

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA**

Tatiany Mafra da Silva

**MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR E SIMULAÇÃO A
EVENTOS DISCRETOS PARA A REDUÇÃO DE
DESPERDÍCIOS EM UMA FAMÍLIA DE PEÇAS USINADAS EM
UMA EMPRESA DO SETOR AUTOMOTIVO**

Florianópolis
2013

Tatiany Mafra da Silva

**MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR E SIMULAÇÃO A
EVENTOS DISCRETOS PARA A REDUÇÃO DE
DESPERDÍCIOS EM UMA FAMÍLIA DE PEÇAS USINADAS EM
UMA EMPRESA DO SETOR AUTOMOTIVO**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica da Universidade Federal de
Santa Catarina para a obtenção do
Grau de Mestre em Engenharia
Mecânica.

Orientador: Prof. João Carlos
Espíndola Ferreira, Ph. D

Florianópolis
2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva, Tatiany Mafra da

Mapeamento do fluxo de valor e simulação a eventos discretos para a redução de desperdícios em uma família de peças usinadas em uma empresa do setor automotivo / Tatiany Mafra da Silva ; orientador, João Carlos Espíndola Ferreira - Florianópolis, SC, 2013.

163 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Inclui referências

1. Engenharia Mecânica. 2. Simulação. 3. Mapeamento do fluxo de valor. 4. Redução de desperdícios. I. Ferreira, João Carlos Espíndola. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.

Tatiany Mafra da Silva

**MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR E SIMULAÇÃO A
EVENTOS DISCRETOS PARA A REDUÇÃO DE
DESPERDÍCIOS EM UMA FAMÍLIA DE PEÇAS USINADAS EM
UMA EMPRESA DO SETOR AUTOMOTIVO**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Florianópolis, 19 de setembro de 2013.

Prof. Armando Albertazzi Gonçalves Jr., Dr. Eng.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. João Carlos Espíndola Ferreira, Ph. D.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Abelardo Alves de Queiroz, Ph. D.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr. Eng.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Antonio Batocchio, Dr.
Universidade Estadual de Campinas

Dedico este trabalho a todos que passaram pela minha vida, e em especial, aos meus pais, Raimundo e Alzilete.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me concedido a graça de estar hoje relatando o término desta dissertação.

Agradeço em especial a orientação do Professor João Carlos Espíndola Ferreira, que se colocou à disposição para me orientar e pela paciência que sempre teve comigo, contribuindo para a construção de minha formação acadêmica.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM pelo apoio financeiro dado a esta pesquisa por meio de bolsa do Programa Rh-Posgrad. Também a Universidade Federal de Santa Catarina, ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica e a todos os Professores que contribuíram para o meu crescimento profissional.

A empresa na qual a pesquisa foi desenvolvida pela oportunidade, em especial as pessoas envolvidas diretamente na realização deste projeto: Eduardo, Gustavo, Alexsandro, Dirceu, Alexandre, Kleber, Adilson, Diovani, Mesias, Fábio, Charles, Nilson, Gerson, Roberto, Cristiano e ao Murilo.

O Cássio e o Fabiano, que proporcionaram a minha ida para a empresa. A Osvaldina e a Maria, que auxiliaram nesse processo de transição. O Cremilson e o José que foram meus orientadores em outros trabalhos na empresa. O Brinkas, Rafael, a Renata, Alessandra e a Juliana pela colaboração em diversos trabalhos. E aos demais colegas pela amizade.

E em particular à minha família, que sempre me incentivou nos momentos mais difíceis: o meu pai, Raimundo, a minha mãe, Alzilete, e as minhas irmãs, Tainne e Thaís.

A ação sem filosofia é uma arma letal; e filosofia sem ação não tem valor algum.

(Soichiro Honda).

RESUMO

Com o aumento da concorrência tornou-se inevitável a busca por novos mercados tanto para vender o produto acabado quanto para conseguir a matéria-prima. Esse aumento de competitividade fez com que as empresas buscassem meios de eliminar os desperdícios que surgiam na cadeia de valor. Assim, a manufatura enxuta tem sido cada vez mais utilizada nas organizações com o objetivo de eliminar esses desperdícios, tornando as empresas mais competitivas e eficientes. Deste modo, o presente trabalho tem por objetivo utilizar o mapeamento do fluxo de valor e simulação para a implementação de um fluxo de valor enxuto em uma família de produtos de uma empresa do setor automotivo, que contém cinco modelos de cabeçotes diferentes que passam por etapas semelhantes de processamento e utilizam equipamentos similares em seus processos, com o intuito de enxergar novas oportunidades de melhorias com a complementação destes métodos, facilitando a tomada de decisão dos melhores cenários simulados. Os resultados alcançados pela aplicação dos métodos propostos ao processo de produção de cabeçotes foram os seguintes: redução no lead time (tempo de atravessamento), aumento na taxa de ocupação, melhoras no gerenciamento visual, aumento da produtividade e uma proposta de reduzir a quantidade de embalagens no processo por meio da logística reversa, de acordo com a Lei Nº 12305/2010 sobre resíduos sólidos em que deve-se gerar a menor quantidade de resíduos sólidos possíveis.

Palavras-chave: Manufatura Enxuta. Mapeamento do Fluxo de Valor. Redução de Desperdícios. Simulação. Logística Reversa.

ABSTRACT

With the increased competition it has become inevitable the search for new markets in order both to sell the finished product and to obtain the raw material. This increased competition has lead companies to seek ways to eliminate waste that arose in the value chain. Thus, lean manufacturing has been increasingly used in organizations with the goal of eliminating such waste, making companies more competitive and efficient. This study seeks to use value stream mapping and simulation for the implementation of a lean value stream in a family of products from a company in the automotive sector, which is composed of five models of different cylinder heads that go through similar processing steps and use similar equipment in their processes, in order to identify new opportunities for improvement with the completion of these methods, facilitating the decision making of the best simulated scenarios. The results achieved by the application of the proposed methods to the production process of cylinder heads were: lead time reduction, increase in occupancy rates, improvements in visual management, increased productivity, and a proposal to reduce the amount of packaging through reverse logistics, according to law no. 12305/2010 on solid waste, through which companies should generate the least amount of solid waste.

Keywords: Lean manufacturing. Value Stream Mapping. Waste Reduction. Simulation. Reverse Logistics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Casa do STP. Fonte: Ghinato (2000).....	36
Figura 2 - a) Produção em massa e b) Produção enxuta. Fonte adaptada de: Slack, Chambers e Johnston (2009).....	40
Figura 3 - Separação entre o Homem e a Máquina. Fonte: Guinato (2000).....	42
Figura 4 - Modelo iceberg do Sistema Toyota de Produção. Fonte adaptada de: Liker (2005).....	44
Figura 5 - Ícones do fluxo de materiais. Fonte adaptada de: Kappes (2011).	47
Figura 6 - Oito desperdícios. Fonte adaptada de: Marcos, 2011.....	48
Figura 7 - Desenho do estado atual. Fonte adaptada de: Rother e Shook (2003).	50
Figura 8 - Desenho do estado futuro. Fonte adaptada de: Rother e Shook (2003).	52
Figura 9 - Representação esquemática dos processos logísticos diretos e reversos. Fonte: Lacerda (2002 apud ADMAIER; SELLITTO, 2007).....	56
Figura 10 - Gráfico de balanceamento dos operadores. Fonte adaptada de: Rother e Harris (2002).	61
Figura 11 - Gráfico de Gantt. Fonte: Camarotto (2006).	62
Figura 12 - Passos em um estudo envolvendo modelagem e simulação. Fonte adaptada de: Freitas Filho (2008).	66
Figura 13 - Classificação dos processos de fabricação. Fonte adaptada de: Santos (2005).....	71
Figura 14 - Formação do cavaco. Fonte: Stoeterau (2007).	72
Figura 15 - Cabeçote de motor estudado. Fonte: Empresa (2012).....	73
Figura 16 – Etapas do MFV. Fonte adaptada de: Kappes (2011).	75
Figura 17 – Etapas para a modelagem e simulação. Fonte adaptada de: Freitas Filho (2011).	75
Figura 18 - Planta baixa da linha de cabeçotes. Fonte: Empresa (2012).....	78
Figura 19 - Planta baixa de áreas pertinentes para o estudo. Fonte: Empresa (2012).	79
Figura 20 – Mapa do Fluxo de Valor Estado Atual. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	82
Figura 21 - Resumo do Mapa do Estado Atual. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	85
Figura 22 - Tempo de ciclo x takt time. Fonte adaptada de: Rother; Harris (2002).	85
Figura 23 - Tempo de Ciclo por Operações Atual. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	86
Figura 24 - Gráfico de Gantt Atual Operação 10. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	88
Figura 25 - Tempo de ciclo manual dos operadores. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	89

Figura 26 - Taxa de ocupação dos operadores. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	91
Figura 27 - Mapa do Fluxo de Valor Estado Futuro. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	95
Figura 28 - Gráfico Yamazumi OP's 20 e 30. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	98
Figura 29 - Gráfico Yamazumi OP's 40 e 50. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	100
Figura 30 - Gráfico Yamazumi OP's 50, 60 e 70. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	102
Figura 31 - Gráfico Yamazumi OP's 80, 90, 100 e 110. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	104
Figura 32 - Gráfico Yamazumi OP's 120 e 130. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	106
Figura 33 - Gráfico Yamazumi OP's 145 e 150. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	108
Figura 34 - Melhorias no gerenciamento dos materiais. Fonte: Dados da Empresa (2012).	109
Figura 35 - Leiaute atual x leiaute futuro proposto. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	110
Figura 36 - Gráfico Yamazumi OP's 170, 175, 180 e 190. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	111
Figura 37 - Embalagem atual para o mercado externo. Fonte: Dados da Empresa (2012).	112
Figura 38 - Proposta 1 para a embalagem. Fonte: Dados da Empresa (2012).	113
Figura 39 - Testes de compressão e vibração. Fonte: Dados da Empresa (2012).	113
Figura 40 - Proposta 2 para a embalagem. Fonte: Dados da Empresa (2012).	115
Figura 41 – Plano de ação adaptado para o estudo. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	116
Figura 42 - Melhoria implementada para OP's 145 a 190. Fonte: Dados da Empresa (2012).	118
Figura 43 - Melhoria implementada para OP's 145 a 190. Fonte: Dados da Empresa (2012).	119
Figura 44 - Melhoria no gerenciamento visual. Fonte: Dados da Empresa (2012).	120
Figura 45 - Melhoria no gerenciamento visual. Fonte: Dados da Empresa (2012).	120
Figura 46 - Fluxograma da linha de produção estudada neste trabalho. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	124
Figura 47 – Tela do Input Analyzer – Arena para a OP 180. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	126
Figura 48 - MFV atual via simulação tela do Arena. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	129

Figura 49 - Diagrama de precedência para a linha em estudo. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).....	130
Figura 50 - Resultado das amostras das lavadoras. Fonte: Dados da Empresa (2012).	131
Figura 51 - Leiaute atual x leiaute futuro proposto. Fonte: Dados da Empresa (2012).	131
Figura 52 - Demanda de 150 cabeçotes/dia. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	132
Figura 53 - Demanda de 162 cabeçotes/dia. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	132
Figura 54 - Tempo médio no sistema para cada demanda. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	133
Figura 55 - Cenário escolhido com 9 operadores e sem alteração das lavadoras. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	134
Figura 56 - Cenário escolhido com 9 operadores e sem alteração das lavadoras. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Motivos estratégicos de as empresas operarem os canais reversos. ...	57
Tabela 2 - T/C operações especiais centros de usinagem.	84
Tabela 3 - T/C operações especiais embalagem.	84
Tabela 4: Comparativo das Melhorias Implementadas	137

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CDR – Canais de Distribuição Reversa
CLM – Council of Logistics Management
CNC – Comando Numérico por Computador
EPR – Extended Product Responsibility
GBO – Gráfico de Balanceamento de Operadores
GM – General Motors
JIT – Just-in-Time
LEI – Lean Enterprise Institute
ME – Manufatura Enxuta
MFV – Mapeamento do Fluxo de Valor
OP – Operação
PCP – Planejamento e Controle da Produção
RPM – Rotações por Minuto
STP – Sistema Toyota de Produção
TAV – Tempo de Agregação de Valor
T/C – Tempo de Ciclo
TR – Tempo de Troca
WIP – Work-in-Process

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA	27
1.2	OBJETIVOS	28
1.2.1	Objetivo Geral	28
1.2.2	Objetivos Específicos	29
1.3	CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO	29
1.4	METODOLOGIA	29
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	30
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
2.1	ORIGENS DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO	33
2.2	MANUFATURA ENXUTA – ME	37
2.3	JUST-IN-TIME (JIT)	39
2.4	AUTONOMAÇÃO.....	41
2.4.1	Separação Homem – Máquina	42
2.4.2	Poka – Yoke	43
2.5	FILOSOFIA DO MODELO TOYOTA	43
2.6	MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR – MFV	44
2.6.1	Mapa do Estado Atual	49
2.6.2	Mapa do Estado Futuro	51
2.6.3	Implementação do Trabalho	53
2.7	LOGÍSTICA REVERSA	54
2.7.1	Embalagens Retornáveis	58
2.7.2	Legislação	58
2.8	ESTUDO DOS TEMPOS	60
2.9	SIMULAÇÃO.....	62
2.9.1	Vantagens e Desvantagens da Simulação	63
2.9.2	Classificação dos Modelos de Simulação	64
2.9.3	Passos para a Simulação	65
2.9.4	Erros no Emprego da simulação	67
2.9.5	Software de Simulação	67
2.9.6	Terminologias Utilizadas na Simulação	68
2.9.7	Trabalhos de Mapeamento do Fluxo de Valor com Simulação	69
3	ESTUDO DE CASO: UTILIZAÇÃO DE MFV E SIMULAÇÃO EM UMA EMPRESA DE USINAGEM DE PEÇAS AUTOMOTIVAS	71
3.1	PROCESSO DE FABRICAÇÃO USINAGEM	71
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO.....	73
3.3	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA PRODUTIVO.....	73
3.4	DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO	74
4	ETAPA I – MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR	77

4.1	PLANEJAMENTO.....	77
4.2	SITUAÇÃO ATUAL.....	77
4.2.1	Coleta de Dados	80
4.2.2	Mapeamento do Fluxo de Valor – Estado Atual	81
4.2.3	Estudo dos Tempos Atual.....	87
4.2.4	Análise do Estado Atual	92
4.3	SITUAÇÃO FUTURA	93
4.3.1	Mapeamento do Fluxo de Valor – Estado Futuro.....	93
4.3.2	Estudo dos Tempos Futuros.....	96
4.3.3	Embalagem.....	112
4.4	IMPLEMENTAÇÃO.....	115
5	ETAPA II – SIMULAÇÃO	123
5.1	PLANEJAMENTO.....	123
5.2	MODELAGEM	125
5.3	EXPERIMENTAÇÃO.....	130
5.4	TOMADA DE DECISÃO	133
5.5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	136
6	CONCLUSÃO	139
6.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	139
6.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	140
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	141
	APÊNDICE A – Gráficos de Gantt	151
	APÊNDICE B – Dados do Input Analyzer	163

1 INTRODUÇÃO

A abertura dos mercados, a recessão no começo dos anos 1990, a globalização e o aumento da concorrência fizeram com que desde microempresas até grandes multinacionais repensassem seus modelos vigentes de produção (TUBINO, 2000).

Segundo Paladini (2009), com o fim do monopólio de mercado, as empresas nacionais se viram pressionadas por concorrentes externos. A partir desse momento, as empresas resolveram dar ênfase maior à qualidade. Para o autor, a existência da concorrência é a principal incentivadora da qualidade.

Atualmente, é inevitável a busca por maiores mercados, tanto para obter matéria-prima quanto para vender o produto acabado. Hoje, com a facilidade da informação, não há distância geográfica que impeça que o consumidor busque aquilo que ele deseja (TUBINO, 2000).

De acordo com Paladini (2009, p. 5), somente “[...] quem souber criar e continuar criando diferenciais [...]” sobreviverá às transformações desse mercado dinâmico. Ou seja, permanecerá no mercado quem se adapta e busca melhorias.

Para Tubino (2000), as empresas têm duas opções: ou elas adaptam suas matrizes de custos, reduzindo custos fixos com aumento da produção e vendas, ou então saem do mercado.

Assim sendo, o sistema de gestão em massa até então dominante na década de 1950, baseado na produção em larga escala, passou a não ser mais vantajoso. Por outro lado, o modelo de gestão enxuto dos japoneses tem como objetivo agregar o máximo de valor ao produto a partir da ótica do cliente. Dessa forma, o Modelo Toyota busca a eliminação consistente e completa de desperdícios com o propósito de se alcançar mais mercados, otimizar os recursos e proporcionar ao cliente produtos da mais alta qualidade (KAPPES, 2011).

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Devido às condições do mercado ou então à necessidade de atender clientes cada vez mais distantes, atualmente há uma significativa flutuação na demanda, o que acaba por sua vez gerando mais custos tais como o da superprodução. Percebe-se que essas mudanças na demanda não são passadas para o chão de fábrica, ou seja, continua-se trabalhando com a mesma capacidade de antes. Alguns problemas decorrentes desse contexto são os seguintes:

- Acúmulo de estoques de produtos acabados;
- Baixo aproveitamento dos recursos humanos;
- Arranjo físico desfavorável gerando mão de obra a mais do que o necessário;

É necessidade de qualquer organização reduzir seus custos e aumentar a sua produtividade, e o *lean manufacturing* (manufatura enxuta) auxilia nesse processo de enxergar os desperdícios fazendo com que a empresa se torne mais competitiva.

No entanto, até atingir um estado ideal são necessários diversos ajustes no sistema produtivo para que o mesmo trabalhe de acordo com o planejado (STANDRIDGE; MARVEL, 2006). Assim sendo, a simulação pode ser empregada em ambientes fabris para facilitar as tomadas de decisões sem que para isso haja mudanças no processo produtivo. Deste modo, as melhorias propostas para atingir um processo enxuto seriam simuladas antes de qualquer mudança. Outra vantagem seria a simulação de diversos cenários, o que facilitaria aos gestores a implementação das melhores práticas (COSTA, 2011; OLIVEIRA, 2008).

A utilização de complementar as duas metodologias MFV e simulação baseia-se em trabalhos realizados por autores que justificam o benefício de ambas, obtendo-se resultados melhores do que a utilização de somente o MFV.

Gomes (2010) apresenta um método de simulação com base em melhorias no contexto da manufatura enxuta.

Smith, Alves e Leite (2010) abordam a utilização da simulação para o auxílio na tomada de decisão nos processos industriais.

Standridge e Marvel (2006) reforçam que a simulação complementa as técnicas e os métodos utilizados na manufatura enxuta.

É por meio do estudo destes autores e de outros pesquisadores que se alcança a validação científica necessária para construção e validação dos conceitos que serviram como parâmetros para o estudo de caso analisado.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Utilizar mapeamento do fluxo de valor e simulação para a implementação de um fluxo de valor enxuto em uma família de cabeçotes de uma empresa do setor metal-mecânico, ramo automotivo.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Propor melhorias no processo produtivo pelo gráfico de balanceamento dos operadores e pela simulação;
- Utilizar a simulação para facilitar a escolha dos melhores cenários propostos no mapeamento do fluxo de valor estado futuro;
- Usar o conceito de logística reversa para as embalagens do processo considerado.

1.3 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

Com base na revisão bibliográfica, percebe-se que a maioria dos trabalhos encontrados na literatura utiliza mapeamento do fluxo de valor (MFV) para propor estados futuros. Entretanto, observa-se que ainda são poucos os trabalhos que utilizam a simulação nessa área com o objetivo de propor novos cenários para facilitar a implementação do mapa futuro.

Assim sendo, do ponto de vista acadêmico, realizar essa pesquisa contribui para lançar um novo olhar sobre a utilização da simulação como complementação para implementar a metodologia MFV e subsidia novos estudos nessa temática. Além disso, contribui para auxiliar profissionais da indústria como fonte de apoio para futuras implementações da manufatura enxuta por meio da simulação.

1.4 METODOLOGIA

As bases lógicas utilizadas nesta pesquisa se enquadram no método indutivo “[...] parte-se da observação de fatos ou fenômenos cujas causas se deseja conhecer” (GIL, 2008, p. 10). No primeiro momento estudou-se o processo produtivo a fim de conhecer as causas que favoreciam para um fluxo pobre da linha em estudo. O método indutivo está relacionado com a observação, à descrição dos fatos ou com os fenômenos observados (SILVA et al., 2003).

De acordo com a classificação de Gil (2008), em relação aos procedimentos técnicos do estudo o presente trabalho está enquadrado no tipo de pesquisa-ação, onde se tem participação do pesquisador no ambiente pesquisado, “visando uma modificação da realidade pesquisada, através da pesquisa”, ou seja, o presente trabalho baseou-se na literatura existente e por meio dela se propôs alterações no ambiente fabril que visassem um fluxo de valor enxuto (SILVA et al., 2003, p. 44).

Quanto às técnicas de investigação utilizou-se: de documentação indireta, por meio da revisão bibliográfica realizada; e documentação direta, onde se coletou os dados diretamente na empresa estudada (SILVA et al., 2003). Em relação ao tipo de coleta de dados a pesquisa se enquadra na coleta de dados qualitativos que segundo Chizzotti (2001 apud SILVA et al., 2003, p. 48) “os dados são coletados interativamente, num processo de idas e voltas, nas diversas etapas da pesquisa e na interação com seus sujeitos”. O tipo qualitativo de coleta de dados é usado para o tipo de pesquisa-ação que se refere aos procedimentos técnicos do estudo que será empregado na dissertação como mencionado anteriormente.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos compreendidos da seguinte forma:

Capítulo 1 – Introdução:

Este capítulo apresenta a contextualização da pesquisa, qual a necessidade do estudo, quais os resultados pretendidos com o trabalho, qual a importância para o meio acadêmico e empresarial, qual o tipo de pesquisa em que este trabalho está inserido e, além disso, consta a divisão dos capítulos que serão vistos no decorrer do trabalho.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica:

Contém a revisão da literatura sobre o Sistema Toyota de Produção, Manufatura Enxuta e a Filosofia do pensamento enxuto, assim como alguns métodos que foram aplicados neste trabalho como: Just-in-Time (JIT), Autonomiação (*Jidoka*), Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), Estudo dos Tempos, Logística Reversa e Simulação.

Capítulo 3 – Estudo de caso: Utilização de MFV e simulação em uma empresa de usinagem de peças automotivas:

O capítulo descreve o processo de fabricação de usinagem tema desta pesquisa, a caracterização do produto e do sistema produtivo, além do procedimento proposto na presente dissertação.

Capítulo 4 – Etapa I – Mapeamento do Fluxo de Valor:

Apresenta as subdivisões do procedimento proposto por Rother e Shook (2003) realizados na linha em estudo tais como: planejamento, situação atual, situação futura e implementação.

Capítulo 5 – Etapa II – Simulação:

Neste capítulo são apresentadas as subdivisões que foram necessárias para o estudo de caso: planejamento, modelagem, experimentação, tomada de decisão e análise dos resultados que expõe os resultados obtidos com o emprego do MFV e simulação, são analisados os resultados das melhorias implementadas, além disso, comentam-se as restrições daquelas que não foram possíveis de serem realizadas.

Capítulo 6 – Conclusão:

O capítulo aborda as considerações finais do presente trabalho, assim como são feitas recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Apresenta-se neste capítulo a revisão da bibliografia sobre as origens do Sistema Toyota de Produção – STP, Manufatura Enxuta – ME, e a filosofia do pensamento enxuto, assim como alguns de seus métodos e técnicas que serão aplicadas neste trabalho como: *Just-in-Time*, Automação, Mapeamento do Fluxo de Valor – MFV, entre outros. Além, da simulação que será utilizada para complementar os cenários propostos no mapa futuro.

Além disso, como uma das propostas de melhoria visa à redução de embalagens, julgou-se necessário incluir nesta seção uma breve revisão sobre o tema logística reversa, pois a mesma aborda práticas que contribuem para a preservação do meio-ambiente.

2.1 ORIGENS DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

De acordo com Liker (2005), o Sistema Toyota de Produção – STP tem sua origem na indústria automobilística japonesa, quando os líderes da Toyota visitaram a Ford e a General Motors com o intuito de estudar suas linhas de montagem.

Womack, Jones e Roos (2004, p. 7) mencionam que “Nenhuma nova ideia surge do vácuo. Pelo contrário, novas ideias emergem de um conjunto de condições em que as velhas ideias parecem não mais funcionarem”. De acordo com Womack, Jones e Roos (2004), a produção enxuta surgiu nesse contexto, uma vez que:

- O mercado japonês na época era restrito, e demandava uma diversidade de veículos que atendessem o maior número de clientes;
- As novas leis trabalhistas impuseram mais direitos para o trabalhador, que não estava mais interessado em ser tratado como custo variável;
- Diferentemente da Ford e GM, no mercado japonês não existiam trabalhadores estrangeiros que constituíam a maioria da força de trabalho na produção em massa;
- E por último, a economia japonesa encontrava-se destruída devido à Segunda Guerra Mundial.

Ou seja, o mercado japonês necessitava se reerguer, mas não somente copiando as práticas da manufatura tradicional em massa que se praticava naquela época, e sim adaptando a sua realidade. Tendo em vista esse cenário, os líderes da Toyota sabiam que para sobreviver

precisavam aperfeiçoar o sistema de produção em massa à realidade japonesa (KAPPES, 2011).

Assim como a produção artesanal foi eliminada pela produção em massa, a produção enxuta que se originou no sistema de produção da Toyota está tornando a produção em massa obsoleta (WOMACK; JONES; ROOS, 2004).

O sistema de produção em massa consistia em fazer produtos de pouca variedade, mas com altos volumes para diminuir os custos de produção. Em contrapartida, a Toyota precisava produzir uma alta variedade de produtos na mesma linha, só que em lotes menores para atender os seus clientes. Foi através de visitas para estudar as linhas de montagens da Ford que muitos conceitos utilizados na manufatura enxuta tiveram sua origem (WOMACK; JONES; ROOS, 2004). Por exemplo:

- A padronização das medidas por todo o processo em que Ford enxergou os benefícios que resultariam em economia nos custos de montagem. Ohno (1997) foi além, viu na padronização dos processos uma grande oportunidade para reduzir ainda mais esses custos;
- O tempo de ciclo em 1908 na fábrica de Ford totalizava 514 minutos, um trabalhador montava praticamente um carro todo, o próprio buscava as peças necessárias para a montagem do veículo. Para melhorar a eficiência desse processo, Ford fez com que as peças necessárias para produção fossem levadas até a estação de trabalho do operador, sem que o mesmo precisasse se deslocar atrás das peças por meio da divisão do trabalho (WOMACK; JONES; ROOS, 2004);
- Linha de montagem de fluxo contínuo, que contribuiu diretamente para a produção por fluxo.

Segundo Liker (2005), Ford já falava da importância de ter um processo de produção que fluísse continuamente, que as perdas fossem mínimas e que os processos fossem padronizados. Mas na prática a realidade era outra, pois a empresa de Ford possuía grandes estoques e acúmulos de desperdícios durante a cadeia de valor.

Ainda que tenham sido muitas as contribuições de Ford para a manufatura enxuta, a magnitude dessas ideias foi em menor eficiência e eficácia. A Toyota enxergou nesses acúmulos de estoque como uma falha própria do sistema de produção em massa, pois a Toyota precisava ser tão produtiva quanto a Ford, mas não dispunha de dinheiro para produzir em grandes volumes. No entanto, acreditou-se no conceito de

Ford de produção contínua para desenvolver o sistema de uma peça de cada vez que fosse flexível para atender a demanda. A flexibilidade foi a descoberta principal que ajudou a entender que, ao se trabalhar com tempos de atravessamento (*lead times*) menores se obtêm respostas mais rápidas dos clientes e, conseqüentemente, melhorias mais eficientes nos processos (LIKER, 2005).

De acordo com Kappes (2011), os administradores da Toyota procuraram criar um sistema de produção que contasse com trabalhadores multifuncionais, que operasse com baixos custos, que fosse altamente produtivo e flexível. Esse sistema de produção buscava reduzir as desvantagens em relação às empresas automobilísticas do ocidente por meio da eliminação de desperdícios. Esse tipo de ação passou a ser prioridade na Toyota para diminuir essas desvantagens.

Segundo Ohno (1997), foi nesse contexto que o Sistema Toyota de Produção surgiu a partir de uma necessidade, cuja finalidade era aumentar a eficiência da produção pela eliminação consistente e contínua dos desperdícios e pelo respeito ao indivíduo.

Na Fig. 1 tem-se uma das várias representações da “casa Toyota” (elaborada por Ohno), a escolha por uma casa está relacionada ao fato de o ambiente familiar transmitir estabilidade, harmonia, equilíbrio. Assim sendo, esta casa possui dois pilares, isto é, o JIT e *Jidoka*, necessários para a sustentabilidade da casa. No teto visualiza-se o comprometimento da Toyota em oferecer produtos de qualidade superior de custos inferiores e no menor prazo de entrega para atender as necessidades do cliente por meio da contínua redução dos desperdícios (GUINATO, 2000).

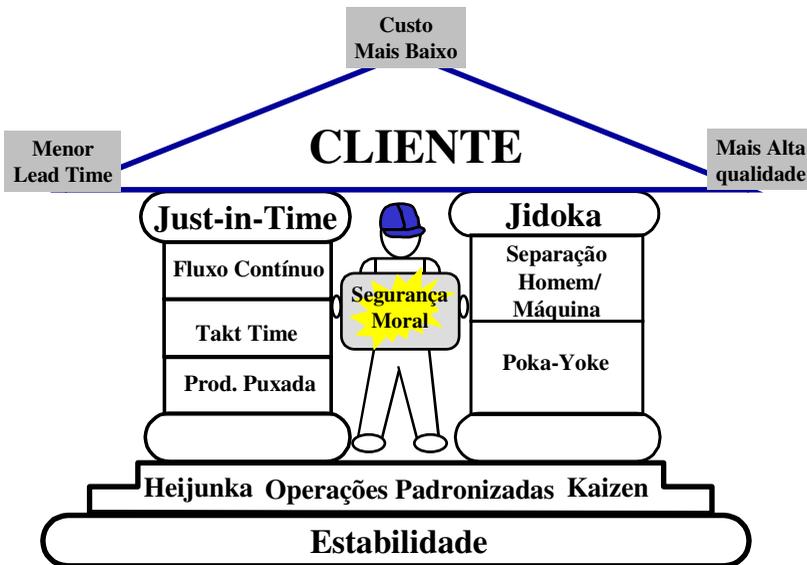


Figura 1 - Casa do STP. Fonte: Ghinato (2000).

De acordo com Ghinato (2000), esse é o propósito da Toyota, ou seja, a insistência na eliminação de toda e qualquer *muda* (desperdício em japonês). O STP utiliza-se do princípio do não-custo em que a equação mais importante adotada pela produção em massa de que $\text{Custo} + \text{Lucro} = \text{Preço}$ estaria obsoleta, devendo ser substituída por $\text{Preço} - \text{Custo} = \text{Lucro}$.

Na produção em massa o preço de um determinado item é resultante dos custos de fabricação acrescentado de uma margem de lucro, ou seja, o fabricante repassa para o cliente os custos de suas ineficiências. Já a abordagem enxuta defronta-se com um consumidor mais crítico devido ao aumento da concorrência, sendo que o preço é determinado pelo mercado, ou seja, é somente pela redução dos seus custos que o fornecedor aumenta o seu lucro (GHINATO, 2000).

No entanto, foi a crise do petróleo em 1973, que fez com que o Sistema Toyota de Produção chamasse a atenção de todos incluindo outras empresas japonesas. Isto porque o Japão, um dos países atingidos pela crise naquela época, amargou um crescimento zero em sua economia, enquanto a Toyota, mesmo com lucros menores, alcançou êxitos melhores que outras empresas, ou seja, as demais empresas puderam verificar os resultados da insistência da Toyota na busca pela

eliminação dos desperdícios e comprovaram os benefícios que essa ação proporcionava no ambiente produtivo (OHNO, 1997).

2.2 MANUFATURA ENXUTA – ME

De acordo com Godinho Filho e Fernandes (2004), o STP tornou-se amplamente conhecido no mundo todo devido aos trabalhos de Womack, Jones e Roos no livro “A máquina que mudou o mundo”, publicado em 1990, quando os autores definiram o STP de manufatura enxuta ou *lean manufacturing*. Atualmente, existem várias definições para ME, por exemplo:

- Womack, Jones e Roos (2004) definem ME como a integração de todos da cadeia produtiva: alta administração, chão de fábrica e fornecedores a fim de responder de forma imediata às necessidades do mercado em relação à demanda.
- Liker (2005) aborda o envolvimento da alta administração em promover atividades de melhoria contínua e no investimento dos recursos humanos como base para alcançar os resultados da manufatura enxuta.
- Godinho Filho e Fernandes (2004) tratam a ME como um modelo estratégico e de gestão holística, que permite a empresa obter qualidade, eficiência e produtividade por meio de seus valores e filosofia utilizando-se de ferramentas e metodologias para esse objetivo.
- Ghinato (2000) aborda a ME como uma filosofia que busca melhorar a gestão do sistema de produção tendo como prioridade as necessidades do cliente, e para atingir tal objetivo é necessário o envolvimento de todos da cadeia de valor.

Assim como existem várias definições para ME, também existem vários nomes como, por exemplo, pensamento enxuto (*lean thinking*), mentalidade enxuta, filosofia *lean*, filosofia Toyota, graças ao desenvolvimento de inúmeros trabalhos nessa área tais como de: Kappes em 2011; Benetti em 2010; Oprime, Monsanto e Donadone em 2010. Entretanto, todos os trabalhos são unânimes quando consideram que a ME procura sempre atender de forma rápida as necessidades do cliente através da eliminação das perdas na cadeia de valor mediante o envolvimento de todos da cadeia produtiva.

Womack, Jones e Ross já falavam em 1990 que a adoção da manufatura enxuta inevitavelmente transcenderia a indústria automobilística. De fato isto ocorreu, e vários trabalhos publicados que

abordam tanto empresas de bens manufaturados como de serviços podem ser apontados, tais como: Coelho em 2003 (implantação de kanban em uma indústria eletrônica); Silva em 2009 (aplicação de mapeamento de fluxo de valor em uma empresa de embalagem); Zattar, Rudek e Turquino em 2010 (usam umas das técnicas da manutenção produtiva total para melhorar a produtividade em uma indústria gráfica); Yamada e Marins em 2010 (adequação de uma empresa do setor aeronáutico para manufatura enxuta); Benetti em 2010 e Gallardo em 2007 (aplicação de princípios enxutos adaptados para a construção civil); Brandi e Giacaglia em 2011 (redução de setup de impressão em uma indústria gráfica de embalagem).

Womack e Jones em 1996 quando publicaram o livro “A mentalidade enxuta nas empresas” adotaram o termo pensamento enxuto para ME, onde foram estabelecidos cinco princípios que são a base para a implementação da manufatura enxuta. Segundo os autores, o sucesso do pensamento enxuto em uma empresa deve-se ao envolvimento de todos os participantes da cadeia de valor, assim como de mudanças comportamentais onde todos os envolvidos tomam consciência da necessidade das mudanças. Por isso, muitas empresas ocidentais não alcançam êxito ao implementar um determinado método ou ferramenta do sistema enxuto, pois elas não compreendem o todo (WOMACK, 1998 apud KAPPES, 2011).

Dessa forma, os cinco princípios necessários para atingir o fluxo de valor enxuto com base nas publicações de Womack e Jones (2004), Kappes (2011) e Sellitto, Borchardt e Pereira (2010) são:

- Especificação de valor para o cliente: Representa o que o cliente realmente deseja do produto e pelo qual o mesmo está disposto a pagar. Porém, somente se torna importante quando se transforma em um produto, bem ou serviço que atendam suas necessidades, no momento que deseja e a um preço justo;
- Identificar o fluxo de valor: Refere-se a todas as etapas necessárias para transformar a matéria-prima em produto acabado nas mãos do cliente, com o objetivo de eliminar ou reduzir todas as atividades que não agregam valor, muito utilizado o MFV (mapeamento do fluxo de valor) para identificar o fluxo de valor;
- Criar fluxo contínuo: Refere-se à produção de uma peça de cada vez, de forma ininterrupta, ou seja, a peça passa de uma operação anterior para posterior de forma contínua, sendo que só é fabricado aquilo que a próxima etapa necessita;

- Produção puxada pelo cliente: Trata-se de um sistema puxado que parte da demanda do cliente, e conseqüentemente gera uma resposta mais rápida das necessidades do cliente, ou seja, o cliente puxa a produção fazendo com que todo o sistema produtivo só faça aquilo que o cliente realmente deseja;
- Buscar a perfeição: Ao se atingir os quatro passos anteriores todos os envolvidos no sistema produtivo percebem que não é o fim, pois sempre se pode fazer mais e cada vez melhor, ou seja, busca-se a excelência.

Para ser uma indústria enxuta, é preciso um modo de pensar que se concentre em fazer o produto fluir através de processos ininterruptos de agregação de valor (fluxo unitário de peças), um sistema puxado que parta da demanda do cliente, [...], e uma cultura em que todos lutem continuamente para a melhoria (LIKER, 2005, p. 29).

Dessa forma, segundo os autores Womack, Jones e Roos (2004), quando atinge esse estado de empregar menos esforços de tudo em relação à produção em massa pode-se dizer que a empresa trabalha de forma enxuta.

2.3 JUST-IN-TIME (JIT)

Segundo Ohno (1997), o objetivo do Sistema Toyota de Produção é a eliminação consistente dos desperdícios, e um dos pilares necessários para a sustentação desse sistema é o *just-in-time*. JIT significa produzir o item no momento em que é necessário para que o cliente não fique esperando e na quantidade solicitada para que não haja acúmulo de estoques (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009). Na literatura podem-se encontrar várias definições para o JIT:

“[...] efetuar as entregas no momento exato, com o propósito de eliminar o estoque” (SHINGO, 1996, p. 235);

“[...] em um processo de fluxo, as partes corretas necessárias à montagem alcançam a linha de montagem no momento em que são necessários e somente na quantidade necessária.” (OHNO, 1997, p. 26). Para o autor é por meio desse fluxo que se alcança a redução dos estoques;

“*Just-In-Time* significa que cada processo deve ser suprido com os itens certos, no momento certo, na quantidade certa e no local certo.” (GHINATO, 2000, p. 7). O autor destaca a importância do fluxo

contínuo para enxergar os desperdícios e conseqüentemente a sua eliminação;

“O just-in-time (*JIT*) é [...] o fornecimento apenas da quantidade correta, no momento e local corretos, utilizando o mínimo de instalações, equipamentos, materiais e recursos humanos” (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009, p. 452).

Porém, segundo Slack, Chambers e Johnston (2009) o ideal é analisar a diferença entre a produção em massa e a enxuta em paralelo, Fig. 2.

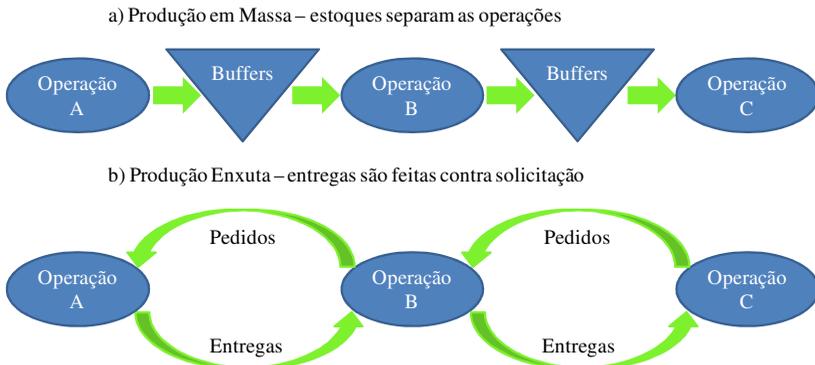


Figura 2 - a) Produção em massa e b) Produção enxuta. Fonte adaptada de: Slack, Chambers e Johnston (2009).

Na produção em massa (a) à medida que em cada operação são produzidas as peças, estas são enviadas para estoques intermediários que têm por objetivo tornar as operações independentes de uma eventual quebra de máquina. Neste caso se a máquina da operação A, tem a sua produção interrompida por problemas de manutenção as demais operações B e C continuarão trabalhando, pois ambas possuem estoques intermediários. No entanto, essa independência é conseguida ao custo de capital parado e tempos de atravessamentos maiores. A produção enxuta (b) critica essa independência, pois quando ocorre algum problema em uma das operações, esse problema não se torna visível para todo o sistema. Portanto, a produção enxuta adota que cada item será produzido em fluxo contínuo de uma operação para a outra e somente quando a próxima operação solicitar. A dependência das operações faz com que os problemas sejam expostos a todos, e conseqüentemente há uma interrupção nos processos, proporcionando o envolvimento de todos para a solução do problema (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Em resumo, observa-se que ambos buscam a eficiência de seus sistemas, porém de maneiras diferentes. Enquanto que a produção em massa torna as suas operações independentes de alguma ineficiência, a produção enxuta torna o problema evidente com a dependência das operações e, com isso, todo o sistema busca a solução do problema. O JIT enxerga nos estoques a forma de esconder os problemas, e por isso busca reduzi-los (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

2.4 AUTONOMAÇÃO

É um dos pilares necessários para a sustentação desse sistema, também chamado por *jidoka* ou automação com toque humano (OHNO, 1997). Mas, segundo Guinato (2000), a palavra *ninben no aru jidoka*, representaria o real sentido do termo, ou seja, automação com toque humano, pois para o autor *jidoka* significa apenas automação.

Devido à complexidade das máquinas, qualquer anormalidade pode danificá-la internamente. Qualquer quebra interna, por exemplo, pode produzir vários itens defeituosos, ainda mais se trabalhando em um sistema de produção em massa. Por isso que o STP dá importância à automação, pois são máquinas que autonomamente podem identificar tais problemas, ao contrário de somente máquinas automatizadas (OHNO, 1997).

Essa ideia surgiu quando Toyoda Sakichi inventou uma máquina de tecer à prova de erros, onde o tear parava assim que detectava que um dos fios havia se rompido, justamente para não produzir itens defeituosos. Ou seja, automação com toque humano consiste em dar à máquina uma inteligência humana de parar automaticamente quando ocorre algum defeito (OHNO, 1997).

Dessa forma, menos operadores serão necessários no sistema produtivo se as máquinas continuarem trabalhando normalmente (OHNO, 1997). Com isso, torna-se possível reduzir a quantidade de operadores e aumentar a eficiência da produção ao se separar operador e máquina, o que proporciona um uso mais eficaz e expressivo da mão de obra (SHINGO, 1996).

Ohno (1997) justifica tal atitude, pois ao se disponibilizar um operador por máquina os problemas não desaparecerão somente serão encobertos, pois o responsável não tomará conhecimento e com isso, os custos dificilmente serão reduzidos. Ohno defende que ao parar a máquina faz com que todos tomem ciência e compreensão do problema, e com isso melhorias podem ser alcançadas.

Para Guinato (2000), *jidoka* não se aplica somente a máquinas, podendo ser utilizado também para os trabalhadores que realizam atividades puramente manuais. Caso algum problema seja encontrado pelo trabalhador, ele pode parar automaticamente a linha de produção. Ou seja, para o autor a ideia do conceito é impedir que mais produtos defeituosos sejam fabricados, independente se as atividades envolvem somente máquinas ou se são simplesmente manuais. Por isso, a separação homem-máquina e o *poka-yoke* são tão importantes para a implementação da autonomia.

2.4.1 Separação Homem – Máquina

Segundo Guinato (2000), durante muito tempo o trabalhador esteve ao lado da máquina, e essa relação é difícil de ser rompida de uma hora para outra, uma vez que desde a produção em massa se aplicava tal relação. Entretanto, os avanços em novos dispositivos para detectar os problemas internos das máquinas contribuíram para a separação homem da máquina.

Dessa forma, para a implementação da autonomia é essencial à separação entre o homem e a máquina com o objetivo de o operador trabalhar em mais máquinas ao mesmo tempo, Fig. 3. Porém, a solução do problema continua sob a responsabilidade do operador, restando à máquina somente a detecção do problema (GUINATO, 2000).

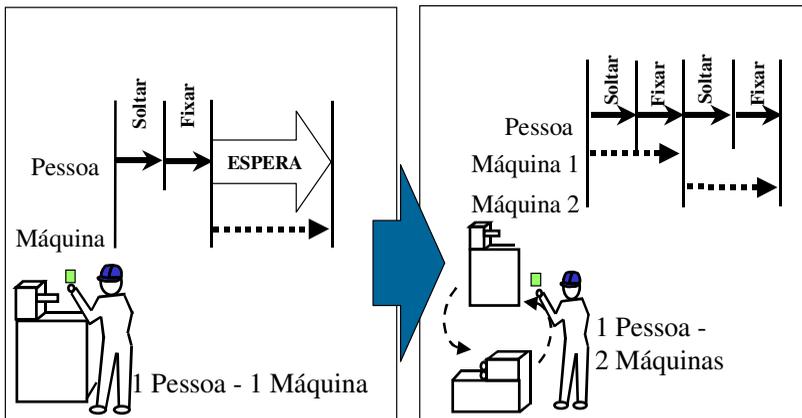


Figura 3 - Separação entre o Homem e a Máquina. Fonte: Guinato (2000).

2.4.2 Poka – Yoke

Guinato (2000, p. 13) define *poka-yoke* como “[...] um mecanismo de detecção de anormalidades que, acoplado a uma operação, impede a execução irregular de uma atividade”. É através dos dispositivos *poka-yoke* que há uma real possibilidade de se separar o homem da máquina, e é por meio deles que o conceito de autonomia é colocado em ação. Para o autor “[...] O *poka-yoke* é uma forma de bloquear as principais interferências na execução da operação”.

De acordo com Shingo (1996), o *poka-yoke* é um método que identifica as irregularidades no processo e não somente um sistema de inspeção. Segundo o autor, esses dispositivos auxiliam no processo de inspeção da produção e garantem que menos defeitos sejam passados para as próximas operações, ou seja, o objetivo é atingir uma produção com cada vez menos defeitos.

2.5 FILOSOFIA DO MODELO TOYOTA

Sem uma base que corresponde à filosofia desse sistema, os dois pilares mencionados (*just-in-time* e autonomia) não têm onde serem sustentados. Pode-se perceber isso em uma frase de Soichiro Honda, fundador da Honda Motor Company: “A ação sem filosofia é uma arma letal; e filosofia sem ação não tem valor” (TREINAMENTO... 2008, p. capa da apostila).

Segundo Liker (2005), o sucesso da Toyota é em decorrência da busca pela excelência da cadeia de valor como um todo, ou seja, é resultado tanto dos métodos e ferramentas utilizados, tais como gestão da qualidade total, JIT, autonomia, manutenção produtiva total, kaizen, nivelamento da produção, fluxo contínuo de peças, entre outros, mas também como da filosofia.

Essas técnicas ajudaram a provocar a revolução da produção enxuta. Mas ferramentas e técnicas não são armas secretas para transformar uma empresa. O contínuo sucesso da Toyota na implementação dessas ferramentas origina-se de uma filosofia empresarial mais profunda [...] (LIKER, 2005, p. 28).

Pode-se constatar isso ao alterar-se a palavra *ação* por *utilização de métodos e ferramentas* na frase de Soichiro Honda: A utilização de métodos e ferramentas sem filosofia é uma arma letal; e filosofia sem a utilização de métodos e ferramentas não tem valor. Ou seja, essa frase

descreve muito bem a importância da combinação dos métodos e ferramentas baseados em uma filosofia consistente.

Segundo Liker (2005), o sucesso do Sistema Toyota de Produção vai além da aplicação dos métodos e ferramentas, e sim devido ao engajamento da alta gerência em promover um ambiente de melhoria contínua e pelo o respeito às pessoas. A Toyota levou anos para criar um ambiente enxuto e ainda admite que esteja sempre reaprendendo, ou seja, o modo de pensar enxuto envolve em uma grande mudança comportamental e cultural do que muitas empresas que se consideram enxutas podem imaginar.

Para Oprime, Monsanto e Donadone (2010), além da mudança cultural e comportamental, a forma como as atividades fluem na empresa são essenciais para atingir a manufatura enxuta. Ou seja, a estrutura administrativa necessita ser mais ágil para atender as mudanças que devem ocorrer.

A Fig. 4 retrata uma visão da cultura do Sistema Toyota de Produção como um iceberg, pois o que muitos entusiastas, visitantes e algumas fábricas que se consideram enxutas veem são características aparentes, tais como kanban, 5S, MFV, entre outros. Ou seja, eles não compreendem a filosofia como base desse sistema para a correta aplicação das ferramentas enxutas (LIKER, 2005).



Figura 4 - Modelo iceberg do Sistema Toyota de Produção. Fonte adaptada de: Liker (2005).

2.6 MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR – MFV

Womack e Jones no livro “Mentalidade Enxuta” já haviam apresentado sob uma nova ótica a palavra “fluxo de valor” como

essencial na transformação *lean*. No entanto, faltava uma ferramenta que pudesse enxergar de forma horizontal a cadeia de valor, ou seja, precisava-se de uma ferramenta que pudesse visualizar toda a cadeia, com o intuito de fluir e criar valor desde a entrada da matéria-prima por meio dos fornecedores até a disponibilização do produto acabado nas mãos dos clientes finais. Necessitava-se de uma nova abordagem diferentemente da produção em massa, que focava suas ações em departamentos isolados (FERRO, 2005).

Dessa forma, em 1999 foi publicada a versão portuguesa do manual “Aprendendo a enxergar” dos autores Rother e Shook onde se apresentou a ferramenta mapeamento do fluxo de valor que possibilitou a visualização horizontal de toda a cadeia de valor com o intuito de identificar quais atividades que agregavam valor das que não agregavam (FERRO, 2005).

Os esforços para a aplicação de conceitos de manufatura enxuta em quaisquer áreas de uma organização tornam-se mais efetivos quando aplicados estrategicamente, no contexto de uma construção de cadeia de valor, como, por exemplo, usando-se a ferramenta de MFV (KAPPES, 2011, p. 42).

Para Kappes (2011), a utilização dessa ferramenta possibilita aos gestores da cadeia produtiva uma nova visão sobre o seu fluxo de valor, permitindo um novo esboço de um fluxo de valor que seja considerado o mais ideal possível, com intuito de agregar o máximo de valor por meio da eliminação ou redução dos desperdícios dessa forma, facilitando a implementação da manufatura enxuta.

O mapeamento do fluxo de valor baseia-se no mapeamento do fluxo de informações e materiais utilizado pela Toyota. Rother formalizou a ferramenta após ter percebido o grande potencial que a mesma oferecia. O fluxo de informação e material compreende os fluxos de materiais, informações e de processos. O MFV compreende os fluxos de materiais e de informações aplicados pela Toyota (ROTHER; SHOOK, 2003).

Rother e Shook (2003) ressaltaram a importância da palavra fluxo de valor, que segundo os autores era uma expressão pouco comum na Toyota. Fluxo de valor é tudo aquilo que agrega valor ou não, compreendendo todas as etapas desde a entrega da matéria-prima até o produto acabado nas mãos do cliente. Ao se trabalhar com o fluxo de valor tem-se a oportunidade de se enxergar o todo, não somente algumas partes do processo. Assim sendo, o mapeamento do fluxo de valor é o

caminho da produção de um produto e permite identificar o que está sendo feito em cada processo.

Para o mapeamento do fluxo de valor foram utilizados os ícones gráficos criados pelo *Lean Enterprise Institute – LEI*, para divulgar o sistema enxuto de produção (Fig. 5) assim como também, foram adaptadas algumas simbologias do *LEI* para esta dissertação (KAPPES, 2011).

O ponto de partida para o MFV começa: (a) ao se selecionar uma família de produtos que utilizem máquinas similares nos seus processos e que passem por etapas comuns de processamento; (b) em ter uma pessoa liderando pessoalmente o esforço de mapear a família de produtos para fugir das ilhas isoladas dos departamentos, e que seja responsável por sua melhoria, ou seja, ser gerente do fluxo de valor; (c) começar pelo nível porta a porta considerando os fluxos de materiais e de informações. (ROTHER; SHOOK, 2003).

De acordo com Rother e Shook (2003), o MFV consiste no desenho do estado atual a partir de levantamento de dados obtidos no chão de fábrica, o qual servirá de base para as propostas do desenho do estado futuro, com a utilização de conceitos e técnicas enxutas. Depois disso elabora-se o plano de implementação, que consiste no planejamento para que o mapa futuro se torne realidade.

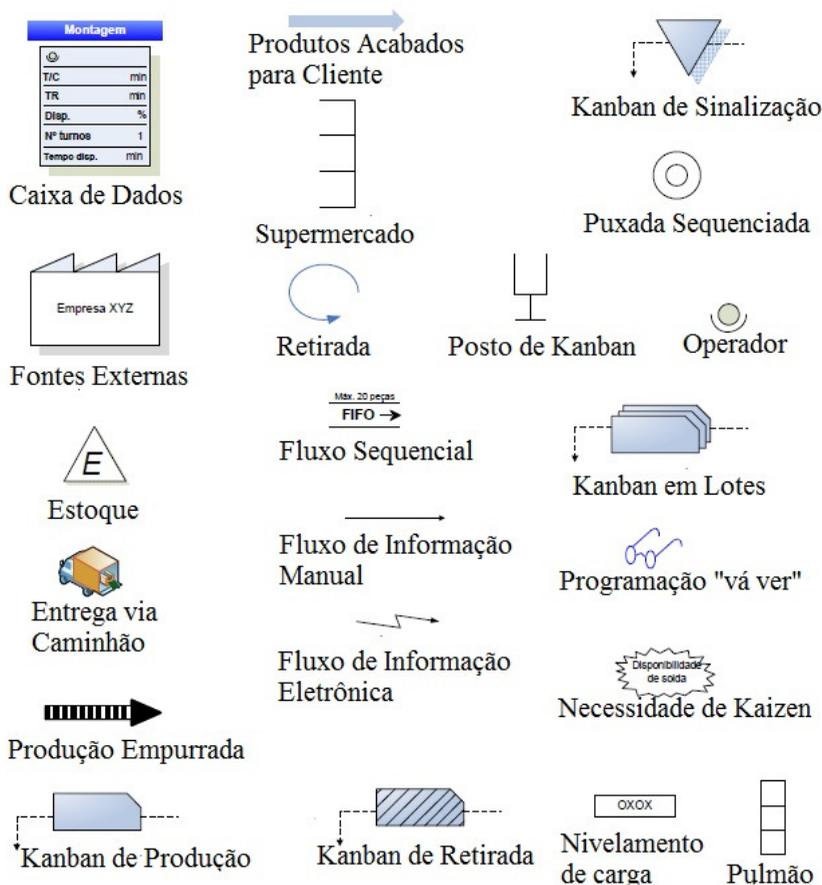


Figura 5 - Ícones do fluxo de materiais. Fonte adaptada de: Kappes (2011).

Segundo Liker (2005), Ohno aprendeu a mapear o fluxo de valor ao caminhar pela fábrica, onde ele constatou que os desperdícios eram causados principalmente pela forma em que a matéria-prima era transformada em produto acabado. De acordo com Liker (2005), são oito os desperdícios conhecidos, Fig. 6:

- Superprodução: Produzir mais do que a demanda, o que acarreta perdas em estoque, excesso de pessoas. Esse tipo de desperdício acaba camuflando as outras perdas;
- Espera: Ociosidade dos funcionários que ficam aguardando pela próxima sequência do processo, ou ficam esperando terminar o ciclo da máquina, aguardando ferramenta ou peça, etc.;

- Transporte Excessivo: Movimento excessivo de matérias-primas, embalagens, peças em processo ou de produtos acabados gerando um transporte ineficiente;
- Processamento Incorreto: Gerar perdas mediante a uma ferramenta ou a um projeto ineficiente;
- Excesso de Estoque: Todo tipo de excesso de material gerando custos de transporte, armazenagem, obsolescência dos produtos podendo ocultar problemas de desbalanceamento da produção, manutenção;
- Movimentação Desnecessária: Qualquer movimentação de pessoas que não agrega valor, por exemplo, procurar por ferramenta;
- Defeitos: Produzir peças defeituosas que resultem em descarte ou retrabalho, e isto é um desperdício de material, tempo e esforço;
- Criatividade Inaproveitada: Perda intelectual devido ao fato de que os funcionários não estão sendo aproveitados ou envolvidos.



Figura 6 - Oito desperdícios. Fonte adaptada de: Marcos, 2011.

Segundo Liker (2005), Ohno afirmava que os outros desperdícios eram originados pela superprodução. “A superprodução geralmente dá a

impressão de que todos estão ocupados, trabalhando, e que as atividades fluem normalmente, mas na verdade estão distorcendo a verdade e mascarando os problemas [...]” (RICO, 2009, p. 35). Pode-se inferir que não há problemas no sistema de produção, uma vez que as máquinas e os operadores continuam trabalhando. Entretanto, isso gera a busca pela não excelência, pois como as paradas de máquinas não interrompem inicialmente o fluxo da linha de montagem não há necessidade em se preocupar, por exemplo, com manutenção preventiva, pois os problemas não são descobertos imediatamente (LIKER, 2005).

2.6.1 Mapa do Estado Atual

O desenho do estado atual consiste em representar a real situação em que se encontra o fluxo de valor. Rother e Shook (2003) dão algumas dicas para o mapeamento:

- Compreender o fluxo de valor da família de produtos que será mapeada;
- Obter os dados da família de produtos, mapeando os fluxos de materiais e informações;
- Iniciar pela expedição, que está diretamente em contato com o cliente, e depois percorrer os fluxos anteriores até chegar à matéria-prima recebida;
- Não utilizar tempos padrões (levar o seu próprio cronômetro), e não confiar em informações que não foram obtidas pessoalmente;
- Mapear todo o fluxo de valor pessoalmente com o intuito de compreender o todo;
- Desenhar inicialmente a mão e a lápis para facilitar futuras alterações se necessárias enquanto se percorre o fluxo de valor.

Na Fig. 7 é mostrado um exemplo de um mapa atual, no qual se observa um fluxo de valor porta a porta. Na parte superior seguem informações sobre as necessidades do cliente postas em caixas de dados, juntamente com o fluxo de informações da direita para a esquerda. Na parte inferior do mapa tem-se o fluxo de material no sentido da esquerda para direita, a linha do tempo comparando o *lead time* de produção com o tempo de processamento, e as caixas de processo com a quantidade de operadores existentes em cada processo. Abaixo delas verificam-se as caixas de dados com as seguintes informações: tempo de ciclo, disponibilidade, tempo de troca, entre outros, ou seja, na mesma são informados dados relevantes para o estudo (KAPPES, 2011).

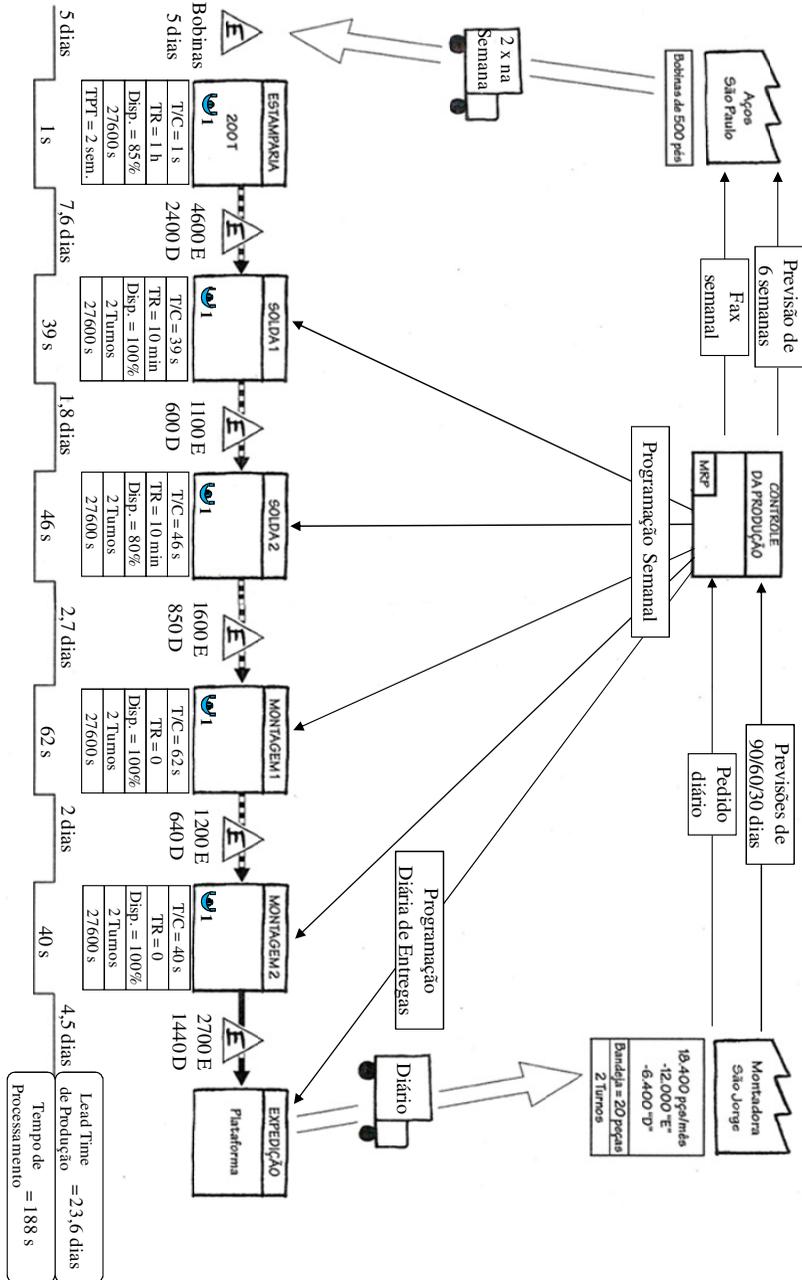


Figura 7 - Desenho do estado atual. Fonte adaptada de: Rother e Shook (2003).

2.6.2 Mapa do Estado Futuro

Para o desenho do estado futuro primeiramente analisa-se o desenho do estado atual. Rother e Shook (2003) elaboraram um procedimento para o mapeamento do estado futuro:

- Sincronizar a produção de acordo com as vendas;
- Estabelecer um fluxo contínuo onde for possível;
- Utilizar supermercados onde o fluxo contínuo não é possível de ser implantado;
- Procurar enviar a programação do cliente para apenas um processo de produção;
- Nivelar o mix de produção;
- Nivelar o volume de produção;
- Desenvolver a capacidade de fabricar “toda peça todo dia” nos processos de produção antecedentes ao processo puxador.

À medida que se pensa em um estado futuro com o intuito de eliminar ou reduzir os desperdícios, Rother e Shook (2003) desenvolveram algumas questões chaves que devem ser respondidas com o objetivo de desenhar o mapa:

1. Qual é o ritmo da demanda do cliente ou *takt time*?
2. A produção será diretamente para a expedição ou para um supermercado de produtos acabados?
3. Onde o fluxo contínuo pode ser implantado?
4. Onde serão necessários os supermercados?
5. Em que parte do processo será programada a produção?
6. Como será feito o nivelamento do mix de produção no processo puxador?
7. Qual o incremento de trabalho que será liberado e retirado do processo puxador?
8. Quais melhorias serão necessárias para garantir o fluxo de valor conforme o desenho do estado futuro?

A Fig. 8 contém um exemplo de um mapa futuro, e nela observa-se uma diminuição do *lead time* de produção, no tempo de processamento e no tempo de troca da estamperia; os processos de solda e montagem tornaram-se células de manufatura; e nota-se uma produção realmente puxada pelo cliente em relação ao mapa atual da Fig. 7 (KAPPES, 2011).

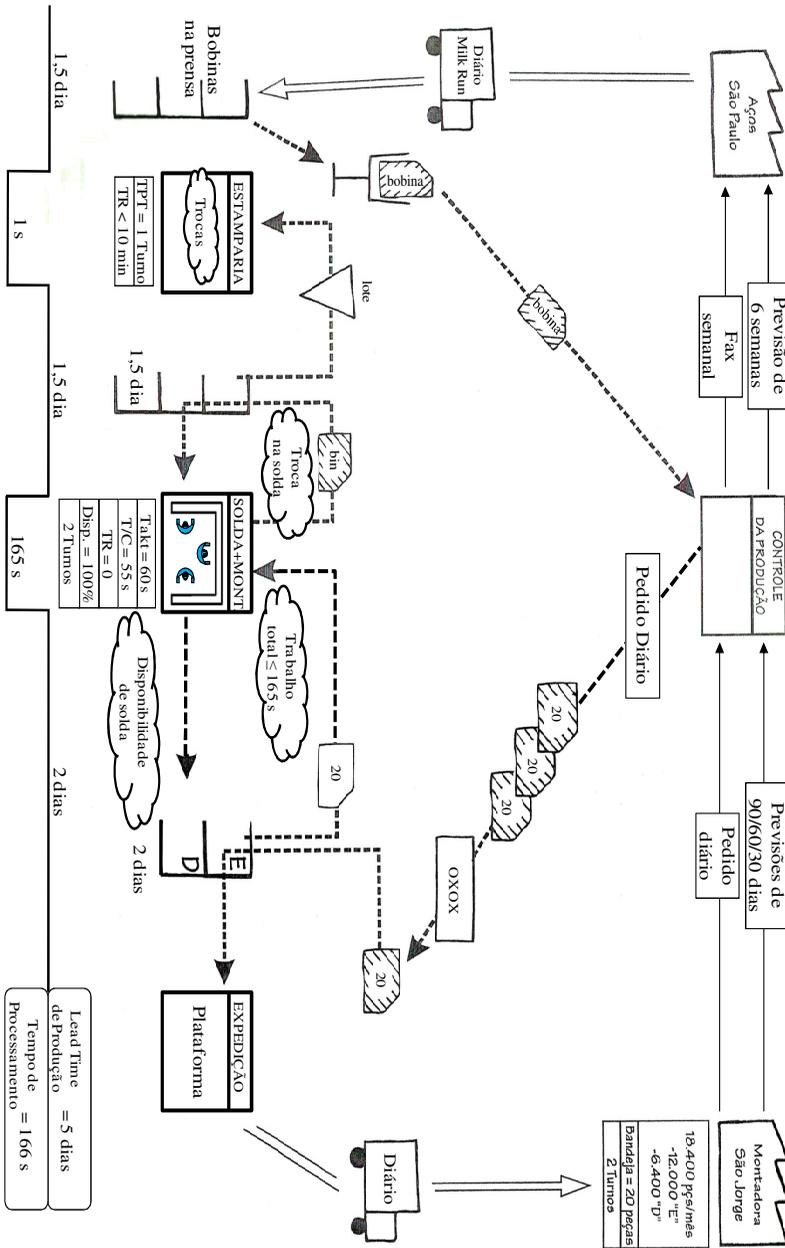


Figura 8 - Desenho do estado futuro. Fonte adaptada de: Rother e Shook (2003).

2.6.3 Implementação do Trabalho

Para que o fluxo de valor planejado realmente se torne realidade é necessário que seja preparado um plano de implementação, ou seja, é neste, que se planeja como será alcançado o estado futuro (ROTHER; SHOOK, 2003).

Rother e Shook (2003) dividem o mapa do fluxo de valor em *loops* (ciclos): puxador e adicionais. Em relação ao *loop* puxador qualquer mudança realizada influenciará nos processos anteriores, pois este está em contato direto com o cliente. Já os *loops* adicionais facilitam a visualização dos processos anteriores ao *loop* puxador e contribuem para uma melhor administração dos esforços empregados em cada etapa. Depois de identificados os *loops*, elabora-se um plano anual do fluxo de valor com metas quantificáveis, identificando quando, quem e o que será feito em cada etapa.

No entanto, para que haja o sucesso da implementação do MFV os autores destacam a importância dos processos de apoio tais como a manutenção para garantir um mínimo de estabilidade necessária para se trabalhar de acordo com o *takt time* do contrário, a empresa não está preparada ainda para trabalhar de forma enxuta.

De acordo com Kappes (2011), como toda ferramenta o MFV não representa a solução para todos os problemas de uma empresa. No entanto, de maneira simples a mesma aborda a complexidade da cadeia produtiva e possibilita que melhorias sejam implementadas no fluxo de valor.

Ferro (2005) descreve alguns erros com o uso da ferramenta MFV que merecem ser destacados para não se perder o real sentido da ferramenta cujo objetivo é: desenvolver um fluxo enxuto tendo em vista à eliminação ou redução das fontes dos desperdícios.

- Foco: deve-se mapear somente o fluxo de valor que será implementado, pois os recursos financeiros (inclusive tempo) são escassos. Ou seja, devem-se concentrar os esforços onde exijam melhorias plausíveis de serem implantadas, e não sair mapeando ao acaso todas as famílias de produtos;
- Envolvimento da alta administração no MFV: como o fluxo de valor cruza os limites dos departamentos é necessário que a alta administração se envolva no MFV para cobrar a implementação do mapa futuro;
- MFV difere dos Mapas de Processos: os princípios enxutos não são considerados nas melhorias dos mapas de processos;

- Não se deixar fascinar com as quantidades de estoques e com a vontade de reduzi-los: mais do que enxergar ganhos expressivos com a redução dos estoques na cadeia produtiva, deve-se atacar a causa raiz desses acúmulos, pois mostram onde o fluxo é descontínuo;
- Não sobrecarregar os mapas com informações irrelevantes: tais como o custo de processamento dos materiais que acabam sendo pouco úteis além de consumir tempo. O objetivo do mapa é permitir a visualização de forma clara o que precisa ser melhorado;
- Adotar a visão correta: o autor destaca que empregar visões muito próximas (enxergando somente melhorias pontuais) ou muito distantes (não visualizando o estado atual) compromete os resultados do fluxo de valor. O ideal é combinar os dois tipos de visões;
- Realizar melhorias que possam ser implementadas em um curto espaço de tempo: com o objetivo de motivar as pessoas em um primeiro momento com os resultados alcançados, no entanto as melhorias devem ser realizadas de forma contínua.
- Preparar planos de ação de curto prazo e acompanhar diariamente a sua implementação: mais uma vez a alta administração tem um papel muito importante em determinar prazos para a realização das atividades e exigir a execução das mesmas.

Segundo Ferro (2005, p. 9), “[...] o poder da ferramenta é sua simplicidade e seu poder de provocar mudanças, servindo como mecanismo de monitoração [...]” das melhorias propostas. Como toda ferramenta que está embasada na filosofia *lean*, é necessária mudança comportamental de todos os envolvidos para se produzir um fluxo de valor cada vez mais enxuto.

2.7 LOGÍSTICA REVERSA

Nas décadas de 1970 e 1980 foram descobertos os primeiros trabalhos sobre logística reversa, e o principal tema era o retorno dos produtos por meio da reciclagem, que passaram a ser tratados como “canais de distribuição reversos”. A partir da década de 1990 o tema tornou-se mais visível no cenário empresarial, pois, com o advento da globalização e o aumento da concorrência, as empresas reconheceram que seria necessário atender diversos interesses além, dos seus próprios tais como: sociais, ambientais e governamentais (LEITE, 2009). Ou

seja, “tornou-se impossível ignorar os reflexos que o retorno dessas quantidades crescentes de produtos de pós-venda e de pós-consumo causam nas operações empresariais [...]” (LEITE, 2009, p. 15). Tendo em vista esse contexto, a seguir são abordadas algumas definições sobre a logística reversa.

De acordo com o *CLM – Council of Logistics Management* (1993 apud PEREIRA et al., 2012, p. 13), logística reversa são “[...] atividades envolvidas no gerenciamento da movimentação e descarte de embalagens e resíduos”.

Para Leite (2009, p. 17), a logística reversa é a [...] área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo e as informações logísticas correspondentes, ao retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, por meio dos canais de distribuição reversos [...].

Admaier e Sellitto (2007) compartilham da definição de Leite (2009) ao mencionar que os canais de distribuição reversos, além dos valores ambientais também agregam valores econômicos devido ao retorno dos produtos ao ciclo produtivo.

Para Pereira et al. (2012), a logística reversa envolve o conceito clássico de logística, porém com o compromisso de reduzir as quantidades de matérias-primas consumidas e descartar de forma apropriada os produtos. Já para Dornier et al. (2000 apud LEITE, 2009, p. 16), a logística reversa “[...] engloba, entre outros, os fluxos de retorno de peças a serem reparadas, de embalagem e seus acessórios [...]”. Ou seja, inclui o gerenciamento dos fluxos reversos nas formas de movimentação dos produtos e informações.

Segundo Stock (1998 apud PEREIRA et al., 2012, p. 13), a logística reversa consiste no “[...] retorno de produtos, redução na fonte, reciclagem, substituição de materiais, reúso de materiais, disposição de resíduos, reforma, reparação e remanufatura...”.

Bowersox e Closs (2001 apud LEITE, 2009, p. 16) acrescentam um importante conceito “[...] a ideia de ‘apoio ao ciclo de vida’ como um dos objetivos operacionais da logística moderna [...]”. Os autores buscam estender o ciclo de vida dos materiais nos fluxos diretos e reversos. Por sua vez, Dias (2006, p. 467) cita que a logística reversa é um conjunto de “[...] canais que facilitam o retorno de produtos ao ciclo produtivo [...]”.

De acordo com Pereira et al., (2012), a logística reversa vem se destacando pela importância econômica, competitiva e ambiental. A

cada dia novos produtos entram no mercado, porém essas ofertas de bens acabam reduzindo o ciclo de vida desses produtos que se tornam obsoletos rapidamente, contribuindo assim para o aumento da quantidade de resíduos gerados.

Segundo Admaier e Sellitto (2007, p. 398), [...] A logística reversa estuda os canais reversos de distribuição, canais estes que seguem fluxo oposto ao da cadeia original de distribuição de materiais, visando agregar valor ao retorno pela sua reintegração a um ponto do ciclo produtivo de origem, ou a outro ciclo produtivo, sob a forma de insumo ou matéria-prima.

Conforme os autores Admaier e Sellitto (2007, p. 398), o fluxo da logística direta se associa ao da logística reversa, ou seja, “[...] segundo um fluxo de ida e vinda de materiais [...]”, visualizado na Fig. 9.

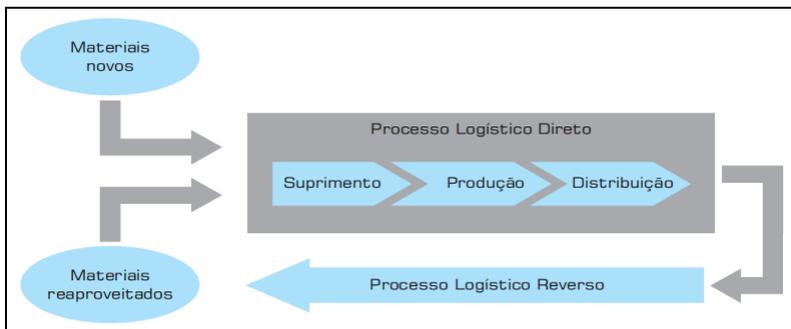


Figura 9 - Representação esquemática dos processos logísticos diretos e reversos. Fonte: Lacerda (2002 apud ADMAIER; SELLITTO, 2007).

Com base nos textos de Hu et al. (2002), Minahan (1998), Roger e Tibben-Lembke (1999) e Daugherty et al. (2001) (apud DIAS, 2006) o emprego da logística reversa está relacionado com os seguintes fatores: (a) maior conscientização ambiental das empresas com o destino apropriado dos seus produtos; (b) ganhos econômicos pela redução no uso dos materiais e (c) imagem positiva da empresa no mercado, proporcionando aumento de competitividade.

Porém, de acordo com uma pesquisa realizada nos Estados Unidos em diversos setores o motivo estratégico: “aumento de competitividade” é o mais importante para a utilização de canais de distribuição reversa – CDR pelas empresas. Devido à importância competitiva que esses CDRs vêm ganhando, Tab. 1 (LEITE, 2009).

Tabela 1 - Motivos estratégicos de as empresas operarem os canais reversos.

Motivo estratégico	% de empresas respondentes
Aumento de competitividade	65,2%
Limpeza de canal – estoques	33,4%
Respeito a legislações	28,9%
Revalorização econômica	27,5%
Recuperação de ativos	26,5%

Fonte: Rogers e Tibben-Lembke (1999, apud LEITE, 2009).

Os canais de distribuição reversa dividem-se em duas categorias (PEREIRA et al., 2012):

- Pós-venda: é o retorno dos produtos com pouco ou nenhum uso a algum elo da cadeia. Segundo Leite (2009) é nesta categoria que se encontram as embalagens retornáveis.
- Pós-consumo: é o retorno dos produtos após o término de sua vida útil por meio de canais reversos de reuso, reciclagem, remanufatura.

De acordo com Admaier e Sellitto (2007), a logística reversa ganha mais ênfase graças à mudança de métodos que a manufatura vem sofrendo em seus processos (pressão da sociedade, de governos, concorrência, entre outros), uma vez que esta está mais comprometida, agindo de forma estratégica e avaliando os seus impactos ambientais com o objetivo de buscar meios mais limpos de produção para seus produtos.

Atualmente cada vez mais empresas de bens ou serviços buscam utilizar logística reversa em seus produtos. Com relação a isto, Lima e Caixeta Filho (2001) relatam a reutilização de paletes de plástico (que apresentavam condições impróprias para ser enviados ao cliente) em atividades internas na própria fábrica da VCP – Votorantim Celulose e Papel Ltda. em São Paulo. Por sua vez, Acosta, Wegner e Padula (2008) analisaram uma empresa atacadista de informática do Equador que utiliza remanufatura em produtos que foram consertados por apresentarem defeitos junto aos consumidores e após isso, esses produtos são vendidos como remanufaturados.

Admaier e Sellitto (2007), por exemplo, descrevem um estudo de caso sobre embalagens retornáveis com características muito semelhantes à empresa estudada na presente dissertação. O estudo dos autores diz respeito a cabeçotes de motores exportados do Brasil para os Estados Unidos em que o cliente solicitou a mudança de embalagens descartáveis por embalagens retornáveis.

Em fluxos reversos o descarte de embalagens é considerado um processo delicado, no entanto o desenvolvimento de leis mais específicas em que o produtor torna-se responsável pelo produto pode viabilizar o uso efetivo de embalagens retornáveis (ADMAIER; SELBITTO, 2007). Percebe-se que o uso de embalagens não padronizadas favorece o aumento do descarte. Por isso, cada vez mais embalagens padronizadas modulares vêm ganhando maior visibilidade, pois apresentam redução nos custos e melhor aproveitamento de espaço nos *containers* devido ao agrupamento de várias embalagens ao serem transportadas.

2.7.1 Embalagens Retornáveis

O retorno de embalagens é um dos principais problemas da logística reversa, ainda mais devido as grandes distâncias geográficas que são percorridas pelo produto. Além disso, há a preocupação com o produto para que ele não seja afetado por problemas como corrosão e oxidação. O uso de embalagens retornáveis faz com que o valor da embalagem permaneça após o consumo ou utilização do produto, neste caso coloca-se novamente a embalagem no ciclo produtivo (ADMAIER; SELBITTO, 2007).

Segundo Lima e Caixeta Filho (2001, p. 54), a logística reversa “[...] deve dizer respeito à gestão integral do fluxo de retorno das embalagens”. Assim sendo, as embalagens retornáveis proporcionam diminuição de resíduos no meio ambiente por meio da reutilização, recuperação e reciclagem das embalagens. Segundo Pereira et al. (2012), o uso de embalagens retornáveis ou recicláveis alcançou um aumento de 30%.

De acordo com Leite (2009), as embalagens retornáveis possuem as seguintes vantagens em comparação às descartáveis: redução de resíduos no meio ambiente, vantagem econômica, boa imagem da empresa perante o mercado. Por outro lado, possuem custos semelhantes às descartáveis: custos logísticos, custos de manutenção das embalagens, custos de armazenagem, entre outros.

2.7.2 Legislação

Os governos como um todo, em resposta aos impactos causados pelos produtos no meio-ambiente, têm criado uma série de legislações para que o empresário ajuste o seu crescimento econômico em conformidade com as melhores práticas ambientais (LEITE, 2009). O

próprio consumidor de uma maneira geral está mais consciente dos impactos dos produtos no meio-ambiente, tornando-se exigente por querer produtos que não agridam, ou que ofereçam menos impactos ambientais (PEREIRA et al., 2012).

Dessa forma, têm-se a responsabilidade estendida sobre o produto – EPR (*Extended Product Responsibility*) ou “princípio do poluidor pagador” o qual aborda que:

[...] a cadeia industrial produtora ou o próprio produtor – que de certa maneira agridem o meio-ambiente – devem se responsabilizar pelo seu produto até a decisão correta de seu destino após o uso original (LEITE, 2009, p. 23).

Em 02/08/2010 foi criada a Lei nº 12305 “[...] que regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos e institucionaliza a logística reversa em todo o país [...]” (PEREIRA et al., 2012, p. 74). Julgou-se necessário citar algumas partes da nova Lei, no entanto em decorrência do texto extenso da lei algumas partes foram suprimidas, assim como os grifos abaixo foram realizados pela autora dessa dissertação dando ênfase ao assunto em questão (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2010):

Art. 31. Sem prejuízo das obrigações estabelecidas no plano de gerenciamento de resíduos sólidos e com vistas a fortalecer a responsabilidade compartilhada e seus objetivos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes têm responsabilidade que abrange:

I - investimento no desenvolvimento, na fabricação e na colocação no mercado de produtos:

a) que sejam aptos, após o uso pelo consumidor, à reutilização, à reciclagem ou a outra forma de destinação ambientalmente adequada;

b) cuja fabricação e uso gerem a menor quantidade de resíduos sólidos possível;

Art. 32. As embalagens devem ser fabricadas com materiais que propiciem a reutilização ou a reciclagem.

§ 1º Cabe aos respectivos responsáveis assegurar que as embalagens sejam:

II - projetadas de forma a serem reutilizadas de maneira tecnicamente viável e compatível com as exigências aplicáveis ao produto que contêm;

III - recicladas, se a reutilização não for possível.

§ 3º É responsável pelo atendimento do disposto neste artigo todo aquele que:

I - manufatura embalagens ou fornece materiais para a fabricação de embalagens;

II - coloca em circulação embalagens, materiais para a fabricação de embalagens ou produtos embalados, em qualquer fase da cadeia de comércio.

Art. 33. São obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de:

IV - óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;

Assim sendo, consumidores cada vez mais exigentes de sua responsabilidade com o meio ambiente e a criação de novas leis que tornam o fabricante responsável pelo seu produto, fazem com que as empresas busquem uma diferenciação no mercado, e somente com um pensamento estratégico compreenderão o potencial que a logística reversa agrega a seu processo, garantindo assim bons resultados financeiros (PEREIRA et al., 2012).

2.8 ESTUDO DOS TEMPOS

Para Miranda (2008), a manufatura enxuta e a cronoanálise estão mutuamente relacionados. Ambos possuem finalidades em comuns e compartilham das mesmas ferramentas como: padronização das operações, gerenciamento visual, 5s, entre outras. A cronoanálise utiliza tempos padrões (acrescentados de fadiga) necessários para a realização dos processos, enquanto que a manufatura enxuta foca em melhoria contínua, operadores multifuncionais. Segundo o autor, o *lean* utiliza a cronoanálise para identificar os tempos que não agregam valor no processo.

Maynard (2001 apud ALMEIDA, 2008, p. 17) define cronoanálise como: “a análise de uma dada operação para determinar os elementos de trabalho necessários para realizá-lo, da sequência em que ocorrem esses elementos e dos tempos necessários para realizá-los efetivamente”.

Depois de realizados os estudos dos tempos podem ser feitos o gráfico de balanceamento dos operadores (GBO) ou o gráfico de Gantt que possibilita a comparação do tempo de ciclo em relação aos tempos manuais. O diagrama de atividades simultâneas ou GBO é o método “[...] mais apropriado para o estudo de trabalhos que atendem às características de trabalho coordenado, cíclico ou repetitivo [...]” (CAMARROTO, 2006, p. 27).

Segundo Camaroto (2006, p. 27), o GBO admite duas abordagens principais: diagrama homem-máquina e diagrama de equipe. Para o presente trabalho será visto o diagrama homem-máquina que representa o trabalho de um operador em relação a uma ou mais máquinas.

Para a atual dissertação será elaborado o GBO por meio do Gráfico Yamazumi (palavra japonesa cujo significado é “empilhar”), o qual “[...] permite visualizar o conteúdo do trabalho, distribuir adequadamente as tarefas entre os funcionários, bem como eliminar as atividades que não adicionam valor ao produto [...]” (TALIP et al., 2011 apud VENTURINI, 2012, p. 53).

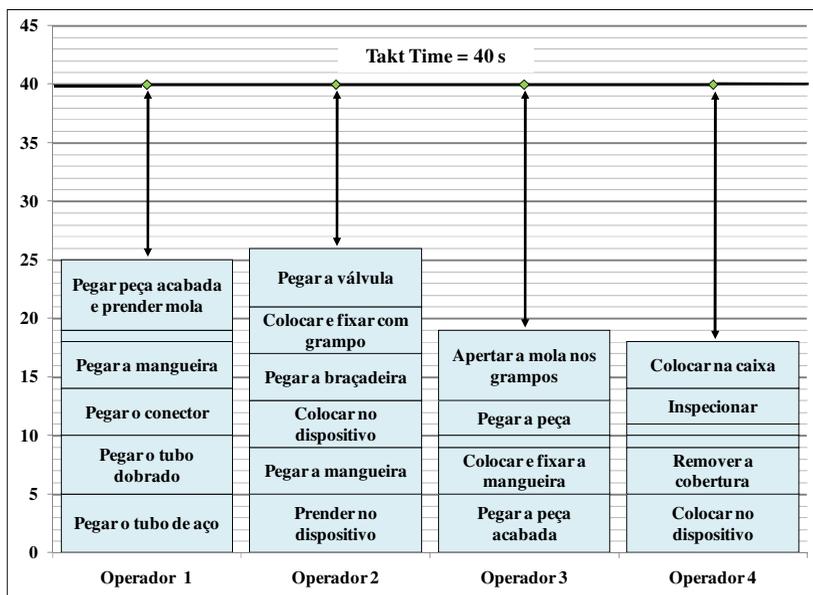


Figura 10 - Gráfico de balanceamento dos operadores. Fonte adaptada de: Rother e Harris (2002).

O GBO (Fig. 10) permite a visualização do *takt time* em relação aos elementos de trabalho distribuídos para os operadores. Para Rother e Harris (2002, p. 30) o GBO “[...] é eficaz para ajudar a entender, criar, gerenciar e melhorar o fluxo contínuo”.

Para o gráfico de Gantt (Fig. 11) encontra-se na literatura diversos nomes para o mesmo, assim como diferentes significados, podendo ser adaptado conforme as necessidades para cada problema. De acordo com Camarotto (2006, p. 26), um dos meios de representar o gráfico de Gantt seria pelo fluxograma cronológico que está relacionado “[...] a evolução do fluxo de itens em processamento através das atividades sequenciadas de um processo produtivo com os instantes e períodos de tempo decorridos na execução dessas atividades”.

Segundo Almeida (2008, p. 51), “quando se deseja demonstrar os instantes de início/fim de cada atividade envolvendo um ou mais operadores e máquinas, pode-se utilizar um gráfico de Gantt [...]”. Para Cassemiro (2007, p. 76) o “gráfico linha do tempo ou gráfico de Gantt, [...] se caracteriza por dispor as atividades em sequência”.

Assim sendo, “as vantagens dos gráficos de Gantt são que eles proporcionam uma representação visual simples do que deveria e do que está realmente acontecendo na operação” (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009, p. 300).

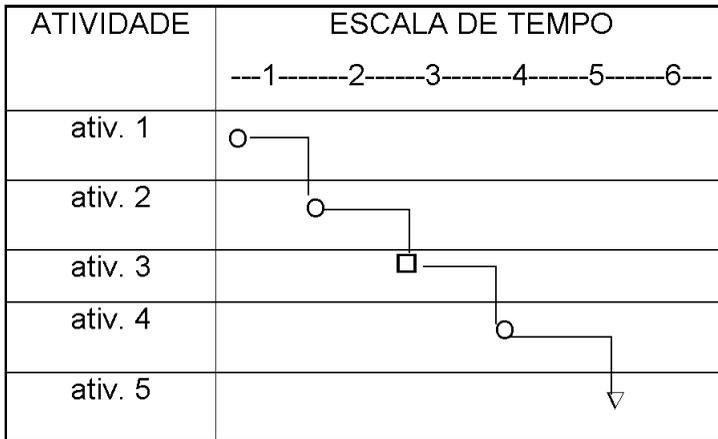


Figura 11 - Gráfico de Gantt. Fonte: Camarotto (2006).

2.9 SIMULAÇÃO

Oliveira (2008, p. 211) define que a simulação é “[...] um modelo que representa o processo real ou sistema, com o objetivo de análise do comportamento deste sistema [...]”.

De acordo com Pegden (1991 apud FREITAS FILHO, 2008, p. 22), “[...] simulação é o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento [...]”.

Segundo Banks (2005 apud OLIVEIRA, 2008, p. 211, grifo do autor), “simulação é a imitação de uma operação de um processo ou sistema reais”.

Para Freitas Filho (2008), a simulação ajuda a responder perguntas do tipo “o que aconteceria se?” por meio da avaliação de

vários cenários sem que o sistema sofra qualquer modificação uma vez que as simulações ocorrem no computador.

Conforme Freitas Filho (2008), a simulação não é mais utilizada somente como última opção devido ao aprimoramento dos modelos computacionais que permitiu uma melhor interação com o usuário. Percebe-se isto em processos reais já existentes, onde possíveis alterações são avaliadas primeiramente por meio da simulação antes que sejam feitas alterações no sistema real, pois qualquer mudança envolve custos.

Assim sendo, a alta administração justifica a decisão de usar a simulação a partir dos seguintes fatores (FREITAS FILHO, 2008):

- Maior detalhamento possibilitando uma simulação com análise de diversos cenários;
- Uso de animações durante toda a simulação facilitando a visualização do que está sendo modelado;
- Ganhos de qualidade e produtividade ao se desenvolver projetos por meio da simulação.
- Semelhança de que o modelo simulado comporta-se de acordo com o sistema real.

Dessa forma, a simulação tem sido bastante utilizada devido à necessidade de resolver problemas cada vez mais complexos quase que diariamente nos mais diversos setores tais como: industriais (otimizar os processos de uma linha de montagem); serviços (melhorar a eficiência no atendimento em bancos); mineração (logística de transporte e abastecimento) (OLIVEIRA, 2008; FREITAS FILHO, 2008).

2.9.1 Vantagens e Desvantagens da Simulação

No entanto, assim como toda ferramenta a simulação possui algumas vantagens e desvantagens no seu emprego. De acordo com Oliveira (2008), as vantagens da simulação são:

- Criação de um sistema que está ainda em fase de projeto;
- Possibilita uma análise financeira dos recursos antes que sejam implementados;
- Novos procedimentos operacionais, suposições por que ocorrem certos fatos, ou futuras melhorias podem ser testadas sem interrupção do sistema físico;
- Identificação de gargalos no sistema;
- Visualização de como o sistema realmente atua;

Além dessas vantagens citadas, com base nos textos de Pegden (1991) e Banks (1984) (apud FREITAS FILHO, 2008) destaca também:

- O modelo depois de criado pode ser utilizado toda vez que houver necessidade para avaliar novas propostas ou necessidades;
- Permite uma análise instantânea à medida que novos dados de entrada são adicionados ao sistema modelado, não havendo necessidade da finalização do sistema, “rascunho”, que será modelado;
- Facilidade em comparação a métodos analíticos que requerem muitas simplificações para torná-los utilizáveis;
- Melhor compreensão de quais variáveis são mais importantes para o sistema modelado, assim como o tempo da simulação pode ser realizado de forma lenta ou acelerada, de maneira a estudar os fenômenos que ocorrem.

Segundo Freitas Filho (2008), as desvantagens da simulação são:

- O aprendizado para a construção dos sistemas se dá ao decorrer do tempo à medida que ganha experiência ao se trabalhar com simulação;
- Como um sistema real é muitas vezes complexo, os resultados da simulação são de difícil compreensão;
- Os modelos de simulação consomem muito tempo para a modelagem e a experimentação do modelo.

2.9.2 Classificação dos Modelos de Simulação

Para Braghirolli (2009 apud VANZETTA E PASA, 2010), a modelagem e simulação dos sistemas se classificam em:

- Dinâmicos e Estáticos: é dinâmico quando o sistema representado sofre alterações no tempo, mas se não há modificações ao longo do tempo são classificados como estáticos.
- Aleatórios e Determinísticos: é aleatório quando o sistema fornece resultados diferentes não combinados, mas se o sistema não contém eventos probabilísticos é chamado de determinístico.
- Discretos e Contínuos: é discreto quando as variações ocorrem em momentos não contínuos no tempo, e é contínuo quando as mudanças ocorrem de forma ininterrupta no tempo.

De acordo com os autores Law e Kelton (2000), Banks et al. (2001), Shwif e Medina (2007) (apud GOMES, 2010) além das classificações citadas acima também fazem referência ao tipo de regime

se é permanente ou não. Segundo Pereira (2000 apud GOMES, 2010, p. 41), a simulação é considerada terminante quando se “há o interesse em se analisar o sistema num dado intervalo de tempo”, e é não terminante quando se “há o interesse em estudar o sistema a partir de um determinado estado estável, podendo o estudo, prolongar-se indefinidamente”.

Segundo Freitas Filho (2008, p. 48), além dos modelos discretos ou contínuos vistos acima, existem diversos tipos de modelos “[...] de acordo com seu propósito e tipo de processo decisório envolvido”, os sistemas também podem ser mistos, voltados à previsão, à investigação, à comparação e à aplicação que podem ser divididos em específicos ou genéricos.

2.9.3 Passos para a Simulação

De acordo com a abordagem tradicional visualizada nos trabalhos de Banks (1984), Law e Kelton (1992), Pegden (1990) e Kelton e Sadowski (1997) (apud FREITAS FILHO, 2008), o autor descreve os passos utilizados em um estudo de modelagem e simulação, Fig. 12:

1. Formulação e análise do problema: estabelecer qual é o problema, os objetivos, como foram definidos, entre outras questões que sejam relevantes para a delineação do problema.
2. Planejamento do projeto: se haverá suporte necessário tanto físico quanto material para a modelagem e simulação.
3. Formulação do modelo conceitual: qual é o tipo de modelo, detalhes que serão utilizados. Recomenda-se elaborar um fluxograma de forma simplificada até alcançar a complexidade real do sistema que se almeja.
4. Coleta de macroinformações e dados: são informações a respeito do sistema a ser simulado, dados estatísticos.
5. Tradução do modelo: ter o trabalho de documentar as variáveis, os atributos que serão utilizados.
6. Verificação e validação: que os resultados gerados pelo modelo sejam representativos ao modelo real.
7. Projeto experimental final: definir como os vários experimentos serão realizados.
8. Experimentação: gerar as informações desejadas por meio das simulações.

9. Interpretação e análise estatística dos resultados: verificação de quantas execuções será necessária para que se obtenham os resultados.
10. Comparação de sistemas e identificação das melhores soluções: comparar o sistema modelado com o real.
11. Documentação: agrupamento de todos os dados levantados, análises geradas e compiladas para facilitar uma possível alteração.
12. Apresentação dos resultados e implementação: verificação de quais problemas foram resolvidos, e se os objetivos foram atendidos.

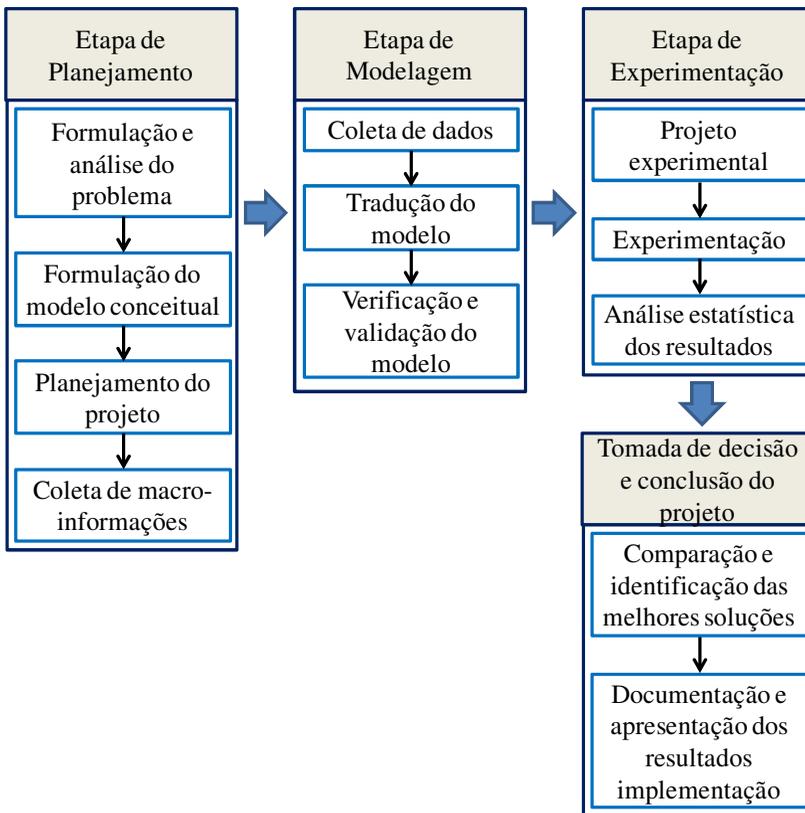


Figura 12 - Passos em um estudo envolvendo modelagem e simulação. Fonte adaptada de: Freitas Filho (2008).

2.9.4 Erros no Emprego da simulação

De acordo com Freitas Filho (2008), os erros associados com a utilização da simulação estão relacionados com aqueles que utilizam a ferramenta para obterem respostas rápidas acerca do modelo simulado abaixo são descritos alguns desses erros:

- Pouca compreensão sobre a ferramenta utilizada: pouco treinamento no software utilizado, assim como equívoco na utilização de inferências estatísticas menos precisas com o sistema real a ser modelado, resultando em tomadas de decisões erradas.
- Falta de clareza nos objetivos: uma das finalidades do emprego da modelagem de sistemas é evitar custos desnecessários, quando atreladas a objetivos elusivos os benefícios da simulação não serão evidenciados.
- Detalhamentos de modelos sem a real necessidade: como já mencionado, um sistema real é muito complexo, e incluir muitos detalhes que não agregam com os objetivos formulados desperdiça tempo e recursos e não resulta em maior exatidão do modelo.
- Realizar uma execução: é importante realizar uma determinada quantidade de execuções ou replicações, pois um modelo aleatório resulta em dados aleatórios.

Assim sendo, a modelagem de um sistema real como, por exemplo, uma linha de produção, que será o objeto de estudo dessa dissertação, consiste em um sistema complexo com diversas particularidades, e requer conhecimento do processo produtivo e no uso do software. Dessa forma, a interpretação dos resultados exige extremo cuidado, para não se obter conclusões imprecisas a respeito do sistema.

2.9.5 Software de Simulação

Na década de 1960 começaram a surgir as linguagens de simulação, destacando-se o GPSS, primeira linguagem de simulação comercial do mundo. No entanto, poucos computadores conseguiam trabalhar com essas linguagens de simulação. Na década de 1970 apareceram novas linguagens tais como GASP, SIMSCRIPT e EXELSIM, devido à melhora nos computadores ainda que de forma gradual utilizados na época (PRADO, 2010).

Porém, somente nos anos 1980 houve um grande avanço nos computadores, o que possibilitou o surgimento da “simulação visual” tais como: ARENA, PROMODEL, GPSS (nova versão), entre outros (PRADO, 2010).

Os softwares atualmente comercializados não requerem computadores de alto desempenho, e podem ser utilizados pelo próprio pessoal do processo, sem necessitar de analistas especializados ou mesmo do desenvolvimento de um programa computacional. A interface do usuário com o software de simulação é feita através de itens gráficos que representam as diversas entidades (ou processos) do sistema que está sendo simulado bem como suas interações. É como fazer um filme do processo e observar o que ocorre quando alterações são realizadas [...] (OLIVEIRA, 2008, p. 212).

Para Prado (2010, p. 25), “cada software de simulação possui uma característica básica que o diferencia dos outros: a ‘visão do mundo’.” Isto permite que cada software gere relatórios segundo sua própria visão, com suas próprias particularidades.

A linguagem de simulação que será utilizada nesta dissertação será o software Arena. Para Oliveira (2008), o tipo de linguagem de simulação não é o mais importante, o essencial é que o modelo representado seja fiel ao sistema real, permitindo dessa forma, análises mais precisas.

2.9.6 Terminologias Utilizadas na Simulação

São inúmeros os termos utilizados na modelagem de sistemas. Citam-se algumas dessas terminologias abaixo de acordo com Freitas Filho (2008, p. 40):

1. Variáveis de Estado: “As variáveis cujos valores determinam o estado de um sistema são conhecidas como ‘variáveis de estado’ [...]”. As variáveis de estado são o objeto de estudo do sistema analisado e são em relação às mesmas que são tomadas as decisões, ou seja, as variáveis possuem as respostas necessárias para o entendimento do sistema modelado. As variáveis analisadas neste trabalho foram: quantidade de peças, tempo médio no sistema, ocupação dos operadores, entre outros.

2. Entidades e Atributos: Segundo Oliveira et al. (2009, p. 7), “entidades representam qualquer objeto que se mova através do sistema”. No presente trabalho as entidades serão representadas pelas peças usinadas. Os atributos além da função de diferenciar as entidades também são importantes para o registro de informações estatísticas.
3. Recursos e Filas de Recursos: As entidades são servidas pelos recursos que podem atender mais de uma entidade e, caso o recurso esteja ocupado, as entidades esperarão em uma fila até a desocupação do recurso. Neste trabalho o tratamento das filas utilizadas será por meio de FIFO, sendo que o software Arena também possibilita a utilização de outros tipos de filas.
4. Eventos: Podem ser planejados ou não, criando alterações nas variáveis de estado.
5. Atividades e Períodos de Espera: A atividade de um sistema para o caso estudado de peças usinadas seria o tempo de processamento determinístico ou não. Nos períodos de espera as entidades ficarão retidas em uma fila de espera onde não é possível controlar essa ação, ainda mais quando na modelagem do sistema são envolvidos dados não determinísticos. Tanto as atividades quanto os períodos de espera ocorrem devido aos eventos.
6. Tempo (Real) Simulado e Tempo de Simulação: O autor faz uma ressalva quanto aos tempos empregados na simulação, pois dependendo do sistema analisado o tempo necessário para a simulação do experimento é maior do que o tempo do sistema real, e em outras vezes simulam-se dias em alguns segundos.

2.9.7 Trabalhos de Mapeamento do Fluxo de Valor com Simulação

De acordo com os autores Singh, Garg e Sharma (2011) foram encontrados na literatura 11 trabalhos (representando 24% dos trabalhos analisados) que utilizam tanto MFV quanto simulação. Os autores realizaram uma revisão de trabalhos publicados desde 1990 (em revistas científicas, congressos e livros) de trabalhos que envolviam MFV e outras técnicas.

Oliveira (2008) também cita trabalhos de alguns autores que utilizaram simulação em projetos de manufatura enxuta e obtiveram benefícios ao combinar o uso com a filosofia enxuta. Para Standridge e Marvel (2006) os métodos *lean* possuem limitações, e a simulação pode contribuir para diminuir esses obstáculos.

A seguir são mostrados alguns trabalhos de autores que justificam a utilização de simulação em trabalhos de manufatura enxuta, por exemplo:

Abdulmalek e Rajgopal (2007) utilizaram MFV em uma indústria siderúrgica e complementaram o trabalho por meio da simulação de diversos cenários futuros realizados no software Arena.

Donatelli e Harris (2001) descrevem que MFV e simulação se completam mutuamente. Para os autores, a simulação pode ser utilizada para medir os impactos das melhorias sugeridas no mapa futuro sobre o sistema produtivo.

Já os autores Shararah, El-Kilany e El-Sayed (2010) abordam que a utilização de MFV e simulação facilitam a implementação da manufatura enxuta.

Haque et al. (2011) utilizam uma série de métodos e técnicas da manufatura enxuta além da simulação para reduzir os desperdícios no sistema produtivo de uma fábrica de vestuários com o objetivo de aumentar a produtividade.

Lian e Landeghem (2002) propõem um método de implementação de MFV estendido (para múltiplos produtos) por meio de uma simulação onde o modelo simulado é alimentado com os dados do estado atual e futuro do MFV (primeiro para validar a modelagem em relação ao estado atual e segundo para analisar os impactos das melhorias sugeridas antes da implementação do estado futuro).

Rajentirakumar et al. (2012) identificaram pelo MFV as perdas que existiam na cadeia produtiva de máquinas têxteis e pelo *software* Arena avaliaram os ganhos potenciais com a utilização das ferramentas *lean* antes das mudanças no leiaute, obtendo aumento de disponibilidade das máquinas e maior agregação de valor.

E Persson (2011) utiliza os dados obtidos no MFV para a construção de um modelo de simulação de uma cadeia de suprimentos de um fabricante de trocadores de calor.

Assim sendo, de acordo com esses autores, os resultados encontrados mostraram ser mais eficientes em vez da utilização somente do MFV e que a combinação desses métodos facilitam a implementação da manufatura enxuta, além de facilitar a tomada de decisão dos gestores pelos melhores cenários.

3 ESTUDO DE CASO: UTILIZAÇÃO DE MFV E SIMULAÇÃO EM UMA EMPRESA DE USINAGEM DE PEÇAS AUTOMOTIVAS

3.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO USINAGEM

Segundo Santos (2005), a fabricação é a transformação da matéria-prima em produtos acabados prontos para utilização e, por meio deles, obtém-se retorno econômico. Os processos de fabricação são classificados se há ou não alteração da forma (Fig. 13). O estudo de caso desta pesquisa faz referência ao processo de usinagem. De acordo com Stoeterau (2004, p. 4), “a definição de usinagem, segundo a DIN 8580, aplica-se a todos os processos de fabricação onde ocorre a remoção de material sob a forma de cavaco”.

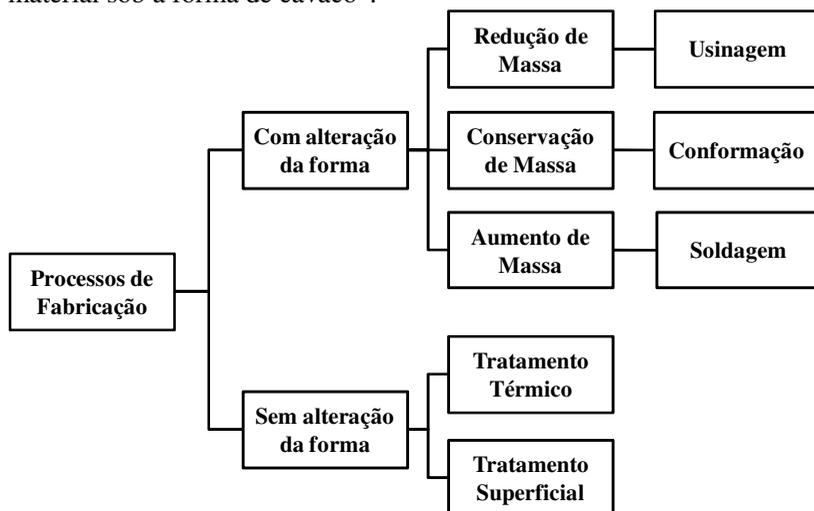


Figura 13 - Classificação dos processos de fabricação. Fonte adaptada de: Santos (2005).

Em processos como o da fundição a maioria dos produtos que saem desses processos não têm as dimensões apropriadas para a utilização nas máquinas. Dessa forma o processo de usinagem permite que seja obtida tal característica onde em outros processos é difícil de serem conseguidas assim como também possibilita um bom acabamento superficial para as peças, elaboração de saliências e reentrância. “No processo de usinagem uma ferramenta é forçada através do material para remover cavaco e deixar sobre esta uma superfície de forma

determinada. A ferramenta age penetrando como se fosse uma verdadeira cunha [...]”, Fig. 14 (PINTO, 2008, p. 70).

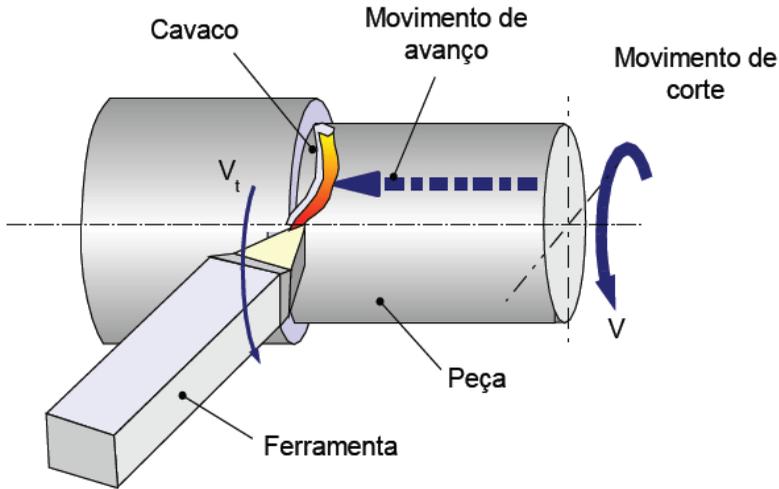


Figura 14 - Formação do cavaco. Fonte: Stoeterau (2007).

De acordo com Stoeterau (2004, p. 6), a usinagem é responsável por:

- 80% dos furos;
- Aproximadamente 100% dos processos de melhoria da qualidade superficial;
- O comércio de máquinas-ferramentas representa um dos maiores do mundo;
- Aproximadamente 70% das engrenagens para transmissão de potência;
- Aproximadamente 90% dos componentes da indústria aeroespacial;
- Aproximadamente 100% dos pinos médicos-odontológicos;
- Aproximadamente 70% das lentes de contatos;
- Lentes para CD *player* ou suas matrizes.

Para Stoeterau (2004, p. 6) “a maior parte de todos os produtos industrializados em alguma de suas etapas de produção, direta ou indiretamente sofre algum processo de usinagem”.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO

O presente estudo desenvolveu-se em uma empresa líder mundial na fabricação de blocos e cabeçotes de motores, com sede em Santa Catarina. A empresa atua em diversos segmentos tais como conexões de ferro, granalhas de aço e perfis. Porém, o mais significativo em termos de produção/faturamento são as peças desenvolvidas para o setor automotivo.

O estudo desta dissertação foi feito em uma linha de produção de cabeçotes do setor de usinagem. A fabricação de cabeçote de motores (Fig. 15) é caracterizada pelo emprego de diferentes processos de usinagem como fresamento (em etapas de desbaste e acabamento) e furação (para a obtenção de furos para fixação do cabeçote no bloco, para a montagem dos componentes e como referência para processos posteriores).



Figura 15 - Cabeçote de motor estudado. Fonte: Empresa (2012).

O cabeçote é uma das peças principais do motor, e esta peça necessita de uma perfeita usinabilidade. Por isso a sua importância, uma vez que a este estão relacionados outros componentes que serão montados no bloco de motor e “praticamente todas as superfícies usinadas de um bloco de motor têm efeito em sua montabilidade [...]” (MOCELLIN, 2007, p. 36).

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA PRODUTIVO

O processo de fabricação do cabeçote se dá por meio de processos em lotes. De acordo com Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 94) “[...] o processo em lotes pode ser baseado em uma gama mais ampla de níveis de volume e variedade”. Os autores citam alguns exemplos de processos em lote, e em especial a categoria na qual o

cabeçote se encontra, ou seja, na fabricação de peças montadas para o ramo automotivo.

A fabricação do cabeçote ocorre em grandes lotes e, devido aos modelos que passam na linha de produção possuem as mesmas características, faz com que os processos em lotes se assemelhem aos processos seriados por serem de certa forma repetitivos (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Assim sendo, nesta linha de produção passam cinco produtos diferentes, que será denominado posteriormente como a família de produtos em estudo. Por meio de uma carreta, os cabeçotes são transportados em lotes de 24 peças cada do setor de fundição da empresa, e são levados para a expedição de produtos brutos da usinagem até que sejam enviados para a linha de produção por meio de empilhadeira conforme a demanda diária solicitada. Dessa forma, o modelo adotado pela produção é o empurrado ou em outras vezes, o *feeling* do colaborador dita o ritmo da produção.

Assim, a disposição de como está distribuído este processo como um todo resulta em uma grande movimentação de materiais, estoques em processo *WIP* e estoques tanto de produtos brutos como de acabados.

3.4 DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO

Tendo em vista o emprego de ambos os métodos encontrados na literatura (MFV e simulação), necessitou-se elaborar uma estrutura para cada, dividindo assim, em duas partes.

Assim sendo, na Fig. 16 adotam-se as etapas do MFV propostas por Rother e Shook no manual *Aprendendo a Enxergar* em 1999. E na Fig. 17 são mostradas as etapas para a modelagem e simulação.

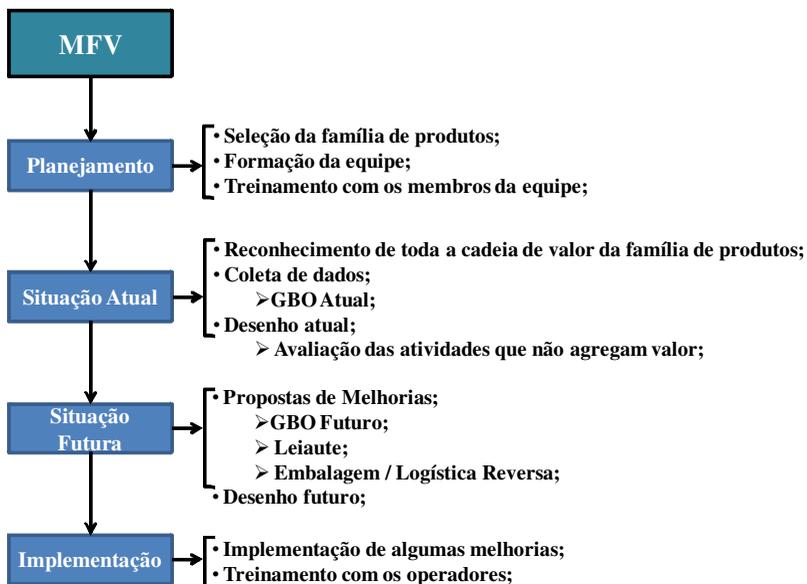


Figura 16 – Etapas do MFV. Fonte adaptada de: Kappes (2011).

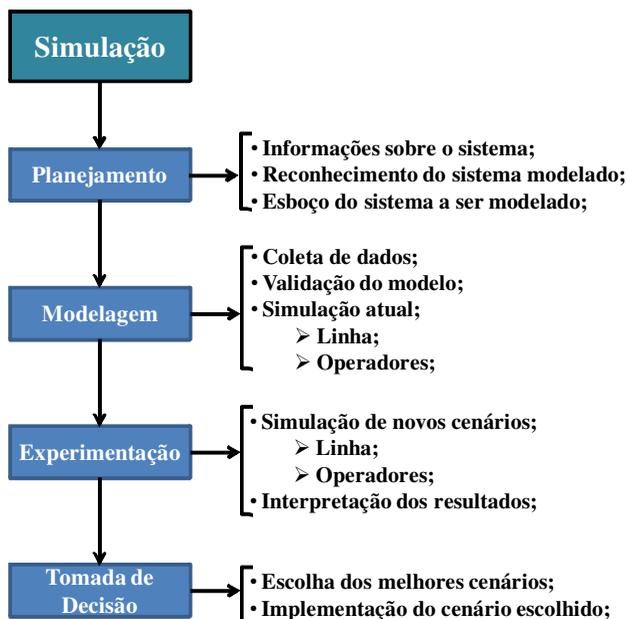


Figura 17 – Etapas para a modelagem e simulação. Fonte adaptada de: Freitas Filho (2011).

Para efeito de visualização, mostrou-se somente a ideia que será utilizada para cada etapa (Figuras 16 e 17). No entanto, no decorrer dos capítulos seguintes, para ambos os métodos serão desenvolvidos novos subitens.

4 ETAPA I – MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR

4.1 PLANEJAMENTO

A primeira etapa do planejamento consiste em selecionar uma família de produtos que servirá como um projeto piloto para o estudo. Segundo Rother e Shook (2003), uma família de produtos é caracterizada por máquinas similares nos seus processos e por etapas comuns de processamento. Assim sendo, decidiu-se por uma família de cabeçotes do setor de usinagem para o projeto piloto. Nesta linha de produção passam cinco modelos de cabeçotes diferentes que possuem processos similares e utilizam os mesmos equipamentos e, portanto, estão de acordo com a definição de família de produtos propostos por Rother e Shook (2003).

Com o intuito de promover um *brainstorming*, foi necessário formar uma equipe envolvendo os seguintes setores de: PCP, produção, engenharia, processo, ferramentaria, leiaute, manutenção e qualidade. De acordo com Kappes (2011), o objetivo de criar equipes é fornecer o suporte necessário para implementação do pensamento enxuto.

Dessa forma, fez-se necessário um treinamento com os membros das áreas envolvidas a fim de se alinhar os conceitos da manufatura enxuta, treinamento este que foi realizado pela autora da dissertação. Ao longo do andamento do trabalho repassou-se o treinamento aos colaboradores, com o intuito de garantir o envolvimento de todos, a fim de que todos estivessem conscientes da filosofia enxuta, passando a adotá-la e vivenciá-la diariamente.

4.2 SITUAÇÃO ATUAL

Segundo Venturini (2012), deve-se realizar uma análise prévia do processo produtivo e identificar os problemas existentes. Dessa forma, fez-se uma análise de todo o fluxo de valor a fim de compreendê-lo, inclusive a sequência dos processos. Com isso, obteve-se uma visão do todo ao percorrer e conversar com os colaboradores dos departamentos que transformam a matéria-prima da família estudada em produto acabado.

A linha apresenta o leiaute em linha (Fig. 18), os cabeçotes seguem um fluxo ao longo da linha de produção. Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 211), este tipo de leiaute “[...] afeta os custos, a flexibilidade, a robustez e a atitude dos funcionários”.

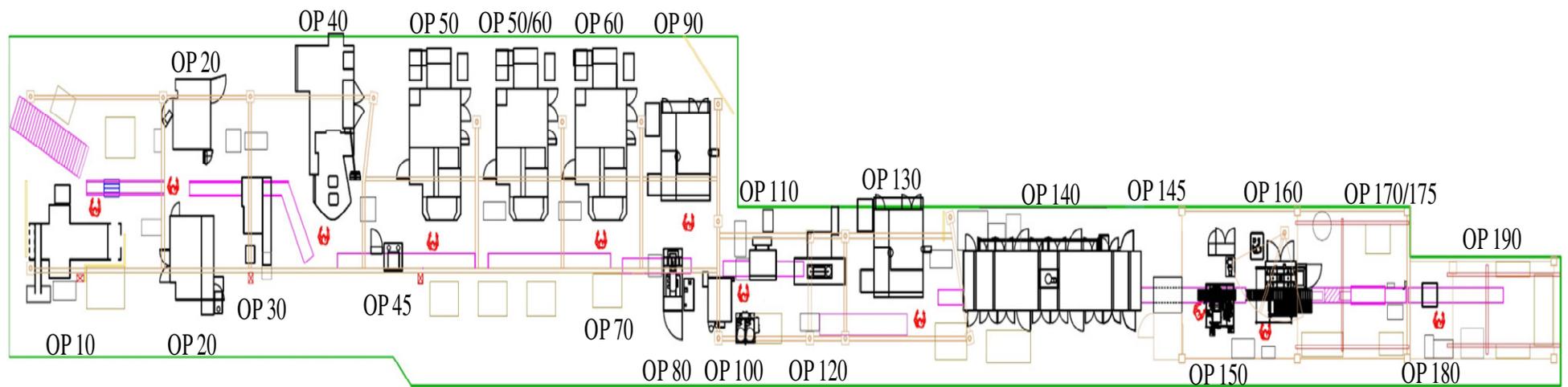


Figura 18 - Planta baixa da linha de cabeçotes. Fonte: Empresa (2012).

Observa-se na Fig. 18 o leiaute da linha de produção, onde há 22 operações que são conectadas por esteiras, nas quais 11 operadores estão dispostos por turno. Os cabeçotes, após serem parcialmente embalados na linha, são colocados em paletes de madeira (onde 16 peças são enviadas para mercado externo); ou metálico (onde 24 peças são enviadas para o mercado interno). Após isso, uma empilhadeira leva os paletes para a área de amarração, onde a embalagem é finalizada, sendo enviados posteriormente para a expedição onde ficam aguardando o embarque (Fig. 19).

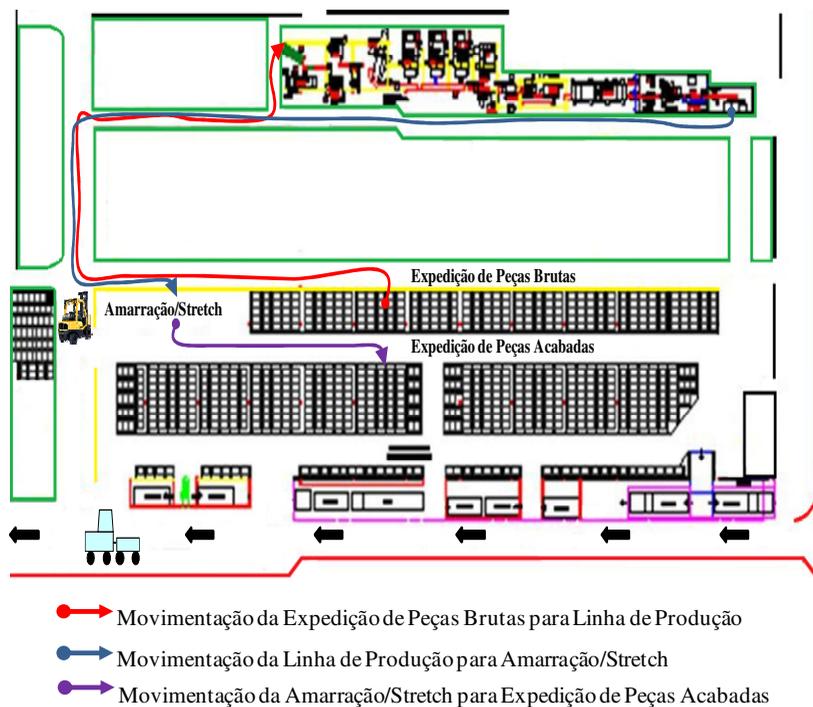


Figura 19 - Planta baixa de áreas pertinentes para o estudo. Fonte: Empresa (2012).

Visualiza-se na Fig. 19 que algumas partes do leiaute foram suprimidas por não interessar ao estudo em questão, aparecendo somente as áreas demarcadas. Assim sendo, na família de produtos estudada percebem-se alguns problemas relacionados com:

- Acúmulo de estoques de produtos acabados e em processo;
- Ociosidade dos operadores;

- Excesso de movimentação desnecessária de materiais e pessoas;
- Problemas com paradas de máquinas;
- Retrabalho;
- Elevado tempo de espera de peças que vão para a máquina de medição por coordenadas;
- Arranjo físico desfavorável.

4.2.1 Coleta de Dados

Durante o período estudado o sistema de produção apresentou muita variação na demanda, e com isso refletiu na quantidade de turnos que a linha de cabeçotes adota. A linha tem capacidade para trabalhar em três turnos ou em revezamento (7 dias) dependendo da demanda.

Até 2011, a empresa trabalhava com uma disponibilidade de 85%, porém em 2012 a Empresa passou a trabalhar com 88% de disponibilidade para todas as operações. De acordo com informações do PCP, para o desenho do estado atual considerou-se como demanda atual 2800 cabeçotes por mês, significando uma demanda diária de 140 cabeçotes.

Tendo os dados de demanda e as horas disponíveis para o trabalho pode-se então calcular o *takt time*. Para Rother e Harris (2002), o objetivo do *takt time* é definir a real necessidade do cliente e com isso produzir somente o que ele necessita, ou seja, com base em uma demanda real diária. Segundo os autores, quando há uma enorme variação na quantidade solicitada pelo cliente, opta-se por trabalhar com um tempo constante baseando-se em uma demanda pré-determinada durante o período de tempo selecionado.

Ainda de acordo com Rother e Harris (2002, p. 14), “mudanças frequentes no “*takt time*” são ineficientes, interrompem o ritmo de trabalho e aumentam o potencial de surgimento de problemas de qualidade”. Assim sendo, para o cálculo do *takt time* (Eq. 1) subtraiu-se do tempo total de trabalho disponível, as paradas com as refeições e os intervalos que ocorriam em cada turno, sendo considerados dois turnos somente.

$$TaktTime = \frac{HorasDisponíveis}{Demanda} = 6,44 \text{ min} \quad \text{Eq. (1)}$$

A escolha de dois turnos para o cálculo do *takt time* foi em relação à quantidade de cabeçotes exigida pelo cliente, não havendo

necessidade do terceiro turno. No início do estudo a linha de produção trabalhava com somente três pessoas no terceiro turno, o que provocava um fluxo irregular durante o início do próximo turno, pois criava uma movimentação desnecessária de ter que colocar as peças que foram colocadas nos *buffers* no dia anterior novamente no fluxo da linha.

4.2.2 Mapeamento do Fluxo de Valor – Estado Atual

Para o desenho do estado atual, após a família de cabeçotes do setor de usinagem ter sido selecionada, as informações foram coletadas a partir da expedição final (expedição de peças acabadas) até a matéria-prima recebida (expedição de peças brutas). O mapeamento do estado atual (Fig. 20) foi realizado por meio de contagem de peças e cronometragem dos processos. Esses dados adquiridos serviram de base para o gráfico de balanceamento dos operadores/processos da linha em estudo e para o mapeamento do estado futuro que serão vistos nos próximos tópicos.

Na Fig. 20 pode-se observar que a fabricação do produto é mostrada em sequência, de acordo com cada caixa de processo. Tendo em vista um mapeamento mais detalhado dos processos da família de cabeçotes do setor de usinagem, desenhou-se uma caixa de processo para cada operação. Na caixa de dados são mostradas informações necessárias referentes a tempo de ciclo – T/C, quantidade de operadores, tempo de agregação de valor – TAV, disponibilidade da produção e as horas trabalhadas por dia. Observa-se que o TAV é menor que o T/C, pois não são considerados os tempos de carga e descarga, ou seja, são considerados somente os tempos que realmente transformam o cabeçote em produto acabado (ROTHER; SHOOK, 2003).

O fluxo de material é no sentido da esquerda para direita com produção empurrada e em alguns processos isolados com “FIFO – *First In, First Out* – primeiro que entra, primeiro que sai”, onde são mostradas as quantidades de peças em processo. Já o fluxo de informações é no sentido da direita para esquerda, onde é mostrada a forma como o processo de manufatura é planejado. Na parte inferior de cada caixa de processo tem-se a linha do tempo com a qual se compara o *lead time* da produção com o tempo de processamento.

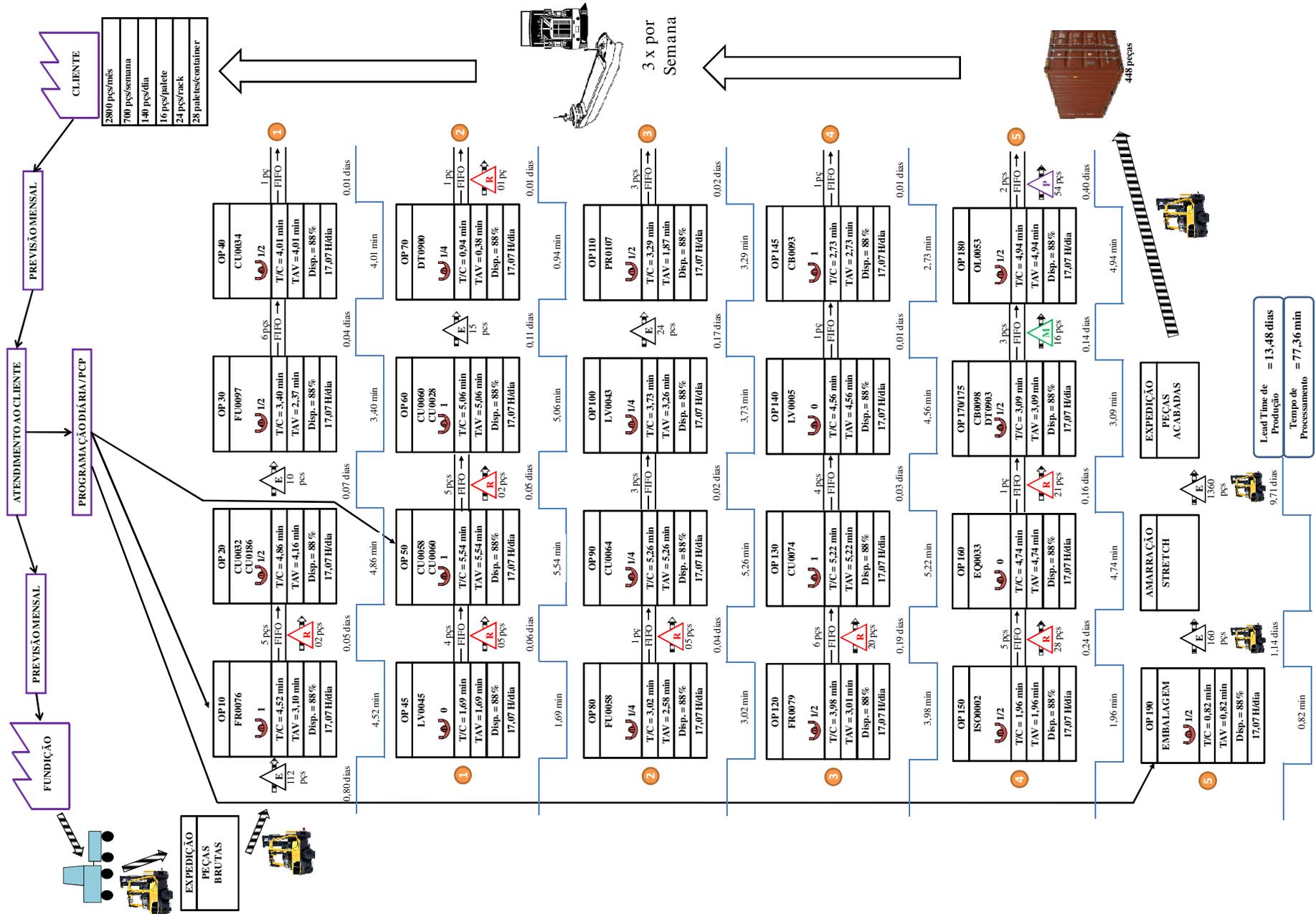


Figura 20 – Mapa do Fluxo de Valor Estado Atual. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Estoque de peças em processo
 Estoque de peças em retrabalho
 Estoque de peças de modelos diferentes
 Estoque de peças em paletes incompletos

Nota-se que para o mapeamento do estado atual foi necessário adaptar algumas das simbologias do *Lean Enterprise Institute* – (LEI) a fim de que o fluxo de valor fosse o mais próximo possível da realidade em que se encontra a empresa em estudo. Observa-se ainda na Fig. 20 que foram adaptadas simbologias para peças em retrabalho, peças de modelos diferentes e paletes incompletos, por achar que as mesmas contribuíram para a nova proposta que visa um maior fluxo de valor, pois as mesmas ficavam à espera de processamento e continuidade na linha e, com isso, acabavam ocupando espaço no leiaute da linha até que o mesmo modelo entrasse novamente na linha.

Visualiza-se que no desenho do estado atual não foi considerado o tempo de troca – TR, pois na linha em estudo até a operação 45 os processos são os mesmos para qualquer um dos cinco modelos que passam na linha. A partir da operação 50 os processos mudam de acordo com o modelo, no entanto os centros de usinagem possuem apalpadores que identificam em segundos o modelo que será usinado e, portanto, o TR é desconsiderado.

Em relação aos tempos de ciclo de algumas operações tais como OP 20, OP 50 e OP 60 (Tabela 2), que na prática são maiores do que o *takt time* recomendado de 6,44 min, a empresa trabalha com capacidades duplicadas para essas operações. Assim sendo, a linha possui duas máquinas para a OP 20, as quais são conhecidas como máquinas gêmeas ou duplicadas, e neste caso a produção ocorre alternando-se o ciclo de cada uma destas máquinas.

Para a OP 50 e OP 60 têm-se três centros de usinagem para as duas operações. Em uma das máquinas, trabalha-se alternando cada operação em cada ciclo e, para as outras duas máquinas são realizadas somente uma operação em cada centro de usinagem.

Dessa forma, o cálculo feito para o tempo entre cada peça tanto para a OP 50 quanto para a OP 60 foi feito da mesma maneira (Eq. 2):

$$\begin{aligned} OP50 &= 60 / \left(\frac{60}{8,45} + \frac{60}{(8,42 + 7,67)} \right) = 5,54 \text{ min/ } p\zeta \\ OP60 &= 60 / \left(\frac{60}{(8,42 + 7,67)} + \frac{60}{7,39} \right) = 5,06 \text{ min/ } p\zeta \end{aligned} \quad \text{Eq. (2)}$$

Tabela 2 - T/C operações especiais centros de usinagem.

Operação	Máquina	T/C (min)	Tempo/Peça
20	Máq. 1	9,60	4,86
	Máq. 2	9,85	
50	Máq. 3	8,45	5,54
	Máq. 4 – A	8,42	
60	Máq. 4 – B	7,67	5,06
	Máq. 5	7,39	

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Na OP 100, que se trata de uma lavadora, a mesma tem capacidade para lavar três peças ao mesmo tempo com um tempo de agregação de valor igual a 3,26 min, porém o operador utiliza a lavadora dependendo de como está a linha: se ela está vazia trabalha com uma peça por vez, porém se ela está cheia espera completar a quantidade de peças. Assim sendo, para o desenho do estado atual considerou-se somente o fluxo unitário de uma peça por vez.

Para o processo de embalagem, OP 190 (Tabela 3), a embalagem só é finalizada quando se completa a quantidade de peças exigidas (neste caso dezesseis peças no palete). Para obter-se o tempo entre peças, foram somados todos os elementos de trabalho individuais que consistiam no tempo total para o fechamento da embalagem e, depois, dividiu-se pela quantidade de peças considerando somente uma peça por vez.

Tabela 3 - T/C operações especiais embalagem.

Elementos de Trabalho	Tempo (min)
Pegar palete + Embalagens Internas	2,31
Carregar peças	8,64
Colocar divisórias	0,78
Fechar palete	1,43
Tempo Total	13,16
Tempo/Peça	0,82

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Portanto, para o desenho do estado atual procedeu-se das formas citadas acima para as tomadas de tempos de ciclo dessas operações.

Na Fig. 21 observa-se um resumo estratificado do *lead time* por áreas, e pode-se perceber a quantidade significativa de estoques de peças acabadas, que é uma característica de produção empurrada.

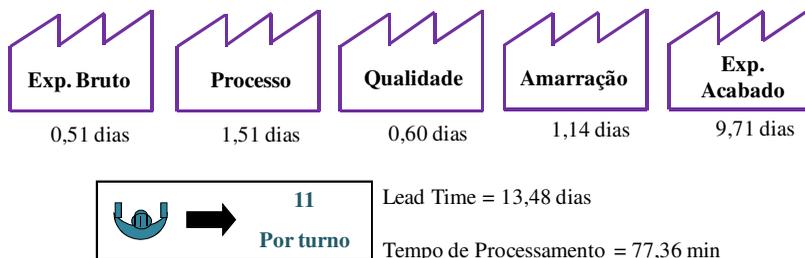


Figura 21 - Resumo do Mapa do Estado Atual. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Segundo Rother e Harris (2002), as possíveis causas dos desperdícios (de superprodução, espera e excesso de operadores) podem estar relacionadas com tempos de ciclos menores do que o *takt time* (Fig. 22), o que foi realmente identificado na linha em estudo.

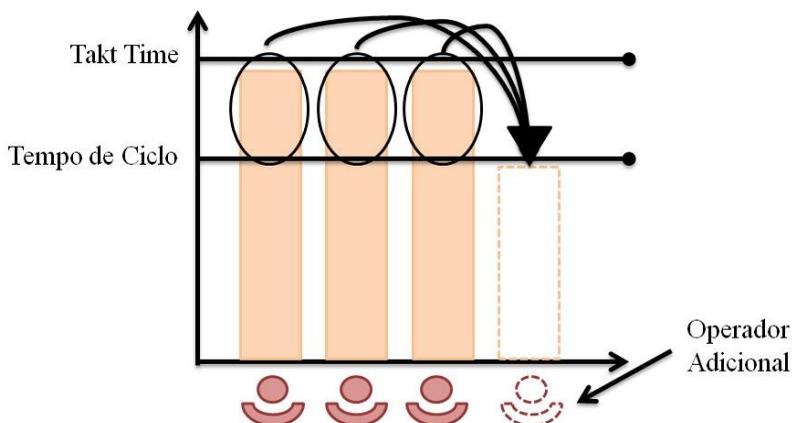


Figura 22 - Tempo de ciclo x *takt time*. Fonte adaptada de: Rother; Harris (2002).

Assim sendo, na Fig. 23 percebe-se que o maior tempo de ciclo encontrado nas operações é de 5,54 minutos (na OP 50), que nesse caso é a operação gargalo. Esse tempo está abaixo do *takt time* de 6,44 minutos, assim como as demais operações. A linha também possui operações com tempos de ciclo muito rápidos, o que causa desbalanceamento da linha.

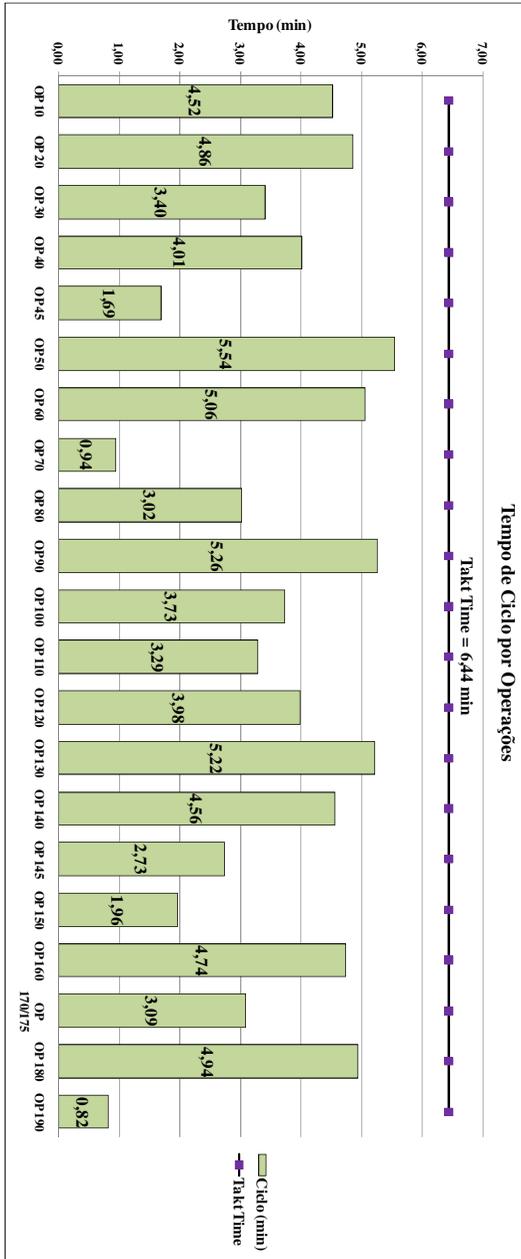


Figura 23 - Tempo de Ciclo por Operações Atual. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

4.2.3 Estudo dos Tempos Atual

Segundo Almeida (2008), fatores como ergonomia dos trabalhadores e arranjo físico são de fundamental importância e devem ser levados em consideração ao se fazer balanceamento.

De acordo com Gomes et al. (2008), Rother e Harris (2002), na produção em massa o tempo de espera acaba sendo distribuído entre todos os trabalhadores, pois procura-se balancear as atividades dos operadores de forma idêntica. Já na produção enxuta adota a máxima utilização de todos os trabalhadores utilizando-se até 95% do *takt time*, exceto um para suprir ausência de algum outro trabalhador. Segundo Rother e Harris (2002), ao se deixar um operador fora desse balanceamento dos 95% do *takt time*, expõe-se o desperdício de forma visível, tornando a melhoria mais fácil de ser obtida.

Com o objetivo de mensurar e determinar todos os elementos de trabalho das operações em comparação com o tempo de ciclo das operações executadas pelos operadores, optou-se por utilizar o Gráfico de Gantt (Fig. 24).

De acordo com Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 300), “o Gráfico de Gantt proporciona uma representação visual simples do que deveria e do que está realmente acontecendo na operação”. Ou seja, ficam mais visíveis os desperdícios e as oportunidades de melhoria. Para efeitos de visualização dos gráficos gerados para a linha será mostrado somente a OP 10 (Fig. 24). No entanto, no Apêndice podem ser visualizados os outros gráficos gerados para as demais operações.

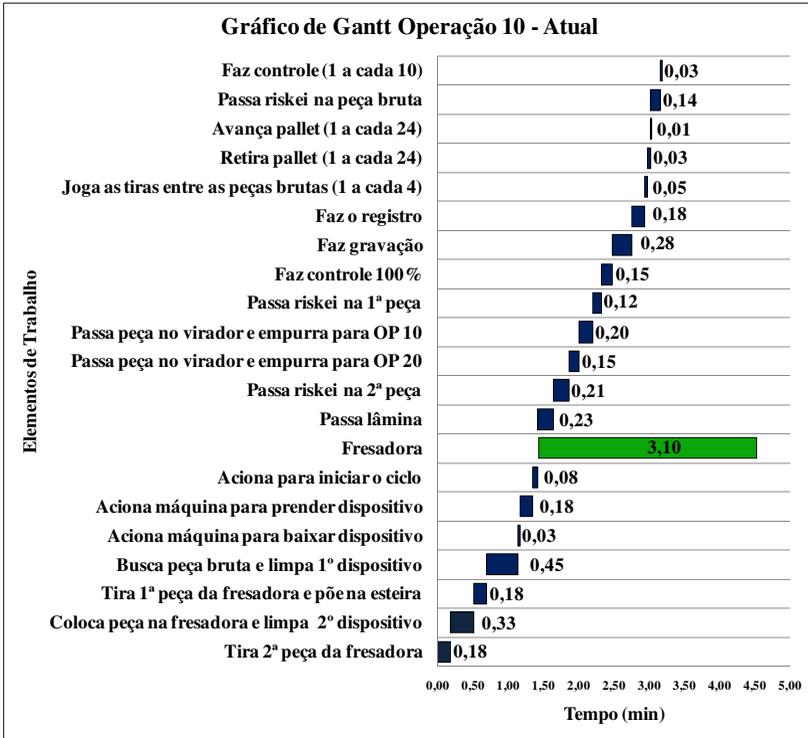


Figura 24 - Gráfico de Gantt Atual Operação 10. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Assim sendo, após terem sido identificadas as atividades que cada operador realiza no gráfico de Gantt, o desenvolvimento do gráfico de balanceamento dos operadores – GBO ocorreu de maneira simples.

Dessa forma, seguiu-se a metodologia de Rother e Harris (2002) onde foram identificados os elementos de trabalho necessários para a completa realização dos processos individuais de cada operação, cronometrando-se cada um deles com o objetivo de eliminar desperdícios que poderiam estar encobertos no tempo de ciclo total. Portanto, na Fig. 25 tem-se um resumo do GBO atual da linha. Nestes tempos não estão incluídos os tempos de máquina, mas somente os tempos manuais do operador (carga, descarga e atividades durante o ciclo automático da máquina).

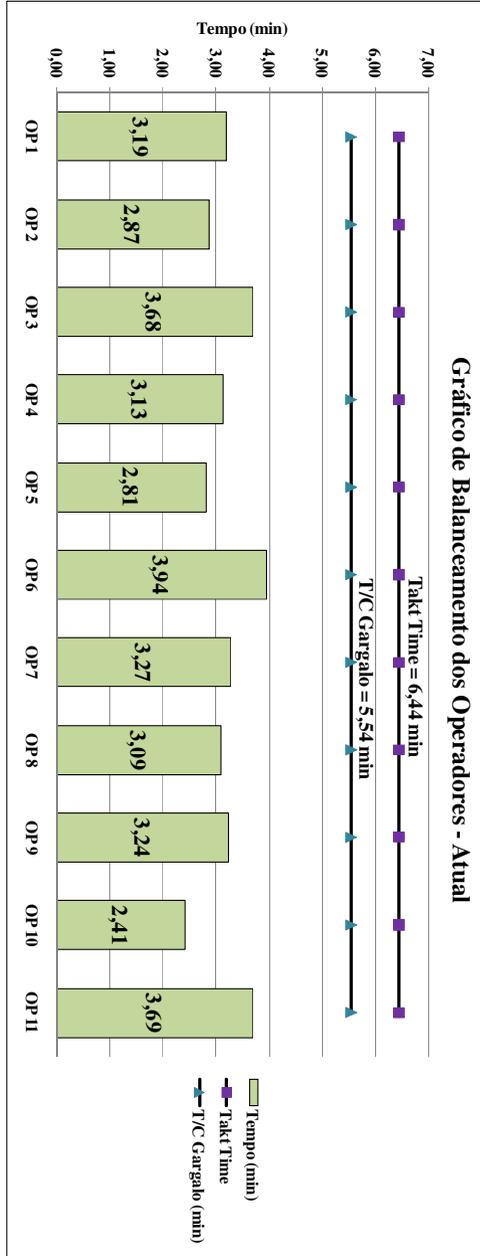


Figura 25 - Tempo de ciclo manual dos operadores. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Nota-se que os tempos encontrados estão abaixo tanto do *takt time* (6,44 min) quanto do tempo de ciclo gargalo da linha de (5,54 min). Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 206, grifo do autor), “a eficácia da atividade de balanceamento de linha é medida pelo que se chama ‘perda de balanceamento’.” A perda por balanceamento pode ser calculada da seguinte forma (Eq. 3):

$$Perda\ Bal. = \frac{\sum (T/C - T_{OP_1} + T/C - T_{OP_2} + \dots)}{nT_{OP_n} \times T/C} \times 100\% \quad Eq. (3)$$

Para a linha estudada, o tempo desperdiçado por meio do balanceamento desigual de trabalho seria aproximadamente de 42% usando-se a Eq. (3). Ou seja, 42% do tempo investido no processamento do cabeçote não são usados produtivamente (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Um dos fatores que contribui para esse desbalanceamento é a quantidade de operadores na linha. Assim sendo, Rother e Harris (2002) consideram que a quantidade de operadores necessária para atender o *takt time* deveria ser determinado segundo a (Eq. 4):

$$Número\ de\ Operadores = \frac{Conteúdo\ Total\ de\ Trabalho}{Takt\ Time} \quad Eq. (4)$$

Assim sendo, para o GBO da Fig. 25, utilizando-se a Eq. (4), o conteúdo total de trabalho foi igual a 35,32 min, que dividido pelo tempo de ciclo gargalo de 5,54 min obteve-se 6,38 operadores, o que seria arredondado para 7 operadores, e na linha atualmente trabalha-se com 11 operadores.

Na prática, em linhas ainda em desenvolvimento é possível operar com a quantidade de trabalhadores estipulada pela Eq. (4), se desde o início do projeto da linha projetou-se de forma *lean*. No entanto, quando se trabalha com linhas já existentes, o número real de operadores é determinado de acordo com a distribuição dos postos de trabalho, sendo que a forma como se planejou o leiaute contribui para a quantidade de operadores, pois ineficiências sempre irão ocorrer na linha e resultarão em um acúmulo de perdas e, assim, serão necessários mais operadores para atender a demanda (GOMES et al., 2008).

Essas ineficiências mencionadas contribuem para uma baixa taxa de ocupação dos operadores (Fig. 26), e nota-se que está abaixo da eficiência de 88% que a linha adota.

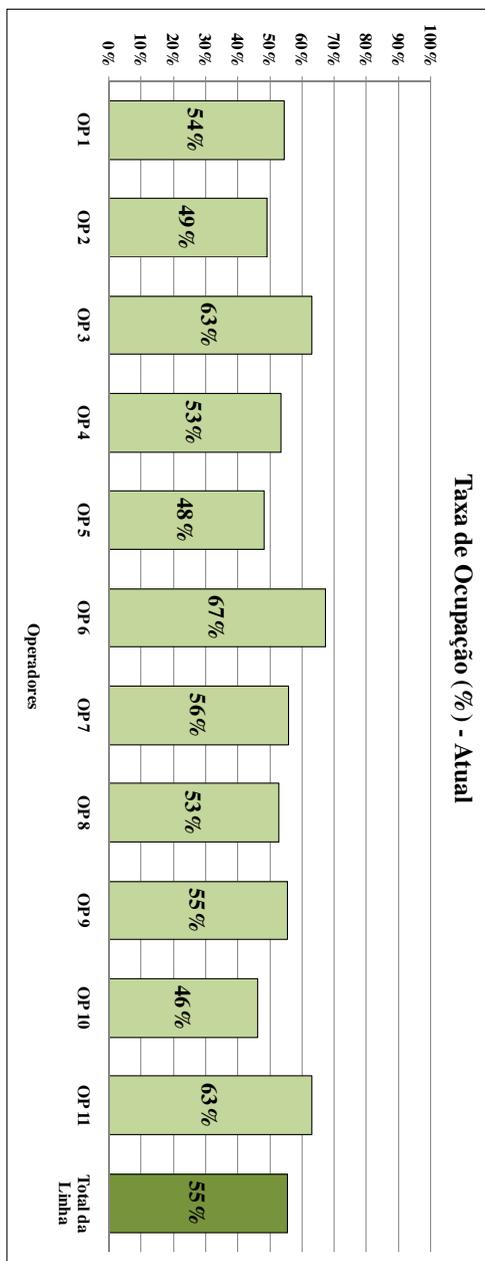


Figura 26 - Taxa de ocupação dos operadores. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Para a taxa de ocupação da linha foram considerados tempos de fadiga dos operadores, assim como analisou-se o ritmo de trabalho. Em todo caso, a baixa ocupação individual contribui para um baixo aproveitamento ocupacional da linha como um todo, em torno de 55%.

4.2.4 Análise do Estado Atual

Com base nos resultados das coletas de dados e do estudo dos tempos realizados na família de cabeçotes estudada, realizou-se a análise do fluxo de valor mediante os oito desperdícios da manufatura enxuta:

- Superprodução/Estoque: Há uma grande quantidade de peças acabadas na expedição, totalizando 9,71 dias, mais do que o estoque mínimo estipulado pelo PCP, e este é um dos responsáveis pelo aumento do *lead time* da linha. Como visto na revisão bibliográfica, a superprodução gera mais transtornos do que somente o do capital parado, ou seja, a superprodução também reflete no aumento de quantidade de recursos a mais, tanto de operadores quanto de equipamentos que serão necessários devido ao aumento da quantidade de estoques. Do mesmo modo, o problema de excesso de peças resulta em custos de armazenagem, pois a mesma ocupa uma área fabril maior do que realmente o necessário (ROTHER; SHOOK, 2003).
- Espera/Intellectual: Identificou-se todo tipo de espera (esperando terminar o ciclo da máquina, operador aguardando peça ou materiais, peças aguardando continuidade do modelo). No GBO atual percebe-se uma baixa ocupação dos operadores. De acordo com Rother e Harris (2002), quando o operador nunca espera pela máquina é um desperdício do intelecto do trabalhador ao não envolvê-lo mais.
- Transporte Excessivo: Houve transporte de peças brutas sem a real necessidade, muitas vezes o motorista da empilhadeira ao se deparar com a linha cheia tinha que deixá-las fora da área demarcada, gerando mais transporte desnecessário.
- Movimentação Desnecessária: A família de produtos estudada operava com três turnos, sendo que os dois primeiros turnos trabalhavam com linha cheia (ao todo 11 operadores), e no terceiro turno trabalhava-se com 3 operadores nas operações gargalo. O efeito disto era trabalho que não agregava valor com movimentação desnecessária, pois os operadores no dia seguinte tinham que subir as peças para serem processadas. Outro fator

que aumenta a movimentação desnecessária é a necessidade de levar peças para a máquina de medição por coordenadas em quase todas as operações, o que toma tempo e aumenta o desperdício gerado pela movimentação desnecessária. Além disso, o leiaute da linha contribui para o aumento de movimentação devido muitas operações estarem muito afastadas umas das outras.

- Defeitos: Peças em retrabalho por toda a linha, gerando mais custos de materiais ou de mão de obra especial para retrabalhar as peças. Isto gera processamentos extras, como a necessidade de inspecionar mais peças ou retirar as peças do fluxo da linha, aumentando o tempo de valor não agregado.

4.3 SITUAÇÃO FUTURA

Com base na análise do estado atual procurou-se desenhar um estado futuro que reduzisse ou eliminasse os desperdícios encontrados, que propusesse novas alternativas tendo em vista sempre um fluxo de valor enxuto que proporcionasse ao cliente um cabeçote com alto valor agregado.

Também, procurou-se trabalhar com os operadores para que eles absorvessem a filosofia *lean* e fossem multiplicadores e pudessem propor melhorias nos processos que eles estão mais do que habituados, ou seja, o objetivo essencial trabalhado foi o de desenvolver as pessoas.

Buscou-se propor novas oportunidades de melhoria introduzindo estudos de verticalização da expedição, estudos de embalagem com possibilidade de uso de embalagens retornáveis, além de um melhor aproveitamento da mão de obra. Além disso, buscou-se propor melhorias no gerenciamento visual, 5S, tarefas padronizadas, entre outras.

4.3.1 Mapeamento do Fluxo de Valor – Estado Futuro

Seguindo a metodologia proposta por Rother e Shook (2003) desenhou-se o estado futuro da família de cabeçotes, com base no desenho do estado atual e na análise que se fez do mesmo, e que pudesse ser realmente implementado.

De acordo com as linhas de pensamento que compõem o STP, o fluxo de valor futuro foi construído a partir de melhorias propostas na função processo, com seu referencial de análise ao

fluxo de materiais, desde matérias-primas até o produto acabado. (KAPPES, 2011, p. 125).

Para as propostas sugeridas no mapa futuro, pensou-se inicialmente em tornar os tempos de ciclo das máquinas mais próximos do *takt time*. De acordo com a Eq. (1), o ritmo de trabalho necessário para atender o cliente seria de 6,44 min/peça para os dois turnos, no entanto essa mudança implicaria em uma grande alteração no leiaute e nos processos, principalmente em máquinas dedicadas como a fresadora e a gravadora que possuem tempos de ciclo muito baixos.

Outra situação que interferiria em ter-se o tempo de ciclo igual ao *takt time* seria o de possíveis variações na demanda, pois a linha no período estudado estava trabalhando com capacidade baixa e somente com dois turnos. Portanto, para atender possíveis mudanças quanto à demanda do cliente, considerou-se adaptar a quantidade de operadores conforme a demanda.

Percebeu-se que mesmo diminuindo a demanda a quantidade de operadores continuava a mesma, contribuindo para uma baixa produtividade identificada no GBO do Estado Atual, além dos desperdícios da superprodução e espera que eram causados.

Portanto, tendo em vista o GBO Atual, procurou-se introduzir no mapa futuro (Fig. 27) mudanças maximizando um melhor aproveitamento da mão de obra, identificadas no mapa pelos símbolos de *kaizen* nas operações 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 145, 150, 170/175, 180 e 190, além de melhorias nos processos relacionados às embalagens. Assim, propõem-se melhorias em dispositivos, eliminação de processamentos extras, redução de tempos de espera, combinação das atividades e mudanças na embalagem por meio de dois cenários: (1) otimização do palete já existente com as peças em uma nova configuração; e (2) utilização de embalagem retornável por meio do conceito logística reversa. Para isso foi realizado um novo estudo de tempos futuros e embalagem que serão vistos nos próximos tópicos, bem como serão apresentadas as mudanças necessárias para alcançar este novo estado futuro.

Ainda de acordo com o mapa futuro, procurou-se desenvolver fluxo contínuo onde fosse possível sem sobrepor as caixas de processo. Utilizou-se somente FIFO, e em situações onde ocorriam interrupções no fluxo usou-se supermercados para o abastecimento das peças advindas do setor da fundição. Também optou-se por produzir para um supermercado de produtos acabados.

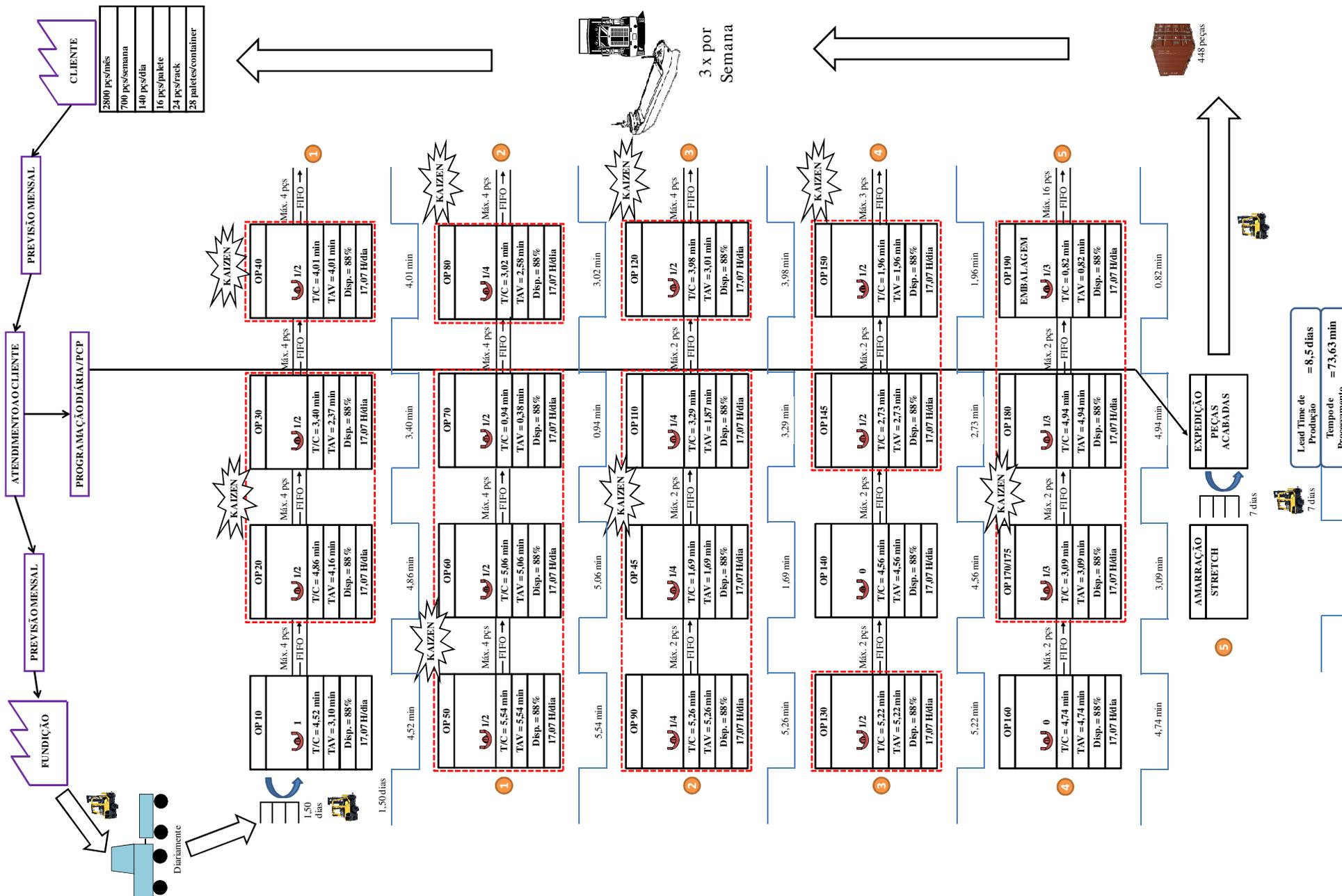


Figura 27 - Mapa do Fluxo de Valor Estado Futuro. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

4.3.2 Estudo dos Tempos Futuros

Posteriormente, identificada a possibilidade de redistribuição das atividades entre os operadores pelo gráfico de Gantt, realizou-se por meio do gráfico Yamazumi a comparação entre os elementos de trabalho caso fossem combinadas às operações, com o objetivo de distinguir entre as tarefas executadas pelos operadores quais atividades que agregavam valor e as que não agregavam.

De acordo com Venturini (2012, p. 53), o Gráfico Yamazumi “[...] ajuda na redistribuição dos elementos de trabalho entre os operadores, essencial para a minimização do número de pessoas [...]”.

Para o desenvolvimento do gráfico, ao se combinar as atividades foram eliminados os “desperdícios óbvios” de acordo com a metodologia proposta por Rother e Harris (2002), e também na realização do gráfico não foram considerados os tempos de máquina.

Assim sendo, na OP 20 e OP 30, se fossem combinadas às atividades realizadas em ambas as operações para somente um operador obtém-se como tempo de ciclo manual o valor de 4,57 min. Com base na análise do processo percebeu-se que as seguintes atividades não agregavam valor:

- O operador ao acionar o *start* da máquina, OP 20, tinha que esperar o *delay* da mesma para poder novamente acionar a máquina. Deve-se lembrar que, na OP 20, os tempos de carga e descarga interferem no tempo de ciclo, e este atraso aumentava o T/C. Procurou-se trabalhar com a manutenção para eliminar este tempo adicional.
- Na OP 30 o operador deve retirar a rebarba das guias feitas na OP 20 antes do cabeçote entrar na OP 30. Conversou-se com as áreas de processo, qualidade e engenharia do produto qual seria a necessidade desta operação, e chegou-se à conclusão que essa medida era tomada no início do processo quando a linha estava em adaptação, no entanto depois do processo tornar-se estável, esse processo adicional não foi retirado. Este tempo adicional acrescentado à OP 30 acabava aumentando o tempo de carga, ou seja, interferia no T/C da operação. Assim, procurou-se eliminar este processamento extra.
- Como antes eram necessários dois operadores para cada operação, cada um registrava a sua peça após o processo ter sido realizado. Este tempo passou a ser desconsiderado, pois se

trabalhando com um operador para as duas operações o registro da peça será realizado somente uma vez.

Com as melhorias sugeridas seria alcançado um novo T/C manual de 4,10 min, o que contribuiria para uma redução de 0,47 min do tempo atual caso fossem combinadas às atividades sem nenhuma melhoria. Essas alterações podem ser visualizadas no gráfico da Fig. 28.

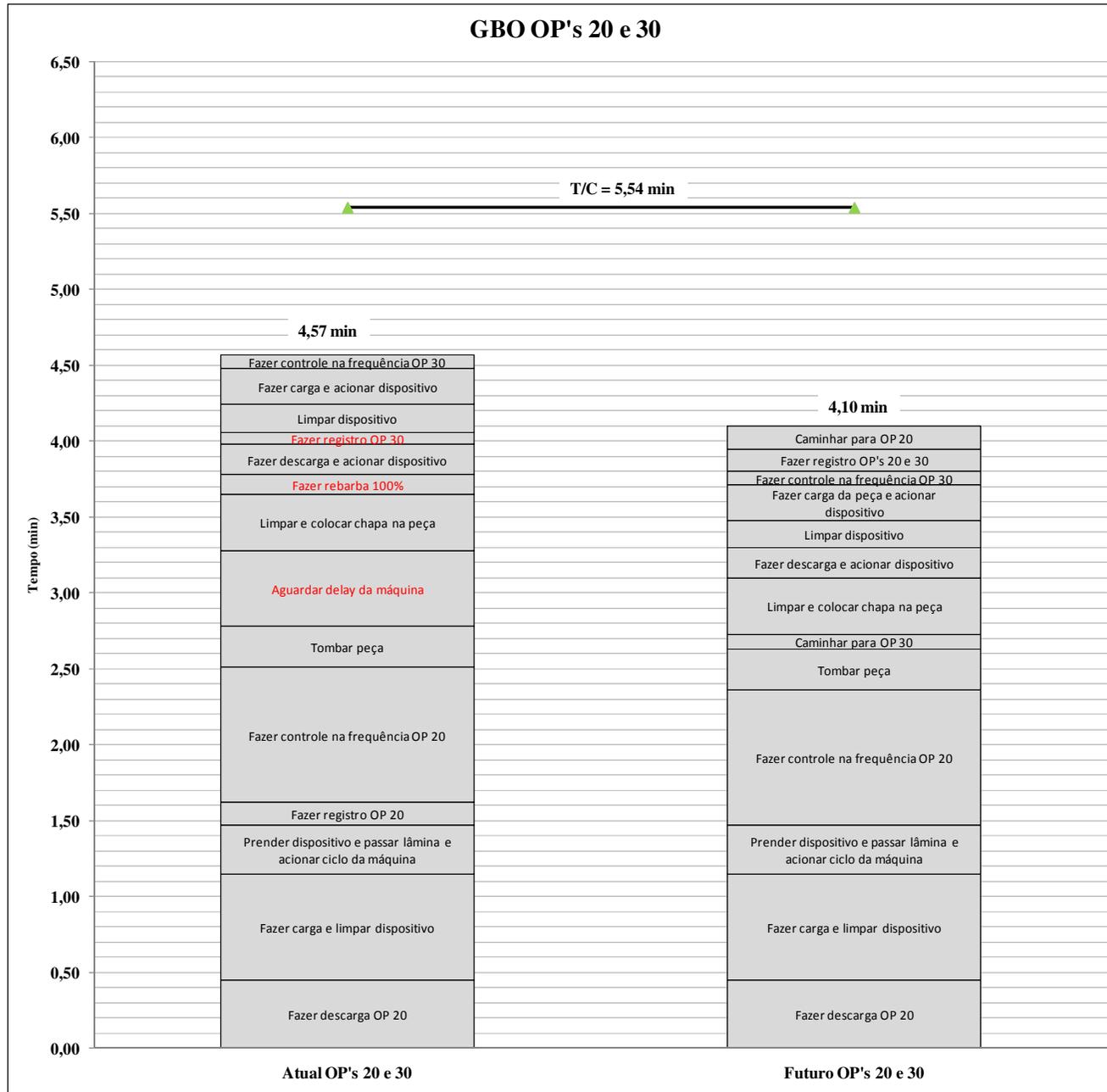


Figura 28 - Gráfico Yamazumi OP's 20 e 30. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Para a OP 40 e OP 50, se fossem combinadas às atividades realizadas em ambas as operações para somente um operador, o novo tempo de ciclo manual seria de 5,51 min, ou seja, praticamente igual ao T/C gargalo da linha, que é o da própria OP 50.

Tentou-se reduzir ao máximo este tempo para que o operador não virasse gargalo. Assim sendo, com base na análise do processo percebeu-se que as seguintes atividades não agregavam valor:

- Na OP 40 o operador de forma manual soltava e prendia o dispositivo que era acoplado na peça ao se fazer a carga e a descarga, o que tomava tempo. A ação encontrada com processos e dispositivos foi tornar hidráulico este dispositivo, reduzindo-se assim o tempo que o operador levava para soltar e prender o dispositivo.
- Para a OP 50, antes um operador cuidava dos dois centros de usinagem da OP 50, este por sua vez levava a peça para abastecer o outro centro de usinagem, por meio de uma talha que era usada no transporte da peça, pois a linha neste ponto tinha uma descontinuidade para poder facilitar o acesso e não misturar as peças que iriam ser processadas no centro de usinagem que fazia as OP's 50 e 60. Percebe-se que essa interrupção na linha gerava uma movimentação e transporte extra. Como proposta sugeriu-se colocar um pedaço de linha para interromper essa descontinuidade com uma trava que impediria de misturar as peças, e com essa medida o acesso também não seria prejudicado.
- A outra opção seria o operador que cuidaria da OP 50 no outro centro de usinagem puxar a peça na quantidade e no momento que ele necessita.

Com as melhorias sugeridas conseguiria se um novo T/C manual de 4,21 min, o que contribuiria para uma redução de 1,30 min do tempo atual caso fossem combinadas às atividades sem nenhuma melhoria. Essas alterações podem ser visualizadas no gráfico da Fig. 29.

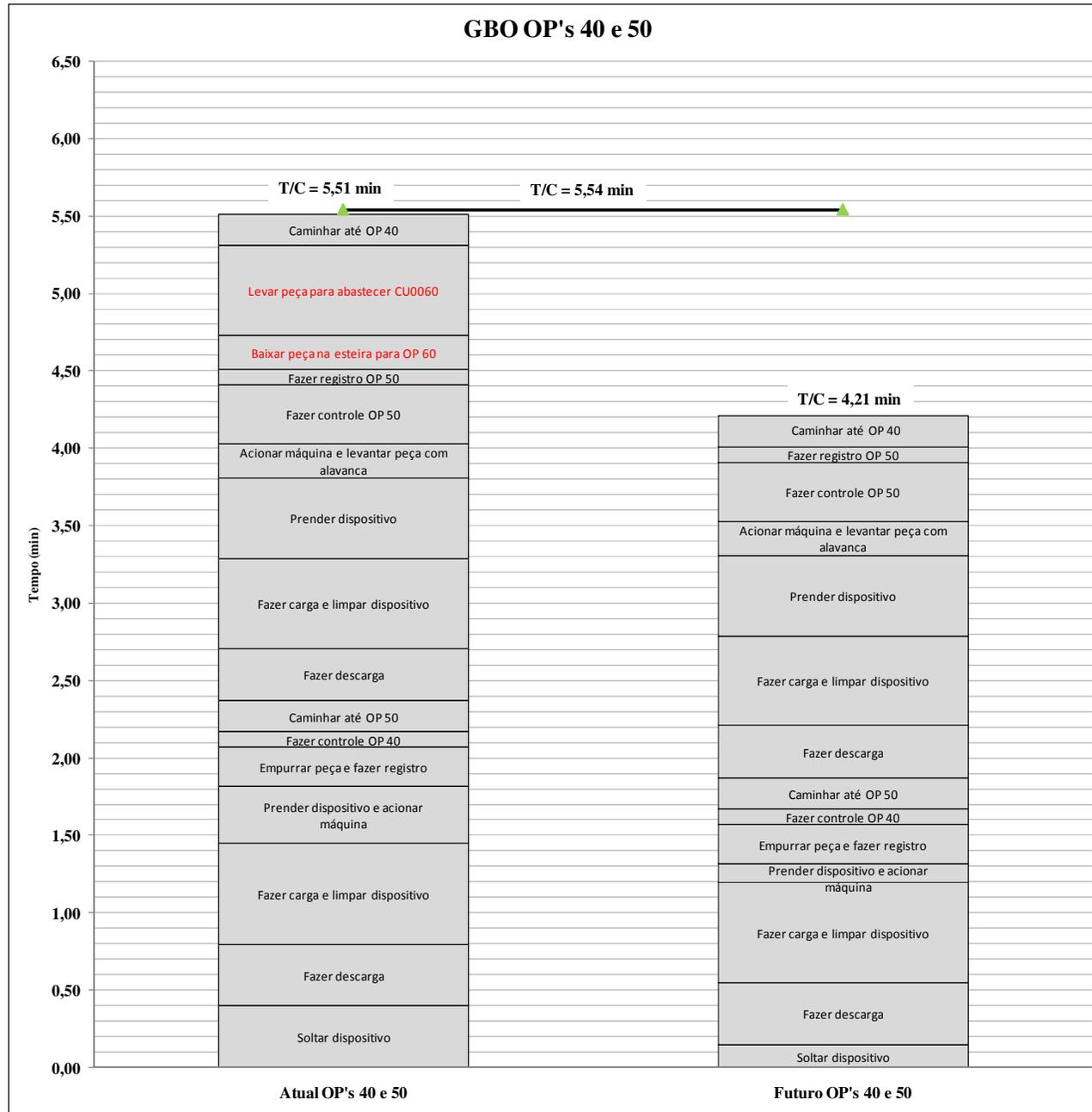


Figura 29 - Gráfico Yamazumi OP's 40 e 50. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Para as OP's 50, 60 e 70 (Fig. 30), identificou-se a oportunidade de combinar as atividades de todas essas operações para somente um operador, e com essa medida o tempo de ciclo manual seria igual a 6,05 min, ou seja, maior que o tempo entre peças adotado de 5,54 min.

Com o intuito de atingir um estado ideal menor que 5,54 min, procurou-se reduzir as atividades que aumentavam o tempo. Dessa forma, com base na análise do processo, percebeu-se que as seguintes atividades não agregavam valor:

- Como na situação anterior, tirou-se o tempo de abastecimento do centro de usinagem, que era compartilhado pelas operações OP's 50 e 60, passando a ser deste operador. Esta mudança fez com que o tempo dele ficasse maior que o T/C. A ação proposta seria realmente implantar o pedaço de linha sugerido anteriormente, pois dessa forma este tempo adicional seria desconsiderado.
- Nesta configuração também se aplica a redução no tempo de registrar a peça, pois será necessário registrar somente uma vez por ser um único operador para as mesmas operações.

Com as melhorias recomendadas ter-se-ia um novo T/C manual igual a 5,29 min, o que contribuiria para uma redução de 0,76 min do tempo atual caso fossem combinadas às atividades sem nenhuma melhoria.

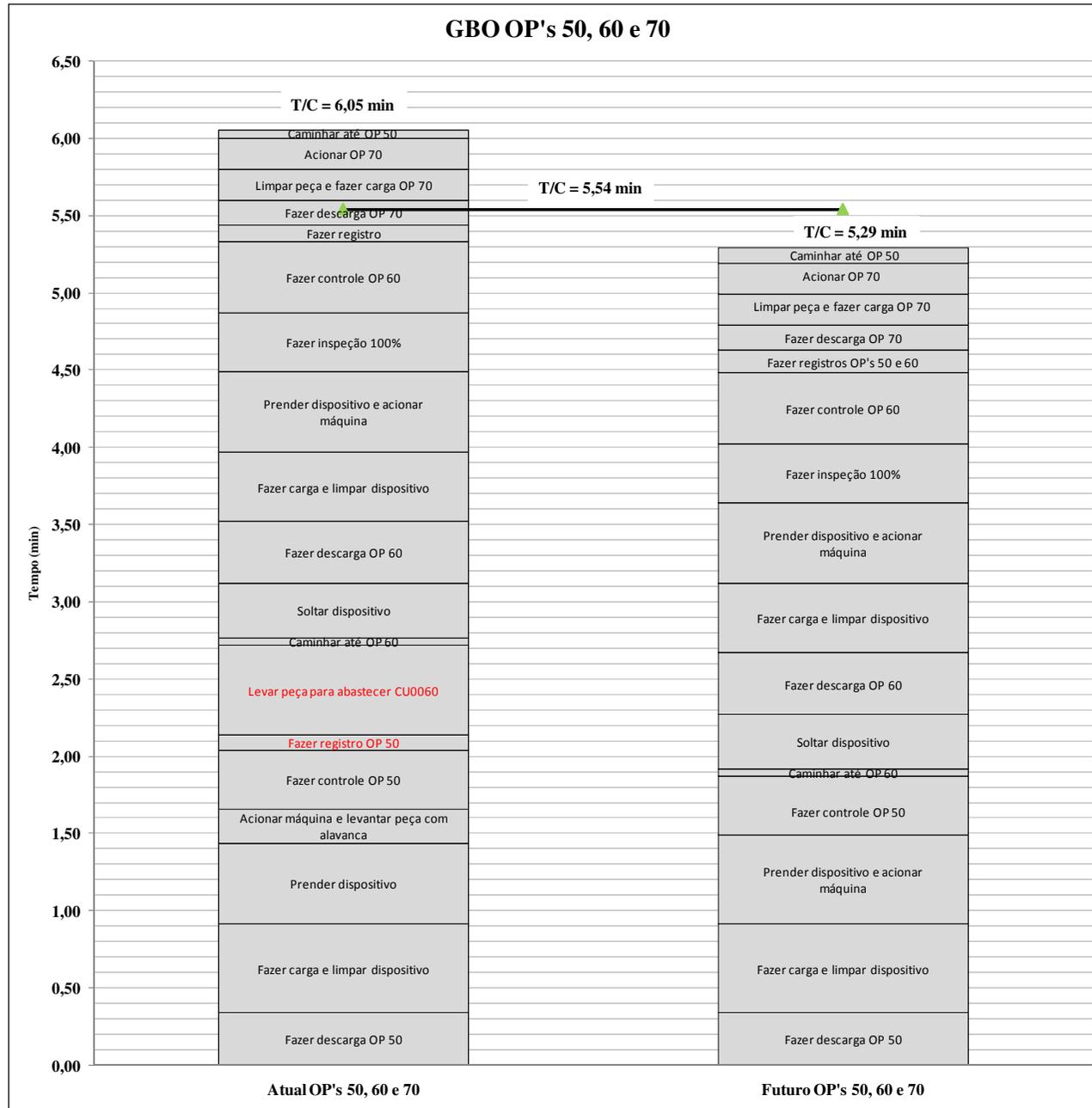


Figura 30 - Gráfico Yamazumi OP's 50, 60 e 70. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Para as OP's 80, 90 100 e 110, tem-se o gráfico mostrado na Fig. 31. Ao se combinar as atividades OP's 80, 90, 100 e 110, sem grandes melhorias realizadas no processo, ter-se-ia um tempo igual a 5,51 min.

Apesar de estar abaixo do T/C para atingir o estado futuro idealizado no mapa futuro (Fig. 27) seria necessária mudanças no leiaute da linha tais, como por exemplo trocar a lavadora da OP 100 pela da OP 45, e inverter a posição da prensa (OP 110) para que fosse possível a combinação dessas operações.

No entanto, para realizar essa combinação de atividades necessitava-se responder algumas questões sobre a lavadora, a qual será vista com mais detalhes no próximo capítulo sobre simulação.

Caso as mudanças sugeridas fossem possíveis, seriam obtidos tempos reduzidos de carga para a OP 100. Além disso, os movimentos antigos necessários para o transporte da peça (da bancada de inspeção para a lavadora), por meio do uso da talha, passariam a ser desnecessários, pois o controle da OP 90 passaria a ser realizado na linha sem a necessidade de se colocar a peça em uma bancada como antes era feito.

Outra mudança necessária para atingir este estado futuro seria inverter a posição da prensa da OP 110. No cenário atual o operador perdia tempo na troca dos dois dispositivos que eram usados para prensar os componentes. A proposta seria transformar os dois dispositivos em somente um, passando a ser hidráulico e a troca passaria a ser feita de forma automática.

Assim, reduzindo esses tempos que interferem no tempo de ciclo alcançaria um novo T/C manual de 4,81 min, o que contribuiria para uma redução de 0,70 min do tempo atual caso fossem combinadas às atividades sem nenhuma melhoria. No entanto, a viabilidade de tais mudanças só poderá ser avaliada com o auxílio do capítulo de simulação.

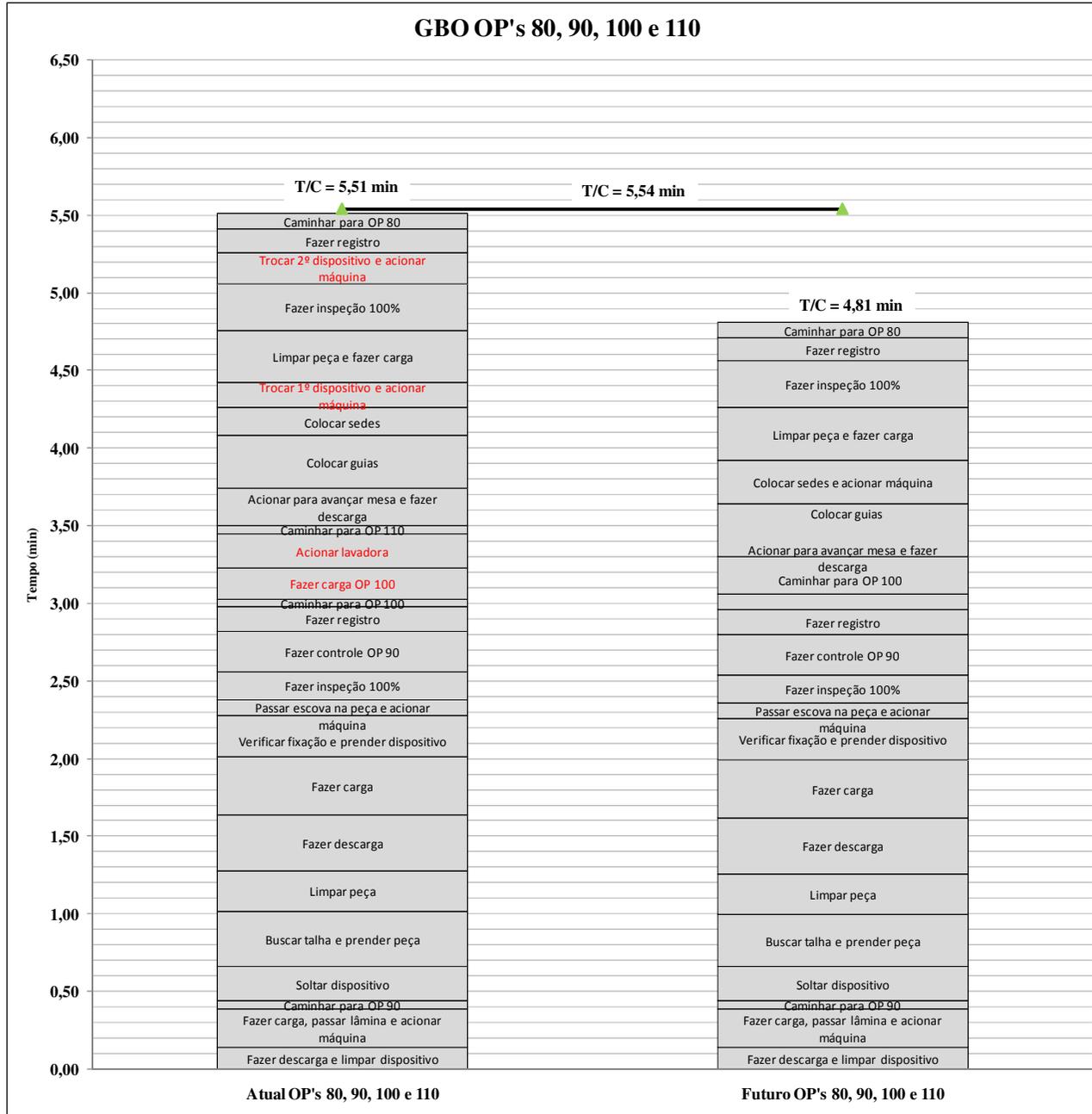


Figura 31 - Gráfico Yamazumi OP's 80, 90, 100 e 110. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Para as OP's 120 e 130, caso fossem combinadas às atividades realizadas em ambas as operações para somente um operador, seria obtido como tempo de ciclo manual o valor de 4,52 min, visualizada na Fig. 32.

Com base na análise do processo percebeu-se que as seguintes atividades poderiam ser reduzidas, passando-se assim a trabalhar com somente um operador, caso também as melhorias citadas para as OP's 80, 90, 100 e 110 (Fig. 31) fossem obtidas:

- Notou-se que o operador da OP 120, ao terminar o seu processo, limpava a peça com a escova, e o operador da OP 130 antes de iniciar o seu processo também limpava a peça com a escova. Ao se trabalhar com somente um operador não seria necessária a limpeza da peça duas vezes e, sim, somente uma vez, sendo necessária apenas antes de iniciar a OP 130.
- Na OP 120 o operador ao fazer o controle precisava ir até a OP 90 buscar dispositivo para auxiliá-lo na medição, e esse tempo de deslocamento poderia ser eliminado com a fabricação de um dispositivo para que os operadores não precisassem mais compartilhar o instrumento.

Dessa forma, com as melhorias recomendadas obter-se-ia um novo T/C manual igual a 4,32 min, o que contribuiria para uma redução de 0,20 min do tempo atual caso fossem combinadas às atividades sem nenhuma melhoria.

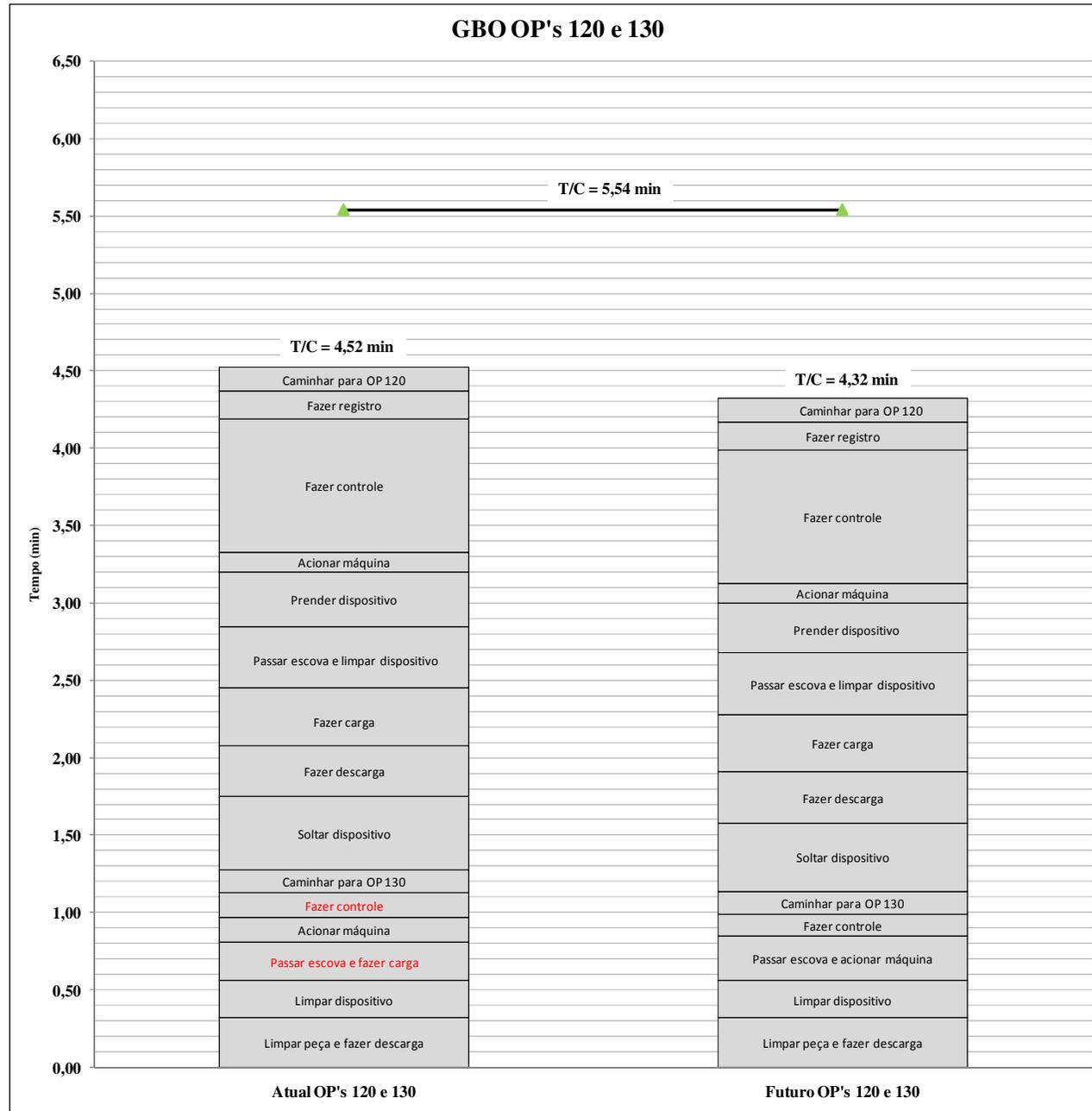


Figura 32 - Gráfico Yamazumi OP's 120 e 130. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Para as OP's 145 e OP 150, ao serem combinadas às atividades das duas operações para somente um operador, o tempo de ciclo manual seria igual a 5,75 min, que seria maior do que o tempo de ciclo da linha de 5,54 min. Com base na análise do processo conseguiu-se a redução de algumas atividades tais como:

- Antes cada operador de cada operação, além de executar suas operações, também era responsável pelas embalagens das peças na OP 190, ou seja, ambos operadores caminhavam até o final da sala para embalar as peças. Como o operador da OP 170/175 possuía tempo livre, transferiu-se o ato de embalar para este operador.
- Na OP 150 o operador utilizava um aspirador de pó e uma pistola automática para retirar os resíduos dos bujões das peças, porém o ato de aspirar os resíduos não era suficiente para retirá-los, resultando em um tempo que não agregava valor e que era acrescentado ao T/C. Portanto, como sugestão retirou-se esse aspirador de pó e passou-se a utilizar somente a pistola que era mais eficiente.
- Outra sugestão para a combinação das operações consiste em transformar a cabine de sopro (OP 145) que atualmente é feito manualmente em um processo automatizado por meio de um robô de sopro. Esta medida seria ergonomicamente melhor para o operador.

Com as melhorias sugeridas seria obtido um novo T/C manual igual a 4,79 min, o que contribuiria para uma redução de 0,96 min do tempo atual caso fossem combinadas às atividades sem nenhuma melhoria. No gráfico da Fig. 33 tem-se as melhorias para as OP's 145 e 150.

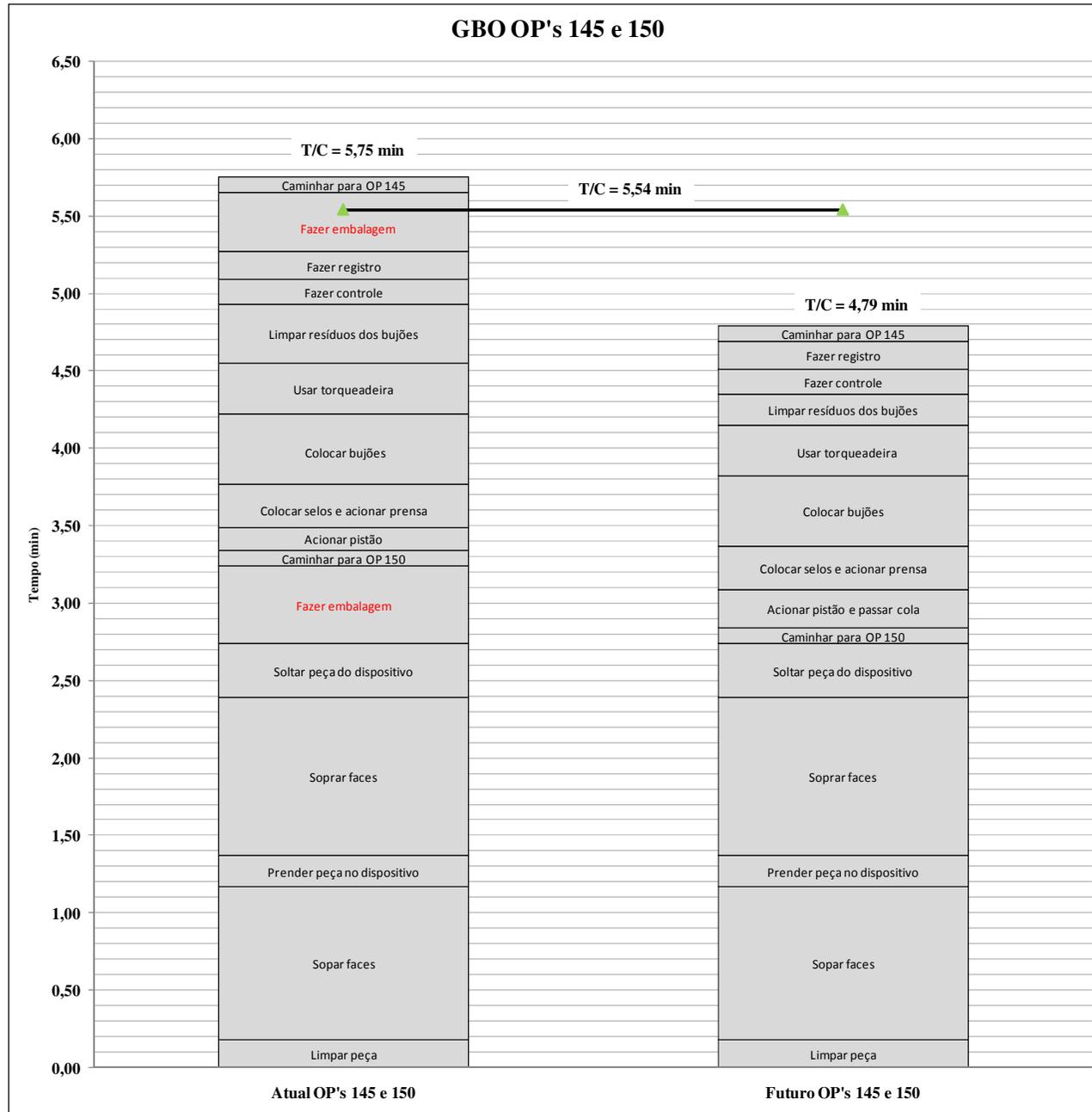


Figura 33 - Gráfico Yamazumi OP's 145 e 150. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Para as OP's 170, 175, 180 e 190 seria obtido um tempo de ciclo manual igual a 3,63 min, ou seja, mesmo combinando as atividades o tempo está relativamente abaixo do T/C de 5,54 da linha. Devido às mudanças propostas na linha para as outras operações poderia se trabalhar com somente um operador para as operações acima.

Assim sendo, para melhorar o gerenciamento de materiais sugeriu-se a utilização de kanban por contenedor, onde a embalagem vazia indicava a necessidade de reposição para os componentes. Anteriormente havia perda de componentes para o chão, as embalagens estouravam, e eram desorganizados, situação atual Fig. 34.

Dessa forma, escolheu-se um processo de abastecimento que não interferisse no trabalho do operador por meio de um *flowrack*, onde as peças deslizam por gravidade em que um lado seria para o abastecimento e o outro para o retorno (Fig. 34).

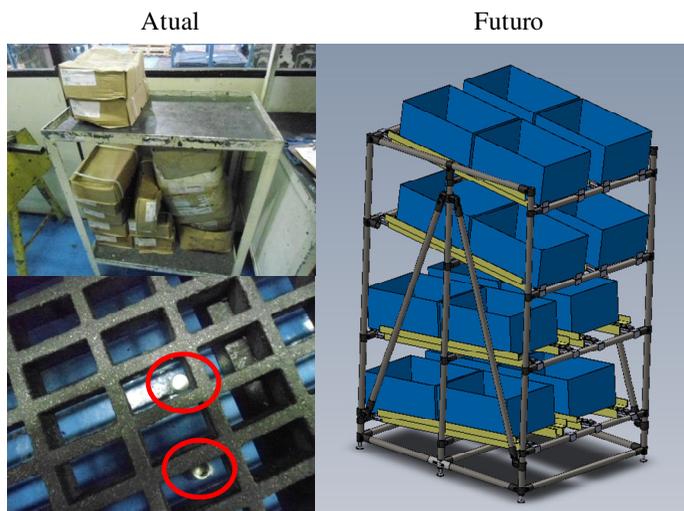


Figura 34 - Melhorias no gerenciamento dos materiais. Fonte: Dados da Empresa (2012).

Outra melhoria sugerida está relacionada à sala de inspeção, pois a mesma é relativamente grande, desta forma procurou-se reduzir essas distâncias (Fig. 35), proporcionando ao operador trabalhar com somente uma peça por vez, além de diminuir a necessidade de deslocamento do operador.

Assim sendo, com as mudanças propostas seria alcançado um novo T/C manual, igual a 4,47 min. Essas alterações podem ser visualizadas no gráfico mostrado na Fig. 36.

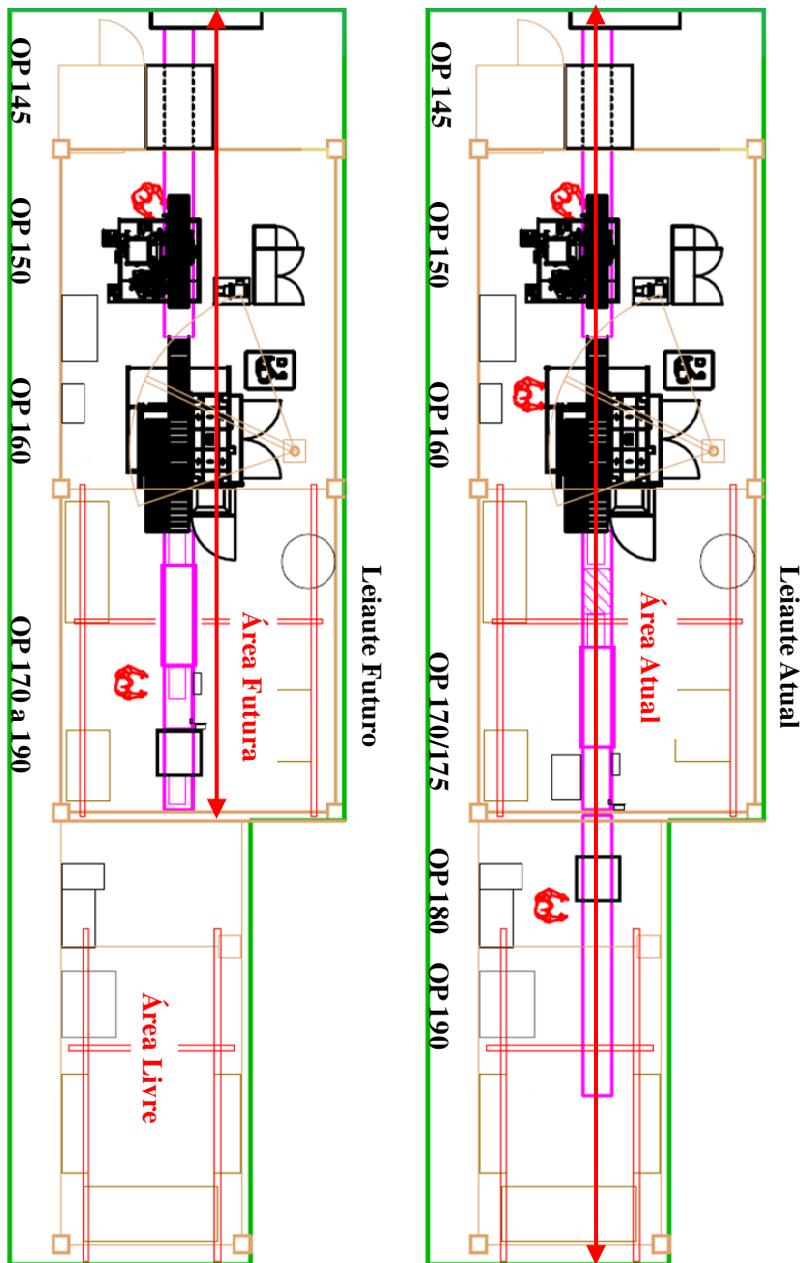


Figura 35 - Leiaute atual x leiaute futuro proposto. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

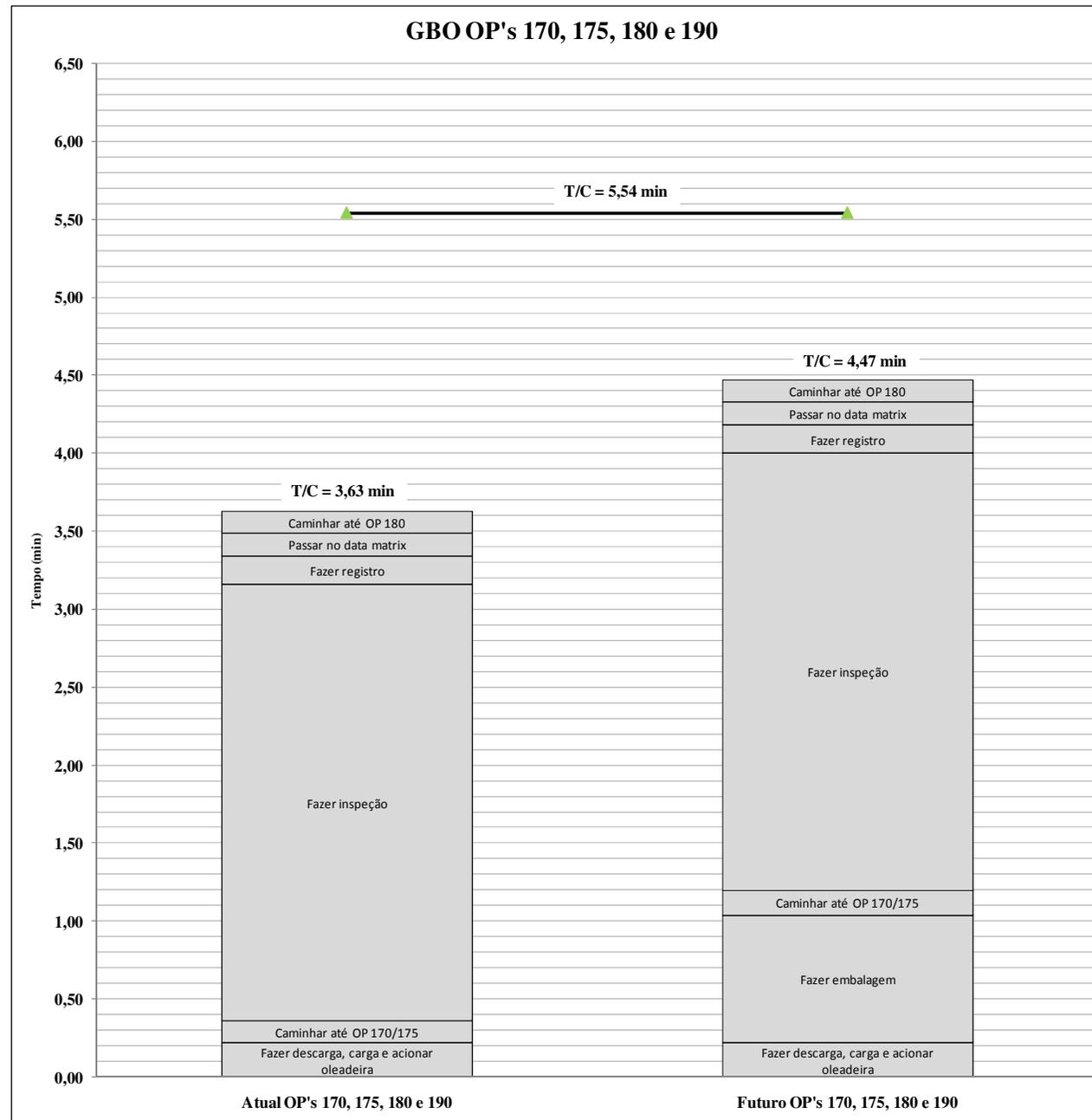


Figura 36 - Gráfico Yamazumi OP's 170, 175, 180 e 190. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

4.3.3 Embalagem

Com o objetivo de reduzir os custos de embalagem que recaem diretamente no custo da peça e eliminar o desperdício de movimentação ao virar a peça para posição vertical, uma vez que na linha a peça desloca-se na posição horizontal, foram sugeridos dois cenários. O primeiro é usando o próprio palete de madeira utilizado pela empresa, porém em uma nova configuração, e o segundo cenário é por meio do uso de embalagens retornáveis utilizando o conceito de logística reversa. Dessa forma, para o primeiro cenário tem-se a situação descrita a seguir.

Atualmente, as peças que são exportadas são enviadas em paletes de madeira com 16 peças no total, e correspondem de acordo com os dados da Empresa a quatro vezes mais custos com embalagens consumíveis se comparadas com as embalagens utilizadas para mercado interno. Na Fig. 37 tem-se a sequência dos consumíveis que são utilizados na embalagem do cabeçote e a configuração atual das peças na embalagem.



Figura 37 - Embalagem atual para o mercado externo. Fonte: Dados da Empresa (2012).

Como proposta sugeriu-se utilizar 24 peças no paleta de madeira com as peças na posição horizontal, com o objetivo de que os custos fossem diluídos ao se transportar mais peças por embalagem. Assim sendo, a nova configuração no preparo da embalagem pode ser visualizada na Fig. 38.



Figura 38 - Proposta 1 para a embalagem. Fonte: Dados da Empresa (2012).

Para os dois cenários analisados necessitou-se distinguir a quantidade de peças para cada mercado. Dessa forma, estes dados foram obtidos pelo setor de PCP da empresa. Assim sendo, para os mercados Brasil, Inglaterra e China tem-se respectivamente 27%, 48% e 25%, ou seja, o mercado externo corresponde a 73% da produção de cabeçotes com base no histórico de 2011-2012.

Posteriormente, definida a parcela correspondente a cada mercado considerando somente o mercado externo, realizou-se um teste de viabilidade financeira com as peças nesta nova posição e, também, testes para garantir a confiabilidade da embalagem. Dentre esses testes tem-se o de compressão e o de vibração (Fig. 39).



Teste de Compressão

Teste de Vibração

Figura 39 - Testes de compressão e vibração. Fonte: Dados da Empresa (2012).

No teste de compressão o objetivo foi simular o empilhamento de (1 + 3) estático do produto/embalagem. Aplicou-se uma carga múltipla de 1286 kg até a carga final de 3850 kg durante 5 min, depois disso estabilizando-se a carga aplicada ao palete. Para o teste de vibração o objetivo foi simular o transporte de embalagem. Definiu-se que o tempo de ensaio seria de 34 min com uma RPM de 1110, segundo a norma ISTA2B. Estes ensaios foram realizados em uma empresa que possui bastante *know-how* em testes de embalagens.

Ainda como complementação dos testes de vibração simulou-se durante um mês por aproximadamente 10 min o transporte deste paleta na própria empresa. Os testes para cada situação foram considerados aprovados, uma vez que o paleta não sofreu nenhuma avaria, mantendo a integridade das peças. Após os testes, abriu-se o paleta e pode-se comprovar que de fato tanto as peças como o paleta não sofreram danos. Assim sendo, a nova embalagem foi aprovada, porém há um aumento na quantidade de consumíveis internos por embalagem.

Para o segundo cenário tem-se a situação descrita a seguir. Segundo Leite (2009), a adoção da logística reversa se deve ao fato de que os custos ambientais passaram a ser discutidos pelas empresas, bem como a boa imagem que a consideração de aspectos de sustentabilidade passa para a sociedade. Conforme mencionado na revisão bibliográfica, o Brasil possui a lei ambiental 2010 em que o fabricante deve investir no desenvolvimento de produtos que sejam recolocados na cadeia produtiva, e deve procurar meios de reduzir os resíduos sólidos no meio ambiente proveniente de seus produtos.

De acordo com o autor, o emprego de embalagens retornáveis tem proporcionado aos clientes que adotam uma redução no custo de embalagem por meio de redução nos custos de transporte e de facilidade no gerenciamento da cadeia reversa por meio de empresas locadoras deste tipo de embalagem.

Deste modo, para este cenário seriam transportadas 20 peças utilizando-se uma embalagem retornável de uma empresa locadora aplicando o conceito de embalagem alugada. Assim sendo, na Fig. 40 pode-se visualizar como ficaria a embalagem.

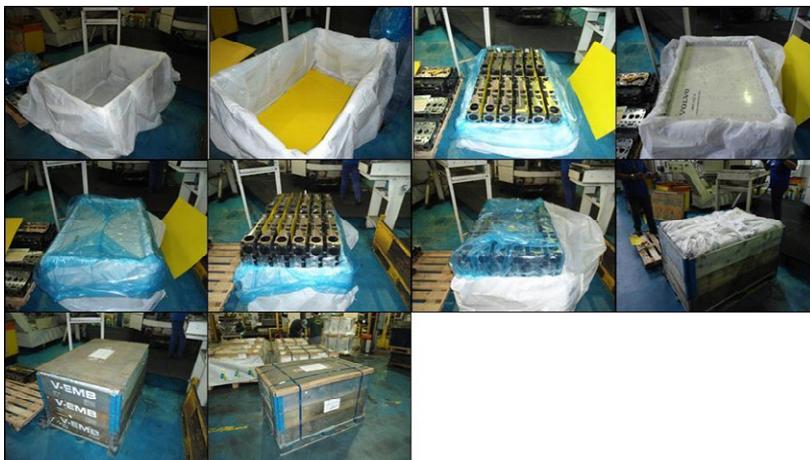


Figura 40 - Proposta 2 para a embalagem. Fonte: Dados da Empresa (2012).

Para este cenário, testes de compressão e vibração também seriam realizados. Ao optar-se por utilizar este tipo de embalagem de fato conseguiu reduzir a quantidade de consumíveis plásticos internos além dos custos de embalagem. E, além disso, uma das vantagens deste tipo de operação é o fato de utilizar embalagens padronizadas e modulares, o que poderia ser vantajoso para o estudo de verticalização da expedição, pois o fato de não utilizar embalagens padronizadas é um dos grandes empecilhos para este tipo de projeto.

4.4 IMPLEMENTAÇÃO

A implementação é a quarta etapa da metodologia proposta por Rother e Shook (2003), a fase de implantação do mapa futuro deu-se por etapas. De acordo com Rother e Shook (2003, p. 86), o plano de implementação deve ser considerado não “[...] como a introdução de uma série de técnicas, mas encará-lo como um processo de construção de uma série de fluxos conectados para uma família de produtos”.

Deste modo, para auxiliar neste processo de implementação criou-se um plano de ação (Fig. 41) em que se procurou começar onde o processo estava claro, onde havia possibilidade de ganhos e onde o sucesso seria provável (ROTHER; SHOOK, 2003).

ITEM		AÇÕES /DECISÕES	RESPONSABILIDADE	DATA PREVISTA		DATA FINAL		PROGRESSO (%)					COMENTÁRIOS	
				INÍCIO	FIM	REAL		20	40	60	80	100		
1		Utilizar kanban nos componentes OP 150/110.	-	03/09/12	03/10/12									Aquisição de Flowtrak para todos os componentes da Linha - Aguardando Compras cadastrar e escolher o melhor fornecedor.
2		Verificar retrabalho do diâmetro do selo de 50 OP 150.	-	02/08/12	03/09/12	05/10/12								1º Teste com 96 peças: Manter diâmetro nominal com a rugosidade menor usando cola automática.
3				05/10/12	05/12/12									2º Teste com 96 peças: Aumentar a interferência do diâmetro do selo usando cola automática.
4		Verificar retrabalho do bujão OP 150.	-	06/09/12	06/10/12	12/10/12								Trocou-se o macho NPSI com tolerância maior para NPSF com tolerância menor.
5		Melhorar a eficiência dos ventiladores para o resfriamento das peças antes de entrar na estanqueidade.	-	12/09/12	12/10/12									Aguardando mecânico da manutenção desenvolver as cabines.
6		Diminuir a quantidade de reteste da estanqueidade.	-	12/09/12	26/09/12	19/09/12								Verificou-se que o ajuste do cilindro não baixava até a posição final e o mecânico requisitou esse problema.
7		Melhorar a identificação da câmara data matriz OP 175.	-	12/09/12	17/09/12	19/09/12								Problemas em identificar as peças gerando atividades desnecessárias.

PLANO DE AÇÃO

APLICAÇÃO DE LEAN MANUFACTURING - INSPEÇÃO FINAL

ASSUNTO:

Data:	13/10/2012
Revisão:	12
Responsável:	Tallany

Figura 41 – Plano de ação adaptado para o estudo. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Assim sendo, apesar de terem sido sugeridas várias melhorias no decorrer deste capítulo, nesta seção serão abordadas somente as melhorias implementadas, sendo que no Capítulo 5 serão discutidas as restrições ou impedimentos para a adoção de alguma proposta que não se confirmou.

A implementação começou pela área da inspeção final. Por meio dos estudos de tempos futuros foram identificadas oportunidades de otimização na quantidade de operadores. Com as melhorias realizadas no processo pode-se implantar a redução de um operador do total de três que existiam na sala final através da combinação das atividades, e também devido à redução ou eliminação de atividades que não agregavam valor.

Na Fig. 42, anteriormente eram 3 operadores que realizavam as atividades da OP 145 a 190, sendo que na OP 190 “Atual” os três se revezavam na embalagem das peças, já no “Futuro” o processo de embalar passou para somente um operador, possibilitando trabalhar com 2 operadores na sala de inspeção final.

Está sendo desenvolvido em paralelo a transformação da OP 145 em um processo automatizado, o que seria ergonomicamente melhor para o operador. No entanto, em relação à aproximação da sala final com o objetivo de reduzir a distância percorrida pelo operador das OP's (170/175/180/190), não foi possível ser implementado.

Além destas mudanças optou-se por trabalhar com um operador nas OP's 20 e 30, outro operador para as OP's 40 e 50 e outro operador para as OP's 50 e 60. Na Fig. 43 tem-se a comparação dos dois leiautes antes e depois das mudanças nos processos.

Decidiu-se por não implantar o estudo de tempos futuro sugerido na seção 4.3.2 (GBO OP's 80, 90, 100 e 110), pois havia dúvidas se as melhorias sugeridas iriam de fato alcançar os ganhos imaginados. Essas dúvidas foram respondidas quando se empregou a simulação que será vista no próximo capítulo.

Ou seja, com o estudo de tempos realizado na linha percebeu-se a oportunidade de trabalhar com 8 operadores em vez de 11, porém a implementação ocorreu somente para as operações mencionadas acima e com uma redução real de 2 operadores por turno.

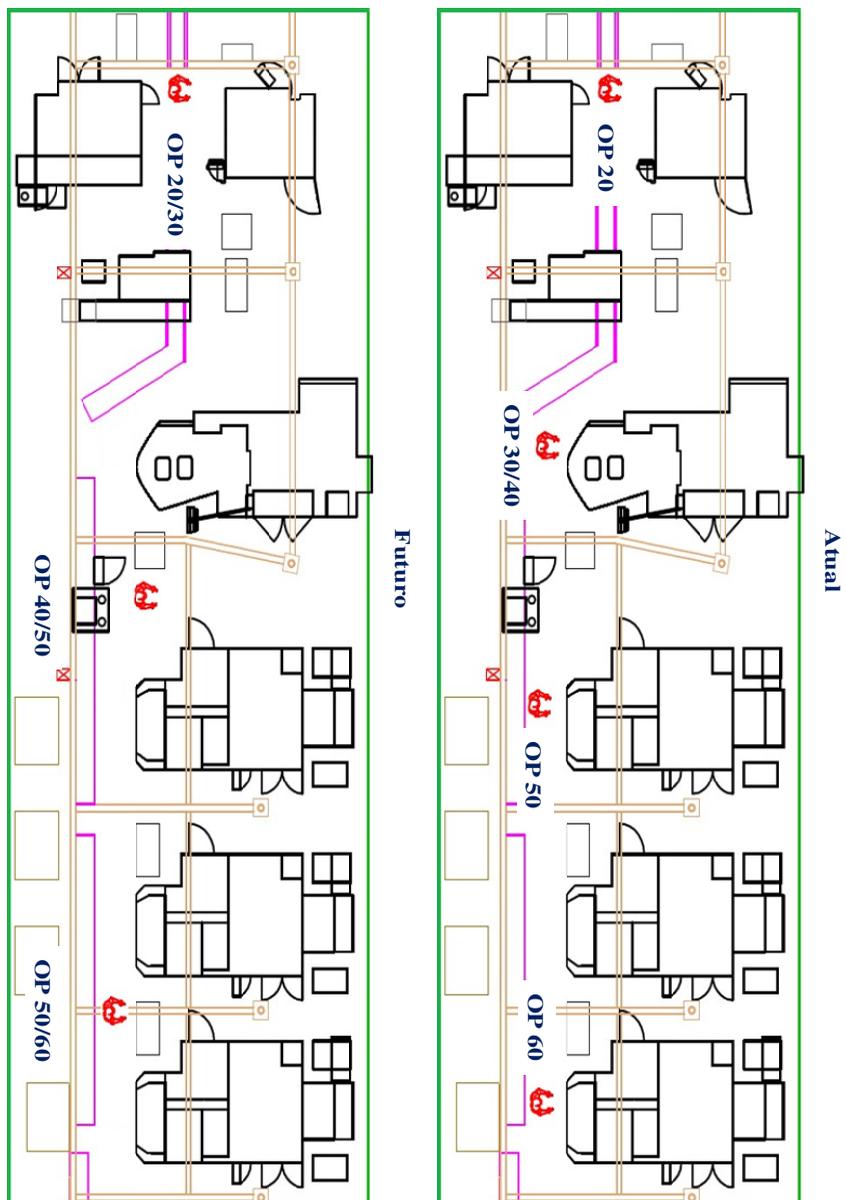


Figura 43 - Melhoria implementada para OP's 145 a 190. Fonte: Dados da Empresa (2012).

Além disso, foram realizadas melhorias na linha, proporcionando um melhor gerenciamento visual das operações. Por exemplo, os centros de usinagem possuem colunas luminosas que por meio de cores alerta o operador: (a) quando a peça está sendo processada; (b) se a operação terminou; (c) ou se por algum problema a máquina parou. No início do projeto as mesmas localizavam-se do lado direito do centro de usinagem. Após o emprego de um operador para os dois centros de usinagem, as colunas luminosas (Fig. 44) foram mudadas de posição para facilitar a visualização do operador, facilitando o gerenciamento visual caso algo tenha acontecido durante o processamento das peças.



Figura 44 - Melhoria no gerenciamento visual. Fonte: Dados da Empresa (2012).

Também realizou-se melhorias de 5S por meio de leiautes de limpeza (Fig. 45).



Figura 45 - Melhoria no gerenciamento visual. Fonte: Dados da Empresa (2012).

Para o sucesso de trabalhos que envolvam o pensamento enxuto é necessário uma completa transformação das pessoas que passam a atuarem de forma determinante para a absorção da filosofia *lean*. Desse modo, foram realizados treinamentos com os operadores por meio de dinâmicas, questionários. De acordo com Liker (2005, p. 28), o sucesso do *lean* “baseia-se em sua habilidade de cultivar liderança, equipes e cultura para criar estratégias, construir relacionamentos com fornecedores e manter uma organização de aprendizagem”.

Segundo Venturini (2012, p. 47), “talvez o obstáculo mais difícil seja mudar a maneira de pensar dos funcionários a respeito de seu trabalho”. Ainda mais, quando ocorrem mudanças que atingem a quantidade de operadores na linha. O objetivo não é reduzir a quantidade de operadores, e sim adequar a linha de produção à real necessidade do cliente, e isto influencia no número de funcionários.

De acordo com Kappes (2011), durante a realização das melhorias para implementação do estado futuro percebe-se que muitas serão implementadas rapidamente e com custos baixos, porém outras não, pois são necessárias aprovação de todos os envolvidos no processo e, em outras a aprovação do cliente.

5 ETAPA II – SIMULAÇÃO

5.1 PLANEJAMENTO

5.1.1 Formulação e análise do problema

Estudos para reduzir os desperdícios em um fluxo de valor se caracterizam por:

- Utilizar-se principalmente a metodologia do MFV (OLIVEIRA, 2008);
- Usar variáveis determinísticas no desenvolvimento e análise do MFV (BEKESAS, 2012);
- Ausência de variabilidade no tempo, no emprego dos dados do MFV (FREITAS FILHO, 2008).
- Alterações frequentes no leiaute até atingir o estado ideal sugerido no mapa futuro (VENDAN; SAKTHIDHASAN, 2010).

Assim sendo, com base nos problemas formulados, o propósito do uso da simulação neste trabalho consiste em avaliar as melhorias propostas no estado futuro e propor cenários que facilitem a tomada de decisão pelos gestores da empresa e que reduzam as incertezas geradas pelo mapa futuro.

5.1.2 Planejamento do Projeto

Para a realização do estudo utilizou-se o software de simulação Arena, uma vez que dispõe-se de uma licença acadêmica do mesmo.

De acordo com Freitas Filho (2008), o planejamento do projeto deve descrever os cenários que serão estudados. Assim sendo, serão considerados os cenários propostos obtidos pelo mapa futuro no qual não se obteve certeza dos resultados das melhorias sugeridas tais como: a mudança de lavadoras e, conseqüentemente, a redução de operadores mediante o novo leiaute, além do balanceamento das atividades.

5.1.3 Formulação do Modelo Conceitual

Segundo Wang & Brooks (2007 apud GOMES, 2010), o fluxograma é a técnica mais utilizada na criação do modelo conceitual do sistema a ser modelado. Assim sendo, um esquema básico do funcionamento da linha de produção é mostrado na Fig. 46.

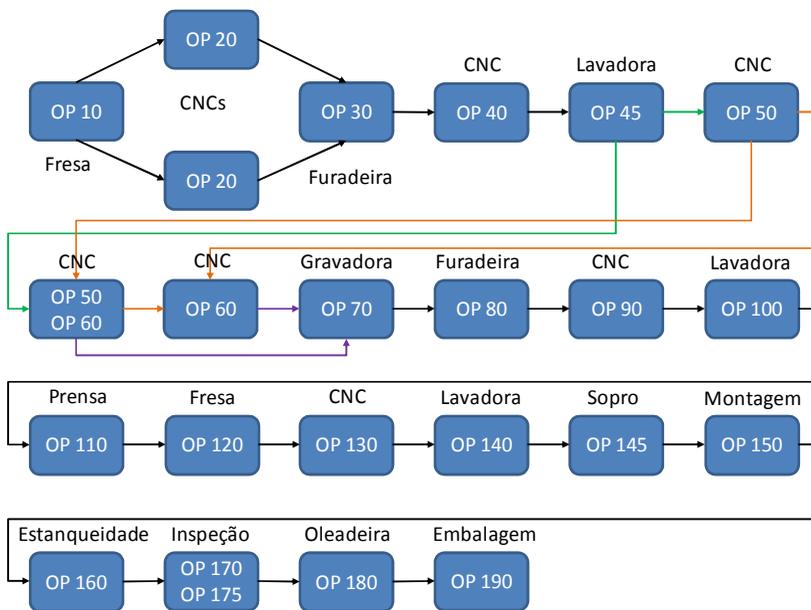


Figura 46 - Fluxograma da linha de produção estudada neste trabalho. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

As variáveis utilizadas serão o tempo de processamento, a taxa de ocupação dos recursos (operadores e máquinas) e a quantidade de peças produzidas mediante novos cenários. Segundo Reaes (2008), para a obtenção dos resultados de cada variável deve-se realizar uma simulação.

A simulação empregada foi para sistemas dinâmicos (as variáveis de estado representadas se modificam de acordo com a evolução do tempo), determinísticos (as variáveis são predeterminadas) e estocásticos (as variáveis não são predeterminadas), discretos (pois as mudanças ocorrem no tempo de forma não contínua), e utilizou-se o tipo de simulação terminante de acordo com a metodologia empregada por Gomes (2010) para postos de trabalho para os quais tem-se o tempo de início e fim de turno (FREITAS FILHO, 2008; OLIVEIRA, 2008). Nos próximos tópicos será detalhada cada abordagem empregada.

5.1.3 Coleta de Macroinformações

As fontes de dados necessárias para a alimentação do modelo foi de acordo com o estudo dos tempos, cronometragem e cronoanálise dos

processos realizadas na linha estudada, apresentadas no capítulo 4 (Etapa I – Mapeamento do Fluxo de Valor) para a elaboração do mapa atual.

5.2 MODELAGEM

5.2.1 Coleta de Dados

Os dados dos tempos de ciclos foram coletados diretamente no chão de fábrica por meio dos tempos tomados (na realização do MFV, cronometragem e cronoanálise dos processos). Para Oliveira (2008), a quantidade de medições está relacionada à estabilidade do processo. Quanto maior a instabilidade, maior o número de medições devem ser realizadas. Características do processo também foram levadas em consideração para a quantidade de tempos tomados. Por exemplo, a linha estudada é composta em sua maioria de máquinas CNC, nas quais não há muita variação nos tempos obtidos.

Dessa forma, com base na análise da tomada dos tempos (mostrados no Apêndice B) pelo módulo *Input Analyzer* do software Arena verificou-se que a distribuição estatística que melhor representa esses dados é a distribuição normal. Na Fig. 47 tem-se, por exemplo, uma demonstração da distribuição estatística para a OP 180 por meio do módulo *Input Analyzer*. Os demais parâmetros como disponibilidade, tempo efetivo, demanda de peças são os mesmos mencionados no capítulo 4.

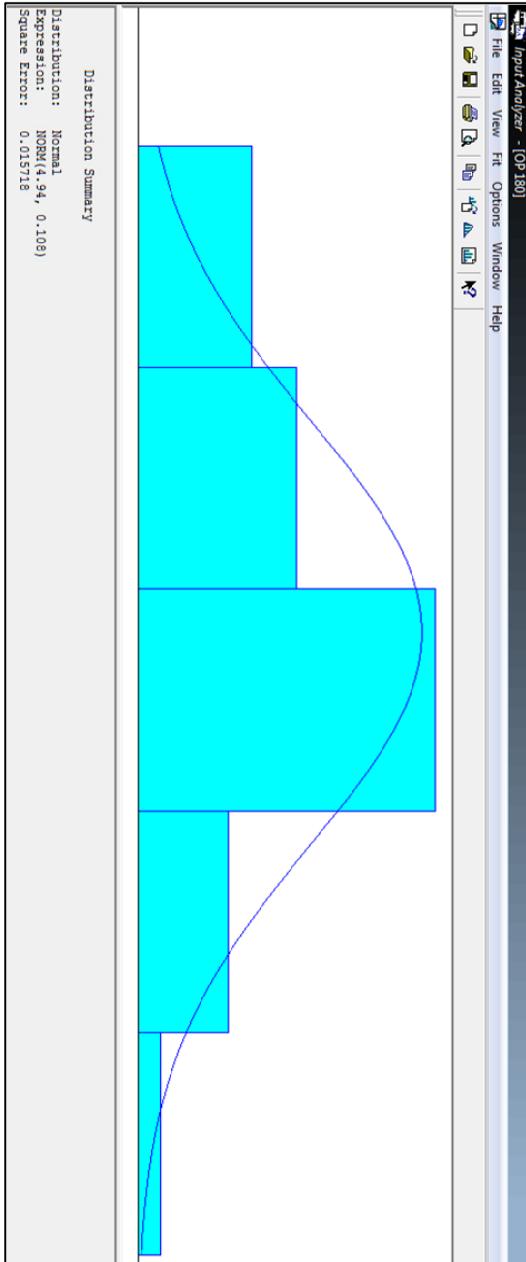


Figura 47 – Tela do Input Analyzer – Arena para a OP 180. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

5.2.2 Tradução do Modelo

Segundo Freitas Filho (2008), a tradução do modelo consiste na transformação do modelo em uma linguagem de simulação própria. Neste caso os nomes dados as variáveis estão relacionados à taxa de ocupação dos recursos (operadores e máquinas) e a quantidade de peças produzidas.

Assim, a transformação do modelo está relacionada aos nomes das operações (visualizadas nos mapas atual e futuro – capítulo 4) para facilitar o entendimento de todos que tenham acesso ao material e pelos nomes das etiquetas das máquinas (TAG's).

De acordo com Reaes (2008), também é necessário o conhecimento das terminologias utilizadas na modelagem e simulação dos sistemas, tais como variáveis de estado, entidades, atributos, entre outros.

5.2.3 Verificação e Validação do Modelo

Na modelagem de um sistema real devido à complexidade do mesmo sempre haverá hipóteses, simplificações a respeito do sistema por isso, deve haver um cuidado e avaliação dessas simplificações que interferem nos resultados do sistema, pois a tomada de decisão será obtida mediante os resultados encontrados na simulação (FREITAS FILHO, 2008).

De acordo com Freitas Filho (2008) essa avaliação divide-se em duas etapas. A primeira consiste na verificação, ou seja, o modelo simulado deve estar livre de erros computacionais e assegurar que a modelagem alcance o que foi planejado. Assim sendo, assumiram-se valores determinísticos para a verificação das variáveis utilizadas na simulação e a execução de casos simplificados que representassem o sistema real com o modelado onde existiam dúvidas quanto à modelagem para algumas operações.

Para o autor, a segunda etapa consiste na validação, ou seja, as simplificações e hipóteses realizadas acerca do modelo devem ser representativas às observadas no sistema real. Dessa forma, comparou-se o modelo real com o modelado e com a opinião de especialistas da área.

Segundo Freitas Filho (2008, p. 154), é quase impossível ter-se um comportamento idêntico. “O importante é que se faça um delineamento das principais situações sob as quais se deseja avaliar o comportamento do modelo em relação ao sistema real”. Para Gomes

(2010) a validação deve ser feita continuamente durante toda a modelagem.

5.2.4 Simulação Atual

Realizou-se primeiramente a simulação da forma como foi elaborado o mapa de estado atual, com o objetivo de construir e validar a simulação em comparação com o sistema real. Percebe-se que o valor do tempo de processamento de 77,36 min é o mesmo obtido no mapa do estado atual (capítulo 4) via simulação. Para a simulação utilizou-se dados constantes como no mapeamento. Na Fig. 48 é mostrada a modelagem obtida, na qual foi simulada uma produção de 140 cabeçotes por dia.

Em segundo lugar, realizou-se a simulação com dados estocásticos e segundo a distribuição normal, conforme mencionado anteriormente. Para esta modelagem foram feitas 10 replicações. Segundo Gomes (2010, p. 38), replicação é a:

Repetição da simulação do modelo, com a mesma configuração, a mesma duração e com os mesmos parâmetros de entrada, mas com uma semente de geração dos números aleatórios diferentes.

Conforme adotado por Reaes (2008), para este estudo foi considerado constante o tempo de chegada das peças brutas, e adotou-se tempos de espera nulos para a movimentação das peças brutas.

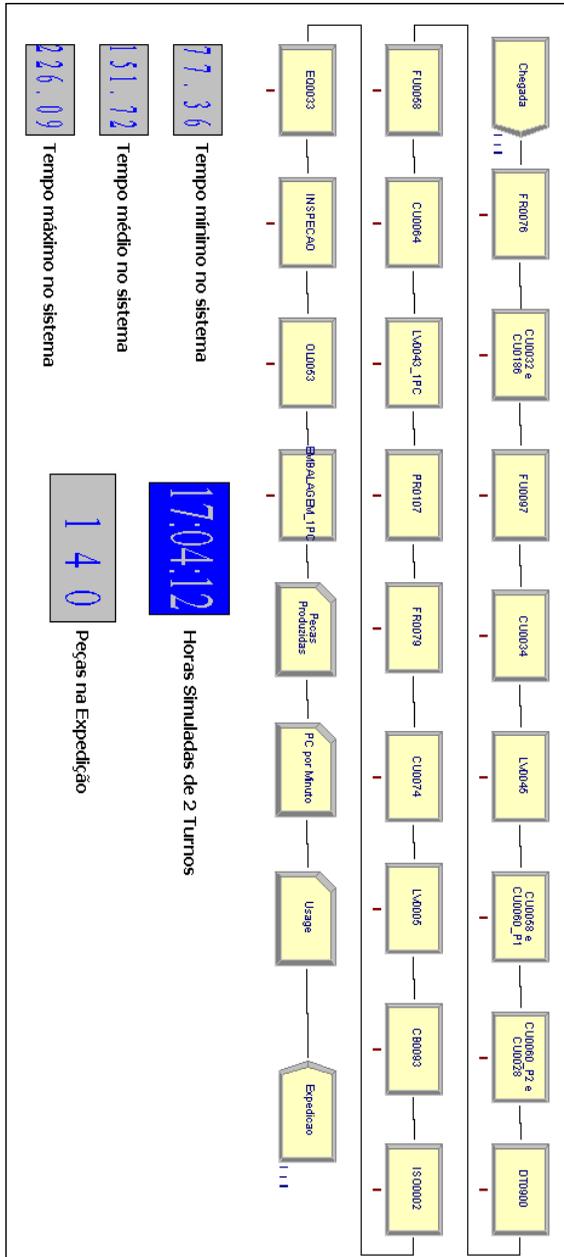


Figura 48 - MFV atual via simulação tela do Arena. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

5.3 EXPERIMENTAÇÃO

5.3.1 Simulação de Novos Cenários

Analisou-se por meio do MFV atual um estudo preliminar das atividades que não agregavam valor, onde foram levantados alguns questionamentos, como por exemplo a OP 100 (lavadora):

- Pode-se eliminar esta operação?
- É possível alterar pela lavadora da OP 45?
- É possível a combinação de atividades com o ganho de um operador?

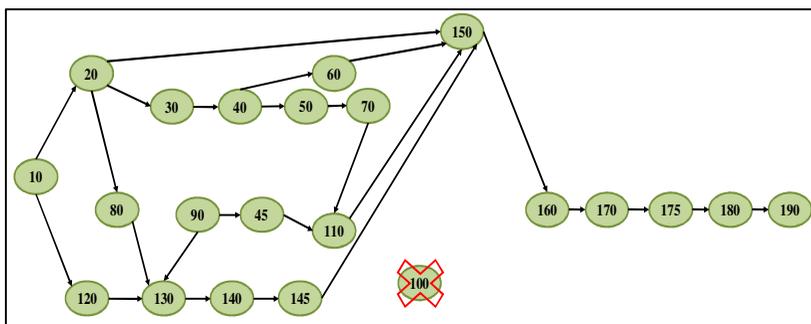
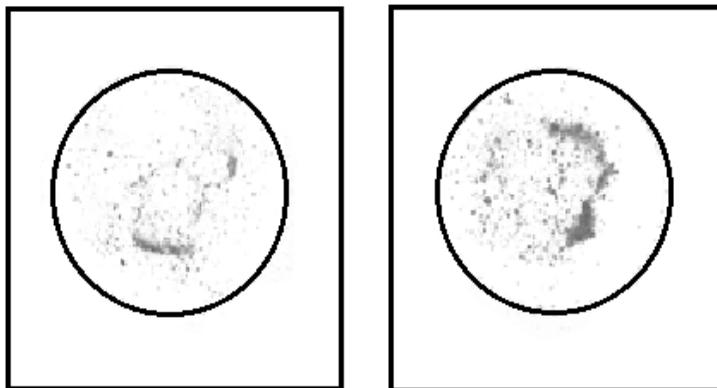


Figura 49 - Diagrama de precedência para a linha em estudo. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Pelo diagrama de precedência elaborado (Fig. 49), a lavadora não era essencial ao processo, pois possuía uma baixa eficácia na retirada de cavaco das peças, o que foi comprovado no teste de impureza. Porém, era necessário garantir que a quantidade de cavaco gerado nos processos anteriores não comprometeria a próxima operação (montagem de componentes).

Assim sendo, realizou-se testes de impurezas em 30 amostras com o objetivo de responder o segundo questionamento, e o resultado encontrado pode ser visualizado na Fig. 50.



Lavadora OP 45

Lavadora OP 100

15,1 mg de resíduos encontrados

92,4 mg de resíduos encontrados

Figura 50 - Resultado das amostras das lavadoras. Fonte: Dados da Empresa (2012).

Assim sendo, identificada uma melhor eficácia de uma lavadora para outra, cogitou-se a possibilidade de trocar esta lavadora do processo pela lavadora da OP 45, que é mais eficaz e eficiente do que a da OP 100. Desta forma, a linha adotaria o leiaute mostrado na Fig. 51.

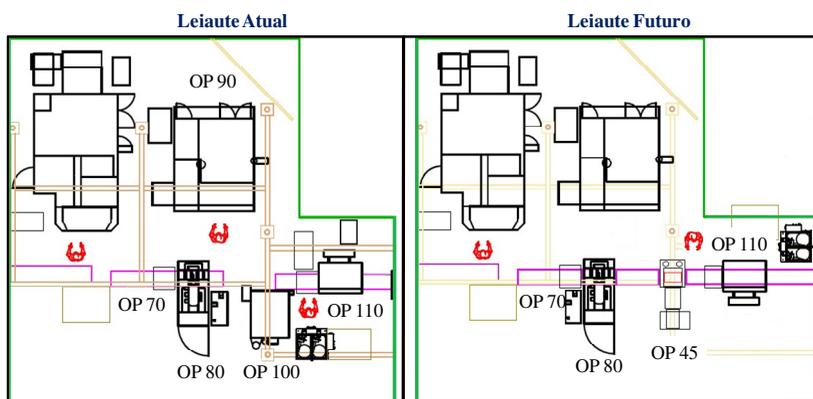


Figura 51 - Leiaute atual x leiaute futuro proposto. Fonte: Dados da Empresa (2012).

No entanto, todos estes questionamentos não foram possíveis de serem respondidos somente com os estudos realizados de impureza da

lavadora e o estudo dos tempos feitos no capítulo 4. Isto porque eles acarretavam mudanças significativas na linha, e era necessário eliminar as incertezas para uma possível alteração. Dessa forma, realizou-se uma simulação para a alteração das lavadoras.

Com relação ao terceiro questionamento, simulou-se este novo cenário com uma configuração de 8 operadores para uma demanda de 150 peças (Fig. 52) e o outro para uma demanda máxima de 162 peças (Fig. 53), ambos para 2 turnos.

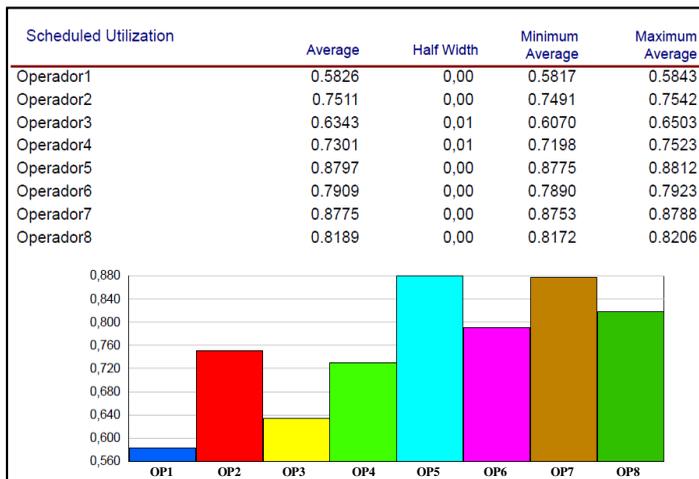


Figura 52 - Demanda de 150 cabeçotes/dia. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

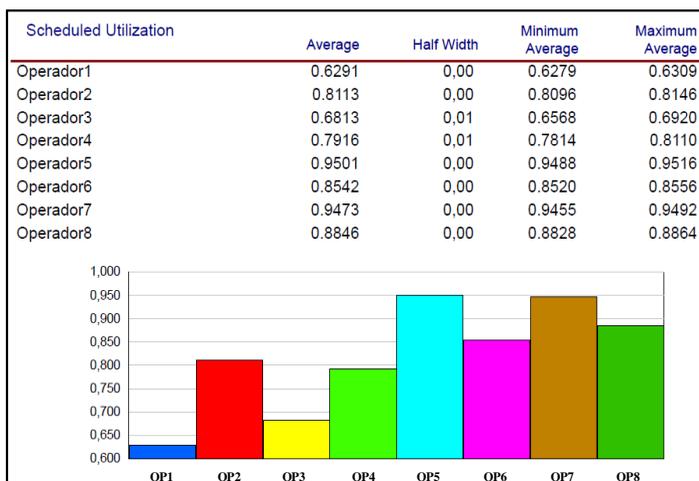


Figura 53 - Demanda de 162 cabeçotes/dia. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Com a alteração das lavadoras diminuiu-se o tempo médio no sistema, e ainda simulou-se para um aumento de demanda (Fig. 54). Observa-se um comparativo dos três cenários analisados (atual 140 peças com um tempo médio de processamento de 87, 5147 min e futuro para 150 e 162 peças por dia com tempos médios de processamento de 83,7960 e 83,7998 min respectivamente).

Assim, a produção diária subiu para 150 cabeçotes sem comprometer a eficiência da linha, em torno de 88% (Fig. 52). No entanto, caso a produção voltasse a produzir com capacidade máxima para os dois turnos considerados, ou seja, 162 cabeçotes por dia, esta nova configuração comprometeria a eficiência da linha e possivelmente seria necessário mais um turno de produção (Fig. 53).

Entity Demanda Diária de 140 peças						
Time						
VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Cabecote	87.5147	0,04	87.4160	87.6157	84.7091	89.5177
Entity Demanda Diária de 150 peças						
Time						
VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Cabecote	83.7960	0,04	83.6939	83.9065	81.8198	85.6204
Entity Demanda Diária de 162 peças						
Time						
VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Cabecote	83.7998	0,03	83.7094	83.8787	82.1202	85.3252

Figura 54 - Tempo médio no sistema para cada demanda. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

5.4 TOMADA DE DECISÃO

5.4.1 Escolha dos Melhores Cenários

Após o desenho do mapa futuro e do estudo dos tempos realizados na linha, foram identificadas algumas oportunidades de melhoria, e os cenários considerados foram validados por meio da simulação.

De acordo com Freitas Filho (2008), o objetivo de se comparar os cenários é confrontar as soluções estudadas e utilizar as mais apropriadas.

5.4.3 Apresentação dos Resultados e Implementação

Em comparação com a situação atual o cenário escolhido gera um aumento na taxa de ocupação dos operadores, no entanto esses valores obtidos estão dentro dos níveis estabelecidos pela empresa. Sendo que a simulação foi realizada para um aumento de demanda de 150 peças (Fig. 55) e 162 peças (Fig. 56). Ou seja, valida de forma significativa os resultados encontrados no MFV-Futuro, capítulo 4.

Dessa forma, a linha passaria a adotar 9 operadores por turno com capacidade de produção máxima de 162 cabeçotes por dia, ou seja, as atividades das OP's 20, 30, 40, 50, 60, 145, 150, 170, 175, 180, 190 seriam redistribuídas, resultando no seguinte cenário: OP's 20 e 30 – um operador, OP's 40 e 50 – um operador, OP's 50 e 60 – um operador, OP's 145 e 150 – um operador, e OP's 170 a 190 – um operador. As demais operações não se alterariam.

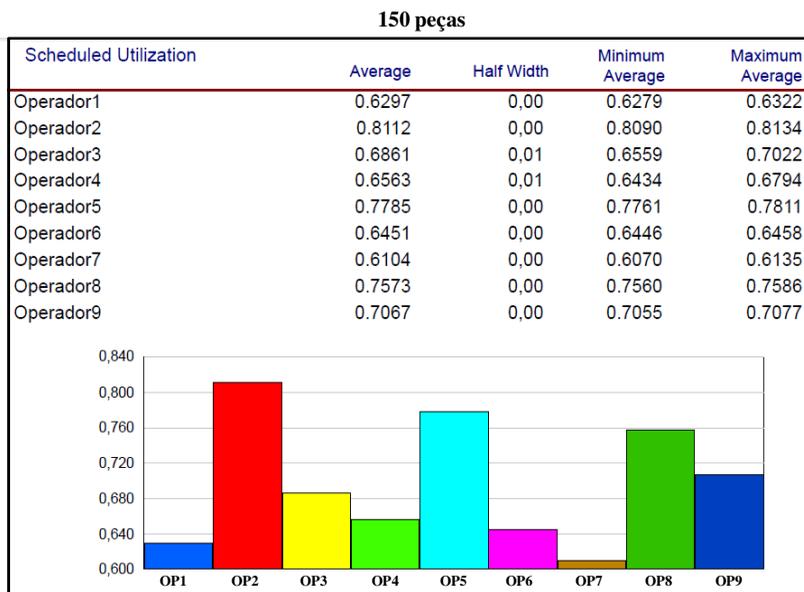


Figura 55 - Cenário escolhido com 9 operadores e sem alteração das lavadoras.

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

162 peças

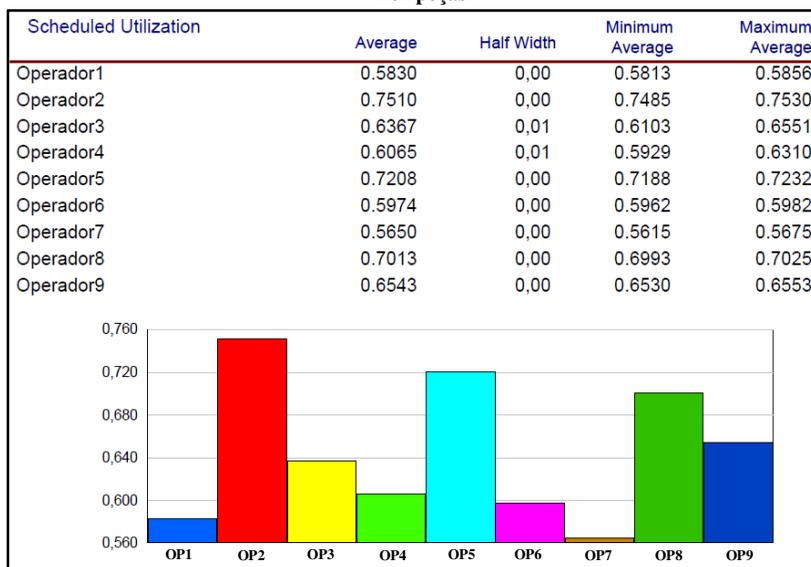


Figura 56 - Cenário escolhido com 9 operadores e sem alteração das lavadoras.
Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Percebe-se que em algumas operações a taxa de ocupação ficou ainda em torno de 60% devido a restrições no leiaute que impedem um melhor aproveitamento dos operadores. Neste caso, tais operadores seriam os “coringas da linha” com a função de ajudar os demais. Para a capacidade máxima de 162 peças seria necessário um robô de sopro com o intuito de melhorar ergonomicamente a atividade do operador.

Mudanças de leiaute em uma linha já existente e demanda decrescente são difíceis de serem efetuadas com um retorno de investimento razoável. Como exemplos de tais mudanças têm-se a alteração das lavadoras, da sala de inspeção final e outros cenários analisados que envolviam mudança no leiaute, onde seria necessária a aproximação das operações ou mudanças significativas no processo. Nesse caso, a elaboração de um modelo de simulação e a sua avaliação é uma alternativa adequada para verificar a viabilidade de tais mudanças, além da possibilidade de se aumentar a demanda para verificar a resposta do leiaute modificado.

5.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Em relação ao estudo de embalagens que foi apresentado neste trabalho, ambos os cenários analisados (usando-se a embalagem descartável da empresa com um novo arranjo ou a embalagem retornável de uma empresa locadora) eram viáveis financeiramente, e as duas embalagens foram aprovadas nos testes de compressão e vibração. No entanto, a utilização da embalagem retornável proporcionaria menos insumos plásticos internos na embalagem. Porém, até o fechamento deste trabalho aguardava-se uma resposta do Cliente.

Para Leite (2009, p. 195), a adoção de uma embalagem em substituição a outra “[...] baseia-se na comparação dos custos totais incorridos pelo uso de cada tipo [...]”, ou seja, consideram-se os custos aplicados nas compras de cada embalagem, custos de retorno e administrativo do fluxo reverso.

No entanto, do ponto de vista da conscientização ambiental a embalagem retornável é mais recomendável, pois são menos resíduos gerados pelo descarte proveniente de embalagens descartáveis no meio ambiente. Outro fator propício para o emprego desse fluxo reverso é que no mercado atual já existem empresas prestadoras de locação de embalagens (LEITE, 2009).

Dessa forma, percebe-se que é possível a utilização de embalagens retornáveis, além da imagem gerada para a sociedade de uma empresa consciente do impacto dos seus produtos.

Ao analisar os métodos empregados neste trabalho (isto é, MFV e simulação) nota-se que a simulação foi essencial para validar as alternativas propostas no MFV, assim como eliminar cenários que não seriam eficientes, como o da lavadora, que não conseguiria atender o Cliente caso a linha passasse para um regime de capacidade máxima de 162 cabeçotes/dia, podendo acarretar em horas extras ou um turno adicional.

Tendo em vista os 8 desperdícios obteve-se as seguintes melhorias:

- Esperas / Intelectual: Redução na espera no fim do ciclo de uma máquina por meio de uma melhor distribuição e aproveitamento da mão de obra (operadores multifuncionais);
- Processamento extra: Eliminação de processos que não agregavam valor;
- Reparos: Diminuição na quantidade de peças retrabalhadas;
- Movimentação: Redução de movimentação desnecessária;

- Superprodução / Estoque: Redução de estoque em processo;
- Transporte: Utilização de kanban para os componentes;

Apesar das melhorias obtidas com a implementação do *lean*, o principal desafio deste trabalho foi obter o engajamento das pessoas no início do projeto, pois como há um envolvimento de diversas áreas nem sempre as pessoas se conscientizam da necessidade das mudanças.

Mesmo assim, com base nas melhorias propostas no mapa futuro e após a implementação com a validação pela simulação, mostra-se na Tabela 4 um resumo do estado atual em comparação com o estado futuro implementado, com uma melhoria significativa no *lead time* que era igual a 13,48 dias, passando a ser de 8,17 dias. Houve também um aumento da taxa de ocupação média da linha (antes igual a 55%, passando para 65%) e um aumento de produtividade de 31%.

Tabela 4: Comparativo das Melhorias Implementadas

	Atual	Futuro	Implementado
Demanda	140 pç/dia	-	150 pç/dia
Nº Operadores	11	8	9
Lead Time	13,48 dias	8,5 dias	8,17 dias
% Ocupação	55%	-	65%
Produtividade	-	-	↑ 31%

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

6 CONCLUSÃO

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração desta dissertação de mestrado teve como proposta a aplicação de (MFV, estudo dos tempos) e (simulação) para a implementação de um fluxo de valor enxuto em uma família de cabeçotes em uma empresa do setor de usinagem do ramo automotivo. Ainda são poucos os trabalhos que abordam simulação como um complemento para implementação do mapa futuro.

As vantagens de utilizar MFV é que o mesmo proporciona uma fácil visualização dos problemas que existem no processo produtivo e conta com a participação de todos da cadeia de valor para a eliminação destes desperdícios com base nos métodos da manufatura enxuta. Porém, uma das desvantagens de se utilizar somente o MFV é que as análises são feitas considerando-se dados predeterminados, ou seja, não possuem a característica aleatória.

Dessa forma, a utilização de simulação como suporte ao método MFV busca contribuir para reduzir essas limitações do uso somente do MFV. As vantagens da simulação são: (a) emprego de dados aleatórios na análise dos resultados; (b) possibilidade de modelagem de diversos cenários sem alterar o arranjo físico da linha; e (c) garantia de tomada de decisões mais precisas. No entanto, percebe-se que são poucas as empresas que utilizam esse tipo de ferramenta devido à complexidade da mesma, pois é necessário primeiramente conhecer o funcionamento da simulação, além de ser um método que demanda tempo.

Deste modo, ao combinar os dois métodos conseguiu-se propor melhorias de forma mais eficiente, pois procurou-se analisar diversos cenários que poderiam comprometer o fluxo da produção, tais como o aumento de demanda.

Com base no estudo da linha e das ineficiências vistas no processo, foram sugeridas melhorias para as embalagens que visavam um fluxo reverso por meio de embalagens retornáveis.

Um dos principais problemas da sociedade atual refere-se ao descarte indevido das embalagens. Percebe-se que as empresas estão mais conscientes dos impactos causados pelos seus produtos com a adoção de práticas sustentáveis. No entanto, quando se refere ao emprego de embalagens retornáveis são poucas as empresas que utilizam realmente em seus processos apesar dos benefícios mencionados no decorrer deste trabalho.

Além disso, por meio do estudo dos tempos realizado passou-se a trabalhar somente com a quantidade de operadores necessária para a demanda exigida. Realizou-se treinamentos com os operadores para que os mesmos passassem a praticar a filosofia *lean* diariamente nas suas atividades.

Nos trabalhos de manufatura enxuta que envolvem o comprometimento de diversos setores sempre haverá pessoas resistentes às mudanças, independente de serem operadores ou não. Isto porque as pessoas ainda não perceberam que, para ser competitivo, é necessário reduzir custos, e para que isso ocorra é necessário um envolvimento de todos.

Deste modo, trabalhar-se de forma enxuta é um desafio diário, sempre existirão barreiras e é necessário a cada dia renovar a filosofia *lean* não somente com palavras e sim por meio de ações.

6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomendam-se para futuras pesquisas que sejam abordadas os seguintes aspectos:

- Utilização de mapas de trabalho padronizado combinado para avaliar os tempos automáticos das máquinas em relação a um ou mais operadores.
- Utilização da simulação para verificar a quantidade de operadores necessários para linhas ainda em desenvolvimento.
- A utilização de embalagens retornáveis modulares padronizadas em estudos de verticalização da expedição;

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULMALEK, Fawaz A.; RAJGOPAL, Jayant. Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. **Int. J. Production Economics**, p. 223-236, 2007.

ACOSTA, Byron; WEGNER, Douglas; PADULA, Antonio Domingos. Logística reversa como mecanismo para redução do impacto ambiental originado pelo lixo informático. **Revista Eletrônica de Ciência Administrativa (RECADM)**, v. 7, n. 1, p. 1-12, 2008.

ADLMAIER, Diogo; SELLITTO, Miguel Afonso. Embalagens retornáveis para transporte de bens manufaturados: um estudo de caso em logística reversa. **Produção**, v. 17, n. 2, p. 395-406, 2007.

ALMEIDA, Denis Leandro Monteiro de. **Análise da aplicação do método MTM em empresas de manufatura**: estudos de caso. Florianópolis: UFSC. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – POSMEC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

BEKESAS, Luiz Claudio. **Simulação como ferramenta para aplicação do MFV**. São Paulo: UNINOVE. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Centro Universitário Nove de Julho – UNINOVE, São Paulo, 2012.

BENETTI, Heloiza Piassa. **Diretrizes para avaliar a estabilidade do fluxo de valor sob a perspectiva da mentalidade enxuta**. Porto Alegre: UFRS. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS, Porto Alegre, 2010.

BRANDI, Davide; GIACAGLIA, Giorgio Eugênio Ocare. Redução de tempos de setup de máquinas impressoras de uma indústria de embalagens: estudo de caso. **Revista Intersaberes**, Curitiba, a. 6, n.12, p. 124- 141, 2011.

CAMAROTTO, João Alberto. **Projeto de Unidades Produtivas Apostila**. São Carlos: UFSCar. Centro de Ciências Exatas e de

Tecnologia – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, São Carlos, 2006.

CASSEMIRO, Fausto Ricardo Keske. **Modelo para implementação do processo de disseminação da manufatura enxuta na cadeia de suprimentos**. Florianópolis: UFSC. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – POSMEC, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2007.

CHRISTOPHER, Martin. **Logística e gerenciamento na cadeia de suprimentos**. Tradução: James Richard Hunter. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

COELHO, Rodrigo Marcelo. **Implantação e simulação do sistema kanban de movimentação de materiais: estudo de caso na indústria eletrônica do segmento EMS**. Belo Horizonte: UFMG. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 2003.

COGAN, Samuel. **Gestão pelos números certos: uma novela sobre a transformação da contabilidade gerencial para as empresas lean**. Porto Alegre: Bookman, 2012.

COSTA, Filipe Martins da. **Construção de modelo de simulação de sistema puxado de produção para melhorias de eficiência**. Guimarães: Universidade do Minho. Dissertação (Mestrado) – Engenharia e Gestão Industrial, Universidade do Minho Escola de Engenharia, Guimarães, 2011.

DIAS, Sylmara Lopes Francelino Gonçalves. Há vida após a morte: um (re) pensar estratégico para o fim da vida das embalagens. **Gestão & Produção**, v.13, n.3, p.463-474, 2006.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. São Paulo: MM.

DONATELLI, Anthony J.; HARRIS, Gregory A. **Combining value stream mapping and discrete event simulation**. p. 1-5, [2001?].

FERRO, José Roberto Ferro. A essência da ferramenta “mapeamento do fluxo de valor”. p. 1-9, [2005?].

FREITAS FILHO, Paulo José de. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em arena**. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.

GALLARDO, Carlos Antonio Samaniego. **Princípios e ferramentas do lean thinking na estabilização básica**: diretrizes para implantação no processo de fabricação de telhas de concreto pré-fabricadas. Campinas: UNICAMP. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo Departamento de Arquitetura e Construção, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, 2007.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GODINHO FILHO, Moacir; FERNANDES, Flavio César Faria. Manufatura enxuta: uma revisão que classifica e analisa os trabalhos apontando perspectivas de pesquisas futuras. **Gestão & Produção**, v. 11, 2004.

GODINHO FILHO, Moacir; FERNANDES, Flavio César Faria. Proposta de um novo conceito em gestão da produção: paradigmas estratégicos de gestão da manufatura (PEGEMs). In: **XI SIMPEP**, Bauru, 2004. p. 1-9.

GOMES, Jefferson Einstein Nobre et al. Balanceamento de linha de montagem na indústria automotiva - um estudo de caso. In: **XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Rio de Janeiro, p. 1-13, 2008.

GOMES, Victor Emmanuel de Oliveira. **Proposta de um método de simulação em processo de melhoria contínua em uma empresa de manufatura discreta**. São José dos Campos: ITA. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2010.

GUINATO, P. Elementos fundamentais do sistema Toyota de produção. In: **Produção & competitividade: aplicações e inovações**. Recife: Edit. da UFPE, 2000. p. 1-19.

GURGEL, Floriano do Amaral. **Administração da embalagem**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

HAQUE, Khan Md. Ariful et al. **Implementation of lean tools in rmg sector trough value stream mapping (VSM) for increasing value-added activities**. p. 1-10, [2011?].

HARRIS, Rick; HARRIS, Chris; WILSON, Earl. **Fazendo fluir os materiais**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2008.

JONES, Dan; WOMACK, Jim. **Enxergando o todo**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2011.

KAPPES, Jeovane Júnior. **Aplicação dos conceitos de manufatura enxuta na produção de bens de capital sob encomenda: um estudo de caso de um produto do setor metalmeccânico**. Florianópolis: UFSC. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – POSMEC, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2011.

KLIPPEL, A. F. **Implementação da Gestão Enxuta em Empresas de Mineração a partir de um Modelo de Gestão Integrada: Uma Perspectiva de Sinergia entre a Engenharia de Minas e a Engenharia de Produção**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2007.

LEITE, Paulo Roberto. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LIAN, Yang-Hua; LANDEGHEM, Hendrik Van. An application of simulation and value stream mapping in lean manufacturing. In: **Proceedings 14th European Simulation Symposium**, p. 1-8, 2002.

LIKER, Jeffrey K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LIMA, Lílian Maluf de; CAIXETA FILHO, José Vicente. Conceitos e práticas de logística reversa. **Revista Tecnológica**, p. 54-58, maio, 2001.

MARCOS, José Augusto Buck. **Lean manufacturing ferramentas e aplicações em processos produtivos e transacionais**. Limeira, Auctus Consultoria e Treinamento Empresarial – Semana LIAG, 2011.

MARTICHENKO, Robert; GRABE, Kevin. **Construindo o fluxo de atendimento lean**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2011.

MIRANDA, Douglas. **Cronoanálise e o lean manufacturing**. [2008?].

MOCELLIN, Fabiano. **Desenvolvimento de tecnologia para brunimento de cilindros de blocos de motores em ferro fundido vermicular**. Florianópolis: UFSC. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – POSMEC, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2007.

MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. Tradução: Verônica Calado. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

OHNO, Taiichi. **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OLIVEIRA, Clênio Senra de. Aplicação de técnicas de simulação em projetos de manufatura enxuta. **Estudos Tecnológicos**. v. 4, n. 3, p. 204-217, set./dez. 2008.

OLIVEIRA, Clênio Senra de. **Metodologia para utilização de simulação em projetos de manufatura enxuta**. Belo Horizonte: UFMG. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Minas Gerais, 2008.

OLIVEIRA, Rafael Garlet de et al. **Manual do arena 11.0 v 2.1**. Departamento de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, p. 1-86, 2009.

OPRIME, Pedro Carlos; MONSANTO, Rafael; DONADONE, Júlio Cesar. Análise da complexidade, estratégias e aprendizagem em projetos de melhoria contínua: estudos de caso em empresas brasileiras. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 17, n. 4, p. 669-682, 2010.

PALADINI, Edson Pacheco. **Avaliação estratégica da qualidade**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão estratégica da qualidade: princípios, métodos e processos**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

PEREIRA, André Luiz et al. **Logística reversa e sustentabilidade**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

PERSSON, Fredrik. SCOR template – A simulation based dynamic supply chain analysis tool. **Int. J. Production Economics**. p. 288-294, 2011.

PINTO, Gilberto Garcia del. **Introdução à manufatura mecânica**. Manaus, [2008?].

PRADO, Darci. **Usando o arena em simulação**. Belo Horizonte: Falconi, 2010.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 12.305**. Brasília, ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>

RAJENTHIRAKUMAR, D. et al. Lean Manufacturing: a study of application in a customary atmosphere. **International Journal of Lean Thinking**. p. 20-35, 2012.

REAES, Paulo Antonio. **Comparação de desempenho entre as configurações celular, funcional e celular virtual através de simulação e projeto de experimentos**. Florianópolis: UFSC. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – POSMEC, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2008.

RICO, Leonardo Tagliari. **Desenvolvimento de um sistema soldagem-montagem em ambiente de manufatura enxuta no setor metal-mecânico** – um estudo de caso. Florianópolis: UFSC. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – POSMEC, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2009.

ROTHER, Mike; HARRIS, Rick. **Criando fluxo contínuo**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2002.

ROTHER, Mike; SHOOK, John. **Aprendendo a enxergar**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.

SANTOS, Luciano. **Processos de Fabricação**. p. 1-222, [2005?].

SCHONS, Claudio Henrique; RADOS, Gregório Varvakis. A importância da gestão de filas na prestação de serviços: um estudo na BU/UFSC. Campinas: **Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, 2009.

SELLITTO, Miguel Afonso; BORCHARDT, Miriam; PEREIRA, Giancarlo Medeiros. Presença dos princípios da mentalidade enxuta e como introduzi-los nas práticas de gestão das empresas de transporte coletivo de Porto Alegre. **Produção**, v. 20, n. 1, 2010, p. 15-29.

SHARARAH, Mohamed A.; EL-KILANY, Khaled S.; EL-SAYED, Aziz E. **Component based modeling and simulation of value stream mapping for lean production systems**. p. 1-8, [2010?]

SHINGO, Shigeo. **O sistema Toyota de produção do ponto de vista da engenharia de produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SILVA, Almir Liberato da et al. **Pesquisa e prática pedagógica I**. Manaus: UEA/PROFORMAR, 2003.

SILVA, Sandro Cantidio da. **Mapeamento do fluxo de valor: um estudo de caso em uma empresa de embalagens**. São Paulo, 2009, p. 1-9.

SINGH, Bhim; GARG, Suresh K.; SHARMA, Surrender K. Value stream mapping: literature review and implications for Indian industry. **Int J Adv Manuf Technol**. p. 799-809, 2011.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SMALLEY, A. **Criando o sistema puxado nivelado**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2004.

SMITH, Eliton; ALVES, Reginaldo; LEITE, Jandecy Cabral. Simulação computacional no auxílio à tomada de decisão nos processos industriais: utilizando a ferramenta tecnomatix plant simulation. In: **1º CONEPRO-SUL**, Joinville, p. 1-10, 2010.

STANDRIDGE, Charles R.; MARVEL, Jon H. Why lean needs simulation. In: **Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference**, p. 1907- 1913, 2006.

STOETERAU, Rodrigo Lima. **Aula 02: Fundamentos da usinagem – cavacos – processos de usinagem**. p. 1-21, [2007?].

STOETERAU, Rodrigo Lima. **Processos de usinagem – fabricação por remoção de material**. p. 1-180, 2004.

TREINAMENTO em controle de qualidade I C.Q. Manaus: HDA, 2008.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Manual de planejamento e controle da produção**. São Paulo: Atlas, 2000.

VANZETTA, Mateus; PASA, Giovana Savitri. **Mapeamento de fluxo de valor e simulação como facilitadores para o aprimoramento da produção em empresa do setor automotivo**. p. 1-25, [2010?].

VENDAN, S. P.; SAKTHIDHASAN, K. Reduction of wastages in motor manufacturing industry. **Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering**, v. 4, n. 5, p. 579-590, 2010.

VENTURINI, Livia Rodrigues Lothhammer. **Proposta de implantação de um processo de montagem enxuto no setor de produção de bens de consumo duráveis: um estudo de caso**. Florianópolis: UFSC.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – POSMEC, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2012.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. **A mentalidade enxuta nas empresas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; ROOS, Daniel. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

WOMACK, Jim. **Caminhadas pelo gemba**. Tradução: Tamiris Masetto Manzano. 1. ed. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2011.

YAMADA , Newton Eizo; MARINS, Fernando Augusto Silva. Aplicação de conceitos da manufatura enxuta no processo de pré-equipagem de asas. In: **SIMPOI Anais**, 2010, p. 1-16.

ZATTAR, Izabel Cristina; RUDEK, Samuel; TURQUINO, Geizy Siélly. O uso do indicador OEE como ferramenta na tomada de decisões em uma indústria gráfica – um caso prático **Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial**, Florianópolis, v. 2, n. 2, p. 113 - 132, 2010.

APÊNDICE A – Gráficos de Gantt

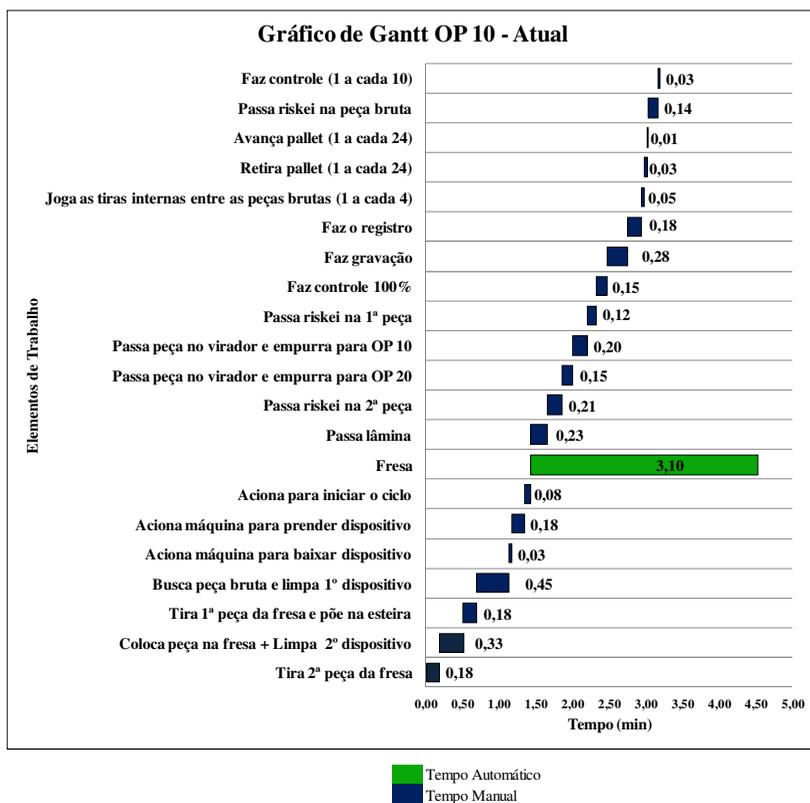


Gráfico de Gantt Atual Operação 10. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

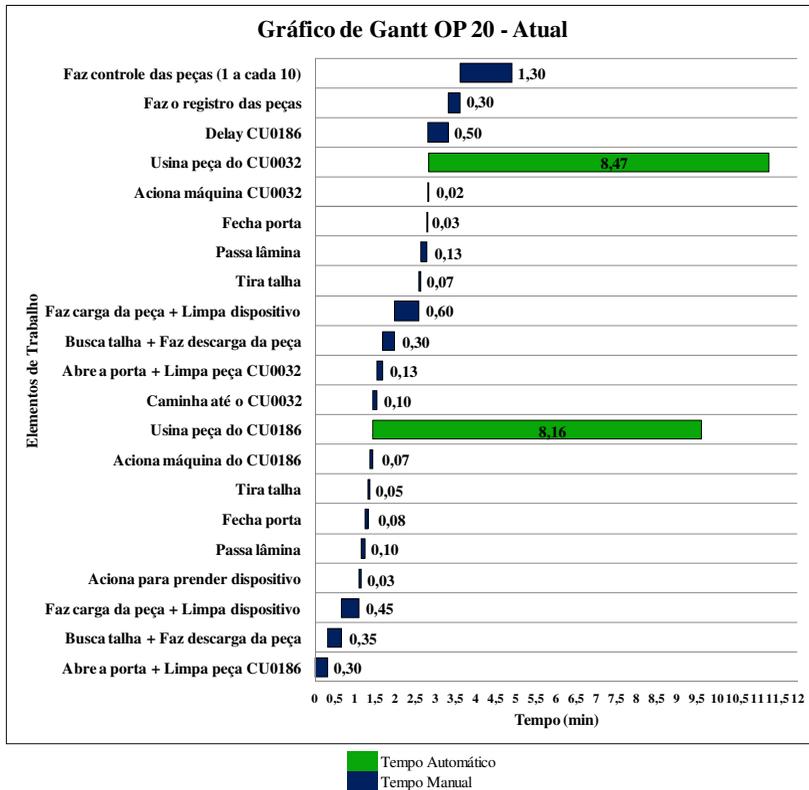


Gráfico de Gantt Atual Operação 20. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

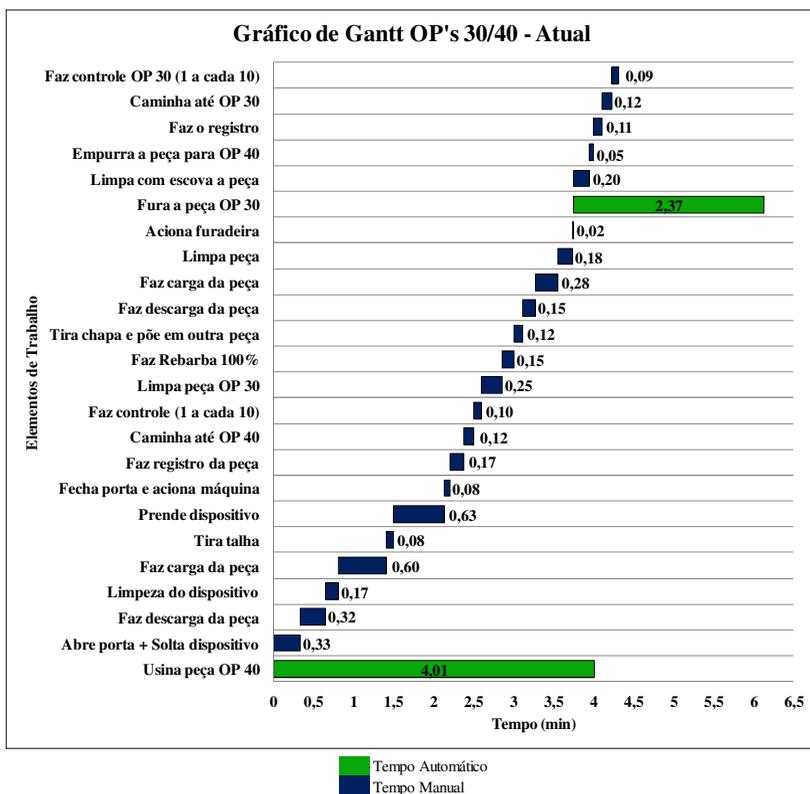


Gráfico de Gantt Atual Operações 30 e 40. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

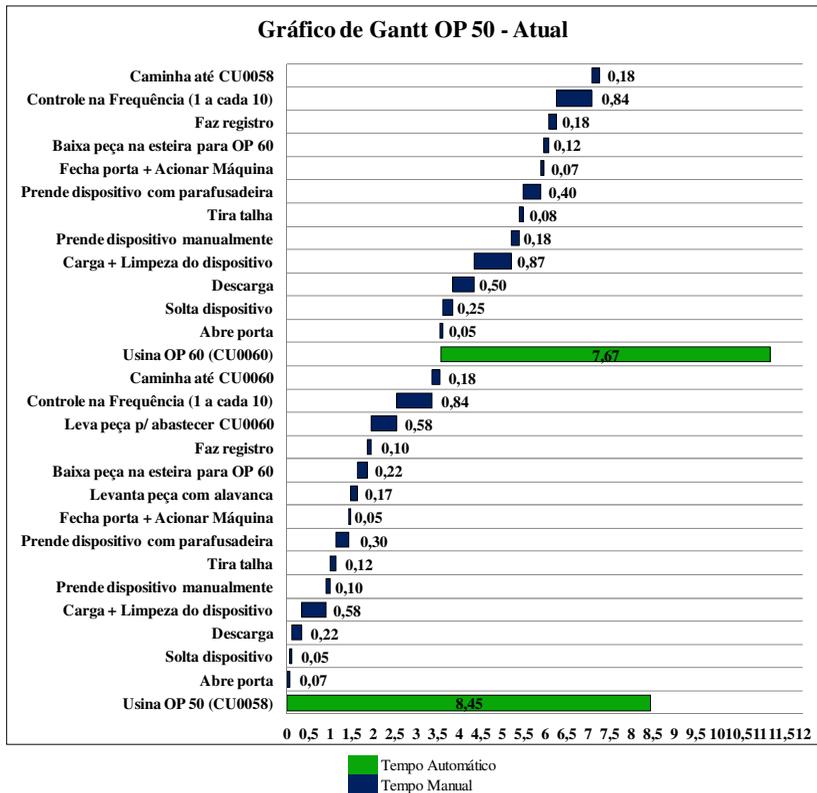


Gráfico de Gantt Atual Operação 50. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

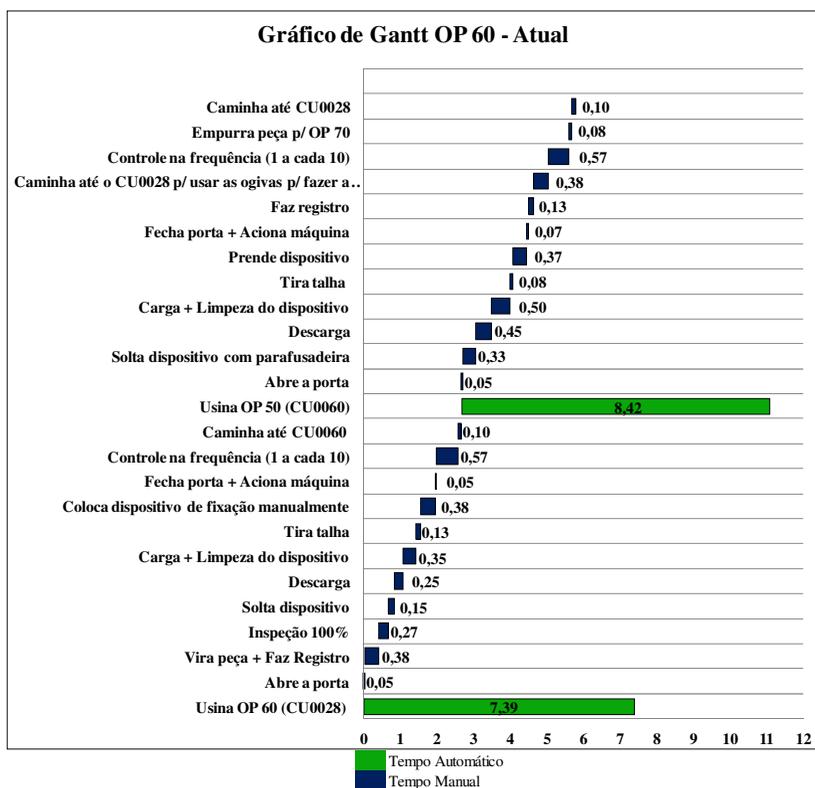


Gráfico de Gantt Atual Operação 60. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Gráfico de Gantt OP's 70-80-90-100 - Atual

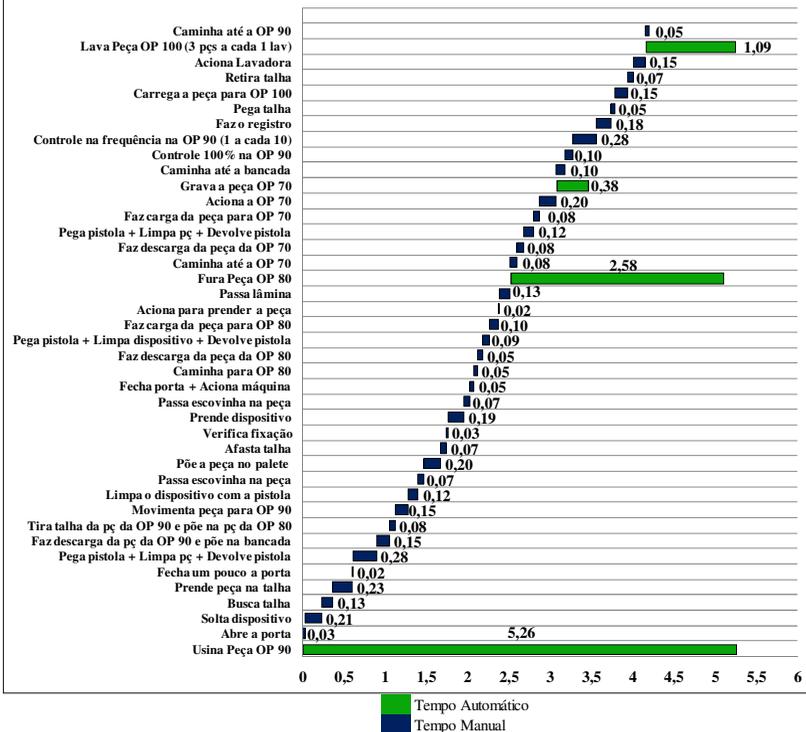


Gráfico de Gantt Atual Operações 70 a 100. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

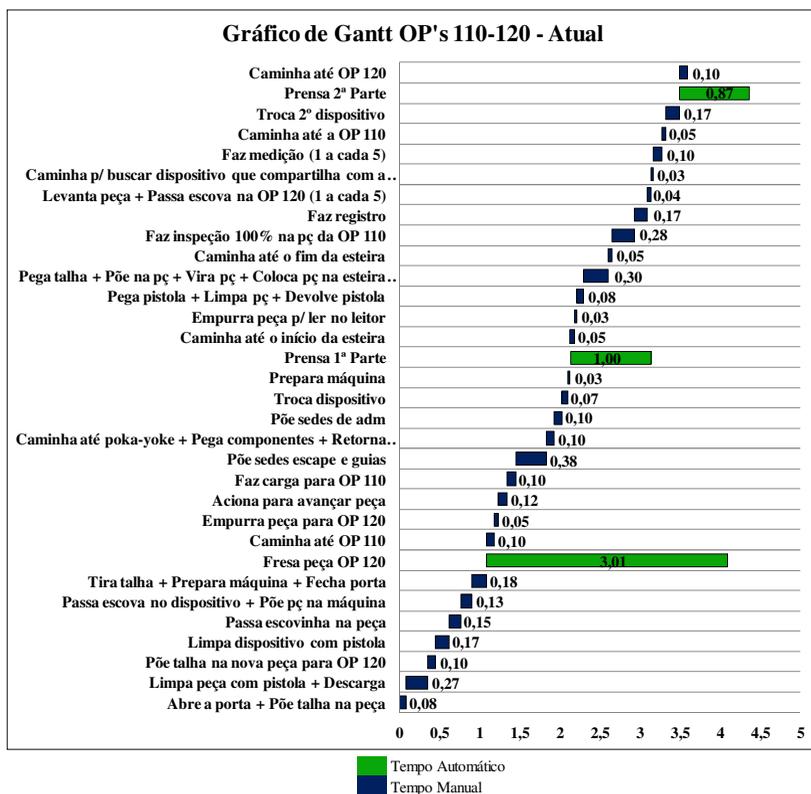


Gráfico de Gantt Atual Operações 110 e 120. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

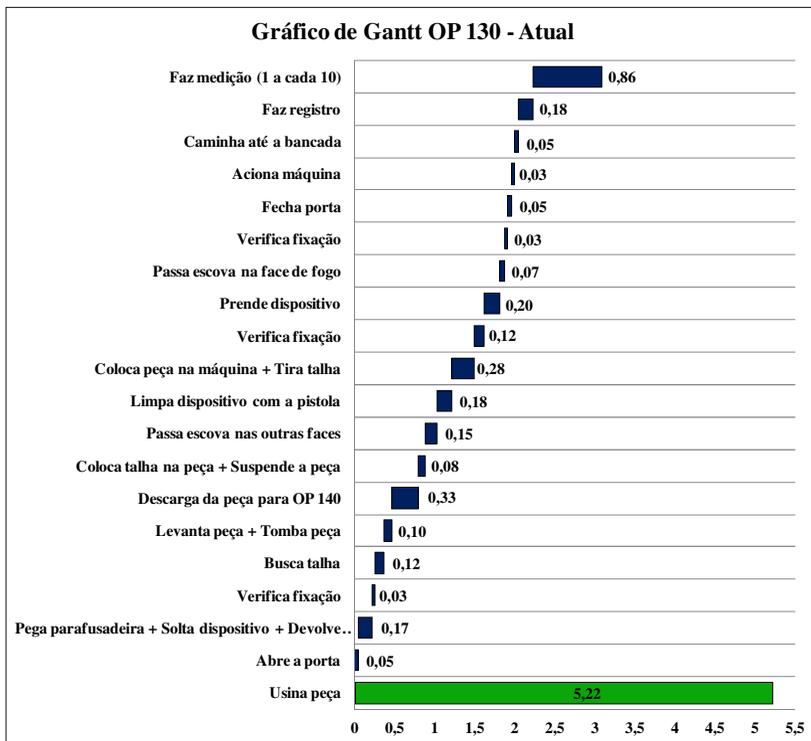


Gráfico de Gantt Atual Operação 130. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

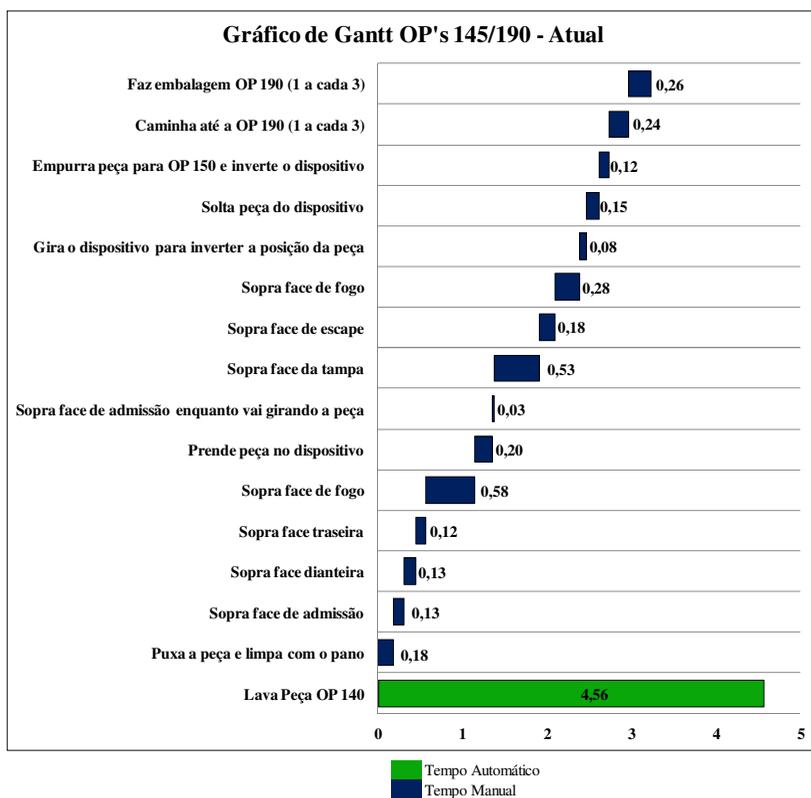


Gráfico de Gantt Atual Operações 145 e 190. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

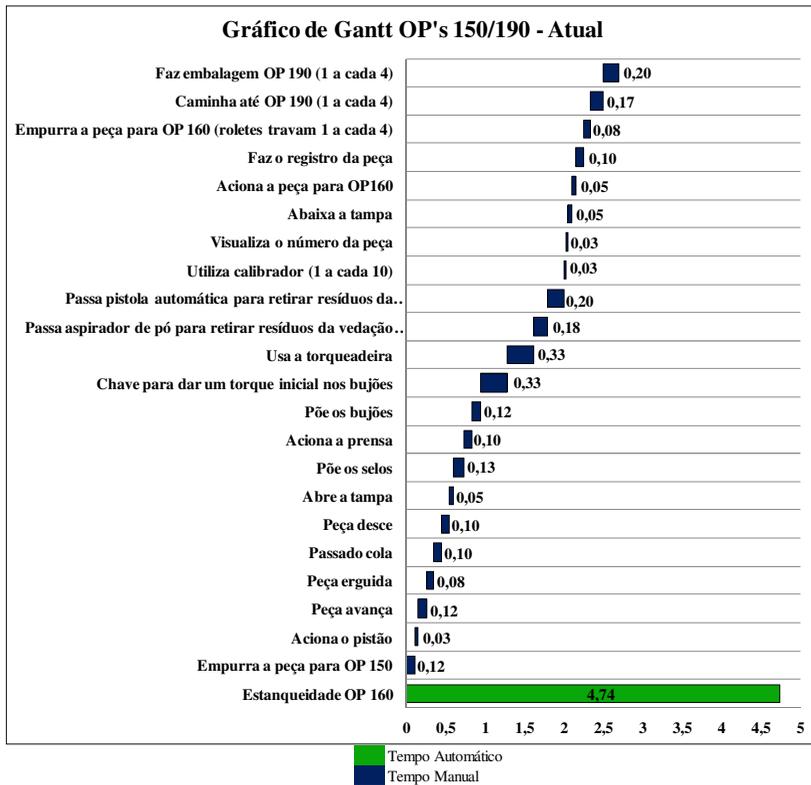


Gráfico de Gantt Atual Operações 150 e 190. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

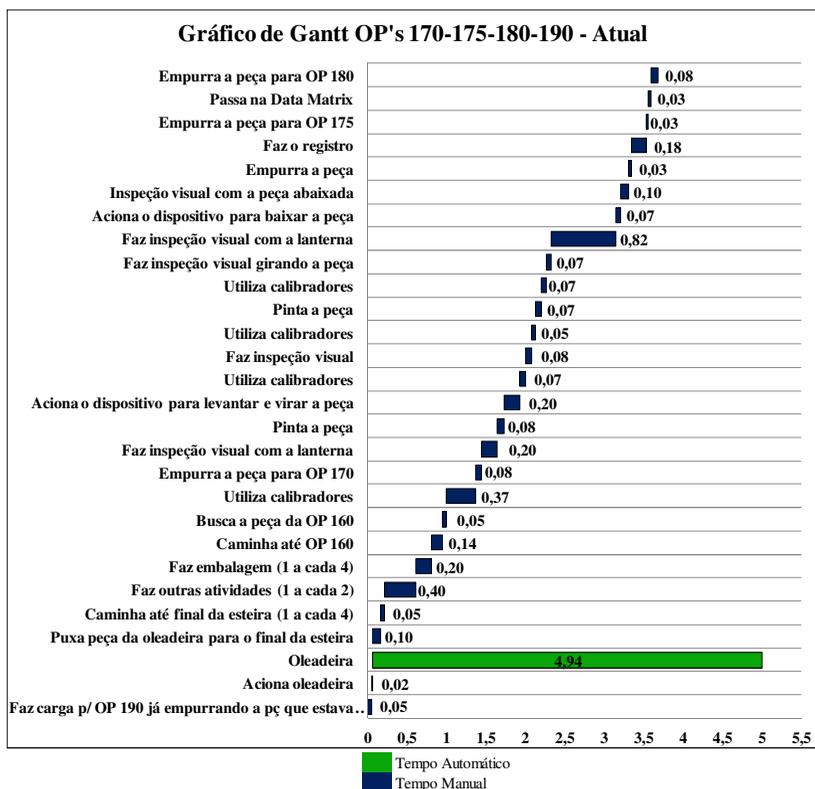


Gráfico de Gantt Atual Operações 170 a 190. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

APÊNDICE B – Dados do Input Analyzer

Operações	Op:10	Op:20.1	Op:20.2	Op:30	Op:40	Op:50.1	Op:50.2	Op:60.1	Op:60.2	Op:70	Op:80	Op:90	Op:100	Op:110	Op:120	Op:130	Op:140	Op:145	Op:150	Op:160	Op:200/175	Op:180	Op:190	
T1	438	966	990	338	402	168	833	810	720	766	090	524	371	310	397	515	458	271	180	469	316	590	1310	
T2	456	969	990	347	403	169	843	843	760	767	094	280	527	310	399	511	456	273	193	472	299	590	1330	
T3	450	970	985	340	401	170	840	840	740	766	096	279	534	374	317	392	529	450	274	176	476	316	496	1311
T4	455	959	984	336	403	168	834	834	700	769	099	281	532	372	309	398	516	455	272	184	475	310	477	1312
T5	449	960	986	359	402	168	848	848	780	767	097	270	520	374	334	382	505	441	274	200	484	325	493	1313
T6	442	951	987	361	400	168	843	843	755	767	082	311	523	382	326	404	536	462	282	197	479	316	497	1312
T7	445	953	983	347	402	168	840	840	754	767	097	310	528	370	336	410	523	465	270	198	476	316	497	1313
T8	448	969	982	335	402	171	831	831	743	767	094	304	528	352	329	404	536	458	252	180	473	329	493	1330
T9	495	953	981	336	403	168	847	847	732	768	096	294	527	369	331	411	530	465	269	220	470	302	477	1311
T10	442	961	980	341	403	168	859	859	748	767	095	319	524	372	337	394	516	462	272	180	475	298	490	1312
T11	440	970	988	332	402	170	844	844	710	768	096	310	521	376	339	399	497	450	276	211	477	318	308	1311
T12	449	952	989	338	401	169	840	840	720	767	090	314	522	373	318	390	518	469	273	200	468	288	511	1313
T13	448	950	1050	345	402	168	820	820	735	767	098	314	528	390	318	396	514	478	289	199	475	279	487	1313
T14	458	960	999	328	404	169	820	820	737	765	090	302	535	390	318	401	525	458	290	192	472	313	491	1311
T15	457	965	960	352	402	168	830	830	742	767	090	309	525	376	332	395	521	457	276	198	476	309	474	1313
T16	460	953	970	324	399	169	805	805	743	768	096	328	526	359	338	397	522	460	259	192	474	304	488	1312
T17	455	930	970	344	404	169	847	847	744	767	108	294	533	382	313	388	533	455	282	199	471	306	502	1315
T18	457	966	998	337	402	169	846	846	745	766	096	308	531	380	318	398	527	457	280	173	476	314	478	1300
T19	441	965	970	344	403	168	853	853	746	766	090	299	531	390	336	402	532	451	290	180	466	303	502	1312
T20	443	949	986	350	400	170	838	838	747	767	093	310	516	359	338	395	513	453	259	197	478	300	510	1312
T21	462	956	989	339	403	169	860	860	748	767	092	303	525	375	343	403	524	462	297	200	481	313	492	1312
T22	460	957	940	333	387	168	855	855	750	766	080	281	524	353	356	396	515	460	253	182	466	326	494	1311
T23	459	980	990	349	403	169	828	828	770	767	091	307	526	330	331	401	520	459	230	193	481	314	507	1312
T24	458	960	986	336	360	171	830	830	730	765	095	322	521	360	326	394	518	458	250	183	471	297	488	1312
T25	457	976	990	344	370	168	860	860	753	768	096	295	525	360	340	401	534	457	260	184	476	310	477	1312
T26	430	964	987	334	380	167	850	850	734	767	102	333	529	370	332	404	545	453	270	190	484	320	498	1312
T27	444	965	989	344	390	168	870	870	710	765	106	301	520	370	335	393	521	454	270	200	475	311	495	1299
T28	425	966	980	335	440	170	830	830	734	766	094	299	526	375	335	391	515	455	275	211	476	318	308	1315
T29	460	1000	984	345	450	168	890	890	725	769	086	247	526	410	328	399	532	425	310	225	480	304	520	1300
T30	460	900	986	310	420	169	840	840	745	767	090	312	517	390	337	397	525	435	290	200	473	320	504	1316
Média	452	960	985	340	401	169	845	845	743	767	094	302	526	373	329	398	522	456	273	196	474	309	494	1312
Desvio	012	016	017	010	016	001	017	017	017	001	006	015	005	016	011	006	010	010	016	012	004	011	011	006

Tempos das operações. Fonte: Elaborado pelo autor (2013).