uma estação que é formada por um conjunto de postos que serão montados posteriormente de maneira autônoma pela equipe de trabalho. Assim sendo, a equipe auto-gerenciada conta com a autonomia para organizar as funções de cada operador dentro da estação de trabalho.

Para Fan *et al.*(2010) é possível discriminar dois tipos de linhas de montagem. A primeira é a linha de fluxo único modelo, o segundo é mista e modelo de multi-linha de fluxo. A principal diferença entre eles é que a linha de fluxo único modelo processa apenas um tipo de trabalho, enquanto diferentes tipos de trabalhos são processados em linhas de fluxo misto e modelo de multi-linha.

De acordo com Ozbakir *et al.* (2011) além das conhecidas linhas de montagem simples, pesquisadores e profissionais desenvolveram vários projetos de montagem de linha e outras técnicas de equilíbrio, como "linhas de modelos mistos e multi-modelos", "linhas em forma de U", "linha de montagem com estações de trabalho ou tarefas paralelas", etc.

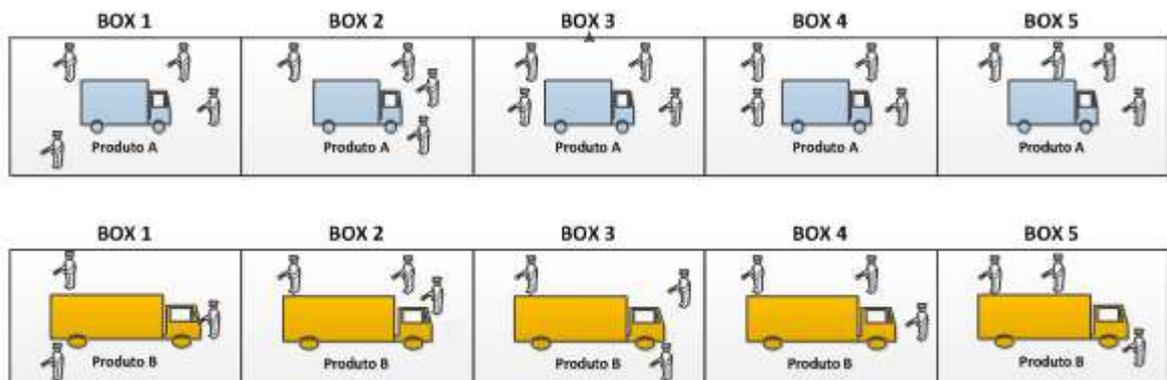
Empresas industriais, que possuem características como demanda de baixo volume e uma alta variação no *mix*, como por exemplo, fabricantes de ônibus, caminhão, carretas e geradores, onde as montagens são feitas nos boxes, são pouco exploradas na literatura.

O objeto específico desta dissertação são as linhas de montagem que utilizam boxes operados com equipes específicas de trabalho. As principais características deste tipo de linha de montagem são:

- a. Boxes operados por equipes;
- b. Linha de montagem não móvel;
- c. Boxes conectados em série;
- d. Produtos de baixo volume;
- e. Mix de produção pode ser variado;
- f. As estações de trabalho são caracterizadas por muitas tarefas, múltiplas pessoas e delimitação física do box;
- g. O processo de balanceamento é feito considerando a unidade de medida boxes, ou seja, é necessário balancear os diferentes boxes para depois conduzir o processo de sincronização;
- h. O processo de sincronização necessita ser feito entre os boxes;
- i. O produto em geral tem dimensões significativas (ex.: carretas, ônibus, estruturas metálicas, caminhões, transformadores, vasos de pressão etc.);
- j. O tempo de ciclo para fim de dimensionamento, balanceamento e sincronização de linha está associado ao box como um todo;
- k. Pode ser utilizado para linha de montagem com modelo único, linha de montagem com modelo misto e linha de montagem multi-modelo.

Um exemplo ilustrativo de linha de montagem pode ser visualizado na Figura 1, neste exemplo é possível visualizar a modificação de números de operadores e da entrada de produtos diferentes.

Figura 1 - Ilustração de Linha de Montagem com Boxes



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Desta maneira, torna-se imprescindível a utilização de um método para dimensionamento de linhas de montagem que aborde as características descritas anteriormente.

1.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A partir do problema apresentado, o presente trabalho busca responder à seguinte questão: “Como projetar e gerir Linhas de Montagem em boxes operadas por equipes em empresas industriais?”

1.2 OBJETIVOS

São os seguintes o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral da dissertação consiste em propor um método estruturado de dimensionamento e gestão de linhas de montagem em boxes operadas por equipes em empresas industriais adotando os conceitos da STP e TOC.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atender ao objetivo geral, os seguintes objetivos específicos serão perseguidos:

- a. Identificar os princípios da STP e da TOC que podem ser úteis para o tratamento do objeto linhas de montagem em boxes operadas por equipes;
- b. Propor uma sequência de passos lógicos embasados em referenciais teóricos e experiências de vivência, delineados de tal maneira que, quando aplicados, constituam um método para dimensionamento e gestão de linhas de montagem em boxes operadas por equipes;
- c. Aplicar o método proposto em um ambiente real, analisando a necessidade de adaptações e a aplicabilidade das etapas propostas;
- d. Avaliar criticamente o método proposto em um ambiente real visando aprimorar o método proposto.

1.3 JUSTIFICATIVA

Em termos de justificativa do desenvolvimento desta proposta, apresentam-se os pressupostos que sustentam o presente trabalho, os quais estão divididos em duas justificativas, uma de cunho acadêmico e outra de cunho empresarial.

1.3.1 Justificativa Acadêmica

Como justificativa acadêmica, em relação ao desenvolvimento teórico, torna-se necessário a elaboração de um método de Dimensionamento e Gestão de Linhas de Montagem em boxes operadas por equipes, construído a partir dos principais conceitos do STP e da TOC. Assim, a utilização deste método, visa preencher uma lacuna conceitual existente na literatura.

Skinner (1996) coloca que alguns trabalhos acadêmicos são realizados no campo do “o que fazer” sem abordar diretamente o “como fazer”. Em função deste ponto os conceitos tornam-se menos permeáveis, e principalmente aplicáveis, no campo empresarial. Levando em conta este contexto que se repete nos anos, é possível sugerir que existe uma potencialidade objetiva de aplicação prática dos conceitos e princípios do método proposto neste trabalho em empresas que necessitam utilizar linhas de montagem em boxes operadas por equipes.

Neste sentido, parece que existe um espaço que contemple trabalhos teóricos/práticos na engenharia de produção embasado nos conceitos do STP e da TOC e que tenham como foco central “como fazer” a melhoria e a gestão eficaz das linhas de montagem em cena.

Neste intuito Boysen (2007) postula que existe uma lacuna entre os trabalhos acadêmicos e potencialidade de sua aplicação no campo prático. Esta dissertação insere-se no contexto supracitado.

1.3.2 Justificativa Empresarial

Embora as empresas, no geral, tenham consciência da importância do dimensionamento de Linhas de Montagem em boxes operadas por equipes, existem dificuldades objetivas em estabelecer os conceitos, práticas e métodos que tornem exequíveis as operações. Desta forma, quando este tema é tratado nas

organizações/empresas isto tende a não estar sistematizado, o que implica em problemas associados a competitividade das empresas.

Estas questões são potencializadas em função dos clientes que apontam para a necessidade do aumento da variedade dos produtos visando atender o incremento da diferenciação dos produtos. Neste sentido, o presente trabalho justifica-se na medida em que propõe um método, baseado nos princípios da TOC e do STP, que se propõe a tornar mais eficaz o Dimensionamento e Gestão de Linhas de Montagem em boxes operados por equipes.

Sendo assim, este trabalho pode ser justificado por algumas questões básicas associadas ao método proposto: i) sugerir melhores formas de aproveitamento dos profissionais que atuam na linha de montagem foco do trabalho; ii) melhoria do fluxo de produção e materiais; iii) melhoria da eficiência no funcionamento de linhas de montagem em boxes operadas por equipes; iv) existência de lacuna entre os conceitos sugeridos para o tratamento das linhas de montagem e sua aplicação na prática empresarial; v) necessidade de tratar da potencialidade de racionalizar o número de boxes de trabalho no intuito de entregar os produtos requisitados pelo mercado.

O melhor aproveitamento da mão-de-obra (profissionais envolvidos) são abordados por Fan *et al.*(2010).e Dimitriadis (2006). Estes autores postulam a necessidade de melhorar a eficácia total da linha de montagem em relação tendo como base a racionalização da utilização dos trabalhadores.

Manitz (2008) sugere a necessidade de procurar formas de melhorar os fluxos de produção e materiais em linhas de montagem através da utilização do conceito de sincronização da produção.

A busca de uma melhor eficiência no funcionamento da linha de montagem é tratado por Ozbakir *et al.*(2011), Becker (2006) e Boysen (2008). Os autores colocam que o estudo da linha de montagem deve ser concebido de maneira a absorver produtos diferentes buscando sempre a melhor eficiência da linha. A linha de montagem deve estar projetada para absorver produtos diferenciados, famílias de produtos desde sua concepção.

De acordo com Boysen (2007) existe uma lacuna entre os trabalhos acadêmicos e sua aplicação na prática. O autor sugere que existem poucos trabalhos acadêmicos tratando de linhas de montagem que, realmente, são

aplicados na prática. Esta lacuna deve ser preenchida com a criação de trabalhos práticos e de fácil aplicação em ambientes empresariais.

A diminuição das estações de trabalho (boxes) é abordada por Fan *et al.*(2010), Ozbakir *et al.*(2011) e Dimitriadis (2006) onde os mesmos colocam que com o cuidado na atribuição dos elementos de trabalho e redução da sobreposição das mesmas torna-se possível a diminuição dos boxes de trabalho e diminuição dos custos. Com a minimização de boxes os operadores tendem a se aproximar mais e com isso facilitar em seu balanceamento de tarefas, com isso, melhorando no desempenho da linha como um todo.

1.6 DELIMITAÇÕES

Esta seção tem como objetivo apresentar algumas delimitações deste trabalho.

Em primeiro lugar, a dissertação terá foco na discussão sobre linhas de montagem que utilizam boxes, operadas por equipes, através da proposta de um método para o dimensionamento e gestão destas linhas de montagem que permita o alinhamento entre a estratégia de produção e os sistemas de produção embasados nos fundamentos do STP (Sistema Toyota de Produção) e a TOC (Teoria das Restrições). Para isso são pressupostos: i) a estratégia de produção da empresa deve estar previamente definida; ii) a lógica de PPCPM da linha já está definida; iii) existência de um ambiente onde se tenha conhecimento formal dos fundamentos do STP e TOC.

É importante ressaltar que na aplicação do método proposto, não se pretende discutir com profundidade as ferramentas utilizadas pela empresa para o Dimensionamento e Gestão de Linhas de Montagem.

Embora seja tratado o tema do balanceamento intrabox e entre os diferentes boxes não serão discutidas em detalhes as diferentes proposições passíveis de serem executadas e sua respectivel eficácia.

Para finalizar, o uso da Tecnologia da Informação para automação da coleta e compilação de dados relacionados ao método proposto, embora útil para a eficiência da aplicação do método, não está contemplada na pesquisa.

Com as delimitações definidas, a seção a seguir vai descrever a estrutura do presente trabalho, abordando o que será discutido em cada um dos capítulos deste documento.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo apresenta a proposta de trabalho, o tema de pesquisa, o problema de pesquisa, os objetivos do estudo (geral e específicos), as justificativas (acadêmica e empresarial) e as delimitações.

O segundo capítulo aborda o Referencial Teórico, abordando aspectos teóricos sobre linhas de montagem, com ênfase nos conceitos do STP e TOC.

O capítulo três apresenta a metodologia utilizada na condução do trabalho; apresenta a revisão bibliográfica do método de condução da pesquisa – *Design Research*, bem como a justificativa de sua escolha e o método de trabalho – passos lógicos para a realização desta dissertação.

O capítulo quatro apresenta a primeira proposta do método (M0) para Dimensionamento e Gestão de Linhas de Montagem, apresentando de maneira planejada os passos utilizados para formação do método.

O capítulo cinco trata da aplicação e desenvolvimento do método (M0) na organização estudada.

O capítulo seis apresenta a avaliação do método proposto (M0). O resultado dessa avaliação é a elaboração do método M1 como resultado final da presente pesquisa.

Finalmente no capítulo sete são apresentadas as principais conclusões, limitações e recomendações para trabalhos futuros.

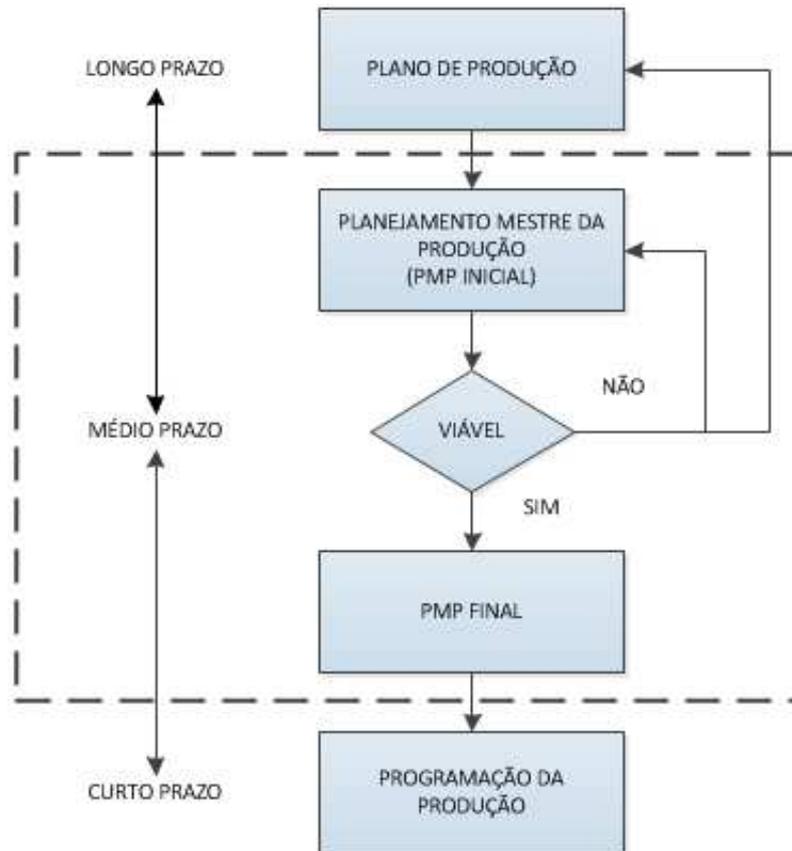
2 REFERENCIAL TEORICO

2.1 PLANEJAMENTO MESTRE DA PRODUÇÃO (MPS - *MASTER PRODUCTION SCHEDULE*).

Segundo Corrêa *et al.* (1997) o planejamento mestre de produção coordena a demanda do mercado com os recursos internos da empresa de forma a criar uma programação adequada de produção de produtos finais. Já para Tubino (1997) o planejamento mestre da produção está encarregado de desagregar os planos produtivos estratégicos de longo prazo em planos específicos de produtos acabados para o médio prazo, para com isso direcionar as atividades de programação e execução das atividades operacionais da empresa (montagem, fabricação e compras).

A partir do planejamento mestre da produção obtém-se um plano chamado de Plano Mestre de Produção (PMP), que expressará as decisões tomadas quanto à necessidade de produtos acabados para cada período analisado. Na Figura 2 é possível analisar a conexão entre o planejamento estratégico (plano de produção) e as atividades operacionais da produção em si (TUBINO, 1997).

Figura 2 - Hierarquização dos planos



Fonte: Adaptado de Tubino (1997).

De acordo com Tubino (1997) na elaboração do plano mestre de produção deve-se ter alguns cuidados e questões que devem ser observadas e discutidas, entre as quais a determinação de que itens devem fazer parte da PMP, qual o intervalo de tempo e que horizonte planejar, como tratar os produtos para estoque e os sob encomenda.

Para Corrêa e Tubino (1997) para facilitar o tratamento das informações e agilizar os cálculos das operações referentes à elaboração do PMP, emprega-se um arquivo contendo as informações detalhadas por item que será planejado, no arquivo constam informações como demanda prevista e real, os recebimentos programados os estoques em mãos e projetados e a necessidade prevista de produção do item, conforme na Figura 3.

Figura 3 - Exemplo Arquivo PMP

	Setembro				Outubro			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Demanda prevista	50	50	50	50	60	60	60	60
Demanda confirmada	55	40	10	5	0	0	0	0
Recebimentos programados	100							
Estoques projetados	5	50	100	50	100	40	80	20
PMP		100		100		100		100

Fonte: Adaptado de Tubino (1997).

O planejamento mestre da produção procura fazer a ligação entre o planejamento estratégico de longo prazo e as atividades operacionais da produção através da criação do plano mestre de produção, neste tópico observou-se a maneira de montar o plano mestre de produção ressaltando a montagem do arquivo que representa o plano (TUBINO, 1997).

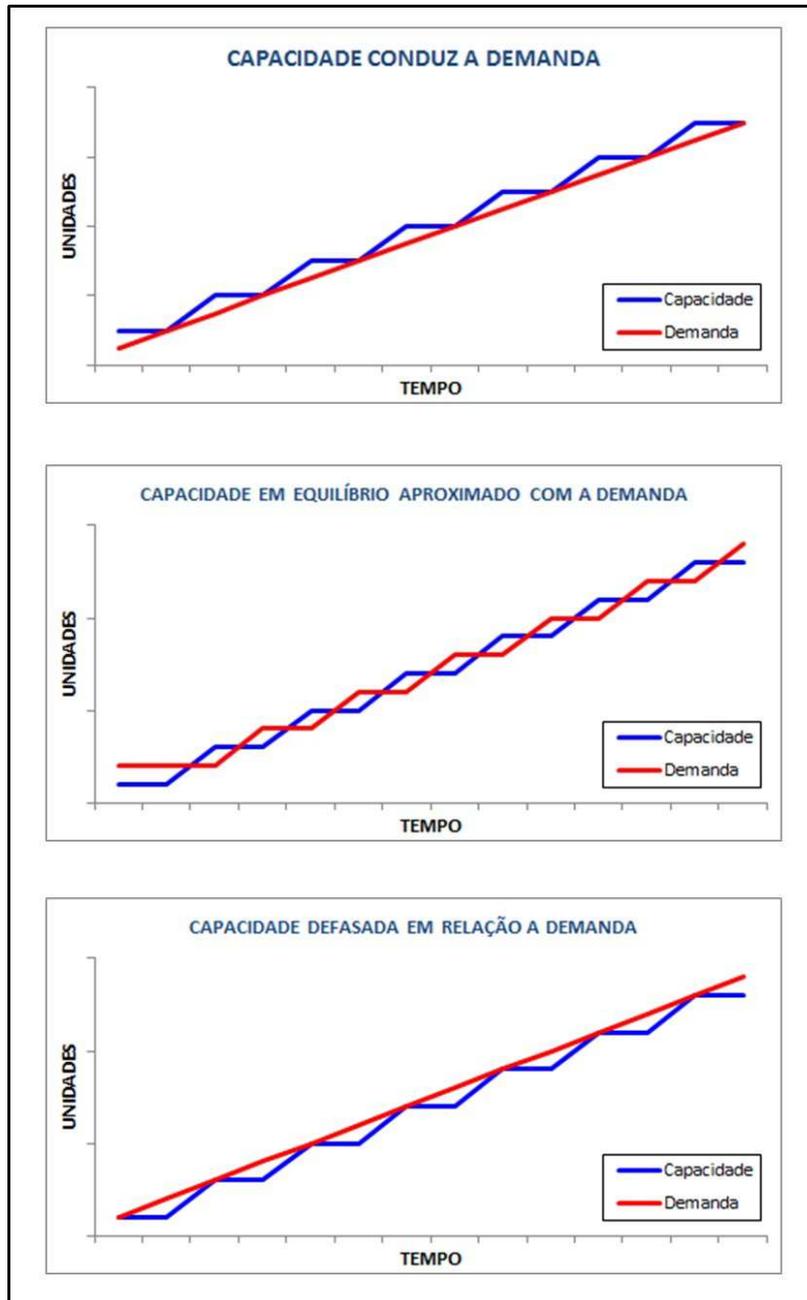
2.2 ESTRATÉGIA DE CAPACIDADE – O COLCHÃO DE CAPACIDADE (*CAPACITY CUSHION*).

De acordo com Hayes *et al.* (2008), geralmente a capacidade de produção é de difícil definição e mensuração com a acuracidade necessária, já que representa uma vasta e complexa interação de espaço físico, equipamento, taxas de produção, recursos humanos, capacitações do sistemas, políticas da empresa e a taxa e confiança dos fornecedores. O conceito de colchão de capacidade pode ser definido como uma estratégia de capacidade que sugere como a quantidade e a disponibilidade de capacidade deve se relacionar com as mudanças na demanda. As três opções apresentadas na Figura 4, ilustram a variedade de possibilidades disponíveis: i) política de a capacidade conduz a demanda; ii) política de a capacidade em equilíbrio aproximado com a demanda; e iii) política de a capacidade defasada em relação à demanda.

1. Capacidade conduz a demanda: Nesta política a estratégia consiste em construir e manter capacidade extra, para que assim a probabilidade de faltas seja menor do que ter mais do que o necessário.
2. Capacidade em equilíbrio aproximado com a demanda: Sob esta política, com o tempo se deve tentar igualar, se possível, capacidade à demanda antecipada para determinados produtos e serviços.

3. Capacidade defasada em relação à demanda: Esta política implica que o plano de capacidade de uma empresa conterà um colchão negativo. Assim, a probabilidade de ocorrerem faltas é maior do que a probabilidade de existir excesso de capacidade.

Figura 4 - Estratégias alternativas para expansão de capacidade



Fonte: Adaptado de Hayes *et al.* (2008).

2.3 TAKT TIME

Antes de entrar na discussão sobre *takt time*, deve-se ter o entendimento mínimo sobre a operação do STP, a linearização e o encadeamento do fluxo de materiais com fundamental relevância. Para Monden (1984), isso se dá de duas formas gerais:

- Com a conexão de células de produção através da utilização do sistema *Kanban*;
- Com a criação do fluxo unitário em linha (*one piece flow*) – onde a transferência de materiais entre as operações se dá de forma a se transferir uma única unidade (peça) de cada vez.

No entanto, o que em muitos casos é usado é a combinação das duas modalidades. A partir deste pensamento a gestão pelo tempo assume um papel fundamental na medida em que a fábrica se adapta ao ritmo definido para a linha de montagem (MONDEN, 1984). Uma discussão sobre o tema é encontrada em Alvarez & Antunes (2001).

Conforme Shook (1998) a origem da palavra *takt time* veio quando técnicos japoneses estavam aprendendo técnicas de fabricação com alemães, “*takt*” serve para designar o compasso de uma composição musical, tendo sido introduzida no Japão nos anos 30 com o sentido de ‘ritmo de produção’, quando técnicos japoneses estavam a aprender técnicas de fabricação com engenheiros alemães (SHOOK, 1998).

Para Ohno (1997) o *takt time* é obtido pela divisão do tempo diário de operação pelo número de peças requeridas por dia. Complementando Alvarez & Antunes (2001) colocam que a definição do *takt time* se dá a partir da demanda do mercado e do tempo disponível para produção, é o ritmo necessário para atender a demanda estipulada pelo mercado (cliente).

Uma observação importante feita por Alvarez & Antunes (2001) é que o tempo disponível de produção não é necessariamente igual à duração do expediente fabril, em muitos casos, deve-se descontar os tempos de paradas programadas, tais como reuniões, ginástica, manutenção etc.

- Tempo disponível para produção = período de trabalho - paradas programadas

O *Takt time* é calculado como mostrado na Equação 1 e sua unidade de medida é composta pelas unidades de medida utilizadas para Demanda e para Tempo Disponível.

$$T_t = \frac{T_d}{D} \quad (1)$$

Onde:

T_t = *takt time* (min/un; s/un; min/pç; s/pç);

T_d = tempo disponível (min; s);

D = demanda (un; pç).

2.4 TEMPO DE CICLO

Para Rother & Shook (1998) tempo de ciclo é “o tempo transcorrido entre a saída de uma peça e a saída da próxima, em segundos”. Um ciclo é dado pelo período de tempo entre a repetição de um mesmo evento que caracterize o início ou fim desse ciclo.

Conforme Alvarez & Antunes (2001) o tempo de ciclo é determinado pelas condições operativas da célula ou linha. Ao considerar uma célula ou linha de produção com “n” postos, o tempo de ciclo é definido em função dos seguintes elementos:

- a. Tempos unitários de processamento em cada máquina/posto;
- b. Número de operadores na célula ou linha.

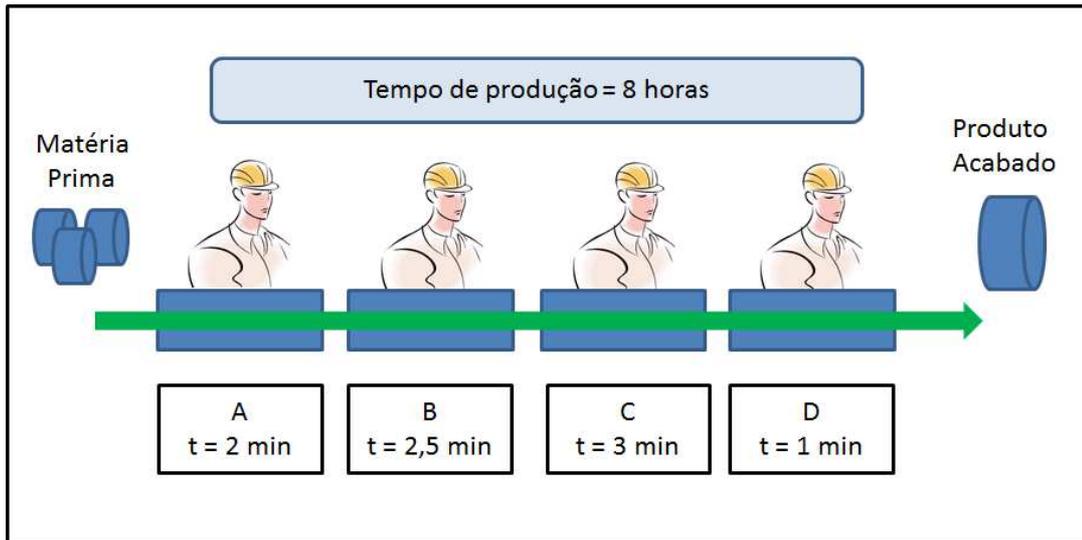
Ao se ampliar a unidade de análise dos sistemas de produção (células, linhas e até mesmo fábricas inteiras), a discussão muda de ótica. Nesse contexto, não está se olhando uma única máquina, onde se tem facilidade de definir o tempo de ciclo e sim o olhar tem que voltar-se para as relações sistêmicas de dependência entre equipamentos e as operações.

Para um melhor entendimento dos conceitos, considere o exemplo apresentado na Figura 5, no qual um produto hipotético passa por quatro operações subsequentes, em quatro postos ou máquinas diferentes (A, B, C, D), até ser processado por completo.

No exemplo da Figura 5, pode-se observar que cada posto de trabalho tem seu tempo de processamento unitário. Contudo, a linha só pode ter um único tempo de ciclo para uma mesma configuração.

O tempo de ciclo não se vincula ao início ou término do processamento de um produto na linha. Pois se considerássemos este caso, o tempo de ciclo se igualaria ao somatório dos tempos das operações (A, B, C e D), desconsiderando tempos de transporte e paradas dos materiais. E para situação proposta no exemplo, onde cada posto há um operador, as operações podem ser realizadas em paralelo, em peças diferentes.

Figura 5 - Tempo de ciclo para uma célula ou linha de produção

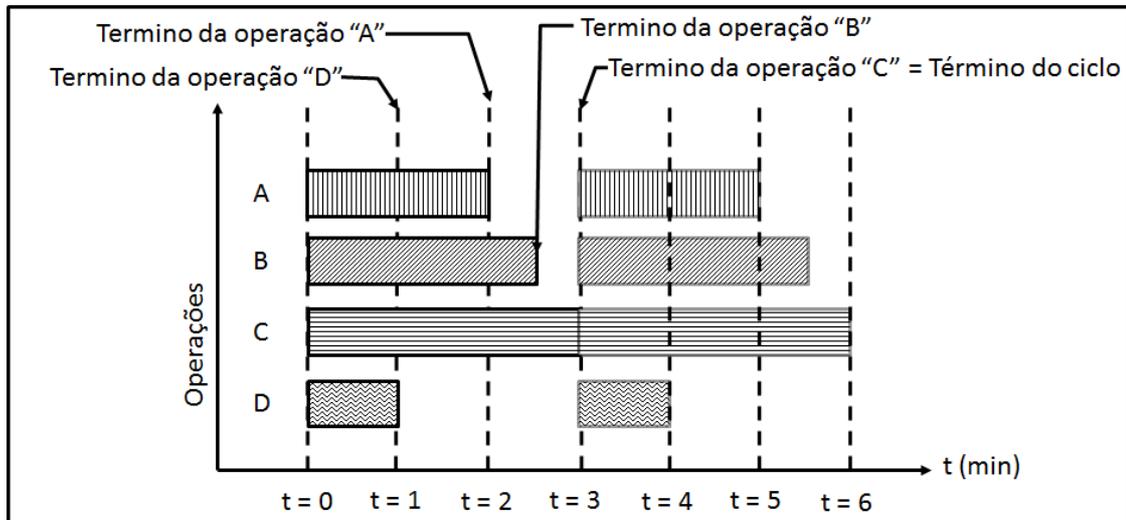


Fonte: Adaptado de Alvarez & Antunes (2001).

Vamos supor que os quatro postos/máquinas iniciem suas operações no instante zero. O ciclo da linha terminará quando todas as operações tiverem sido realizadas e for possível um ciclo de uma nova unidade em cada um dos postos/máquinas (A, B, C e D).

Analisando a Figura 6 torna-se possível observar que o ciclo da linha é de três minutos, então, somente depois de três minutos do início das operações (primeiro ciclo) é possível iniciar o processamento de uma nova unidade (peça) em todos os postos/máquinas (novo ciclo).

Figura 6 - Tempo de ciclo para o exemplo da Figura 5



Fonte: Adaptado de Alvarez & Antunes (2001).

O tempo de ciclo da linha ou célula é o tempo de execução da operação, ou das operações, no posto/máquina mais lento, portanto, é o ritmo máximo possível, mantidas as condições atuais.

2.5 TECNOLOGIA DE GRUPO (ANÁLISE DE FAMILIAS)

Segundo Martins & Laugeni (2002) tecnologia de grupo (*group technology*) é o conjunto de técnicas usadas na manufatura que nos permite explorar as similaridades básicas de peças e de processos da manufatura a partir de sua classificação e codificação estruturada. As classificações das famílias podem ser por:

- i. Tamanho;
- ii. Forma;
- iii. Roteiros de fabricação; e
- iv. Volume.

O fundamento essencial da técnica é o sistema de codificação, onde, cada parte recebe um código estruturado que descreve as características físicas da peça.

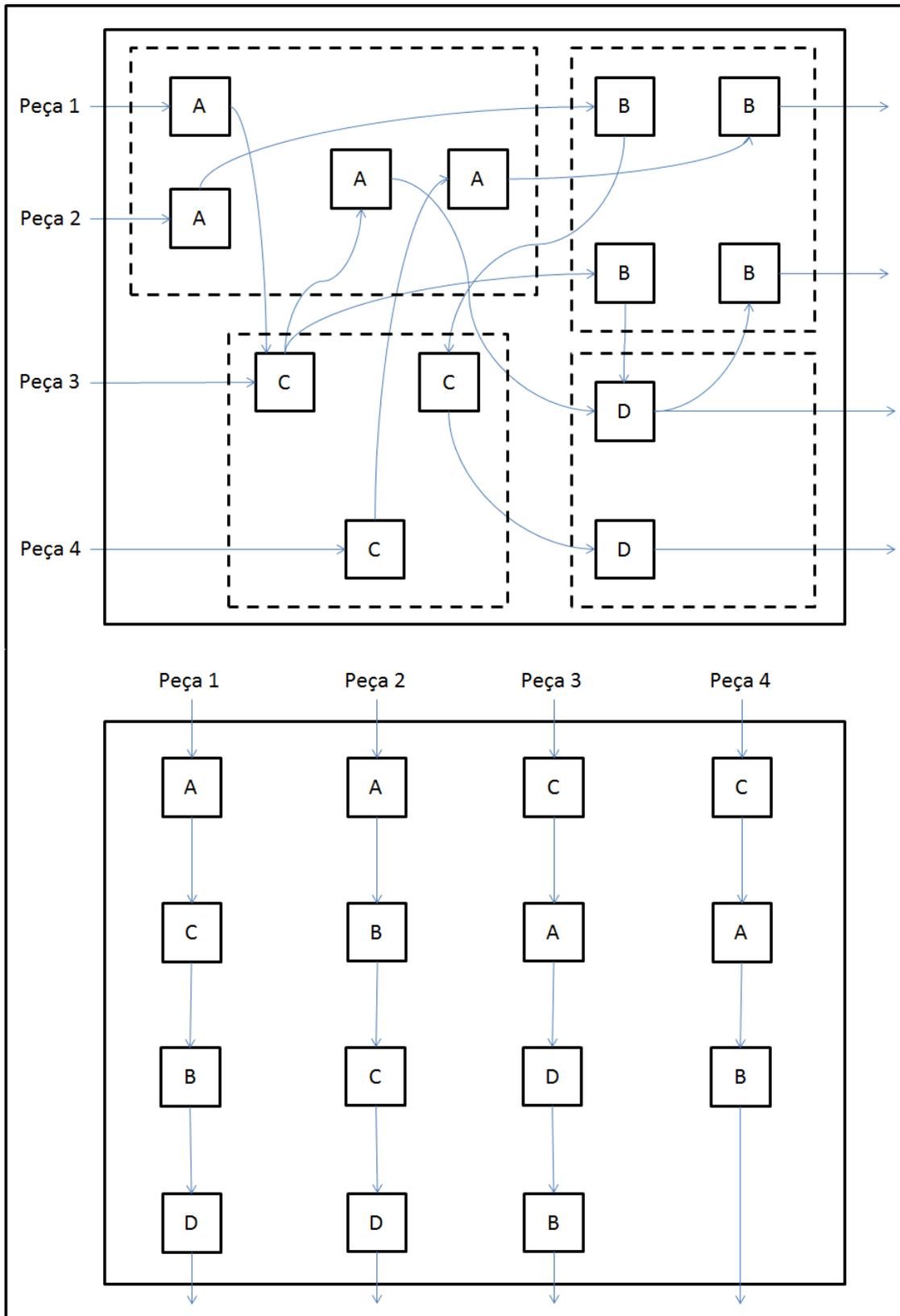
Para Gaither (1992) embora as teorias sobre Tecnologia de Grupo (TG) tenham nascido na Rússia, mas sendo utilizadas pela primeira vez ao final da década de 40 por Mitrofanov e Sokolovski.

Martins & Laugeni (2002) destacam a facilidade de determinar o roteiro de fabricação como uma vantagem da codificação para os sistemas produtivos, pelo

motivo que os passos ficam claros em função de seu código. A exemplificação disso pode ser vista na Figura 7, onde são processadas quatro famílias de peças dos tipos 1, 2, 3 e 4. A partir da análise isolada de cada família será possível visualizar uma melhoria no processo.

Com a utilização da padronização o número de partes pode ser reduzido, devido ao projeto de novas partes poderem utilizar partes já cadastradas similares com as já existentes. E peças com características similares podem ser agrupadas em famílias. Geralmente peças da mesma família são feitas em máquinas similares e com mesmo ferramental (MARTINS & LAUGENI, 2002).

Figura 7 - Família de produtos por códigos



Fonte: Adaptado de Martins & Laugeni (2002)

Para os mesmos autores a codificação estruturada de materiais é uma das tarefas mais difíceis e trabalhosas em uma empresa. Esta classificação em muitas das vezes leva a um sistema de codificação com número excessivo de dígitos (13, 14, 15 dígitos), dificultando sua aplicação.

Para Harmon (1991), uma forma de simplificar estas dificuldades da codificação é a utilização da matriz de processos, conforme exemplo apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Matriz de tecnologia de grupo

Nº da peça	Centro de trabalho/máquina					
	Posto/Máquina A	Posto/Máquina B	Posto/Máquina C	Posto/Máquina D	Posto/Máquina E	Posto/Máquina F
20	x	x	x			x
21	x	x	x		x	x
24	x	x	x	x	x	x
25	x	x	x		x	x
28	x	x	x		x	x
29	x	x	x		x	x
30	x	x	x		x	x

Fonte: Adaptado de Martins & Laugeni (2002).

2.4 BALANCEAMENTO DE LINHAS

De acordo com Gagnon & Ghosh (1991), o balanceamento de linhas é um campo de estudo que teve seu início somente 41 anos após a construção da primeira linha de montagem criada por Henry Ford em 1913. Os mesmos autores ainda dividem estes estudos em dois grupos: ALB (*Assembly Line Balancing*) e ALI (*Assembly Line Issues*). Conforme Ghosh & Gagnon (1989) um dos pioneiros a definir o problema de balanceamento de linha de montagem (ALB) foi Helgeson em 1954 assim estabelecendo uma nova área de estudos.

Para Johnson (1991), em um dimensionamento tradicional de linha de montagem, a variação na demanda dos produtos e dos tipos de produtos tenda a ser pequena, assim tornando possível manter o balanceamento realizado. Através deste pensamento, Johnson (1991) descreve que, a partir do momento que se torna necessária alterar algumas variáveis do sistema de produção (como por exemplo, a mudança na demanda ou mesmo taxa de produção), surge a necessidade de se fazer rebalanceamentos na linha toda.

Hirano (1990) compara o fluxo de uma fábrica com o fluxo de um rio. Fábricas necessitam de um fluxo suave de operações e o método básico para criação de tal fluxo é a partir de melhorias individuais. Estas melhorias se acumulam até formarem uma linha de melhorias. Para Hirano (1990) existem dois tipos de fluxos: fluxo de produção dentro da fábrica e entre fábricas.

Hirano (1990) define oito condições básicas para a obtenção do fluxo: fluxo unitário de peças, layout de acordo com a sequência de processos, sincronização, operações multi-processos, treinamento de operadores multi-processos, trabalho em pé, equipamentos compactos e criação de células em forma de “U”. O ponto de partida do processo é o fluxo unitário de peças, pois ele identifica onde estão as perdas do processo. A ideia de Hirano (1990) é implementar o fluxo unitário de peças com o fluxo atual e os procedimentos de operação existentes. As falhas vão demonstrar as perdas no processo.

Hirano (1990) comenta que não será atingido na primeira vez o fluxo ideal de produção. Devem se seguidos uma série de estágios experimentais irão nos ajudar a nos aproximar do fluxo ideal. Há vários fatores que, segundo Hirano (1990), estão relacionados com o fluxo de produção e que são divididos em três grupos:

- i. Trabalho de base: consciência da revolução, 5S's;
- ii. Preparação para o fluxo de produção: análise da produção, seleção de uma linha modelo, estratégia da “fábrica sobre rodas”;
- iii. Procedimento para o fluxo de produção: uso do fluxo unitário para eliminar as perdas, organização das máquinas de acordo com o fluxo do processamento, trabalho em pé, mudança de *layout* ; células em forma de “U”; operações multi-processos e sincronização.

O balanceamento é discutido por Hirano (1990) quando do tempo de espera entre os operadores de uma linha de montagem quando os tempos deles estão desbalanceados. Hirano (1990) sugere uma tabela de análise do balanceamento da linha que pode ser utilizada para registrar os tempos de cada operador e nos ajudar a entender como rearranjar os mesmos para melhorar o balanceamento da linha.

Hirano (1990) comenta que esta análise nem sempre funciona na prática devido a três razões principais:

- Introdução de novos dos produtos enquanto a análise dos tempos dos atuais ainda não se encontra concluída;
- Finalização do ciclo de vida dos produtos antes da introdução das melhorias;

- Rotatividade e absenteísmo dos operadores.

Hirano (1990) sugere dois tipos de métodos para a análise do balanceamento. O Método 1, chamado de balanceamento de linha na prática, fazendo com que os operadores operem numa velocidade menor e com o aumento gradual da velocidade os pontos necessário de melhoria são encontrados e ajustados. Este processo continua até que o *takt time* e a melhor configuração para aquele produto sejam alcançados. O Método 2, chamado de método de zona de passagem de bastão, evita que o sistema seja balanceado completamente. A zona de passagem de bastão seria a zona de sobreposição das atividades entre dois operadores. Cada operador tem um conjunto de atividades pré-determinadas e um conjunto de atividades na zona de passagem de bastão onde quando um operador termina a atividade ele “passa o bastão” para o próximo operador.

Conforme Salvendy (1992), no passado o termo balanceamento de uma linha de montagem era definido como o processo de distribuição dos elementos de trabalho, para a montagem de um produto, ao longo das estações de trabalho distribuídas ao longo da linha de montagem.

Uma montagem não acontece necessariamente ao longo de uma linha clássica de montagem. Uma montagem, segundo Salvendy (1992), é a combinação de dois ou mais componentes manufaturados ou comprados em uma montagem. A montagem deve ser dividida em várias estações de montagem dado que o tempo de montagem é maior que o tempo individual de fabricação de cada componente, logo, a quantidade de trabalho para cada estação de montagem deve ser determinada e “balanceada”.

Para resolver o problema, ou diminuí-lo, Salvendy (1992), propõe o uso de um algoritmo para distribuição dos elementos de trabalho (os valores dos tempos) ao longo das estações a fim de garantir que as cargas de trabalho de cada estação estejam o mais alinhado possível.

Para tal ele faz uso de um diagrama de precedência onde as etapas da montagem estão sequenciadas e para que cada etapa seja realizada a sua precedente necessariamente já deve estar concluída. Na sequência das atividades, o *takt time* e o número mínimo de estações são calculados.

A matriz de precedência e as relações funcionais entre os parâmetros da linha de montagem são os dados de entrada do algoritmo de balanceamento. Salvendy (1992) apresenta um método heurístico chamado de método de ranqueamento

posicional do peso¹ proposto por Helgeson & Birnie em 1961. O objetivo deste método é garantir que as etapas de uma estação estejam preenchidas até onde o tempo *takt* esteja quase excedido (SALVENDRY, 1992).

Salvendy (1992) discute a problemática de balanceamento envolvendo linhas de montagem para produções simultâneas de mais de um modelo, caso da indústria automobilística, onde, na mesma linha, diferentes modelos podem ser montados ao mesmo tempo. Um ponto importante observado por Salvendy (1992) é que nas linhas de montagem onde vários modelos podem ser montados, uma alternativa a ser avaliada é se vale a pena montar vários modelos numa linha em vez de um único modelo dado que haverão desbalanceamentos na linha. A determinação da sequência de montagem dos diferentes modelos é o grande desafio para o balanceamento das linhas de montagem com múltiplos modelos.

2.6 TEORIA DAS RESTRIÇÕES (*THEORY OF CONSTRAINTS*) TOC.

Mabin e Balderstone (2003) descrevem a TOC como uma metodologia de aplicações multifuncionais, que vem se desenvolvendo no decorrer dos anos para ajudar as pessoas e organizações a pensarem sobre os problemas e suas origens, criando soluções inovadoras e as implementando com eficácia.

A TOC foi inicialmente desenvolvida pelo Dr. Eliyahu M. Goldratt, onde obteve sua disseminação através das obras: “A Meta” (Goldratt and Cox, 1992/2002) que aborda a manufatura e o TPC; “A Síndrome do Palheiro” (Goldratt, 1992) que aborda a contabilidade de custos, contabilidade de ganhos e programação; “Não é Sorte” (Goldratt, 1994/2004) que aborda a negociação e o processo de raciocínio; “Corrente Crítica” (Goldratt, 1998) que aborda o gerenciamento de projetos; “Necessária sim, mas não suficiente” (Goldratt, Schragenheim, Ptak, 2000) que aborda a SCM e ERPs; etc.

Segundo Watson *et al.* (2007) a TOC surgiu em 1979, com a introdução do software de programação chamado *Optimized Production Timetables* (OPT), que após algumas mudanças passou a ser chamado *Optimum Production Technology*.

No entanto a evolução de propostas para programação de produção não pode mais ser vista como sinônimo do método proposto no OPT, em seu lugar, a

¹ Tradução livre do autor para *Ranked Positional Weight Method*

abordagem tambor-pulmão-corda (TPC) é a principal metodologia utilizada para o planejamento e controle da produção conforme a TOC (SOUZA, 2005).

2.6.1 Fundamentos da TOC

De acordo com Cox III *et al.* (1995) a TOC é uma metodologia de gestão que pode ser utilizada e aplicada em sistemas voltados para gestão de operações, manufatura, projetos, marketing, estratégia, gerenciamento entre outros.

Conforme Cox III *et al.* (1995) a proposta do processo de raciocínio da TOC, o planejamento a execução e o controle do sistema são realizados através do gerenciamento das restrições, levando em consideração que no pressuposto de que se deve atuar na origem (causa-raiz) da restrição, a qual impede o sistema de alcançar sua principal meta. A meta pode ser entendida em como a maximização dos ganhos e da rentabilidade do sistema como um todo. Para o mesmo autor, os processos de raciocínio devem auxiliar na identificação e criação de soluções ganha-ganha entre as entidades do sistema.

Para um melhor entendimento desta filosofia de gestão, faz-se necessário abordar, conceitualmente, os fundamentos da TOC, que abrangem:

- O conceito de restrição;
- O processo de melhoria contínua através da focalização em 5 passos;
- Os conceitos de tambor-pulmão-corda, e como proteger o tambor através da programação TPC e do gerenciamento dos pulmões;

2.6.1.1 O conceito de restrição

Para Cox III *et al.* (1995) “Restrição” é qualquer fato que impeça que um sistema alcance um nível melhor de desempenho no que tange sua meta. As restrições podem ser físicas (um equipamento ou a falta de material), ou podem ser de origem gerencial (procedimentos, políticas e normas).

Watson *et al.* (2007) complementam que as restrições podem ser tratadas em três naturezas: i) física (capacidade de algum recurso menor que a demanda); ii) de mercado (demanda menor que a capacidade do recurso restritivo); e iii) políticas (regras formais e informais que limitem a capacidade do sistema).

Segundo Corbett (1997) o núcleo da TOC consiste em compreender a existência de restrições no sistema, quando coloca que todo sistema possui ao menos uma restrição, pois se não houvesse algo que limitasse o desempenho do sistema, ele seria infinito.

Segundo Antunes *et al.* (2008) é importante o entendimento entre recursos gargalos e os recursos com capacidades restritivas (os chamados *capacity constraints resources* -CCRs). Os gargalos são os recursos onde a capacidade disponível é menor do que a capacidade necessária para atender a demanda requerida pelo mercado. Já os CCRs são aqueles recursos que, em média têm capacidade superior à necessária para atender o mercado, mas que em detrimento das variabilidades que ocorrem nos sistemas produtivos ou devido a variação significativa da demanda, podem apresentar restrições de capacidade.

De acordo com Goldratt & Cox, (1986) o pensamento fundamental da TOC é de que todo sistema que possui uma meta definida possui no mínimo um componente que limita seu desempenho em relação a esta meta, caso não fosse desta maneira a empresa teria lucratividade infinita. Este componente é descrito pela TOC com “restrição” do sistema, e estes sistemas deverão ser limitados por um número pequeno de restrições. Com este intuito, a TOC sugere que toda companhia deve seguir os cinco passos com parte de um processo de melhoria contínua. (GOLDRAT & FOX, 1989; GOLDRATT, 1990)

2.6.1.2 O processo de focalização em 5 passos (melhoria contínua)

De acordo com Rahman (2002), o método de focalização em cinco etapas (Figura 9) é uma técnica que permite compreender o ambiente e delinear o processo de implantação e retroalimentação da TOC.

1. Identificar a restrição do sistema – esta primeira etapa consiste em identificar a restrição no sistema que limita o ganho;
2. Explorar a restrição do sistema – esta segunda etapa consiste em decidir como explorar a restrição do sistema;
3. Subordinar todo o resto à política de exploração da restrição – a terceira etapa consiste em subordinar todas as outras atividades à restrição;
4. Elevar a restrição do sistema – a quarta etapa consiste em elevar a restrição, aumentando a capacidade para um nível mais alto.

5. Volte ao primeiro passo, evitando que a inércia das políticas atuais se torne uma restrição – a quinta e última etapa do processo de focalização consiste em evitar que a inércia interrompa o processo de aprimoramento contínuo.

Figura 9 - O método de focalização em 5 etapas.



Fonte: Rahman (2002).

Segundo Antunes Jr. (1998) coloca que ainda que estes passos tenham em um primeiro momento utilizado como base para o processo de sequenciamento da produção por parte da TOC, ele pode ser extrapolado para toda a empresa, servindo como um priorizador de ações a serem tomadas.

Conforme Umble & Umble (1998) o processo de focalização em 5 passos pode ser considerado um dos principais pontos de partida para o entendimento e implementação da TOC, para um melhor entendimento a seguir serão aprofundados seus conceitos:

- Passo 1 – identificar a restrição do sistema: de acordo com Antunes (1998) as restrições podem ser: i) materiais (elementos de entrada no processo); ii) capacidade (inferior a demandada pelo mercado); iii) mercado (demanda do mercado inferior a capacidade instalada no sistema); e iv) política (políticas internas ou externas que impedem uma maior lucratividade). Segundo Siha (1999) a TOC traz como ideia fundamental que a restrição limita o desempenho (ganho) do sistema como um todo. Para se atingir e manter o máximo desempenho é necessário que todo o sistema seja orientado contra o desperdício nesta restrição.

- Passo 2 – explorar a restrição do sistema: de acordo com Rahman (2002), caso a restrição for física, ela deve ser explorada, ao máximo, se possível utilizando-a ininterruptamente. Pois conforme Goldratt (2002) uma hora desperdiçada na restrição significa uma hora perdida no sistema.

Por outro lado se for uma restrição de ordem gerencial ou política, não há como explorá-la, devendo esta ser eliminada e substituída por uma política que traga uma melhor contribuição para o ganho do sistema (RAHMAN, 2002). E conforme Antunes (1998) se a restrição for externa, o ganho do sistema estará limitado pelo mercado.

- Passo 3 – subordinar todo o sistema ao que foi decidido na etapa 2 (subordinar todo sistema à restrição): de acordo com Rahman (2002) isto significa que todos os recursos devem se ajustar para processar somente a produção máxima da restrição. Desta maneira, como os recursos não restritivos possuem maior capacidade que o recurso restritivo, isso levará a redução de (*Work In Process* – WIP).

- Passo 4 – elevar a restrição do sistema: conforme Watson *et al.* (2007) se existe um Recurso Restritivo de Capacidade (RRC) no sistema, a maior produtividade deste recurso leva ao melhor desempenho do sistema como um todo, para o aumento do ganho do sistema deve-se incrementar a capacidade deste RRC. Caso a restrição esteja no mercado, com uma demanda menor que a capacidade, incentivar a expansão para outras localidades.

- Passo 5 – retornar ao passo 1, mas não permita que a inércia se torne uma restrição no sistema: a não execução do passo cinco tenderá levar a empresa à estagnação, minimizando a capacidade de reação contra as ameaças de novos cenários (RAHMAN, 1998). É preciso fazer uma verificação completa em todo sistema, e validar se a restrição continua a mesma ou se passou a ser outro recurso.

2.6.1.3 Tambor-Pulmão-Corda (TPC).

Conforme Souza, (2005) o método de programação TPC se desenvolveu a partir da divulgação e do aprimoramento do OPT, desta maneira gradativamente o foco deste método ultrapassou o chão de fábrica para tratar de vários aspectos empresariais.

De acordo com Souza (2005), o TPC é uma metodologia para planejamento e controle da produção, que parte do princípio de que existem algumas poucas restrições no sistema, ou seja, que existam poucos recursos com restrição de capacidade (RRC) e que estes poucos recursos devem impor o ritmo de produção do restante da fábrica.

Para Perez (1997) o TPC segue a lógica de usar as restrições físicas ou de mercado que, uma vez identificadas, tem como foco de programação a sincronização da produção com as necessidades dos clientes, sincronizando a utilização de recursos e materiais do sistema.

Para um melhor entendimento do método Tambor-Pulmão-Corda (TPC) será exposto o significado de cada um dos elementos que compõem o seu nome.

Tambor

Para Cox III *et al.* (1995) o Tambor marca o ritmo de produção determinado pela restrição do sistema. Na Figura 10 estão colocados exemplos lúdicos tratando desta analogia.

Figura 10 - Analogia da tropa ao gargalo



Fonte: Adaptado de Goldratt e Fox (1992).

Portanto para Rahman, (1998) o tambor é o compasso que a restrição gera, determinando o ritmo do sistema, alinhando o sistema com o terceiro passo das 5 etapas de focalização (subordinar todo processo ao ritmo da restrição).

Pulmão

Segundo Cox III *et al.* (1995) o Pulmão é parte da segurança em excesso existente no processo (tempo ou material) e colocados em locais estratégicos da

programação, protegendo o sistema contra a variabilidade, concedendo a ele maximizar e manter o ganho e/ou os prazos de entrega.

De acordo com Watson *et al.* (2007), os pulmões localizados nos RRCs contribuem para suportar o segundo passo do processo de focalização em cinco etapas (explorar a restrição do sistema).

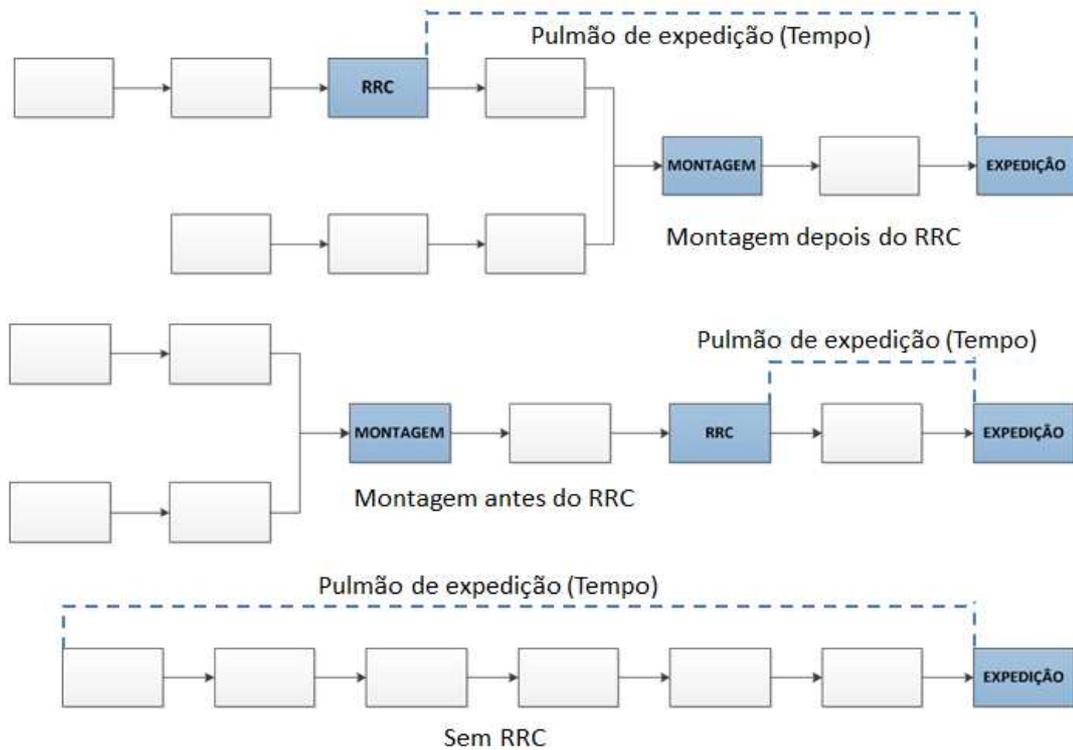
A utilização dos pulmões consiste em garantir o pleno funcionamento dos RRCs e dos processos sucessores, através dos estoques de proteção do tambor e das montagens posteriores a ele, garantido a capacidade do sistema em atender a programação.

De acordo com Rahman (1998) os pulmões podem ser considerados, físicos, como produtos acabados ou estoque em processo (*work-in-process –WIP*), mas a lógica da utilização dos pulmões está em enxergá-los sob a ótica do tempo. Assim, eles podem ser chamados como pulmões de tempo, ou *time-buffers*.

Conforme Schragenheim e Dettmer (2000) há três tipos de pulmões: i) *shipping buffer* (pulmão de expedição ou de mercado); ii) *drum buffer* (pulmão do RRC ou do tambor); e iii) *assembly buffer* (pulmão de montagem ou de convergência).

i. *Shipping Buffer* – pulmão de expedição ou de mercado: é o tempo estimado de transferência entre a manufatura a partir do RRC até o produto pronto. Se caso a capacidade do sistema for maior que a demanda do mercado, é considerado o *lead-time* a partir da entrada de matéria prima no início do processo. A Figura 11 ilustra estes “pulmões de tempo” de expedição de acordo com o RRC.

Figura 11 - Os pulmões de expedição

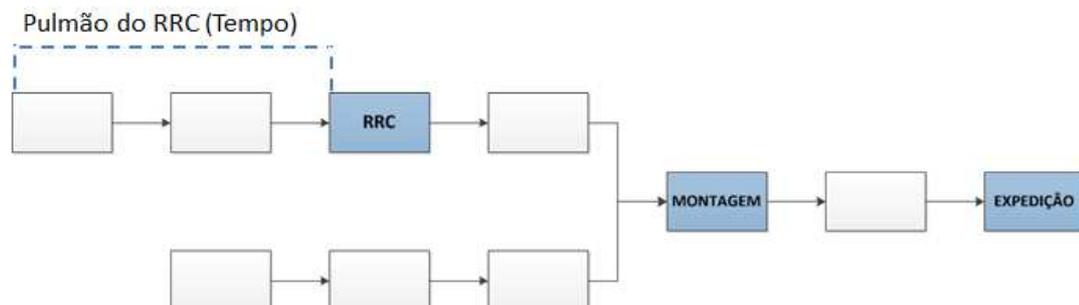


Fonte: Adaptado de Schragenheim (2000).

Para proteger as datas de entrega os pulmões de expedição mantem uma pequena quantidade de produtos acabados, permitindo ao sistema entregar um item em um prazo menor que o *lead time* (WATSON *et al.* 2007).

ii. *Drum Buffer* – pulmão do RRC ou tambor: é a estimativa do tempo de transferência de matéria prima na entrada da manufatura até o RRC. O pulmão do tambor absorve todo o tempo necessário para que a matéria prima chegue ao recurso predecessor ao RRC. A Figura 12 ilustra os “pulmões de tempo” do tambor de acordo com o RRC.

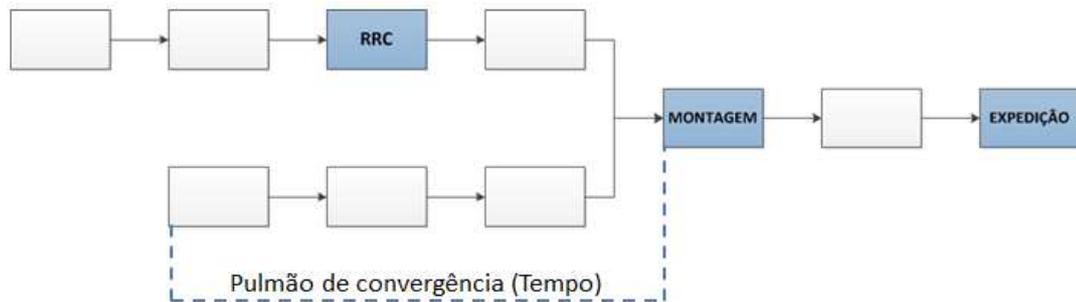
Figura 12 - O pulmão de tempo do RRC



Fonte: Adaptado de Schragenheim (2000).

iii. *Assembly Buffer* – pulmão de montagem ou de convergência: é a estimativa do tempo de transferência a partir da entrada de matéria prima na linha até o ponto de convergência, onde se encontram com os subconjuntos provenientes do RRC e de outros produtos que não passam pelo RRC. A Figura 13 ilustra os pulmões de tempo de montagem de acordo com o RRC.

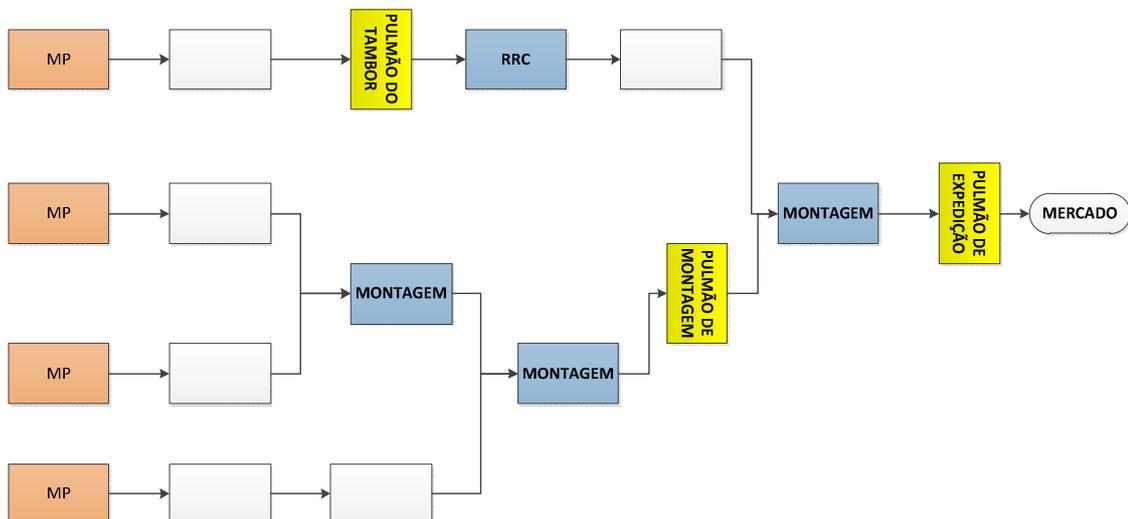
Figura 13 - O pulmão de tempo de montagem



Fonte: Adaptado de Schragenheim (2000).

Para Cox III *et al.* (1995) com a utilização dos pulmões o controle do fluxo do sistema deixa de ser feito pelos estoques e passa a ser feito pelo gerenciamento dos pulmões, com isso evitando a ociosidade no RRC e o atraso nas entregas aos clientes. A Figura 14 ilustra a utilização de todos os pulmões utilizados no TPC.

Figura 14 - Alocação dos pulmões de acordo com a metodologia TPC



Fonte: Adaptado Rahman (1998).

Com a utilização dos pulmões é possível observar as informações a respeito da variabilidade da demanda nos vários pontos do sistema, permitindo fazer ajustes nos locais onde os acontecimentos são mais intensos.

Corda

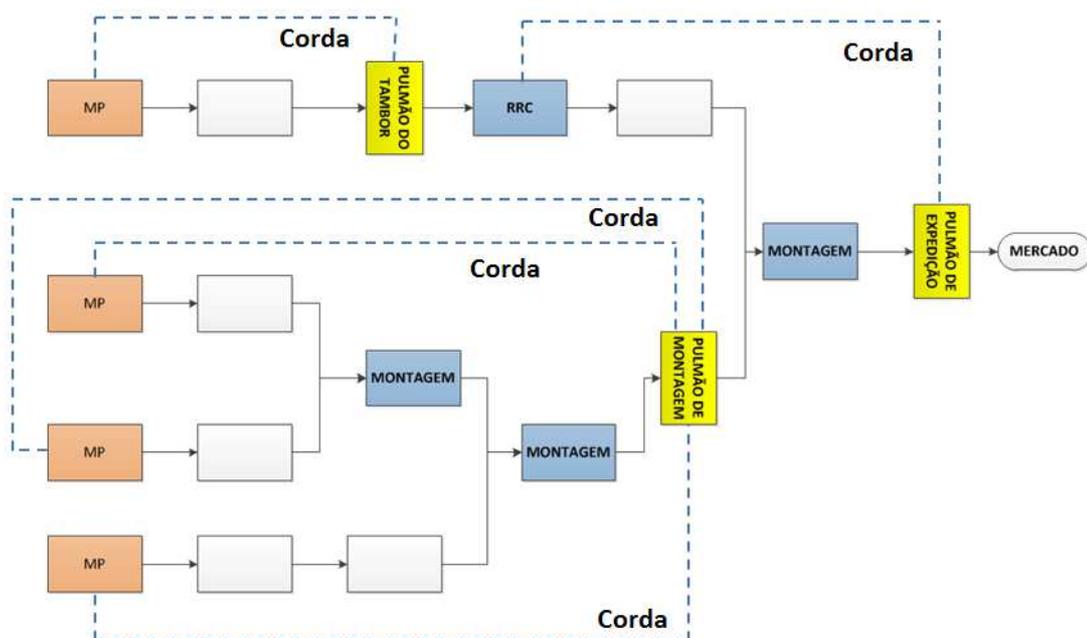
Watson *et al.* (2007) colocam que assim como o tambor, alinhado ao terceiro passo do processo de focalização em cinco etapas (subordinar todo sistema à restrição), a corda é o mecanismo que subordina a performance dos recursos não restritivos à capacidade de produção do RRC (tambor).

Abordado anteriormente, o pulmão se explica em tempo de transferência a partir da entrada de matéria-prima até o ponto de controle no RRC e nas convergências do sistema. Desta maneira, o “tamanho” da corda é equivalente ao número de estoque (ou tempo) estocado nos pulmões, esta quantidade deve ser suficiente para proteger o RRC de interrupções e eventos indesejáveis.

Para Rahman (2002) a corda propicia a comunicação entre os pontos críticos de controle, para assegurar a sincronia dos materiais com a produção, levando a minimização do efeito das variações dos setores produtivos, mantendo os níveis de estoques constantes ao longo do processo produtivo.

A Figura 15 demonstra a utilização da corda (ou das cordas), ilustrando como funciona a comunicação para, no momento adequado, disparar a entrada de matéria prima no sistema, assim garantido que o fluxo fique contínuo de acordo com o que o mercado demanda.

Figura 15 - Logica de programação Tambor-Pulmão-Corda (TPC)



Fonte: Adaptado Rahman (1998).

Resumidamente, a lógica que conduz o método TPC pode ser colocada da seguinte maneira:

- Primeiro: todo fluxo do sistema se subordinar ao tambor;
- Segundo: manter o tambor protegido contra os atrasos do sistema, através da utilização dos pulmões em pontos estratégicos no sistema;
- Terceiro: de acordo com o nível dos pulmões, atuar em todos os fluxos paralelos ou que precedem o tambor, mantendo o fluxo contínuo.

Segundo Fry, Karwan & Steele (1991) os seis passos para a implantação do TPC, são:

1. Identificar e estabelecer o tambor;
2. Estabelecer um cronograma mestre de produção para o tambor;
3. Estabelecer o estoque apropriado para o tambor;
4. Estabelecer a corda do tambor às operações iniciais;
5. Estabelecer um sistema de medida de desempenho adequado;
6. Estabelecer um processo de melhoria contínua.

2.7 SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO - STP

Após as crises do petróleo nos anos 70, vários setores da indústria japonesa se sobressaíram com maior capacidade competitiva que a indústria ocidental (OHNO, 1997). A indústria automobilística foi um setor que apresentou índices de produtividade e competitividade elevados para os padrões mundiais (PANTALEÃO, 2003).

Com base nestes fatos foi evidenciado que o modelo de gestão da produção usado por algumas das indústrias japonesas apresentava vantagens em relação ao tradicional modelo ocidental. Um dos modelos mais destacados neste sentido é o Sistema Toyota de Produção (STP).

2.7.1 As Bases do Sistema Toyota de Produção

Ohno (1997) coloca que a base do STP é a absoluta eliminação dos desperdícios e tem como seus pilares de sustentação a Autonomia e o *Just-In-Time*. Conforme Pantaleão (2003) a Autonomia consiste em dotar máquinas, equipamentos e pessoas da autonomia necessária para parar a linha de produção sempre que uma condição pré-estabelecida for atingida (por exemplo, quantidade produzida) ou sempre que os padrões de qualidade definidos não forem atendidos

(por exemplo, produto com defeito). Ou ainda a Autonomia (“Jidoka” em japonês) pode ser livremente interpretada como controle autônomo de defeitos (Monden, 1984). Este conceito implica a possibilidade da separação do trabalhador da máquina. Com uma nova visão no que tange as possibilidades de relação homem/máquinas possibilitou o desenvolvimento de várias ferramentas do STP.

Ohno (1997) define *Just-In-Time* (JIT), em um processo de fluxo, as partes corretas necessárias a montagem chegam a linha de montagem no momento certo, na quantidade correta e na qualidade necessária para a execução do trabalho. Monden (1984) coloca o exemplo de que, no processo de montagem das peças e componentes necessários para se montar um carro, os tipos de submontagens do processo precedente devem chegar à linha no momento em que for necessário seu uso e na quantidade correta necessária. Se o “*Just-In-Time*” é utilizado na empresa, os inventários desnecessários tendem a ser eliminados, fazendo com que os locais de estocagem sejam gradualmente eliminados.

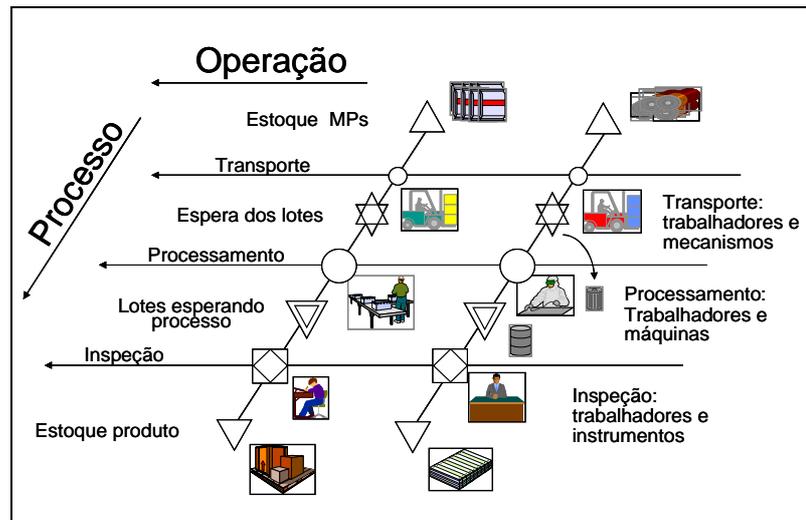
Segundo Shingo (1996), a principal transformação do entendimento dos sistemas de produção introduzida pelo STP, é o Mecanismo da Função Produção (MFP). A lógica da Função Produção deve ser entendida através da diferenciação conceitual entre as Funções Processo e Operações (ANTUNES, 2008).

Antunes (2008) descreve que a partir da visão destes dois olhares, distintos e inter-relacionados, que surgem os conceitos da Função Processo e da Função Produção Figura 16.

A Função Processo refere-se ao fluxo de materiais ou produtos, em diferentes etapas de produção, nas quais se pode observar a transformação das matérias-primas em produto acabado.

A Função Operação refere-se à análise das diferentes etapas, nos quais os trabalhadores e/ou máquinas encontram-se relacionadas durante a jornada de trabalho (ANTUNES 2008).

Figura 16 - A Rede de Processos e Operações.



Fonte: Shingo (1996, pg. 38).

Conforme Pantaleão (2003), a base para o desenvolvimento do diferencial da lógica do STP é feita de acordo com a análise da Função Produção. O STP se propõe em focar esforços de melhorias na Função Processo, ou seja, as melhorias essenciais estão ligadas aos fluxos produtivos.

Shingo (1996) propõe que toda produção, executada na fábrica ou no escritório, deve ser visualizada e entendida como uma rede de processos e operações, antes de tentar melhorar as operações deve-se focar esforços na análise aprofundada do processo, para maximizar a eficiência da produção.

A introdução de melhorias visando a Função Processo deve ser pensada a partir dos elementos que a constituem. Podem ser observados a partir de cinco categorias de análise apresentado por (SHINGO, 1996):

- Processamento (representado pelo símbolo \bigcirc): significa uma mudança física no material ou na sua qualidade. Transformação do objeto de trabalho no tempo e no espaço, por exemplo, montagem, desmontagem, usinagem e pintura. O que realmente agrega valor ao produto.

- Inspeção (representado pelo símbolo \diamond): significa a comparação do resultado de um processamento com um determinado padrão estabelecido realmente a inspeção não agrega nenhum valor ao material.

- Transporte (representado pelo símbolo \bigcirc): significa a movimentação do material entre suas posições.

- Espera do Processo (representado pelo símbolo ): significa que um lote inteiro de material está aguardando enquanto o lote precedente está sendo processado, inspecionado ou transportado.

- Espera do Lote (representado pelo símbolo ): significa o tempo que uma peça de um lote permanece esperando enquanto as outras peças do mesmo lote estão sendo processadas, inspecionada ou transportada. Mesmo em situações onde varias peças são processadas simultaneamente ou em casos em que as peças de um mesmo lote são processadas simultaneamente em recursos distintos, têm-se espera de lote (ANTUNES, 2008).

Conforme Antunes (2008) e Shingo (1996) a visualização da Função Produção como foco na Função Operação nos mostra o fluxo dos homens e máquinas no tempo e no espaço, que podem ser classificados às categorias descritas abaixo:

- Preparação, operação de ajustes depois da operação, são operações que fazem parte do tempo de preparação (*setup*).

- Operação principal, atividades ligadas diretamente à fabricação/processamento em si, inspeção, transporte e espera. As operações podem se divididas em operações essenciais e operações auxiliares.

- Folgas não ligada ao pessoal são tempos onde os operadores não estão realizando atividades de produção, como inspeções e movimentações. As folgas podem ser divididas em folgas na operação e folgas entre operações.

- Folgas ligadas ao pessoal são os trabalhos irregulares ligados diretamente às pessoas e não atrelados às máquinas e operações. Estas folgas podem ser divididas em folga por fadiga e folgas fisiológicas.

Antunes (2008) coloca a seguinte pergunta a cerca da lógica do Mecanismo da Função Produção. “Quais são as melhorias mais relevantes para a estrutura de produção: aquelas ligadas à função processo, ou aquelas associadas a função operação?”. Shingo (1996) explicita que, na verdade, a Função Processo é que permite atingir as principais metas de produção. As melhorias feitas na Função Operação têm caráter de sustentar as melhorias identificadas no âmbito de Função Processo.

Uma diferença básica existente entre os princípios de produção ocidentais e japoneses é a compreensão do significado básico da estrutura de produção. Para Shingo não seria possível compreender o significado dos sistemas de produção em

geral, e, do Sistema Toyota de Produção em profundidade, sem antes ter claramente a compreensão do Mecanismo da Função Produção e de que devem priorizar as melhorias a partir da óptica da função processo (SHINGO, 1996).

A partir do estudo do mecanismo da função produção e de seus fenômenos da produção, Ohno (1997) e Shingo (1996) identificaram sete grandes tipos de perdas:

1. Perdas por superprodução;
2. Perdas por transporte;
3. Perdas por processamento em si;
4. Perdas por fabricar produtos defeituosos;
5. Perdas por espera;
6. Perdas por estoques;
7. Perdas no movimento.

2.7.2 Os Princípios e as Técnicas do Sistema Toyota de Produção

Visando buscar a constante e continuada eliminação das Perdas no sistema de produção, é relevante compreender em profundidade os princípios e técnicas do STP. O conceito de estoque zero é a estratégia principal do STP e decorre da percepção de que a principal perda é decorrente da superprodução na medida em que gera estoques desnecessários. O JIT, embora seja muitas vezes confundido com o próprio STP, é o um princípio e garante a produção com estoque mínimo.

O Just-in-Time, buscando a sincronização da produção, e a Automação (ou automação com um toque humano) liberando o homem da máquina, constituem os dois pilares que sustentam o STP (KLIPPEL, 1999).

Com base nestes dois conceitos, Ohno e Shingo ergueram o STP, dando origem a um conjunto de subsistemas e técnicas que se tornaram mundialmente conhecidas (ANTUNES, 2008). A seguir são citadas:

- Subsistema de Pré-Requisitos básicos de Engenharia de Produção (Troca Rápida de Ferramentas (TRF – discutido amplamente por Seidel, 2003), Layout celular, Operação-Padrão);
- Subsistema de Defeito-Zero (Automação/CQZD/*Poka-Yoke*);
- Subsistema de Quebra-Zero (MPT);
- Subsistema de Estoque-Zero (*Kanban*).

Antunes (1998) descreve o Subsistema de pré-requisitos básicos da Administração da Produção como constituído das seguintes Técnicas:

- Operação-Padrão;
- Troca Rápida de Ferramentas (TRF);
- *Layout*.

Conforme Pantaleão (2003) os Subsistemas abrangem os seguintes conceitos:

- Autonomiação;
- Controle da Qualidade Zero-Defeito (CQZD);
- *Poka-Yoke*.

Pantaleão (2003) ressalta o Subsistema de Quebra-Zero (MPT), esta relacionada com a Manutenção Produtiva Total (MPT) ou (*Total Productive Maintenance* - TPM). Consiste em uma política de utilização conjunta de todos os tipos de manutenção (corretiva, preventiva, sistêmica e preditiva) e desenvolveu-se a partir de alguns objetivos básicos:

- Obter a maximização da eficiência global dos equipamentos;
- Desenvolver um sistema de Manutenção Produtiva que considere toda a vida útil do equipamento;
- Promover o Envolvimento de todas as áreas interessadas – planejamento, projeto, operação e manutenção – na implantação da MPT;
- Promover o envolvimento efetivo de todos os empregados, desde a alta gerência até os trabalhadores de chão-de-fábrica;
- Tornar a MPT um movimento visando à motivação gerencial, através do desenvolvimento de atividades autônomas de melhorias por pequenos grupos.

Na sequência são abordados os principais pilares, princípios e técnicas do Sistema Toyota de Produção.

2.7.2.1 O *Just-in-Time* (JIT)

Ohno (1997) descreve a origem do *Just-in-Time* nos supermercados americanos, que foram visitados por Ohno em 1956. Inicialmente ele observou que em um supermercado “o cliente pode obter (1) o que é necessário, (2) no momento em que é necessário, (3) na quantidade necessária” (OHNO, 1997, p. 45). Klippel (1999) coloca que a observação do funcionamento de um supermercado induziu

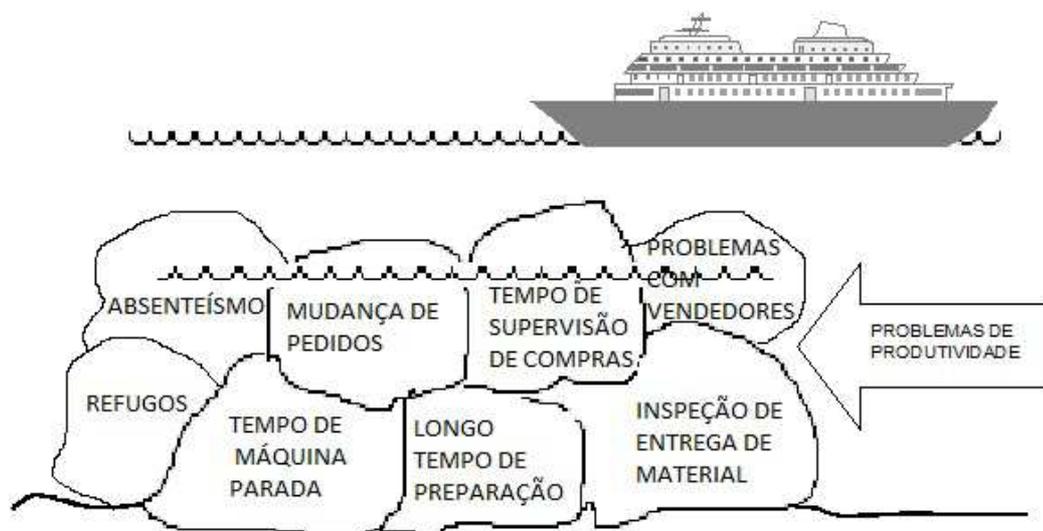
Ohno a criar uma analogia com uma linha de produção. Conforme a lógica do supermercado foi pega a idéia de visualizar a linha de produção como se fosse uma loja: “o processo final (cliente) vai até o processo inicial (supermercado) para adquirir as peças necessárias (gêneros) no momento e na quantidade que precisa. O processo inicial imediatamente produz a quantidade recém-retirada (reabastecimento das prateleiras)” (OHNO, 1997, p. 45).

Ohno (1997, p. 26) lembra, ainda, que “para produzir usando o *Just-in-Time* de forma que cada processo receba o item exato necessário, quando ele for necessário, e na quantidade necessária, os métodos convencionais de gestão não funcionam bem”.

Considerando os métodos de gestão tradicionais, focado para as operações e não para o processo como um todo, não é possível manter um sincronismo necessário para que o *Just-in-Time* funcione perfeitamente. Terá muito desperdício em função da pior perda citada por Shingo que é a perda por superprodução e pela existência de estoques intermediários desnecessários entre as operações, seja pela produção excessiva ou antecipada de produtos finais.

Outra perda identificada por Shingo é a perda por estoque, a redução dos níveis de estoque possibilita o aparecimento dos problemas de produção, como ilustrado na Figura 17, antes “escondidos”.

Figura 17 - Redução do Nível de Estoque (água)



Fonte: Adaptado de Hay (1992, p. 45).

De acordo com Klippel (1999) nesta figura, se o nível da água, equivalente ao nível dos estoques, estiver muito alto não é possível enxergar as pedras no fundo do

rio, que correspondem às perdas. Na medida em que o nível da água baixa, as primeiras pedras (perdas) são encontradas. É preciso retirá-las (solucioná-las).

Hay (1992, pg. 45) menciona que “os fabricantes ocidentais descobriam problemas, eles aumentavam seus estoques, quando o que precisava se feito é exatamente o oposto; ao surgirem problemas, eles devem ser resolvidos de uma vez por todas, a fim de que os estoques possam ser reduzidos”.

Para uma perfeita comunicação entre as operações foi utilizada uma técnica para sincronizar o fluxo de produção, o método *kanban*. Segundo Ohno (1997, p. 27) “o método *kanban* é o meio pelo qual o STP flui suavemente”.

Para o funcionamento do *Just-in-Time* um pressuposto fundamental é que as matérias-primas e os materiais, quando inseridos no processo, tenham sua qualidade assegurada de acordo com as especificações técnicas previamente definidas. Sem a observação deste pressuposto, a operação de inspeção indicará anormalidades, quando a matéria-prima ou o material não atenderem as especificações, parando o fluxo e ocasionando perdas.

Conforme Klippel (1999) com o *Just-in-Time* foram revolucionados os métodos de trabalho tradicionais, aumentando o grau de envolvimento e responsabilidade dos funcionários. É necessário, assim, que os mesmos sejam treinados e motivados para que o sistema funcione adequadamente.

Um dos componentes do *Just-in-Time* é o envolvimento dos operários, sendo um dos pré-requisitos para a eliminação do desperdício. Cada membro da organização – desde os que ocupam os cargos mais modestos até a alta administração – têm seu papel no esforço de eliminação de desperdício e na solução dos problemas de produção que causam perdas (HAY, 1992).

2.7.2.2 A Autonomia

A Autonomia, também chamado de automação com toque humano, “é uma evolução do processo de separação entre o trabalhador e as máquinas e equipamentos efetuada com o objetivo de promover a eficiência da produção e o aumento da efetividade da utilização dos recursos humanos” (PANTALEÃO, 2003, pg. 14).

De acordo com Klippel (2002):

Os primeiros estudos realizados para a criação do termo Automação foram elaborados por Ohno na indústria têxtil Toyota Spinning and Weaving e a indústria automobilística Toyota Motor Company. Nesta época, Ohno foi levado ao questionamento de porque na indústria têxtil uma funcionária cuidava de vários teares simultaneamente, enquanto que na automobilística cada trabalhador cuidava de apenas uma máquina (KLIPPEL, 2002, p. 33).

A conclusão deste estudo foi a de que os teares estavam preparados para pararem automaticamente quando o processamento estivesse concluído ou quando algo de anormal ocorresse, diferentemente das máquinas da Toyota.

Conforme Klippel (1999):

A adaptação destas máquinas deu origem à Automação – a automação com um toque humano – que corresponde a instalação de dispositivos de inspeção dotados de “inteligência” ao longo do fluxo de produção, de tal forma que estes interrompam automaticamente a produção ao findar o processamento ou impeçam a produção de produtos defeituosos ao eliminar automaticamente a causa que ocasiona um defeito (KLIPPEL, 1999, pg. 34).

A idéia central da Automação é impedir a geração e propagação de defeitos e eliminar qualquer anormalidade no processamento e fluxo de produção (GHINATO, 1996).

Ohno (1997, p. 28) coloca que, “A Automação também muda o significado da gestão. Não será necessário um operador enquanto a máquina estiver funcionando normalmente. Apenas quando a máquina para devido a uma situação anormal é que ela recebe atenção humana”.

Shingo (1996) dividiu a evolução histórica da relação entre o homem e a máquina em seis estágios:

- Estágio 1: trabalho manual; o homem utiliza as mãos e ferramentas manuais para dar forma aos produtos, sem auxílio de máquinas;
- Estágio 2: alimentação manual e processamento automatizado; o homem fixa e remove os produtos na máquina, aciona a máquina e alimenta a ferramenta manualmente com o material a ser processado; a máquina executa o processamento;
- Estágio 3: alimentação e processamento automático; o homem fixa e remove os produtos na máquina; aciona a máquina; a máquina executa a alimentação à ferramenta e o processamento subsequente; a detecção de condições anormais é realizada pelo homem; (também realizada nos estágios 1 e 2);
- Estágio 4: semiautomático: instalação, remoção, alimentação e processamento automático; a máquina executa todas as operações desde a fixação

da peça até o processamento automaticamente; o único trabalho executado manualmente é a detecção e correção de condições anormais;

- Estágio 5: pré-automação; todas as funções, inclusive a detecção de defeitos, são executadas pela máquina; somente a correção dos defeitos é feita manualmente;

- Estágio 6: automação; as operações necessárias para o processamento são completamente automatizadas; a detecção e a correção de condições anormais são executadas pela própria máquina; este é o estágio da “plena automação”.

Ohno (1997, p. 29) faz uma comparação entre o *Just-in-Time* e a Automação utilizando a analogia de um time de *beisebol*, “a Automação corresponde à habilidade e ao talento dos jogadores individuais, ao passo que o *Just-in-Time* é o trabalho da equipe envolvida em atingir um objetivo preestabelecido”.

Deste modo, observa-se a associação entre o *Justi-in-Time* e a Automação. Uma linha de produção é muito mais eficiente ao unir a habilidade individual dos operadores que trabalham na mesma com o trabalho coletivo de equipe, envolvendo a todos.

2.8 PADRONIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES

2.8.1 Origem

Pode-se dizer que a busca pela melhoria contínua dos processos data do início da humanidade, pois o ser humano sempre buscou facilitar as atividades que deve realizar, visando tornar sua vida mais tranquila. Com o surgimento da indústria, o crescimento das fábricas e o desenvolvimento da ciência da administração de empresas, o Estudo do Trabalho (Métodos e Tempos) passou a merecer atenção especial, pode-se dizer que a busca pela racionalização do trabalho se intensificou há cerca de um século, sendo tão recente quanto a Ciência da Administração (OLIVEIRA, 2010).

Os responsáveis pelo início dos estudos foram Frederick Winslow Taylor, no que diz respeito ao Estudo de Tempos, e o casal Frank B. e Lílian M. Gilbreth no Estudo de Movimentos (Métodos). Taylor tratava sobre o assunto também na

administração, conforme trata em seu livro “Os princípios da Administração Científica”.

Na visão de Ford, o processo de padronização permite o progresso de um sistema, pois o caminho certo é a escolha do melhor método conhecido até o momento e sempre aperfeiçoável através de melhorias. Caso contrário o progresso do sistema tende a fracassar e, conseqüentemente, o sistema a perecer (FERREIRA, 1995).

A ideia do trabalho padronizado e de operação padrão foram originalmente desenvolvidas por Taiichi Ohno no final dos anos 1930 na *Toyoda Spinning and Weaving*, como pode ser lido no texto extraído do próprio livro do Ohno (1997):

“Em algum momento entre 1937 e 1938, meu chefe na *Toyoda Spinning and Weaving* me disse para preparar métodos de trabalho padrão para a tecelagem. Era um projeto difícil. Com base num livro sobre métodos de trabalho padrão que comprei na Maruzen, consegui cumprir a tarefa em primeiro lugar” (OHNO, 1997, pg. 40).

Para Ohno (1997) as folhas de trabalho padrão e as informações nela contida são elementos importantes do STP. O operário que irá escrever a folha de trabalho padrão deve estar convencido de sua importância, para que possa estar escrever uma folha que outros trabalhadores possam compreender.

Conforme Ohno “a folha de trabalho padrão combina efetivamente materiais, trabalhadores e máquinas para produzir eficientemente” (OHNO, 1997, p. 41). Ainda de acordo com Ohno (1997), a operação padrão é de extrema relevância no que diz respeito ao controle visual do trabalho na fábrica.

Conforme Ohno (1997) a folha de trabalho padrão mudou muito pouco dos anos 30. Entretanto, ela está baseada em princípios e desempenha um papel fundamental de controle visual na Toyota. Ela lista três elementos do procedimento de trabalho padrão como:

- tempo *takt*;
- sequência do trabalho;
- estoque padrão.

De acordo com Ohno (1997) o tempo *takt* é o tempo alocado para fazer uma peça ou unidade, ele é determinado pela quantidade necessária e o tempo da operação. O tempo *takt* é calculado dividindo as horas de operação pela quantidade necessária por dia. Em muitas bibliografias é encontrado o termo *Takt-Time*, que foi primeiramente usado por Ohno, a fim de diferenciá-lo da definição tradicional de

tempo de ciclo de um processo ou operação, o qual independe da demanda do cliente (EDWARD, *et al.*, 1993).

Ohno (1997) descreve que o termo “sequência de trabalho” significa exatamente o que está expressando, não se refere à ordem de processos ao longo dos quais fluem os produtos e sim à sequência de operações em que um operário processa itens como: transformando-os, montando-os nas máquinas, removendo-os das mesas, etc.

2.8.2 Distribuição do Trabalho

Segundo Rother *et al.* (2002) o número de operadores deverá ser calculado não devendo ser definido através de uma estimativa ou de negociação entre os diferentes membros da equipe. É sugerido que se calcule a razão entre conteúdo total de trabalho e o tempo *Takt*, o resultado obtido será o número de pessoas necessárias para operar uma célula, ou até mesmo para operar a fábrica.

Há o caso de que poderá ser obtido, como resultado do cálculo, um número fracionário o que é interpretado como a fração de uma pessoa. Porém, como obviamente não é possível ter uma fração de pessoa, é necessário fazer um arredondamento para mais, ou até mesmo para menos. Para a decisão de arredondar para mais, ou menos, Rother *et al.* (2002) propõe a seguinte análise, mostrada no Quadro 1.

Quadro 1 - Orientação para arredondamento do número de operadores.

Sobra a partir do cálculo do número de operadores	Orientação
< 0,3	Não adicione um operador extra. Aproveite para reduzir o desperdício e trabalhos não importantes.
0,3 – 0,5	Ainda não adicione um operador extra. Após duas semanas de operação da célula, cuidadosamente avalie se os desperdícios e trabalhos não importantes ainda podem ser eliminados
> 0,5	Adicione um operador extra se necessário e mantenha a redução dos desperdícios e trabalhos não importantes para eventualmente eliminar a necessidade deste operador na célula.

Fonte: Rother *et al.* (2002, pg. 52).

2.8.3 Padronização das Operações

Conforme Monden (1984) “Padronização das Operações” é a meta na produção, visando utilizar uma quantidade mínima de operários. Conforme Hirano (1990) a operação padrão pode ser definida como a combinação entre os trabalhadores, os materiais e as máquinas, buscando fabricar produtos com qualidade, baixo custo, de forma rápida e principalmente segura. Ainda conforme o autor, a operação padrão não diz respeito somente à documentação das atividades, mas envolve o encadeamento das ações individuais em uma ordem específica visando a combinação ideal para produzir os produtos de maneira eficaz.

De acordo com Emiliani (2008), os benefícios da operação padrão são muitos se a operação padrão for aplicada corretamente. Eles estão relacionados à criação de um ponto de referência que pode ser constantemente aprimorado, ao controle de processos, à redução na variabilidade, à visibilidade das anormalidades e ao aprendizado dos operadores.

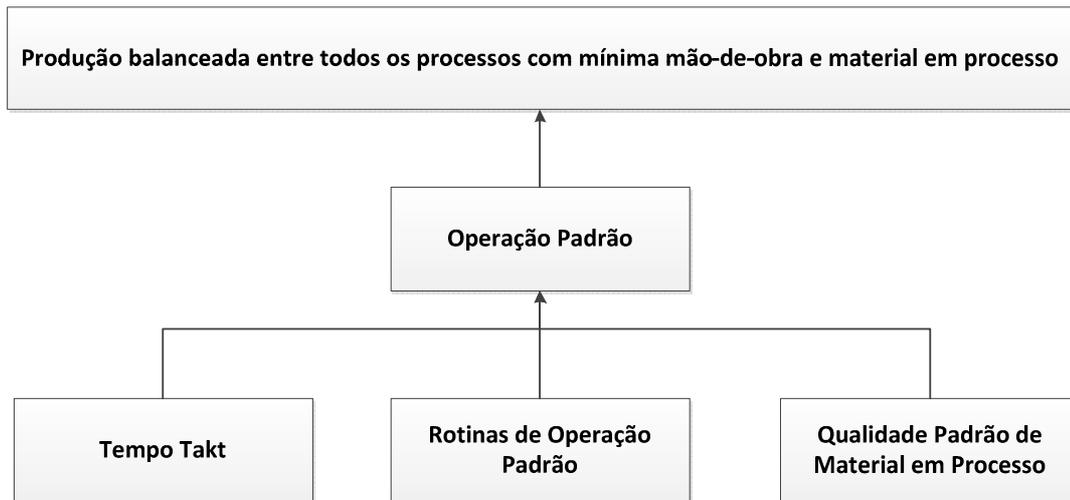
Para Miltenburg (2001), a operação padrão auxilia em qualquer sistema de produção. Ele destaca a utilização da operação padrão em células de manufatura, nas quais os operadores normalmente são multi-processos, pois a partir do documento da operação padrão têm-se como as operações devem ser realizadas.

De acordo com Monden (1984) a padronização das operações busca atingir três objetivos. O primeiro é a obtenção de uma alta produtividade através do trabalho eficiente evitando os movimentos desnecessários, ou seja, a ideia é estabelecer uma sequência padronizada e otimizada de várias operações a serem executadas por cada operário. Uma sequência padronizada de várias operações a serem executadas por cada operário é chamada de “Folha de Operação Padrão” e facilita a obtenção deste primeiro objetivo.

O segundo objetivo é obter o balanceamento de linha entre todos os processos em termos de tempo de produção, visando reduzir a ociosidade dos operários, através do nivelamento do trabalho entre os mesmos. O terceiro e último é o uso de um número mínimo de unidades para as operações de produção contribuindo para a diminuição dos inventários em processo.

Para Monden (1984) os três objetivos, para as operações padronizadas são constituídas pelo tempo *takt*, folhas de operações e quantidade padronizada e material em processo Figura 18.

Figura 18 - Elementos de operação padrão.



Fonte: Adaptada de Monden (1984).

Para Monden (1984) a produção segundo uma operação padrão, padroniza a rotina e as posições para verificar a segurança e a qualidade dos produtos. Também com a finalidade de treinar os operários a compreender e seguir os padrões, o supervisor deve dominar perfeitamente o tema. A técnica baseia-se em três conceitos fundamentais para o seu sucesso:

- determine o tempo *takt*;
- determine o tempo para completar uma unidade;
- determine a rotina de operações padronizadas.

2.8.3.1 Determinação do Tempo para Completar uma Unidade

Monden (1984) descreve que o tempo para completar uma unidade deve ser determinado em cada processo e para cada peça. Este tempo unitário é sempre escrito na folha de capacidade de produção da peça a qual é preenchida para cada unidade conforme.

Conforme Monden (1984) se o tempo de operação manual e o tempo de processamento da máquina automática são também medidos por cronometragem. O tempo de operação manual não deve incluir o tempo de movimentação dos trabalhadores.

O tempo para completar uma unidade na coluna de tempo básico é aquele necessário para o processamento de uma única unidade. “Se duas unidades são processadas simultaneamente, ou uma unidade dentre algumas é inspecionada,

pelo controle de qualidade, o tempo para completar uma unidade é escrito na referida coluna” (MONDEN, 1984).

2.8.3.2 Determinação das Rotinas de Operações Padronizadas

Conforme Monden (1984) a rotina de operações padronizadas deve ser feita considerando todos os operadores de forma individual. Monden (1984) aponta que a rotina das operações padronizadas é a sequência das ações que cada operador deve executar dentro de um dado tempo de ciclo.

Tal rotina tem dos objetivos principais: o primeiro objetivo é fornecer ao operador a ordem de sequência ou rotina para apanhar a peça, colocá-la na máquina e retirá-la após o processamento. O segundo é fornecer a sequência de operações que um operário multifuncional tem que executar em diversas máquinas dentro de um ciclo de tempo.

Para Monden (1984) a importância de diferenciar a sequência de processo e as rotinas de operações, pois estas duas sequências não são idênticas em muitos casos. Entretanto, se a rotina é complicada, ela não é facilmente determinada se o tempo automático de processamento de certa máquina terminar antes do operador utilizá-la no próximo ciclo ou tempo de ciclo. Como resultado, a folha de rotina de operações padronizadas é utilizada para determinar a exata rotina de operações.

De acordo com Monden (1984) o procedimento para preparar a folha de rotina de operações padronizadas pode ser feito considerando onze passos:

1. Identifique o tempo *takt* com uma linha vermelha na coluna de tempo de operação da folha.
2. Preencha o número sequencial da operação na coluna “sequência das operações”;
3. Indique a tarefa, verbo no infinitivo (caminhar, apertar o botão, etc; coloque o número da máquina se houver);
4. Tempo:
 - a. Manual: tempo de trabalho manual, tarefas humanas
 - b. Máquina: tempo de máquina, tarefas da máquina
 - i. De acordo com Monden (1984) “um certo tempo de folga para o operador caminhar entre as máquinas deve ser concedido. Este pode ser medido, usando um cronômetro, e registrado”.

5. Tempo de operação: (desenhar as linhas)
 - a. Tempo de trabalho manual (linha cheia)
 - b. Tempo máquina (linha pontilhada)
 - c. Tempo caminhada (linha ondulada)
6. Preencha a quantidade necessária por dia;
7. Preencha o tempo de ciclo (conforme fórmula e descartando os decimais);
8. Preencha o número do item ou descrição;
9. Número ou descrição da célula ou linha;
10. Data preparação ou revisão;
11. Preencha o nome dos operários, posição ou nome.

Além disso, Monden (1984) coloca que se a quantidade padronizada for mantida no nível mais baixo possível, isso possibilitará redução de custos, controle visual eficaz em termos de qualidade de produto e melhoria de processo e facilidade na detecção de defeitos.

2.8.3.3 Redação da Folha de Operações Padronizadas

Para Monden (1984) a folha de operações padronizadas é o item final necessário para a padronização de operações. A folha de operações padronizadas contém os seguintes itens:

- Tempo *takt*;
- Rotina de operações;
- Quantidade padronizada de material em processo;
- Tempo líquido de operação;
- Posições para verificar a qualidade do produto;
- Posições para manter cuidados com a segurança do operador.

No momento em que a folha de operações padronizadas é colocada no local de cada processo, para que o operador possa vê-la, ela pode ser útil para controle visual em três diferentes áreas. Pode ser utilizada como roteiro para cada operador manter sua rotina de trabalho, como auxílio para o supervisor verificar e assegurar que cada operário está seguindo as operações padronizadas e permite que a gerência avalie a habilidade do supervisor, desde que as operações padronizadas tenham que ser revisadas frequentemente para melhorar as operações do supervisor. Se uma folha de operações padronizadas for usada por um longo

período, o gerente pode perceber que o supervisor não está atento para melhorar as operações.

2.8.3.4 Treinamento e Verificação

De acordo com Monden (1984) quando as operações padronizadas são apresentadas pelo supervisor, ele deve ser capaz de executá-las perfeitamente para instruir seus operários. O supervisor não deve somente ensinar as operações, mas explicar também as razões pela qual o padrão deve ser seguido (por exemplo, os objetivos das operações padronizadas). Seguindo esta ação os operários perceberão a sua responsabilidade pela qualidade do produto.

Monden (1984) descreve que para assegurar que os operários entendam claramente o padrão, duas folhas chamadas de “pontos chaves de operações” e “guia de operações” são preparadas e entregues aos operários. Os “pontos chaves de operações” descrevem os pontos importantes de cada operação na rotina de operações padronizadas. Já o “guia de operações” esclarece os detalhes de cada operação em cada linha e, também, os métodos para verificar a qualidade do produto de forma adequada. As folhas ainda contêm os dados fornecidos pela folha de operação padronizada e são também colocadas em cada processo de fabricação.

Para Monden (1984) os padrões devem sempre ser observados pelo supervisor para ver se estão sendo seguidos, se não estão sendo mantidos, ele deve instruir imediatamente os operários conforme os procedimentos adequados. Caso os padrões estejam incorretos, devem ser imediatamente revisados.

Um quadro luminoso mostra a quantidade atual e acumulativa programada de saídas no término de cada tempo de ciclo em cada processo. O supervisor deve verificar os resultados da implementação das operações padronizadas, e se é encontrada alguma anormalidade, ele deve investigar as razões pela qual o problema está acontecendo e tomar ações imediatas (MONDEN, 1984).

É importante que o supervisor revise regularmente as operações padronizadas, com a finalidade de encontrar imperfeições nas operações. A mais importante idéia que forma a base do sistema Toyota pode ser resumida na seguinte frase: “o progresso de uma companhia somente pode ser alcançado com o esforço contínuo da parte de todos os seus membros” (MONDEN, 1984).

3 METODOLOGIA

Este capítulo expõe uma visão teórica sobre o método do *Design Research*, e as estratégias de pesquisas para complementar as questões associadas ao método. As principais definições e classificações associadas à pesquisa serão apresentadas em conjunto com a descrição dos elementos que levaram o pesquisador a eleger a estratégia de pesquisa em cena. Assim a presente pesquisa fundamenta as razões da escolha da estratégia do *Design Research* para desenvolvimento do trabalho. Na sequência serão detalhados os passos utilizados no método de trabalho para a elaboração da dissertação.

3.1 MÉTODO DE PESQUISA

É imprescindível ressaltar alguns aspectos teóricos que fundamentam uma pesquisa científica, em destaque para a escolha do *Design Research*, antes de apresentar em mais detalhes o método adotado para a realização da presente dissertação.

Conforme Lakatos & Marconi (1991), o método de pesquisa é um conjunto de atividades sistemáticas e racionais, que orientam a geração de conhecimentos válidos e verdadeiros, indicando o caminho a ser seguido.

Já para Manson (2006) pesquisa é uma investigação sistemática para apurar os fatos ou coletar informações sobre um tema. A definição de pesquisa para Vaishnavi & Kuechler (2011), é uma atividade que contribui para o entendimento de um fenômeno. Os autores definem “fenômeno” como um conjunto de comportamentos de alguma(s) entidade(s) que é considerado interessante pelo pesquisador ou por um grupo, e o entendimento como conhecimento que permite a previsão do comportamento de alguns aspectos do fenômeno. Para Silva & Menezes (2001) pesquisar significa, de forma bem simples, procurar respostas para as indagações propostas.

Para Manson (2006) há pesquisa para que se possa gerar entendimento sobre algo. Conforme o autor a pesquisa é feita para obter conhecimento e é motivada por três razões:

1. Curiosidade humana, mesmo se não houvesse aplicação prática para o entendimento obtido;

2. Necessidade de prever o comportamento de uma entidade, mesmo que não possamos realmente mudar o fenômeno; e
3. Necessidade de mudar o comportamento de uma entidade.

O universo da pesquisa divide-se em natural e artificial, fenômenos naturais são aqueles que ocorrem naturalmente sem a intervenção humana. Já os fenômenos artificiais são aqueles criados pelos homens no intuito de satisfazer suas necessidades ou atingir objetivos (SIMON, 1996).

Conforme Silva & Menezes (2001) existem várias formas de classificar as pesquisas. As formas clássicas de classificação são:

- Do ponto de vista da sua natureza: i) pesquisa básica; ii) pesquisa aplicada. A pesquisa básica objetiva a geração de novos conhecimentos, úteis para o avanço da ciência sem estar prevista sua aplicação na prática, envolve verdades e interesses universais. Já a pesquisa aplicada objetiva a geração de conhecimento para aplicação prática focados a soluções de problemas característicos, são envolvidos interesses e verdades locais.
- Do ponto de vista da abordagem do problema: i) pesquisa quantitativa; ii) pesquisa qualitativa. A pesquisa quantitativa analisa que tudo pode ser quantificável com o intuito de traduzir em números opiniões e informações para com isso conseguir classificá-las e analisá-las, o que em geral, necessita o uso de técnicas estatísticas. Já a pesquisa qualitativa prevê que se tenha uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, um vínculo que não se pode separar entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser explicitado em números. No processo de pesquisa qualitativa a compreensão dos fenômenos e a atribuição de significados a eles são consideradas básicas, e não requerem o uso métodos ou técnicas estatísticas para as análises e classificações. A fonte direta para a coleta de dados na pesquisa qualitativa é o próprio ambiente natural e a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave. A pesquisa é descritiva e indutiva, o processo e seu significado são os focos principais deste enfoque.

De acordo com Van Aken (2004) a pesquisa pode ser dividida em i) descritiva; e ii) prescritiva. A pesquisa descritiva dirige o seu foco em descrever as

características de uma determinada população ou fenômeno. Já a prescritiva é orientada para investigar e propor a solução de um determinado tipo de problema.

Para Santos 2001 a pesquisa descritiva está associada à compreensão de um fenômeno ou um fato. As pesquisas descritivas se apresentam na forma de levantamentos ou observações do fenômeno ou fato escolhido para a pesquisa. Van Aken (2004) complementa que na pesquisa descritiva o campo de investigação é focado no problema. No Quadro 2 Van Aken (2004) coloca as principais diferenças entre a pesquisa descritiva e a prescritiva.

Quadro 2 - Principais diferenças entre pesquisa descritiva e prescritiva.

Característica	Pesquisa Descritiva	Pesquisa Prescritiva
Tipo de ciência	Ciências explicativas	Ciência de projeto
Objetivo	Problema	Solução
Perspectiva	Observante	Participante
Lógica	Retrospectiva	Intervenção-resultado
Questão de pesquisa típica	Explicação	Alternativas de soluções
Produto de pesquisa	Modelo causal; lei quantitativa	Regra tecnológica
Natureza do produto de pesquisa	Algoritmo	Heurística
Justificativa	Prova	Evidências saturadas

Fonte: Adaptado de Van Aken (2004).

3.2 DESIGN RESEARCH

Para Van Aken (2005) a missão do *design science* é desenvolver conhecimento que possa ser utilizado por profissionais em seus campos de atuações para resolver problemas. O termo *design science* é selecionado para destacar a orientação no conhecimento para *design* (para solução de problemas do mundo real), e as ferramentas necessárias para ações adequadas, que são de domínio dos profissionais.

A incumbência da *design science* é desenvolver conhecimento para a concepção e criação de artefatos². No entanto, a geração de conhecimento na *design science* não está preocupada somente com a pesquisa em si, mas com a criação de conhecimento que poderá ser utilizado para a solução de problemas existentes, possibilidades de melhoria ou criação de novos artefatos. (VAN AKEN 2004).

² Artefato é o resultado de algo planejado, não necessariamente algo físico (MANSON, 2006).

A diferença da ciência e da pesquisa tradicional fundamentada em *design science* e no método de *Design Research* é que na ciência e na pesquisa tradicional a preocupação é em entender os fenômenos, sejam eles humanos, da natureza ou de sistemas. Ao passo que o foco do *Design Research* é melhorar estes sistemas, nunca deixando de lado o entendimento para o método, mas só ele não é suficiente. O ponto chave aqui é que o importante é desenvolver conhecimento para sugerir novas melhorias para estes sistemas (CHAKRABARTI, 2010).

O método do *Design Research* teve seu início no ambiente da Tecnologia da Informação e foi neste ambiente que ele obteve aceitação. Recentemente esse método iniciou sua utilização em pesquisas de Engenharia de Produção, tendo em vista que seus princípios estão alinhados a estas pesquisas (SIMON 1996).

A afirmação que Manson (2006) faz é que *Design Research* é mais do que uma metodologia para fazer investigação, embora integre certas metodologias. Já para Vaishnavi e Kuechler (2011) é um novo olhar ou um conjunto de técnicas analíticas que permitem o desenvolvimento de pesquisas em diversas áreas, incluindo as engenharias. De acordo com os mesmos autores, *Design Research* envolve a análise da utilização e do desempenho dos artefatos concebidos para compreender, explicar e, muito frequentemente, melhorar o comportamento dos aspectos dos sistemas de informação. Hevner *et al.* (2004) coloca o *Design Research* como um paradigma de solução de problemas e afirmam que o método proposto pretende criar inovações que definam ideias, práticas, capacidades técnicas e produtos através da qual a análise, concepção, implementação, gestão e utilização de artefatos pode ser realizado de forma eficaz e eficiente.

Segundo Bayazit (2004) o *Design Research* tem como objetivo estudar, pesquisar e investigar acerca de coisas criadas pelo homem e a forma como estas criações se comportam tanto de um ponto de vista acadêmico como de um ponto de vista da empresa, da organização, da fábrica e o resultado deste tipo de pesquisa é sempre um artefato.

Conforme Van Aken (2004) é importante destacar que neste tipo de pesquisa mesmo que os problemas sejam muito específicos, é de suma importância que este conhecimento possa ser generalizado, e que, quando necessário, possa ser usado para a resolução de um problema único ou específico.

Conforme Nowotny, Scott e Gibbons (2001) a produção do conhecimento do Tipo 1 designa a produção de conhecimento disciplinar confiável de dentro da esfera

autônoma da ciência, já o conhecimento do Tipo 2 de produção de conhecimento caracteriza o conhecimento resultante de mais trabalho interdisciplinar realizado em estreita ligação a um contexto de aplicação.

Entende-se o conhecimento do Tipo 2 como um sistema de produção de conhecimento apontando a aplicação no contexto em que poderá ser aplicado. (BURGOYNE E JAMES, 2006).

Para Van Aken (2005) a conexão do conhecimento e da interdisciplinaridade proposta pelo conhecimento do Tipo 2 é de suma importância para suprir uma lacuna existente do que é desenvolvido na academia e sua aplicabilidade no mundo prático. Esta conexão vem ao encontro do propósito principal do conhecimento proposto que é gerar conhecimento aplicável no mundo real.

Para melhorar a relevância da pesquisa acadêmica Van Aken (2005) cita três possíveis abordagens:

1. A primeira abordagem trata da melhoria da comunicação com os pesquisadores sobre estes produtos, assumindo que elas são válidas e relevantes, mas que não estão adequadamente apresentadas ao mundo dos negócios e gestão.
2. Uma segunda abordagem que recebe muita atenção é olhar para o processo que produz esses produtos de pesquisa. Mais particularmente, para intensificar a interação pesquisador-praticante durante este processo para que o pesquisador obtenha uma melhor compreensão dos problemas de campo, suas possíveis soluções, e as necessidades dos profissionais. Como já mencionado este é o caso da pesquisa colaborativa e pesquisa Tipo 2.
3. Uma terceira abordagem segue para um olhar mais aprofundado para a natureza desses produtos em si. A ênfase que deve ser dada ao potencial de pesquisa do Tipo 2 de produção de conhecimento geral necessita ser a produção de conhecimento não no contexto da sua aplicação imediata, mas sim do conhecimento que podem ser transferidos para outros contextos.

Manson (2006) resume o *Design Resarch* como um processo de utilização de conhecimento para desenvolvimento e geração de artefatos. E Simon (1996) coloca que *Design Resarch* resulta na criação de artefatos, que normalmente são pensados como algo físico, mas podem ser abstratos como:

1. Constructos ou conceitos formam o vocabulário de um domínio. Eles constituem uma conceituação utilizada para descrever os problemas dentro do domínio e para especificar as respectivas soluções. Eles formam a linguagem especializada e conhecimento compartilhado de uma disciplina ou subdisciplina. Tais construções podem ser altamente formalizadas como na semântica, formalismos de modelagem de dados (com construções como entidades, atributos, relacionamentos, identificadores e restrições), ou informal, no trabalho cooperativo (consenso, participação e satisfação). (MARCH e SMITH, 1995).
2. Um modelo é um conjunto de proposições ou declarações que expressam as relações entre os construtos. Em atividades de design, modelos representam situações como as declarações de problema e soluções. Ou pode ser visto simplesmente como uma descrição, ou seja, como uma representação de como as coisas são (MARCH e SMITH, 1995).
3. Um método é um conjunto de passos (um algoritmo ou orientação) usado para executar uma tarefa. Métodos baseiam-se em um conjunto de construtos subjacentes (linguagem) e uma representação (modelo) do espaço de solução.
4. Uma instanciação é a realização de um artefato em seu ambiente. As instanciações operacionalizam os construtos, modelos e métodos e formaliza as construções, modelos e métodos em que se baseia.

Já Vaishnavi e Kuechler (2011) complementam outro elemento que é altamente significativo para a lista geral dos resultados do *Design* onde é chamado pelo autor de aprimoramento das teorias ou construção de teorias.

Ainda Manson (2006) coloca que existem mais dois resultados na aplicação do *Design Research*: i) conhecimento reproduzível; e ii) teoria emergente. E

complementa coloca que o artefato pode ser o resultado mais visível, mas nem por isso é o mais importante.

Portanto Romme (2003) descreve que o *Design Research* desenvolve conhecimento a serviço da ação, pois sua natureza de pensamento é normativa e sintética, direcionada para situações desejadas. O *Design Research* estuda fenômenos que são mais artificiais que naturais, sendo mais prescritiva que descritiva buscando prescrever formas de fazer de uma maneira mais efetiva, levando o pesquisador a aprender mais através dos fatos e compreender por um processo interativo de construção e circunspeção.

3.2.1 Produto do *Design Research*

Nas ciências explicativas, a pesquisa acadêmica pode ser vista como a busca pela verdade. É a descrição orientada que visa o entendimento compartilhado. Um típico produto de pesquisa do *Design Research* descrito por Van Aken (2005) é a regra tecnológica e não o modelo causal. Para o mesmo autor uma regra tecnológica é "um pedaço de conhecimento geral que liga uma intervenção ou artefato com um resultado esperado ou o desempenho em um determinado campo de aplicação". "Geral" nesta definição significa que não é uma solução específica para uma situação específica, mas uma solução geral para um tipo de problema.

Para Trullen e Bartunek (2007) as regras tecnológicas não são soluções específicas para problemas específicos, mas sim, o equivalente a hipóteses de médio porte que tenham sido testados em seu campo de aplicação previsto. Eles seguem a lógica do "Se você quer conseguir Y na situação Z, em seguida, executar a ação X (ou algo parecido X)". Van Aken (2005) complementa que as regras tecnológicas também podem ser ampliadas com base em estudos de grande escala quantitativa, como a regra de que se deve usar relacionada ao invés de diversificação não relacionada na concepção e implementação de estratégias de crescimento.

Van Aken (2005) coloca que no intuito de ser uma proposta de Design, uma proposição deve preencher três requisitos que são: i) a variável dependente; ii) as variáveis independentes; e iii) teste da proposição. A variável dependente deve delinear algo de valor para a organização, como algum indicador de desempenho operacional ou ainda o desempenho financeiro. Já as variáveis independentes

devem delinear algo que pode ser alterado ou implementado pelos projetistas e não algo como a idade da organização. E a aplicação da proposição deve ser feita no contexto de sua aplicação prevista.

Para Trullen e Bartunek (2007), estudos que empregam os fundamentos do *Design Research*, são baseados vários valores importantes como:

- I. O primeiro é a colaboração entre pesquisadores e clientes, com a participação e envolvimento dos clientes para criação de design (projeto) particular, em conjunto com o diálogo permanente entre os clientes e pesquisadores durante o processo de criação;
- II. O segundo valor é que a pesquisa centra-se na concepção de soluções ao invés de tentar analisar cuidadosamente as situações antes de agir.
- III. Um terceiro valor é a experimentação pragmática. A suposição é que um projeto correto não é desenvolvido no início, mas sim, é importante experimentar com projetos possíveis e regras até que um se pareça aceitável e se torne evidente;
- IV. Um quarto valor está na compreensão de situações particulares em seu contexto mais amplo. Considerando que:
 - a. Cada situação é única, inserida em seu próprio contexto;
 - b. A importância em se concentrar em objetivos e soluções ideais;
 - c. A necessidade de aplicação de sistemas de pensamento que ajude os *designers* a ver como a situação atual está inserida em um contexto muito maior e de aproveitar este contexto mais amplo durante o processo de *design*.
- V. Em quinto lugar, a pesquisa em design é baseada em uma abordagem de intervenção sistêmica que envolvem metas estabelecidas.

De acordo com Mason (2006), *Design Research* é um processo de uso de conhecimentos para idealizar e criar artefatos e, em seguida, avaliar a eficácia destes artefatos através de rigorosos métodos de avaliação.

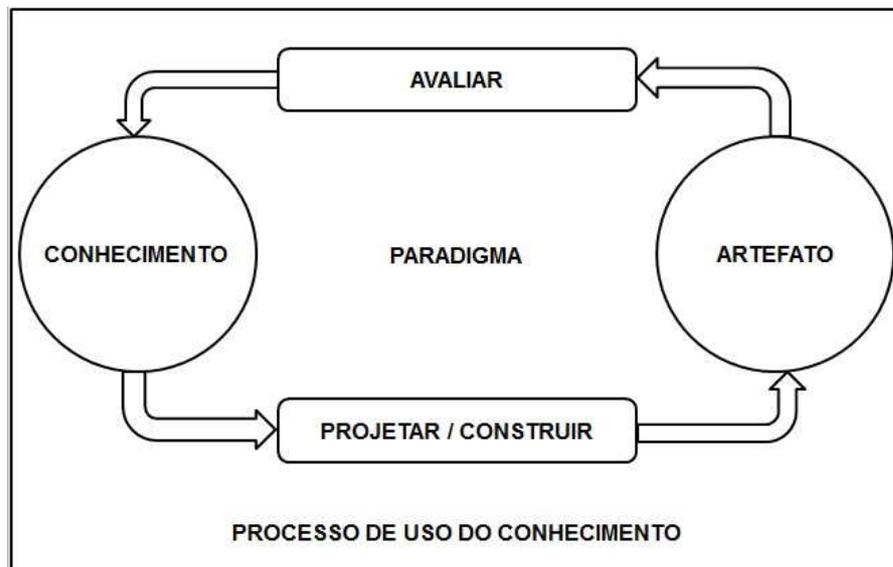
3.2.2 Processo de construção do conhecimento

Nas discussões feitas por Manson (2006) e Vaishnavi e Kuechler (2011) sobre o processo de construção do conhecimento, surge um questionamento, de que se este método (*Design Research*) pode ser considerado pesquisa. De acordo

com este questionamento, os autores discutem alguns aspectos para a compreensão da estrutura deste método.

A metodologia proposta pelos pesquisadores apresenta duas fases com características diferentes: i) construção do conhecimento; e ii) uso do conhecimento. O processo de construção do conhecimento (é onde o pesquisador avalia o conhecimento existente) e o do uso do conhecimento (é onde a partir do conhecimento avaliado o mesmo projeta/constrói um artefato). Este artefato construído será avaliado a partir do conhecimento e assim o ciclo de geração e acúmulo de conhecimento ocorre. Este processo de geração e acúmulo de conhecimento encaixa-se no modelo exposto por Owen (1997 apud VAISHNAVI; KUECHLER, 2011), conforme apresenta a Figura 19.

Figura 19 - Modelo do processo de construção de conhecimento no *Design Research*



Fonte: Adaptado de Owen (1997 apud Vaishnavi e Kuechler, 2011).

Manson (2006) afirma que *design*, por si mesmo, é um conhecimento usando processo e não conhecimento gerando processo, e assim não pode ser considerado pesquisa. Desta forma, o processo de usar conhecimento para planejar e criar um artefato, quando é cuidadosamente, sistematicamente e rigorosamente analisado sobre a efetividade com que atinge a sua meta pode ser chamado de pesquisa.

3.2.3 Metodologia do *Design Research*

Conforme March e Smith (1995) as metodologias de pesquisa prescrevem formas adequadas para recolher e analisar evidências para apoiar (ou refutar) uma

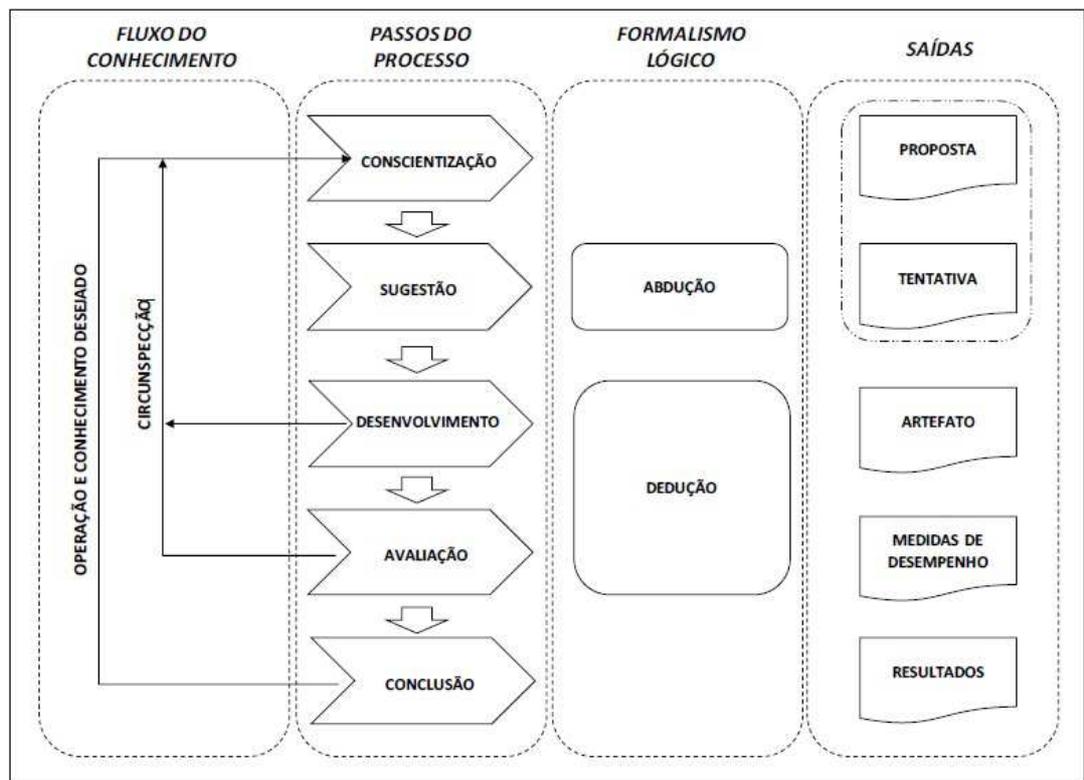
teoria postulada. Eles são artefatos criados, que têm valor na medida em que abordam esta tarefa.

De acordo com March e Smith (1995) a ciência natural é muitas vezes vista como constituída de duas atividades, descoberta e justificativa. A justificativa inclui atividades através das quais tais reivindicações são testadas para sua validade. Já a descoberta historicamente é considerada como um processo criativo.

O *Design Research* estuda fenômenos que são mais artificiais que naturais, sendo mais prescritiva que descritiva, buscando prescrever formas de fazer de forma mais efetiva. O pesquisador aprende através dos fatos e os compreende por um processo iterativo de construção e circunspeção. Segundo Romme (2003), o *Design Research* desenvolve conhecimento no serviço da ação, pois sua natureza de pensamento é normativa e sintética, direcionada para situações desejadas, sistemas e síntese na forma de ações atuais.

A Figura 3 coloca a estrutura metodológica proposta por Takeda *et. al.*(1990), adaptada e estendida por Vaishnavi e Kuechler (2011), colocando as atividades do *Design Research* para atingir os resultados da pesquisa que utiliza esta metodologia.

Figura 20 - Modelo do processo de construção de conhecimento no *Design Research*



Fonte: Adaptado de (VAISHNAVI e KUECHLER, 2011).

Conforme Vaishnavi e Kuechler (2011) a metodologia geral do *Design Research* é estruturada em quatro estágios: i) fluxo do conhecimento; ii) passos do processo; iii) formalismo lógico; e iv) saídas. Os passos do processo possuem as etapas de: conscientização do problema, sugestão, desenvolvimento, avaliação e conclusão. Os mesmos autores descrevem cada etapa do *Design Research* conforme demonstrado a seguir:

- a. Conscientização do problema pode vir de várias fontes: novos desenvolvimentos na indústria ou em uma disciplina de referência. Leituras em uma disciplina relacionada também podem proporcionar a oportunidade para aplicação de novas descobertas de campo do pesquisador. A saída desta fase é uma proposta, formal ou informal, para um esforço de uma nova investigação;
- b. Na fase de sugestão o pesquisador fará uma ou mais tentativas de *design*. Estas tentativas estão intimamente conectadas à proposta, e qualquer proposta formal deve incluir pelo menos uma tentativa. Caso o pesquisador não consiga formular um projeto experimental, o esforço de investigação será anulado. Este passo é essencialmente criativo, e é nesta fase que diferentes pesquisadores chegam a diferentes tentativas de projeto. Este passo é análogo ao processo de teorização em ciências naturais, quando diferentes pesquisadores podem chegar a diferentes teorias para explicar o mesmo conjunto de observações;
- c. Durante a fase do desenvolvimento o pesquisador construirá um ou mais artefatos. As técnicas usadas são variadas, dependendo do artefato que está sendo construído. Alguns exemplos são algoritmos com uma prova formal e software. A construção propriamente dita não requer necessariamente qualquer novidade em relação ao estado da arte, visto que a inovação deve estar em primeiro lugar na construção do mesmo.
- d. Na fase de avaliação uma vez construído o artefato é avaliado de acordo com critérios que estão sempre implícitos e frequentemente explicitados na proposta. Desvios das expectativas, tanto em termos quantitativos e qualitativos são cuidadosamente e justificados. Antes e na construção, os pesquisadores formulam hipóteses sobre como o artefato se comportará. Raramente há hipóteses iniciais

completamente validadas. As hipóteses iniciais são raramente descartadas, podem os desvios do comportamento dos artefatos esperados forçarem os pesquisadores para procurar novas sugestões. Este planejamento é então modificado, geralmente depois de pesquisas adicionais. Assim o conhecimento novo é produzido como indicado por circunscrição e conhecimento operacional desejado. A circunscrição é o método formal que assume que cada fragmento de conhecimento é válido apenas em algumas situações, a aplicabilidade deste conhecimento pode ser única através da detecção e análise das contradições, fazendo com que o pesquisador aprenda alguma coisa nova quando o experimento não funciona de acordo com a teoria. Quando isso acontece, o pesquisador deve averiguar o motivo pelo qual o artefato falhou. Isso pode ocorrer pela não compreensão da teoria por parte do pesquisador ou simplesmente pela teoria estar incompleta. Com este acontecimento o pesquisador é forçado a voltar ao início e adquirir mais conhecimento que melhorem os limites da teoria utilizada para desenhar o artefato. Se o pesquisador seguir estes passos e resolver o problema em questão, isso pode levar a conhecimentos novos, que melhorarão a teoria original; e

- e. Na fase de conclusão em algum momento, embora ainda existam alguns desvios no comportamento do artefato, o esforço é considerado “suficientemente bom”. Os resultados devem ser validados e escritos. O conhecimento adquirido é categorizado como “firme” (fatos que foram aprendidos e que podem ser aplicados repetidamente ou comportamentos que podem ser repetidamente chamado) ou com resultado perdido (anomalias que não podem ser explicadas e se tornam argumento de novas pesquisas).

A partir dos passos do processo, há o fluxo do conhecimento, em que, com base nos resultados das etapas de desenvolvimento e avaliação, com uma circunspeção (análise por várias frentes do artefato) o mesmo pode levar a uma nova conscientização do problema da pesquisa e reiniciar a pesquisa. Da mesma forma a partir das conclusões da pesquisa o mesmo pode reiniciar a pesquisa, contribuindo para a conscientização. O modelo detalha também o formalismo metodológico do método e as saídas de cada passo da metodologia.

3.2.4 Resultados do *Design Research*

Conforme March e Smith (1995), é proposto um quadro para definir quais são as saídas (*outputs*) do *Design Research* e suas atividades realizadas tanto pela ciência tradicional como pela *design science*. A Figura 3 coloca a proposta destes autores para diferenciar estas duas dimensões.

Figura 21 - Quadro de pesquisa

		Atividades de Pesquisa			
		Construir	Avaliar	Teorizar	Justificar
Saídas da Pesquisa	Constructo				
	Modelo				
	Método				
	Instaciação				

Fonte: Adaptado de March e Smith (1995).

A primeira dimensão tratada pelos autores é fundamentada nas saídas geradas pelo *Design Research*, os artefatos. Já a segunda dimensão tem sua fundamentação baseada em atividades realizadas tanto pela ciência tradicional como pela *design science*. A partir destas dimensões os artefatos podem ser construídos, avaliados e as teorias podem ser criadas e justificadas.

Ainda March e Smith (1995) colocam que os resultados do *Design Research* são: proposta, tentativa, artefato, medidas de resultado e resultado. Mas para que o *Design Research* possa ser considerado pesquisa ele deve gerar um novo conhecimento. Conforme demonstrado na Figura 3 são sugeridos quatro artefatos como forma de captar o conhecimento gerado: i) constructo; ii) modelos; iii) métodos; e iv) *instantiations*.

Constructo é o vocabulário conceitual de um domínio de problema / solução. Ele permite aos pesquisadores descrever seus conceitos com precisão. O constructo nasce na conceituação do problema e é refinado durante todo o ciclo do *Design* (VAISHNAVI E KUECHLER, 2011).

Modelos são conjuntos de proposições ou declarações que expressam as relações entre os constructos. São propostas de como as coisas são e diferem das teorias das ciências naturais principalmente na intenção, o foco da ciência natural é

mais na verdade enquanto que a investigação se concentra mais na utilidade do projeto (VAISHNAVI E KUECHLER, 2011).

Um método é um conjunto de passos (um algoritmo ou orientação) usado para executar uma tarefa (VAISHNAVI E KUECHLER, 2011). Já para March e Smith (1995) estes passos são baseados em um conjunto de constructos e em um modelo do espaço de soluções.

Instantiations são as operacionalizações dos artefatos em seu ambiente, ou seja, explicitados em seu contexto. Após a realização dos constructos, modelos e métodos, há a apresentação da possibilidade e efetividade dos modelos e métodos que contém (MARCH e SMITH, 1995).

O *Design Research* além das quatro saídas já citadas anteriormente, pode ter como resultado o aprimoramento da teoria (VAISHNAVI E KUECHLER, 2011). No Quadro 3 é apresentado o resumo dos resultados já tratados.

Quadro 3 - Saídas do *Design Research*.

Saídas	Descrição
Constructos	O vocabulário conceitual de um domínio
Modelos	Um conjunto de proposições ou declarações expressando relacionamentos entre constructos
Métodos	Um conjunto de passos usados para desempenhar uma tarefa
<i>Instantiations</i>	A operacionalização dos constructos, modelos e métodos
Aprimoramento da teoria	Melhoria no entendimento a partir do estudo de um artefato

Fonte: Adaptado de Manson (2006).

3.2.5 Processo de avaliação do *Design Research*

Conforme Manson (2006) é importante ter critérios de avaliação para qualquer tipo de pesquisa, e estes critérios auxiliam os pesquisadores, revisores, editores e leitores a identificar a acurácia da pesquisa e o atingimento de seus objetivos iniciais, e também se o rigor do trabalho foi seguido.

De acordo com Hevner *et al.* (2004) para que o *Design Research* seja de fato reconhecido como um método de pesquisa, deve haver uma avaliação que garanta com que a pesquisa seja reconhecida com tal.

Os mesmos autores propõem sete diretrizes para avaliação de uma pesquisa no *Design Research*. Mas os autores sugerem que nem sempre utilizem estas orientações. Para eles, os pesquisadores devem utilizar de sua criatividade e julgamento próprio para determinar quando, onde e como aplicar cada uma das

orientações para avaliar um *Design Research*. As diretrizes para avaliar o *Design Research* serão colocadas a seguir:

- a. o artefato em si: o primeiro critério de avaliação é o criação do artefato em si e este artefato deve ser descrito com precisão para que se possa implantá-lo e aplicá-lo;
- b. a relevância do problema de pesquisa: o *Design Research* tem como proposta a obtenção de conhecimento e entendimento para implementar soluções para problemas práticos, com isso é de fundamental importância que estes problemas sejam de relevância para a comunidade onde a pesquisa será realizada;
- c. a avaliação do artefato: a qualidade, funcionalidade e a utilidade do artefato criado, deve ser comprovada utilizando os critérios de avaliação com seu devido rigor. Este rigor na avaliação é o que, de fato, transforma o *Design Research* em pesquisa. O Quadro 4 apresenta as técnicas propostas por Hevner *et al.* (2004) para a avaliação do desempenho do artefato:

Quadro 4 - Método para avaliação do *Design Research*.

MODO DE AVALIAÇÃO	EXEMPLOS
OBSERVACIONAL	Estudo de Caso;
	Campo de Estudo;
ANALÍTICO	A análise estética como o exame da estrutura do artefato;
	A análise da arquitetura - o estudo do ajuste dentro da arquitetura técnica;
	A demonstração das propriedades do artefato ou de seu comportamento;
	A análise dinâmica - o estudo do artefato no uso de suas qualidades dinâmicas;
EXPERIMENTAL	Experimentos controlados e simulação
TESTE	Teste funcional: executar o artefato para descobrir falhar e defeitos;
	Teste estrutural: teste de alguma medida de desempenho na implementação do artefato;
DESCRITIVO	Uso de informação da base do conhecimento para construir um argumento para sua utilidade;
	Cenários: construção de cenários detalhados para demonstrar sua utilidade.

Fonte: Adaptado de Revner *et al.* (2004).

- d. contribuição da pesquisa: como contribuição o *Design Research* deve no mínimo três tipos de contribuições: i) o próprio artefato; ii) fundamentações para construção de novos artefatos; e iii) contribuição para criação de conhecimento.
- e. rigor da pesquisa: o rigor é uma maneira de avaliar a condução científica da pesquisa e mede o bom andamento da condução da pesquisa. O rigor está relacionado com as teorias utilizadas para construção do artefato e na definição dos critérios de avaliação;

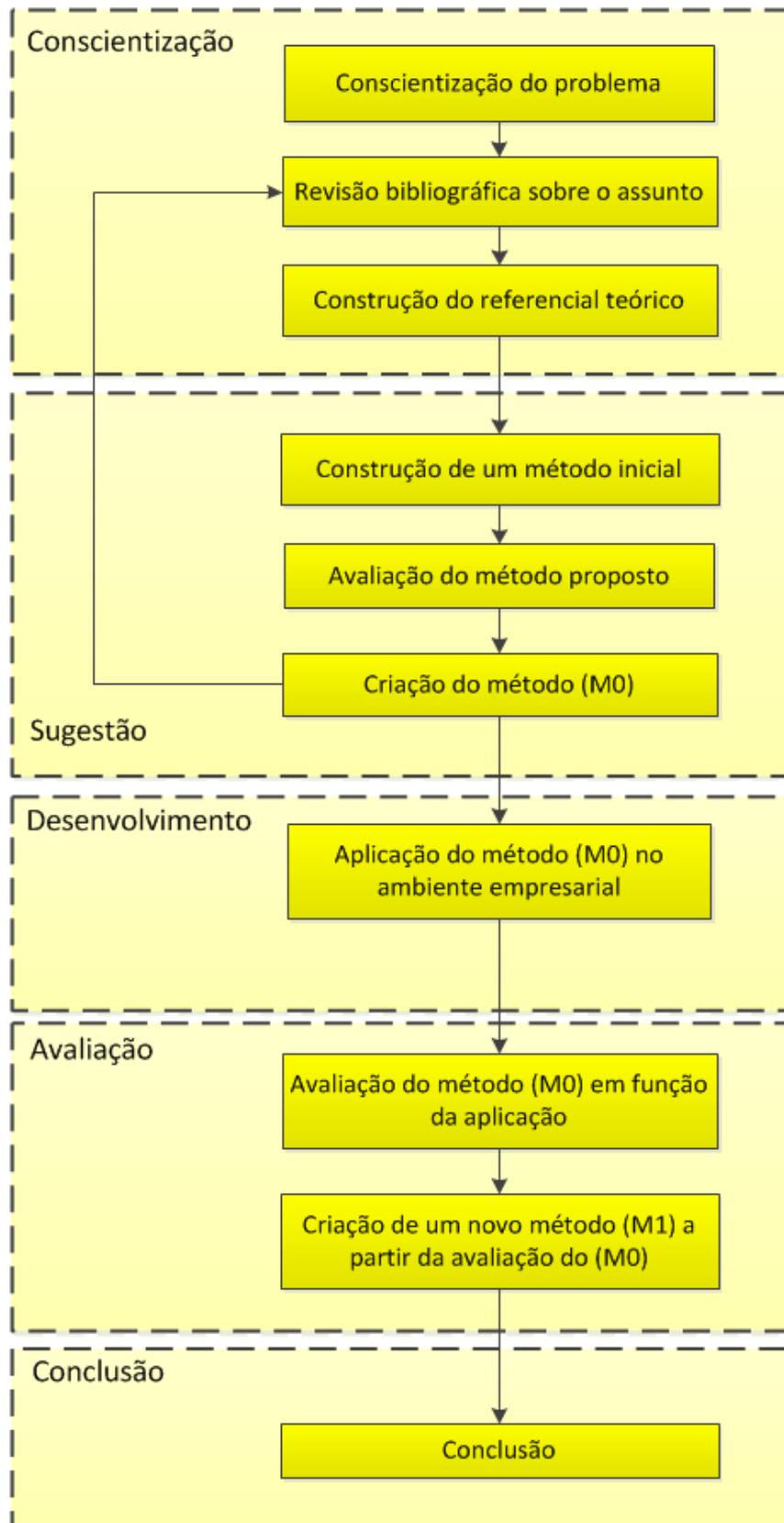
- f. o processo de pesquisa: para se obter um artefato adequado é necessária a utilização dos recursos disponíveis para obtenção do fim desejado, mas sempre levando em conta o conjunto de restrições que envolvem o problema. É no processo de pesquisa que é avaliado como os recursos disponíveis (teorias, outras pesquisas e recursos físicos) foram usados para se chegar a solução; e
- g. comunicação da pesquisa: O *Design Research* deve contribuir para a constituição do conhecimento, e seus artefatos devem ser de conhecimento de outros pesquisadores, para que estes possam colaborar com seu trabalho, também deve ser comunicado para os práticos, que poderão aplicar as soluções propostas, e para os gestores, que irão definir se o artefato é ou não apropriado para o se contexto.

3.3 MÉTODO DE TRABALHO

De acordo com o método de pesquisa e tendo em vista assim os objetivos propostos neste trabalho, o método de trabalho adotado, ou seja, os passos seguidos no trabalho estão explicitados na Figura 5.

O enfoque final (artefato) desta dissertação será a elaboração de um método para dimensionamento e gestão de linhas de montagem, que utilizará os conceitos do STP e TOC para que seus usuários possam utilizá-lo para a tomada de decisões.

Figura 22 - Método de trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

De acordo com a Figura 22 os passos utilizados para a elaboração do trabalho foram:

- Passo 1 – Conscientização do problema: a partir de pesquisas efetuadas na literatura e da realidade de algumas empresas, surgiu a motivação para a construção desta pesquisa. Com a incumbência de apresentar para o ambiente de engenharia de produção, o autor da presente dissertação estudou os atributos do ambiente nacional para entender os principais problemas que as empresas inseridas neste contexto encontram-se;
- Passo 2 – Revisão bibliográfica sobre o assunto: foi realizada uma vasta pesquisa bibliográfica com o desígnio de aplicar os conhecimentos sobre a teoria existente. No decorrer desta revisão foi validada a percepção da pesquisa inicial na literatura de que existe uma lacuna conceitual em relação há métodos de gestão de linhas de montagens;
- Passo 3 – Construção do referencial teórico: a partir das bibliografias nacionais e internacionais foi construído o referencial teórico;
- Passo 4 – Construção de um método inicial: a partir das informações coletadas e estudadas pela pesquisa na literatura, foi criado o método inicial. A fundamentação deste método se deu a partir de conceitos bases retirados da literatura.
- Passo 5 – Avaliação do método proposto: O método foi avaliado por especialistas que propuseram alguns ajustes e melhorias.
- Passo 6 – Criação do método (M0): De posse das informações geradas pelo grupo de especialistas e percepções obtidas a partir do trabalho, o método proposto foi aprimorado e documentado, assim se deu o método M0. As modificações sugeridas pelo grupo não modificaram a estrutura do método, as melhorias foram em alguns passos, para um melhor entendimento.
- Passo 7 - Aplicação do método (M0) no ambiente empresarial: aplicação do método se deu em uma empresa do ramo metal-mecânico, localizada na cidade de Caxias do Sul (RS).

- Passo 8 – Avaliação do método (M0) em função da aplicação: durante a aplicação do método no ambiente empresarial foi avaliado seu desempenho sob os seguintes aspectos: observação do autor, avaliação de participação da empresa e dos critérios do DR.
- Passo 9 – Criação de um novo método (M1) a partir da avaliação do (M0): aqui foram evidenciadas alguns aprimoramentos que podem ser feitos no método. Em função disso, o capítulo 6 apresenta uma nova proposta de método chamado M1, contendo as contribuições feitas na avaliação da aplicação do método M0 em ambiente empresarial.
- Passo 10 - Conclusão: análise sob a ótica da contribuição da pesquisa, do processo de construção do método, visualização dos desvios conforme proposto e lições aprendidas.

4 SUGESTÃO: PROPOSTA DE METODO M0

4.1 INTRODUÇÃO

O método inicial proposto neste trabalho está explicitado na Figura 23, Método (M0). Para um melhor entendimento do método aqui proposto torna-se imprescindível o entendimento do Mecanismo da Função Produção (MFP) onde é discutida a diferenciação conceitual entre a Função Processo (Demanda) e Função Operação (Oferta). Existem basicamente duas óticas que permitem a observação e análise dos fenômenos que ocorrem nos sistemas produtivos: i) observar o fluxo do objeto de trabalho (material, serviços e ideias) no tempo e no espaço; e ii) observar o fluxo do sujeito de trabalho, (homens e equipamentos) no tempo e no espaço. É a partir destes dois olhares, distintos e inter-relacionados que surgem os conceitos da Função Processo e da Função Operação.

Segundo Shingo (1996) a Função Processo (Demanda), refere-se ao fluxo de materiais ou produtos, em diferentes estágios de produção, nos quais é possível observar a transformação gradativa das matérias-primas e produtos acabados. Ou ainda, os processos podem ser simplesmente definidos como sendo o fluxo de materiais para os produtos, que vão se modificando de acordo com o curso simultâneo do tempo e do espaço.

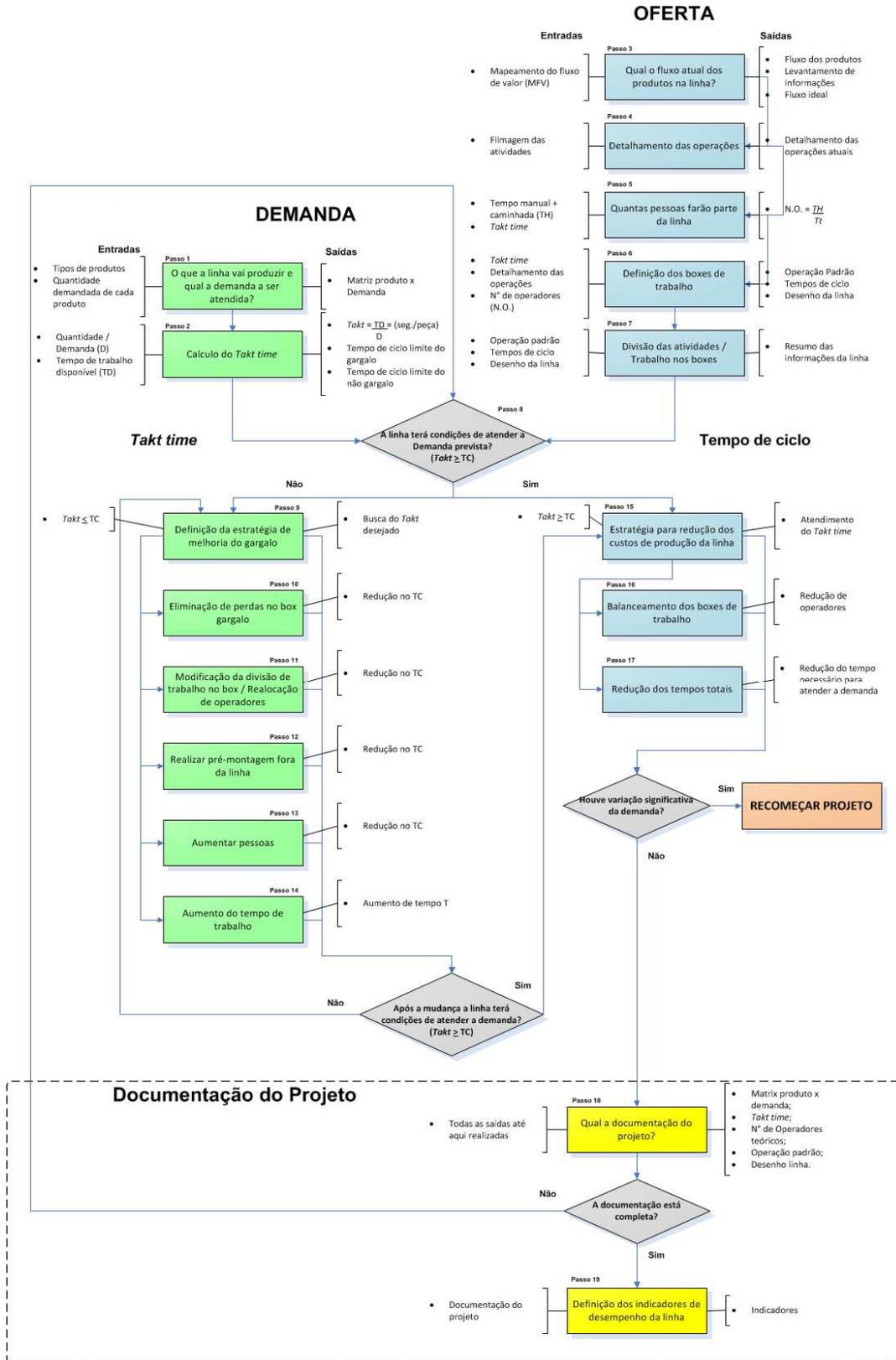
A Função Operação (Oferta) refere-se à análise dos diferentes estágios, no qual os trabalhadores e/ou máquinas encontram-se relacionados ao longo de uma jornada de trabalho. Pode-se dizer, de forma mais genérica, que a Função Operação trata do fluxo do sujeito do trabalho (pessoas e máquinas) no tempo e no espaço. Assim, a Função Operação representa: “operadores e máquinas (que são assistentes dos homens) que vão se modificando de acordo com o curso simultâneo do tempo e do espaço” (SHINGO, 1996, pg. 38).

A partir destes conceitos cada um dos passos sugeridos será detalhado neste capítulo. O método de dimensionamento de linhas de montagem proposto, portanto, é constituído dos passos/etapas estruturados de forma lógica seguindo uma ótica de melhoria contínua tanto em termos de dimensionamento como de operacionalização dos boxes/linha de montagem.

O método de dimensionamento de linha de montagem consiste em analisar primeiramente a Demanda e logo em seguida a Oferta. Posteriormente, faz-se um

cruzamento entre os aspectos relativos à Oferta e a Demanda. Na parte da demanda será estudado o que a linha vai produzir e qual a demanda a ser atendida e o cálculo do *takt time*. Da parte da oferta se estudará qual o fluxo dos produtos na linha, detalhamento das operações, quantas pessoas farão parte da linha, definição dos boxes de trabalho e divisão das atividades/trabalho nos boxes, onde se obterá o tempo de ciclo. Após a obtenção do *takt time* e do tempo de ciclo perguntasse-a se a linha terá condições de atender a demanda prevista? Caso a resposta seja afirmativa passa-se para a parte final do método onde deve-se escolher a estratégia de redução de custos de produção da linha. Caso a resposta seja negativa entra-se na estratégia de melhorias das restrições onde busca-se atender a este *takt* para, ai sim, seguir o *looping* e entrar na parte final da estratégia de redução de custos e execução do projeto. Na parte final do método proposto é apresentada a documentação formalizada e completa do projeto de dimensionamento da linha. Após a documentação estar organizada e validada é necessário propor o seguinte questionamento: a documentação está completa? Caso a resposta seja negativa retornar para o passo 8. Em caso contrário passar para a documentação do projeto e criação dos indicadores.

Figura 23 - Primeira etapa (Método de Dimensionamento de Linha)



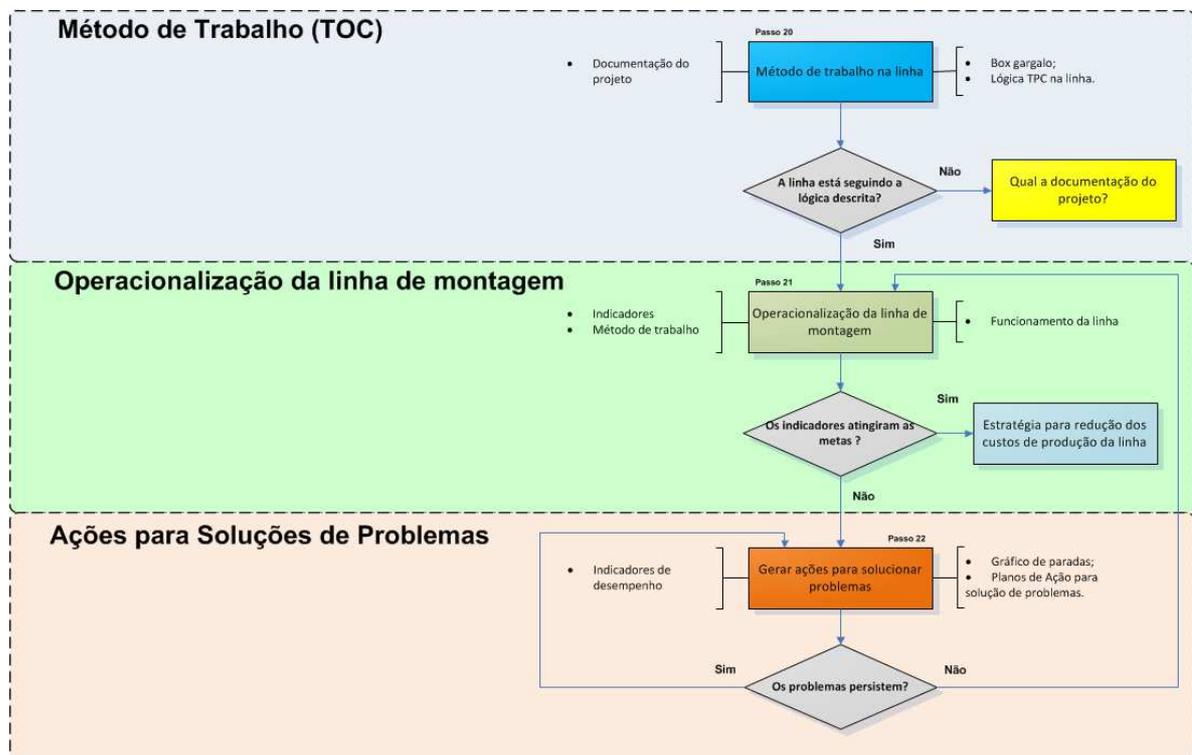
Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Na segunda parte do método, é apresentado o método de trabalho e os respectivos indicadores que serão utilizados para a operacionalização das linhas de

montagem. A segunda parte do método pode ser visualizada na Figura 24, com seus respectivos passos.

Na etapa de operacionalização das linhas inicia-se com o passo do método de trabalho onde é sugerido uma lógica de trabalho a ser seguida em sua operacionalização. Após o método de trabalho realizado é feita a seguinte pergunta: a linha está seguindo a lógica de trabalho descrita? Caso a resposta seja negativa retorna-se para a etapa de documentação do projeto. Caso contrário segue-se para a operacionalização da linha de montagem. Após a operacionalização é feito o seguinte questionamento: os indicadores atingiram a meta? Caso a resposta seja positiva retorna-se para a etapa da estratégia de redução dos custos de produção da linha. Caso contrário passa-se para a etapa de gerar ações para solucionar problemas onde é apresentado o último questionamento: os problemas persistem? Se a resposta for positiva é necessário entrar novamente na geração de ações para solucionar problemas. Se isto não ocorrer volta-se para a etapa de operacionalização da linha de montagem.

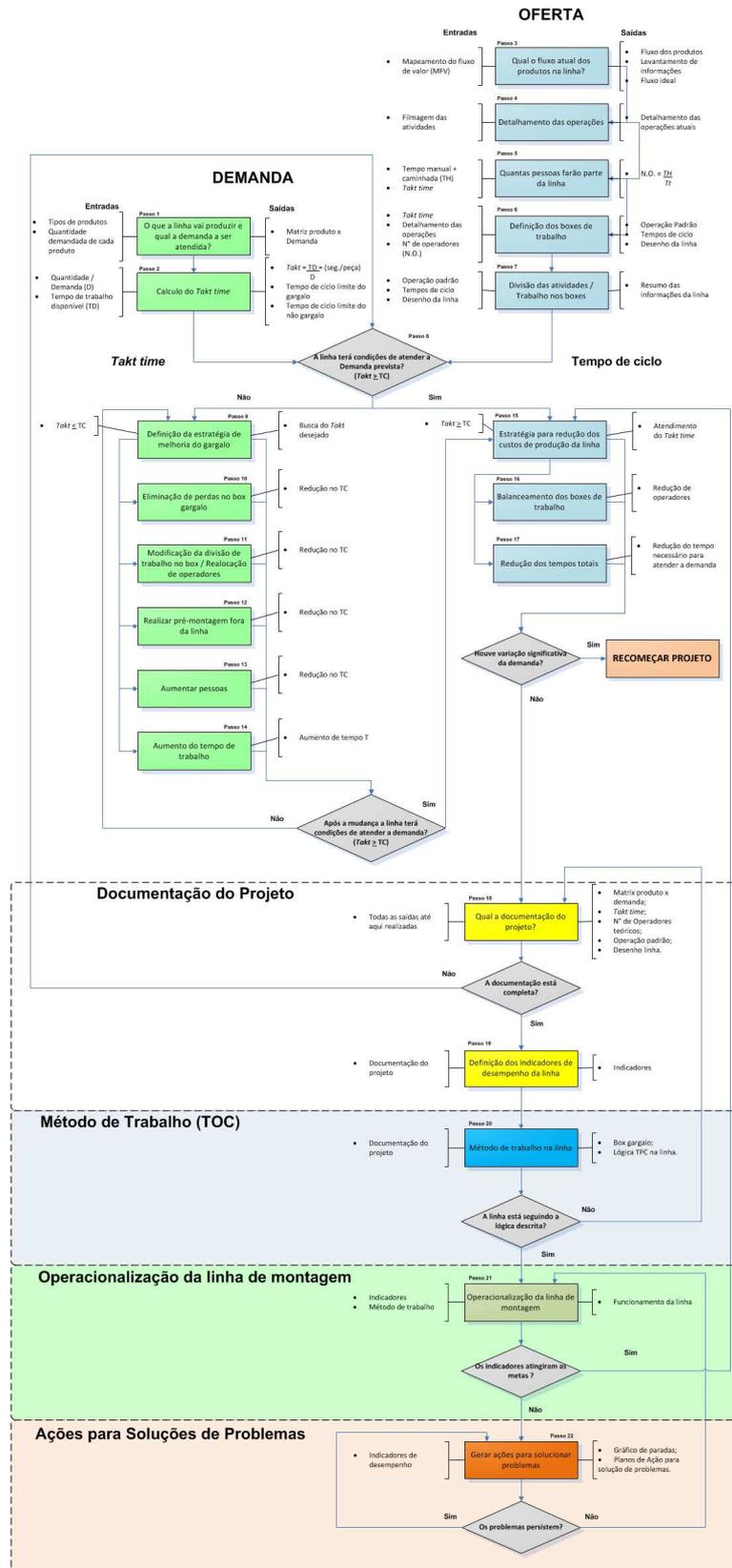
Figura 24 – Segunda etapa (Método de Operacionalização da Linha)



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Na Figura 25 são apresentados simultaneamente método de dimensionamento e gestão de linhas com suas duas etapas (método de dimensionamento de linha e método de operacionalização de linha).

Figura 25 - Método com as duas etapas mostradas simultaneamente



Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir é apresentada uma descrição sobre cada passo que compõe a proposta do método de dimensionamento de linhas de montagem, primeira etapa do método.

4.2 DESCRIÇÃO DA PRIMEIRA ETAPA – MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE LINHA

- *Passo 1 (DEMANDA):* O que a linha vai produzir e qual a demanda a ser atendida?

Neste passo é necessário fazer o levantamento dos produtos que serão produzidos nesta linha. Após o levantamento dos produtos deve-se buscar as informações da quantidade a ser produzida de cada um destes produtos (Demanda). Estas informações de demanda, geralmente, são oriundas do Plano Mestre de Produção (PMP) onde se encontram as demandas de todos os produtos separados por meses. Na Figura 26 é apresentado um exemplo hipotético do Plano Mestre de Produção.

Figura 26 - Exemplo hipotético Plano Mestre de Produção (PMP)

	Mês 1				Mês 2				Mês 3				Mês 4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Demanda prevista																
Demanda confirmada																
Recebimentos programados																
Estiques projetados																
PMP																

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Após a coleta das informações torna-se necessário o preenchimento da matriz produto x demanda. Na Figura 27 pode-se visualizar um exemplo hipotético de aplicação do passo 1 do método proposto.

Figura 27 - Exemplo Matrix Produto x Demanda

Matriz produto x Demanda																						
Produtos			Demanda																			
Mês			Mês 1					Mês 2					Mês 3					Mês 4				
Família	Produto	Descrição	1	2	3	4	Total	1	2	3	4	Total	1	2	3	4	Total	1	2	3	4	Total
A	1	Produto X1	10	8	9	8	35	7	8	7	10	32	7	8	9	10	34	9	9	10	10	38
A	2	Produto X2	2	3	3	2	10	3	3	3	3	12	2	3	2	2	9	4	2	3	2	11
A	3	Produto X3	4	5	7	4	20	7	5	5	4	21	5	7	7	4	23	7	4	5	4	20
A	4	Produto X4	7	6	5	7	25	5	5	6	6	22	7	6	7	7	27	5	5	7	6	23
A	5	Produto X5	4	6	4	6	20	5	5	5	6	21	6	5	6	6	23	4	5	4	6	19
Totais Meses			110					108					116					111				

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Entradas do passo 1:

- ✓ Tipos de produtos;
- ✓ Quantidade demandada de cada produto.

Saídas do passo 1:

- ✓ Matriz produto x Demanda

- Passo 2 (DEMANDA): Cálculo do *takt time*

Para o cálculo do *takt time* é importante se ater a um detalhe que muitas vezes é esquecido, que é como é calculado o tempo disponível. Alguns processos, praticamente, não param, pois foram programados para terem operação contínua. O tempo disponível para esses processos devem ser calculados como tempo integral. A Equação 2 é utilizada para esse cálculo, devendo-se atentar para transformar os minutos em decimais de hora (por exemplo: 30 min são 0,5 horas), e utilizar a hora de 00:00h até 23:59h (OLIVEIRA, 2010).

$$T_d = (H_f - H_i - p) \cdot x \quad (2)$$

Onde:

T_d = tempo disponível [s];

H_f = hora final [h];

H_i = hora inicial [h];

p = tempo de parada programada [h];

x = parâmetro de transformação (60 min/h para transformar T_d em minutos ou 3600 s/h para transformar T_d em segundos).

A partir da Equação 1 já explicitada no capítulo 2, é calculado o *takt time* de um horizonte de alguns meses. As informações para a realização do cálculo são retiradas da Matriz Produto x Demanda - Figura 27. Para este primeiro cálculo deve-se tomar algumas precauções. Na fórmula do *takt time* no denominador (demanda) deve constar apenas um número. Neste estudo como estão sendo analisados alguns meses de demanda, sugere-se utilizar o somatório das demandas de todos

os produtos do mês, sendo utilizada a maior demanda com a finalidade de realizar um cálculo conservador. Na Figura 28 é possível observar os valores selecionados para o cálculo de um exemplo didático.

Figura 28 - Demanda para cálculo do *takt time*

Matriz produto x Demanda																						
Produtos			Demanda																			
Mês			Mês 1			Mês 2				Mês 3				Mês 4								
Família	Produto	Descrição	1	2	3	4	Total	1	2	3	4	Total	1	2	3	4	Total	1	2	3	4	Total
A	1	Produto X1	10	8	9	8	35	7	8	7	10	32	7	8	9	10	34	9	9	10	10	38
A	2	Produto X2	2	3	3	2	10	3	3	3	3	12	2	3	2	2	9	4	2	3	2	11
A	3	Produto X3	4	5	7	4	20	7	5	5	4	21	5	7	7	4	23	7	4	5	4	20
A	4	Produto X4	7	6	5	7	25	5	5	6	6	22	7	6	7	7	27	5	5	7	6	23
A	5	Produto X5	4	6	4	6	20	5	5	5	6	21	6	5	6	6	23	4	5	4	6	19
Totais Meses			110				108				116				111							

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

De acordo com o exemplo da Figura 28 o somatório do maior mês foi de 116 itens/dia. No entanto, cabe destacar neste exemplo hipotético que cada somatório dos meses considerados está com pouca diferença em relação ao de maior número (116 produtos). Caso os números totais dos meses sejam muito distintos é preciso discutir o tema com maior atenção visando verificar a forma mais adequada de tratar o problema.

$$T_t = \frac{T_d}{D} \quad (1)$$

Onde:

T_t = *takt time* (min/un; s/un; min/pç; s/pç);

T_d = tempo disponível (min; s);

D = demanda (un; pç).

Para um exemplo didático do cálculo do *takt time* pode-se utilizar as informações colocadas na Figura 28. Logo, o valor que deve ser selecionado é o valor do somatório do mês três, pois foi o mês onde pode ser observada a maior demanda. Aplicando a Equação 1 pode-se explicar a formulação geral proposta.

$$T_t = \frac{480 \text{ min}}{116 \text{ un}}$$

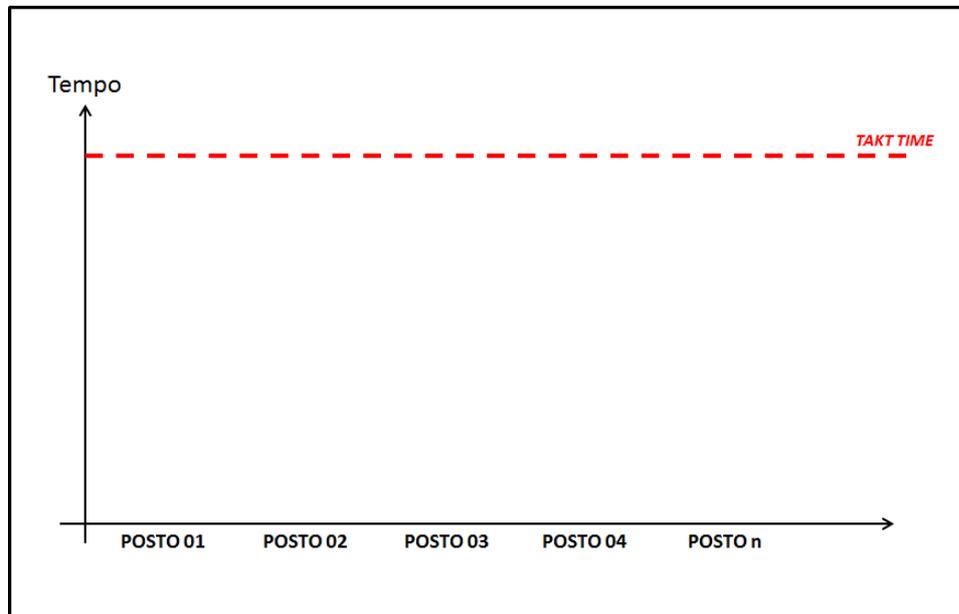
$$T_t = 4,13 \text{ min/un}$$

$$T_t = 4,13 \text{ min/un} \times 60 \text{ seg}$$

$$T_c = 248 \text{ seg/un}$$

Na Figura 29 é possível visualizar a utilização do *takt time* no contexto mais amplo do método proposto.

Figura 29 - Utilização do *takt time*



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Após o cálculo do *takt time* e a partir da necessidade de adotar um colchão de capacidade, calcular-se-á o tempo de ciclo limite para o box gargalo, onde se utilizará como base a Equação 1 do cálculo do *takt time*. Para a nova fórmula deve-se acrescentar uma nova variável considerando um coeficiente de segurança para o cálculo do *takt time*. Uma proposta passível de ser melhorada em função das condições de variação do sistema está apresentada na Figura 30. Evidentemente trata-se de uma regra empírica que poderá ser melhorada através de estudos de cunho conceitual e empíricos mais apurados.

Figura 30 - Regra para cálculo do tempo de ciclo limite do gargalo

Variabilidade na linha	Percentual a utilizar
Pequena	10%
Média	15%
Grande	20%

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

O tempo de ciclo limite do box gargalo é calculado como mostrado na Equação 3. Sua unidade de medida é composta pelas unidades de medida utilizadas para o cálculo do *takt time*.

$$T_{cg} = T_t - dc \quad (3)$$

Onde:

T_{cg} = tempo de ciclo limite do gargalo (min/un; s/un; min/pç; s/pç);

T_t = takt time;

dc = decréscimo (%).

Calculando, então, o tempo de ciclo limite do box gargalo para um exemplo hipotético onde o *takt time* teve um resultado de 248 segundos e o decréscimo utilizado é de 10% (pequena variabilidade).

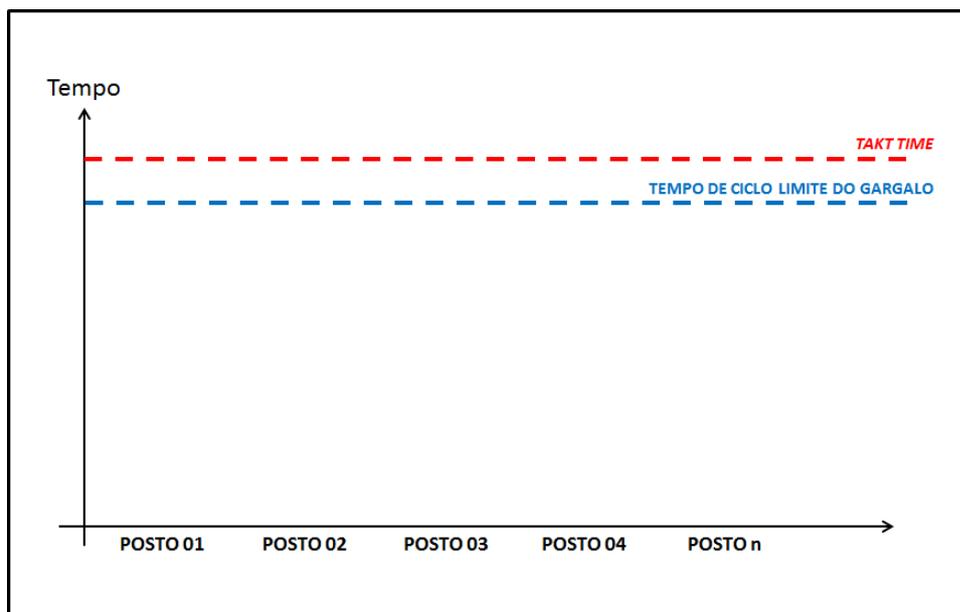
$$T_{cg} = 248 \text{ seg/un} - 10\%$$

$$T_{cg} = 248 \text{ seg/un} - 24,8 \text{ seg/un}$$

$$T_{cg} = 223,2 \text{ seg/un}$$

Na Figura 31 é possível visualizar a utilização do tempo de ciclo limite do box gargalo e sua finalidade dentro do método proposto.

Figura 31 - Tempo de ciclo limite do box gargalo



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Após o cálculo do *takt time* e do tempo de ciclo limite do box gargalo, é necessário calcular o tempo de ciclo limite dos boxes não gargalo, onde se utilizará a Equação 3 do cálculo do tempo de ciclo limite do box gargalo, e utiliza-se-á a mesma regra explicitada na Figura 30, mas aqui com uma mudança, acrescentar-se-á 5% no decréscimo de folga.

O tempo de ciclo limite dos boxes não gargalo é calculado, como mostrado na Equação 4, e sua unidade de medida é composta pelas unidades de medida utilizadas para o cálculo do *takt time*.

$$T_{cng} = T_t - (dc + f) \quad (4)$$

Onde:

T_{cng} = tempo de ciclo limite dos boxes não gargalo (min/un; s/un; min/pç; s/pç);

T_t = takt time;

dc = decréscimo (%);

f = folga projetada dos boxes não gargalo

Calculando então o tempo de ciclo limite dos boxes não gargalo para um exemplo hipotético onde o *takt time* teve um resultado de 248 segundos e o decréscimo utilizado é de 10% (pequena variação). Como a regra selecionada no cálculo do tempo de ciclo limite para o box gargalo foi de 10% a ideia consiste em somar a folga projetada dos boxes não gargalos (considerando 5% para fins de exemplificação didática) e utilizar na formula um decréscimo de 15% conforme explicitado no exemplo a seguir:

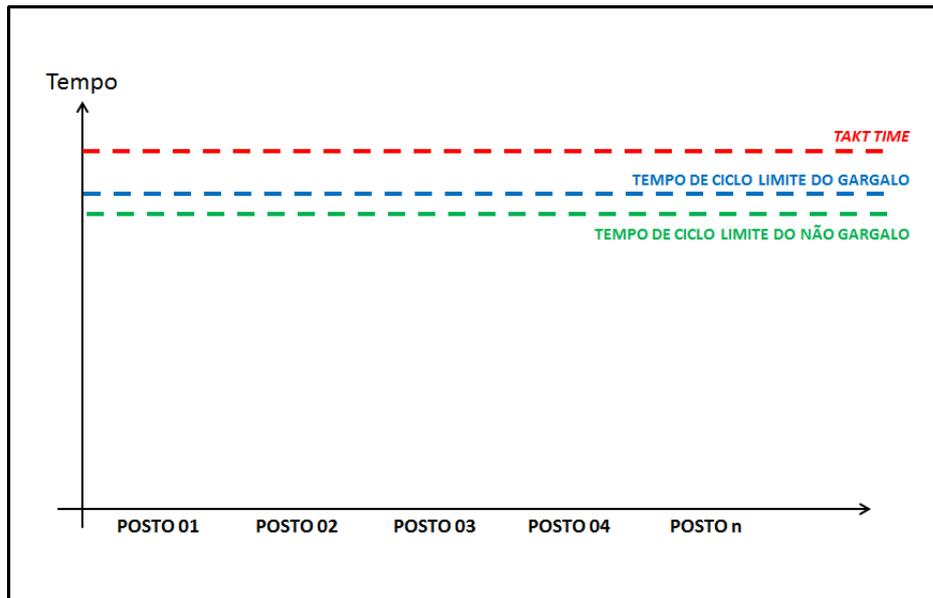
$$T_{cng} = 248 \text{ seg/un} - 15\%$$

$$T_{cng} = 248 \text{ seg/un} - 37,2 \text{ seg/un}$$

$$T_{cng} = 210,8 \text{ seg/un}$$

Na Figura 32 é possível visualizar a utilização do tempo de ciclo limite dos boxes não gargalo e sua finalidade dentro do método proposto.

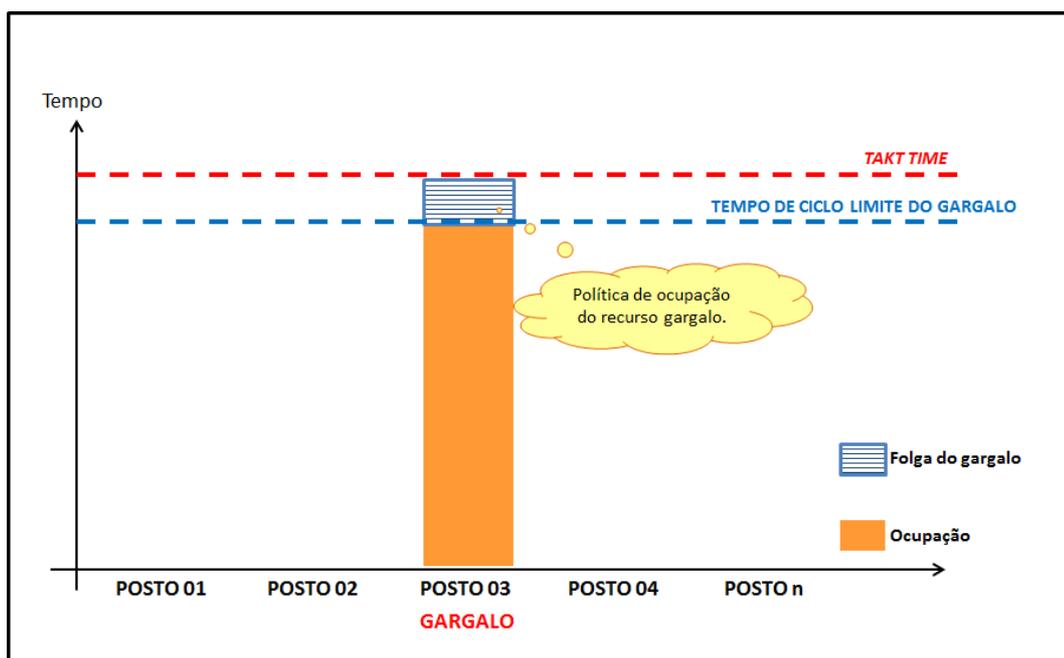
Figura 32 - Tempo de ciclo limite dos boxes não gargalo



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Após os cálculos do *takt time*, tempo de ciclo limite do box gargalo e o tempo de ciclo limite dos boxes não gargalo, torna-se possível discutir a política de ocupação dos boxes que, resumindo, é a folga que separa o *takt time* do tempo de ciclo do box/posto de trabalho gargalo. Isto pode genericamente ser tratado de duas maneiras. Uma diz respeito à política utilizada para o box gargalo e a outra para os boxes não gargalos. Na Figura 33 pode-se visualizar a política geral de ocupação do gargalo.

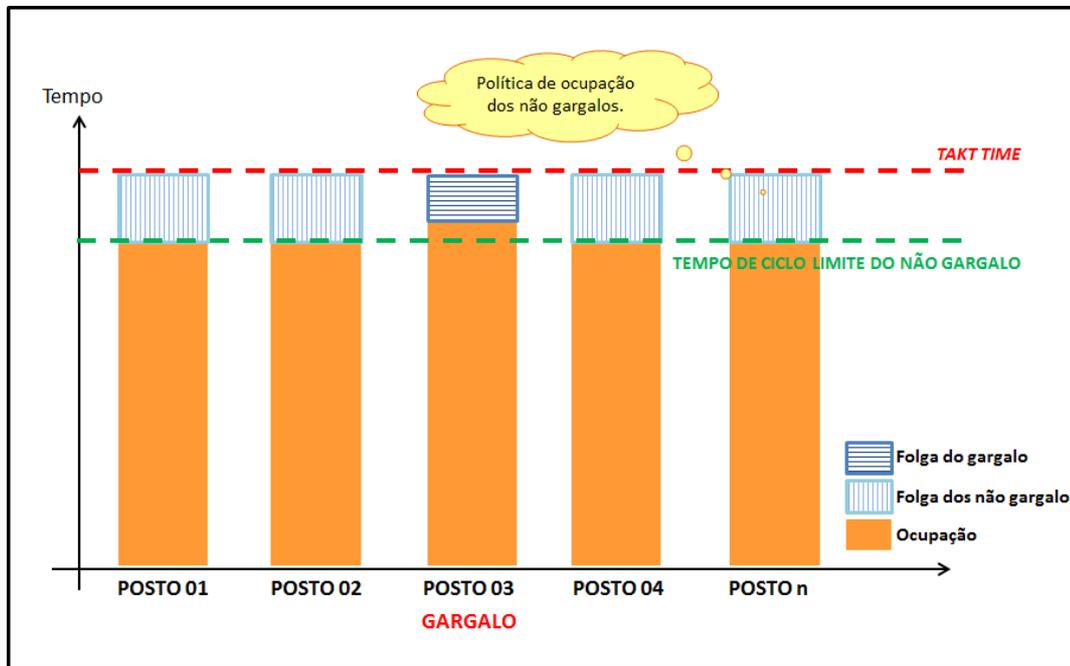
Figura 33 - Política de ocupação do gargalo



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Após a folga do gargalo observa-se a folga dos não gargalos que separa o *takt time* do tempo de ciclo dos boxes/postos de trabalhos não gargalo. Na Figura 34 pode-se visualizar a política de ocupação do não gargalo.

Figura 34 - Política de ocupação do não gargalo



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Entradas do passo 2:

- ✓ Quantidade / Demanda (D);
- ✓ Tempo de trabalho disponível (TD).

Saídas do passo 2:

- ✓ *Takt time* calculado;
- ✓ Tempo de ciclo limite do box gargalo calculado;
- ✓ Tempo de ciclo limite dos boxes não gargalo calculado.

- Passo 3 (OFERTA): Qual o fluxo atual dos produtos na linha?

Sugere-se a utilização do mapeamento proposto por Shingo (1996) cuja simbologia é apresentada na Figura 35. Através deste mapeamento torna-se possível a identificação das perdas existentes na linha bem como outras informações necessárias para o desenvolvimento dos passos seguintes. O

Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) na produção compreende o levantamento e a análise do fluxo físico na fábrica, desde a matéria-prima até o produto acabado, através das diversas operações do processo produtivo, incluindo processamentos, paradas, transportes e inspeções.

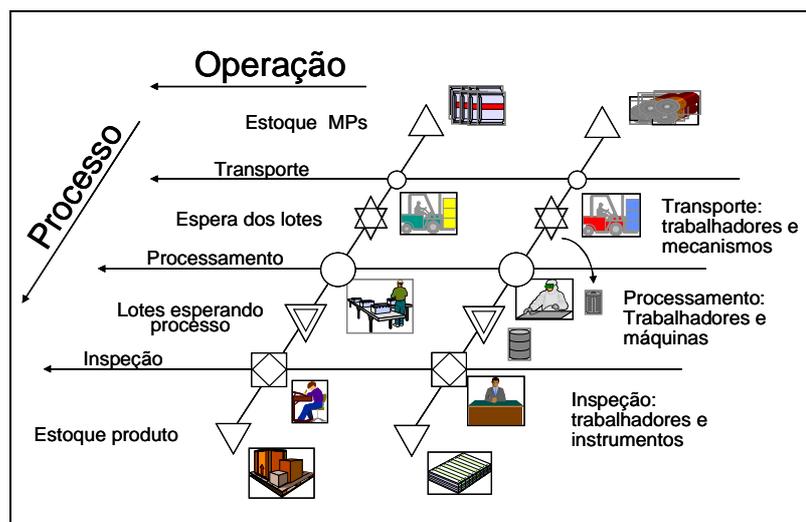
Figura 35 - Simbologia para mapeamento



Fonte: Adaptado de Shingo (1996).

Esses levantamentos permitem a análise do processo sob a ótica das perdas, segundo o Mecanismo Função Produção (MFP) do Sistema Toyota de Produção proposto por (SHINGO, 1996) - Figura 36.

Figura 36 - Mecanismo da Função Produção: a rede de processos e operações de Shingo



Fonte: Adaptado de Shingo (1996).

Através do MFV torna-se possível a identificação das perdas e a visualização dos desperdícios, servindo para direcionar as melhorias no fluxo das peças e

contribuindo de forma efetiva para a melhoria no desempenho do processo produtivo. A partir do MFV é possível fazer o preenchimento do formulário do Mapeamento de Fluxo de Valor sugerido na Figura 37.

Figura 37 - Formulário Mapeamento Fluxo de Valor (MFV)

MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR					
FAMÍLIA	ITEM	DESCRIÇÃO	LEAD TIME (MIN.)	DISTÂNCIA (METROS)	ESTOQUE (WIP-QTD)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Entradas do passo 3:

- ✓ Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV).

Saídas do passo 3:

- ✓ Fluxo dos produtos;
- ✓ Levantamento de informações.

- *Passo 4: Detalhamento das operações*

Nesta etapa devem-se realizar as filmagens dos boxes da linha de montagem com o intuito de detalhar todas as operações realizadas por cada operador envolvido na execução do produto. Ao realizar as filmagens dos postos de trabalho, sugere-se atentar para os seguintes aspectos:

- Comunicar o operador da realização do estudo do seu posto de trabalho através do método da filmagem, tranquilizando o mesmo quanto à presença da câmera/observador;
- Caso o operador trabalhe em mais de um posto de trabalho, orientá-lo para que opere somente em um posto enquanto realizar a filmagem;

De acordo com Barnes (1977) filmar alguns ciclos de trabalho do posto envolve seguir as regras empíricas abaixo explicitadas:

- Para tempos de ciclo maiores de 2 minutos, filmar 5 ciclos;
- Para tempos de ciclo inferiores a 2 minutos, filmar 10 ciclos.

Após as filmagens concluídas preencher o formulário de detalhamento das operações sugerido na Figura 38.

Figura 38 - Formulário de detalhamento das operações

DETALHAMENTO DAS OPERAÇÕES																							
CÓDIGO DO ITEM: DATA FILMAGEM:			DESCRIÇÃO: UNIDADE DE TEMPO:					OPERADOR:															
SEQ.	DESCRIÇÃO DA TAREFA	QUEM?	T. CICLO?	TEMPO	GRÁFICO DE GANTT DA OPERAÇÃO																		
					10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120							
1				-																			
2				-																			
3				-																			
4				-																			
5				-																			
6				-																			
7				-																			
8				-																			
9				-																			
10				-																			
TEMPO DO OPERADOR			-	0	LEGENDA:									MANUAL		MÁQUINA		MOVIMENTAÇÃO					
TEMPO DA MÁQUINA			-	0																			
TEMPO DE CICLO			-	0																			

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Entradas do passo 4:

- ✓ Filmagem das atividades.

Saídas do passo 4:

- ✓ Detalhamento das operações atuais.

- *Passo 5*: Quantas pessoas farão parte da linha (dimensionamento de operadores mínimo) ?

Para o cálculo de número de operadores mínimos é necessário obter o somatório dos tempos manuais e caminhada de cada operador envolvido no processo. Estas informações devem ser retiradas do formulário de detalhamento das informações - vide Figura 38. De posse das informações sugere-se o agrupamento das mesmas no formulário de tempos manuais + caminhadas conforme exemplo didático da Figura 39.

Figura 39 - Exemplo formulário de tempos manuais + caminhadas

Operador	Manual + Caminhada
Operador 1	8,8
Operador 2	18,6
Operador 3	10,9
Operador 4	20,8
Operador 5	17
Σ Total	76,1

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

A partir das informações dos tempos manuais e tempos caminhada de cada operador e do cálculo do *takt time* explicitado no passo 2, utiliza-se a Equação 5 para calcular o Número Mínimo de Operadores necessário para o funcionamento da linha (N.O.).

$$N.O. = \frac{\sum_{i=1}^n (T_{H_i})}{T_t} \quad (5)$$

Onde:

N.O. = número mínimo de operadores (adm.);

T_H = tempo homem (min; s);

T_t = *takt time* (min; s);

i,n = índices que representam os números das operações.

Para um melhor entendimento do cálculo do Número Mínimo de Operadores (N.O.) segue exemplo didático, onde se utilizam as informações da Figura 21 e o *takt time* de 32 segundos.

$$N.O. = \frac{76,1}{32} = 2,38 \text{ operadores}$$

$$N.O. = 2,38 = 3 \text{ operadores}$$

Como o número mínimo de operadores calculado ficou em 2,38 arredonda-se para 3. Porém, como regra geral pode-se seguir as recomendações empíricas de arredondamento de operadores sugeridos na Figura 40 (ROTHER, 2002).

Figura 40 - Orientação para arredondamento do número de operadores

Sobra a partir do cálculo do número de operadores	Orientação
< 0,3	Não adicione um operador extra. Aproveite para reduzir o desperdício e trabalhos não importantes.
0,3 – 0,5	Ainda não adicione um operador extra. Após duas semanas de operação da célula, cuidadosamente avalie se os desperdícios e trabalhos não importantes ainda podem ser eliminados
> 0,5	Adicione um operador extra se necessário e mantenha a redução dos desperdícios e trabalhos não importantes para eventualmente eliminar a necessidade deste operador na célula.

Fonte: Rother *et al.* (2002, pag. 52).

Entradas do passo 5:

- ✓ Tempo Manual (TM) + caminhada (TH) dos operadores;
- ✓ *Takt time*.

Saídas do passo 5:

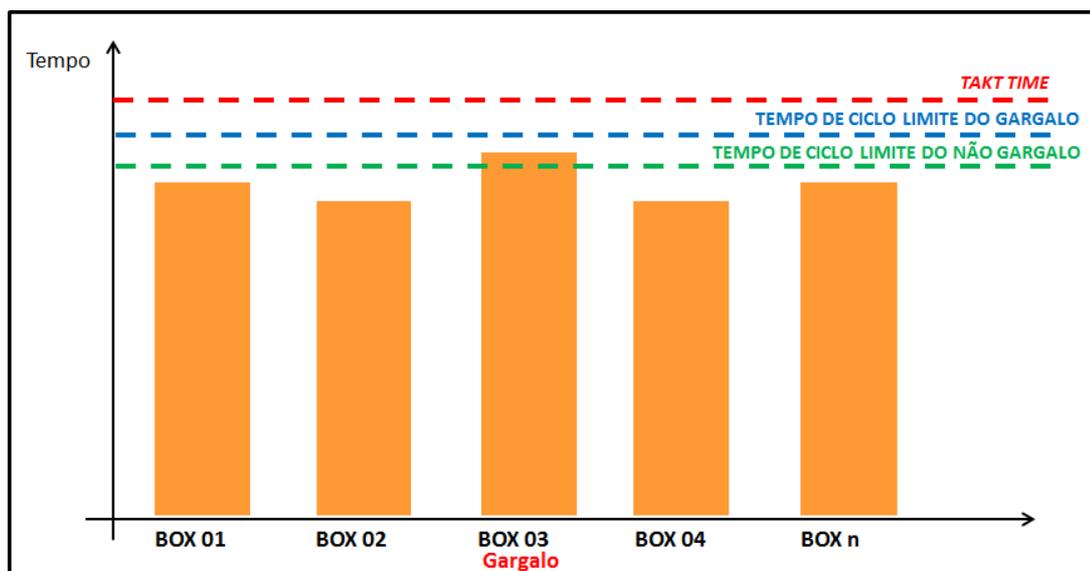
- ✓ Número Mínimo de Operadores (N.O.) calculados.

- *Passo 6: Definição dos boxes de trabalho*

De posse das informações retiradas dos passos anteriores como *takt time*, detalhamento das operações e cálculo do número mínimo de operadores (N.O.) inicia-se o trabalho de melhorias do fluxo de trabalho nos boxes a partir dos conceitos propugnados por (TAICHI OHNO, 1997), baseados na operação padrão.

A primeira etapa é balancear a carga de trabalho dos operadores para cada um dos boxes da linha. O balanceamento deve levar em consideração o número mínimo estimado de operadores calculados no passo 5. Na Figura 41 apresenta-se um exemplo didático genérico de um Pareto de balanceamento.

Figura 41 - Exemplo Pareto de balanceamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

No exemplo da Figura 41 pode ser visto o balanceamento de “n” operadores para os boxes da linha como um todo. Aqui se torna imprescindível uma explicação mais detalhada acerca dos tempos de ciclo dos operadores, que juntos transformam-se no tempo de ciclo do box em questão.

Caso a linha de montagem não tenha apenas um único produto, ou seja, a linha de montagem possuir um *mix* de produtos com “n” produtos, sugere-se fazer o cálculo dos tempos de ciclos ponderados, para tornar mais exequível que a linha atenda ao *takt time* no final do dia.

Para exemplificar o cálculo dos tempos de ciclos ponderados pode-se observar na Quadro 5 um exemplo didático para um melhor entendimento deste cálculo.

Quadro 5 - Exemplo de cálculo do tempo de ciclo ponderado.

PRODUTO	BOX	T.CICLO	DEMANDA/DIA	T.CICLO x DEMANDA	T.CICLO PONDERADO = (1204/36)
Produto x1	2	22,0	6	132	33,4
Produto x2	2	22,0	1	22	
Produto x3	2	30,0	5	150	
Produto x4	2	36,0	4	144	
Produto x5	2	41,0	4	164	
Produto x6	2	37,0	16	592	
Total			36	1204	

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Como explicitado no exemplo do Quadro 5 o cálculo do tempo de ciclo ponderado para o Box 2 é de 33,4. Com o tempo de ciclo ponderado é possível absorver a variação dos tempos de ciclos dos diversos produtos e, provavelmente, atender a demanda desejada no final do dia.

Após a distribuição de tarefas para o balanceamento da célula torna-se necessário o preenchimento das folhas de combinação de tarefas para formalizar e documentar as tarefas de cada operador envolvido no fluxo. Na Figura 42 pode-se visualizar um exemplo ilustrativo da folha de combinação de tarefa.

Figura 42 – Exemplo de folha de combinação de tarefa

DETALHAMENTO DAS OPERAÇÕES																
CÓDIGO DO ITEM: DATA FILMAGEM:			DESCRIÇÃO: UNIDADE DE TEMPO:				OPERADOR:									
SEQ.	DESCRIÇÃO DA TAREFA	QUEM?	T. CICLO?	TEMPO	GRÁFICO DE GANTT DA OPERAÇÃO											
					10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
1	Pegar peça A	Operador	Sim	10,00												
2	Soldar Peça A	Operador	Sim	30,00												
3	Pegar peça B	Operador	Sim	10,00												
4	Soldar Peça B	Operador	Sim	40,00												
5	Rebarbar	Operador	Sim	15,00												
6				-												
7				-												
8				-												
9				-												
10				-												
TEMPO DO OPERADOR		105,00		LEGENDA:		MANUAL		MÁQUINA		MOVIMENTAÇÃO						
TEMPO DA MÁQUINA		-														
TEMPO DE CICLO		105,00														

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Com as folhas de combinação de tarefas tornou-se possível determinar o estoque padrão, utilizando como base o espaço disponível e as operações do fluxo produtivo, sendo este determinado inicialmente no formato de lote unitário e/ou em função dos tempos de ciclo dos processos subsequentes.

Após o estoque padrão deve-se desenvolver a folha de trabalho padrão para determinar a rota dos operadores e os estoques padrão para cada operador, sendo descrita à sequência de operações que cada um deverá executar dentro da linha de montagem. Um exemplo ilustrativo pode ser observado na Figura 43.

Figura 43 – Exemplo de folha de trabalho padrão

ÁREA	Célula Atacama	DATA	XXXXXXXXXX	AUTOR	XXXXXXXXXX	VERIFICAÇÃO		AUTORIZAÇÃO	
Nº PEÇA/NOME	XXXXXXXXXX	PLANILHA DO TRABALHO PADRÃO		VOLUME					
TAREFA	DE: OP 10 PARA: OP 50	TACT TIME	XX"						
SEQUENCIA	ETAPA PRINCIPAL								
OP 10	Pegar peça A								
OP 20	Soldar peça A								
OP 30	Pegar peça B								
OP 40	Soldar Peça B								
OP 50	Rebarbar								
MOVIMENTAÇÃO DO OPERADOR		MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAL		ESTOQUE PADRÃO DE PEÇAS DO PROCESSO		VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE		TEMPO DE CICLO	
SÍMBOLO		SEGURANÇA		SÍMBOLO		SÍMBOLO		SÍMBOLO	
Nº TOTAL DENTRO CÉLULA		+		Nº TOTAL DENTRO CÉLULA		◆		XX	

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Por último deve-se elaborar a folha de *layout* padrão onde considera o *layout* completo da linha, com todas as operações e as rotas de todos os operadores envolvidos. Isto permitirá ao gestor observar o comportamento de todos operadores dentro dos boxes, pois reúne todas as informações que constam individualmente na folha de trabalho padrão. Um exemplo didático segue na Figura 44.

Figura 44 - Exemplo de folha de *layout* padrão

ÁREA	Célula Atacama	DATA	XXXXXXXXXX	AUTOR	XXXXXXXXXX	VERIFICAÇÃO		AUTORIZAÇÃO	
Nº PEÇA/NOME	XXXXXXXXXX	PLANILHA DO TRABALHO PADRÃO		VOLUME					
TAREFA	DE: OP 10 PARA: OP 100	TACT TIME	XX"						
SEQUENCIA	ETAPA PRINCIPAL								
OP 10	Pegar peça A								
OP 20	Soldar peça A								
OP 30	Pegar peça B								
OP 40	Soldar Peça B								
OP 50	Rebarbar								
OP 60	Pegar peça C								
OP 70	Soldar peça C								
OP 80	Pegar peça D								
OP 90	Soldar peça D								
OP 100	Rebarbar								
MOVIMENTAÇÃO DO OPERADOR		MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAL		ESTOQUE PADRÃO DE PEÇAS DO PROCESSO		VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE		TEMPO DE CICLO	
SÍMBOLO		SEGURANÇA		SÍMBOLO		SÍMBOLO		SÍMBOLO	
Nº TOTAL DENTRO CÉLULA		+		Nº TOTAL DENTRO CÉLULA		◆		XX	

Fonte: Elaborado pelo autor

Entradas do passo 6:

- ✓ *Takt time*;
- ✓ Detalhamento das operações;

- ✓ Cálculo do número mínimo de operadores (N.O.)

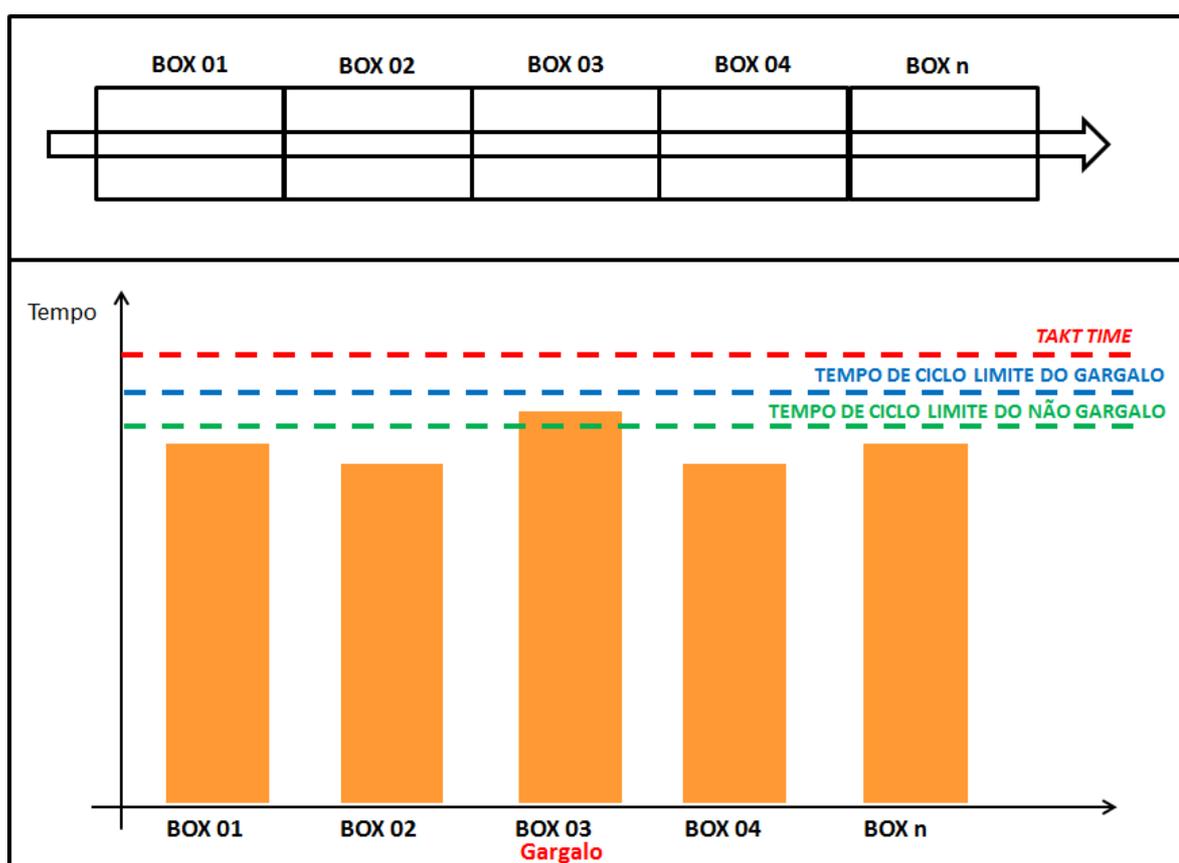
Saídas do passo 6:

- ✓ Operação padrão de todos operadores de um dado box;
- ✓ Tempos de ciclo;
- ✓ Desenho da linha.

- *Passo 7: Divisão das atividades / Trabalho nos boxes*

Com a operação-padrão concluída agrupa-se todas as informações obtidas até o momento e monta-se um resumo da linha em estudo. Neste resumo deve constar o desenho de toda a linha contendo os boxes e os tempos de ciclo dos mesmos. Um exemplo ilustrativo deste resumo pode ser visualizado na Figura 45.

Figura 45 - Exemplo resumo da linha (*takt time* x tempo de ciclo)



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Entradas do passo 7:

- ✓ Operação padrão;

- ✓ Tempos de ciclo;
- ✓ Desenho da linha

Saídas do passo 7:

- ✓ Resumo das informações de todos os boxes da linha.

- *Passo 8: A linha terá condições de atender a Demanda prevista? ($Takt \geq TC$)*

Aqui se cruzarão Função Processo (Demanda) e Função Operação (Oferta). Do ponto de vista da Função Operação, a análise recai sobre as pessoas e os equipamentos. Do prisma da Função Processo o foco é voltado para o fluxo dos produtos que passam na linha. Deste cruzamento surgem dois caminhos a serem considerados: i) Sim, atende a demanda prevista ($Takt \geq TC$). Neste caso, entra-se diretamente na parte final do método que é a estratégia a ser tomada para a redução dos custos globais de produção da linha; ou ii) Não atende a demanda prevista ($Takt \leq TC$) aqui encaminha-se para a etapa do método onde deve-se definir a(s) estratégia(s) de melhoria das restrições/gargalo.

1. A linha tem condições de atender a demanda prevista ($Takt \geq TC$) então deve-se escolher a(s) estratégia(s) a usar para redução de custos globais da linha de produção (passo 15): a) balanceamento dos boxes de trabalho (passo 16), onde deve-se executar novamente o passo 6, com o objetivo de reduzir pessoas na linha; ou b) redução dos tempos totais (passo 17), onde analisar-se-á a diminuição do tempo disponível de fabricação (por exemplo se a empresa trabalha oito horas por turno reduzir este tempo disponível para sete horas e utilizar esta uma hora para treinamento dos operadores, reuniões, planejamentos etc, ou mesmo com um *buffer* para absorver problemas operacionais que possam ocorrer na linha ao longo da jornada de trabalho).

Após seguir estes passos se torna necessário fazer o seguinte questionamento: Houve variação significativa da demanda? Caso a resposta seja não o projeto está liberado para a etapa seguinte (passo 18). Caso contrário à resposta a pergunta for sim, a demanda teve variação significativa deve-se se recomençar o processo de dimensionamento da linha de montagem.

2. Se a linha não tem condições de atender a demanda prevista ($Takt \leq TC$) assim se torna necessária a definição da estratégia de melhorias das restrições/gargalo (passo 9) através de ações tais como: a) eliminação de perdas no box gargalo (passo 10); b) modificações da divisão de trabalho entre os diferentes boxes/realocação dos operadores (passo 11); c) realizar pré-montagens fora da linha (passo 12); d) aumentar as pessoas (passo 13), com o objetivo de reduzir o tempo de ciclo e por fim e) aumento do tempo de trabalho necessário para o atendimento da demanda desejada (passo 14).

Após a conclusão da estratégia de melhorias das restrições/gargalo deve-se fazer a pergunta: Após a mudança a linha terá condições de atender a demanda? ($Takt \geq TC$) se sim, entra-se no tópico número 1 do passo 8 (redução de custos de produção da linha). Caso contrário, se a resposta for negativa inicia-se novamente o tópico 2 do passo 8 (estratégia de melhoria do gargalo).

Entradas do passo 8 (Tópico 1):

- ✓ ($Takt \geq TC$).

Saídas do passo 8 (Tópico 1):

- ✓ Atendimento do *takt time*;
- ✓ Redução de operadores; e/ou
- ✓ Redução do tempo necessário para atender a demanda.

Entradas do passo 8 (Tópico 2):

- ✓ ($Takt \leq TC$).

Saídas do passo 8 (Tópico 2):

- ✓ Busca do *takt time*;
- ✓ Redução no tempo de ciclo; e/ou
- ✓ Aumento do tempo necessário para atender a demanda.

Passo 18: Documentação do projeto

Esta etapa deve-se gerar a documentação completa do projeto para que se consiga iniciar a execução do mesmo. As documentações que deverão constar nesta etapa são:

1. Matriz produto x demanda;
2. *Takt time*;
3. Número de operadores teóricos;
4. Operação-padrão de cada box;
5. Desenho/projeto completo da linha.

Passo 19: Definição dos Indicadores de desempenho da linha

Após a etapa de documentação do projeto torna-se necessário um controle eficaz da linha de montagem é sugerida a utilização dos seguintes indicadores: a) IROG do box gargalo; b) Índice de multifuncionalidade da linha; e c) gráfico de produção hora/hora.

- a. Utilizando dos conceitos de IROG irá se utilizar a Equação 6 para fazer o cálculo do mesmo.

$$U_{\text{box gargalo}} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Tempo de ciclo dos produtos no gargalo} \times \text{quantidade produzida no gargalo}}{\text{Tempo total disponível}} \quad (6)$$

- b. Cálculo do índice de multifuncionalidade, este cálculo deve ser dividido em dois: i) multifuncionalidade projetada; e ii) multifuncionalidade real.
 - i. Para o cálculo da multifuncionalidade projetada deve-se utilizar a Equação 7.

$$\text{Multifuncionalidade}_{\text{projetada}} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Tempo de processamento teórico total} \times \text{quantidade produzida teórica}}{\text{Número de operadores teóricos} \times \text{Tempo disponível teórico dos operadores}} \quad (7)$$

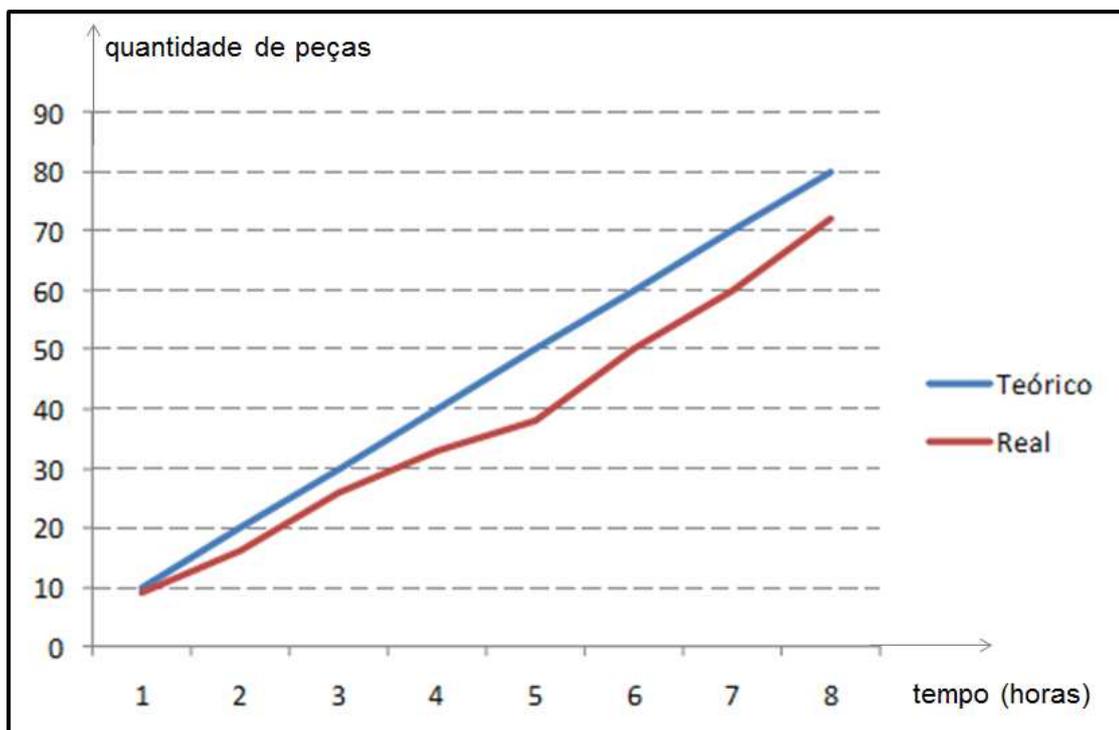
- ii. Para cálculo da multifuncionalidade real deve-se utilizar a Equação 8.

Multifuncionalidade_{real} =

$$\frac{\sum_{i=1}^n \text{Tempo de processamento teórico total} \times \text{quantidade produzida real}}{\text{Número de operadores} \times \text{Tempo disponível real dos operadores}} \quad (8)$$

- c. O controle de produção hora/hora, onde sugere-se o cálculo da produção teórica e da real: i) teórico; e ii) real. Este indicador pode ser explicitado em um quadro e preenchido pelos próprios operadores ou ainda eletronicamente no formato de TVs localizadas em pontos estratégicos da linha. Na Figura 46 é possível visualizar um exemplo hipotético deste indicador.

Figura 46 - Exemplo hipotético indicador de desempenho produção hora/hora



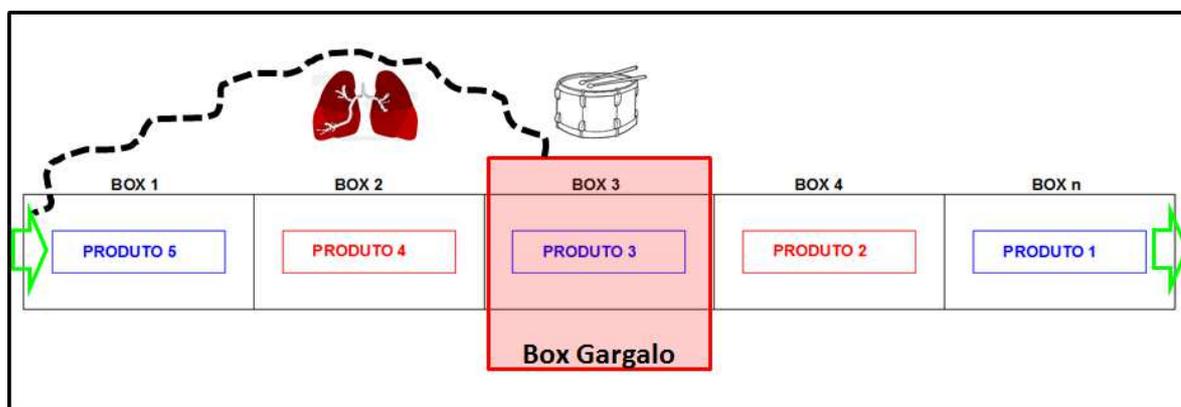
Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

4.3 DESCRIÇÃO DA SEGUNDA ETAPA – MÉTODO DE OPERACIONALIZAÇÃO DA LINHA

Passo 20: Método de trabalho – TOC

O método de trabalho sugerido para a operação da linha de montagem está baseado no Tambor-Pulmão-Corda (TPC) proposto pela TOC, conforme ilustrado no exemplo hipotético da Figura 47.

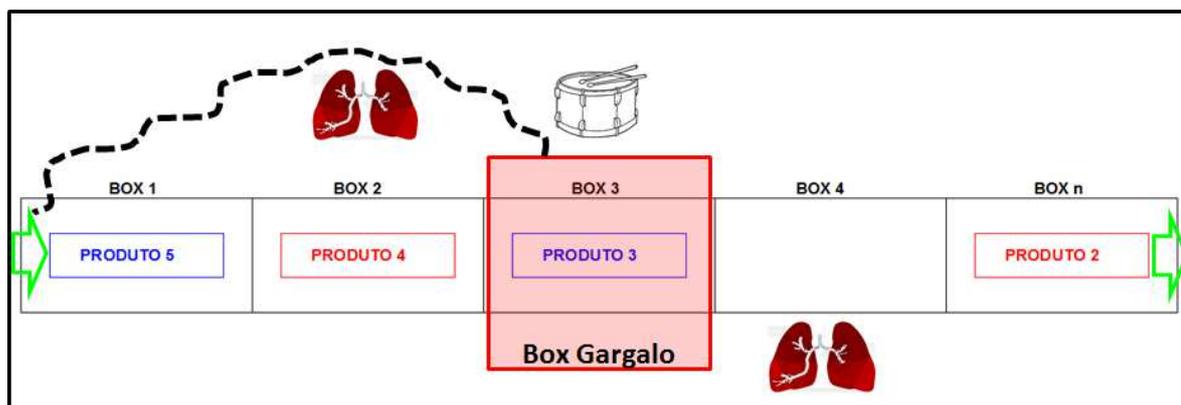
Figura 47 - Exemplo hipotético Tambor-Pulmão-Corda (TPC)



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Como geralmente as linhas de montagem não dispõem de espaço físico em abundância, devido a grande dimensão das mesmas, sugere-se a utilização do pensamento e da lógica propagada pelo método do TPC. Assim, sempre que o box gargalo tiver concluído suas operações o box a montante deve estar com o produto concluído e pronto para ser transferido para o box gargalo. Neste caso, o pulmão aqui será o cálculo de tempo de ciclo limite do não gargalo, para garantir que o ciclo deste box seja menor que do box gargalo. E sempre que o box gargalo tiver concluído suas operações, o box a jusante deverá estar livre e a espera do produto a ser transferido do box gargalo (aqui cabe a mesma regra do cálculo do tempo de ciclo limite do box não gargalo como pulmão). Na Figura 48 é possível visualizar um exemplo do funcionamento do método proposto.

Figura 48 - Exemplo do funcionamento do box a jusante ao box gargalo



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

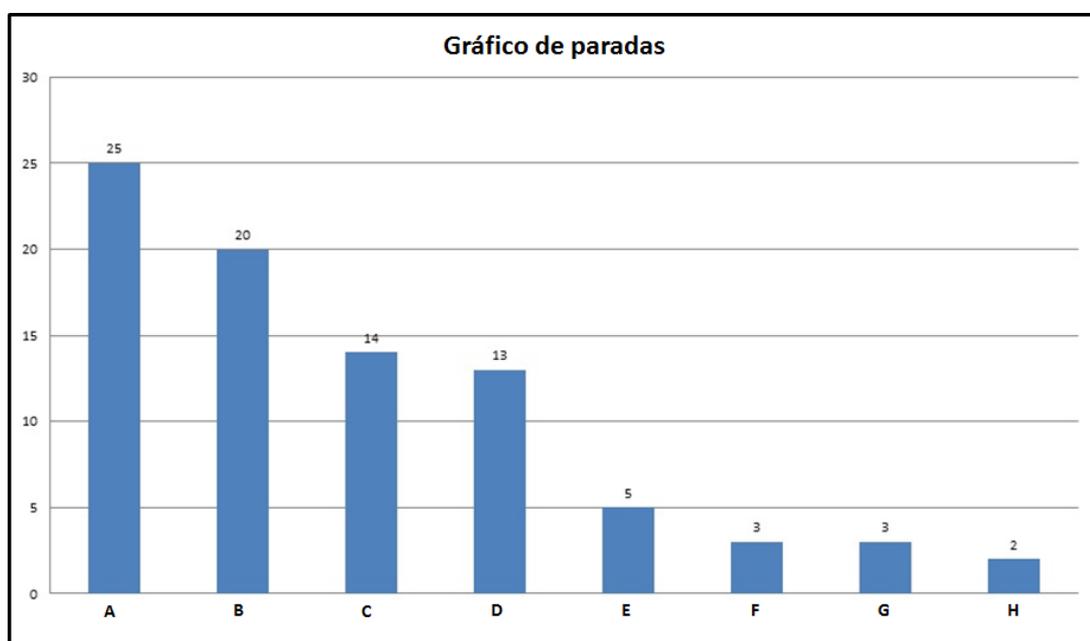
Passo 21: Operacionalização da linha de montagem

Nesta etapa é necessária a aplicação de todo estudo realizado até o momento. Neste passo é sugerida a utilização de todos os documentos construídos para facilitar a operacionalização da linha. Após a operacionalização da linha ser colocada em prática, torna-se necessário fazer o seguinte questionamento: os indicadores medidos atingiram as metas? Caso contrário, parte-se para a atuação sobre os problemas observados.

Passo 22: Ações para solução de problemas

Após criar-se o indicador de produção hora/hora é necessário documentar as paradas que ocorrem na linha. Estas paradas devem ser registradas com tipologias de paradas para que, com isso, seja possível elencar estas paradas a partir da construção de um gráfico de Pareto, colocando-as em ordem de maior para a menor frequência. Um exemplo hipotético destas paradas Figura 49.

Figura 49 - Exemplo de gráfico de Pareto das paradas



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

A partir das causas de paradas listadas e quantificadas de maior para a menor frequência, torna-se necessário criar planos de ação para combater estruturalmente as causas de paradas da linha. Na Figura 50 é possível visualizar um exemplo hipotético de plano de ação.

Figura 50 - Exemplo de plano de ação

O Que Fazer (What)	Porque Fazer (Why)	Onde Fazer (Where)	Quem (Who)	Quando (When)	Como (How)	Quanto (How much)	Ganho (Gain)

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Esta seção apresentou o método de dimensionamento de linhas de montagem - M0, no qual foram descritos os passos para o desenvolvimento das atividades.

5 DESENVOLVIMENTO: APLICAÇÃO DO MÉTODO EM AMBIENTE EMPRESARIAL

Este capítulo apresenta a aplicação do método sugerido (Capítulo 4) em ambiente empresarial com intuito de: i) visualizar o funcionamento do mesmo na realidade; e ii) fornecer subsídios para a fase de avaliação do método inicialmente proposto. A tentativa de aplicação do método será realizada em empresa pertencente a uma corporação do ramo metal-mecânico. Neste item, é apresentada genericamente a empresa e, em seguida, é feito o detalhamento dos passos propostos.

5.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A empresa onde foi aplicado este estudo tem sua sede em Caxias do Sul/RS e está instalada em uma área total de 427.019m², que inclui, além das instalações fabris, centro de saúde, escola técnica, centro de treinamento e sede da associação dos funcionários. Possui também unidades industriais em Guarulhos no Estado de São Paulo e Alvear na província de Santa Fé na Argentina, bem como escritórios de representação comercial na África do Sul, Dubai e Estados Unidos da América.

A definição do negócio da empresa é “soluções para o transporte de carga”. Sua missão consiste em “oferecer soluções para o transporte de carga de forma inovadora, agregando valor aos clientes, acionistas, funcionários, fornecedores e sociedade”. E por fim, tem como visão de futuro “Ser uma empresa de classe mundial, líder no mercado brasileiro e estar entre as cinco líderes globais em implementos rodoviários até 2015”.

Os princípios que norteiam as práticas da empresa e que sustentam as diretrizes éticas estão apresentados na Figura 51:

Figura 51 - Princípios da empresa

Princípios da Empresa	
Cliente satisfeito	Conquistar e manter clientes, antecipando e atendendo suas expectativas.
Lucro, meio de perpetuação	O lucro é base para geração de empregos e riqueza em benefício de toda sociedade.
Qualidade, compromisso de todos	Fazer da qualidade, em todas as atividades, nosso ponto forte.
Tecnologia competitiva	Desenvolver, absorver e fixar tecnologia criativa, inovadora e competitiva.
Pessoas valorizadas e respeitadas	Respeitar o ser humano como destinatário final de tudo o que fazemos.
Ética, questão de integridade e confiabilidade	Manter tudo o que fazemos em base ética elevada.
Imagem, patrimônio a preservar	Desenvolver e preservar a boa imagem é compromisso de todos, no trabalho, nas relações sociais e nas relações com o meio ambiente.
A Empresa "X" somos todos nós	Trabalhar em parceria, com dedicação, criatividade, competência e espírito de uma organização única.

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Pode-se observar na Figura 51, que os princípios da empresa estão bem definidos e alinhados com as estratégias competitivas da empresa.

A empresa desenvolve soluções para transporte. A linha de produtos fabricados engloba diferentes tipos de equipamentos entre os quais: carrocerias, reboques, semi-reboques para o transporte de cargas secas, líquidas, indivisíveis e frigorificadas, sistema bimodal e silos.

5.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO NA EMPRESA

As seções seguintes apresentam o detalhamento da aplicação do método proposto, que foi realizada durante o período de setembro a novembro de 2012, mais especificamente na linha 2 onde são fabricados semi-reboques. A linha possui 7 boxes e 38 pessoas distribuídas entre os mesmos. Participaram do trabalho 30 pessoas: i) diretoria da empresa (uma pessoa); ii) gerência de produção, (uma pessoa); iii) coordenador de melhoria contínua (uma pessoa); iv) Analista de melhoria contínua (três pessoas); e iv) Líderes de produção (seis pessoas); e vi) Operadores (18 pessoas).

A seguir será apresentado o caso acima descrito de acordo com os passos da metodologia proposta (M0).

5.2.1 Passo 1 (DEMANDA): O que a linha vai produzir e qual a demanda a ser atendida?

Nesta etapa foram realizadas reuniões com o PCP para coleta das informações necessárias, conforme descrito no capítulo 4 – passo 1. As informações

são oriundas do Plano Mestre de Produção (PMP). Na Figura 52 é possível visualizar os produtos e a demanda de cada item e o somatório de produção diário.

Figura 52 - Matrix Produto x Demanda

Matriz produto x Demanda						
Produtos		Mês				
Produto	Descrição	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5
1	A	16	16	17	17	15
2	B	1	1	1	1	1
3	C	6	4	4	4	2
4	D	4	4	3	3	3
5	E	4	4	3	3	3
6	F	5	4	3	3	3
Total		36	33	31	31	27

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Após a construção da Matriz produto x Demanda pode-se seguir para o passo 2 do método, observando que para o cálculo do *takt time* foi selecionado o mês com a maior demanda (mês 1) demonstrado na Figura 52 com média diária.

5.2.2 Passo 2: Cálculo do *takt time*

Para realizar o cálculo do *takt time*, é necessário verificar algumas informações referentes aos turnos de trabalho da empresa. Além da quantidade de turnos e o tempo disponível em cada um deles, as paradas para almoço e janta também devem ser consideradas. Estas informações de tempo disponível e paradas na empresa estão detalhadas na Figura 53. Cabe ainda destacar que com estas informações é possível calcular o tempo efetivo de operação diária, dado necessário para o cálculo do *takt time*.

Figura 53 - Tempo disponível

Tempo efetivo de operação diária	
Tempo total/dia (2 turnos)	1080 min
Almoço	60 min
Janta	60 min
Tempo Disponível/dia	960 min

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Conforme informações analisadas da matriz Produto x Demanda e o tempo efetivo de operação diária é possível calcular o *takt time* utilizando a Equação 1.

$$T_t = \frac{T_d}{D} \quad (1)$$

Onde:

T_t = *takt time* (min/un; s/un; min/pç; s/pç);

T_d = tempo disponível (min; s);

D = demanda (un; pç).

$$T_t = \frac{960 \text{ min/dia}}{36 \text{ un/dia}}$$

$$T_t = 26,6 \text{ minutos/unidade}$$

Após o cálculo do *takt time* deve-se calcular o tempo de ciclo limite do gargalo que é calculado pela na Equação 2. Como a variabilidade da linha é considerada baixa a empresa optou por usar um decréscimo de 10%.

$$T_{cg} = T_t - dc \quad (3)$$

Onde:

T_{cg} = tempo de ciclo limite do gargalo (min/un; s/un; min/pç; s/pç);

dc = decréscimo (%).

$$T_{cg} = 26,6 \text{ min/un} - 10\%$$

$$T_{cg} = 26,6 \text{ min/un} - 2,6 \text{ min/un}$$

$$T_{cg} = 24,0 \text{ min/un}$$

Por fim é calculado o tempo de ciclo limite do não gargalo onde é utilizada a Equação 4.

$$T_{cng} = T_t - (dc + 5\%) \quad (4)$$

Onde:

T_{cng} = tempo de ciclo limite do não gargalo (min/un; s/un; min/pç; s/pç);

dc = decrécimo (%).

$$T_{eng} = 26,6 \text{ min/un} - 15\%$$

$$T_{eng} = 26,6 \text{ min/un} - 4,0 \text{ min/un}$$

$$T_{eng} = 22,6 \text{ min/un}$$

Na Figura 54 é possível visualizar o resumo dos cálculos realizados no passo 2, para facilitar na execução dos demais passos a que serão descritos nesse método.

Figura 54 - Resumo cálculos

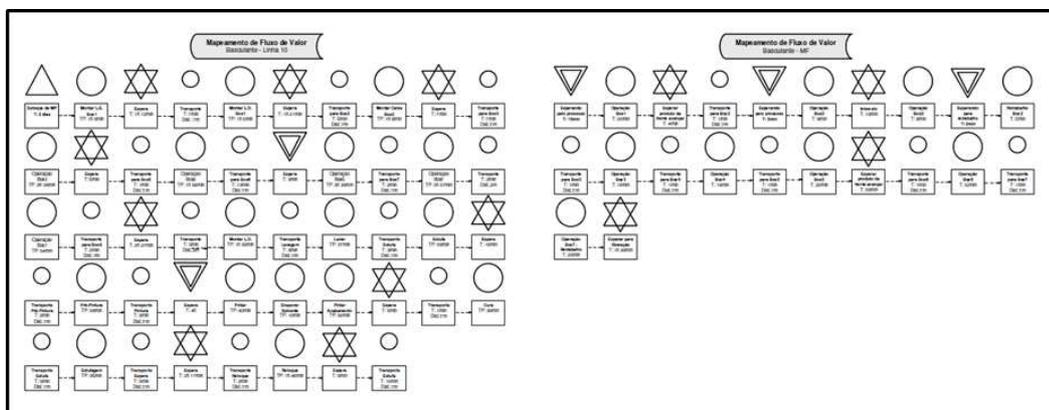
Resumo calculos (Passo 2)	
Takt time	26,6 min/un
Tempo de ciclo limite do gargalo	24,0 min/un
Tempo de ciclo limite do não gargalo	22,6 min/un

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

5.2.3 Passo 3 (OFERTA): Qual o fluxo atual dos produtos na linha?

O mapeamento do processo da linha de montagem foi embasado no mapeamento proposto por (SHINGO, 1996a). Na Figura 55 é possível visualizar o mapeamento feito na linha. Porem é importante destacar que, como a empresa solicitou sigilo em suas informações o mapeamento não pode ser mais explicitado no presente trabalho.

Figura 55 - Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV)



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Em posse do mapeamento torna-se possível realizar o levantamento das informações e a documentação do fluxo que os produtos percorrem na linha de montagem. Assim, tornando-se possível avançar para o passo 4 do método.

5.2.4 Passo 4: Detalhamento das operações

Para a realização do passo 4 foram feitas filmagens em cada uma das operações de cada box da linha de montagem em questão. Estas filmagens foram realizadas de acordo com o fluxo explicitado na Figura 55. Na Figura 56 é possível visualizar a sequência de filmagens utilizada para a elaboração deste trabalho.

Figura 56 - Controle de filmagens

Filmagens (passo 4)			
Seq. Filmagens	Box	Descrição Operação	Concluído?
1	1	OP BOX 1	sim
2	2	OP BOX 2	sim
3	3	OP BOX 3	sim
4	4	OP BOX 4	sim
5	5	OP BOX 5	sim
6	6	OP BOX 6	sim
7	7	OP BOX 7	sim
8	8	OP BOX 8	sim
Total de Filmagens:			8

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Analisando as filmagens realizadas torna-se possível o preenchimento dos formulários de detalhamento das operações Figura 57. O detalhamento das operações não pode ser detalhado com maior nitidez para preservar as informações da empresa.

Figura 58 - Tempo manual + caminhada (TH)

BOX	TH (minutos)
1	58,6
2	93,9
3	59,2
4	208,1
5	75,5
6	190,0
7	176,8
Σ Total	862,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Através da utilização da Equação 5 torna-se possível o cálculo do Número de Operadores (N.O.).

$$N.O. = \frac{\sum_{i=1}^n (T_{H_i})}{T_t} \quad (5)$$

Onde:

$N.O.$ = número de operadores (adm.);

T_H = tempo homem (min; s);

T_t = *takt time* (min; s);

i,n = índices que representam os números das operações.

$$N.O. = \frac{862 \text{ min.}}{26,6 \text{ min/un}}$$

$$N.O. = 32,4 \text{ operadores}$$

$$N.O. = 33 \text{ operadores}$$

O cálculo do número mínimo de operadores contempla o número mínimo de operadores para linha como um todo, pois são somados os tempos manuais + caminhada de todos operadores de cada box e dividido pelo *takt time*. Com isso gera-se o número mínimo de operadores que esta linha como um todo deve ter. Aqui torna-se necessário ter uma observação crítica postulando que este número não significa que a linha deva ter exatamente o número de operadores que foi calculado. Na verdade, este número servirá para balizar se o balanceamento da linha está bem realizado ou não.

Na Figura 59 é possível visualizar o cálculo do número mínimo de operadores para cada box, utilizando a Equação 5 para o cálculo.

Figura 59 - Número mínimo de operadores por box

BOX	TH (minutos)	N.O.
1	58,6	2,2
2	93,9	3,5
3	59,2	2,2
4	208,1	7,8
5	75,5	2,8
6	190,0	7,1
7	176,8	6,6
Σ Total	862,0	32,4

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

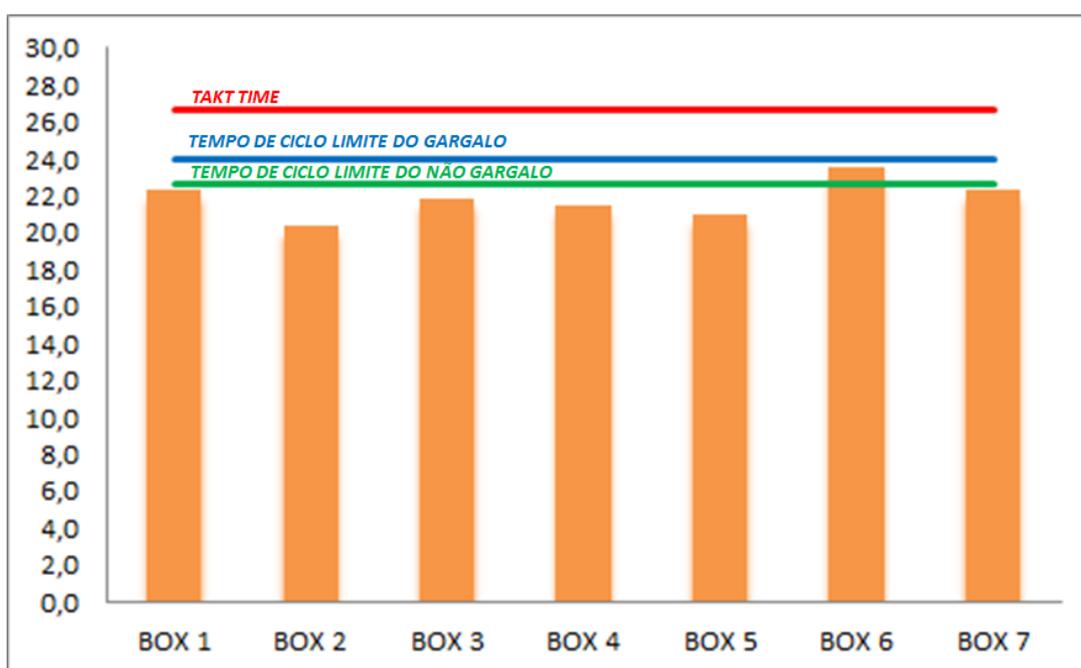
Em posse desta informação de número mínimo de operadores pode-se seguir para o passo 6.

5.2.6 Passo 6: Definição dos boxes de trabalho

Com os passos anteriores concluídos e de posse de suas informações é possível iniciar o trabalho de operação padrão onde serão feitas as folhas correspondentes a este trabalho já descritos no capítulo 4.

Após os cálculos de ponderações dos tempos de ciclo (Figura 66) obteve-se o balanceamento mostrado na Figura 60.

Figura 60 - Gráfico de balanceamento dos boxes da linha



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Figura 63 - Folha de trabalho padrão

FOLHA DE TRABALHO PADRÃO			
Linha: Linha Dois	Box/Posto: Suspensão	Descrição: Montagem	Operador: 1
Tempo de Ciclo: 20 minutos	Takt Time: 24 minutos	Processo anterior: estrutura	Processo seguinte: Solda Antes do Giro
SEQUENCIA	ETAPA PRINCIPAL		
1	Olhar projeto		
2	Verificar chapa de atrito		
3	Pegar talha		
4	Retirar chapa de atrito		
5	Colocar dispositivo no pino rei		
6	Posicionar chapa de atrito		
7	Pontear chapa de atrito		
8	Retirar dispositivo do pino rei		
9	Espera		
10	Montar pára-choque		
11	Arquear		
12	Deslocar chassi		
SIMBOLOS:		Segurança Qualidade Estoque em Processo Máquina Matéria-Prima Produto Acabado Homem	
Data: 22-05-2012		Responsável:	
Operadores:		Revisão:	

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Para finalizar é construída a folha de *layout* padrão onde podem ser visualizados todos os boxes, operadores, matérias primas e sequencia de produtos. A divulgação desta folha de *layout* não foi autorizada pela empresa estudada.

Em posse da operação padrão, tempos de ciclo dos boxes e desenho da linha de montagem é possível passar para o passo seguinte onde é realizado um resumo de todo trabalho realizado até este passo.

5.2.7 Passo 7: Divisão das atividades / Trabalho nos boxes

Neste passo é feito um resumo do trabalho realizado até o momento com o objetivo de ter informações suficientes para fazer o comparativo que o passo seguinte irá solicitar (a linha terá condições de atender a Demanda prevista? $Takt \geq TC$).

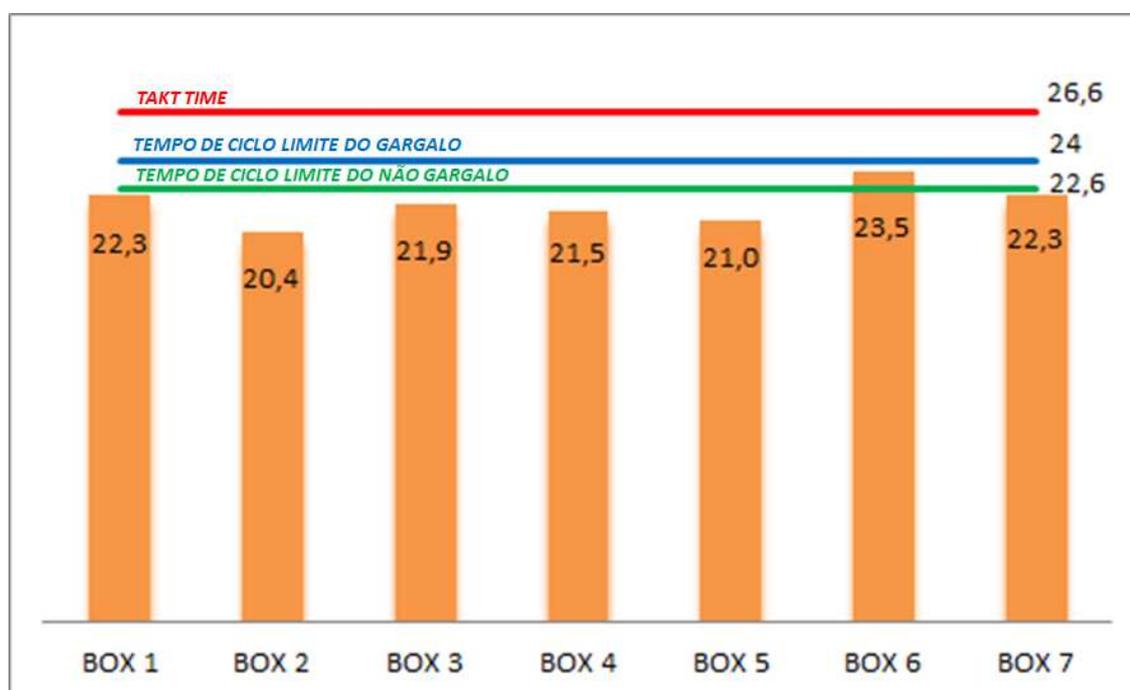
Os cálculos de ponderação dos tempos de ciclos balanceados pela operação padrão seguem na Figura 66. Um resumo destes cálculos pode ser visualizado na Figura 64 com o resumo do balanceamento na Figura 65.

Figura 64 - Resumo Tempos de ciclos ponderados

BOX	TCPO (minutos)
BOX 1	22,3
BOX 2	20,4
BOX 3	21,9
BOX 4	21,5
BOX 5	21,0
BOX 6	23,5
BOX 7	22,3

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Figura 65 - Resumo balanceamento (minutos)



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

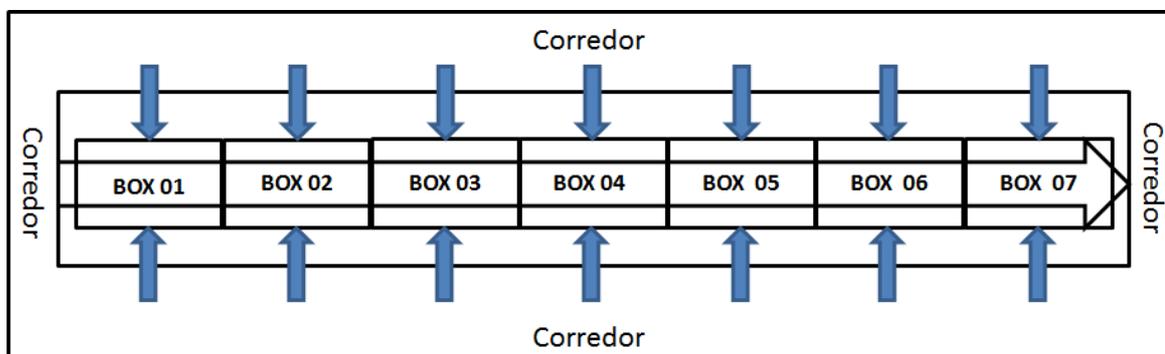
Figura 66 - Cálculos tempos de ciclos ponderados

BOX	PRODUTO	T.CICLO (min.)	DEMANDA (dia)	TCPO (min.)	TCPOBOX (min)
BOX 1	A	23,8	16	380,3	22,3
	B	21,1	1	21,1	
	C	23,8	6	142,6	
	D	15,2	4	60,8	
	E	15,2	4	60,8	
	F	27,7	5	138,3	
	Totais		36	803,9	
BOX 2	A	18,5	16	296	20,4
	B	13,5	1	13,5	
	C	35,5	6	213	
	D	13,5	4	54	
	E	13,0	4	52	
	F	21,0	5	105	
	Totais		36	733,5	
BOX 3	A	16,5	16	264,0	21,9
	B	20,0	1	20,0	
	C	28,5	6	171,0	
	D	20,0	4	80,0	
	E	20,0	4	80,0	
	F	34,5	5	172,5	
	Totais		36	787,5	
BOX 4	A	20,0	16	320	21,5
	B	17,5	1	17,5	
	C	32,5	6	195,0	
	D	17,5	4	70,0	
	E	17,5	4	70,0	
	F	20,5	5	102,5	
	Totais		36	775,0	
BOX 5	A	20,9	16	334,8	21,0
	B	18,9	1	18,9	
	C	23,6	6	141,8	
	D	18,9	4	75,6	
	E	18,9	4	75,6	
	F	21,6	5	108,0	
	Totais		36	754,7	
BOX 6	A	28,0	16	448,0	23,5
	B	0,0	1	0,0	
	C	25,7	6	154,2	
	D	19,5	4	78,0	
	E	19,5	4	78,0	
	F	17,6	5	88,0	
	Totais		36	846,2	
BOX 7	A	27,3	16	436,8	22,3
	B	19,5	1	19,5	
	C	27,3	6	163,8	
	D	13,3	4	53,2	
	E	13,3	4	53,2	
	F	15,6	5	78,0	
	Totais		36	804,5	

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

O desenho da linha de montagem estudada está mostrado esquematicamente, na Figura 67.

Figura 67 - Desenho linha de montagem



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

5.2.8 Passo 8: A linha terá condições de atender a Demanda prevista? ($Takt > TC$)

Após a conclusão do resumo da documentação pronta até o momento é possível analisar se a linha terá condições de atender a Demanda prevista nos cálculos realizados anteriormente, $Takt \geq TC$?

Como a análise deste questionamento foi positivo conforme demonstrado na Figura 65 e o *takt time* é maior que o tempo de ciclo, passou-se para o passo seguinte, estratégia para redução dos custos de produção da linha. Neste passo a empresa optou por não trabalhar em nenhuma redução de custos, pelo motivo de a empresa ter pouco tempo para conclusão do trabalho. Esta definição da empresa resulta em um desperdício da possibilidade de se encontrar soluções para eliminação ou redução das perdas ainda existentes na linha como um todo.

5.2.9 Passo18: Documentação do projeto

Nesta etapa do projeto é verificada e organizada toda documentação da primeira etapa do método (dimensionamento de linha), na Figura 68 é possível observar a quantidade de documentos gerada até esta etapa.

Figura 68 - Documentos gerados

Descrição	Quantidade
Matrix Produto x Demanda	1
Cálculo do <i>Takt time</i>	1
Cálculo tempo de ciclo limite do gargalo	1
Cálculo tempo de ciclo limite dos não gargalos	1
Mapeamento dos produtos	6
Filmagens das atividade	8
Formulario de detalhamento das operações	65
Cálculo número mínimo de operadores	1
Folha de combinação de tarefa	39
Folha de trabalho padrão	273
Folha de layout padrão	6
Desenho linha	1
Total	403

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Após a análise e a organização da documentação é possível passar para a etapa seguinte do método onde serão calculados os indicadores de desempenho da linha.

5.2.10 Passo 19: Indicadores de desempenho da linha

O indicador aqui calculado não é nenhum dos indicadores propostos no método (M0), pois a empresa optou por continuar a utilizar o indicador de eficiência já calculado. Através da Equação 9 é possível explicitar o cálculo da eficiência da linha.

$$efici\tilde{e}ncia = \frac{\sum_{m=1}^k (\sum_{i=1}^n t_{Box_i} \times q_i \times N_{operadores_i})}{\sum_{i=1}^n N \times J} \quad (9)$$

$$efici\tilde{e}ncia = \frac{\sum_{m=1}^k (\sum_{i=1}^n 26,6 \text{ min} \times 722 \text{ un/m\~{e}s} \times 32,4 \text{ operadores})}{\sum_{i=1}^n 39 \text{ operadores} \times 20160 \text{ min/m\~{e}s}}$$

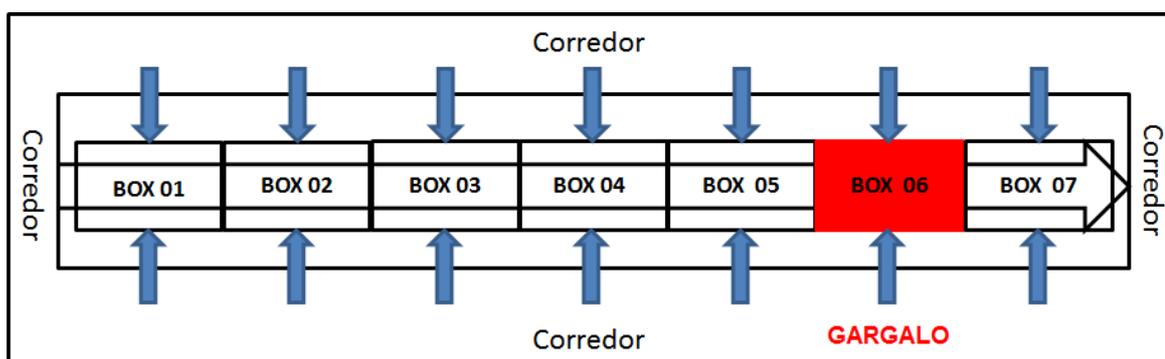
$$efici\tilde{e}ncia = 79\%$$

Após a conclusão dos cálculos do indicador de produção é possível passar para a etapa de operacionalização da linha que inicia com o método de trabalho que a linha deverá utilizar.

5.2.11 Passo 20: Método de trabalho - TOC

O método de trabalho foi baseado no Tambor-Pulmão-Corda (TPC) detalhado no capítulo 2. A primeira etapa foi deixar claro para todos os envolvidos na execução do trabalho onde estaria o box gargalo, que na execução da operação padrão apresentou-se no box 6 desta linha. Na Figura 69 pode-se visualizar a localização do box gargalo na representação esquemática da linha.

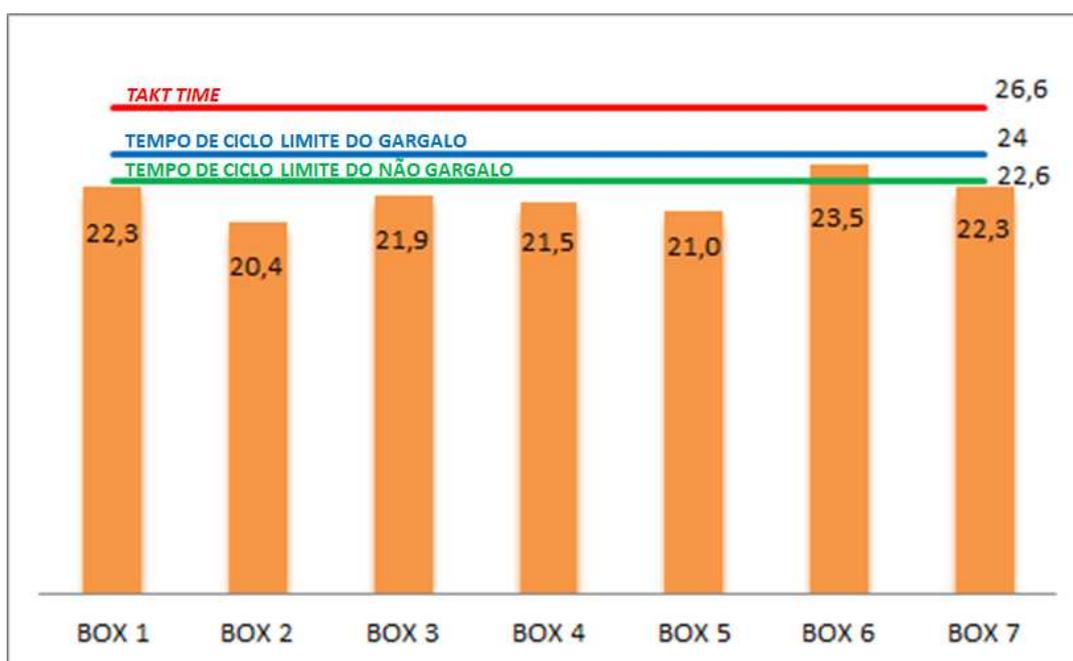
Figura 69 - Box gargalo na linha



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

No balanceamento feito foram criados dois limites de tempo de ciclo para garantir que este box ficasse como box gargalo, i) tempo de ciclo limite do gargalo; e ii) tempo de ciclo limite do não gargalo. Na Figura 70 é possível verificar estes limites.

Figura 70 - Limites para garantir existência do gargalo (minutos)

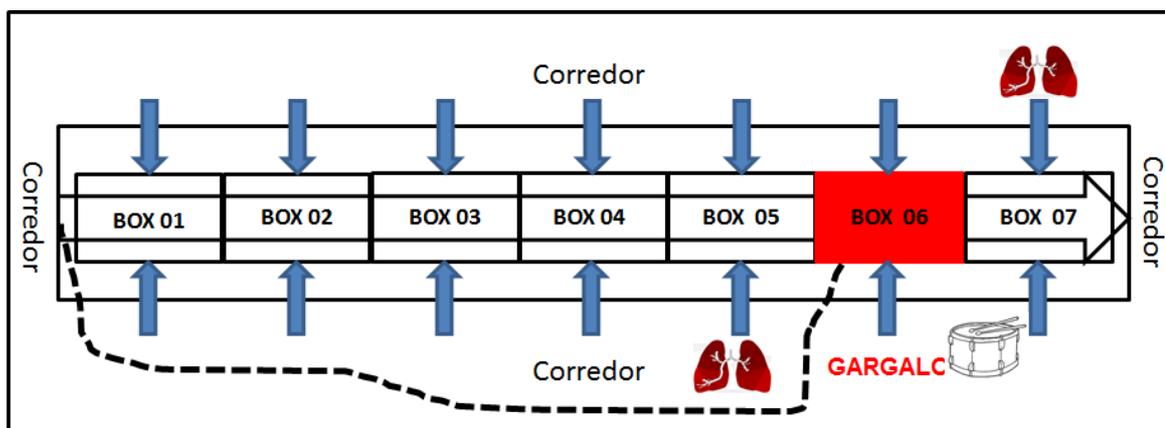


Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

A folga possível de ser identificada na Figura 21 com os limites de tempo de ciclo do gargalo e do não gargalo será considerada no método de trabalho da linha como o pulmão de tempo que foi utilizado para manter o box gargalo sempre abastecido.

A corda utilizada foi o apontamento de produção feito no final do box 6, enviado como informação para o início da linha, autorizando a entrada do próximo produto. O esquema de funcionamento proposto pode ser visualizado na Figura 71.

Figura 71 - Esquema de funcionamento da linha



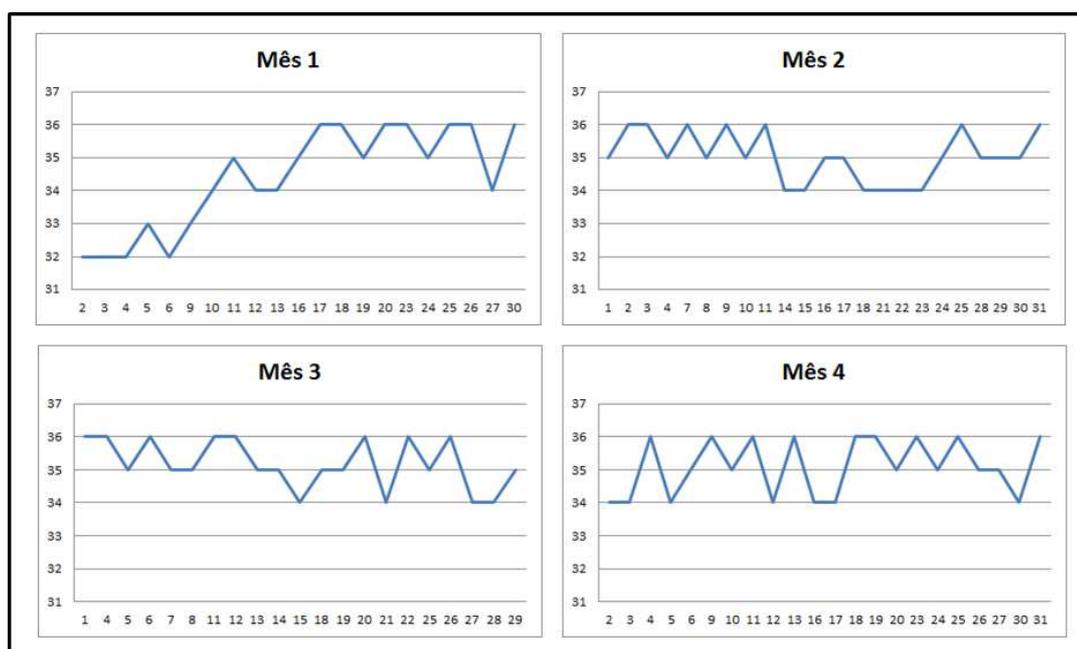
Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Com o método de trabalho funcionando conforme planejado é possível dar sequência para o passo operacionalização da linha de montagem.

5.2.12 Passo 21: Operacionalização da linha de montagem

Nesta etapa os operadores receberam os treinamentos para o funcionamento da linha. Aqui foram utilizados todos os documentos gerados para facilitar este treinamento. Após os operadores estarem treinados deu-se início a operacionalização da linha e controle dos indicadores de desempenho projetados. O indicador de produção hora/hora gera a produção total de cada dia. A Figura 72 ilustra a produção diária realizada durante quatro meses de trabalho.

Figura 72 - Produção por dia



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

5.2.12 Passo 22: Ações para solução de problemas

Para documentar as paradas que ocorrem na linha de montagem é necessário padronizar as mesmas através da definição de uma tipologia de paradas. Esta tipologia criada pode ser visualizada na Figura 73.

Figura 73 - Tipologia de paradas

Código	Nome da parada
1.1	Manutenção ponte rolante
1.2	Manutenção JetLine
1.3	Manutenção gabarito
1.4	Manutenção máquina de solda
2.10	Movimentação de produto
2.11	Troca de arame
2.12	Troca de consumíveis
2.2	Absenteísmo
2.3	Retrabalho
2.4	Parada box posterior
2.5	Parada box anterior
2.8	Falta de ponte rolante
2.9	Reunião/Treinamento
4.2	Falta de item da estamperia
5.2	Falta de empilhadeira/trator/caminhão
5.3	Falta de item da expedição da estamperia
6.5	Setup

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

De acordo com a tipologia de paradas da Figura 73 tornou-se possível construir um gráfico com as principais paradas da linha no período de um mês Figura 74.

Figura 74 - Gráfico de paradas



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Após a construção do gráfico de paradas é possível analisar as principais paradas, onde as três principais são: i) retrabalho; ii) parada box anterior; e iii) parada box posterior. Através da análise das observações anotadas pelos operadores para cada motivo de parada, foi possível construir o plano de ação para combater as principais paradas. Na Figura 75 é possível visualizar um exemplo de plano de ação desenvolvido na empresa.

Figura 75 - Plano de ação

Ação	Responsável	Prazo	30 dias	60 dias
<i>Efetuar treinamento de gabarito bitola larga</i>	<i>Foppa</i>	<i>17/6/12</i>	<i>OK</i>	<i>OK</i>
<i>Demarcar piso para guiar a parada dos diferentes comprimentos de produto no box 4</i>	<i>Adilson</i>	<i>17/5/12</i>	<i>OK</i>	<i>OK</i>
<i>Verificar e ajustar pressão do gás natural e oxigênio</i>	<i>Beltrame</i>	<i>26/5/12</i>	<i>OK</i>	<i>OK</i>
<i>Remodelar os pentes em grau para facilitar a chapa de atrito</i>	<i>Lindones</i>	<i>26/5/12</i>	<i>OK</i>	<i>OK</i>
<i>Desenvolver gabarito para montagem do perfil traseiro da Sider</i>	<i>Edilmar</i>	<i>17/6/12</i>	<i>OK</i>	<i>OK</i>
<i>Alongar dispositivo para prensar chapa de atrito</i>	<i>Lindones</i>	<i>17/6/12</i>	<i>OK</i>	<i>OK</i>
<i>Definir local para armazenar alongamento da mesa no box 3</i>	<i>Marcos</i>	<i>26/5/12</i>	<i>OK</i>	<i>OK</i>
<i>Reavaliar o layout e posicionamento do quadro e demarcações em função da chapa BS FG PF</i>	<i>Edilmar</i>	<i>17/5/12</i>	<i>OK</i>	<i>OK</i>
<i>Inserir código do layout de solda na lista técnica e que o mesmo venha impresso com os documentos</i>	<i>Maicon</i>	<i>17/6/12</i>	<i>OK</i>	<i>OK</i>
<i>Inserir recorte na alma para encaixar o suporte do parafuso 300047781</i>	<i>Beltrame</i>	<i>17/6/12</i>	<i>OK</i>	<i>OK</i>
<i>Adquirir plasma de corte para o Box 3</i>	<i>Airton</i>	<i>26/5/12</i>	<i>OK</i>	<i>OK</i>

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Após a descrição de todos os passos do método proposto, o capítulo a seguir tem como objetivo realizar uma avaliação da aplicação do método. Esta avaliação pode elencar algumas melhorias para aprimoramento do método desenvolvido.

6 AVALIAÇÃO DO MÉTODO

Neste capítulo é avaliado o método proposto a partir de sua aplicação no ambiente empresarial, que será apresentado em quatro partes: i) avaliação do método de trabalho; ii) avaliação segundo o *Design Research*; e iii) avaliação geral do método M0; iv) Proposição do método M1.

6.1 AVALIAÇÃO DO MÉTODO DE TRABALHO

Esta seção tem o intuito de avaliar os resultados obtidos realizando uma avaliação crítica dos vários passos do método de trabalho proposto quando de sua operacionalização em uma empresa do ramo metal-mecânico descrita detalhadamente no Capítulo 5 deste trabalho.

6.1.1 Tentativa de execução do método

Nesta seção é elaborada uma análise das etapas do método que foram aplicadas no caso empírico adotado para testar o M0.

Passo 1 : O que a linha vai produzir e qual a demanda a ser atendida?

Obter a informação do que a linha irá produzir e qual a demanda a ser atendida foi realizada plenamente dado que a empresa já utilizava em sua operacionalização do PPCPM o Plano Mestre de Produção como norteador da programação.

A principal restrição observada no campo foi a dificuldade de reunir as pessoas envolvidas na programação e na construção do PMP por duas vezes. A primeira para coleta de dados e o entendimento do método M0 e a segunda para validação dos dados gerados e para a discussão crítica dos mesmos.

Passo 2: Cálculo do *takt time*

Nesta etapa foi realizado o cálculo do *takt-time*, o que já era feito na empresa, tendo sido adicionados dois outros cálculos relevantes conforme a proposição do

M0: i) tempos de ciclos limite dos boxes não gargalos e ii) tempo de ciclo limite do box gargalo.

Durante a formalização destes cálculos no ambiente empresarial surgiram dúvidas conceituais e empíricas em relação aos mesmos. As dúvidas conceituais foram explicitadas pelo pesquisador e os dados empíricos associados com os coeficientes de segurança adotados foram ponderados com o grupo através de uma discussão aberta realizada com os colaboradores. Os valores de coeficiente de segurança adotados foram considerados aceitáveis na medida em que a variação dos produtos fabricados na linha não é significativa como já apresentado no capítulo 5.

Passo 3 : Qual o fluxo atual dos produtos na linha?

Este passo mostrou-se relevante para o grupo de trabalho que aplicou o método M0 na medida em que influenciou no sentido de que as pessoas aumentassem significativamente o seu conhecimento sobre a fabricação dos produtos (processos de produção e fluxos gerais de trabalho), em particular, os aspectos relativos a análise de perdas no sistema produtivo em cena. Aqui cabe destacar que foi possível retirar informações que contribuíram para a execução dos próximos passos do M0 (ex: definição futura da operação-padrão dos operadores nos diferentes boxes, cálculo de tempo de ciclo dos boxes). Importante destacar que os profissionais que atuam nas melhorias da empresa já detinham sólido conhecimento da ferramenta de Mapeamento do Fluxo de Valor, o que facilitou sobremaneira a execução desta etapa do método. Uma melhoria possível é gerar uma maior participação dos trabalhadores para a análise detalhadas das perdas existentes e para as devidas proposições de melhorias.

Passo 4: Detalhamento das operações

Nesta etapa foram encontradas restrições práticas associadas com dificuldades relativas a filmagens. A razão central é que, como o produto tem grandes dimensões (acarretando tempos de ciclo elevado nos boxes) e ocorrem simultaneamente muitas operações em paralelo torna-se difícil gerar um roteiro robusto para a realização das filmagens, além da necessidade de utilização de mais de uma câmera para a realização dos trabalhos. O tema da elaboração de um

roteiro de filmagem robusto, com os recursos devidamente adequados (ex: número de câmeras, tempos de bateria das filmadoras, treinamento adequado para as filmagens) não pode ser negligenciado para que os resultados obtidos possam ser satisfatórios. É relevante, também, destacar que o grupo fez uma discussão no intuito de verificar se as medições elaboradas através das filmagens, não deveriam ser complementadas por tomadas tradicionais de métodos e tempos com foco em cada um dos boxes da linha de montagem, visando obter uma maior acuracidade dos resultados nesta importante fase do método.

Observou-se nesta etapa um trabalho exaustivo, na medida em que foram elaboradas um amplo conjunto de planilhas essenciais para que, no passo 6, possam ser definidas as operações-padrão com uma sólida análise da realidade atual (um dos focos da filmagem) e da proposição de melhorias (outro dos focos relevantes do trabalho).

Passo 5: Quantas pessoas farão parte da linha?

Este cálculo foi feito de acordo com o planejamento do M0 e não envolveu dificuldades na medida em que, nos passos anteriores, as informações se mostraram suficientemente detalhadas para a consecução dos objetivos do cálculo do número de pessoas nos boxes. É importante destacar que este é um cálculo teórico, detalhando o número mínimo de operadores. Na sequência é necessário verificar a exequibilidade destes cálculos, na medida em que o mesmo não considera várias restrições práticas dos boxes, tais como: movimentação das pessoas, sincronização das pessoas, limites físicos e de recursos existentes na linha.

Passo 6: Definição dos boxes de trabalho

Neste passo, com o auxílio da equipe de trabalho e dos operadores, foi realizado o balanceamento da linha. Importante destacar aqui o conhecimento tácito dos operadores para melhorar a definição dos diferentes boxes. Aqui é relevante considerar que trata-se de um trabalho de tentativa e erro e que, quanto melhor o planejamento dos boxes feito nesta fase, mais eficaz será o desempenho da linha

tanto em termos do dimensionamento de pessoas (minimização da força de trabalho), como sua futura operacionalização.

Este passo é essencial porque são geradas planilhas que foram utilizadas para contribuir na definição final das operações-padrão do método. Uma análise crítica desta etapa sugere que a mesma seja realizada com muita atenção e utilizando da melhor maneira possível o conhecimento já disponível pelos trabalhos observados a luz da procura da eliminação das perdas nos diferentes boxes das linhas de montagem.

Passo 7: Divisão das atividades / Trabalho nos boxes

Neste passo, é feito um resumo de todo trabalho efetivado até este passo. Isto envolveu: i) definição do tempo de ciclo dos boxes; ii) desenho da linha; iii) quantidade de operadores por box; iv) fluxos dos produtos. Este passo mostrou-se importante porque permite uma visualização geral do trabalho até então realizado, com a definição da oferta disponível nos boxes e na linha como um todo, que será confrontada com a demanda dos produtos.

Passo 8: A linha terá condições de atender a Demanda prevista? (Takt > TC)

Neste passo foi feito o cruzamento entre os passos de Demanda (Passo 1 e 2) X Capacidade (Passo 3 a 7) do M0. O resultado obtido foi positivo na medida em que o *takt-time* (Função Processo) foi atendido pelo balanceamento da linha (Função Operação). Sendo assim, os passos de 9 a 14 não necessitaram ser feitos uma vez que foram atendidos os requisitos de dimensionamento da linha quando da execução do primeiro *looping* do projeto.

Uma vez que foi atendido o tempo *takt*, o próximo passo a ser adotado seria adotar as diferentes estratégias de redução de custos de produção da linha (Passos 15, 16 e 17). Porém, este trabalho não foi realizado na prática uma vez que priorizou-se a implantação direta da solução obtido no item 8.

Passo 18: Documentação do projeto

No passo 18 foi realizada a formalização dos resultados obtidos no dimensionamento proposto através da elaboração de uma documentação completa da forma da proposta de dimensionamento da linha que foi incorporada ao sistema de produção da empresa. A ideia básica foi formalizar o planejamento proposto o que permite, quando da operacionalização prática da proposta, exercer a atividade de controle quando da operacionalização da linha.

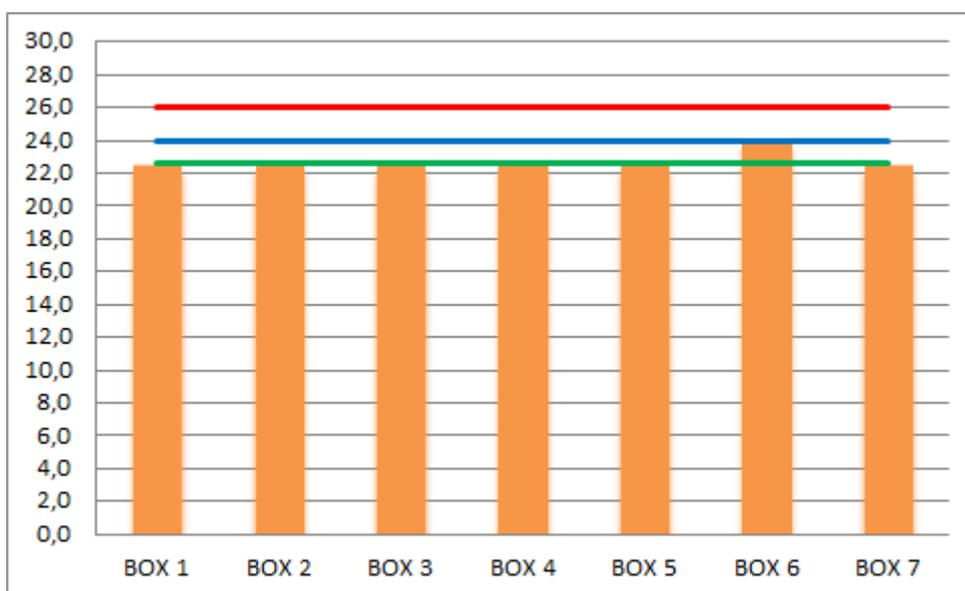
Passo 19: Indicadores de desempenho da linha

No caso prático observou-se que o único indicador medido é a chamada eficiência da utilização das pessoas (eficiência da mão-de-obra). Este indicador mede a quantidade de mão-de-obra projetada $(\sum_{m=1}^k (\sum_{i=1}^n t_{box_i} \times q_i \times N_{operadores_i}))$ dividido pelas horas pagas teoricamente.

Importante destacar que existem dois cálculos possíveis de serem feitos: i) a eficiência teórica da utilização das pessoas e ii) a eficiência real de utilização das pessoas (onde pode variar tanto o número de pessoas “N” quanto a jornada de trabalho “J” via horas extras).

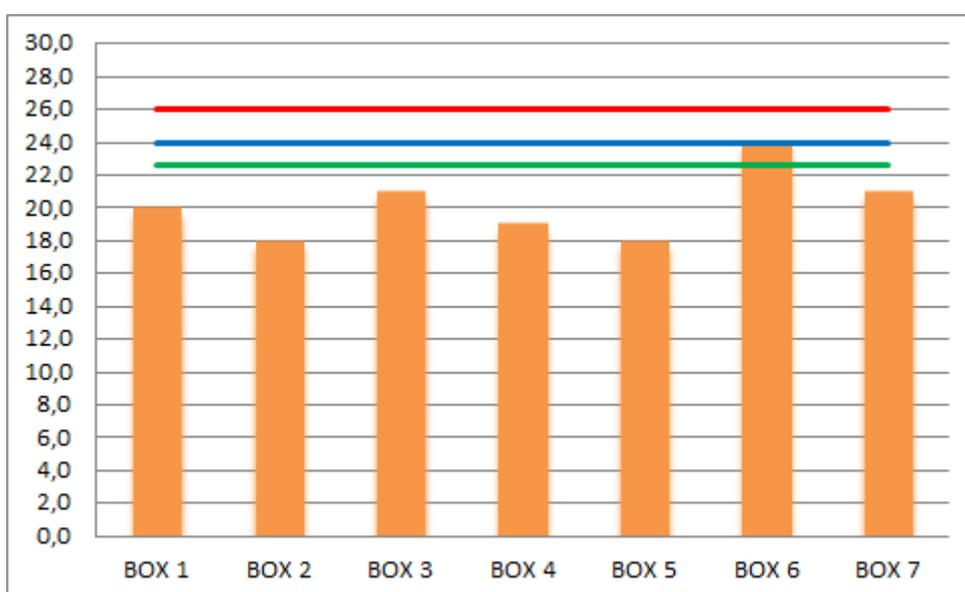
Do ponto de vista do dimensionamento das pessoas, considerando os tempos dos boxes projetados constantes, o ideal é que esta eficiência da mão-de-obra seja igual a 1. Todos os valores abaixo de 1 consideram folgas no dimensionamento (ver método passo 2) ou dificuldades objetivas no balanceamento entre os boxes. Na Figura 76 é possível visualizar um exemplo ilustrativo da folga ideal do dimensionamento e na Figura 77 o exemplo da dificuldade de balanceamento em relação ao ideal.

Figura 76 - Folga no dimensionamento ideal



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Figura 77 - Dificuldades de balanceamento dos boxes em relação ao modelo ideal



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Quando do cálculo de eficiência real da utilização das pessoas a ideia é verificar o quanto o desempenho da linha foi diferente da eficiência projetada no dimensionamento da linha de montagem. Idealmente a eficiência teórica projetada da mão-de-obra deveria ser igual à eficiência real observada quando da operacionalização da linha de montagem. Os desvios entre estas duas situações devem ser cuidadosamente analisados.

Importante destacar criticamente o porquê da queda da eficiência dos operadores, se todos os recursos permanecerem de acordo com o projeto da fábrica (ex.: alimentação de peças e/ou conjuntos conforme o padrão, inexistência de problemas de manutenção, programação correta, pontes atuando de acordo com a padronização etc), então as diferenças entre a eficiência real e a teórica da mão-de-obra pode ser diretamente imputada à ineficiência dos operadores (ex.: pode ocorrer deficiência do treinamento dos operadores para a utilização as respectivas operações-padrão projetadas, produção de problemas de qualidade).

Porém, é importante destacar que existem diferenças entre a eficiência teórica e a eficiência real oriundas de problemas que tem origem em fatores externos a linha de montagem e que não podem/devem ser imputados aos trabalhadores, dado que eles não são responsáveis pela geração destes problemas. Isto pode ocorrer com causas tais como:

- Peças/conjuntos com problemas de qualidade;
- Manutenção da linha;
- Problemas de programação;
- Falta de materiais;
- Falta de ponte rolante;
- Problemas de engenharia.

O ponto a melhorar no método M0 consiste em diferenciar a eficiência real dos operadores e a “ociosidade” dos mesmos - aqui entendido que os operadores estão disponíveis na linha, e devidamente capacitados/treinados, porém não podem atuar em função de problemas externos a eles em recursos que apoiam a operação da linha de montagem.

A título de proposição poderiam ser criados dois novos indicadores Equações 10 e 11:

$$1. \text{eficiência}_{M.O.}^* = \frac{\sum_{m=1}^k (\sum_{i=1}^n t_{box_i} \times q_{pe} \times N_{operadores_i})}{\sum_{i=1}^n N \times J^*} \quad (10)$$

J^* = o tempo realmente disponível para o trabalho dos operadores.

$$2. \text{ineficiência}_{\text{problemas externos}}^{M.O.} = \frac{\sum_{m=1}^k (\sum_{i=1}^n t_{box_i} \times q_{pe} \times N_{operadores_i})}{\sum_{i=1}^n N \times (J - J^*)} \quad (11)$$

E uma vez identificado I^* verificar as principais causas de paradas da linha e gerar relatórios diários e mensais ligando às paradas de linha as respectivas funções (qualidade, manutenção, programação, materiais).

Ou seja, uma vez feito o dimensionamento da linha e a sua respectiva operacionalização é preciso deixar claro que a eficiência do trabalho das pessoas (realizar a operação de acordo com a operação-padrão projetada) depende da correta operação de todo o sistema (ou seja, de todos os recursos externos estarem disponíveis de acordo com o projetado), particularmente da atuação das diferentes funções que suportam a linha de montagem (qualidade, materiais, programação, logística, engenharia de produto e processo, manutenção etc).

Uma boa gestão da linha depende, portanto, não só da função produção (gerência e supervisores de produção), mas do time de gestão que auxilia/suporta as operações da linha de montagem como um todo.

Porém, neste tema dos indicadores se fez necessário uma análise crítica mais profunda e participativa que foi realizada através de uma reunião na empresa estudada para avaliação do tema do sistema de indicadores adotado. Esta reunião, com duração de 1 hora, contou com a participação do gerente da linha de montagem, gerente da fabricação, gerente da engenharia, gerente de logística e coordenador da engenharia de processos. Após a discussão e incentivados por questionamentos acerca de adotar único indicador de eficiência de mão-de-obra, chegou-se ao consenso de que os indicadores propostos nesta etapa do trabalho no método M0 necessitam ser mensurados visando compreender melhor o desempenho da linha de montagem.

Uma sugestão da reunião em relação ao M0 é ampliar a utilização do conceito de eficiência no gargalo através de uma medida das razões da ineficiência que são dadas pela fórmula:

$$1 - \mu_g$$

O importante neste caso é criar uma tipologia de paradas específicas para o box gargalo, dado que a tipologia proposta no M0 leva em conta a linha de montagem como um todo.

Outra melhoria sugerida foi gerar indicadores com o objetivo de mensurar a relação existente entre o μ_g^{mult} projetado x μ_g^{mult} real. A diferença entre estas

mensurações está no denominador na medida em que o número de pessoas dimensionadas inicialmente pode variar, bem como a Jornada de Trabalho real pode ser distinta da projetada (por exemplo: em função da execução de horas extras).

O importante é perceber que a linha pode ter a mesma μ_g e diferente μ_g^{mult} . Portanto, os participantes da reunião sugeriram que estes dois indicadores μ_g e diferente μ_g^{mult} devem ser observados e analisados em conjunto, dado que é útil para fins de análise observar, simultaneamente, tanto a produção da linha de montagem em quantidade como o indicador que considera a utilização das pessoas N x J.

Um último indicador ainda a ser sugerido é o da aderência a programação, que é explicitado na Equação 12. Aderência percentual é calculada através da diferença entre a produção prevista e a produção realizada. O objetivo deste indicador é acompanhar a aderência do número de carretas produzidas a programação da produção.

$$ADR = 1 - \frac{|Pr - Re|}{Re} \quad (12)$$

Onde:

Pr = número de carretas prevista para o dia;

Re = número de carretas fabricadas durante o dia;

ADR = aderência a programação

Todas as sugestões propostas para serem incorporadas no M1 estão sintetizadas a seguir:

- Adotar o conceito de eficiência observado no caso empírico da empresa;
- Adotar o conceito de ineficiência no dimensionamento da mão-de-obra;
- Adotar dois indicadores de apoio para as medidas de eficiência: i) eficiência da mão-de-obra; ii) ineficiência da mão-de-obra por problemas externos;
- Melhorar a utilização do conceito de IROG do gargalo, através da geração de uma tipologia de paradas específicas para o gargalo;
- Comparar o índice de multifuncionalidade projetado com o índice de multifuncionalidade real visando verificar as razões das diferenças observadas;
- Geração do indicador de Aderência a Programação.

Passo 20: Método de trabalho – TOC

Esta etapa foi considerada fundamental na aplicação da metodologia na medida em que as pessoas envolvidas no dimensionamento bem como os próprios operadores passaram a compreender a importância de que o gargalo seja localizado em um determinado box e, a partir daí, ser monitorado ao longo do tempo. Com a utilização desta lógica o box gargalo passou a ter um tratamento gerencial diferenciado, o que conforme os relatos do pessoal envolvido, tendeu a facilitar para a melhoria na eficácia de utilização da linha de montagem em cena.

Passo 21: Operacionalização da linha de montagem

Na operacionalização da linha de montagem foi dada especial atenção para a observância das operações-padrão previamente projetadas e constantes na documentação. Além disso, a documentação serviu para melhorar o desempenho do treinamento dos operadores. Porém, evidentemente, este processo de compatibilização entre as atividades projetadas e realizadas não é fácil no mundo real na medida em que foram observadas variações da demanda que tendem a implicar em alterações na forma de utilização dos operadores. Portanto, esta adequação da teoria no mundo real implica em esforços sistemáticos dos participantes para melhorar a eficácia do desempenho global do sistema produtivo. Ainda, na operacionalização passou a ser controlado, no final da linha, o indicador de produção hora/hora. Este indicador proposto no método M0 mostrou-se relevante porque permite uma avaliação direta e simples de como a linha está funcionando para atender a demanda. Este indicador sugere, portanto, a adoção ações imediatas para a realização da produção projetada hora a hora.

Passo 22: Ações para solução de problemas

Nesta etapa foi possível constatar que, através da adoção de uma tipologia de parada de linhas realista torna-se possível agir de forma cada vez mais precisa e focada sobre os problemas mais relevantes que afetam o desempenho da linha. Os Planos de Ação (PAs) passaram a serem incorporados na reunião de gestão com o acompanhamento de datas e resultados dos planos propostos.

6.2 AVALIAÇÃO SEGUNDO O *DESIGN RESEARCH*

O processo de pesquisa foi conduzido seguindo os passos do *Design Research*, ampliando o debate sobre métodos emergentes de construção de conhecimento no campo da engenharia. Embora tenha optado pela simplificação em algumas avaliações estatísticas, a pesquisa foi conduzida com rigor metodológico e seus resultados estão sendo comunicados através desta dissertação.

De acordo com Hevner *et al.*(2004) que propõe algumas diretrizes a serem seguidas para a avaliação segundo o DR. No Quadro 6 é apresentada um resumo desta avaliação.

Quadro 6 - Avaliação segundo DR

Diretriz	Avaliação
O artefato em si	Atendido, pois foi proposto um método para dimensionamento de linhas de montagem.
Relevância do problema	Atendido, conforme descrito no capítulo 1. Afora isso, foram criadas contribuições conceituais no intuito de preencher lacunas discutidas no trabalho.
Desempenho do artefato	Atendido parcialmente. Apesar de o método ter sido aplicado na prática e a avaliação descritiva de cada etapa proposta, entende-se que o artefato poderia ter sido melhor apoiado por análises quantitativas.
Contribuição da pesquisa	Atendido, pois o produto final foi um artefato sustentado por premissas teóricas e práticas, gerando conhecimento durante o processo de elaboração deste artefato.
Rigor da pesquisa	Atendido parcialmente, as ferramentas quantitativas poderiam ter sido mais usadas.
O processo de pesquisa	Atendido, pois ampliou a discussão sobre métodos pouco usados no campo da engenharia.
Comunicação da pesquisa	Atendido, originando a uma dissertação de mestrado e futuras publicações científicas.

Fonte: Elaborado a partir de Hevner *et al.* (2004).

6.3 AVALIAÇÃO GERAL DO MÉTODO E APRESENTAÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA MELHORIA DO MESMO

Uma importante análise objetivando avaliar a eficácia do artefato gerado pela pesquisa trata dos resultados obtidos na aplicação do método em um ambiente empresarial. A partir dos resultados apresentados anteriormente, é possível estabelecer um conjunto de discussões críticas a respeito do método proposto – M0. No entanto, cabe destacar como uma limitação do trabalho, que foi realizado, em função do tempo disponível para a elaboração da dissertação, apenas um ciclo completo de aplicação do método. Deste modo, as reflexões que se seguem estão associados, da ótica empírica, ao teste piloto realizado.

De acordo com a aplicação deste método é possível salientar os seguintes pontos em relação à aplicação do mesmo:

- O artefato tende a preencher a necessidade da empresa na medida em que a mesma não apresentava um método formalizado para o dimensionamento de linhas de montagem em boxes operadas por equipes – situação prática de todas as linhas de montagem da empresa selecionada para a elaboração do trabalho;
- O envolvimento da equipe de pessoas da empresa contribuiu para o desenvolvimento do método em termos de aplicabilidade no ambiente empresarial, análise crítica dos resultados e proposições de melhorias.

O método M0 em sua aplicação prática permitiu visualizar oportunidade de melhorias nos pontos destacados a seguir:

- Ao iniciar a aplicação do método foi possível perceber uma dificuldade no sentido de saber quais os profissionais que deveriam participar na elaboração do trabalho. Em função disso, uma sugestão que parece relevante é sugerir a criação de um passo no método M1 onde o foco é a análise crítica e definição da equipe que será utilizada para a implantação do método.
- Quando da aplicação do método foi identificada, tanto pelo autor do método como da equipe de implantação utilizada, que equipe de trabalho não possuía um conhecimento compartilhado tanto dos conceitos como do método M0 proposto. Neste sentido, uma sugestão passível de ser seguida é a inserção de uma capacitação tecnológica

(envolvendo tanto os conceitos básicos da TOC e do STP, como a lógica do método proposto) prévia para os integrantes da equipe de implementação do método. Ainda, sugere-se que exista uma capacitação do método para os profissionais que atuam nas linhas de montagem onde o mesmo será aplicado.

- percebeu-se durante a aplicação do método, a importância de entender a frequente mudança na estrutura da demanda. A implicação disto é que se torna necessário pensar o método M0 proposto a partir de uma perspectiva dinâmica, ou seja, questionando permanentemente os pressupostos utilizados para a elaboração do projeto e, alternativamente, verificando a possibilidade de modificar os padrões operacionais para se adaptar a estas mudanças na demanda (por exemplo: quando de alterações da demanda para valores moderadamente inferiores modificar as jornadas de trabalho para manter o mesmo *takt-time*) e, desta forma, gerar um *buffer* para os eventuais problemas que possam ocorrer na linha de montagem em cena.

Após todas as discussões a respeito da aplicação do método M0, as melhorias sugeridas foram analisadas e incorporadas no método M1. Todas estas alterações serão apresentadas na seção a seguir.

6.3 MÉTODO PROPOSTO M1

Após a aplicação do método proposto (M0), tornou-se possível observar seu funcionamento, assim como verificar um conjunto de pontos a serem melhorados. Sendo assim, torna-se possível propor um novo método (M1) - Figura 78. O método M1 contempla modificações no método M0 a partir das discussões críticas realizadas nos itens anteriores.

A primeira modificação está relacionada aos indicadores propostos no método M0. Um indicador de eficiência da utilização das pessoas que não constava no método M0 deve ser incluído no método M1.

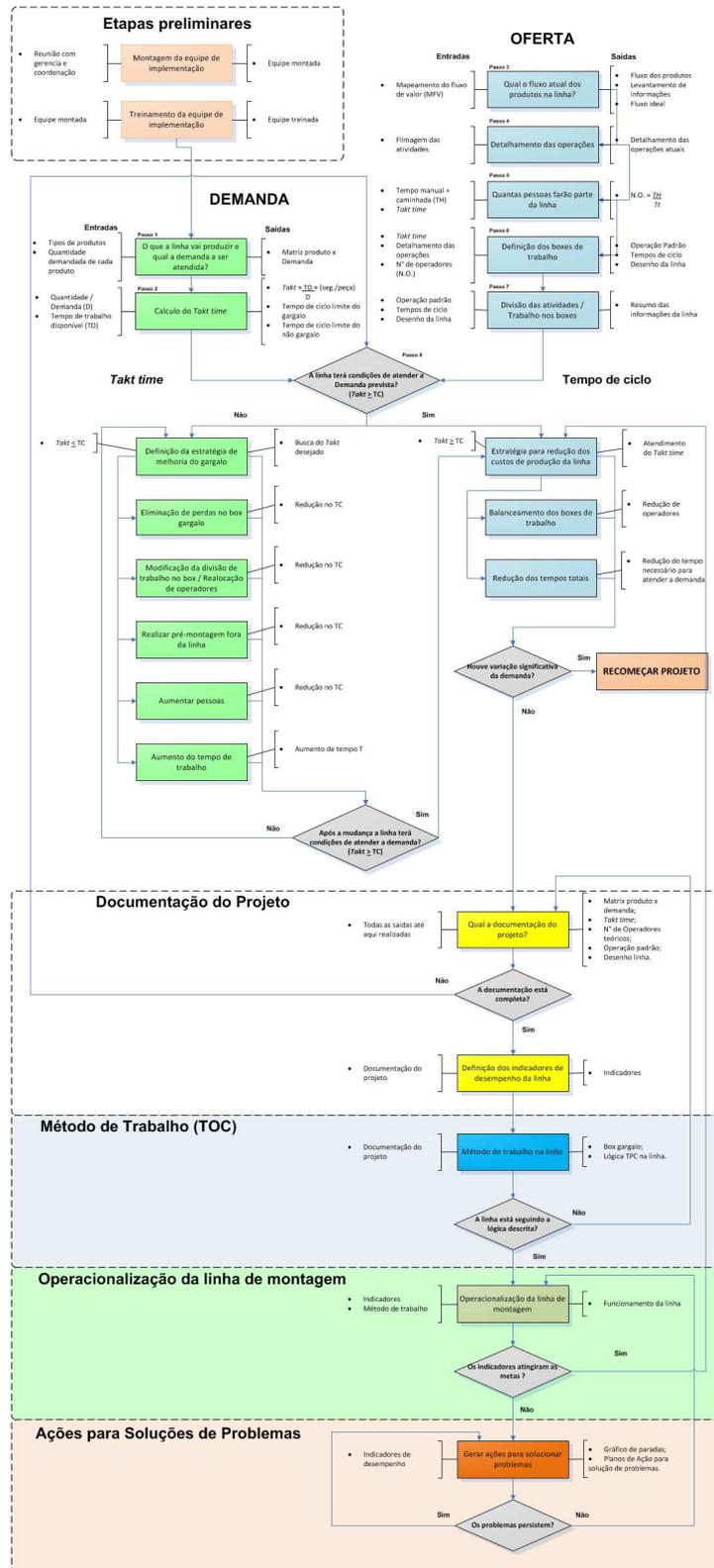
Ainda, sugere-se incluir um indicador de aderência à programação, sugerido em reunião de avaliação do método com os gestores da empresa onde o método foi aplicado. Ainda no que tange ao tema dos indicadores houver sugestões no sentido

de aprimorar o M0. No caso do indicador de eficiência (indicador já adotado na empresa) é relevante criar um indicador correlato – ineficiência da mão-de-obra de problemas externos - que considere o tempo disponível para o trabalho dos operadores, sendo descontadas as interferências externas (peças/conjuntos com problemas de qualidade; manutenção da linha; problemas de programação; falta de materiais; falta de ponte rolante, problemas de engenharia).

Para finalizar a questão de indicadores, deve ser incluído no método um indicador de eficiência da mão-de-obra para aprimoramento do método.

Outra melhoria a ser considerada no método M1 é a inclusão de um treinamento para nivelamento da equipe de trabalho, com o objetivo de criar um compartilhamento do conhecimento nas ferramentas e técnicas do STP e da TOC utilizadas na aplicação do método, bem como do próprio método à todos os participantes da implantação e, também, para os operadores das linhas de montagem onde o método será adotado. A Figura 78 apresenta o Método M1.

Figura 78 - Nova proposta de método (M1) construída a partir da aplicação e avaliação do método M0



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

7 CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O objetivo deste estudo foi desenvolver e testar um método para dimensionamento e gestão de linhas de montagem operadas por equipes, utilizando uma abordagem a partir do Sistema Toyota de Produção (STP) e da Teoria das Restrições (TOC). Para a execução deste método e alcançar este objetivo foi utilizada a estrutura metodológica do DR.

O objetivo deste capítulo será apresentado em três etapas: i) conclusões da dissertação; ii) limitações da pesquisa; e iii) sugestões e recomendações para trabalhos futuros.

7.1 CONCLUSÕES

A participação dos profissionais da empresa na construção do método contribuiu para uma aprendizagem na parte teórica e em uma ampliação do conhecimento organizacional. Assim, pode-se concluir que o método contribuiu para o aumento do conhecimento, à medida que a execução de cada fase exigiu muitas discussões e entendimentos dos participantes.

Na percepção dos profissionais envolvidos na aplicação do método os resultados foram satisfatórios. A justificativa a cerca desta percepção encontram-se nos seguintes tópicos:

- a empresa passou a discutir o que a linha irá produzir e analisar a demanda destes itens, criando uma matriz de produto x demanda, onde é possível analisar a variação na demanda e conhecer sua sazonalidade;
- o cálculo do *takt time* começou a ser feito não somente para ter um norte, mas sim, para ser seguido pela linha de montagem, e com ele a empresa iniciou o cálculo de outros dois pontos importantes para o atingimento do *takt time*:
 - cálculo do tempo de ciclo limite do box gargalo;
 - cálculo do tempo de ciclo limite do box não gargalo.

- a empresa iniciou a realização do mapeamento do fluxo de valor, para conseguir visualizar a agregação de valor de seus produtos como suas perdas no sentido de eliminá-las.
- iniciou-se um processo de filmagens para cronoanalisar para com isso conseguir um melhor detalhar das operações.
- calcular a quantidade mínima de pessoas para que o processo possa funcionar, para conseguir comparar com quantas pessoas conseguiu-se na prática, para com isso ter um balizador da utilização da mão-de-obra.
- criação da operação-padrão para a linha toda, com isso conseguindo documentar o trabalho realizado facilitando no treinamento de operadores novos e na execução do trabalho para os operadores atuais.
- criação de estratégias para melhoria do gargalo e estratégia para redução dos custos de produção da linha;
- formalização de toda a documentação criada na aplicação do método e criação de local para arquivamento deste material para acesso das pessoas interessadas;
- criação de indicadores de desempenho que possam melhorar o resultado financeiro econômico da empresa;
- utilização de um método de trabalho para funcionamento da linha; e
- criação de planos de ações para soluções de problemas.

A avaliação do método poderia ser melhorada com a aplicação do método em outras linhas, onde a demanda demonstra uma maior variação.

7.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Em termos de limitações da presente pesquisa parece conveniente ressaltar os seguintes pontos:

- no caso estudado, a não utilização da estratégia para redução dos custos de produção da linha, não demonstrou a contribuição que esta etapa do método poderia gerar para um melhor resultado;

- existem limitações relacionadas com a impossibilidade de divulgação de algumas informações alcançadas na aplicação deste estudo. Se isso fosse possível, os resultados obtidos poderiam estar melhor ilustrados.
- ainda, não é possível generalizar esse método para todas as empresas, devido à natureza do *Design Research*. Entretanto é possível adaptar este método para a realidade de outras empresas.

7.3 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões e recomendações para trabalhos futuros, sugerem-se estudos que visem:

- estender a aplicação do método para outras empresas em outros ramos;
- aplicação do método proposto e utilização dos indicadores propostos na avaliação da implementação;
- estudar a colocação de um passo para questionar a quantidade de boxes que a linha deve ter;
- estudar um passo de conscientização e criação de diretrizes para a definição de onde o box gargalo deve ser criado;
- criar regra de balanceamento para que o box após o gargalo tenha o menor tempo de ciclo em relação aos outros; e
- estudo da possibilidade de inserir no método proposto novos passos no sentido de facilitar sua aplicação.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, R. R., ANTUNES, J. A. V. JR. **Takt-Time: Conceitos e Contextualização Dentro do Sistema Toyota de Produção**. Gestão & Produção, São Carlos, v. 8, n. 1, p. 1-18, 2001.
- ANTUNES, J. A. V. JR.; RODRIGUES, L. H. **A teoria das restrições como balizadora das ações visando a troca rápida de ferramentas**. Produção, 1993.
- ANTUNES JR., J. A. V., ALVAREZ, R., BORTOLOTTI, P., KLIPPEL, M. e PELLEGRIN, I. **Sistemas de Produção**. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- ANTUNES JR., J. A. V.; KLIPPEL, M. **Uma Abordagem Metodológica para o Gerenciamento das Restrições dos Sistemas Produtivos: a gestão sistêmica, unificada/integrada e voltada aos resultados do posto de trabalho**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, 21, 2001, Salvador. Anais. Salvador: FTC, UNIMEP, UFRGS, UFSC e ABEPRO, 2001.
- ANTUNES JR., J. A. V. **Em direção a uma teoria geral do processo na administração da produção: uma discussão sobre a possibilidade de unificação da teoria das restrições e da teoria que sustenta a criação dos sistemas de produção com estoque zero**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.
- BAYAZIT, Nigan. **Investigating Design: A Review of Forty Years of Design Research, Massachusetts Institute of Technology: Design Issues**, v. 20, n.1, p.16-29, 2004.
- BECKER, C., SCHOLL, A. **A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing**. European Journal of Operational Research 168, 694–715, 2006.
- BOYSEN, N., FLIEDNER, M., SCHOLL, A. **A classification of assembly line balancing problems**, European Journal of Operational Research 183 (2007) 674–693.
- BOYSEN, N., FLIEDNER, M., SCHOLL, A. **Assembly line balancing: Which model to use when?**. Int. J. Production Economics 111, 509–528, 2008.
- BURGOYNE, J., JAMES, K. **Towards Best or Better Practice in Corporate Leadership Development: Operational Issues in Mode 2 and Design Science research**. British Journal of Management. v. 17, p. 303-316, 2006.

- CHAKRABARTI, A. ***A course for teaching design research methodology, Artificial Intelligence for Engineering Design***, Analysis and Manufacturing, v. 24, p. 317-334, 2010.
- CHASE, R. B.; AQUILANO, N. J. ***Gestão da produção e das operações: perspectiva do ciclo de vida***. Lisboa: Monitor, 1995.
- CORBETT, T. ***Contabilidade de ganhos***. São Paulo: Editora Nobel. 1997.
- CORRÊA, H., L., GIANESI, I. G., N. & CAON, M. ***Planejamento, Programação e Controle da Produção***. Editora Atlas, São Paulo, 1997.
- COX III, J. F.; BLACKSTONE, J. H.; SPENCER, M. S. ***APICS Dictionary***. 8th ed., Falls Church VA: American Production and Inventory Society, 1995.
- DIMITRIADIS, S.G. ***Assembly line balancing and group working: A heuristic procedure for workers' groups operating on the same product and workstation***. Computers & Operations Research 33 (2006) 2757–2774
- EDWARD, D. K.; EDYELLI, R. C.; e RICHA, C. ***Standard operations - the key to continuous improvement in a just-in-time manufacturing system***. Production and Inventory Management Journal. Third Quarter, 1993.
- EMILIANI M. L. ***Standardized work for executive leadership***. Leadership & Organization Development Journal. V. 29, N. 1. 2008. P.22-46.
- FAN, W.; GAO, Z.; XU, W.; XIAO, T. ***Balancing and simulating of assembly line with overlapped and stopped operation***. Simulation Modelling Practice and Theory 18 (2010) 1069–1079.
- FERREIRA, P., R., W. ***Uma Metodologia de Implantação e Condução da Padronização Industrial em Uma Indústria Metal-Mecânica***. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, 1995.
- FORD, H. ***Hoje e Amanhã***. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1927.
- FRUTOS, J. D.; BORENSTEIN, D. ***A framework to support customer-company interaction in mass customization environments***. Computers in Industry, Groningen (Holanda), v. 54, n. 2, p. 115-135, 2004.
- FRY, T. D.; KARWAN, K.; STEELE, D. C. ***Implementing Drum-Buffer-Rope to Control Manufacture Lead Time***. The International Journal of Logistics Management. v. 2, n. 1, 1991.
- GAGNON, R., J.; GHOSH, S. ***Assembly Line Research: Research Life Cycles and Historical Roots, Future Directions***. OMEGA Int. J. of Mgmt Sci.. Vol. 19. No. 5. pp. 381-399. 1991.

- GAITHER, N. ***Production and Operations Management***. 5. Ed. Orlando, FL, Harcourt Brace Jovanovitch, Publishers, 1992, p.133
- GHOSH S., GAGNON, R.,J. ***A comprehensive literature review and analysis of the design, balancing, and scheduling of assembly systems***. Int. J. Prodn Res. 27(4), 637-670. 1989.
- GOLDRATT, E.M.; COX, J. ***A meta: um processo de aprimoramento contínuo***. São Paulo: IMAM, 1986.
- GOLDRATT, E.M.; FOX, R.E. ***A corrida pela vantagem competitiva***. São Paulo: IMAM, 1989.
- GOLDRATT, E. M.. ***Standing on the shoulders of giants: production concepts versus production applications. The Hitachi Tool Engineering example***. Gest. Prod., São Carlos, v. 16, n. 3, set. 2009.
- GHINATO, P. ***Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente Just in Time***. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 1996.
- HAY, E. 1992. ***Just in Time: um exame dos novos conceitos de produção***. São Paulo: Maltese, 1992.
- HAYES, R., PISANO, G., UPTON, D., WHEELWRIGHT, S. ***Em busca da vantagem competitiva***. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- HANSEN, R. C. ***Overall Equipment Effectiveness: A Powerful Production / Maintenance tool for Increased Profits***. New York: Industrial Press, 2002.
- HARMONN, R. L.. ***Reinventando a Fábrica I***. Editora Campus, Rio de Janeiro, 1991
- HELGESON, W., B. BIRNIE D., P. ***Assembly line balancing using the ranked positional weight technique***. J. Ind. Engng, 12 (6), 394-398 (1961).
- HELGA, N., SCOTT, P., GIBBONS, M. ***Re-Thinking Science: Knowledge and the Public in an Age of Uncertainty***, London: Polity Press with Blackwell Publishers, 2001.
- HEVNER, A., M., S., PARK, J., RAM, S. ***Design science in information systems research***, MIS Quarterly, 28, 1, 75-105, 2004.
- HIRANO, H. ***JIT Implementation Manual***. Portland : Productivity Press, 1990.
- JOHNSON, R. V. ***Balancing assembly lines for teams and work groups***. International Journal of Production Research (1991) 29, 1205–1214.
- KLIPPEL, A. F. ***O Sistema Toyota de Produção e a Indústria de Mineiraç o: uma experiência de gestão da produtividade e da qualidade nas minas de fluorita do***

estado de Santa Catarina. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, 1999.

KLIPPEL, A. F.; ANTUNES, J. A. V.; KLIPPEL, M.; CASSEL, R. A.; JORGE, R. R. **O desdobramento do Índice de Rendimento Operacional Global (IROG) como pilar de sustentação para a abordagem da Gestão dos Postos de Trabalho (GPT) para sistemas produtivos.** In: SIMPÓSIO SOBRE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA - SEGET, 1, Resende. Anais. Rio de Janeiro, 2004.

KLIPPEL, M. **Proposta de Uma Abordagem para a Gestão dos Postos de Trabalho de Sistemas Produtivos de Uma Organização Industrial de Forma com Base no Sistema Toyota de Produção e na Teoria das Restrições.** Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2002.

LAKATOS, E. M., MARCONI, M.M. **Fundamentos de Metodologia Científica.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 1991.

MABIN, V. J.; BALDERSTONE, S. J. ***The performance of the theory of constraints methodology: analysis and discussion of successful TOC applications.*** International Journal of Operations & Production Management, v.23, n.6, p568-595, 2003.

MANITZ, M. ***Queueing-model based analysis of assembly lines with finite buffers and general service times.*** Computers & Operations Research 35 (2008) 2520–2536.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção,** São Paulo; Saraiva, 2002.

MARCH, S.T.; SMITH, G.F. ***Design and natural science research on information technology, Decision Support Systems,*** v.15, p.251-266,1995.

MANSON, N.J., ***Is operations research really research?*** Operations Research Society of South Africa (ORSSA), 2006.

MILTENBURG J. ***U-shaped production lines: A review of theory and practice.*** International Journal of Production Economics 70 (2001) 201-214.

MONDEN, Y. **Sistema Toyota de Produção.** São Paulo: IMAM, 1984.

OLIVEIRA, R., P. **Método de implantação de trabalho padronizado no chão de fábrica: um estudo de caso.** São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, 2010.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção Além da Produção em Larga Escala.** Porto Alegre: Bookman, 1997.

- OZBAKIR, L., BAYKASOGLU, A., GORKEMLI, B., GORKEMLI, L. ***Multiplecolony ant algorithm for parallel assembly line balancing problem***. Applied Soft Computing 11(2011) 3186–3198.
- PANTALEÃO, L. H. 2003. **Desenvolvimento de Um Modelo de Diagnóstico da Aderência aos Princípios do Sistema Toyota de Produção (Lean Production System): um estudo de caso**. São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2003.
- PEREZ, J. L. **TOC for world class global supply chain management**. Computers Industrial Engineering, v.33, n.1-2, p289-293, 1997.
- RAHMAN, S. ***Theory of constraints: a review of the philosophy and its applications***. International Journal of Operations & Production Management, v.18, n.4, p.336-355, 1998.
- RAHMAN, S. ***The theory of constraints' thinking process approach to developing strategies in supply chain***. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, v.32, n.9/10, p.809-827, 2002.
- ROMM, J. J. **Um passo além da qualidade: Como aumentar seus lucros e produtividade através de uma administração ecológica**. São Paulo: Futura, 1996.
- ROTHER, M. e HARRIS, R. **Criando Fluxo Contínuo**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2002.
- ROTHER, M. & SHOOK, J.: ***Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda***. The Lean Enterprise Institute, Brookline, EUA, 1998.
- ROMME, A. GEORGES. L., ***Making a Difference: Organization as Design***. Organization Science, 2003.
- SALVENDY, G. ***Handbook of industrial engineering: Second Edition***. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1992.
- SEIDEL, A. **No sentido da implementação de um programa de troca rápida de ferramentas (TRF): um estudo de caso de uma empresa fornecedora de componentes para montadoras da indústria automobilística nacional**. São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, 2003.
- SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção Do Ponto de Vista da Engenharia de Produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996.
- SHOOK, Y: ***“Bringing the Toyota Production System to the United States: A Personal Perspective”***, in LIKER, J. (org.): **Becoming Lean: Inside Stories of U.S. Manufacturers**. Productivity, Portland, EUA, 1998.

- SIHA, S. ***A classified model for applying the theory of constraints to service organizations.*** *Managing Service Quality*, v.9, n.4, p.255-264, 1999
- SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. ***Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.*** Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.
- SCHRAGENHEIM, E.; DETTMER, H. W. ***Manufacturing at warp speed: optimizing supply chain financial performance.*** Boca Raton: CRC Press LLC, 2000. 342p.
- SIMON, H. A. ***The sciences of the artificial.*** Cambridge: The MIT Press, 1996.
- SKINNER, W. ***Manufacturing strategy on the “S” curve. Production and Operations Management***, v. 5, n 1, p. 3-14, 1996.
- SOUZA, F. ***Do OPT à Teoria das Restrições: avanços e mitos.*** *Gest. Prod.*, v. 15, n.24, p.184-197, 2005.
- TAKEDA, H., VEERKAMP, P., TOMIYAMA, T., YOSHIKAWA, H. ***Modeling Design Processes.*** *AI Magazine Volume 11 Number 4*, 1990.
- TUBINO, D., F. ***Manual de Planejamento e Controle da Produção.*** Editora Atlas, São Paulo, 1997.
- TRULLEN, J., BARTUNEK, J. M. ***What a Design Approach Offers to Organization Development.*** *Journal of Applied Behavioral Science*, v.42, n.23. 2007.
- UMBLE, M.; UMBLE, E. J. ***How to apply the theory of constraints’ five-step process of continuous improvement.*** *Cost Management*, Boston, v.12, n.5, 1998
- VAISHNAVI, V.; KUECHLER, W. ***Design Research in information systems*** (Online, 2011), disponível em < <http://desrist.org/design-research-in-information-systems>> Acessado em 20 de dezembro de 2011.
- VAN AKEN, J. ***Management research based on the paradigm of the design sciences: the quest for field-tested and grounded technological rules.*** *Journal of Management Studies*, 2004.
- VAN AKEN, J. ***Management research as a design science: articulating the research products of mode 2 knowledge production in management.*** *British Journal of Management*, 2005.
- UMBLE, M. & UMBLE, E. ***“Drum-Buffer-Rope for Lower Inventory”.*** *Industrial Management*. (1998), Setembro-Outubro, pp. 25-33.
- 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 No. 2, pp. (2007) 387-402.