

JOSÉ LOURENÇO JUNIOR

**A PRODUÇÃO ENXUTA EM UM SISTEMA DE
FABRICAÇÃO CONTÍNUO: APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO
DISCRETA ESTOCÁSTICA NA INDÚSTRIA DE
CONDUTORES ELÉTRICOS**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica na área de Gestão e Otimização.

Orientador: Prof. Dr. Messias Borges Silva

Guaratinguetá

2012

JOSÉ LOURENÇO JUNIOR

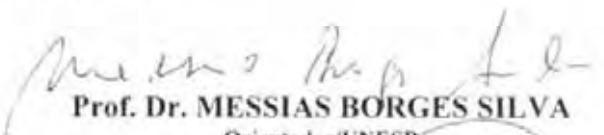
ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA”

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: GESTÃO E OTIMIZAÇÃO

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

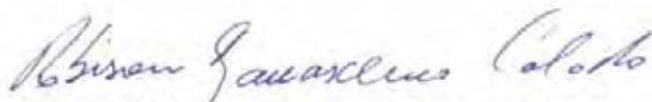

Prof. Dr. José Antonio Perrella Balestieri
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. MESSIAS BORGES SILVA
Orientador/UNESP

Prof. Dr. FERNANDO AUGUSTO SILVA MARINS
UNESP-FEG

Prof. Dr. VALERIO ANTONIO PAMPLONA SALOMON
UNESP-FEG


Prof. Dr. ROBISOM DAMASCENO CALADO
PUC-CAMPINAS


Prof. Dr. ROSINEI BATISTA RIBEIRO
UERJ - Campus de Resende

Dezembro de 2012

DADOS CURRICULARES

JOSÉ LOURENÇO JUNIOR

NASCIMENTO:	06/10/1960, Pindamonhangaba, SP
FILIAÇÃO:	José Lourenço Maria Doracy Jório Lourenço
1979-1983	Graduação em Engenharia Elétrica Universidade de Taubaté UNITAU Taubaté, SP
2000-2003	Pós-graduação stricto sensu Mestrado em Administração de Empresa Universidade de Taubaté - UNITAU Taubaté, SP

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos que tenho em maior valia na minha vida. Aos meus filhos, Nathalia e Neto, meu maior legado, e à minha amada esposa, Simone. A ela minha especial deferência: esteio e trilha da minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus que permitiu realizar esse sonho: “Tudo posso Naquele que me fortalece”;

Ao meu Ir.º Prof. Dr. Messias Borges Silva pelo estímulo e dedicação constantes sem os quais eu não teria sequer iniciado esse doutorado. Amigo de todas as horas e professor de primeiríssimo nível, sua postura sempre serena e altiva é prova irrefutável que simplicidade e elegância caminham sempre juntas;

Aos docentes do programa de pós-graduação da FEG/UNESP em particular os Professores Doutores Fernando Augusto Silva Marins, Jorge Muniz Junior, Ubirajara Rocha Ferreira, Valério Antonio Pamplona Salomon e Mauricio César Delamaro pela frequente apoio e incentivo;

Ao Prof. Dr. José Glenio Medeiros de Barros, meu orientador do mestrado e responsável pela difícil tarefa em me iniciar na pesquisa científica *stricto sensu*;

A todos os meus alunos que depositam em mim suas expectativas e sonhos e que, por isso, me movem no sentido de sempre aprender mais.

LOURENÇO JR, JOSÉ. **A Produção Enxuta em um sistema de fabricação contínuo: aplicação da simulação discreta estocástica na indústria de condutores elétricos**. 133 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

RESUMO

É expressiva a repercussão do conceito da Produção Enxuta e grande parte das histórias de sucesso vem da indústria automotiva e de outras de fabricação de produtos discretos. Estas se caracterizam por volumes elevados e uma variedade relativamente pequena de produtos. Entretanto, constatou-se na literatura a carência de abordagens que tratem da Produção Enxuta aplicada à manufatura contínua onde os equipamentos de produção são, não raro, grandes, de elevado custo e relativamente fixos. Os processos contínuos de fabricação são menos flexíveis e não se adequam, por exemplo, a um arranjo celular como os da manufatura discreta. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é o de investigar a aplicabilidade do conceito da Produção Enxuta e de suas ferramentas à indústria de manufatura contínua, em particular na fabricação de condutores elétricos. Acerca da metodologia desta pesquisa, de início, um *survey* exploratório com fabricantes paulistas de condutores elétricos é realizado. Em seguida, a partir de dados *ex-post facto* de um fabricante com extenso histórico de prática dos conceitos da Produção Enxuta, foi realizado o mapeamento do fluxo de valor (VSM). Idealizou-se então o mapa do estado futuro considerado as condições de contorno e/ou adaptação das práticas enxutas a serem adotadas e seus impactos são investigados por meio de simulação discreta estocástica. Os resultados obtidos do *survey* permitem inferir que o conceito ainda requer uma evolução mais significativa, naquele universo pesquisado. Já os resultados da simulação, avaliados por meio de um planejamento de experimentos e a avaliação simultânea das variáveis de saída, pelo Método *Plackett-Burman*, apontam a significativos ganhos, por exemplo, reduções de lead-time e estoque em processo. Em conclusão, foi evidenciada para o ambiente industrial, de fabricação eminentemente contínua, a possibilidade de extensão do uso de ferramentas e técnicas da Produção Enxuta. A principal contribuição do presente trabalho reside na utilização do VSM agregado à simulação, desde que tratadas as suas peculiaridades, como uma elaborada técnica de diagnóstico e avaliação também para sistema de manufatura contínua.

PALAVRAS-CHAVE: Produção enxuta. Produção contínua. Condutores elétricos. Simulação. Mapeamento do Fluxo de Valor.

LOURENÇO JR, JOSÉ. **Lean manufacturing in a continuous production system: application of discrete stochastic simulation in the industry of electrical conductors.** 133 p. Thesis (Doctorate in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

ABSTRACT

It is significant the repercussion of the concept of Lean Production, much of the success cases come from the automotive industry and other manufacturing discrete products. Those industries are characterized by high volumes and a relatively small assortment of products. However, there was a lack of literature on approaches those address Lean Production applied to continuous manufacturing where production equipment are, not rarely, large, high cost and relatively fixed. The continuous manufacturing is less flexible and not suitable, for example, a cellular layout as discrete manufacturing. In this context, the objective of this thesis is to investigate the applicability of the concept of Lean Production and its tools for continuous manufacturing industry, particularly in the manufacture of electrical conductors. About the methodology of this research, at first, an exploratory survey with manufacturers of electrical conductors is performed. Then, data from *ex-post* facto from a manufacturer with long history of practice of the concepts of Lean Production was held VSM - Value Stream Mapping. After was envisioned future state map considered the boundary conditions and/or adaptation of lean practices to be adopted and their impacts are investigated by means of discrete stochastic simulation. The results of the survey allow us to infer that the concept still requires a more significant development in that universe surveyed. Already the simulation results, evaluated by means of a design of experiments and the simultaneous evaluation of the output variables, by the use of the Plackett-Burman Method, point to significant gains, for example, in reducing the lead time and the amount of stock in process. In conclusion, it was demonstrated for the industrial environment studied, continuous manufacturing eminently, the possibility of extending the use of tools and techniques of Lean Production. The main contribution of this work lies in the proposed use of VSM added to the simulation, since it dealt with its peculiarities, like an elaborate technique of diagnosis and evaluation also for continuous manufacturing system.

KEYWORDS: Lean manufacturing. Continuous production. Electrical conductors. Simulation. Value Stream Mapping.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação da pesquisa.....	19
Figura 2 – Métodos de pesquisas desta tese	21
Figura 3 – Tipos de processos em operações de manufatura	33
Figura 4 – Classificação dos sistemas de produção, adaptado de McCarthy (1995).....	34
Figura 5 – CONWIP: modelo de um único produto.....	42
Figura 6 – Processo para a implementação proposto por Lu, Yang e Wang (2011).....	47
Figura 7 – Processo de modelagem	49
Figura 8 – Lingotes de alumínio armazenados em fardo	55
Figura 9 – Método de fundição contínua de vergalhão de alumínio	55
Figura 10 – Laminador de alumínio	56
Figura 11 – Rolo de vergalhão de alumínio	56
Figura 12 – Processo de trefilação dos fios	57
Figura 13 – Carretel (<i>spool</i>) metálico carregado com fio de alumínio.....	57
Figura 14 – Formação dos cabos: encordoamento dos fios.....	58
Figura 15 – Exemplo de formação de cabos AAC	58
Figura 16 – Exemplo de formação de cabos ACSR.....	59
Figura 17 – Bobina de madeira para acondicionamento de cabos AAC e ACSR.....	60
Figura 18 – Representação sinóptica da fabricação de cabos AAC e ACSR.....	60
Figura 19 – Página de entrada da ferramenta de <i>survey</i> na Internet.....	66
Figura 20 – Mapa do estado atual.....	75
Figura 21 – Mapa do estado futuro.....	82
Figura 22 – <i>Lay-out</i> dos equipamentos produtivos	83
Figura 23 – Tela do Input Analyzer (referente à TF01 Fio 2,88mm).....	85
Figura 24 – Modelo de simulação: mapa do estado atual.....	88
Figura 25 – Modelo de simulação: mapa do estado futuro.....	91
Figura 26 – Período transiente da simulação não terminal.....	92
Figura 27 – Características dos respondentes.....	94
Figura 28 – Respostas estratificadas pelos respondentes que adotaram ou não o conceito	97
Figura 29 – Aplicabilidade e eficácia das ferramentas (média $\pm$ 1 desvio padrão).....	101
Figura 30 – Análise para a resposta WIP	105
Figura 31 – Análise para a resposta <i>Lead-time Linnet</i>	105

Figura 32 – Análise para a resposta <i>Lead-time Grosbeak</i>	106
Figura 33 – Análise <i>Desirability</i>	108

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Lacunas e principais críticos do pensamento enxuto.....	27
Quadro 2 – Mecanismos de planejamento e controle mais frequentes na literatura	39
Quadro 3 – Kanban: funções e regras de utilização	41
Quadro 4 – Símbolos usados para o VSM.....	45
Quadro 5 – Peculiaridades das indústrias automotivas e fabricantes de condutores elétricos	53
Quadro 6 – Formato e constructos do instrumento de pesquisa.....	67
Quadro 7 – Embalagens usuais.....	78
Quadro 8 – Dados estimados pelo <i>Input Analyzer</i>	85
Quadro 9 – Tempos relativos às quebras das máquinas	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ferramentas enxutas implantadas na empresa objeto desta tese	70
Tabela 2 – Cabos AAC conforme padrão ASTM.....	73
Tabela 3 – Cabos AAC conforme padrão ASTM.....	74
Tabela 4 – Aplicação da fórmula proposta por Monden	80
Tabela 5 – Sequenciamento dos resultados	81
Tabela 6 – <i>Set-Up</i> Trefilas, sequência operacional para troca de bitola.....	86
Tabela 7 – <i>Set-Up</i> Trançadeiras, sequência operacional	87
Tabela 8 – Validação do modelo	90
Tabela 9 – Motivos para a decisão de implantar o conceito de Produção Enxuta	95
Tabela 10 – Ferramentas enxutas	98
Tabela 11 – Benefícios esperados	99
Tabela 12 – Lead-time: resultados nas simulações atual e futuro	103
Tabela 13 – Material em processo: resultados nas simulações atual e futuro	103
Tabela 14 – Níveis dos fatores (projeto fatorial 2^k).....	104
Tabela 15 – Delineamento de experimentos <i>Plackett-Burman</i>	107

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAC	All Aluminium Cable
AC	Antes de Cristo
ACSR	Aluminium Cable Steel Reinforced
AHP	Analytic Hierarchy Process
APG	Atividades de Pequenos Grupos
ASTM	American Society for Testing and Materials
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CCQ	Círculos de Controle da Qualidade
CONWIP	Constant Work in Process
ERLA	Distribuição Erlang
ERP	Enterprise Resource Planning
EUA	Estados Unidos da América
EXPO	Distribuição Exponencial
GAMM	Distribuição Gamma
LT	Lead Time
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTR	Mean Time to Repair
NORM	Distribuição Normal
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PEPS	Primeiro que Entra, Primeiro que Sai
RH	Recursos Humanos
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SINDICEL	Sindicato da Indústria de Condutores Elétricos, Trefilação e Laminação de Metais Não-Ferrosos do Estado de São Paulo
TC	Trançadeiras
TF	Trefiladeira
TPM	Total Productive Maintenance
TRIA	Distribuição Triangular
URL	Uniform Resource Locator
UNIF	Distribuição Uniforme
VSM	Value Stream Mapping
WIP	Work in Process

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DESTE TRABALHO.....	15
1.2	PROBLEMATIZAÇÃO.....	16
1.3	OBJETIVOS.....	17
1.4	RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA.....	18
1.5	ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	19
1.6	ESTRUTURAÇÃO DA TESE.....	22
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	23
2.1	A PRODUÇÃO ENXUTA	23
2.2	LIMITES DA PRODUÇÃO ENXUTA	25
2.3	O CONCEITO ENXUTO EM SISTEMA DE PRODUÇÃO CONTÍNUO	32
2.3.1	Sistemas de produção contínuo e discreto.....	32
2.3.2	A abordagem enxuta nas produções contínuas.....	34
2.4	MECANISMOS DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO.....	38
2.4.1	Puxado versus empurrado?.....	38
2.4.2	<i>Kanban</i> e CONWIP: sistemas puxados.....	40
2.5	SIMULAÇÃO BASEADA NO MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR	43
2.5.1	VSM – Mapeamento do fluxo de valor	43
2.5.2	O mapeamento do fluxo de valor em sistema de produção contínuo	46
2.5.3	Modelagem e simulação em sistemas puxados	48
3	MÉTODOS.....	52
3.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	52
3.2	PECULIARIDADES DO SEGMENTO INDUSTRIAL	52
3.3	ANTECEDENTES HISTÓRICOS: A CULTURA ENXUTA NA EMPRESA OBJETO DESTE ESTUDO.....	62
3.4	<i>SURVEY</i> COM OS FABRICANTES DE CONDUTORES ELÉTRICOS	64
3.4.1	Instrumento de pesquisa	65
3.4.2	População, amostra e coleta dos dados.....	68
3.5	VSM E AS SIMULAÇÕES NA EMPRESA OBJETO DESTE ESTUDO.....	69
3.5.1	O mecanismo de controle da produção adotado	69

3.5.2	Mapeamento do fluxo de valor: mapa do estado atual	72
3.5.3	Mapeamento do fluxo de valor: mapa do estado futuro	77
3.5.4	Simulação e validação	83
3.5.4.1	Modelo do estado atual	83
3.5.4.2	Modelo do estado futuro	90
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	93
4.1	RESULTADOS DO <i>SURVEY</i> COM OS FABRICANTES DE CONDUTORES ELÉTRICOS... 93	
4.1.1	Taxa de retorno dos questionários on-line.....	93
4.1.2	Caracterização das empresas e dos respondentes	93
4.1.3	Sobre a implantação da Produção Enxuta e suas técnicas e ferramentas .	94
4.1.4	Considerações finais sobre o <i>survey</i>	100
4.2	RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO MAPA DO ESTADO FUTURO.....	102
5	CONCLUSÃO.....	109
5.1	VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS	109
5.2	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	111
5.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
	APÊNDICE A.....	124
	APÊNDICE B.....	129
	APÊNDICE C	130
	APÊNDICE D.....	131
	APÊNDICE E	132
	APÊNDICE F	133

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização deste trabalho

É desnecessário afirmar acerca do cenário atual de um mundo em constante mudança, mercados globais em permanente evolução e crescente competitividade e a consequente e imperiosa necessidade das organizações em se mostrarem inovadoras, flexíveis, de princípios de excelência e com reduzidos tempos de resposta. Se tais princípios se aplicam aos negócios, são igualmente considerados fatores de sobrevivência aos processos de manufatura. Ambientes, cada vez mais competitivos, têm forçado as organizações a buscarem continuamente melhorias em seus processos como alternativa para reduzir os custos operacionais. Neste particular, os princípios de manufatura enxuta e suas técnicas têm sido amplamente utilizados pelas organizações para apoiar as tais melhorias necessárias (REYES *et al.*, 2012).

A expressão *lean*, traduzida como enxuta, há muito se difundiu do seu berço industrial e se estendeu a outros segmentos, como por exemplo, o *Lean Construction* (GREEN e MAY, 2005) ou *Lean Healthcare* (CHADHA, SINGH e KALRA, 2012). Entretanto, autores parecem convergir no sentido de que a tecnologia originalmente idealizada para a produção discreta¹ típica da sua origem, a indústria automobilística, deixa em aberto questões como a da sua aplicação em ambientes de processos contínuos que é o propósito do presente trabalho.

A pesquisa identificou poucas referências a respeito. Cusumano (1994) e Alford, Sackett e Nelder (2000) tratam do desconhecimento acerca de como um sistema de manufatura baseado na Produção Enxuta responderia ao desafio de uma maior diversificação de produtos. Billesbach (1994) propõe a reflexão no sentido que os ambientes contínuos de fabricação produzem peças discretas e que, neste ponto da produção, o conceito enxuto poderia ser aplicado. Lee e Allwood (2003) discutem o comportamento da filosofia em processos dependentes da temperatura e que, portanto, não poderiam parar a fim de se empenhar ações corretivas. Hines, Holweg e Rich (2004) criticaram a capacidade dos sistemas enxutos de enfrentar a variabilidade do mercado. Slomp, Bokhorst e Germs (2009) e Bokhorst e Slomp (2010) trataram a aplicação de elementos da Produção Enxuta em uma organização *make-to-order* e *job shop*. Outros, como Pool, Wijngaard e Zee (2011), discutiram os princípios do fluxo constante e da produção puxada em um ambiente de

¹ Discreta no sentido da fabricação de unidades discretas de produto. O tema acerca da produção discreta e contínua é tratado na seção 2.3.1 deste trabalho.

produção contínua por meio de escalonamentos cíclicos. Por fim, talvez o mais relevante ao foco da presente pesquisa, Abdulmalek e Rajgopal (2007) produziram um interessante trabalho ao investigar o uso de ferramentas e técnicas da Produção Enxuta em ambientes contínuos de produção, particularmente na indústria de aço.

Por outro lado, Deif (2012) afirmou que, apesar de todos os méritos da filosofia enxuta, a dinâmica dos sistemas de produção (com a implementação enxuta) ainda encontra questionamentos. Isso porque a dinâmica da Produção Enxuta deve ser, geralmente, demonstrada sob incerteza o que, no contexto de produção, pode referir-se a intervenientes endógenos, tais como quebras de máquinas e exógenos, tais como a instabilidade da demanda. Neste particular, o uso da simulação estocástica representa um expressivo ganho de qualidade e agilidade nas análises.

O fato é que os sistemas de produção atuais assumem dimensões cada vez maiores tanto quanto mais complexas implicando na demanda por ferramentas gerenciais mais aperfeiçoadas que permitam avaliar e otimizar os processos produtivos. A simulação é uma das soluções para análise a avaliação do desempenho de situações atuais, como das soluções propostas. Por meio da simulação é possível determinar as melhorias que se podem obter, bem como detectar falhas, antes da implementação concreta do novo sistema e sem qualquer implementação física.

Neste contexto, o da Produção Enxuta aplicada a um ambiente contínuo de manufatura e suportada pela técnica da simulação, é que foi desenvolvido o presente trabalho.

1.2 Problematização

Empresas de todo o mundo vêm adotando novas estratégias e inovações nos seus negócios com a intenção precípua de se manterem num mercado cada vez mais competitivo. A Produção Enxuta é uma dessas iniciativas que tem seu foco na redução de custos por meio da eliminação sistêmica e planejada das atividades que não adicionam valor sob o olhar do cliente. O conceito e suas ferramentas, introduzidos originalmente por meio do Sistema Toyota de Produção, têm sido amplamente utilizados na indústria discreta (HINES, HOLWEG e RICH, 2004; CHADHA, SINGH e KALRA, 2012). Aplicações da Produção Enxuta para a indústria de processos contínuos têm sido muito menos exploradas pela literatura técnica acadêmica. Mahapatra e Mohanty (2007), Bortolotti, Danese e Romano, (2012) argumentam que talvez porque essas indústrias sejam inerentemente mais eficientes.

Ou porque como, com máquinas grandes e inflexíveis, e os longos tempos de preparação que caracterizam a indústria contínua poderia adotar, por exemplo, o *lay-out* celular? Então, como se aplica, e com quais adaptações, o conceito da Produção Enxuta em ambientes de produção contínua?

A hipótese central desta tese é a da oportunidade da aplicação destas ferramentas e da mentalidade enxuta, em ambientes contínuos de fabricação. O trabalho levanta a hipótese de que existem grandes oportunidades de melhoria nas indústrias de produção contínuas pelo uso do conceito da Produção Enxuta e suas ferramentas. Entretanto, esta pesquisa limita-se ao ambiente contínuo de fabricação de condutores elétricos destinados à transmissão e distribuição de energia elétrica.

1.3 Objetivos

O objetivo geral desta tese é o de investigar a aplicabilidade do conceito da Produção Enxuta e de suas ferramentas à indústria de manufatura contínua, em particular na fabricação de condutores elétricos.

Os objetivos específicos são os seguintes:

- a) Diagnosticar, por meio de um *survey*, o segmento industrial de fabricação condutores elétricos no estado de São Paulo em relação ao grau de adoção das práticas e ferramentas da Produção Enxuta;
- b) Descrever por meio um modelo de simulação discreta estocástica os cenários antes e depois da adoção de ferramentas da Produção Enxuta em uma planta típica fabricante de condutores elétricos;
- c) Discutir, por meio de um planejamento de experimentos com múltiplas variáveis de saída, os resultados obtidos da simulação a fim de identificar a eficiência, sensibilidade e possibilidade de otimização.

Embora a fabricação discreta e a contínua tenham várias características comuns, há também áreas nas quais são diferentes. As configurações têm áreas de intersecção, mas ao extremo, cada uma tem suas características únicas. O objetivo é olhar para pontos comuns, pelo lado da produção discreta ou do ponto em que se torna discreta, onde as práticas enxutas são diretamente aplicáveis, como também analisar as formas de fazê-lo em outras áreas onde isso pode não ser tão simples.

1.4 Relevância e justificativa

Este trabalho apresenta características peculiares e específicas da adoção do conceito da Produção Enxuta e o uso de ferramentas como o VSM (Mapeamento do fluxo de valor) e a simulação discreta aplicada à indústria de manufatura contínua, especificamente a de fabricação de condutores elétricos. Isso, a despeito da predominância dos casos estudados na indústria de produção discreta, notadamente a automobilística.

Por si só, sobre esse enfoque, a pesquisa reúne aspectos de ineditismo. Sob esse particular, há um pequeno número de contribuições de pesquisadores ao ambiente contínuo de produção. Ao se incluir a especificidade da fabricação de condutores, a busca nas bases científicas (como por exemplo, Scirus, Scopus, Periódicos Capes e ISI *Web of Knowledge*) apontou para um único artigo quando se combinam as palavras chaves, em inglês ou nas equivalentes em português, *lean*, *cable* e *manufacturing* ou *production*: o de Prince e Kay (2003). Trata-se de um artigo focado na combinação entre os conceitos da Produção Enxuta e *Agile Manufacturing*.

A oportunidade do uso pleno do conceito em indústrias contínuas é o ponto de partida da justificativa do tema, até por conta das elevadas demandas comerciais a que essas empresas se encontram submetidas. Não raramente são empresas com margens mínimas de lucro, assemelhando-se ao comportamento próprio das *commodities*, e o uso de tecnologias gerenciais de redução de custos e melhora da produtividade é requisito de sobrevivência.

Já, acerca do segmento industrial em particular estudado, o da fabricação de condutores elétricos pode-se expressar a relevância pela constatação dos seus números. A produção brasileira de cabos chegou a 141.000 toneladas em 2011, o equivalente a um faturamento de 649 milhões de dólares, segundo o SINDICEL - Sindicato da Indústria de Condutores Elétricos, Trefilação e Laminação de Metais Não-Ferrosos do Estado de São Paulo (Anuário Estatístico Sindicel, 2012). Um setor expressivo da economia brasileira e que passa por transformação e forte concorrência global, ao qual a aplicação dos conceitos enxutos podem trazer ganhos decisivos à perpetuação no mercado.

1.5 Aspectos metodológicos

Os procedimentos e métodos adotados na pesquisa tiveram por propósito a busca por respostas a partir da análise do contexto real e num ambientes onde não havia a possibilidade de controle sobre os eventos estudados, já que se trata de um *ex-post facto*. A Figura 1 apresenta a classificação da pesquisa.

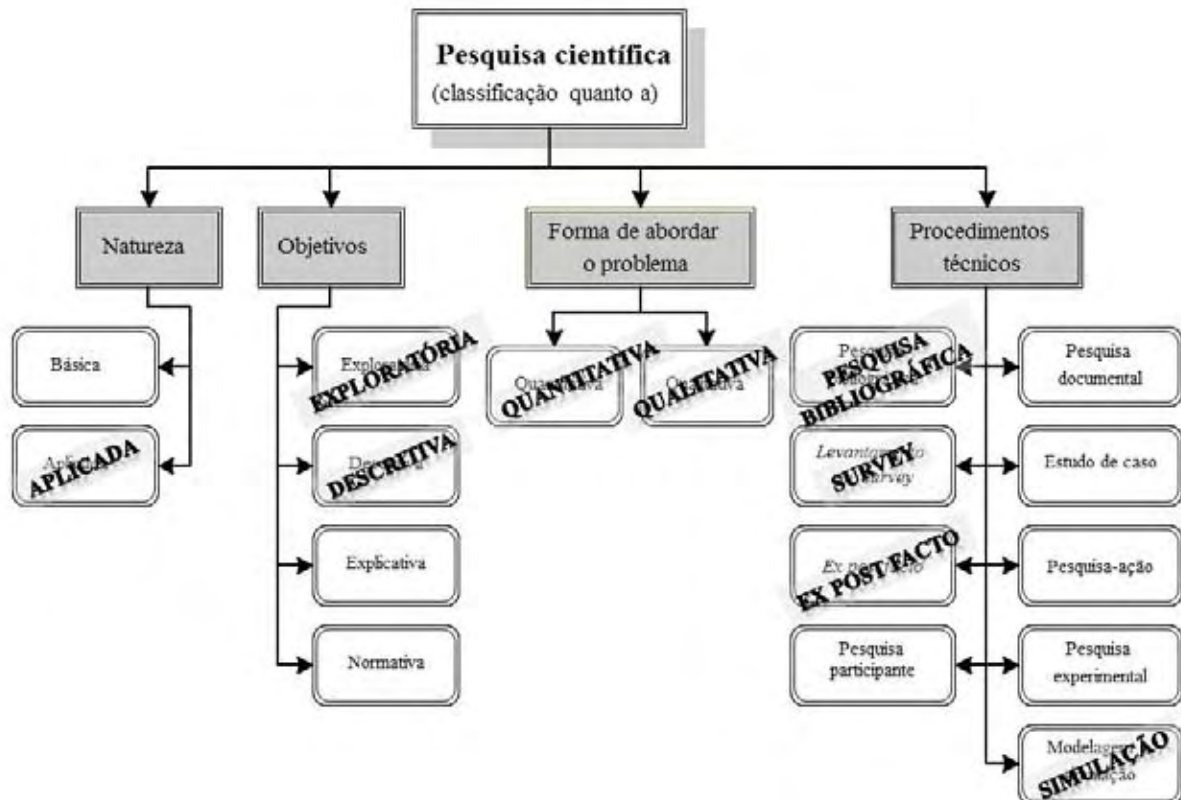


Figura 1 - Classificação da pesquisa

Para alcançar os propósitos estabelecidos para este trabalho, iniciou-se uma busca na literatura sobre o tema Produção Enxuta e manufatura contínua. O uso de combinações das palavras-chave em base de dados relevantes apontou a certa quantidade de informações científicas que, há seu tempo, foram classificadas quanto à relevância a fim de constituírem o referencial teórico do trabalho.

O uso da base do ISI *Web of Knowledge* (<http://apps.isiknowledge.com/>) permitiu uma avaliação sob o critério dos artigos mais citados sobre o tema; o artigo *Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study* (ABDULMALEK e RAJGOPAL, 2007) apareceu como a principal referência com 50 citações conforme consulta em 06/10/2012. Os itens identificados como relevantes ao tema

investigado estão apresentados no final deste trabalho e serviram como referências para a análise da aderência dos resultados com a literatura vigente.

Quanto à natureza, a presente pesquisa se classifica como aplicada, uma vez que tem interesse prático. Segundo Appolinario (2006), a pesquisa aplicada seria suscitada por objetivos comerciais por meio do desenvolvimento de novos processos ou produtos orientados para as necessidades do mercado.

Já quanto ao objetivo, trata-se de uma pesquisa exploratória principalmente pelo fato de que a aplicação do conceito enxuto e suas ferramentas nos ambientes de produção contínua ainda não é plenamente estabelecida na literatura. Segundo Miguel e Ho (2010), utilizam-se estudos exploratórios quando a teoria não se encontra consolidada ou é emergente, ou seja, nesse trabalho pretendeu-se também identificar novas perspectivas a partir de estudos anteriores.

A forma de abordagem do problema é, predominantemente, quantitativa uma vez que considerou nas análises variáveis quantificáveis que foram tratadas de forma numérica e por meio de ferramentas estatísticas, onde o método de simulação ocupou posição central. Neste caso, soma-se o caráter exploratório acima descrito à abordagem quantitativa. Segundo Bryman (1989, *apud* MARTINS, 2010 p. 49) “é um erro pensar toda pesquisa quantitativa como uma preocupação em testar hipóteses. Em muitos casos, a pesquisa é muito mais exploratória”. É o caso da presente tese. Em alguns aspectos, a abordagem também adquiriu a dimensão qualitativa, sugerindo um tratamento combinado qualitativo quantitativo.

Sobre os métodos utilizados, estão presentes o *survey* e a modelagem-simulação. A Figura 2, apresenta o fluxograma com as fases da pesquisa.

O *survey* teve o caráter exploratório-descritivo, uma vez que ao mesmo tempo em que pretendeu adquirir uma visão inicial sobre o assunto e entendê-lo melhor, também foi adequado a fundamentar a descrição da problematização deste trabalho. Sobre a modelagem-simulação, a necessária aquisição de dados para tal, deu-se de forma *ex-post facto*. Em grande parte, os dados foram obtidos do próprio repositório (*data warehouse*) do sistema informatizado de gerenciamento da empresa embora outras fontes de evidência também tenham sido utilizadas como a observação direta. Cite-se que o autor da pesquisa foi executivo industrial da empresa objeto deste estudo.

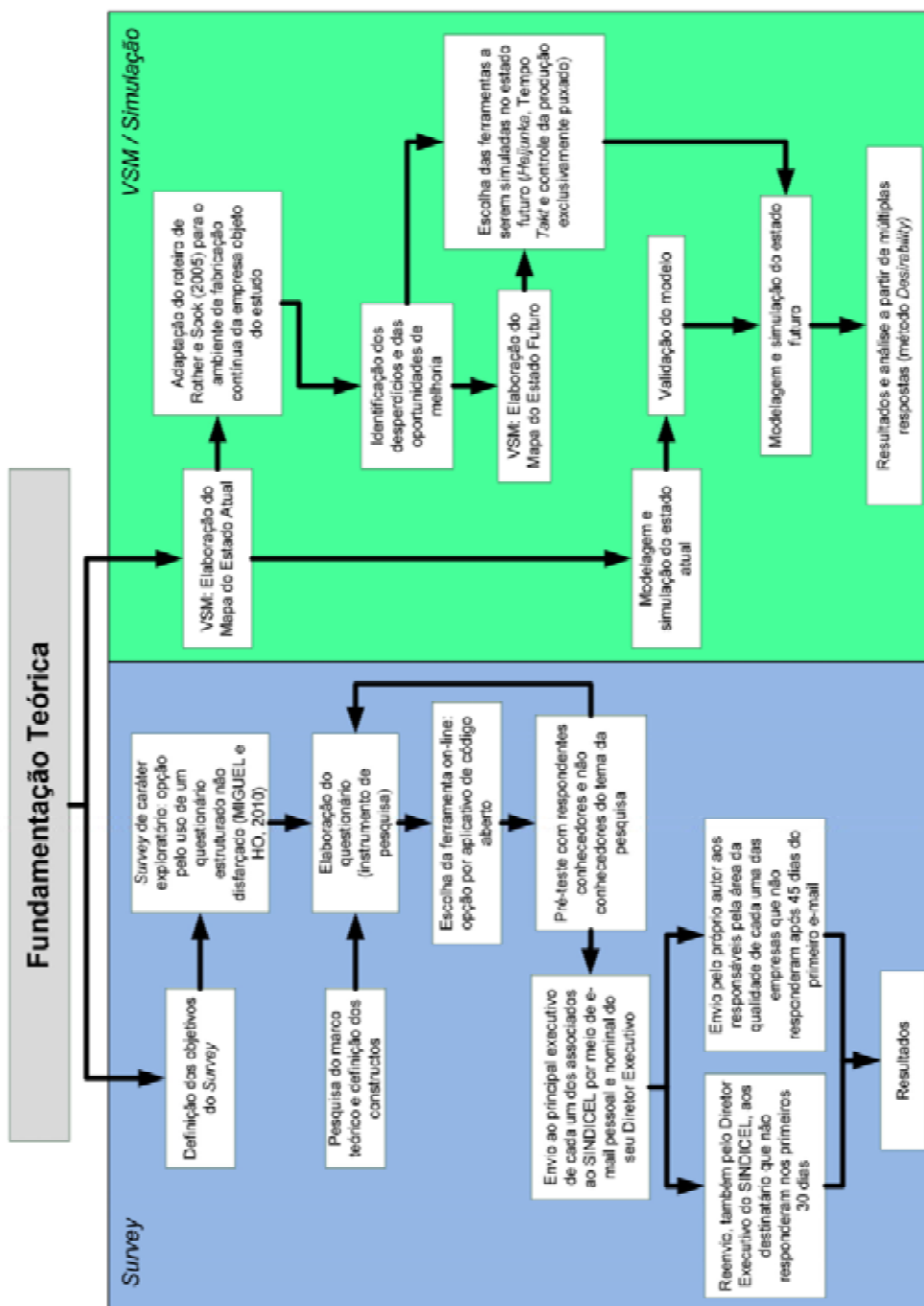


Figura 2 – Métodos de pesquisas desta tese

Por fim, para uma investigação mais ampla dos resultados da simulação e os eventuais impactos de *Kaizens* nos parâmetros como tempo de *set-up* e tempo entre falhas foi utilizado um delineamento de experimentos conforme o modelo *Plackett-Burman* e uma análise de múltiplas respostas usando o método *Desirability*.

A presente tese está delimitada à empresa objeto desse estudo, quanto à fabricação de cabos nus cujo processo foi simulado e analisado a partir dos processos de trefilação excluindo-se a fundição de alumínio.

1.6 Estruturação da tese

A organização do presente trabalho obedeceu às etapas a seguir arroladas.

O presente Capítulo 1 introduziu o trabalho.

No Capítulo 2, a seção 2.1 trata da fundamentação teórica do trabalho a partir da revisão da literatura e o estudo sistemático da história e do conceito de Produção Enxuta e suas ferramentas. Incluiu-se o exame das fronteiras do conceito e de seus limites apresentados na seção 2.2. Em seguida, uma definição acerca da taxonomia da indústria contínua e discreta e a abordagem do conceito enxuta ao ambiente contínuo de produção são discutidas em 2.3. Ainda sob o olhar da literatura revisitada, os mecanismos de controle da produção puxado e empurrado são estudados sempre sob o pano de fundo da produção contínua (vide 2.4). E por fim, encerrando o alicerce teórico deste trabalho, a seção 2.5 trás à tona a complementariedade entre as técnicas do VSM – Mapeamento do fluxo de valor e a simulação discreta estocástica.

A seção seguinte, Capítulo 3, trata da pesquisa prática com os métodos empregados. As seções 3.1, 3.2 e 3.3 prestam-se a contextualizar o trabalho e apresentar as peculiaridades do segmento pesquisa e as características da empresa objeto deste estudo. Em 3.4, o *survey* realizado com fabricantes de condutores elétricos é apresentado. A seção 3.5 apresenta o VSM e as simulações na empresa objeto deste estudo.

O Capítulo 4 apresenta e discute os resultados do *survey* e das simulações.

Finalmente, o Capítulo 5, conclui o presente trabalho e sugere possibilidades de pesquisas futuras.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A Produção Enxuta

Ao término da Segunda Grande Guerra, os japoneses iniciaram a produção de veículos e logo se depararam com restrições específicas do seu limitado mercado interno, o que inviabilizava a adoção dos então consagrados conceitos de produção em massa amplamente utilizados com sucesso pelos ocidentais. As empresas japonesas da época não podiam demitir e a economia do país devastada pela guerra não dispunha de recursos para realizar os elevados investimentos necessários para a implantação da produção em massa. Sob este contexto de dificuldades e limitações, a empresa automobilística japonesa Toyota Motor Company idealizou e implantou novos métodos de produção e administração, batizados como Sistema Toyota de Produção.

Os princípios básicos haviam sido formulados por Sakichi Toyoda (fundador do grupo Toyota) e seu filho Kiichiro Toyoda nas décadas de 20 e 30. Entretanto, esses conceitos só foram operacionalizados e associados entre si por Taiichi Ohno no final dos anos 40 (WOMACK e JONES, 1996). Tais métodos possibilitaram a produção simultânea de variados modelos em pequena escala, melhorando a qualidade e reduzindo os custos. A palavra chave passou então a ser *muda* (pronuncia-se mudá em japonês), o que em síntese representa tudo aquilo que não agrega valor aos olhos do cliente, devendo, portanto, ser eliminado.

O resto da história é a conhecida ascensão e liderança japonesa no mercado de automóveis e a consagração daquele país como potência econômica mundial já nos anos 70 (WOMACK, JONES e ROOS, 2004). No primeiro trimestre de 2007, a Toyota viria, pela primeira vez, a superar General Motors como a líder mundial em vendas de veículos.

A dificuldade dos fabricantes americanos de automóveis em permanecer à frente dos seus concorrentes japoneses é parcialmente atribuível às numerosas falhas dos seus sistemas de fabricação e princípios de gestão. Por exemplo, as filosofias dessas empresas variam consideravelmente particularmente no que diz respeito às relações da cadeia de abastecimento. Montadoras japonesas gerenciam seus fornecedores como extensão da sua própria empresa, trabalhando de perto com eles para reduzir os custos por meio do desenvolvimento de suas habilidades. Enquanto isso, empresas automobilísticas americanas são notoriamente reconhecidas por exigir, unilateralmente, reduções de custos por parte do fornecedor, utilizando de técnicas adversariais e potencialmente não éticas que, no curto prazo, podem até trazer efeitos positivos aos seus resultados (HILL, S., *et al.*, 2009).

Mas aquele revolucionário sistema de produção iniciado na Toyota, só seria popularizado aos olhos ocidentais em 1990, com a publicação do livro *A Máquina que Mudou o Mundo* (WOMACK, JONES e ROOS, 2004), como resultado de um estudo conduzido pelo *The International Motor Vehicle Programme*, no MIT – *Massachusetts Institute of Technology* (HOLWEG, 2007). No livro, o sistema recebeu a denominação em inglês de *Lean Manufacturing*, denominação anteriormente usada por Krafcik (1988), tendo sido traduzido para o português como Produção Enxuta no sentido de sem gorduras, sem supérfluos e desperdícios, por fim, sem os *muda* (WOMACK, JONES e ROOS, 2004).

Conforme Cusomano (1989), Ohno (1997) e Womack, Jones e Roos (2004) as principais características do sistema de Produção Enxuta são:

- A linha de produção é programada em função da demanda real de mercado, e não mais pelas previsões de mercado feitas por estimativa ou planejamento. A produção é então “puxada” pela demanda ao invés de ser “empurrada” pelo planejamento;
- O ciclo de fabricação vem sempre sendo reduzido num processo de melhoria contínua o que exige grande flexibilidade e tempos mínimos de preparação e trocas;
- Autocontrole da qualidade;
- Estoques reduzidos e tendendo a zero;
- Fortalecimento do vínculo entre empregador e empregado baseado num clima de confiança e dependência mútua;
- Relação com os fornecedores baseados na parceria de longo prazo.

O objetivo deste sistema é, segundo Ohno (1997), a eliminação de desperdícios e elementos desnecessários a fim de reduzir custos. A ideia básica é produzir apenas o necessário, no momento necessário e na quantidade requerida.

Para Shinohara (1988), a filosofia deste sistema é a busca de uma tecnologia de produção que utilize a menor quantidade de equipamentos e mão de obra para produzir bens sem defeitos no menor tempo possível, como o mínimo de unidades intermediárias, entendendo como desperdício todo qualquer elemento que não contribua para o atendimento da qualidade, preço ou prazo requeridos pelo cliente. Eliminar todo desperdício por meio de esforços concentrados da administração, pesquisa e desenvolvimento, produção, distribuição e todos os departamentos da companhia.

Para Womack, Jones e Roos (2004), as características organizacionais de uma fábrica enxuta são a de conferir o máximo número de funções e responsabilidades a todos os trabalhadores que adicionam valor ao produto na linha, e a adoção de um sistema de tratamento de defeitos imediatamente acionado a cada problema identificado.

Seguindo essa lógica, Ohno (1997) classificou os diferentes tipos de perdas em sete categorias:

1. Perdas por superprodução;
2. Perdas por transporte;
3. Perdas no processamento;
4. Perdas por fabricação de produtos defeituosos;
5. Perdas por estoques
6. Perdas por movimentação;
7. Perdas por espera.

Tal classificação motivou a vários estudiosos que desenvolveram estudos focando redução de perdas como o objetivo da Produção Enxuta. Por exemplo, Rawabdeh (2005) idealizou um método de análise de perdas que identifica causas e aponta oportunidades de eliminação em sistemas de produção do tipo *job shop*. Outro exemplo é um método mais sofisticado de avaliação de perdas que utiliza o método analítico-hierárquico (*Analytic Hierarchy Process* - AHP) e a lógica *Fuzzy* como ferramentas de suporte, como proposto por Rong, Takabhashi e Wang (2003). Sob esse enfoque, o mapeamento do fluxo de valor, que é apresentado em na seção 2.5.1 neste trabalho é um ponto de partida da implantação de um sistema de Produção Enxuta.

2.2 Limites da Produção Enxuta

Womack e Jones (1996) vão além ao definirem o conceito de “pensamento enxuto”. O ponto essencial é o valor, assim como o cliente final o reconhece. E só é significativo quando expresso em termos de um produto específico (um bem ou um serviço e, muitas vezes, ambos simultaneamente) que atenda às necessidades do cliente a um preço específico em um momento específico. Decorre daí a “empresa enxuta” como uma extensão da manufatura enxuta. No entanto, a empresa enxuta vai mais longe ao focar, além dos limites tradicionais, em seus funcionários, parceiros e fornecedores, a fim de agregar valor ao cliente. A empresa enxuta busca o alinhamento e a coordenação do processo de criação de valor para

um produto acabado ou serviço ao longo de todo o fluxo do negócio. Todos os processos são examinados continuamente em relação à definição de valor sob a ótica do cliente, e os desperdícios e as atividades sem valor agregado são metodicamente eliminadas. Neste sentido, os autores Bhasin e Burcher (2006) convergem à ideia de que o conceito enxuto deva ser visto como uma filosofia, entendimento compartilhado por Ohno (1997) ao afirmar que o Sistema Toyota de Produção não é apenas um sistema de manufatura, mas um sistema global de administração.

A literatura acerca da gestão enxuta parece convergir ao pressuposto de que a eficácia estaria limitada a contextos de manufatura discreta e repetitiva, onde foi inicialmente desenvolvido (BORTOLOTTI, DANESE e ROMANO, 2012). Apesar da grande repercussão dos conceitos da Produção Enxuta nas empresas contemporâneas, grande parte dos relatos de sucesso vem da indústria automotiva, especialmente nos arranjos do tipo linha de montagem. Caracterizam-se, portanto, por elevados volumes de uma relativamente pequena variedade de produtos. Outras empresas de manufatura discreta, como a eletrônica seguiram os passos da indústria automotiva por meio da aplicação dos conceitos enxutos. A maioria dessas empresas também teve sucesso na adoção do pensamento enxuto.

A literatura sobre Produção Enxuta parece ainda não dispor de uma avaliação do índice de sucesso da implantação dos conceitos a partir de uma abordagem ampla aos diversos tipos de indústrias (ABDULLAH, 2003; LEE; ALLWOOD, 2003). Claro que a Produção Enxuta como um conceito evoluiu, e continuará a evoluir, ao longo do tempo. Consequentemente, a medida que fases desta evolução se sucedem, diferentes críticas são levantadas. O artigo de Hines, Holweg e Rich (2004) é uma interessante revisão acerca destas fases e das lacunas do conhecimento científico acerca do conceito enxuto. O Quadro 1 apresenta uma visão geral destas lacunas e os principais críticos.

Há autores que têm argumentado que a abordagem enxuta pode não ter aplicabilidade universal para todas as organizações. A crítica à forma de pensar enxuto pode ser dividida em geral àqueles que se concentram principalmente nas questões operacionais e os que incidem sobre os limites impostos pela necessidade de criar uma sinergia comercial e operacional antes que esta abordagem possa ser adotada por compradores e fornecedores ao longo de uma cadeia de abastecimento (COX e CHICKSAND, 2005).

Cox e Chicksand (2005) sustentam que são duas as principais críticas operacionais feitas à abordagem enxuta. A primeira está associada com a escola *agile manufacturing*. Sob essa ótica, a abordagem enxuta funcionaria melhor quando se tem volumes elevados e demandas relativamente previsíveis com garantia de abastecimento. Entretanto, com baixos

volumes e cadeias de suprimento instáveis, onde os requisitos do cliente são muitas vezes imprevisíveis tanto quanto se torna difícil o controle das inovações e das capacidades produtivas dos fornecedores, uma abordagem mais ágil e sensível, com base na inovação, seria operacionalmente mais conveniente.

Quadro 1 – Lacunas e principais críticos do pensamento enxuto

	1980 ~ 1990	1990 ~ meados 1990	Meados 1990 ~ 1999	Depois de 2000
Principais Lacunas	• Aplicação além do chão de fábrica • Aspectos interempresas • Pensamento sistêmico • Apenas para linha de montagem de veículos	• Principalmente aplicável às empresas automotivas • RH: exploração dos trabalhadores • Aspectos da cadeia de abastecimento • Aspectos acerca do sistema dinâmico	• Capacidade em lidar com a variabilidade • Integração de processos • Relacionamento interempresas • Ainda como principalmente aplicável às empresas automotivas	• Aspectos globais • Compreensão do conceito de valor para o cliente • Indústrias de baixo volume • Integração estratégica • E-business
Críticos	Carlisle e Parker (1989) / Fucini e Fucini (1990)	Williams et al (1992) / Garrahan and Stewart (1992) / Rineheart, Huxley e Robertson (1993)	Davidow e Malone (1992) / Cusumano (1994) / Goldman, Nagel e Preiss (1999) / Harrison, Crhistopher e Van Hoek (1999) / Suri (1999) / Schonberger and Knod (1997)	Bateman (2000) / Christopher e Towill (2001) / Van Hoek, Harrison e Christopher (2001)

Fonte: Adaptado de Hines, Holweg e Rich (2004)

Uma segunda crítica operacional da abordagem enxuta é negativa da aplicabilidade universal da abordagem como um sistema de produção. Argui-se que existem constatações consideráveis no setor automotivo de que os sistemas de produção com base nos lotes de produção e expedição permanecem em uso, principalmente entre fabricantes de componentes especiais e especializados. Entretanto, porém, argumentam que não há evidência de que todos os sistemas de produção estariam se movimentando na direção da Produção Enxuta em todos os tipos de indústrias, e que isso decorre pela razão de que o *just-in-time* não pode ser mantido sem que o nivelamento da produção seja possível internamente à organização e com os fornecedores externos da cadeia de abastecimento (COONEY, 2002; COX; CHICKSAND, 2005).

Também, a partir de uma perspectiva estratégica e comercial, há quem questione a aplicabilidade universal do conceito enxuto. Alguns autores têm comentado acerca da dificuldade em se alcançar resultados numa negociação do tipo ganha-ganha quando há um comprador dominante na cadeia de abastecimento. Os autores Cox e Chicksand examinam, sob essa perspectiva, a adoção da gestão pelo pensamento enxuto nas cadeias de abastecimento de carnes de bovino frescas e congeladas no Reino Unido. Constatam que os conceitos enxutos podem contribuir com alguns participantes, mas não se trata de uma receita absoluta de vantagem competitiva sustentável para muitos outros integrantes da mesma cadeia. Por isso, os autores propõem a investigação se é uma regra geral em alimentos e cadeias de suprimento agrícola ou exclusivo para a cadeia de abastecimento de carne de bovino no Reino Unido (COX e CHICKSAND, 2005).

Não são muitas as pesquisas que discutem os limites da aplicação dos conceitos da Produção Enxuta. Alford, Sackett e Nelder (2000) apresentam o problema de que uma maior variedade de produtos promovida pela customização, referindo-se ainda à indústria automotiva, implicaria em maiores custos e complexidade de manufatura. Os autores discutem acerca do desconhecimento sobre como um sistema de manufatura baseado na Produção Enxuta responderia a este desafio. Concluem que uma efetiva abordagem deve ser desenvolvida de forma a suportar decisões no tocante as iniciativas de customização e consequente incremento da variedade a fim de prevenir elevação de custos e complexidade. Outra semelhante opinião é oferecida por (CUSUMANO, 1994), principalmente acerca da questão associada à elevada diversificação de produtos, ao discutir os limites e restrições na aplicação do conceito da Produção Enxuta.

Murmann *et al.* (2002) e Jina, Bhattacharya e Waldon (1997) apontam como um dos mais importantes programas de Produção Enxuta externo à indústria automotiva, nos EUA, uma iniciativa da Força Aérea americana, do MIT e de mais 25 empresas. Por conta do programa, exemplos da aplicação na fabricação de baixo volume e alta variedade de produtos, neste caso aeronaves, foram reportados. Empresas como a McDonnell Douglas e a Lockheed relatam a aplicação dos princípios enxutos desde o projeto até a fabricação do produto. No mesmo artigo, os autores abordam questões e proposições aplicadas à fabricação de baixo volume e alta variedade, caracterizando-a como:

- De uma elevada variedade de produtos, na medida em que podem ser personalizados, apesar dos volumes totais permanecem baixos;
- Da política *make-to-order* com datas de entrega e prazos garantidos;

- De níveis variados de integração vertical. Muitas organizações competem com base na originalidade e variedade do produto e, para um maior controle, mantêm um elevado nível de integração vertical. Entretanto, no outro extremo, estão as empresas que não conseguem manter o controle interno em razão da complexidade tecnológica, não suportam pagar o elevado investimento e, portanto, terceirizam pesadamente. Empresas de alta variedade e baixo volume podem ter produtos em suas carteiras que abrangem estes dois extremos de integração vertical.
- Por deverem satisfazer as necessidades de diferentes segmentos de clientes, tanto o especializado, usuário de baixo volume do produto acabado, como quem compra kits e peças para reposição razoavelmente padronizados em volumes pouco mais elevados.

Os autores usam a expressão “turbulência” para descrever o comportamento que, como resultado da variabilidade e da incerteza de pedidos, impacta o sistema de produção no tocante a imprevisibilidade e a operação aquém do ponto ótimo. Admitem que empresas de alta variedade e baixo volume enfrentam turbulências mais severas do que àquelas onde tipicamente a Produção Enxuta tem sido exaustivamente estudada. E identificam quatro tipos de fatores causais de turbulência:

1. Mudanças na programação que, frequentemente, aproxima a data de entrega e reduz o tempo disponível;
2. Alterações expressivas do mix de produtos entre um e outro período, (3) o próprio volume que, como o mix de produtos, pode variar;
3. O projeto do produto, onde o impacto e a frequência das trocas de produtos podem interferir nas expectativas dos tempos de fabricação.

Concluem os autores que a fórmula enxuta é aplicável diretamente apenas a uma pequena parte de indústrias. A maioria das empresas deve cuidadosamente julgar quais as práticas que podem ser utilizadas imediatamente e quais as que precisam ser adaptadas para atender circunstâncias especiais. Apresentam as barreiras que muitas organizações de alta variedade e baixo volume enxergam como impedimentos à aplicação dos princípios enxutos em suas operações e mostram como esses princípios podem ser adaptados para atender as exigências e os desafios que enfrentam essas empresas (JINA, BHATTACHARYA e WALTON, 1997).

Hines, Holweg e Rich (2004) ressaltam a crítica quanto à capacidade dos sistemas de Produção Enxuta e suas cadeias de abastecimento em enfrentar a variabilidade. Com efeito, a

fim de agregar valor ao cliente a abordagem enxuta visa encontrar formas de gerir a variabilidade, usando os ativos de forma mais eficaz do que nos sistemas tradicionais. A ferramenta *heijunka* (nivelamento) usada no Sistema Toyota de Produção foi desenvolvida para fazer isso. O objetivo do nivelamento (ou como também chamado, suavizamento) da produção é o de reduzir a variabilidade da taxa de produção, na fase final da fabricação, a fim de criar um fluxo de demanda estável para a fabricação das operações nas fases anteriores; o *heijunka* é um elemento chave do Sistema Toyota, e, portanto, um componente-chave da filosofia enxuta (YAVUZ e AKÇALI, 2007). No entanto, no caso da variabilidade da demanda, a abordagem no sentido de suavizar ou controlar a demanda, vêm de ambientes de demanda relativamente estáveis, como a cadeia de fornecimento do setor automotivo (HINES, HOLWEG e RICH, 2004; YAVUZ e AKÇALI, 2007).

O trabalho de Yavuz e Akçali (2007) é uma revisão da literatura sobre a ferramenta de nivelamento da produção. Numa seção específica, os autores tratam da questão da aplicação dessa ferramenta no ambiente *flow-shop*, isto é, aquele constituído por um conjunto de máquinas colocadas em série, onde os produtos são processados em todas as máquinas, mas de acordo com a sequência de processamento específica de cada um. Nesse caso, o número de esquemas possíveis cresce exponencialmente com o número de máquinas na loja de fluxo e, nesse ponto, há grande similaridade com o ambiente de fabricação de cabos objeto no presente estudo.

Dos trabalhos revisitados pelos autores encontram-se propostas como o conceito de nivelamento para sistema de fabricação em que a etapa final de processo tem seu sequenciamento dependente do tempo de *set-up* destes produtos finais. Esse conceito como objetivo da utilização da ferramenta de nivelamento com sendo a minimização do *makespan* (o tempo necessário para a produção de todos os produtos, ou *lead-time*). O autor dessa proposta apresenta um modelo a partir de dois critérios e da meta-heurística para otimização denominada arrefecimento simulado (*simulated annealing*) para aproximar-se da solução de maior eficiência. Outro esforço é o de Yavuz e Tufekci (2006) ao formular uma abordagem de nivelamento para ambientes *flow-shop* com tempos de *set-up* e de processamento dependentes dos produtos finais e das máquinas utilizadas. Eles demonstram tratar-se de um problema difícil e propõem um procedimento de nivelamento limitado a partir de uma abordagem meta-heurística a fim de soluções de boa qualidade com pouco esforço computacional.

A questão sobre a resposta da Produção Enxuta a uma maior variedade de produtos justifica-se pela própria essência dos conceitos. Segundo Hopp e Spearman (2004) a chave

para a eficácia dos sistemas de puxar é que eles explicitamente limitam a quantidade de estoque em processo que pode haver em um dado roteiro de fabricação. Por outro lado, o controle de tempo *Takt* é um conceito predominantemente utilizado na montagem final e estabelece um ritmo fixo de produção, que é igual à taxa de demanda do cliente. Pode ser calculado dividindo-se o tempo de produção disponível pela demanda do cliente (ou seja, a carteira atual de encomendas). As restrições impostas por estes princípios da Produção Enxuta simplificam o controle da produção e estimulam redução da variabilidade no sistema. O sistema puxado e o tempo *Takt* são princípios enxutos e têm sido aplicados principalmente em ambientes de alto volume em que os materiais se movimentam ao longo de um número limitado de roteiros identificáveis (BOKHORST e SLOMP, 2010).

Jos Bokhorst e outros (SLOMP, 2009; BOKHORST e SLOMP, 2010) reportam a aplicação dos elementos da Produção Enxuta numa organização industrial tipicamente *make-to-order* e *job shop*, fabricante de uma grande variedade de peças em pequenos lotes. Trata-se da Eaton Electric General Supplies, fornecedora de barras de cobre para a Holec, uma unidade de negócios do setor elétrico do grupo Eaton, em Hengelo na Holanda. Nesse negócio, a Eaton desenvolve, produz e comercializa equipamentos para o controle e distribuição de energia elétrica para os mercados industrial, comercial e residencial. Antes da adoção dos elementos da Produção Enxuta, a unidade convivia com uma enorme quantidade de estoques em processo e uma grande variabilidade dos prazos de entrega. Os funcionários não entendiam claramente qual a próxima tarefa a ser cumprida e, muitas vezes, optavam por permanecer em suas máquinas preferenciais, embora 20% dos postos de trabalho apresentassem pedidos urgentes. Isto tudo resultava em *lead-times* incertos e pouco confiáveis.

Com o suporte de pesquisadores da University of Groningen, foram identificados três elementos que seriam apropriados para a implantação do controle enxuto na unidade de produção de barras de cobre: o CONWIP – estoque em processo constante, o sequenciamento PEPS e o tempo *Takt*. O CONWIP tem por propósito restringir o estoque intermediário (em processo) de forma a contribuir para o objetivo de um tempo médio de transferência reduzido entre os postos de trabalho. O PEPS assegura o foco nas ordens de produção mais antigas no sistema, reduzindo assim a variabilidade nos tempos de processamento. E o tempo *Takt* promove um fluxo regular de processamento conforme a própria demanda do cliente, sendo que, ao introduzi-lo, os lead times se tornam fixos, isto é, o produto CONWIP pelo tempo *Takt* permanece constante. O desenvolvimento do sistema CONWIP/PEPS/Tempo *Takt* foi apoiado por um processo de simulação por meio do software *Tecnomatix Plant Simulation*

7.6, o que contribuiu para a aceitação do sistema pelos gestores da unidade fabril. Por fim, os autores relatam que ideias desenvolvidas na simulação foram incorporadas na prática com resultados favoráveis e concluem pela provável aplicação mais ampla em ambientes industriais análogos ao do estudo.

2.3 O conceito enxuto em sistema de produção contínuo

2.3.1 Sistemas de produção contínuo e discreto

Acerca dos tipos de produção Slack, Chambers e Johnston (2002) definem quatro medidas a fim de distinguir entre diferentes operações: volume, variedade, variação da demanda e a visibilidade (essa última entendida como a intensidade do contato com o consumidor). Os autores apresentam a constatação de que as operações produtivas podem variar desde produzir um volume muito alto de produtos até volumes muito baixos. Da mesma forma, estas mesmas operações podem variar de uma variedade muito baixa até uma variedade muito elevada destes produtos. Afirmam ainda que, normalmente, as dimensões volume e variedade são dependentes entre si sugerindo a existência de um *continuum* de ‘baixo volume-alta variedade’ até ‘alto volume-baixa variedade’. Por fim, os autores propõem que a posição de uma operação no *continuum* volume-variedade determina os tipos de processo que, em ordem de volume crescente e variedade decrescente, são os abaixo e representados na Figura 3:

- Processos de projeto;
- Processos de *jobbing*;
- Processos em lotes ou bateladas;
- Processos de produção em massa;
- Processos contínuos.

Os processos de projeto são os que lidam com produtos discretos, geralmente bastante customizados. São características deste tipo o baixo volume e a alta variedade. Geralmente neste tipo de processo os recursos de operação são dedicados a cada produto. Já os processos de *jobbing*, também conhecidos como intermitentes, semelhantemente aos processos do tipo projeto também lidam com baixo volume e alta variedade, porém os produtos compartilham os recursos de operação. Processos em lotes ou bateladas, usualmente se parecem com os processos de *jobbing*, porém não têm o mesmo grau de variedade. Os processos de produção

em massa são os que produzem bens em alto volume e variedade relativamente baixa. Por fim, os processos contínuos são semelhantes aos processos de produção em massa, entretanto operam com volumes ainda maiores e em geral têm variedade ainda mais baixa. Às vezes, são realmente contínuos, no sentido em que os produtos são inseparáveis, e produzidos por fluxo ininterrupto (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2002).

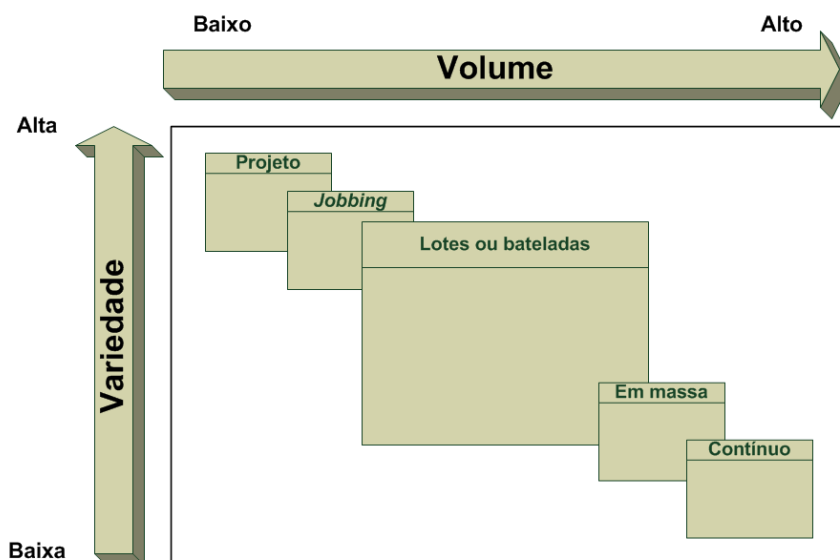


Figura 3 – Tipos de processos em operações de manufatura (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2002)

Naturalmente há vários outros autores que propõem classificações dos sistemas de produção, entretanto, são em sua predominância semelhantes. Para efeito da presente pesquisa, as definições de Slack, Chambers e Johnston (2002) são suficientes tanto quanto são amplamente aceitas no meio acadêmico. Não obstante, sem prejuízo as definições daqueles autores, vale observar o interessante o trabalho de McCarthy (1995) que sugere um arranjo classificatório inspirado na Taxonomia de Lineu² elaborando a partir do usual nas teorias organizacionais. A Figura 4 representa o dendrograma proposto pelo autor e sua analogia com a biologia.

Por fim, vale comentar acerca da constatação de Abdullah, Rajgopal e Needy (2002) sobre ser usual a descrição de uma dada indústria como sendo “puramente” contínua e outra “puramente” discreta. Na verdade, quase todos esses sistemas de produção são, na verdade, híbridos. Por híbrido, os autores quiseram dizer que as suas “unidades não discretas” podem, eventualmente, tornarem-se discretas em algum momento durante o processo de fabricação. É

² A Taxonomia de Lineu é extensamente usada nas ciências biológicas. Foi desenvolvida por Carolus Linnaeus no Século XVIII durante a grande expansão da história natural. A taxonomia de Lineu classifica as coisas vivas em uma hierarquia, começando com os Reinos.

o que acontece, por exemplo, com a produção contínua de bebida por meio de reatores de fermentação e dutos, mas que se torna uma unidade discreta ao ser envazada em garrafas para a comercialização. Os autores desenvolveram uma taxonomia geral que classifica diferentes indústrias contínuas em relação ao quando – se no início, no meio ou final de seu processo de fabricação – a sua produção venha se tornar discreta. Portanto, para eles, o que importa é o ponto de *discretização*³ da produção contínua.

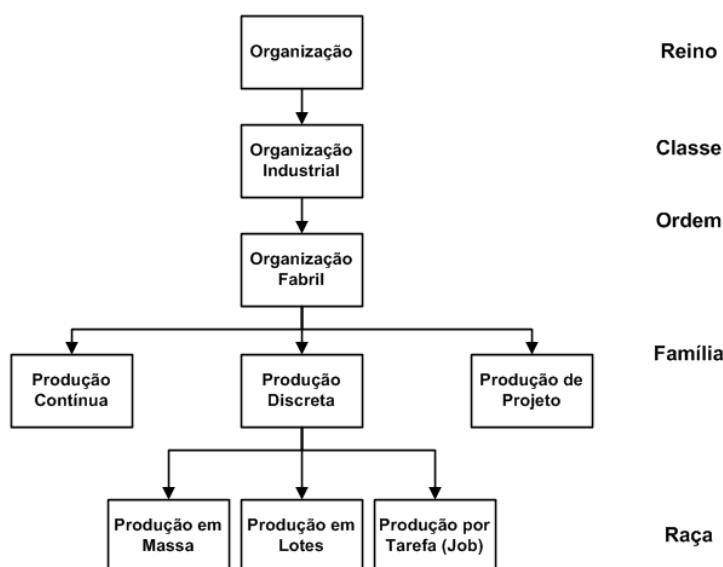


Figura 4 – Classificação dos sistemas de produção, adaptado de McCarthy (1995)

2.3.2 A abordagem enxuta nas produções contínuas

A combinação entre a redução sistemática do tamanho do lote (o estoque em processo) e do ritmo imposto pelo controle de tempo *Takt* dá origem a conceitos como a troca rápida de ferramentas (*set-up* rápido), a Manutenção Produtiva Total e outras ferramentas típicas da Produção Enxuta. Isso porque o estoque em processo e as filas ora utilizadas como amortecedores dos problemas (atrasos, quebras, transportes, retrabalhos e outros) inexistem ou são sensivelmente reduzidas na Produção Enxuta. Por esse motivo, os autores dizem que o sistema não é aplicável para as atividades de processamento contínuas e inflexíveis, uma vez que são intrinsecamente eficientes (MAHAPATRA e MOHANTY, 2007 ; BORTOLOTTI, DANESE e ROMANO, 2012).

³ A palavra não aparece dos dicionários de português, mas é recorrente na literatura técnica. Refere-se ao tornar-se discreto.

Como então os conceitos da Produção Enxuta se comportam na manufatura contínua onde os equipamentos de produção são, não raras vezes, grandes, de elevado capital imobilizado e relativamente fixos ao contrário da maioria das operações da manufatura discreta? Como resultado, nos processos contínuos de fabricação as operações são menos flexíveis às mudanças que nos discretos ao contrário, por exemplo, de um equipamento menor e mais flexível encontrado na manufatura discreta que se presta muito bem ao arranjo celular (MAHAPATRA e MOHANTY, 2007).

Outro aspecto a ser considerado é a continuidade da operação. Nas indústrias de processos contínuos pode ser tão caro para encerrar um processo de modo a criar uma grande restrição do ponto de vista logístico. As interrupções do processo seja pela detecção de anomalias (autocontrole da qualidade, uma características do sistema enxuto) ou pela própria imposição de lotes cada vez menores, são os desafios na adaptação e implementação das ideias enxutas em ambientes de processos contínuos de fabricação. Esse é o caso, entre outros, de processos de fabricação dependentes de temperatura como, por exemplo, a fundição de aço. Também aqui, tocante aos conceitos da Produção Enxuta, parecem não terem recebido a atenção na literatura (LEE e ALLWOOD, 2003).

De fato, alguns poucos trabalhos acadêmicos discutem o tema da adoção da Produção Enxuta em ambientes de manufatura contínuos. Billesbach (1994) relata o caso na fábrica da DuPont em Camden, Carolina do Sul, EUA, onde fibras têxteis são produzidas em um processo contínuo de fiação.

Após as fibras serem enroladas em carretéis, são colocadas em contentores especiais sobre rodas, capazes de transportar e armazenar vários destes carretéis. São então movimentados até a área de controle da qualidade para, após aprovação, serem agrupados e expedidos. Máquinas de fiar não podem ser desligadas sem incorrer em enormes custos de *set-up*.

Mesmo a adoção de um ritmo mais lento de produção afeta negativamente o produto quanto a sua consistência e qualidade. Entretanto, os pedidos dos clientes não vinham sendo cumpridos de maneira satisfatória. Eram constantes as reclamações sobre prazos de entrega não cumpridos. Outros problemas eram a falta de produtos acabados, excessiva quantidade de pedidos em atraso, estoques elevados e ainda fios perdidos ou extraviados.

Como ação corretiva, adotou-se um sistema de puxar sendo que a principal providência foi a de “trancar” muitos dos contentores de carretéis, exceto quando necessário para uma emergência. Com menos contentores na operação, se tornaram perfeitamente visíveis os gargalos, e as origens dos problemas eram mais rapidamente identificadas e

corrigidas. O resultado surgiu com o nivelamento do fluxo de produção ao longo de toda a instalação fabril. As atividades operacionais foram simplificadas e um sistema de controle visual foi adotado. No novo sistema, um número limitado de contentores foi colocado em pequenos espaços especialmente reservados, o que limita a quantidade de estoque e ainda sinaliza problemas.

Como resultado destas iniciativas, os estoques em processo na fábrica da DuPont foram reduzidos num espantoso 96%, o capital de giro diminuiu US\$ 2 milhões e a qualidade do produto melhorou 10%. A maioria dos resultados foram alcançados nos primeiros três meses após a implementação das mudanças. Neste caso em particular, a aplicação dos princípios enxutos focou as atividades não produtivas de movimentação, armazenagem e distribuição do estoque intermediário.

Por fim, Billesbach (1994) propõe que, em última análise, dentro de ambientes contínuos de fabricação, quase sempre são produzidas peças discretas e, portanto, o conceito de manufatura enxuta pode ser aplicado aos processos em que são produzidas essas peças.

Uma dificuldade particular surge quando os conceitos são aplicados a processos que dependem da temperatura, característicos de processos contínuos como de fundição, por exemplo. Especificamente, quando ocorre uma interrupção, os defensores da Produção Enxuta param a linha de produção a fim de encontrar a "causa raiz" do problema. Entretanto, as interrupções em processos dependentes da temperatura faz com que produtos em processo e equipamentos resfriem implicando em problemas ao reiniciar a produção.

Esse tema é tratado pelos autores Lee e Allwood (2003) que buscam desenvolver uma resposta às interrupções na forma de um roteiro de ações que possa ser usado para treinar operadores. Os autores propõem uma modelagem aplicável a um conjunto genérico de processos dependentes da temperatura. Admitem então uma função hipotética de lucro para esses processos e partem para a otimização desta por meio da programação dinâmica. O processo de programação dinâmica é então traduzido para o roteiro de ações de forma a orientar os operadores na tomada de decisões durante as interrupções.

No artigo, Lee e Allwood (2003) demonstram por meio da simulação de um processo de extrusão, e os resultados obtidos sugerem que o novo roteiro resultaria em melhor rendimento e na redução da sucata gerada pelas interrupções. Por meio da experimentação, poder-se-ia estabelecer sistematicamente um conjunto mais amplo de entradas aceitáveis, sem ter que compreender plenamente o mecanismo de todo o processo. A prática padronizada para os processos dependentes de temperatura iria incluir uma flexibilidade na aceitação do produto (alargamento do intervalo aceitável) e nos parâmetros de controle de processamento

(ampliando o leque de estados de entrada e saída). Em conclusão, o roteiro proposto não contradiz os princípios enxutos, mas fornece um meio de estabelecer práticas padronizadas adaptadas para processos dependentes da temperatura. Por fim, os autores preveem que, em um trabalho futuro, deverão explorar o valor da abordagem proposta por meio de estudos de casos práticos (LEE e ALLWOOD, 2003).

Os pesquisadores Abdullah (2003), Abdulmalek e Rajgopal (2007) produziram um interessante trabalho ao investigar o uso de ferramentas e técnicas da Produção Enxuta em ambientes contínuos de produção, particularmente na indústria de aço. Os autores utilizando-se do estudo em uma empresa norte-americana fabricante de aço elaborou o mapa do estado atual por meio de dados reais levantados. O mapa foi estudado e áreas-alvo de melhoria foram identificadas. Procedimentos então foram desenvolvidos para a adaptação das técnicas da Produção Enxuta, de forma a identificar e eliminar desperdícios. Depois, a fim de quantificar os resultados a serem obtidos a partir do uso das ferramentas da Produção Enxuta, um modelo de simulação foi empregado para avaliar o mapa do estado futuro elaborado a partir dos procedimentos idealizados.

A análise dos resultados obtidos pela simulação conclui que um sistema de produção híbrido puxado-empurrado, juntamente com o TPM e a redução de setup, pode minimizar significativamente o lead-time e o estoque. Mesmo sob o sistema empurrado existente, a implementação apenas do TPM contribuiria a uma substancial redução estoque em processo. Por fim, um sistema 5S e de gestão visual foi proposto para a empresa objeto do estudo em áreas específicas e, para esse caso cuja avaliação não é possível por meio da simulação, o autor especula acerca dos prováveis benefícios.

Em suas considerações finais, Abdullah (2003) aponta as ferramentas *just-in-time* e *heijunka* (nivelamento da produção) como parcialmente aplicáveis àquela indústria contínua. Já a ferramenta “células de manufatura” é classificada como de adaptação muito difícil enquanto que “redução de setup”, “mapeamento do fluxo de valor”, “TPM” e “gestão visual” seriam universalmente aplicáveis.

Os pesquisadores Bortolotti, Danese e Romano (2012) afirmam que alguns estudos empíricos (uma pesquisa exploratória e dois estudos de casos descritivos) mostram que mesmo em contextos caracterizados por baixos níveis de repetitividade alguns princípios enxutos e práticas do *just-in-time* podem ser utilizados. Afirmam que tal uso tem levado a melhorias significativas de desempenho, ainda que algumas técnicas sejam menos frequentemente aplicadas em sistemas não repetitivos ou que sejam mais evidentes em um ambiente repetitivo.

2.4 Mecanismos de planejamento e controle da produção

2.4.1 Puxado versus empurrado?

Há uma considerável quantidade de modelos de planejamento e controle da produção proposta na literatura o que se justifica pela importância desses para o sucesso econômico do empreendimento industrial. Tais modelos influenciam de forma decisiva variáveis do negócio tais como o WIP⁴, o cumprimento do prazo de entrega, o *lead-time*⁵ e a utilização dos recursos.

O Quadro 2 apresenta os mais relevantes destes mecanismos à luz da revisão da literatura promovida por Fernandes (2007). Outros modelos, híbridos, têm sido oferecidos e combinam alguns dos mecanismos apresentados, com o intuito de alcançar os benefícios resultantes de cada modelo envolvido. Em todo caso, o principal objetivo de um sistema de controle pode ser sintetizado como a gestão das filas no ambiente fabril, com o intuito de criar tempos de percurso estáveis e reduzidos e consequentemente proporcionar datas de entrega realísticas.

A ideia básica de qualquer um destes mecanismos é a de balancear e limitar o WIP a um nível tão baixo quanto possível, de forma a assegurar uma utilização adequada dos recursos, evitando tempos perdidos. Não por acaso, pode-se sintetizar a “mentalidade” enxuta pela redução do tempo transcorrido entre o pedido do cliente e o momento em que efetua o pagamento do bem produzido e a remoção dos desperdícios que não agregam o valor ao longo do fluxo que liga esses dois momentos (BODEK, 1997).

Hopp e Spearman (2004) escreveram sobre certa confusão acerca dos mecanismos de planejamento e controle da produção serem puxados ou empurrados. Defendem que é necessário o perfeito entendimento do significado de cada um dos termos puxar e empurrar. Alegam que a confusão é resultante de uma conceituação algo imprecisa uma vez que os principais autores japoneses e idealizadores do Sistema Toyota de Produção a fizeram de forma superficial. Entendem que, por consequência, ficou a cargo dos autores americanos a descrição dos conceitos japoneses. Os autores argumentam que a principal controvérsia está em se considerar que puxar significa produzir produtos exclusivamente de acordo com a demanda do mercado, enquanto empurrar seria produzir para estoques ou por previsão de vendas.

⁴ WIP – iniciais das palavras em inglês *work in process*, isto é, material em processo.

⁵ *Lead-time* – refere-se ao tempo de processamento de um produto

Quadro 2 – Mecanismos de planejamento e controle mais frequentes na literatura

Mecanismos		Principais Autores
BSC	Base Stock Control	Clark e Scarf (1960) Kimball (1988)
CONWIP	Constant Work in Process	Spearman, Wooddruff e Hopp. (1990)
KANBAN	Kanban é uma palavra japonesa que significa literalmente registro ou placa visível.	Sugimori et al (1977) Monden (1983) Berkley (1992)
LOOR	Load Oriented Order Release	Bechte (1988) Bechte (1994) Bertrand e Wortmann (1981)
LUMS	A abordagem da Lancaster University Management School	Tatsiopoulos (1983) Hendry e Kingsman (1991) Stevenson e Hendry (2005)
MRP	<i>Manufacturing Resources Panning</i> (MRP II), uma evolução do <i>Materials Requirement Planning</i> (MRP I)	Wight (1970) Plossl e Wight (1973) Orlicky (1994)
POLCA	Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization	Suri (1998) Suri e Krishnamurthy (2003) Vandaele <i>et al.</i> (2005)
SA	Starvation Avoidance, similar ao WR	Glassey e Resende (1988)
SLAR	Superfluous Load Avoidance Release	Land e Gaalman (1998) Breithaupt e Nyhuis (2002)
WR	Workload Regulation, baseado na Teoria das Restrições de Eliyahu Goldratt e no mecanismo Drum-Buffer-Rope	Goldratt e Cox (2003) Goldratt e Fox (1992) Wein (1988)

Fonte: Adaptado de Fernandes (2007)

Entretanto, seguindo tal lógica equivocada, poder-se-ia dizer que um MRP que utilize pedidos em carteira (firmes) para gerar a programação é um sistema tipo produção puxada. Os autores ainda afirmam que o clássico *Lean Thinking* foi apenas um dos muitos livros e artigos que confundiam o conceito de puxar com a simples ideia do *make-to-order* (fabricação sob encomenda). Para esclarecer tal questão Hopp e Spearman (2004) postulam que um sistema que puxa a produção define, a priori, um limite para o WIP. Inversamente, um sistema de produção empurrada não explicita o limite de WIP. Essa definição simplifica o entendimento do conceito e permite o relacionamento das ferramentas com os conceitos de puxar e empurrar a produção. Por fim, Hopp e Spearman (2004) classificam os mecanismos Kanban e

CONWIP como sistemas puxados e, neste contexto e a fim dos objetivos do presente trabalho, concentrar-nos-emos nesses modelos que dão título à próxima seção.

2.4.2 Kanban e CONWIP: sistemas puxados

Kanban é uma palavra japonesa que significa cartão ou placa, ou, mais literalmente, registro visível (SCHONBERGER, 1993). Foi criado e aperfeiçoado na Toyota por Taiichi Ohno e Sakichi Toyoda a fim de operacionalizar o *Just-in-Time* (OHNO, 1997; SCHONBERGER, 1993). É basicamente uma forma simples e direta de comunicação, localizada sempre no ponto em que se faz necessária. Identificado durante muito tempo com o próprio Sistema de Produção Toyota, o Kanban é agora entendido como um sistema que substitui com êxito, se adequadamente aplicado, as convencionais, e muitas vezes complexas, tarefas de controle do piso de fábrica (MONDEN, 2011).

O Kanban é um sistema simples e de fácil compreensão que utiliza princípios de visibilidade para garantir a eficiência da técnica de puxar a produção. Isto é, a fabricação de produtos somente nas quantidades e nos momentos certos. Originalmente o Kanban é em sua forma mais frequente um cartão. Porém, dada sua conceituação, pode se usar qualquer tipo de sinal: mecânico, elétrico ou eletrônico. Pode ser dividido em três categorias (OHNO, 1997):

- a) Informação de coleta;
- b) Informação de transferência;
- c) Informação de produção.

O Kanban carrega a informação vertical e lateralmente dentro da empresa e entre a empresa e seus fornecedores. No convencional sistema da produção em massa, o processo envia continuamente produtos para a etapa seguinte, conforme os programas e planejamentos de produção.

Por esta razão, podem-se acumular enormes quantidades de peças de forma que os funcionários gastam seu tempo procurando espaço para estocagem e procurando peças ao invés de produzir. Diferentemente desta situação, com o Kanban, as informações sobre o quê, quando e quanto se deve produzir, são estabelecidos apenas na necessidade conforme o conceito do *Just-in-Time*.

A primeira regra é que o processo subsequente vai ao precedente para buscar produtos e em seguida o precedente fabrica apenas o que foi retirado conforme informação obtida pelo uso do Kanban (OHNO, 1997; SCHONBERGER, 1993). A essa condição de que um

processo inicial não deve produzir um bem ou serviço sem que o cliente e um processo posterior o solicitem dá-se a denominação de produção puxada (WOMACK e JONES, 1996) ao contrário do convencional conceito da produção em massa, onde cada processo empurra sua produção à etapa seguinte do fluxo. Na visão de seu idealizador, o Quadro 3 apresenta as funções e regras de utilização do Kanban.

Já o CONWIP ou *Constant Work in Process* é um mecanismo de controle alternativo ao Kanban introduzido por Spearman, Woodruff e Hopp (1990) que tem recebido, desde a sua proposição, atenção de diversos pesquisadores. Uma interessante revisão da literatura acerca deste modelo é conduzida por Framinan, González e Ruiz-Usano (2010). Trata-se de um sistema híbrido (puxado e empurrado) de controle da produção. Tal como no sistema Kanban, o CONWIP limita a quantidade de WIP no sistema a fim de, da mesma forma que o Kanban, reduzir custos e *lead-time* (YANG, HSIEH e CHENG, 2011). A Figura 3 apresenta o modelo de rede de filas de um produto único com o mecanismo de controle CONWIP com duas etapas de fabricação em série.

Quadro 3 – Kanban: funções e regras de utilização

Funções do Kanban	Regras de Utilização
1. Fornecer informações sobre apanhar ou transportar	1. O processo subsequente apanha o número de itens indicados pelo Kanban no processo precedente
2. Fornecer informação sobre a produção	2. O processo inicial produz itens na quantidade e sequência indicadas pelo Kanban
3. Impedir a superprodução e o transporte excessivo	3. Nenhum item é produzido ou transportado sem um Kanban
4. Servir como uma ordem de fabricação afixada às mercadorias	4. Serve para afixar um Kanban às mercadorias
5. Impedir produtos defeituosos pela identificação do processo que os produz	5. Produtos defeituosos não são enviados para o processo seguinte.
6. Revelar problemas existentes e manter o controle de estoques	6. Reduzir o número de Kanban(s) aumenta sua sensibilidade aos problemas

Fonte: Ohno (1997)

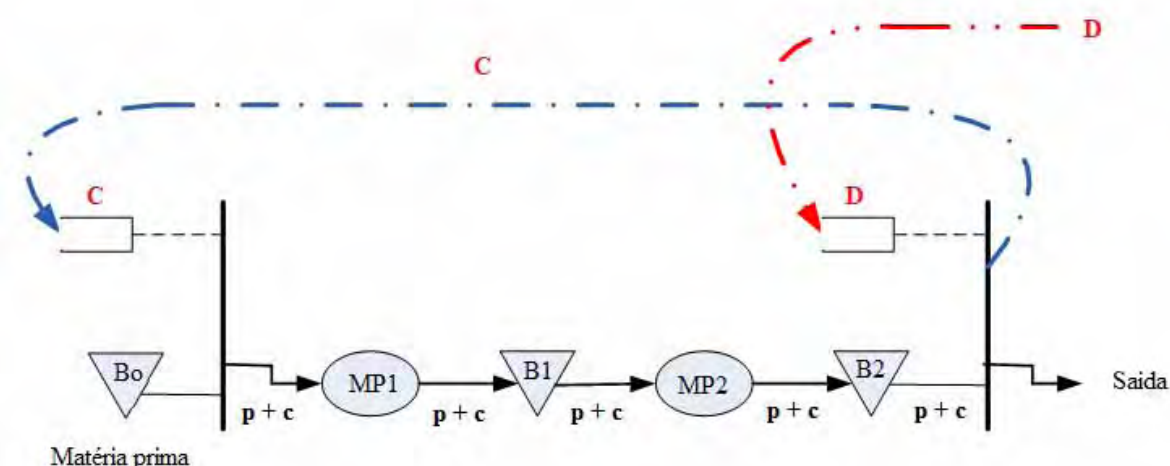


Figura 5 – CONWIP: modelo de um único produto (BOONLERTVANICH, 2005, p. 14)

Mesmo com essas duas fases, o controle da produção via CONWIP se dá na entrada e o buffer intermédio, B1, não tem qualquer atuação. O CONWIP de fato é considerado como controle de fase única. As fases de produção 1 e 2 são representadas por MP1 e MP2 enquanto Bo representa o buffer (estoque) de matérias primas. Bi é o buffer de saída do estágio 1. A fila MPi é a quantidade total de peças que foi liberada para a fase i. A fila D contém a demanda e a fila C contém cartões CONWIP. Com o sistema está em seu estado inicial, isto é, antes das demandas chegarem ao sistema, o buffer B1 estará vazio.

Apenas o buffer B2 contém C peças acabadas anexadas com os cartões CONWIP. O sistema CONWIP funciona da seguinte maneira: quando há demanda do cliente, o sistema solicita a liberação de um produto acabado a partir de B2. Há, então, duas possibilidades: se há peça disponível em B2 (que inicialmente é o caso), ela é liberada imediatamente para o cliente e o cartão CONWIP é desanexado da peça e transferido para C. Caso contrário, a demanda fica em espera em D até uma nova peça acabada. Para os outros estágios, o funcionamento será como em um sistema empurrado, peças movendo para o final da linha sem qualquer bloqueio (BOONLERTVANICH, 2005).

Portanto, o CONWIP utiliza um único tipo de cartão para controlar o WIP em toda a linha. Quando um item chega a uma linha controlada por CONWIP, um cartão é anexado ao mesmo. Assim que ocorre o processamento do item, o cartão é retirado e devolvido ao início da linha, para ser, então, anexado a outro item. Para Hopp e Spearman (2004) a principal diferença entre o CONWIP e o Kanban é que o CONWIP puxa os produtos no início da linha e os empurra dentro dela, já o Kanban puxa os produtos entre as estações de trabalho. A operação de um sistema CONWIP determina a capacidade da linha, sendo regulada pelo

recurso gargalo, enquanto os demais recursos podem estar periodicamente ociosos. Assumindo-se que há uma demanda suficiente para a saída de produtos da linha, o sistema CONWIP com o número correto de cartões irá manter apenas o WIP suficiente para manter o recurso gargalo ocupado (SPEARMAN, WOODRUFF e HOPP, 1990). Alternativamente ao Kanban, o CONWIP é um mecanismo de controle do WIP capaz de simplificá-lo ao mesmo tempo em que permite enfrentar ambientes incertos e dinâmicos, nos quais o desempenho do Kanban pode não é satisfatório (YANG e LU, 2011).

2.5 Simulação baseada no mapeamento do fluxo de valor

2.5.1 VSM – Mapeamento do fluxo de valor

O principal conceito da Produção Enxuta consiste em se especificar o que, de fato, agrega valor para o cliente final e no cumprimento desta especificação por meio de um sistema de produção voltado a excelência, caracterizado por um fluxo nivelado e puxado pela demanda do cliente (BRAGLIA, CARMIGNANI e ZAMMORI, 2006). Uma vez definido o que é valor, o desenvolvimento da Produção Enxuta requer a análise da "cadeia de valor", com todas as atividades (que agregam ou não valor) necessárias para levar o produto matéria-prima aos clientes finais. O passo seguinte é a eliminação dos desperdícios de forma a garantir um fluxo que exclusivamente adicione valor ao produto sob o ponto de vista do cliente (WOMACK e JONES, 1996).

Há várias iniciativas e esforços no sentido de definir um conjunto de ferramentas e técnicas para implementar a Produção Enxuta de uma forma estruturada, sejam na literatura acadêmica como também de profissionais práticos. Muitas falham ao não serem capazes de ligar e tampouco permitir visualizar a natureza do material e o fluxo de informação em uma dada empresa. Sob esse enfoque, Hines e Rich (1997) a partir dos tipos de operações que agregam e que não agregam valor e dos tipos de desperdícios preconizados por Ohno (1997) propuseram um conjunto de sete ferramentas oriundo das técnicas de engenharia industrial a fim de apoiar o processo de eliminação dessas perdas.

Com base na premissa de que o fluxo de valor é representado pelo conjunto ações existentes no processo produtivo que (agregando valor ou não) são responsáveis por levar o produto até o cliente, Rother e Shook (2005) apresentam o mapeamento do fluxo de valor

VSM⁶ como uma ferramenta que dá suporte à estruturação de um sistema de Produção Enxuta. Esses autores defendem que o mapeamento do fluxo de valor reúne várias técnicas enxutas em torno de uma mesma linguagem, evitando-se, assim, que a implantação por meio de ferramentas isoladas que, individualmente, têm um potencial limitado.

A simbologia do VSM foi desenvolvida de modo a facilitar a identificação dos desperdícios e suas fontes, o que reforça a sua contribuição para com os objetivos da Produção Enxuta (Rother e Shook, 2005; Cottyn *et al.*, 2011; Lu, Yang e Wang, 2011; Yang, Hsieh e Cheng, 2011). O Quadro 4 apresenta estes símbolos. A proposta de Rother e Shook (2005) é, na realidade, um guia prático para uso empresarial e não um modelo redacional acadêmico. Não obstante, tem sido o roteiro para a coleta e a análise de dados em pesquisas científicas, algumas delas inclusive citadas no presente trabalho, como as de Braglia, Carmignani e Zammori (2006) e Abdulmalek e Rajgopal (2007).

O método de mapeamento do fluxo de valor é composto por quatro etapas básicas (ROTHER e SHOOK, 2005):

- a) Seleção de uma família de produtos;
- b) Mapeamento do estado atual;
- c) Mapeamento do estado futuro, e
- d) Plano de trabalho e implementação.

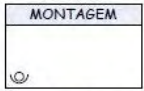
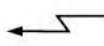
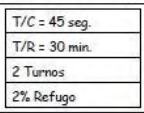
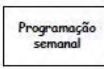
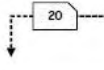
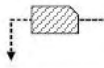
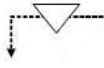
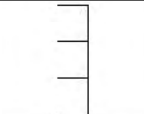
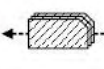
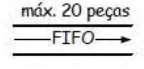
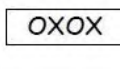
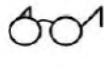
A seleção de uma família de produtos é necessária quando uma empresa possui diferentes fluxos de valor em relação a seu mix de produtos. A formação de famílias utiliza o critério de similaridade de processos para agrupar produtos que passam por etapas de processamento também semelhantes. O mapa do estado atual é elaborado de forma a permitir visão global do fluxo e dos desperdícios a ele associados, enquanto o mapeamento do estado incorpora as oportunidades de melhoria identificadas no próprio mapa do estado atual (ROTHER e SHOOK, 2005).

Para guiar a construção do mapa futuro e implantar práticas de Produção Enxuta, os autores Rother e Shook (2005) sugerem de oito questões apresentadas a seguir:

1. Qual é o tempo *takt*?
2. O produto será fabricado e destinado diretamente à expedição ou a um supermercado de produtos acabados?
3. Onde será o necessário o uso do sistema puxado?
4. Onde se pode usar fluxo contínuo?

⁶ Iniciais em inglês de *Value Stream Mapping*

Quadro 4 – Símbolos usados para o VSM

Fluxo de Materiais			Fluxo de Informações		
Símbolo	Nome	Função	Símbolo	Nome	Função
	Processo	Demonstrar os processos existentes.		Fluxo de informação manual	Indicar o fluxo de informação manual.
	Fontes externas	Representar clientes e fornecedores.		Fluxo de informação eletrônica	Indicar o fluxo de informação eletrônica.
	Caixa de dados	Registrar os dados de um processo.		Informação	Descrever um fluxo de informação.
	Estoque	Demonstrar a quantidade e o tempo de cobertura de estoque.		Kanban de produção	Dar permissão a um processo de quanto e o que produzir.
	Entregas	Indicar a frequência das entregas.		Kanban de retirada	Dar permissão de quanto e o que pode ser retirado.
	Movimento de material empurrado	Representar o movimento de materiais na produção empurrada.		Kanban de sinalização	Indicar quando o ponto de reposição é alcançado em kanbans por lote.
	Movimento de produtos acabados e de matéria-prima	Representar o movimento de materiais do fornecedor ou para o cliente.		Pull Ball	Dar permissão para produzir uma quantidade de tipos pré-determinados (sistema sem supermercados).
	Supermercado	Representar um estoque controlado de peças usado para puxar a produção.		Posto de kanban	Representar o local onde o kanban é coletado e mantido para transferência.
	Retirada	Indicar materiais sendo puxados, geralmente de um supermercado.		Kanban em lotes	Representar o kanban chegando em lotes.
	Fluxo sequencial (primeiro a entrar, primeiro a sair)	Representar a transferência sequencial de quantidades controladas.		Nivelamento de carga	Identificar o procedimento para nivelar o mix e o volume de kanbans (heijunka).
	Linha do tempo	Registrar o lead time de produção e os tempos de processamento.		Verificar (programação "vá ver")	Indicar a necessidade de verificar os níveis de estoque para ajustar a programação.
Símbolos Gerais					
	Necessidade de melhoria (kaizen)		Indicar a necessidade de melhoria em processos específicos para se atingir o fluxo desejado		
	Estoque de segurança (pulmão)		Identificar estoques de segurança		
	Operador		Representar um operador no posto de trabalho		

Fonte: Adaptado de Rother e Shook (2005)

5. Em qual ponto da cadeia a produção deve ser programada?
6. Como nivelar o mix de produção ao processo puxador?
7. Qual incremento uniforme de trabalho será liberado para o processo puxador?
8. Quais melhorias serão necessárias para atingir o estado futuro?

Devido à abrangência de aplicações, o mapeamento do fluxo de valor não está restrito à análise de um processo industrial dentro de uma unidade fabril. Womack e Jones (1996) sugerem a análise do que eles denominam de fluxo de valor estendido. Entretanto, na presente pesquisa, nos concentramos no mapeamento do fluxo de valor do processo produtivo, não só os fluxos de materiais, mas também os fluxos de informação. A próxima seção examina a aplicação deste roteiro em ambientes industriais mais complexos e, em particular, o da produção contínua.

2.5.2 O mapeamento do fluxo de valor em sistema de produção contínuo

O mapeamento do fluxo de valor foi concebido a partir de processos simples, com fluxos lineares e elevada repetitividade. Essa abordagem inicial convém com o tom de guia prático de implementação dados pelos autores Rother e Shook (2005). A introdução da técnica VSM fornece uma orientação prática para a implementação da Produção Enxuta. Desde que foi criada, uma extensa literatura apontou os pontos fortes da ferramenta aplicada no mundo real (COTTYN *et al.*, 2011). E teve sua aplicação estendida a vários segmentos, provando ser eficaz na identificação de dados físicos do processo de fabricação e como um método funcional para ajudar os profissionais a reorganizar os sistemas de produção (LU, YANG e WANG, 2011).

Mas outros pesquisadores foram ainda além. Sob a alegação, compartilhada na presente tese, de que a abordagem da Produção Enxuta tem sido aplicada com mais frequência na manufatura discreta do que em processos contínuos, Abdulmalek e Rajgopal (2007) contribuíram com a aplicação do VSM em uma usina siderúrgica em processos predominantemente contínuos. Esses autores contribuem a desmitificar a noção de que o VSM e outras ferramentas da manufatura enxuta somente são aplicáveis em processos discretos.

Os autores Lu, Yang e Wang (2011) identificaram que poucos pesquisadores se dedicaram a uma estratégia produção puxada ou enxuta para tratar a incerteza da demanda na

indústria de alta tecnologia. Entendem que, indiscutivelmente, isso acontece porque a variabilidade é um fator significativo para o ruído de um sistema puxado. Sugerem então que é necessário uma metodologia adequada para encontrar uma solução robusta que considere esses fatores de ruído dentro do paradigma da Produção Enxuta. Eles então propõem um processo de implementação (vide Figura 6) do sistema enxuto baseado na combinação de uma fonte de suprimentos do tipo supermercado com duas do tipo CONWIP que podem simultaneamente considerar a variabilidade na fabricação e a incerteza da demanda em sistemas multi-produtos e multi-estágio.

No mesmo sentido de estender uso da ferramenta VSM, Braglia, Carmignani e Zammori (2006) propõem a adaptação do mapeamento do fluxo de valor a sistemas de produção de processos não lineares, estruturas de produto complexas, baixo volume e alta variedade de produtos. Esses autores formularam sua proposta ao integrarem ferramentas típicas da engenharia industrial ao método tradicional do VSM e a validaram em uma fábrica de refrigeradores.

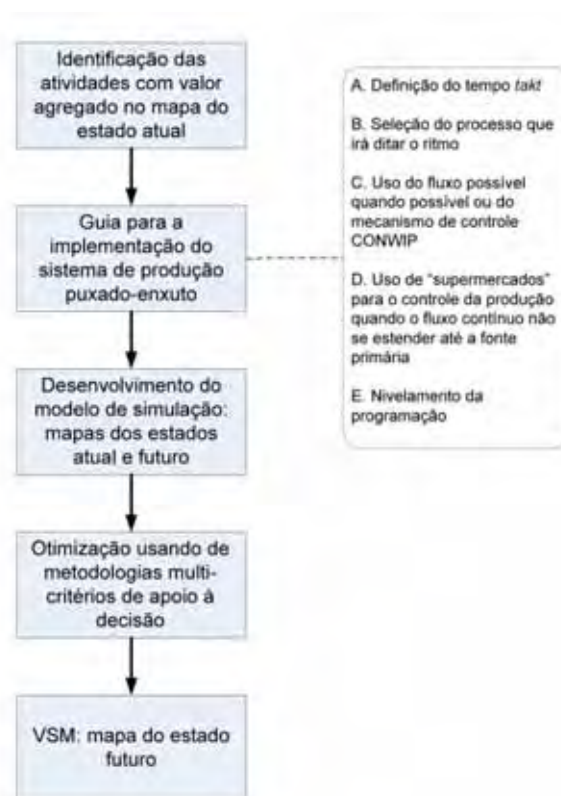


Figura 6 – Processo para a implementação proposto por Lu, Yang e Wang (2011)

Os autores propõem o seguinte procedimento baseado num conjunto de sete passos abaixo apresentados (BRAGLIA, CARMIGNANI e ZAMMORI, 2006):

1. Seleção da família de produtos e, consequentemente, os objetivos iniciais para a implementação de melhorias;
2. Identificação das máquinas compartilhadas: aquelas que, sendo compartilhados por mais de uma família de produtos, pode tornar-se uma possível limitação à implementação da Produção Enxuta;
3. Identificação do principal fluxo de valor: ao se lidar com os processos de produção não lineares caracterizados por vários fluxos que se fundem, o mapeamento e a melhoria de todo o processo ao mesmo tempo não é fácil e, normalmente, não factível. Por isso, o processo de mapeamento deve começar a partir do principal (crítico) fluxo de valor. Depois, seguindo um processo iterativo, a análise deve ser estendida - somente se necessário - para os outros ramos do processo a fim de melhorar o desempenho geral do sistema;
4. Mapeamento do fluxo crítico: trata-se da construção do mapa do estado atual acerca do principal fluxo de valor para a família de produtos escolhida;
5. Identificação e análise dos principais desperdícios: consiste na análise das atividades que não agregam valor identificadas no mapa do estado atual;
6. Elaboração do mapa de estado futuro para o fluxo crítico;
7. Identificação dos outros fluxos críticos: é a aplicação do método a outros ramos do processo produtivo.

Concluída a elaboração do mapa do estado futuro, os autores do guia “Aprendendo a Enxergar” (ROTHER e SHOOK, 2005) propõem a criação de um plano de trabalho a fim da implementação do cenário do estado futuro idealizado. O método proposto prevê planos de trabalho utilizando-se da ferramenta 5W1H⁷ e, para facilitar a implementação, Rother e Shook (2005) sugerem dividir o mapa do estado futuro em partes do fluxo mapeado que eles denominam de “*loops* do fluxo de valor”. Dessa maneira, a implantação seria dada por etapas ordenadas de acordo com a prioridade de cada *loop*.

2.5.3 Modelagem e simulação em sistemas puxados

A simulação por computador tem sido amplamente utilizada como apoio à decisão por meio da modelagem, análise e projeto de sistemas capazes de avaliar o impacto da mudança de parâmetros de desempenho. A simulação tornou-se uma das técnicas mais populares para a

⁷ Ferramenta utilizada na gestão da qualidade. Iniciais das palavras em inglês *what, where, when, why, who* e *how*.

análise de problemas complexos em ambientes de produção. Algumas das vantagens da utilização de modelos de simulação são as seguintes. Primeiro, no sentido de que os sistemas de produção geralmente apresentam grande complexidade, principalmente, devido à sua natureza dinâmica e aleatória. Neste particular, o modelo de simulação pode capturar essas características com mais precisão. Outra vantagem é que a simulação computacional é uma ferramenta adequada para a análise e avaliação das situações que não seria possível, no mundo real, ou seria muito caro. Em terceiro lugar, a simulação é uma ferramenta útil para investigar uma ampla variedade de questões do tipo "e se" sobre o sistema do mundo real. Possíveis mudanças no sistema podem ser primeiro simuladas, a fim de prever o seu impacto no desempenho do sistema (MONTEVECHI *et al.*, 2010; BOSCH-MAUCHAND *et al.*, 2012).

Por outro lado, as limitações do VSM tradicional têm estimulado pesquisadores a desenvolver maneiras de melhorá-lo (LIAN e VAN LANDEGHEM, 2007). A simulação é uma ferramenta que cria uma interface capaz de permitir a visualização dinâmica além de uma considerável capacidade de análise de dados, sendo, neste contexto, avançada ferramenta de aprimoramento e complementação ao VSM (MCDONALD, VAN AKEN e RENTES, 2002; REYES *et al.*, 2012). Duas formas de simulação estão descritas na literatura: as simulações físicas e as simulações auxiliadas por computador. A simulação é sempre uma ferramenta capaz de evitar e reduzir custos tanto quanto serve para treinamento (LIAN e VAN LANDEGHEM, 2007).

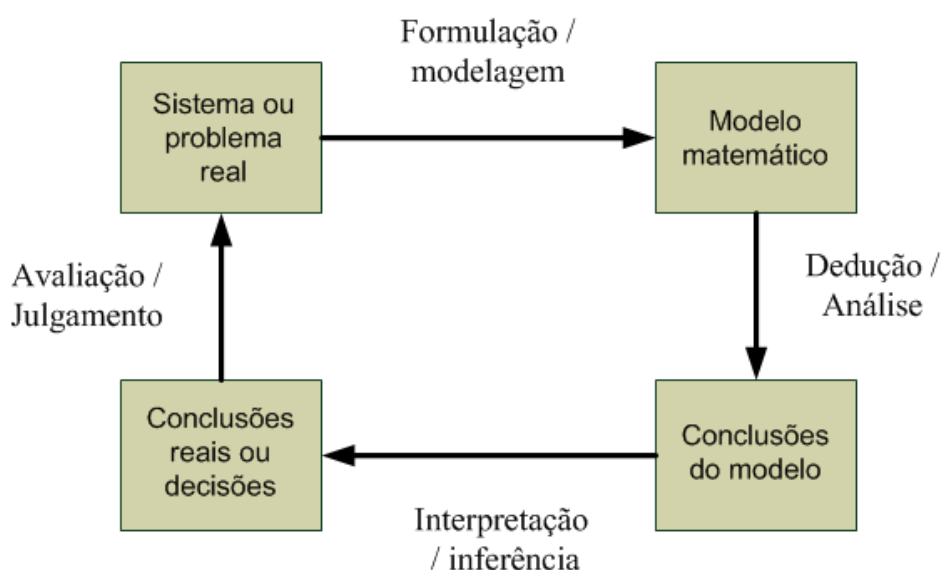


Figura 7 – Processo de modelagem (ARENALES *et al.*, 2006)

Do ponto de vista do modelo metodológico de aplicação da modelagem há referências específicas na literatura. O modelo de modelagem pode ser o apresentado na Figura 7, proposto por Arenales et al. (2006), ao qual os autores Morabito e Pureza (2010, p. 181) descrevem da seguinte forma:

A formulação (modelagem) define as variáveis de interesse e as relações matemáticas para descrever o comportamento relevante do sistema ou problema real. É nesse ponto que o pesquisador escolhe quais variáveis devem ser incluídas no modelo, e define as relações causais entre essas variáveis. Essa etapa é importante na pesquisa empírica-quantitativa, mas também pode ser importante nos casos de pesquisa axiomática quantitativa, em que se investigam modelagem alternativas para o problema idealizado. A dedução (análise) aplica técnicas matemáticas e tecnologia para resolver o modelo matemático (usualmente utilizando códigos computacionais e computadores) e visualizar as conclusões e/ou decisões sugeridas pelo modelo. Essa etapa é central nos casos de pesquisa axiomática que desenvolvem métodos de solução mais efetivos ou analisam métodos existentes. A interpretação (inferência), por sua vez, discute se as conclusões e/ou decisões obtidas com o modelo têm significado suficiente para inferir conclusões e/ou decisões para o problema real. Frequentemente, uma avaliação (julgamento) dessas conclusões ou decisões inferidas mostra que elas não são adequadas e que o escopo do problema e sua modelagem matemática precisam de revisão, o que implica a repetição do ciclo. Essa etapa é também particularmente relevante na pesquisa empírica quantitativa.

Dentro do contexto da presente pesquisa, Lian e Van Landeghem (2007) propõem um procedimento de modelagem a partir do VSM em 5 etapas que são descritas a seguir:

Etapa 1: Determinar, por meio do VSM, quais são os dados de entrada necessários.

Tanto o mapa do estado atual como o futuro deverão ser elaborados. Os mapas, ainda que estáticos, fornecem as informações básicas para as tabelas do modelo a ser simulado, como entidades no sistema, localizações, fluxos simplificados, tempos de preparação e tempos de ciclo. Para gerar as ligações entre as entidades, vamos precisar de descrições detalhadas de fluxo. É importante que a "tabela de roteamento", que descreve os caminhos de todos os produtos simulados seja fornecida nesta etapa. Enquanto o VSM fornece a tabela de conteúdos do modelo e a topologia básica de informações e fluxos de materiais, dados mais detalhados podem ser obtidos diretamente do banco de dados do sistema de gestão da empresa, talvez um ERP⁸, possivelmente depois de algum reformatação e filtragem;

⁸ Sigla em inglês de Enterprise Resource Planning. Refere-se às tecnologias de informação que integram todos os dados e processos de uma organização em um único sistema.

- Etapa 2: Processamento dos dados de entrada. O processamento de dados é o passo que transforma os dados de entrada brutos (na forma como foram adquiridos na etapa anterior) num formato de dados possível de ser utilizado pelo gerador (software de simulação) de modelo.
- Etapa 3: Geração do modelo. Nesta etapa, o modelo é gerado por meio do software de simulação.
- Etapa 4: Execução do modelo. Durante a execução, a liberação de ordens de produção pode ser simulada de duas maneiras, empurrando ou puxando a produção. No primeiro caso, as ordens liberadas irão empurrar à jusante da produção. No segundo caso, o pedido de Kanban irá puxar as quantidades no sentido à montante da produção.
- Etapa 5: Resultados de simulação, análise. Medidas operacionais da saída do sistema modelado, tais como prazo de entrega, tempo agregado, valor adicionado, utilização da máquina e tempo de espera estarão disponíveis para análise após a execução do modelo.

3 MÉTODOS

A presente seção apresenta os métodos de pesquisa empregados na presente tese que se resumem num *survey* e na modelagem e simulação da condição atual e futura da empresa objeto deste estudo.

3.1 Contextualização

Como discutido nas seções anteriores, o sistema de Produção Enxuta, bem como suas ferramentas e técnicas, é mais amplamente utilizado e estudado na indústria da manufatura discreta. Foi também discutido a oportunidade de pesquisas focadas na indústria de processo contínuo, tanto quanto os ambientes de maior variedade de produtos e menores volumes de produção.

A fim de estudar, no presente trabalho, a extensão dessas ferramentas para a indústria de processo contínuo foi escolhida uma planta industrial fabricante de condutores de alumínio destinados à transmissão e distribuição de energia elétrica. A escolha deste objeto de estudo deu-se primeiramente pela caracterização em si do processo como contínuo. Como típico das produções contínuas que têm pontos a partir dos quais os produtos podem ser entendidos como discretos, o mesmo acontece na fabricação de condutores, mais especificamente quando um cabo de quilômetros de comprimento é armazenado em uma bobina passando essa a constituir-se uma unidade de comercialização. Um segundo motivo foi o amplo acesso as informações e dados necessários ao trabalho investigativo. Entretanto, por recomendação da empresa, a mesma não será identificada e daqui para frente será tratada simplesmente como empresa objeto do estudo.

3.2 Peculiaridades do segmento industrial

O Quadro 5 apresenta uma comparação entre as indústrias típicas do setor automotivo e dos fabricantes de condutores elétricos. A fabricação de condutores pode incluir os processos de fundição e lingotamento contínuo de metais, laminação, trefilação, trançagem, extrusão de termoplásticos e termofixos, encordoamento e reunião de condutores. São obtidos a partir das mais diferentes combinações entre fios de diâmetros diferentes, em números diferentes, com distintos sentidos de encordoamento, fabricados a partir de materiais

condutores diferentes (por exemplo, cobre ou alumínio), cobertos e/ou isolados com também materiais variados (polímeros diversos ou borrachas), trançados e reunidos numa multiplicidade de constituições físicas possíveis quanto ao sentido do encordoamento, passo etc. e ainda, com diferentes componentes construtivos.

Quadro 5 - Peculiaridades das indústrias automotivas e fabricantes de condutores elétricos

	Indústrias do Setor Automotivo	Indústrias Fabricantes de Condutores
Produtos e produção	Determinada pela previsão de demanda. Reduzida variedade de produtos. Centenas ou milhares de itens produzidos por período.	<i>Make-to-Order</i> . Apesar de pertencente às mesmas famílias de produtos, há enorme variedade de tipos específicos. Unidades ou dezenas de itens produzidos por período.
Número de itens de matérias primas	Dezenas ou centenas.	Unidades.
Planejamento e controle da produção	Complexidade no planejamento dos recursos de produção como equipamentos, materiais e mão de obra.	Complexidade no sequenciamento das ordens de produção. Utilização compartilhada dos mesmos recursos para os mais variados produtos. Gargalos flutuantes.
Quantidade de produtos acabados	Normalmente centenas ou milhares de peças/unidades fabricadas em minutos ou horas.	Unidades ou dezenas de unidades discretas (carretéis, rolos ou bobinas) fabricados em horas ou dias.
Controle da Qualidade	Ênfase nos controles estatísticos da Qualidade. Possibilidade do emprego de testes destrutivos por amostragem.	Ênfase do controle e padronização do processo produtivo. Dificuldade na utilização de testes destrutivos, exceto nas extremidades dos condutores.
Cadeia de suprimento	Vários fornecedores normalmente localizados próximos à fábrica.	Poucos fornecedores e não raramente distantes. Frequentemente monopolistas ou oligopolistas.
Arranjo físico	Linhas de montagem, células de produção.	Híbrido: funcional e em linha.

Fonte: (LOURENÇO JR, 2002)

Portanto, essa é a primeira das características do ambiente industrial pesquisado: o grande número de produtos distintos determinados pela variedade de combinações construtivas. Outra característica relevante e fundamental é um aspecto próprio dos processos contínuos, nos quais não existem unidades discretas de produto durante o fluxo de fabricação, mas somente ao final deste quando da embalagem. No processo de fabricação de condutores elétricos somente após todo o comprimento do condutor estar acondicionado no carretel ou rolo, é que se pode definir uma unidade discreta do produto.

Conforme Prince e Kay (2003), uma das principais características das fábricas de cabos é que as suas máquinas são dispostas em um arranjo funcional. *Layouts* funcionais, também conhecidos como *layouts* de processo, são agrupamentos físicos de máquinas similares sob o ponto de vista da transformação que promovem, de forma que os produtos

passam por estas máquinas em sequências diferentes de acordo com as especificações de cada item. Esses autores identificam desvantagens do tipo de arranjo funcional, tais como, sistemas complexos de planejamento e controle e a necessidade de elevados níveis de WIP para assegurar que o material estará sempre disponível uma vez que é difícil especificar as prioridades de produção. Acrescentam ainda os autores que o *layout* funcional pode não oferecer um ótimo desempenho quando comparado com fabricação em *layout* orientados ao produto, entretanto, existem situações em que não é prático ou possível mudar de um esquema funcional para outro orientado ao produto como, por exemplo, quando (PRINCE e KAY, 2003):

- As máquinas são grandes e, portanto, difíceis de mover;
- A flexibilidade no roteamento do fluxo por produto deve ser mantida;
- Há restrições financeiras que torna inviável a melhoria do desempenho da manufatura por meio da substituição das máquinas;
- O custo de interrupção de produção impediria reorganização layout;
- O mix de produtos é elevado e instável.

E é assim o arranjo funcional da empresa objeto desse estudo: funcional e linearmente alinhado com o fluxo produtivo. O fluxo de produção é intermitente já que a quase totalidade das ordens de produção devem-se a pedidos firmes e específicos de clientes, relativos aos mais diferentes produtos e, portanto, de grande variedade.

A entrada da matéria-prima (alumínio) é por meio de recebimentos na forma de lingotes acondicionados em fardos, como mostrado na Figura 8. A produção tem início na fundição do alumínio nos fornos há acerca de 750 °C, que se revezam na alimentação de um processo contínuo de lingotamento (ou fundição contínua), dando origem a uma barra de secção trapezoidal.

Neste tipo de fundição, acompanhe pela Figura 9, o alumínio líquido é introduzido por meio de uma calha refratária, passando por um sistema de degaseificação até a roda de vazamento, que possui um canal trapezoidal por onde escoar o metal. À medida que a roda gira, o metal, ainda em estado líquido, é mantido na ranhura por uma cinta metálica que envolve a roda. O alumínio perde calor e rapidamente se solidifica, formando uma barra contínua de secção trapezoidal. A barra passa então por uma série de estações laminadoras que a conformam e reduzem a sua área transversal, até que ela assuma as dimensões desejadas e a secção circular. A Figura 10 apresenta um típico laminador de vergalhão de alumínio de fabricação da tradicional italiana Properzi S.p.A que acabou por dar nome a esse processo. O

conjunto de fornos de fundição mais o laminador determinam a unidade ou célula de produção de vergalhão. Após a laminação e o resfriamento do vergalhão, ele é bobinado em rolos de aproximadamente duas toneladas, como o mostrado na Figura 11.



Figura 8 – Lingotes de alumínio armazenados em fardo

Fonte: disponível em <http://aluminio.org/wp-content/uploads/2012/03/archivo16.jpg>, acesso em 07/7/2012

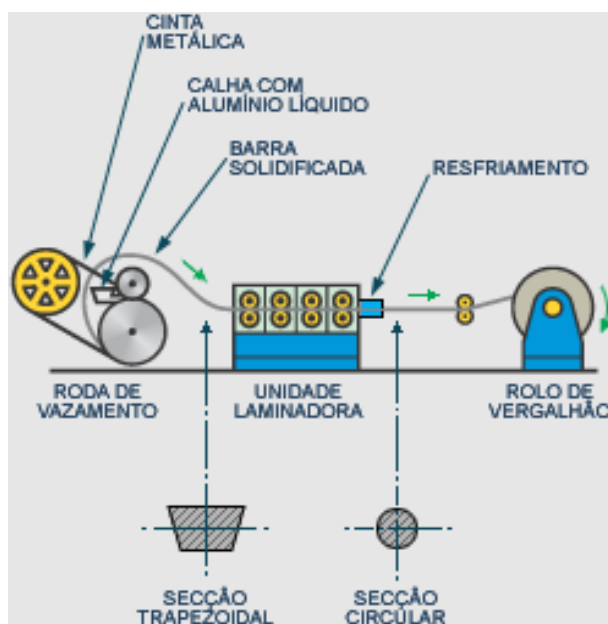


Figura 9 – Método de fundição contínua de vergalhão de alumínio

Fonte: disponível em <http://www.cbaaluminio.com.br/images/processos/properzi.gif>, acesso em 07/7/2012

Embora os rolos de vergalhão de alumínio sejam praticamente uniformes na quantidade contida de vergalhão, eles são classificados em função de suas diferentes propriedades mecânicas e elétricas, a dureza e a condutividade, por exemplo, obtidas por conta de condições específicas de laminação ou ainda o tipo (liga) do alumínio empregado.

Tal classificação irá ditar a utilização deste material nos processos seguintes. Neste ponto, há um primeiro estoque de produtos em processo (WIP).



Figura 10 – Laminador de alumínio

Fonte: disponível em <http://www.internationaltradenews.com/en/Continuus-Properti-S.p.A./portrait/980>, acesso em 07/7/2012



Figura 11 – Rolo de vergalhão de alumínio

Fonte: disponível em http://image.tradevv.com/2011/03/25/zhuhuacui_1851508_600/aluminium-wire-rod.jpg, acesso em 07/7/2012

Os rolos de vergalhão de alumínio alimentam máquinas denominadas trefiladeiras ou trefilas responsáveis pela transformação do vergalhão em fios nos mais diversos diâmetros por meio do processo de estiramento. O processo de trefilação é empregado para reduzir o diâmetro do vergalhão de pouco mais de 9,5 mm para os diversos diâmetros específicos a

cada tipo de condutor. Para isso, traciona-se o vergalhão por meio de uma matriz, aqui chamada de fieira, ou um conjunto de fieiras em série para sucessivas reduções, cuja secção transversal da última possui o diâmetro final desejado. A Figura 12 representa esse processo de forma esquemática.

A Figura 13 mostra o carretel metálico onde são armazenados os fios de alumínio trefilados nos diversos diâmetros, constituindo mais um ponto de estoque intermediário de processo (WIP).

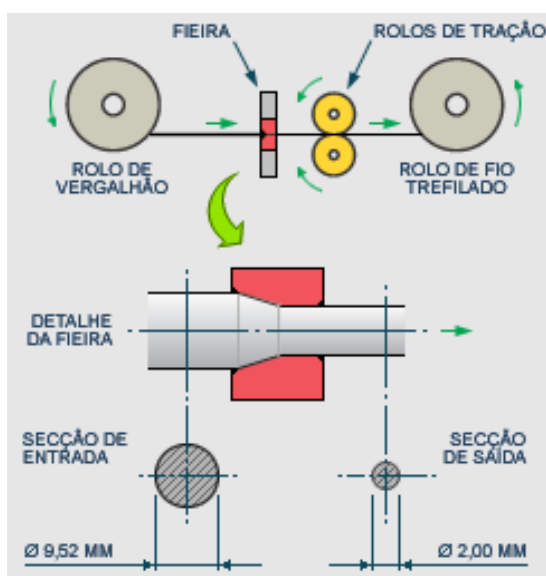


Figura 12 – Processo de trefilação dos fios

Fonte: disponível em http://www.cbaaluminio.com.br/images/processos/trefila_1.gif, acesso em 07/7/2012



Figura 13 – Carretel (*pool*) metálico carregado com fio de alumínio

Fonte: disponível em <http://images.machineryhouse.com.au/W143/0/200>, acesso em 07/7/2012

Uma vez trefilados, os fios são encaminhados para o encordoamento ou trançagem. O encordoamento é o processo de disposição dos fios em tramas helicoidais, para composição final do cabo. As quantidades de fios que compõem a trama de um cabo e a composição do filamento central, ou alma, dependem de exigências de aplicação, tais como resistência mecânica, flexibilidade ou capacidade de transmissão de corrente elétrica. São produtos exhaustivamente normalizados nas suas características tanto construtivas como funcionais. A Figura 14 esquematiza o processo de encordoamento cujas máquinas são chamadas normalmente de trançadeiras.

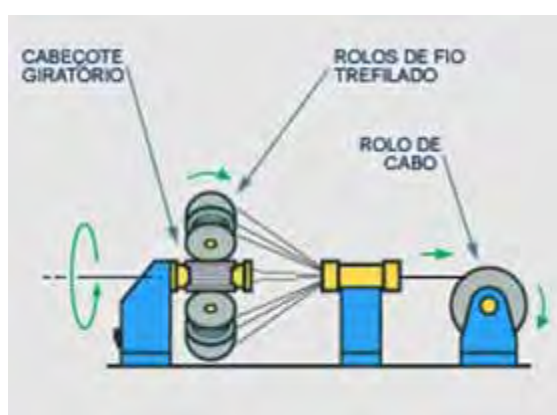


Figura 14 – Formação dos cabos: encordoamento dos fios

Fonte: disponível em http://www.cbaaluminio.com.br/images/processos/cabos_1.gif, acesso em 07/7/2012

Neste ponto do processo surgem dois tipos principais tipos de condutores: os AAC – *All Aluminium Cable*, ou seja, os condutores constituídos exclusivamente pela reunião de fios de alumínio, exemplificado pela Figura 15 e ACSR – *Aluminium Cable Steel Reinforced*, ou seja, condutores de alumínio reforçados por uma alma de fios de aço destinado a conferir resistência mecânica, mostrado na Figura 16.

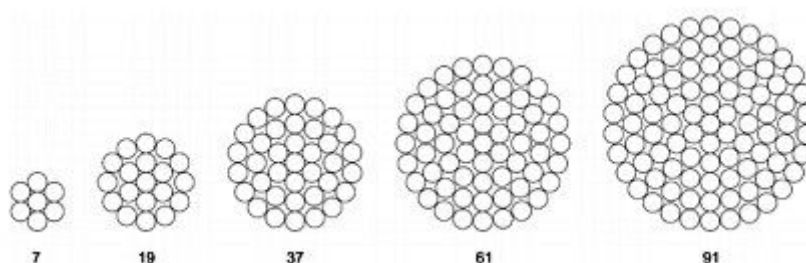


Figura 15 – Exemplo de formação de cabos AAC

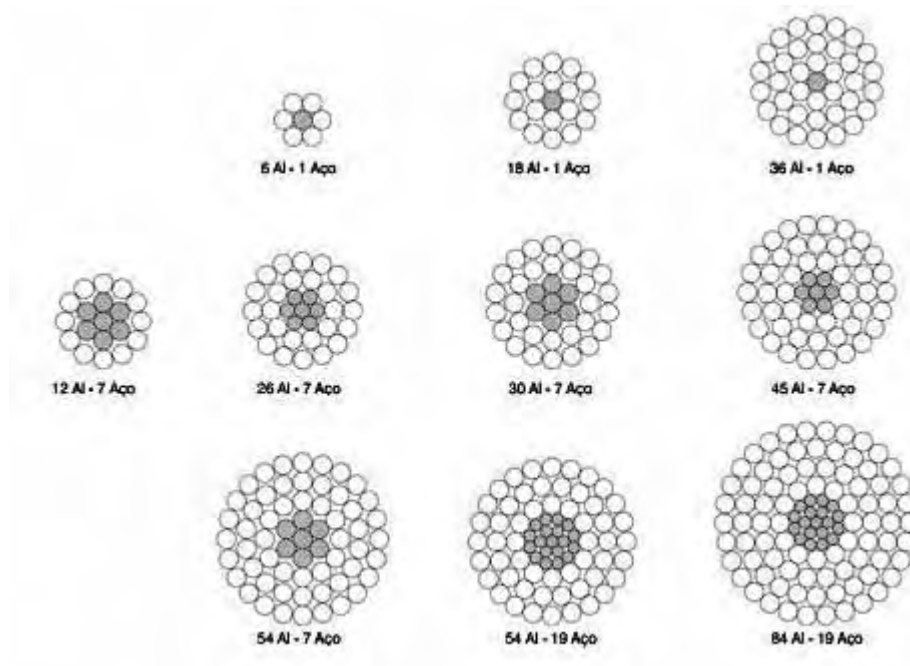


Figura 16 – Exemplo de formação de cabos ACSR

Os fios de aço que compõem a alma dos cabos ACSR são, na realidade, mais um item de matéria prima na fabricação de condutores elétricos. Normalmente, os cabos elétricos quando do tipo AAC recebem um nome de uma flor enquanto que os ACSR têm nomes de pássaros. A ideia é a analogia das aves e seu sistema vertebral com a alma de aço dos cabos, assim como no caso inverso das flores.

Pode-se aqui intuir acerca da grande variedade de produtos possíveis de serem obtidos pela simples combinação de fios de diâmetros diferentes, em quantidades (número de fios) diferentes, com ou sem alma de aço e esta, por sua vez, também constituída por fios de aço de diâmetros distintos e em quantidades diferentes. Outras características, como por exemplo, o sentido da trançagem dos fios, além de insumos que podem ser agregados ao condutor como, por exemplo, um gel protetor para a alma de aço prevendo-se a instalação em áreas marítimas, contribuem para as mais variadas possibilidades de produção e de produtos específicos.

Ao fim do encordoamento são acondicionados normalmente em carretéis de madeira (bobinas) em comprimentos definidos pelo cliente ou norma específica. A Figura 17 apresenta este tipo de embalagem que variam desde 0,65 m de diâmetro até 2,60 m e 0,25 m de largura até 1,30 m. Carregado pode ultrapassar os 3.000 kg de peso bruto.



Figura 17 – Bobina de madeira para acondicionamento de cabos AAC e ACSR

Fonte: disponível em http://2.bp.blogspot.com/_IyWPvypn35U/s1600/carretel.jpg, acesso em 07/7/2012

A empresa objeto deste estudo tinha ainda outro setor industrial, contíguo ao que abrigava o ambiente fabril descrito até aqui, destinado à produção de condutores cobertos ou isolados. Após o encordoamento dos fios, o produto pode ser revestido por meio de um processo de extrusão com materiais destinados a isolação elétrica ou proteção mecânica, ou ambos, tais como polietileno, polietileno reticulado, PVC, EPR e outros. Aqui também combinações são possíveis no sentido de um mesmo condutor possa vir a ter camadas sucessivas de isolamento e/ou coberturas obtidas por processos sucessivos de extrusão.

Por fim, condutores isolados podem ser trançados entre si, em máquinas denominadas semelhantes às trançadeiras descritas acima, aqui denominadas como cableadoras, dando origem a outros produtos formados pela reunião de condutores independentes. Para efeito desta nossa pesquisa concentramo-nos na fabricação de cabos AAC e ACSR sem quaisquer revestimentos ou outras implementações. Portanto, as matérias primas envolvidas nessa fabricação são o alumínio e os fios de aço galvanizados destinados ao reforço central dos cabos ACSR. Somado às embalagens (bobinas de madeira) são esses os únicos itens adquiridos e dependentes de fornecimento externo. Uma sumarização deste esquema de produção está representada na Figura 18.

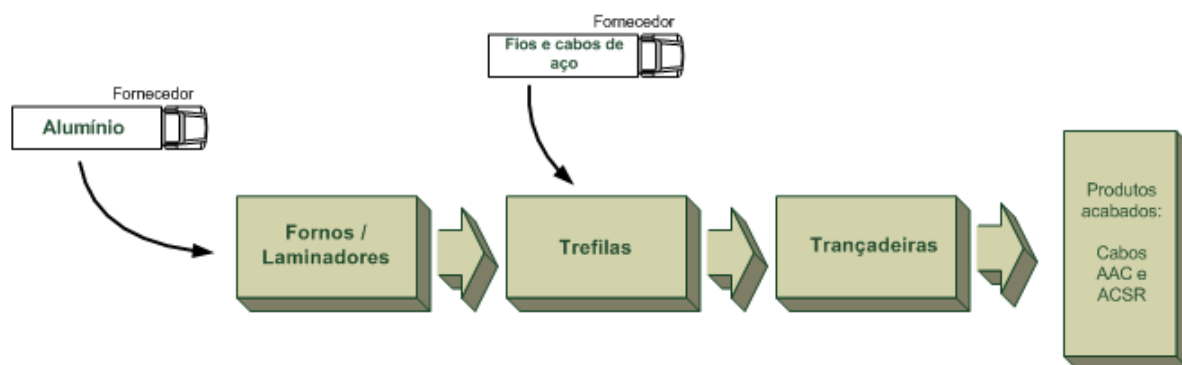


Figura 18 – Representação sinóptica da fabricação de cabos AAC e ACSR

A seção 2.3.1 deste trabalho se encerra tratando do ponto de “discretização” como forma de classificação de sistemas predominantemente – porém não exclusivamente – discreto ou contínuo. É o que acontece no ambiente objeto de estudo. Embora ao término de cada etapa de processamento criem-se unidades discretas de produtos sejam os rolos de vergalhão, os carretéis de fios de alumínio e aço e, por fim, as bobinas de madeira com os cabos, durante todo o processo de manufatura o comportamento foi o de fluxo contínuo. Podemos descrever o cabo elétrico como um lance longitudinal de milhares de metros, na maioria das vezes, cujo tempo de processamento é suficiente para observá-lo como um fluxo contínuo e não como entidades discretas.

Por fim da observação *in loco*, outras características da manufatura de condutores elétricos podem ser sumarizadas:

- Emprego de equipamentos de porte médio/grande, inflexíveis em termos do mix de produtos;
- Razoáveis tempos de *set-up*, podendo ser substancial;
- Intermitência do fluxo sob o ponto de vista dos produtos específicos, embora contínuos sob a ótica dos equipamentos;
- Arquitetura multiequipamento: os processos embora arrançados linearmente ao longo do fluxo têm características funcionais. Na prática, a empresa objeto deste estudo tinha dois conjuntos de fornos-laminadores, seis máquinas trefiladeiras e mais oito trançadeiras, permitindo uma razoável variedade de roteiros possíveis para os mesmos produtos;
- O processo de forno-laminadores tem sua operação dependente de temperatura. O desligamento do forno implica na obediência de curvas de resfriamento e aquecimento necessário a garantir a integridade e vida útil do material refratário. Tal comportamento limita a abordagem enxuta como já discutimos na fundamentação teórica deste trabalho;
- Os tempos de transferência entre as etapas de processos podem ser entendidas como desprezíveis, no tocante ao tempo adicionado ao processo.

Por fim, talvez se pudesse tentar sintetizar toda a peculiaridade da fabricação de condutores elétricos e sua caracterização como manufatura contínua, recorrendo a uma descrição de produto “longo e redondo”. O processo de fabricação de condutores elétricos apresenta a característica de que tão somente após todo o comprimento (lance) estiver acondicionado no carretel é que se pode definir uma unidade discreta do produto. Essa

característica assume expressiva importância por ocasião de uma necessidade de reprogramação oriunda, por exemplo, de uma necessidade comercial ou ainda de um eventual problema constatado na qualidade do produto. Nestes casos, a velocidade de resposta pode ser bastante afetada pelo ciclo de fabricação de uma única unidade do produto – um carretel – o qual é relativamente expressivo e traz consigo desdobramentos inerentes aos demais ciclos de produção de cada um dos componentes fios ou cabos.

Na questão do controle da qualidade, como outro exemplo, a peculiaridade está nas restrições à utilização das várias técnicas e ferramentas estatísticas. Muitos dos testes e ensaios a fim de determinar a conformidade do produto, só são possíveis de serem realizados após a fabricação de todo o lance. Ainda que métodos de controle das variáveis do processo de fabricação sejam empregados, de forma a assegurar a capacidade qualitativa do meio de produção, itens não conformes muitas vezes só são detectados em inspeções posteriores implicando em pesadas ações de retrabalho e reprocessamentos.

3.3 Antecedentes históricos: a cultura enxuta na empresa objeto deste estudo

Interessante o contexto em que se deu a coleta de dados a fim da presente pesquisa. A empresa objeto deste estudo tem capital multinacional e é um destacado *player*⁹ no mercado internacional de condutores elétricos tanto pelo *share*¹⁰ de mercado como pela taxa de inovação tecnológica agregada em seus produtos. Sua matriz, no exterior, havia passado por momentos econômicos difíceis obrigando-a a alienação de ativos como forma de pagamento de dividendos. Reconhecendo o seu estado de crise e entendendo a necessidade de uma ampla mobilização empresarial capaz de rever toda a organização, criou na década de 80 um programa sob a forte inspiração do Sistema Toyota de Produção.

Da própria Toyota, a empresa recebeu orientação específica por meio de instrutores designados e especializados, e de sua aplicação obteve-se as mais expressivas contribuições tanto quanto aos resultados como na própria formatação do programa. Da condução do programa, um *task force* chamado “Grupo D” veio se tornar a coluna mestra de todo o esforço. A denominação D deriva das iniciais das palavras *Dynamic and Drastic Reducing Down Activity of Direct Cost* que, traduzidas significam “redução drástica e dinâmica do custo direto”. O trabalho preconiza metas que superassem quaisquer níveis aceitos pela lógica. Por exemplo, para o triênio 1985/87 as metas foram as seguintes: WIP – 50% de

⁹ Competidor

¹⁰ De *market share*, fatia de mercado

redução, perdas nos processos – 50%, custos com matérias primas – 20% de redução, custos com energia – 10% de redução e produtividade – 40% de ganho (LOURENÇO JR, 2002). As atividades de implementação do conceito na matriz estrangeira obedeceu a seguinte evolução quanto aos seus principais eventos:

- Participação, do responsável pela produção, no curso Sistema de Produção Toyota da própria *Toyota Motor Company*;
- Formação do grupo D;
- Adoção da atividade *Hearing*: sistema de visitação periódica na fábrica pela alta e média administração;
- Adoção de consultoria de um especialista;
- Envio de estagiários para treinamento operacional na *Toyota*;
- Treinamento sobre *Jishuken*¹¹;
- Realização dos *Kenshiyu Kai*¹²;
- Envolvimento das empresas fornecedoras;
- Adoção da prática do *Souken*¹³.

A adoção do programa na subsidiária brasileira, e em particular na unidade fabril a se que refere o presente trabalho, seguiu passos semelhantes à experiência da matriz estrangeira. A essência do programa, o conceito em si, foi difundida inicialmente por meio de lideranças provenientes da própria matriz. Posteriormente, pela natural necessidade imposta pelas condições de competitividade global, o programa foi oficialmente instituído em toda a companhia no Brasil. Primeiramente restrito aos cargos de direção e gerência, funcionários brasileiros participaram de treinamentos e viagens de estudo nas fábricas da matriz estrangeira.

Numa etapa posterior, dezenas de funcionários brasileiros da unidade fabril objeto deste estudo (cerca de 10% do quadro funcional da época), realizaram estágios operacionais nas fábricas japonesas na qual puderam conviver com as ferramentas e o ambiente próprio do programa baseado no Sistema Toyota de Produção. Um amplo leque de atividades de educação e treinamento, incluindo os *Jishuken*, *Souken* e *Kenshiyu Kai* foram planejadas e sistematicamente adotadas. Avaliações periódicas, com base nas metas previamente adotadas para cada três anos, tal como na matriz, passaram a ser conduzidas (LOURENÇO JR, 2002).

¹¹ Workshop de aprendizado mão-na-massa, originalmente conduzidos por Taiichi Ohno na Toyota.

¹² Seminários internos a fim do desenvolvimento do programa.

¹³ No léxico da empresa, é uma extensão do *Jishuken*, desta feita com participação externa.

Um amplo leque de ferramentas e conceitos advindos da manufatura enxuta foram efetivamente implantados tendo sido a unidade fabril. Um amplo programa de educação e treinamento foi conduzido e se manteve por vários anos tem sido determinante para uma mudança comportamental em prol da Produção Enxuta. As ferramentas 5S, TPM, *Set-up* rápido, *Jidoka*, *Poka-Yoke*, *Andon*, *Kaizen*, *Souken* e *Jishuken* – chegou-se a realizar 12 *Jishuken* por mês naquela unidade – incorporaram o dia-a-dia da fábrica e sua linguagem comum. Alguns resultados e respectivos índices surpreendem pela sua relevância. No período de 1992 a 1994 obteve-se o indicador de 52,3% de redução do estoque em processo (WIP). A redução de perdas foi de 45,8% e os atrasos de entregas de 97% no mesmo período, para um aumento de produtividade de 41,1% (LOURENÇO JR, 2002).

3.4 Survey com os fabricantes de condutores elétricos

Antes do estudo em si a que se propõe a presente tese com respeito a simulação estocástica, a presente seção apresenta um *survey* realizado entre fabricantes brasileiros de condutores elétricos. O propósito foi o de contextualizar o tema deste trabalho no respectivo segmento industrial nacional ao mesmo tempo em que vem a justificá-lo também do ponto de vista prático como acadêmico.

A pesquisa (*survey*) a que se refere a presente seção foi realizada com fabricantes de condutores elétricos destinados à transmissão e distribuição de energia. O propósito principal desse *survey* foi o de obter informações acerca dos atuais níveis de implementação do conceito de Produção Enxuta entre os fabricantes de condutores elétricos instalados no Estado de São Paulo. Secundariamente, objetivou a identificação das motivações pelas quais tais empresas buscam o conceito de Produção Enxuta e ainda de avaliar, entre o rol de ferramentas e técnicas da Produção Enxuta, quais as mais e as menos empregadas. Uma vez que são esses objetivos mesmo que acrescidos da intenção de compreender acerca do uso do conceito e suas ferramenta no ambiente pesquisado, ainda que de forma incipiente, o *survey* realizado é de caráter exploratório-descritivo. Segundo Miguel e Ho (2010), um *survey* de caráter exploratório é apropriado quando se pretende adquirir uma visão inicial sobre o assunto e entendê-lo melhor, e o *survey* descritivo é adequado para se descrever como determinado fenômeno ocorre em uma população e a sua relevância.

3.4.1 Instrumento de pesquisa

O instrumento de coleta de dados escolhido foi o questionário eletrônico, que pode ser lido e respondido sem a interferência do pesquisador. Para a coleta e armazenamento dos dados, o questionário foi implementado de modo a ser acessado e preenchido pela Internet, por meio do aplicativo de código aberto LimeSurvey® (<http://www.limesurvey.org>), com o banco de dados MySQL™ e o servidor Apache ambos também de código aberto. O formulário on-line utilizado gera relatórios estatísticos e permite a exportação dos dados em formato do Microsoft Excel.

O tipo de questionário adotado é estruturado não disfarçado, no qual as questões são predominantemente fechadas e o objetivo da pesquisa é conhecido pelo respondente (MIGUEL e HO, 2010). Foi realizado um pré-teste do questionário por meio do preenchimento por respondentes conhecedores e não conhecedores do tema, todos executivos industriais.

O questionário, acessado por meio de um link, incluía em seu cabeçalho o logo da instituição de ensino (vide Figura 19) e a explicação de tratar-se de um levantamento como parte do programa de doutorado do autor, explicitando seu nome e do professor orientador. Em seguida, trazia um agradecimento prévio pela participação e uma declaração de confidencialidade esclarecendo que respondentes e empresas não poderiam ser identificados, uma vez que o código enviado tinha por exclusivo propósito permitir o acesso, não sendo possível relacionar com as respostas do questionário. A íntegra do instrumento de pesquisa está disponível no Apêndice A.

O instrumento de pesquisa contou com o total de 12 questões aplicadas na seguinte ordem:

- Quatro questões iniciais e fechadas referentes a dados da instituição e do respondente, objetivadas ao propósito de determinar o porte da empresa, a origem do capital e a posição hierárquica do respondente;
- Uma questão dicotômica acerca de a empresa ter decidido pela implantação, estar em processo ou ter implantado o conceito da Produção Enxuta ou suas técnicas e ferramentas, mesmo que parcialmente;
- Uma questão fechada de formato matricial, condicionada à resposta “sim” na pergunta anterior, onde o respondente deveria apontar o quanto cada um de 17 possíveis motivadores teria contribuído para a decisão de implantação do conceito. Sobre tais motivadores pela adoção da Produção Enxuta, há razoável

convergência na literatura revisada e, em particular o trabalho de Mahapatra e Mohanty (2007) balizou a escolha para fins deste inquérito. Nessa questão, foi adotada a escala *Likert*¹⁴ como medida de intensidade, com cinco alternativas possíveis;

unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Guaratinguetá
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

Lean Manufacturing na Indústria Brasileira de Condutores Elétricos

Este levantamento é parte da pesquisa de doutorado de José Lourenço Junior, sob a orientação do Prof. Dr. Messias Borges Silva, pela UNESP - Universidade Estadual Paulista, campus de Guaratinguetá SP, com o título "O Conceito de Produção Enxuta Aplicado à Ambientes de Produção Não-Seriada".

Muito obrigado pela sua atenção e tempo despendidos! Este questionário é anônimo. O registro guardado das suas respostas ao questionário não contém nenhuma informação de identificação a seu respeito, salvo se alguma pergunta do questionário o pediu expressamente. Se você respondeu a um questionário que utilizasse algum código de identificação para lhe permitir acessar, pode ter certeza que o código de identificação não foi guardado com as respostas. É gerido numa base de dados separada e será atualizado apenas para indicar se completou ou não este questionário. Não é possível relacionar os códigos de identificação com as respostas deste questionário.

Há 12 perguntas neste questionário

Dados do informante e de sua instituição
Informações gerais do informante e da empresa

*Qual a origem (predominante) do capital de sua empresa?
Escolha um dos seguintes:
Escolha uma opção

*Quanto empregados tem sua empresa no Brasil?

Figura 19 – Página de entrada da ferramenta de *survey* na Internet

- Uma questão fechada sobre o quão adiantado encontrava-se a implantação do conceito na empresa;
- Uma questão fechada de formato matricial, onde o respondente deveria apontar para cada uma das cinco afirmações apresentadas, o quanto cada uma se identificava com a percepção do conceito da Produção Enxuta na empresa pesquisada. Também aqui se utilizou a escala de *Likert* com cinco alternativas;
- Duas questões fechadas de formato matricial, acerca de 16 ferramentas e técnicas da Produção Enxuta, quanto a sua aplicabilidade e estágio de aplicação por meio de escalas com quatro e três alternativas respectivamente. Sobre quais são as técnicas e ferramentas típicas da Produção Enxuta há razoável consenso entre os autores e a questão foi elaborado a partir dos trabalhos de Mahapatra e Mohanty (2007), Shah e Ward (2007), Bhasin e Burcher (2006) e Godinho e Fernandes (2004);

¹⁴ A escala Likert é um tipo de escala de resposta psicométrica usada habitualmente em questionários, e é a escala mais usada em pesquisas de opinião. Ao responderem a um questionário baseado nesta escala, os perguntados especificam seu nível de concordância com uma afirmação. Esta escala tem seu nome devido à publicação de um relatório explicando seu uso por Rensis Likert.

- Uma questão aberta sobre que outra ferramenta ou técnica não listada entre as 16 das questões anteriores, estaria em implantação ou implantada na empresa pesquisada;
- Uma questão final, fechada e de formato matricial, em que o respondente deveria apontar para cada um de sete potenciais benefícios arrolados, qual a expectativa de obtenção, ou o benefício já obtido, também por meio de uma escala de intensidade *Likert* com cinco alternativas.

O

Quadro 6 resume os formatos de cada questão, o objetivo e as fontes bibliográficas dos construtos utilizados na formulação das questões. Os construtos, na definição de Miguel e Ho (2010), são os “elementos conceituais considerados como relevantes dos quais se desdobram as variáveis a serem testadas”.

Quadro 6 – Formato e constructos do instrumento de pesquisa

Objetivo das Questões	Formato	Constructos
Obter os dados da empresa e do respondente	Quatro questões fechadas: origem do capital, números de empregados, porte e posição hierárquica do respondente.	Classificação do porte da empresa conforme critérios do BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social e SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micros e Pequenas Empresas
Saber se a empresa decidiu pela implantação do conceito	Uma questão dicotômica (“sim” ou “não”)	Não aplicável
Conhecer os motivos da decisão (caso a questão anterior tenha sido “sim”)	Uma questão fechada matricial apresentando 17 possíveis motivadores	Mahapatra e Mohanty (2007)
Identificar o quão adiantado está a implantação	Uma questão fechada (percentual de implantação)	Não aplicável
Esclarecer sobre qual é a percepção da empresa para com o conceito “Produção Enxuta”	Uma questão fechada matricial apresentando cinco possíveis afirmações	A partir de Hines, Holweg e Rich (2004)
Conhecer a opinião da empresa sobre a aplicabilidade e o estágio de implantação das ferramentas e técnicas enxutas	Duas questões fechadas matriciais arrolando 16 ferramentas e técnicas	Shah e Ward (2007), Bhasin e Burcher (2006), Godinho e Fernandes (2004), Mahapatra e Mohanty (2007)
	Uma questão aberta sobre outra ferramenta ou técnica não incluída entre as 16 do item acima	Não aplicável
Saber acerca dos benefícios esperados ou auferidos pela implantação do conceito	Uma questão fechada matricial listando sete potenciais benefícios	Mahapatra e Mohanty (2007)

3.4.2 População, amostra e coleta dos dados

A seleção da amostra foi feita de forma intencional, procurando-se escolher empresas que melhor estivessem inseridas no cenário de indústrias fabricantes de condutores no Estado de São Paulo e, de certa maneira, de todo o País considerando-se a hegemonia do estado em alojar estes fabricantes. Para tanto, a pesquisa deu-se com o apoio e entre os associados do SINDICEL – Sindicato da Indústria de Condutores Elétricos, Trefilação e Laminação de Metais Não Ferrosos do Estado de São Paulo, entidade patronal representante da categoria. É legítimo admitir que entre os fabricantes instalados no estado, são os associados ao sindicato e, portanto com participação efetiva em câmaras setoriais e negociações sindicais, os de maior expressão empresarial. Ao todo, foram 48 empresas (número total de associados do sindicato) que receberam a solicitação de participação na pesquisa. Dada a intencionalidade na composição da amostra, não há interesse neste trabalho em extrapolar os resultados para todo o universo da população, mas objetiva-se, por outro lado, atender o propósito inicial de oferecer informações básicas sobre o segmento.

O convite para a participação na pesquisa foi feito por meio de e-mails individuais do Diretor Executivo do SINDICEL, que é o primeiro cargo executivo da estrutura organizacional da entidade, endereçado especificamente ao também primeiro executivo de cada empresa associada. O conteúdo dos e-mails basicamente consistia numa saudação pessoal muitas vezes individualizada, de um esclarecimento acerca dos propósitos acadêmicos da pesquisa, da seriedade das partes envolvidas e do termo de confidencialidade, procurando ainda tranquilizar o respondente quanto à brevidade e praticidade do formulário on-line. Deixava ainda a critério do destinatário do e-mail se as respostas seriam dadas pelo próprio ou encaminhadas a outro profissional da empresa.

A fim de tentar uma melhor taxa de retorno, os mesmos e-mails foram reenviados aos que não haviam respondido dentro dos primeiros 30 dias. E, por fim, depois de 45 dias do primeiro e-mail, o próprio autor enviou e-mails aos responsáveis pela área da qualidade da empresa (desta vez sem especificar nominalmente os destinatários), reiterando o pedido de participação. Vale ressaltar que a ferramenta on-line utilizada nesta pesquisa, permite o controle de retorno por meio dos códigos individuais a cada empresa facilitando as tentativas de cobrança e incremento da participação, e ainda impedindo mais de uma resposta da mesma empresa. O formulário on-line esteve disponível da Internet entre os meses de setembro e novembro de 2009.

Os dados obtidos do *survey* estão apresentados e discutidos no capítulo sobre resultados deste trabalho, mais especificamente na seção 4.1. Na próxima seção é apresentado método de pesquisa a partir do mapeamento do fluxo de valor (VSM) e as simulações do estado atual e futuro.

3.5 VSM e as simulações na empresa objeto deste estudo

3.5.1 O mecanismo de controle da produção adotado

Se por um lado é importante e oportuna a contextualização história tratada na seção 3.3, o que nos interessa para fins desta é a organização industrial quanto aos mecanismos de planejamento e controle da produção, mais especificamente a introdução do conceito de produção puxada como discutido na fundamentação teórica deste trabalho. Durante cerca de 10 anos em que o programa baseado no Sistema Toyota de Produção foi massificado e adotado como filosofia gerencial principal da organização, o modelo de planejamento e controle de produção sofreu melhorias incrementais, mas manteve-se aderente aos preceitos da produção empurrada.

Com o intuito de descrever o estágio de implementação das ferramentas enxutas na empresa objeto deste estudo foi elaborada a Tabela 1. Nela, sob o mesmo referencial utilizado a fim do *survey*, estão explicitadas as ferramentas enxutas e a respectiva condição de adoção ou não da técnica. Note-se que as ferramentas “Fluxo contínuo” e “Sistema de produção puxada” foram avaliados como tendo sido implementadas parcialmente. Em se tratando de uma empresa de fabricação contínua é claro que o fluxo é inerentemente contínuo. Porém, a manutenção de um sistema de programação de produção com base na emissão de ordens de produção cria pontos de descontinuidade neste fluxo. E, claro, a produção empurrada ainda se faz presente.

Na tentativa de reduzir os estoques de produtos em processo, instituiu-se o mecanismo CONWIP de uma forma adaptada. Os pontos reconhecidos como de acúmulo de estoque em processos, seja o estoque alumínio (matéria prima), de vergalhão de alumínio, de fios de alumínio e de fios de aço galvanizado, passaram a ter quantidades máximas permitidas e políticas de constantes reduções destas quantidades.

Enfim, embora as políticas de redução de estoques e redução do *lead-time* tenham sido formalmente assumidas, não se evoluiu na necessária customização dos mecanismos de

produção puxada. Apesar da evolução positiva dos indicadores de melhorias obtidos durante todo o período em que o programa foi adotado, há um *gap* quando se fala em medir o *lead-time*. Apesar de se ter uma meta específica de redução desse parâmetro ter sido anunciada, à época, avaliou-se que não seria possível o efetivo acompanhamento ao longo de programa. Faltavam meios específicos de realizar tais medições. Havia impeditivos práticos. Por exemplo, tempos de espera ou fila não são comumente medidos ou têm sua medição bastante onerosa. A questão resumia-se em como determinar o início da fabricação de um dado produto? A determinação do tempo final de produção de um pedido até que seria algo fácil de ser apontado. Porém, de que forma seria exequível definir se uma determinada corrida de alumínio, no forno de fundição, seria exatamente a utilizada num dado produto acabado? E os itens intermediários? Naturalmente trata-se da necessidade de um nível de rastreabilidade além do disponível e economicamente viável.

Tabela 1 – Ferramentas enxutas implantadas na empresa objeto desta tese

Kaizen: esforços de melhorias contínuas	Sim
5S	Sim
Gestão Visual	Sim
Padronização do trabalho	Sim
TPM - Manutenção Produtiva Total	Sim
Trabalhador multifuncional / rodízio de funções	Sim
Set-up rápido	Sim
Trabalho em equipes (CCQ, APG ou outras formas de trabalhos de grupos)	Sim
Produção conforme o tempo <i>takt</i> (produção sincronizada)	Não
Poka Yoke	Sim
Fluxo contínuo (one piece flow) / redução do tamanho do lote	Parcial
Sistema de produção puxada (Kanban, contenedores ou demarcações como controle da produção)	Parcial
Mapeamento do fluxo de valor	Não
Jidoka/"autonomação"	Sim
Recebimento e fornecimento just-in-time	Não
Células de Fabricação	Não

Como condição de contorno ao dilema foram definidos alguns produtos mais frequentes (típicos) entre o mix produzido, a fim de constituírem numa amostra da evolução do parâmetro *lead-time*. A adoção da amostra e a consequente redução do espectro de produtos permitiu um acompanhamento que, a princípio, parecia ser, senão suficiente, o

possível naquele momento. Essa dificuldade talvez justifique a manutenção do sistema puxado. Por que investir tempo e esforços no entendimento de possíveis adaptações do sistema puxado se, nem ao menos, conseguia-se uma leitura clara dos resultados?

O planejamento e controle de produção, embora mantido como essencialmente empurrado, por influência do programa adotou alterações no fluxo da ordem de produção. Emitida pelo departamento de vendas após o aceite do cliente à proposta comercial, a ordem de produção é entendida como a autorização para a produção de determinado produto sob condições específicas contratadas.

Antes restrita à área de PCP, o departamento de planejamento e controle da produção, a ordem de produção passou a ser disponibilizada também, assim que emitida, à área de expedição. Desta forma, antecipando o conhecimento acerca dos prazos e compromissos, o setor antecipa sua atuação – num esforço de aproximação da função de “puxar” a produção – configurando desta forma o desdobramento das atividades de controle de produtos acabados, antes restrita ao PCP. Outra mudança no enfoque da atuação do PCP diz respeito a programação de rotina máquina a máquina. Essa atividade aproximou-se do piso de fábrica, conferindo a este ampla responsabilidade do plano diário de produção.

Segue uma descrição do *modus operandi* constatado na unidade fabril estudada. Após o recebimento da ordem de produção, a área de planejamento explode o pedido tanto a fim da planificação da produção nas diversas etapas de processo, como também com o objetivo do empenho de matérias primas e insumos. Portanto, para um dado produto ser produzido, são abertas ordens de fabricação intermediárias, dirigidas a cada uma das etapas de manufatura de cada um de seus componentes. As ordens de fabricação especificam o que e quanto produzir. Por outro lado, a normalização do processo produtivo, por meio de instruções disponíveis a cada máquina, definem o como fazer ao estabelecer parâmetros operacionais.

Por fim, a únicas questões ainda não tratadas são quando e onde (em que máquina) produzir. Para tanto, são utilizados quadros horários e de Kanban de produção. Logo após a uma reunião diária de planejamento com todos os setores da fábrica, os profissionais do PCP percorrem cada um dos quadros horários, afixando os cartões Kanban. Nessa reunião, são discutidas pendências, ocorrências, restrições, mudanças nas datas de entrega, planos de inspeção do cliente e todas as outras considerações pertinentes às fabricações em curso no dia. Um diferencial importante a ser destacado é que em caso de um eventual remanejamento ou reprogramação, seja pelos mais variados motivos (problemas com a qualidade, atrasos, mudanças nas vendas, etc.), o procedimento é executado pelos próprios operadores sem a intervenção do PCP.

Ao lado desta abordagem adotada para a programação da produção, outra característica é digna de nota. Trata-se do controle visual do estoque em processo. São demarcações no piso ou outras estratégias visuais de limitam a área de armazenamento de estoque em processo e, por conseguinte, o próprio WIP. É a forma encontrada de manter estoques máximos e relativamente constantes (CONWIP) entre os equipamentos ao longo do fluxo de produção. Pela descrição justificamos nosso entendimento de melhorias incrementais do nosso sistema de planejamento e controle da produção, porém, em suma, mantendo-o como essencialmente empurrado haja vista às ordens de produção (LOURENÇO JR, 2002).

Aqui se encontra a motivação do presente trabalho: contribuir com a proposta do mapeamento do fluxo de valor associado à técnica de simulação fim de avaliação do comportamento desses parâmetros – WIP e *lead-time* – num sistema de fabricação controlado por meio de mecanismo de produção puxada. É o que trata as próximas seções deste trabalho.

3.5.2 Mapeamento do fluxo de valor: mapa do estado atual

Nas seções anteriores, descreveu-se o processo de produção em empresa objeto do estudo. Na presente seção vamos construir o mapa do estado atual para, posteriormente, a criação do mapa do estado futuro e a modelagem computacional.

O primeiro passo, seguindo o método proposto por Rother e Shook (2005) e as demais considerações apresentadas na fundamentação teórica deste trabalho, foi a definição por uma determinada família de produtos.

Como já mencionado, o trabalho ateve-se exclusivamente à fabricação de cabos nus, mas claro que há um número muito grande de produtos que se encaixam nesta definição.

Apenas para exemplificar, em se tratando apenas dos produtos normalizados por padrões técnicos de aceitação internacional, a Tabela 2 e a Tabela 3, a seguir, apresentam, respectivamente, os usuais para AAC e ACSR.

Como ambos os tipos tem praticamente o mesmo fluxo produtivo, exceto pela adição de mais um componente, os fios de aço galvanizados, nos cabos ACSR, esse último foi escolhido como mais representativo do processo em questão.

Tabela 2 - Cabos AAC conforme padrão ASTM

Código	Seção		Encordoamento		Código	Seção		Encordoamento	
	(AWG) ou (kcmil)	(mm²)	Classe	nº de fios x diâmetro		(AWG) ou (kcmil)	(mm²)	Classe	nº de fios x diâmetro
				(mm)					(mm)
Peachbell	6	13,21	A	7x1,55	Nasturtium	715,5	362,31	A	61 x 2,75
Rose	4	21,12	A	7x1,96	Violet	715,5	362,11	AA	37 x 3,53
Iris	2	33,54	AA,A	7x2,47	Cattail	750,0	380,99	A	61 x 2,82
Pansy	1	42,49	AA,A	7x2,78	Petunia	750,0	380,81	AA	37 x 3,62
Poppy	1/0	53,52	AA,A	7x3,12	Lilac	795,0	402,92	A	61 x 2,90
Aster	2/0	67,35	AA,A	7x3,50	Arbutus	795,0	402,14	AA	37 x 3,72
Phlox	3/0	84,91	AA,A	7x3,93	Snapdragon	900,0	457,44	A	61 x 3,09
Oxlip	4/0	107,41	AA,A	7x4,42	Cockscomb	900,0	455,70	AA	37 x 3,96
Valerian	250,0	126,37	A	19x2,91	Goldenrod	954,0	483,48	A	61 x 3,18
Sneezewort	250,0	126,37	AA	7x4,80	Magnolia	954,0	483,74	AA	37 x 4,08
Laurel	266,8	135,20	A	19x3,01	Camelia	1.000,0	506,04	A	61 x 3,25
Daisy	266,8	135,20	AA	7x4,96	Hawkweed	1.000,0	507,74	AA	37 x 4,18
Peony	300,0	151,85	A	19x3,19	Larkspur	1.033,0	524,90	A	61 x 3,31
Tulip	336,4	170,48	A	19x3,38	Bluebell	1.033,0	522,42	AA	37 x 4,24
Daffodil	350,0	177,62	A	19x3,45	Marigold	1.113,0	563,65	AA,A	61 x 3,43
Canna	397,5	202,09	AA,A	19x3,68	Hawthorn	1.192,5	603,78	AA,A	61 x 3,55
Goldentuft	450,0	228,14	AA	19x3,91	Narcissus	1.272,0	645,29	AA,A	61 x 3,67
Syringa	477,0	241,03	A	37x2,88	Columbine	1.351,5	684,55	AA,A	61 x 3,78
Cosmos	477,0	241,15	AA	19x4,02	Carnation	1.431,0	724,97	AA,A	61 x 3,89
Hyacinth	500,0	252,89	A	37x2,95	Gladiolus	1.510,5	766,55	AA,A	61 x 4,00
Zinnia	500,0	253,30	AA	19x4,12	Coreopsis	1.590,0	805,36	AA	61 x 4,10
Mistletoe	556,5	281,07	A	37x3,11	Jessamine	1.750,0	885,84	AA	61 x 4,30
Dahlia	556,5	281,08	AA	19x4,34	Cowslip	2.000,0	1.010,43	A	91 x 3,76
Meadowsweet	600,0	303,18	AA,A	37x3,23	Sagebrush	2.250,0	1.137,83	A	91 x 3,99
Orchid	636,0	322,24	AA,A	37x3,33	Lupine	2.500,0	1.266,76	A	91 x 4,21
Heuchera	650,0	330,03	AA	37x3,37	Bitterroot	2.750,0	1.396,29	A	91 x 4,42
Flag	700,0	354,45	A	61x2,72	Trillium	3.000,0	1.517,13	A	127 x 3,90
Verbena	700,0	353,95	AA	37x3,49	Bluebonnet	3.500,0	1.776,31	A	127 x 4,22

Fonte: ASTM B231 *Concentric-lay-stranded aluminum 1350 conductors* (ASC)

A determinação do produto específico se fez analisando-se os relatórios de fabricação durante 12 meses, período em que a instalação esteve sempre entre 50% e 85% de sua capacidade instalada. Neste período, buscando-se pelos cabos ACSR, determinou-se que os cabos *Linnet* e *Grosbeak* representaram juntos mais de 43% (tanto em volume – toneladas – como aproximadamente também em faturamento) de todo o mix fabricado no período, pelo o que foram os escolhidos. De fato são produtos representativos por sua enorme versatilidade e frequência em redes de transmissão e distribuição de energia elétrica.

Tabela 3 - Cabos AAC conforme padrão ASTM

Código	Seção			nº de fios x diâmetro	
	Alumínio		Total	Alumínio	Aço
	(AWG) ou (kcmil)	(mm²)	(mm²)	(mm)	(mm)
Turkey	6	13,30	15,49	6 x 1,68	1 x 1,68
Swan	4	21,18	24,66	6 x 2,12	1 x 2,12
Swanate	4	21,15	26,51	7 x 1,96	1 x 2,61
Sparrow	2	33,59	39,25	6 x 2,67	1 x 2,67
Sparate	2	33,63	42,20	7 x 2,47	1 x 3,30
Robin	1	42,41	49,48	6 x 3,00	1 x 3,00
Raven	1/0	53,52	62,47	6 x 3,37	1 x 3,37
Quail	2/0	67,33	78,63	6 x 3,78	1 x 3,78
Pigeon	3/0	85,12	99,17	6 x 4,25	1 x 4,25
Penguin	4/0	107,22	125,09	6 x 4,77	1 x 4,77
Waxwing	266,8	135,19	142,57	18 x 3,09	1 x 3,09
Partridge	266,8	134,87	157,23	26 x 2,57	7 x 2,00
Ostrich	300,0	152,19	176,70	26 x 2,73	7 x 2,12
Merlin	336,4	170,22	179,89	18 x 3,47	1 x 3,47
Linnet	336,4	170,55	198,03	26 x 2,88	7 x 2,25
Oriole	336,4	170,50	210,28	30 x 2,69	7 x 2,69
Chickadee	397,5	201,41	212,55	18 x 3,77	1 x 3,77
Brant	397,5	201,41	227,53	24 x 3,27	7 x 2,18
Ibis	397,5	201,34	233,97	26 x 3,14	7 x 2,44
Lark	397,5	200,90	248,45	30 x 2,92	7 x 2,92
Pelican	477,0	241,70	255,15	18 x 4,14	1 x 4,14
Flicker	477,0	241,70	273,07	24 x 3,58	7 x 2,39
Hawk	477,0	241,65	280,85	26 x 3,44	7 x 2,68
Hen	477,0	241,27	298,13	30 x 3,20	7 x 3,20
Osprey	556,5	281,98	297,50	18 x 4,47	1 x 4,47
Parakeet	556,5	281,98	318,56	24 x 3,87	7 x 2,58
Dove	556,5	282,59	327,93	26 x 3,71	7 x 2,89
Eagle	556,5	281,98	347,69	30 x 3,46	7 x 3,46
Peacock	605,0	306,55	346,52	24 x 4,03	7 x 2,69
Squab	605,0	306,55	356,35	26 x 3,87	7 x 3,01
Wood Duck	605,0	306,55	378,08	30 x 3,61	7 x 3,61
Teal	605,0	306,55	376,43	30 x 3,61	19 x 2,16
Kingbird	636,0	322,26	340,25	18 x 4,78	1 x 4,78
Rook	636,0	322,26	364,05	24 x 4,14	7 x 2,76
Grosbeak	636,0	322,26	374,79	26 x 3,97	7 x 3,09
Scoter	636,0	322,26	397,39	30 x 3,70	7 x 3,70
Egret	636,0	322,26	395,75	30 x 3,70	19 x 2,22
Swift	636,0	322,26	331,20	36 x 3,38	1 x 3,38
Flamingo	666,6	337,77	381,69	24 x 4,23	7 x 2,82
Gannet	666,6	337,77	392,73	26 x 4,06	7 x 3,16
Stilt	715,5	362,54	409,78	24 x 4,38	7 x 2,92
Starling	715,5	361,93	421,66	26 x 4,21	7 x 3,28
Redwing	715,5	362,06	444,98	30 x 3,92	19 x 2,35
Cuckoo	795,0	402,83	455,04	24 x 4,62	7 x 3,08
Drake	795,0	402,83	468,51	26 x 4,44	7 x 3,45
Coot	795,0	402,83	413,90	36 x 3,77	1 x 3,77
Tem	795,0	403,77	430,65	45 x 3,38	7 x 2,25
Condor	795,0	402,83	454,78	54 x 3,08	7 x 3,08
Mallard	795,0	402,83	494,80	30 x 4,13	19 x 2,48
Ruddy	900,0	455,50	487,55	45 x 3,59	7 x 2,40
Canary	900,0	456,03	515,11	54 x 3,28	7 x 3,28
Catbird	954,0	483,34	496,87	36 x 4,14	1 x 4,14
Rail	954,0	483,34	516,75	45 x 3,70	7 x 2,47
Cardinal	954,0	484,53	546,04	54 x 3,38	7 x 3,38
Tanager	1.033,5	523,67	538,06	36 x 4,30	1 x 4,30
Orlan	1.033,5	523,67	559,50	45 x 3,85	7 x 2,57
Curlew	1.033,5	522,51	591,26	54 x 3,51	7 x 3,51
Bluejay	1.113,0	565,49	603,09	45 x 4,00	7 x 2,66
Finch	1.113,0	563,96	635,60	54 x 3,65	19 x 2,19
Bunting	1.192,5	604,24	646,06	45 x 4,14	7 x 2,76
Grackle	1.192,5	604,24	680,69	54 x 3,77	19 x 2,27
Skylark	1.272,0	644,40	662,58	36 x 4,78	1 x 4,78
Bittern	1.272,0	644,40	688,97	45 x 4,27	7 x 2,85
Pheasant	1.272,0	644,52	726,39	54 x 3,90	19 x 2,34
Dipper	1.351,5	684,81	732,19	45 x 4,40	7 x 2,93
Martin	1.351,5	684,81	771,38	54 x 4,02	19 x 2,41
Bobolink	1.431,0	725,27	775,09	45 x 4,53	7 x 3,02
Plover	1.431,0	725,09	817,09	54 x 4,14	19 x 2,48
Nuthatch	1.510,5	765,37	818,06	45 x 4,65	7 x 3,10
Parrot	1.510,5	765,37	861,86	54 x 4,25	19 x 2,55
Lapwing	1.590,0	807,53	861,54	45 x 4,78	7 x 3,18
Falcon	1.590,0	806,23	907,98	54 x 4,36	19 x 2,62
Chukar	1.780,0	901,93	975,74	84 x 3,70	19 x 2,22
Bluebird	2.156,0	1.092,45	1.181,22	84 x 4,07	19 x 2,44
Kiwi	2.167,0	1.098,02	1.145,76	72 x 4,41	7 x 2,94
Thrasher	2.312,0	1.171,49	1.235,23	76 x 4,43	19 x 2,07

Fonte: ASTM B232 *Concentric-lay-stranded aluminum coated-steel reinforced* (ACSR)

Da Tabela 3, visualizam-se as conformações físicas destes dois tipos de cabos ACSR. O *Linnet* tem uma seção transversal de 198,03 mm² e é formado por 26 fios de alumínio, cada um com 2,88 milímetros de diâmetro, e mais, ao centro, sete fios de aço galvanizado com o diâmetro de 2,25 milímetros. Já o cabo *Grosbeak* tem 374,79 mm² de seção transversal e é formado por 26 fios de alumínio, cada um com 3,97 milímetros de diâmetro, e como alma, sete fios de aço galvanizado com o diâmetro de 3,09 milímetros.

Mais importante é a determinação da quantidade de alumínio contido em cada tonelada do cabo pronto, considerando-se a participação dos fios de aço na formação do cabo. Consultando-se as especificações normalizadas e informações técnicas dos fabricantes

chegamos ao percentual de 68,6% de alumínio contido nos cabos *Linnet* e de 68,5% nos cabos *Grosbeak*.

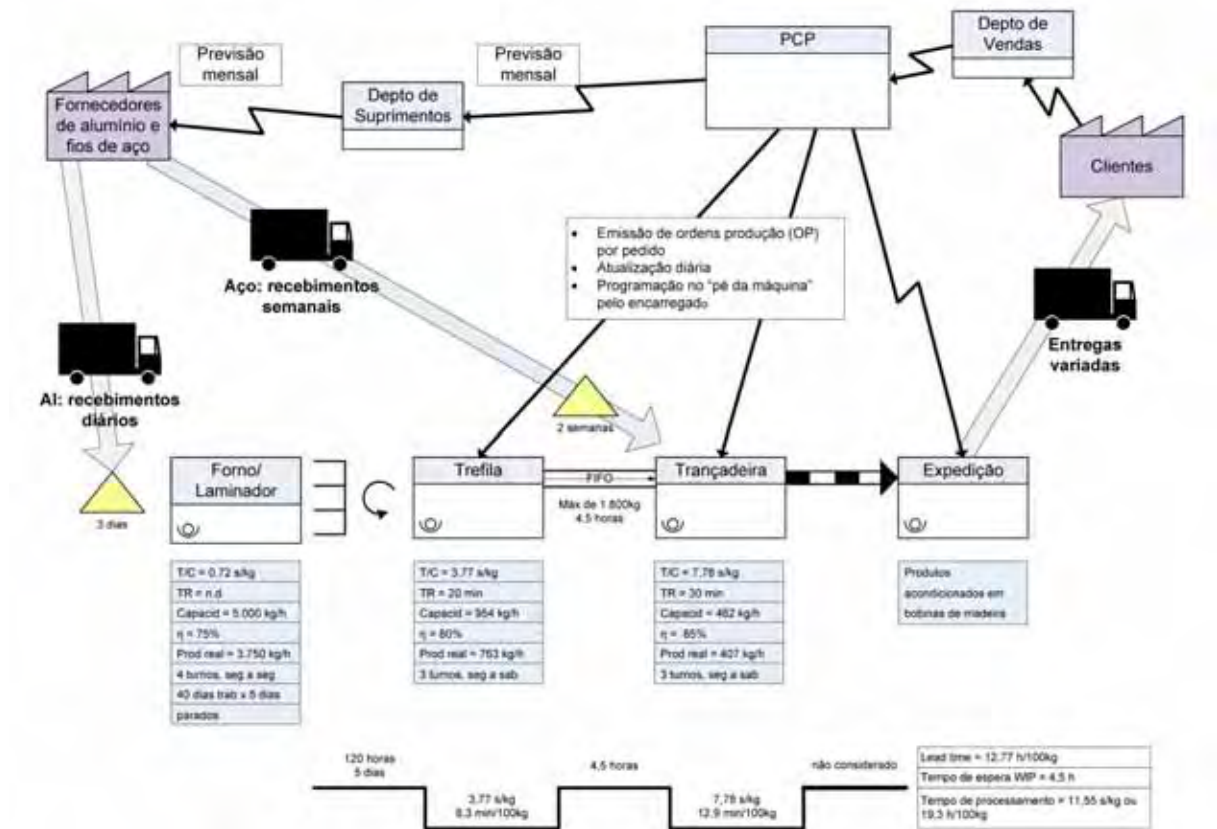


Figura 20 – Mapa do estado atual

O mapa do estado atual é o apresentado pela Figura 20. Conforme recomendação de Rother e Shook (2005), a representação esquematiza os macros processos e o foco é o do principal insumo: o alumínio agregado ao produto final. Diz respeito especificamente ao observado na fabricação do cabo *Linnet*. É importante reforçar tratar-se de empresa que tem as ferramentas enxutas difundidas e que há anos vem desenvolvendo o conceito. Por isso, a despeito da questão específica da não adoção da produção efetivamente puxada e/ou a não aplicação do *heijunka*, que são explorados a seguir neste trabalho, muitas são as técnicas enxutas presentes neste mapa do estado atual.

A seção 3.5.1 deste trabalho tratou acerca das atividades do PCP. Os pedidos firmes recebidos por meio do departamento de vendas são transformados em ordens de produção que determinam a produção dos processos trefilação e trançagem. Mas nota-se que o abastecimento de vergalhão de alumínio às trefilas obedece a lógica de supermercado. Foi citado na seção 3.2 a respeito do vergalhão de alumínio ser classificado em função de suas diferentes propriedades obtidas por conta de condições específicas de laminação e que irá

ditar a utilização deste material nos processos seguintes determinando-se, por exemplo, qual o diâmetro mínimo do fio a ser obtido para cada classe de vergalhão. A empresa trabalha com diferentes ligas de alumínio destinadas a aplicações especiais, algumas não elétricas. Tais ligas se formam pela adição de elementos químicos e há um planejamento de produção começando-se pelas ligas mais puras até as mais adensadas daqueles outros elementos. Isso implica na necessidade de uma limpeza programada ao final do ciclo de produção de todas as ligas, a fim de se permitir o retorno com a liga mais pura.

Da observação representada na Figura 20 nota-se que os fornos laminadores trabalham 24 horas por dia, todos os dias, intercalando-se cinco dias parados a cada 40 trabalhados. Todas essas condições juntas determinam o tamanho do supermercado que deve assegurar o atendimento às condições anteriores mantendo-se a lógica de reposição.

Por outro lado há outra importante restrição, também já comentada, sobre o fato de que o desligamento do forno implica na obediência de curvas de resfriamento e aquecimento. Isso significa que parar a produção quando o supermercado atinge o seu esgotamento, isto é, encontra-se no limite máximo de material estocado observando-se as classes, não é uma tarefa trivial. Desligar e religar os fornos significa não só os tempos necessários aos processos de resfriamento e reaquecimento, mas também uma razoável elevação do consumo de combustível por tonelada de material processado. Nos últimos anos, a empresa objeto de estudo conseguiu uma redução de 80% desta quantidade de material parado (WIP) no supermercado. Para tanto, vários kaizens foram levados a cabo e, entre eles, uma técnica de interromper o funcionamento dos fornos mantendo-os “abafados” de forma a reduzir a troca térmica e garantir curvas mais rápidas de partida.

O uso dos estoques intermediários constantes (CONWIP), ou seja, há um máximo definido entre o processo de trefilação e trançagem, por exemplo, é outro importante fator aderência à cultura enxuta. Mas aqui há uma importante observação. Os processos de laminação, trefilação e trançagem são contínuos, como já comentamos. Entretanto, a técnica do VSM está voltada a produções discretas. Por exemplo, o léxico enxuto refere-se ao *pitch* como sendo o incremento de consistente de trabalho, normalmente baseado na quantidade de peças que um contenedor carrega, a fim da criação de um fluxo nivelado Rother e Shook (2005). Mas, como determinar esse incremento neste ambiente de produção contínua?

Se considerada a hipótese de assumir as bobinas finais como unidade de produção, perceber-se-á que não há padronização; de fato cada cabo tem o seu “padrão” usual e, mais significativo, a cada pedido há lances (comprimentos) definidos pelos clientes. Seguindo-se uma alternativa análoga a utilizada por Abdulmalek e Rajgopal (2007) quando experimentaram

esse mesmo problema ao mapearem a fabricação de aço, optou-se por adotar a unidade de 100 kg de alumínio como lote padrão.

Nesse sentido, as informações apresentadas na Figura 20 foram adaptadas às peculiaridades dos processos contínuos: os tempos de processamento foram computados em segundos por quilograma (s/kg), mas também horas por lote de 100 kg (h/lote). O lead time foi determinado somando os tempos de espera dos estoques em processo (WIP) com os tempos de processamento.

3.5.3 Mapeamento do fluxo de valor: mapa do estado futuro

O mapeamento do fluxo de valor no estado futuro foi realizado considerando-se as oito questões propostas por Rother e Shook (2005) apresentadas na seção 2.5.1 e sob o escopo estendido à produção contínua discutido na seção 5.

a) Primeira questão: Qual é o tempo *takt*?

Tempo *takt* diz respeito à taxa a que o mercado irá demandar ou, em outras palavras, a taxa de produção que deve ser cumprida para assegurar o cumprimento das necessidades quantitativas dos clientes. O tempo *takt* é calculado pela equação I:

$$\text{Tempo } Takt = \frac{\text{Tempo de fabricação disponível por dia}}{\text{Demanda do cliente por dia}} \quad (\text{I})$$

Vamos assumir uma demanda, baseada na observada, de 95 toneladas de cabos do tipo *Linnet* por semana mais 30 toneladas do cabo *Grosbeak* também por semana. Isso totaliza 125 toneladas desses dois cabos por semana. Os processos de trefilação e encordoamento trabalham em três turnos diários nos horários das 6:00 às 14:00 horas, das 14:00 às 22:00 horas e das 22:00 às 6:00 horas, de segunda-feira à sábado. Os intervalos para refeições são em esquema de revezamento garantindo-se a operação contínua das máquinas. Daí vem que:

$$\text{Tempo } Takt = \frac{24 \text{ h} \times 60 \text{ min}}{125 \text{ ton} \div 6 \text{ dias}} = 69,1 \text{ [min/ton]}$$

Outra possibilidade é a utilização do número de bobinas como referência. Embora não exista comercialmente uma embalagem padronizada, há determinadas configurações usuais.

Por exemplo, o Quadro 7 apresenta as embalagens usuais para os cabos *Linnet* e *Grosbeak* de um dos maiores fabricantes brasileiros destes produtos.

Quadro 7 – Embalagens usuais

Cabo	Massa (kg)	Lance (m)	Tipo de embalagem (bobina)
Linnet	1.280	1.855	125/100 (125 cm de diâmetro por 100 cm de largura)
Grosbeak	2.550	1.960	170/80 (170 cm de diâmetro por 80 cm de largura)

Fonte: Adaptado de <http://www.prysmian.com.br/export/sites/prysmian-ptBR/energy/pdfs/AluminioCAA.pdf>, acesso em 10/06/2011

Considerando as demandas estimadas por dia de cada cabo e as embalagens acima seriam, por dia, 13 bobinas de *Linnet* mais duas de *Grosbeak*. Isso perfaz a taxa de (tempo *takt*) de 1,6 horas por bobina.

A fim de permitir a simulação na seção 3.5.4 deste trabalho, o tempo *Takt* foi também calculado nas bases do “lote padrão da simulação” de 100 kg e considerando-se a quantidade de alumínio contido em cada cabo, conforme os percentuais definidos anteriormente. Neste caso, serão 65,2 toneladas de alumínio referentes às 95 toneladas de cabo *Linnet* e mais 20,6 toneladas de alumínio referentes às 30 toneladas de cabo *Grosbeak*, totalizando 85,8 toneladas de alumínio contido nos produtos finais a serem entregues ao cliente por semana, ou 858 “lotes” por semana, ficando o cálculo do tempo *Takt* como:

$$Tempo_Takt = \frac{24 \times 60}{(858 \div 6)} = 10 \text{ (min/lote)}$$

O tempo *Takt* a ser utilizado no mapa de estado futuro e na simulação é de 10 minutos por “lote padrão da simulação”, ou seja, 100 kg de alumínio contido.

- b) Segunda questão: O produto será fabricado e destinado diretamente à expedição ou a um supermercado de produtos acabados?

Os cabos são produzidos somente sob encomenda (*make-to-order*) e, normalmente, como praxe entre clientes e fornecedores de cabos de energia para transmissão e distribuição, só podem ser entregues no momento em que todo o lote esteja concluído. No mesmo sentido, alguns clientes exigem um processo de inspeção da qualidade, a partir do lote pronto, antes da liberação para faturamento e embarque. Os produtos acabados no processo de encordoamento

serão destinados à diretamente expedição sem a utilização de supermercado e, portanto, num fluxo empurrado.

c) Terceira questão: Onde será o necessário o uso do sistema puxado?

Como explicado na seção 3.2 a extremidade de entrada do fluxo de fabricação da empresa objeto é um processo de fundição e laminação e, obviamente, por *design*, é um fluxo contínuo. Na sequencia, a etapa de trefilação já utiliza (vide mapa do estado atual na página 75) um sistema de retirada a partir do supermercado que tem suas quantidades estimadas levando-se em consideração, como anteriormente comentado, às necessidades das várias classes de vergalhão para os diferentes fins. A proposta então é a adoção do sistema puxado entre o processo de encordoamento (trançadeiras) e à expedição.

d) Quarta questão: Onde se pode usar fluxo contínuo?

Essa pergunta está já esquematicamente respondida se observados os comentários anteriores sobre a característica do processo fundição-laminação (fluxo contínuo) e o próprio arranjo funcional em linha característico deste tipo de fabricação.

e) Quinta questão: Em qual ponto da cadeia a produção deve ser programada?

A produção deverá atender as datas previstas de entrega cabos (encordoados) pedido a pedido dos clientes. O encordoamento (processo de trançagem) será o processo puxador – *pacemaker* – e ditará o ritmo da trefilação que é o seu precedente.

f) Sexta questão: Como nivelar o mix de produção ao processo puxador?

A resposta se dá com a distribuição da produção dos dois tipos de produtos escolhidos para a elaboração desse mapa do estado futuro, os cabos *Linnet* e *Grosbeak*, de forma uniforme no tempo de produção disponível pelo processo puxador. É o mesmo que dizer que

vários lotes de a mesma sequência deverão ser programados, o que deve evitar estoque processo, o WIP, e entregas mais longas em face da formação de lotes completos mais tardios.

A Equação II proposta por Monden (2011) que determina a sequência nivelada dos produtos a uma taxa constante é a seguinte:

$$d_{ij} = (j - 0,5) \times \frac{T}{D_i} \quad (\text{II})$$

onde: $i = 1, 2, \dots, n$ e $j = 1, 2, \dots, D_i$

n é o número de diferentes produtos a serem fabricados

D_i é o número inteiro referente às unidades demandadas por dia para o produto i

$T = D_1 + D_2 + \dots + D_n$, é o total de unidades de todos os produtos a serem fabricados

d_{ij} é a composição ideal da unidade j do produto i .

Tabela 4 - Aplicação da fórmula proposta por Monden

Prod (i)	Unid (j)	D _{ij}	Prod (i)	Unid (j)	D _{ij}	Prod (i)	Unid (j)	D _{ij}	Prod (i)	Unid (j)	D _{ij}
Linnet	1	0,5769	Linnet	23	25,9615	Linnet	45	51,3462	Linnet	67	76,7308
Linnet	2	1,7308	Linnet	24	27,1154	Linnet	46	52,5000	Linnet	68	77,8846
Linnet	3	2,8846	Linnet	25	28,2692	Linnet	47	53,6538	Linnet	69	79,0385
Linnet	4	4,0385	Linnet	26	29,4231	Linnet	48	54,8077	Linnet	70	80,1923
Linnet	5	5,1923	Linnet	27	30,5769	Linnet	49	55,9615	Linnet	71	81,3462
Linnet	6	6,3462	Linnet	28	31,7308	Linnet	50	57,1154	Linnet	72	82,5000
Linnet	7	7,5000	Linnet	29	32,8846	Linnet	51	58,2692	Linnet	73	83,6538
Linnet	8	8,6538	Linnet	30	34,0385	Linnet	52	59,4231	Linnet	74	84,8077
Linnet	9	9,8077	Linnet	31	35,1923	Linnet	53	60,5769	Grosbeak	1	3,7500
Linnet	10	10,9615	Linnet	32	36,3462	Linnet	54	61,7308	Grosbeak	2	11,2500
Linnet	11	12,1154	Linnet	33	37,5000	Linnet	55	62,8846	Grosbeak	3	18,7500
Linnet	12	13,2692	Linnet	34	38,6538	Linnet	56	64,0385	Grosbeak	4	26,2500
Linnet	13	14,4231	Linnet	35	39,8077	Linnet	57	65,1923	Grosbeak	5	33,7500
Linnet	14	15,5769	Linnet	36	40,9615	Linnet	58	66,3462	Grosbeak	6	41,2500
Linnet	15	16,7308	Linnet	37	42,1154	Linnet	59	67,5000	Grosbeak	7	48,7500
Linnet	16	17,8846	Linnet	38	43,2692	Linnet	60	68,6538	Grosbeak	8	56,2500
Linnet	17	19,0385	Linnet	39	44,4231	Linnet	61	69,8077	Grosbeak	9	63,7500
Linnet	18	20,1923	Linnet	40	45,5769	Linnet	62	70,9615	Grosbeak	10	71,2500
Linnet	19	21,3462	Linnet	41	46,7308	Linnet	63	72,1154	Grosbeak	11	78,7500
Linnet	20	22,5000	Linnet	42	47,8846	Linnet	64	73,2692	Grosbeak	12	86,2500
Linnet	21	23,6538	Linnet	43	49,0385	Linnet	65	74,4231			
Linnet	22	24,8077	Linnet	44	50,1923	Linnet	66	75,5769			

Tabela 5 - Sequenciamento dos resultados

Prod (i)	D_{ij}	Prod (i)	D_{ij}	Prod (i)	D_{ij}	Prod (i)	D_{ij}
<i>Linnet</i>	0,5769	<i>Linnet</i>	22,5000	<i>Linnet</i>	44,4231	<i>Linnet</i>	66,3462
<i>Linnet</i>	1,7308	<i>Linnet</i>	23,6538	<i>Linnet</i>	45,5769	<i>Linnet</i>	67,5000
<i>Linnet</i>	2,8846	<i>Linnet</i>	24,8077	<i>Linnet</i>	46,7308	<i>Linnet</i>	68,6538
<i>Grosbeak</i>	3,7500	<i>Linnet</i>	25,9615	<i>Linnet</i>	47,8846	<i>Linnet</i>	69,8077
<i>Linnet</i>	4,0385	<i>Grosbeak</i>	26,2500	<i>Grosbeak</i>	48,7500	<i>Linnet</i>	70,9615
<i>Linnet</i>	5,1923	<i>Linnet</i>	27,1154	<i>Linnet</i>	49,0385	<i>Grosbeak</i>	71,2500
<i>Linnet</i>	6,3462	<i>Linnet</i>	28,2692	<i>Linnet</i>	50,1923	<i>Linnet</i>	72,1154
<i>Linnet</i>	7,5000	<i>Linnet</i>	29,4231	<i>Linnet</i>	51,3462	<i>Linnet</i>	73,2692
<i>Linnet</i>	8,6538	<i>Linnet</i>	30,5769	<i>Linnet</i>	52,5000	<i>Linnet</i>	74,4231
<i>Linnet</i>	9,8077	<i>Linnet</i>	31,7308	<i>Linnet</i>	53,6538	<i>Linnet</i>	75,5769
<i>Linnet</i>	10,9615	<i>Linnet</i>	32,8846	<i>Linnet</i>	54,8077	<i>Linnet</i>	76,7308
<i>Grosbeak</i>	11,2500	<i>Grosbeak</i>	33,7500	<i>Linnet</i>	55,9615	<i>Linnet</i>	77,8846
<i>Linnet</i>	12,1154	<i>Linnet</i>	34,0385	<i>Grosbeak</i>	56,2500	<i>Grosbeak</i>	78,7500
<i>Linnet</i>	13,2692	<i>Linnet</i>	35,1923	<i>Linnet</i>	57,1154	<i>Linnet</i>	79,0385
<i>Linnet</i>	14,4231	<i>Linnet</i>	36,3462	<i>Linnet</i>	58,2692	<i>Linnet</i>	80,1923
<i>Linnet</i>	15,5769	<i>Linnet</i>	37,5000	<i>Linnet</i>	59,4231	<i>Linnet</i>	81,3462
<i>Linnet</i>	16,7308	<i>Linnet</i>	38,6538	<i>Linnet</i>	60,5769	<i>Linnet</i>	82,5000
<i>Linnet</i>	17,8846	<i>Linnet</i>	39,8077	<i>Linnet</i>	61,7308	<i>Linnet</i>	83,6538
<i>Grosbeak</i>	18,7500	<i>Linnet</i>	40,9615	<i>Linnet</i>	62,8846	<i>Linnet</i>	84,8077
<i>Linnet</i>	19,0385	<i>Grosbeak</i>	41,2500	<i>Grosbeak</i>	63,7500	<i>Grosbeak</i>	86,2500
<i>Linnet</i>	20,1923	<i>Linnet</i>	42,1154	<i>Linnet</i>	64,0385		
<i>Linnet</i>	21,3462	<i>Linnet</i>	43,2692	<i>Linnet</i>	65,1923		

No presente caso é simples obter o esquema de nivelamento que poderia ser facilmente obtido sem a fórmula proposta por Monden, mas que fica aqui mantida a fim de compreensão do método. Estimando por semana, n é igual a dois, D_i equivale a 78 bobinas de *Linnet* e 12 de *Grosbeak*, perfazendo T igual a 90. O resultado da aplicação da fórmula está apresentado na Tabela 4 e subsequentemente ordenado na Tabela 5 definindo, portanto, o esquema de nivelamento da produção dos cabos.

g) Sétima questão: Qual incremento uniforme de trabalho será liberado para o processo puxador?

Não faz sentido falar de contenedores ou outras formas de padronização nos processos contínuos. A alternativa de definir um peso padrão a se adotar para os carretéis intermediários de fios ou para as bobinas de cabos prontos, também não é razoável uma vez que tanto os fios com diâmetros diferentes e os cabos com suas especificidades face às formações possíveis, implicam em relações quilograma por quilômetro diferentes a cada item. Posteriormente, para

efeito do modelo e simulação, adotou-se o lote padrão de 100 kg como incremento, mas, para efeito do mapa do estado futuro, descartou-se tal hipótese.

h) Oitava questão: Quais melhorias serão necessárias para atingir o estado futuro?

O foco do presente trabalho é o de introduzir duas ferramentas até então não utilizadas pela empresa objeto deste estudo em que pese o seu intensivo programa de implementação da mentalidade enxuta. São elas: o *Heijunka* e a produção puxada exclusivamente, eliminando-se por completo as tradicionais ordens de produção geradas pelo sistema MRP.

A partir das premissas definidas pelas questões acima, foi elaborado o mapa do estado futuro, tal como mostrado na Figura 21.

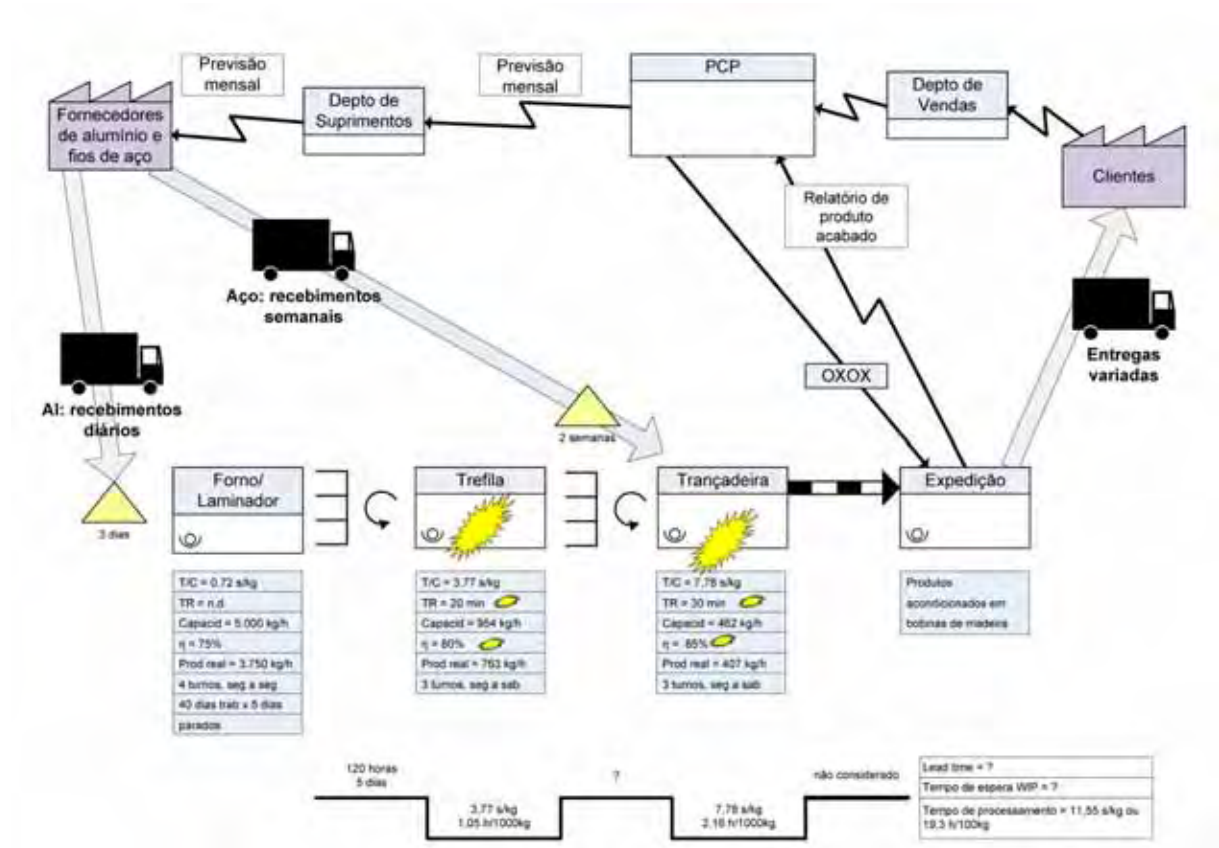


Figura 21 – Mapa do estado futuro

3.5.4 Simulação e validação

3.5.4.1 Modelo do estado atual

A seção 2.5.3 tratou da técnica de simulação como apoio ao mapeamento do fluxo de valor. A simulação permite a visualização dinâmica do ambiente além de tratar uma razoável quantidade de dados possibilitando a análise sistêmica e planejada. É, desta forma, uma ferramenta avançada que vem a complementar e aprimorar a identificação de oportunidades de melhoria pretendidas. A simulação é ainda mais importante no caso do presente trabalho, por se tratar de um arranjo funcional, vide Figura 22, com várias máquinas para cada tipo de processo e, conseqüentemente, rotas diferentes possíveis a cada produto.

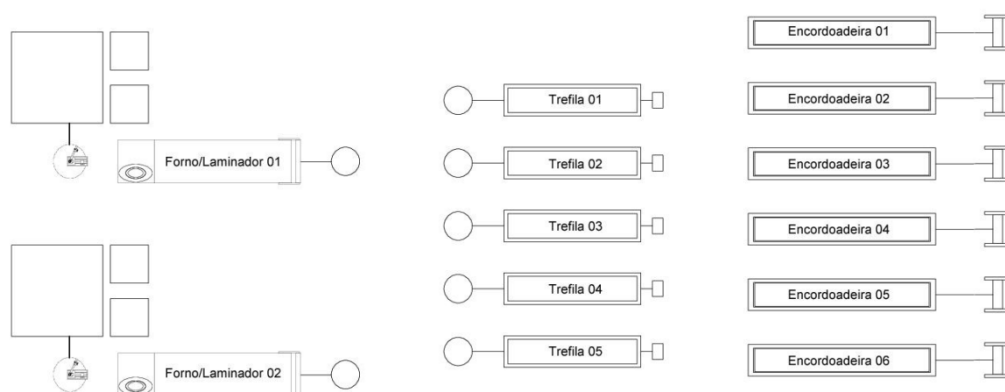


Figura 22 – Lay-out dos equipamentos produtivos

Considere-se ainda que determinados produtos podem, como default, passar duas vezes por uma mesma máquina em *looping* quer seja para uma maior redução no diâmetro do fio, no caso de trefilação, ou ainda para receber uma camada extra de fios de alumínio depositados sobre as camadas anteriores. Por exemplo, um cabo do tipo *Duck* formado por sete fios de aço e mais 54 fios de alumínio cuja formação é mostrada na Figura 16. Neste caso, sobre a alma de aço de sete fios, numa primeira passagem o cabo recebe uma camada de 12 fios de alumínio e, nesta mesma passada, porém através de outra gaiola, recebe outra camada de 18 fios. Os 24 fios de alumínio restantes serão aplicados numa segunda etapa de processamento quando o produto intermediário (de formação $7 + 30$) retorna à máquina para servir de base para esse último encordoamento.

Ainda neste sentido, trata-se de uma instalação industrial antiga que apesar de ter passado por intensos programas de melhoria e modernização, como por exemplo, o de TPM *Total Productive Maintenance*, tem seus equipamentos mesmo os similares com performances diferentes entre si. Tudo isso culmina em condições difíceis de serem avaliadas senão de forma dinâmica e estocástica, pelo que se decidiu o uso do ambiente de simulação por computador.

Para esse trabalho optou-se pelo uso do software *Arena® Simulation Software* da empresa *Rockwell Automation*, na versão 14.00 e licença *Student*. Trata-se de um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém os recursos para modelagem de processos, desenho e animação, análise estatística e análise de resultados. A linguagem incorporada é o SIMAN criada em 1982 pela *Systems Modeling Corporation*, tendo sido a primeira linguagem específica de simulação destinada a IBM-PC compatíveis. Em 1990 foi lançado o pacote CINEMA, que ao integrado ao SIMAN permitia apresentar uma representação animada e em cores do funcionamento do sistema (Arena Simulation Software, 2012).

Todos os dados utilizados neste trabalho foram recolhidos *in loco* na empresa objeto de estudo. A empresa dispunha de um sofisticado sistema de monitoramento e controle de sua produção, cujos dados obtidos automática ou mesmo manualmente estavam digitalmente armazenados em *data warehouses*, o que viabilizou a presente pesquisa. Esse repositório de dados é parte constituinte do sistema ERP *Enterprise Resource Planning*¹⁵ da empresa, que se utiliza predominantemente da plataforma Oracle (sistema de gestão de banco de dados orientado a objeto fornecido pela multinacional de origem americana *Oracle Corporation*).

Os dados referentes às características dos processos, especialmente quanto ao tempo de processamento, foram tratados por meio do *Input Analyzer*, software integrante do Arena. Esta ferramenta fornece ajustes estatísticos para um conjunto de dados experimentais e auxilia na determinação da melhor função que se ajusta. Atenção especial também foi dada aos tempos de troca de todas as máquinas (*set-up*).

O Quadro 8 apresenta as estimativas dos tempos de processamento. A coluna *square error* refere-se ao erro estimado pelo ajuste escolhido e a coluna “n” o número de dados experimentais colhidos para a análise.

A Figura 23 apresenta a tela do *Input Analyzer* com detalhe, no canto superior à direita, do ajuste da distribuição referente a trefila número 01 produzindo o fio 2,88 mm e os *square error* da diferentes possibilidades.

¹⁵ Planejamento dos recursos da empresa. Sistema integrado de gestão empresarial.

Quadro 8 – Dados estimados pelo Input Analyzer

Equipamento	Grupo	Produto	Tempo de Processamento	<i>Square Error</i>	n
TF01	Trefilação	Fio 2,88 mm	0,93 + GAMM (0,0357; 4,56)	0,0073	220
TF01	Trefilação	Fio 3,97 mm	NORM (0,843; 0,0405)	0,0074	100
TÇ01	Encordoamento	Cb Linnet	NORM (3,18; 0,0421)	0,0163	204
TÇ01	Encordoamento	Cb Grosbeak	TRIA (2,21; 2,31; 2,46)	0,0104	200
TÇ02	Encordoamento	Cb Linnet	3,04 + ERLA (0,0152; 7)	0,0073	185
TÇ02	Encordoamento	Cb Grosbeak	TRIA (2,21; 2,31; 2,43)	0,0166	140

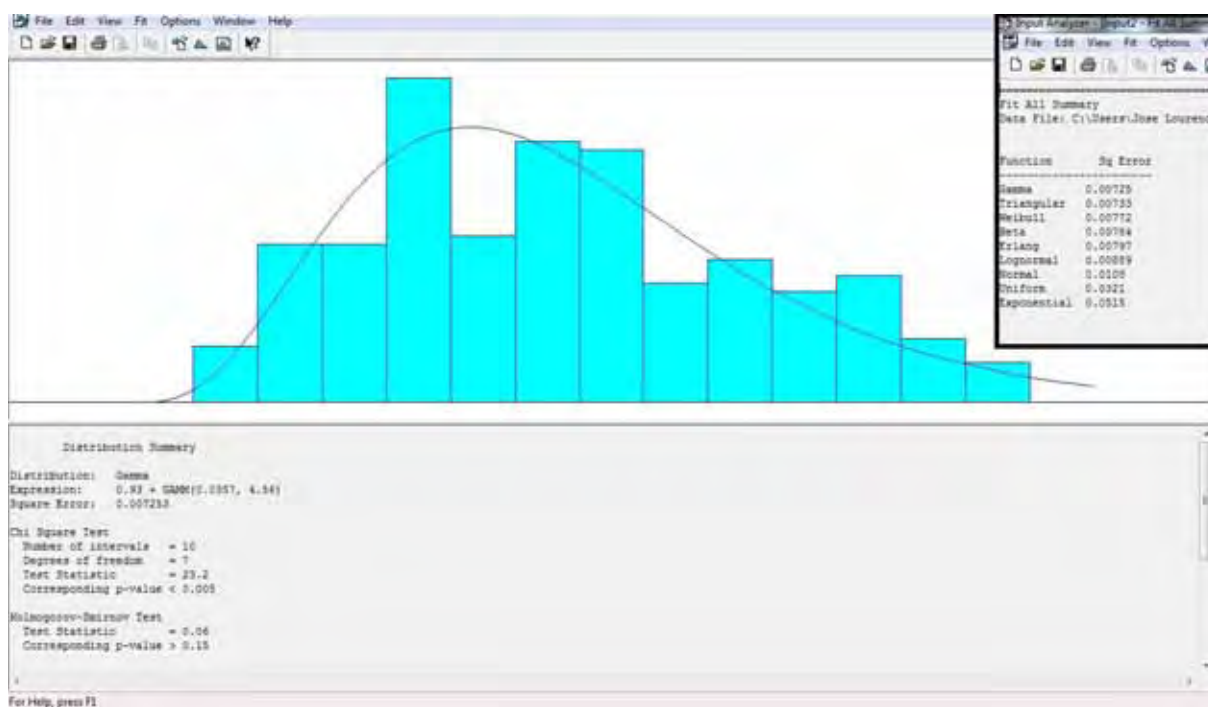


Figura 23 – Tela do Input Analyzer (referente à TF01 Fio 2,88mm)

As Tabela 6 e Tabela 7 apresentam esses tempos para as trefilas e trançadeiras. As medições foram, realizadas por conta de um dos muitos *Jishuken* levados à cabo a fim de redução dos tempos de *set-up* mas careciam de um acompanhamento mais rígido com respeito a sua manutenção.

Para efeito da simulação, em se desconhecendo a curva de distribuições destes valores, adotou-se os valores constantes – desprezando-se a variabilidade – de 18 minutos para o *set-up* das trefilas e de 30 minutos para o das trançadeiras.

Acerca da confiabilidade dos equipamentos trabalhou-se com dados reais de paradas não programadas e o tempo necessário até o reparo que, na linguagem típica da manutenção, representam os parâmetros MTBF (*Mean Time Between Failures*) e o MTTR (*Mean Time to Repair*). Tais dados foram obtidos dos relatórios diários de manutenção e as distribuições, apresentadas no Quadro 9, ajustadas para o tipo “exponencial” usualmente aplicadas quando a falha acontece por problemas aleatórios (RAUSAND e HOYLAND, 2004).

Por fim, foram elaborados dois modelos: um para o estado atual e o outro para o estado futuro.

A ideia básica é de aproveitar do estado atual com base para o processo de validação da modelagem e, por isso, foram mantidas as mesmas condições operacionais exceto por àquelas relacionadas às propostas de melhoria.

Tabela 6 – *Set-Up* Trefilas, sequência operacional para troca de bitola

Atividades	Duração [min]
1. Seccionar vergalhão, ligar, pelar e desligar máquina	0:17
2. Desligar bomba e puxar vergalhão	0:13
3. Preparar o jogo	8:50
4. Tirar jogo de fieira	1:09
5. Carregar máquina, fechar tampa traseira e tampa principal	5:56
6. Ligar bomba de óleo trefilal	0:09
7. Trocar espula	0:28
8. Dar partida	0:06
Tempo total	17:08

Tabela 7 – *Set-Up* Trançadeiras, sequência operacional

Atividades	Duração [min]
GAIOLA 11 ESPULAS	
Abrir tampas / cortar fios e colocar mangueira de ar.	1:03
Carregamento	4:44
Amarrar fios e fechar tampas.	1:45
Passar fita e emendas.	1:23
Passar fita e instalar “pega cavalo”	0:15
Levar emenda até tubo de 12 espulas	0:53
Sub total	10:03
GAIOLA DE 16 ESPULAS	
Abrir tampas / cortar fios e colocar mangueira de ar	2:01
Carregamento	7:26
Amarrar fios e fechar tampas	3:42
Passar fita e emendas	1:18
Passar fita e instalar “pega cavalo”	0:19
Levar ponta do cabo até bobina saída	1:23
Troca de bobina	3:10
Partida	0:12
Tempo total	29:34

Quadro 9 – Tempos relativos às quebras das máquinas

	MFBF (<i>Mean Time Between Failures</i>) em minutos	MTTR (<i>Mean Time to Repair</i>) em minutos
TF01	EXPO (31680)	UNIF (40,120)
TÇ01	EXPO (40320)	UNIF (40,240)
TÇ02	EXPO (40320)	UNIF (40,240)

A Figura 24 apresenta o modelo do estado atual que se limitou a simular o fluxo desde a trefila até o produto acabado, excluindo os fornos-laminadores. Acontece que, considerando que o processo dos fornos-laminadores abastece toda a fábrica e uma enorme gama de produtos, a decisão de excluí-los da presente simulação tem a justificativa da exequibilidade

corroborada pela constatação de que já é um processo que vem sendo sistematicamente otimizado há anos, como comentado anteriormente e, portanto, como pequena contribuição ao objetivo deste trabalho.

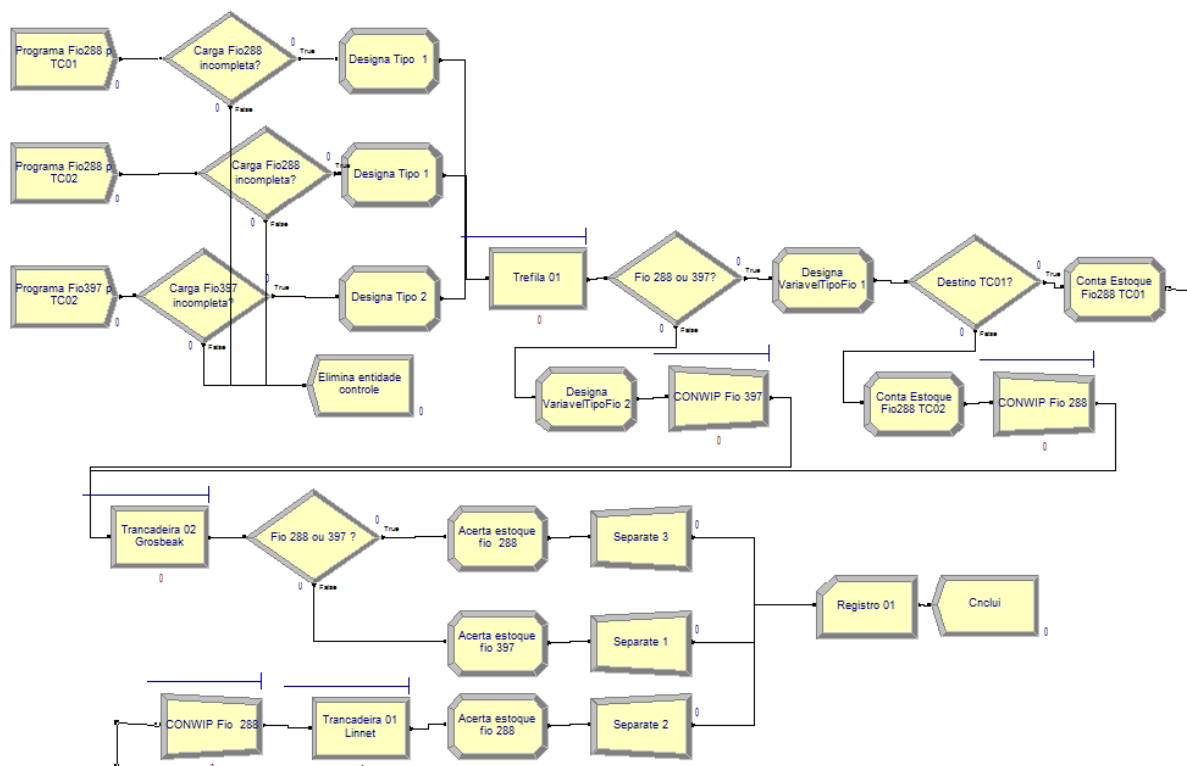


Figura 24 – Modelo de simulação: mapa do estado atual

A simulação considera os cabos já escolhidos como representativos e, para a modelagem do estado atual utilizou-se das mesmas rotinas de programação destes produtos a partir de fios trefilados no equipamento TF01 e depois trançados nos equipamentos TC01 e TC02. Da mesma forma, foram considerados (utilizando-se o módulo *Schedule* do Arena) exatamente os mesmos programas de produção de praxe utilizados pela empresa para a produção dos cabos *Linnet* e *Grosbeak*.

Uma consideração é importante neste momento. A proposta é a simulação de um sistema contínuo por meio de um modelo discreto utilizando-se do software Arena. Nas seções anteriores 3.5.2, a) e g) discutiu-se acerca das restrições a um lote padrão e a um incremento uniforme – chamado *pitch* no léxico enxuto – para o processo puxador. Pois tais considerações voltam a tona ao se buscar parâmetros que possam aproximar a simulação discreta ao processo real. A princípio, adotar pequenos incrementos de tal forma a fazer de cada entidade discreta também o quanto menor a ponto de aproximar-se do modelo contínuo, parece uma alternativa. Entretanto ela esbarra em questões práticas; além de não fazer sentido

no aspecto prático pela própria definição do que é um processo contínuo ainda cria um número muito grande de entidades no sistema onerando o processo de simulação. A versão *Student* do software limita-se a 150 entidades simultâneas no sistema. Neste caso, a opção foi a de adoção do padrão de 100 kg como referencial. Sob tal número foram ajustados todos os parâmetros da simulação inclusive os apresentados no Quadro 9 que, inicialmente, estavam ajustados para 1.000 kg (1 tonelada) que é a medida mais usual da empresa objeto deste estudo.

Atenção especial também foi dada aos tempos de troca de todas as máquinas (*set-up*). Neste caso específico não havia registros históricos (medidas) destes tempos, mas tão somente procedimentos internos definindo a rotina padrão das trocas e tempo gastos em cada atividade. Acerca da confiabilidade dos equipamentos trabalhou-se com dados reais de paradas não programadas e o tempo necessário até o reparo que, na linguagem típica da manutenção, representam os parâmetros MTBF (*Mean Time Between Failures*) e o MTTR (*Mean Time to Repair*).

Depois de explanado acerca dos fundamentos da simulação há a necessidade de se tratar da sua validação. A validação é o esforço no sentido de demonstrar se o modelo descreve adequadamente o comportamento do sistema real e um método comum para tal verificação é a comparação dos resultados da simulação com dados reais históricos. (MORABITO e PUREZA, 2010).

Nesse sentido, foram dois esforços. O primeiro na conferência rigorosa da programação em si, tanto pela interface visual do software como também por meio das linhas de códigos SIMAN (disponível na URL <http://www.joselourecojunior.com.br/arquivos/siman/CodigoSIMAN.pdf>). Posteriormente, passou-se a comparação dos resultados com os dados históricos e a Tabela 8 apresenta tal avaliação.

Claro que o esforço de validação deve ser coerente com o nível de precisão do modelo requerido ao propósito que se destina. A comparação com os resultados referentes às quantidades produzidas (dados históricos) e o simulado, considerando-se que o modelo adotou o padrão de planejamento de praxe para os produtos escolhidos para essa pesquisa, é uma alternativa natural. Outro dado passível de comparação são os *lead-times* simulados e os adotados pela empresa como “típicos” que, em outros usos, serviam de base para o custeio e precificação dos materiais.

Tabela 8 – Validação do modelo

	Dados Históricos	Simulado
Quantidade produzida do cabo <i>Linnet</i> para 1.440 horas (ton)	de 675 até 790	751,5
Quantidade produzida do cabo <i>Grosbeak</i> para 1.440 horas (ton)	de 130 até 152	135,0
<i>Lead Time Linnet</i> (h)	10 (considerado pela engenharia para fins de custeio)	de 1,3 até 47,2 $\bar{x} = 6,2$ (média) $\hat{x} = 4,9$ (moda)
<i>Lead Time Grosbeak</i> (h)	25 (considerado pela engenharia para fins de custeio)	de 8,0 até 86,6 $\bar{x} = 26,2$ (média) $\hat{x} = 8,7$ (moda)

A intenção da elaboração desse modelo do estado atual e sua validação dão-se a fim de, a partir do modelo atual, construir o modelo do estado futuro. Esse último, em se tratando de uma idealização que incorpora melhorias e a introdução de ferramentas enxutas, não pode ser validade senão pela sua similaridade com o do estado futuro alterada exclusivamente nos pontos tocantes à introdução das melhorias.

Alguns resultados da simulação do modelo do estado atual são oportunos de serem apresentados e, posteriormente, discutidos frente à simulação do mapa do estado futuro. O tratamento dos dados deu-se por meio do *Output Analyzer*, outro software que acompanha o programa Arena. Os Apêndices B e C apresentam, respectivamente, a questão lead-time para os cabos *Linnet* e *Grosbeak* e o estoque de material em processo a cada momento da simulação. As simulações foram desenvolvidas para 7.500 horas, cerca de um ano considerada a semana trabalhada de segunda-feira à sábado em três turnos de oito horas cada um.

3.5.4.2 Modelo do estado futuro

Com o objetivo de avaliar a proposta de VSM do estado futuro e o impacto do eventual uso das ferramentas da Produção Enxuta eleitas como foco deste trabalho, quando da resposta à oitava questão do roteiro de elaboração do mapa do estado futuro, um novo modelo de simulação é utilizado. A simulação pode complementar o mapeamento de fluxo de valor, valorizando-o, possibilitando a análise, avaliação, melhoria e em diferentes cenários do mapa

do estado futuro e, por fim, ainda documentar todo o esforço na introdução de melhorias. O foco está em duas ferramentas da Produção Enxuta: o *Heijunka* e a produção exclusivamente puxada (eliminando-se as ordens de produção geradas pelo MRP). O modelo utilizado é apresentado pela Figura 25 (e o respectivo código SIMAN disponível na URL <http://www.joselourecojunior.com.br/arquivos/siman/CodigoSIMAN.pdf>).

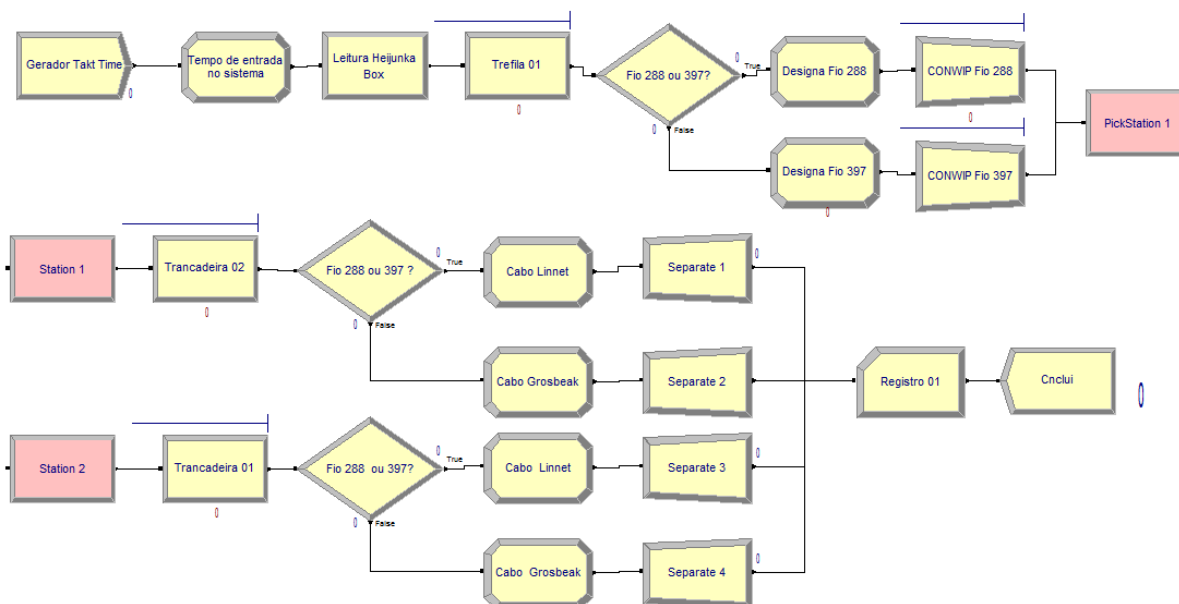


Figura 25 – Modelo de simulação: mapa do estado futuro

O modelo baseou-se nos mesmos parâmetros do outro realizado acerca do mapa do estado atual, de forma a garantir a sua validação. As modificações referem-se ao mecanismo de controle da produção e a lógica de programação de forma a incluir o sistema exclusivamente puxado e o *Heijunka*.

De início, a tentativa em se simular o novo modelo levou a uma fila crescente na Trefila 01 importando no estouro do sistema e interrupção da simulação. A razão é simples: o tempo de *set-up* da trefila é impeditivo ao funcionamento do sistema na nova lógica a partir do *Heijunka* e, conseqüentemente, trocas mais frequentes. Portanto, uma primeira conclusão. Para a empresa viabilizar o uso do sistema conforme o mapa do estado futuro proposto, um *Kaizen* no tempo de *set-up* da trefila se faz necessário. A fim de se determinar qual a redução mínima necessária adotou-se várias simulações com tempos diferentes de *set-up*. O valor de 14 minutos de tempo de troca, ao invés dos 18 minutos apresentados na Tabela 6, mostrou-se necessário o que significa uma redução de cerca de 23%.

Alternativas de redução de *set-up* já haviam sido anteriormente aventadas pela empresa e diversas alternativas de melhorias identificadas. O não prosseguimento no sentido

da operacionalização dessas ações deveu-se porque a empresa não tinha quantificado os eventuais ganhos e efetivo impacto na produtividade. Então, a fim da continuidade deste trabalho assumiu-se como plenamente exequível a redução de *set-up* e passou-se a considerá-lo como sendo de 14 minutos para aquele equipamento. Todos os demais parâmetros foram mantidos na simulação.

Neste caso, trata-se de um modelo de simulação não terminal, como classificado usualmente (MORABITO e PUREZA, 2010). Isso significa que as condições iniciais para uma simulação não importam, uma vez que um período transiente (tempo de *warm-up*) será necessário para o sistema carregar-se com entidades e subsequentemente atingir o estado “em regime” do sistema. Para o estabelecimento do período transiente foram realizadas simulações com 7.500 horas (o equivalente a um ano de trabalho a partir de três turnos de oito horas e de segunda-feira a sábado) e cinco réplicas. Tomou-se como a variável de saída WIP (estoque em processo) ao verificar-se como sendo a de mais longo tempo até o estado em regime. A Figura 26 apresenta a representação gráfica do período transiente, o qual foi definido em três horas de simulação.

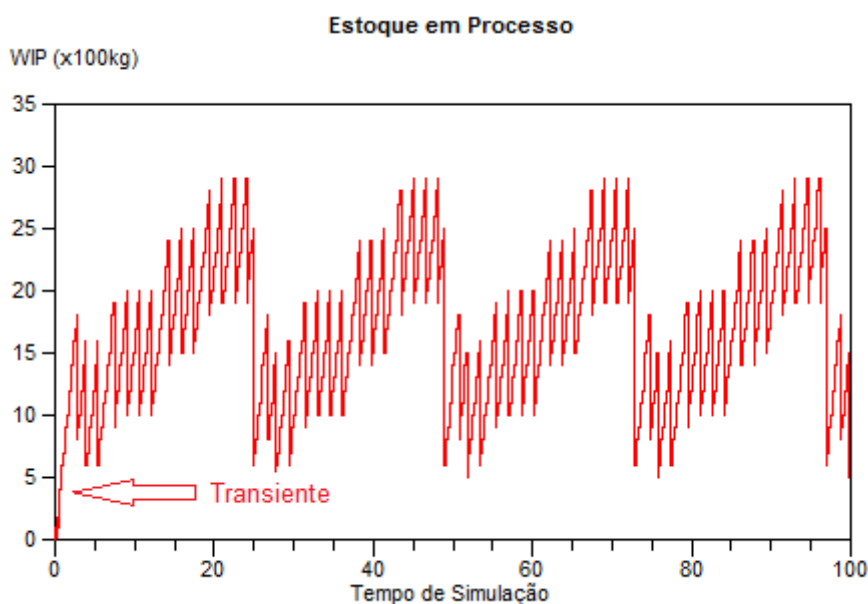


Figura 26 – Período transiente da simulação não terminal

Uma vez identificado o período transiente e após tê-lo expurgado (*truncate*) dos resultados, operação realizada por meio do software *Output Analyzer* do pacote Arena, é possível passar para a etapa de análise dos resultados.

A seção seguinte apresenta os resultados do *survey* realizado com os fabricantes de condutores elétricos e as simulações tratadas na presente seção dessa tese.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presente seção relata os resultados obtidos nos procedimentos de pesquisa adotados na presente tese. Inicialmente são apresentados os relativos ao survey realizado entre os fabricantes de condutores elétricos e, a seguir, os resultados obtidos nas simulações realizadas a partir do mapa do estado futuro.

4.1 Resultados do *Survey* com os fabricantes de condutores elétricos

4.1.1 Taxa de retorno dos questionários on-line

A taxa de retorno ficou em 22,9% (11 empresas respondentes), obtida pelas respostas ao primeiro e-mail enviado, isto é, as empresas que não responderam o convite enviado inicialmente ao seu principal executivo, também não o fizeram no reenvio e tampouco ao e-mail dirigido aos responsáveis pela qualidade. Segundo Forza (2002) nos *survey* de caráter exploratório não há mínimo previsto para a taxa de retorno e, por outro lado, para survey descritivos, a taxa deve ser maior do que 50% da população investigada. Miguel e Ho (2010) ressaltam que, a despeito da aceitação de taxas de 20% serem comuns na literatura, tais valores limitam a validade e a capacidade de generalização dos resultados. Comparando a trabalhos com métodos de pesquisa semelhantes como os de Pinto, Carvalho e Ho (2006) e Antonelli e Santos (2009), com as taxas de retorno de 19,8% e 18,3% respectivamente, consideramos a taxa satisfatória embora demandante de cuidado quanto a generalização e validade absolutas.

4.1.2 Caracterização das empresas e dos respondentes

Sobre a origem do capital, 36,4% responderam ser estrangeiro. O mercado global de condutores elétricos vem nos últimos anos passando por processos de fusões e aquisições reduzindo significativamente o número de *players*. O número de empresas com capital estrangeiro que responderam ao questionário representa a totalidade dos principais fabricantes mundiais instalados no Brasil.

A fim de dispor de uma classificação das empresas quanto ao porte, utilizou-se dos critérios do BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social acerca da

receita operacional bruta consolidada e do SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas quanto ao número de funcionários. A maior parte, 72,7%, respondeu ter um faturamento anual maior que 60 milhões de reais, sendo que 63,6% disseram ter mais do que 400 funcionários. Os dados colhidos confirmam a adequação na seleção da amostra como o proposto no planejamento da pesquisa. E, por fim deste bloco de questões, 63,6% dos respondentes eram gerentes, 27,2% estavam no nível de presidência ou diretoria e 9,1% de supervisores. A Figura 27 dá dimensão visual a esses dados obtidos.

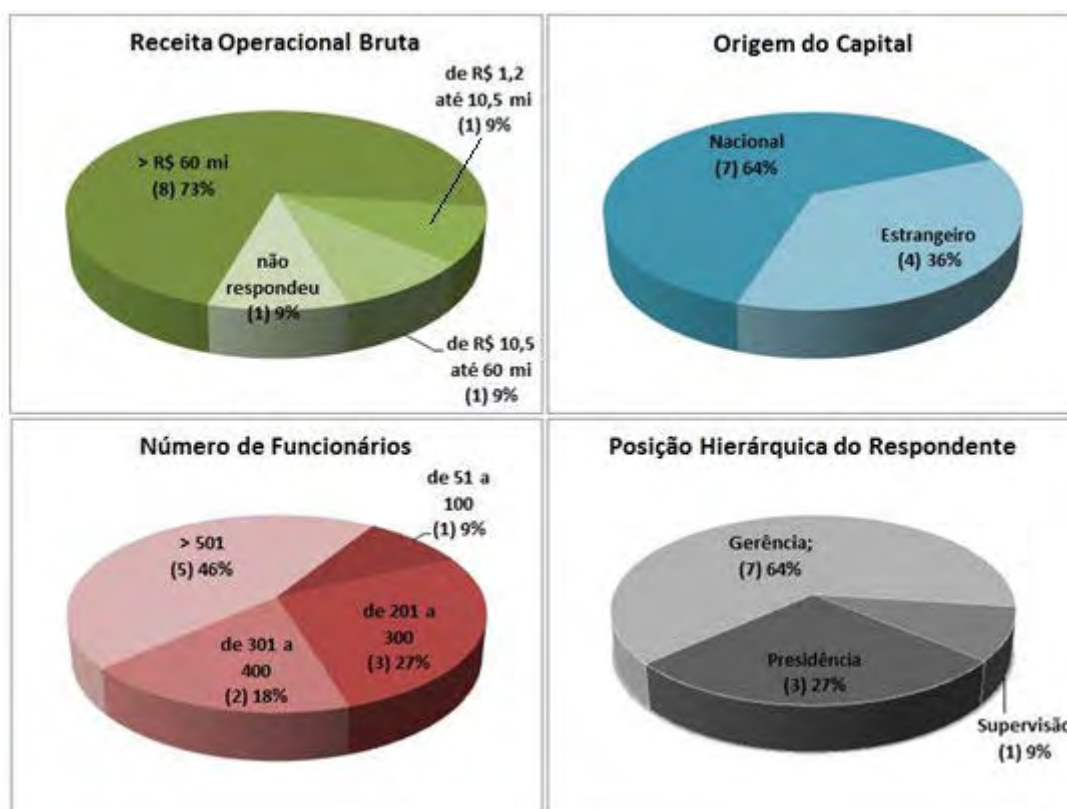


Figura 27 – Características dos respondentes

4.1.3 Sobre a implantação da Produção Enxuta e suas técnicas e ferramentas

Das empresas participantes, 45,5% responderam que já implantaram, estão em processo de implantação ou decidiram pela implantação do conceito da Produção Enxuta (ou suas técnicas e ferramentas), mesmo que parcialmente. Entre essas, estavam as quatro empresas de capital estrangeiro que contribuíram em 80,0% com aquele percentual (quatro das cinco empresas que responderam “sim”). Portanto, embora por pequena diferença, a maior parte das empresas não adotou ou decidiu pela adoção do conceito, e todas elas são de capital nacional.

Apenas para as empresas que responderam “sim” ao serem questionada sobre ter implantado, estar em implantação ou ter decidido pela implantação do conceito, o questionário apresentava uma questão a fim da classificação das razões que levaram à decisão quanto a contribuição de cada uma.

A Tabela 9 apresenta os valores referentes as médias ($\bar{x}$) e desvios-padrão (s) obtidos, por meio da aplicação de uma escala de 5 pontos onde 1 indicou a mínima contribuição (“pouco ou nada contribuiu”) e o 5 a máxima contribuição (“contribuiu decisivamente”). Entre os três motivadores classificados com a maior média, portanto de maior contribuição para a decisão da adoção do conceito, encontra-se a expectativa de melhoria da flexibilidade na utilização dos equipamentos produtivos. Lembrando que se tratar de empresas de processo contínuo ao que a revisão da literatura descreve seus equipamentos de produção como relativamente fixos, de utilização compartilhada para vários produtos e de elevado capital imobilizado como, por exemplo, os autores Mahapatra e Mohanty (2007) e Bortolotti, Danese e Romano (2012), a expectativa de flexibilização aferida na pesquisa parece comprovar tal preposto.

No outro extremo da Tabela 9, a baixa pontuação do motivador “melhoria da confiabilidade dos fornecedores” encontra justificativa no baixo incentivo em promover grandes transformações no relacionamento com a cadeia de abastecimento ao se tratar com poucos fornecedores quase sempre monopolistas ou oligopolistas, como característica do segmento.

Tabela 9 - Motivos para a decisão de implantar o conceito de Produção Enxuta

	$\bar{x}$	s		$\bar{x}$	s
Melhoria da flexibilidade (inclui disponibilidade) na utilização dos equipamentos	4,6	0,5	Melhoria da eficiência da mão de obra	4,0	0,0
Redução do lead-time	4,6	0,5	Melhoria do relacionamento com os clientes	4,0	0,8
Ganhos (ou manutenção) na competitividade	4,6	0,5	Redesenho (otimização) do layout da fábrica	3,8	0,4
Redução de estoques	4,4	0,9	Melhoria das margens e lucratividade	3,8	1,3
Redução dos erros de programação (previsão)	4,4	0,5	Melhoria da qualidade	3,6	1,1
Intensificação no foco no cliente/mercado	4,4	0,5	Redução da burocracia interna	3,6	0,9
Redução dos custos de fabricação	4,0	1,2	Melhoria da qualidade dos itens e matéria-prima adquiridos	3,2	0,8
Redução dos espaços de armazenagem e de produção	4,0	0,0	Melhoria da confiabilidade dos fornecedores	3,0	0,8
Redução de sucata e retrabalho	4,0	1,4			

Na sequência do questionário, 72,7% (oito empresas) disseram se encontrar num estágio de implantação de até 25% do projeto concluído e, entre essas estão incluídas as seis que responderam não terem decidido pela implantação. Por outro lado, duas empresas se posicionaram entre 50 e 75% da implantação total e, apenas uma, estimou estar entre 75% e 100%. Numa avaliação imediata, a amostra apresenta um percentual pequeno de empresas que se posicionam como estando em processos de implantação ou de uso efetivo do conceito de Produção Enxuta.

Aqui há uma questão complexa quanto a medida do quanto e como, de fato, a empresa entende o conceito de Produção Enxuta e não, numa visão estreita, assume parte de suas técnicas e ferramentas como o próprio conceito. Alguns autores têm abordado esse tema. Shah e Ward (2007) ao rotularem como uma confusão linguística citam Platão que, em 360 AC, sugeriu que a confusão surge porque vários termos podem se referir ao mesmo objeto ou ideia, um único termo pode referir-se ambigualmente a mais de um objeto ou ideia, e os termos podem ser confusos por estarem ultrapassados. Pelo bom senso, prevalece a necessidade de interpretações prudentes de forma a não confundir, por exemplo, a adoção de programas participativos de melhoria, que podem ser denominados como *Kaizen*, como um percentual qualquer de implantação do conceito de Produção Enxuta.

Noutra questão, e a propósito da confusão citada no parágrafo anterior, foi perguntado sobre como a empresa percebia a Produção Enxuta. Para tanto, foram apresentadas cinco afirmações, as quais foi solicitado que o respondente utilizasse a seguinte escala: 1 – Muito Fortemente, 2 – Fortemente, 3 – Moderadamente, 4 – Levemente e 5 – Não se percebe assim. A afirmação “como um modismo” teve a média de 4,2, denotando a percepção de que o conceito é mais do que simples mote do *pop management*¹⁶.

Sobre ser um conjunto de técnicas e ferramentas de gestão principalmente da produção, a média obtida ficou em 2,7 insinuando o rótulo que o conceito ainda carrega de ser uma prática de chão de fábrica; a própria revisão da literatura corrobora tal percepção até pelo aspecto da evolução do conceito ao longo dos anos, vide, por exemplo, Hines, Holweg e Rich (2004). Sobre ser “um método para a melhoria da produtividade”, a avaliação média foi de 1,9. Nenhum destes resultados teve alterações significativas quando estratificados pelas respostas “sim” ou “não” à pergunta sobre ter implantado, estar em implantação ou ter decidido pela implantação do conceito. Porém, diferentemente disso, é o que acontece quando submetidos à afirmação “trata-se de um conceito de abordagem parcial da minha empresa”.

¹⁶ A literatura de *pop-management* compreende livros e revistas de consumo rápido, produzida pela mídia de negócios.

Aqui os respondentes juntos cravaram a de média 3,3. Entretanto, ao estratificar aos que responderam “sim”, a nota passa a ser 4,0 contra 2,7 dos que disseram “não”. No mesmo sentido, na última afirmação desta série, de que “é um conceito de abordagem holística na empresa” a média de todos os respondentes de 3,3 passou a 2,6 para os que disseram “sim” e 3,8 para os que disseram “não”. A Figura 28 representa graficamente esses resultados.

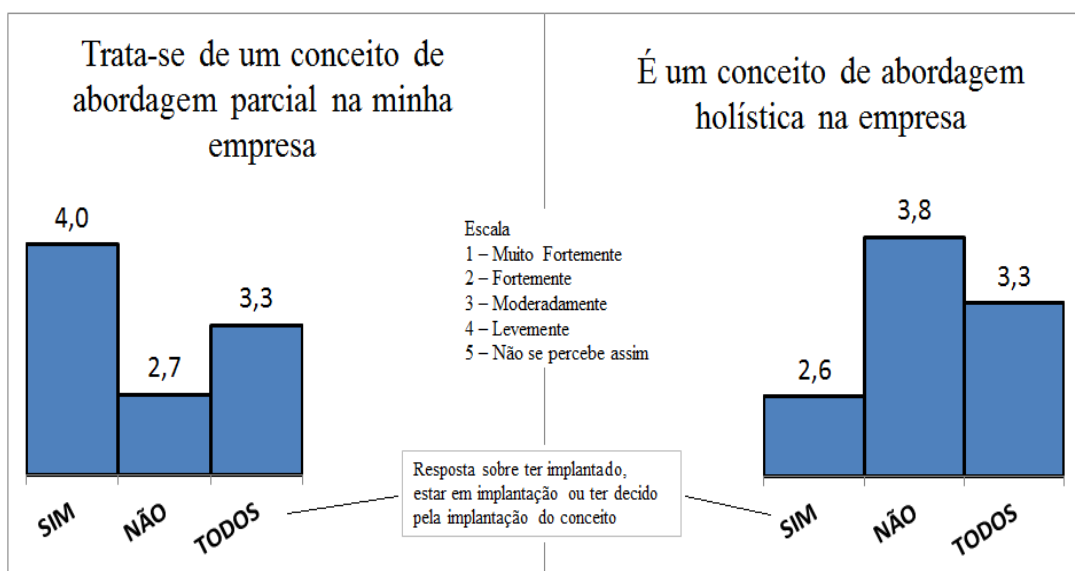


Figura 28 – Respostas estratificadas pelos respondentes que adotaram ou não o conceito

A partir desses resultados estratificados é possível sugerir que as empresas decididas pela adoção do conceito desenvolveram uma visão mais ampla e reconhecem as possíveis limitações à plena utilização do conceito. Note-se a correlação entre as empresas que iniciaram ou decidiram pela implantação da Produção Enxuta e o incremento da percepção como um conceito (e ferramentas) não totalmente aplicável. Mais uma vez, a condição de fabricação contínua do universo pesquisado endossa a percepção de tais restrições e, em tese, reforça a oportunidade e relevância do presente trabalho.

Dando seguimento aos resultados obtidos, o questionário apresentou 16 ferramentas ou técnicas da Produção Enxuta e, para cada uma, foi perguntado sobre a aplicabilidade e a eficácia na empresa adotando-se a seguinte escala: 4 – Aplicável e extremamente eficaz, 3 – Aplicável e eficaz, 2 – Aplicável, mas pouco eficaz, 1 – Não aplicável. O respondente foi orientado para não responder caso não estivesse suficientemente familiarizado com a ferramenta. Numa questão seguinte foi solicitado o status da implantação de cada uma das mesmas técnicas da Produção Enxuta. Neste caso, uma escala de três pontos foi adotada: não implantada, em implantação e implantada. Os resultados estão compilados na Tabela 10.

Tabela 10 – Ferramentas enxutas

	Aplicabilidade e Eficácia			Utilização		
	Média ($\bar{x}$)	Desvio Padrão (s)	Sem Avaliação	Não Implantada	Em Implantação	Implantada
Kaizen: esforços de melhorias contínuas	4,0	0		9,1%	36,4%	54,5%
5S	3,7	0,5		18,2%	18,2%	63,6%
Gestão Visual	3,7	0,5	9,1%	27,3%	45,5%	27,3%
Padronização do trabalho	3,7	0,5	9,1%	18,2%	63,6%	18,2%
TPM - Manutenção Produtiva Total	3,6	0,7		36,4%	45,5%	18,2%
Trabalhador multifuncional / rodízio de funções	3,6	0,5		18,2%	36,4%	45,5%
Set-up rápido	3,5	0,5		18,2%	63,6%	18,2%
Trabalho em equipes (CCQ, APG ou outras formas de trabalhos de grupos)	3,5	0,5		27,3%	36,4%	36,4%
Produção conforme <i>takt-time</i> (produção sincronizada)	3,4	0,5	36,4%	63,6%	18,2%	18,2%
Poka Yoke	3,2	0,8	18,2%	63,6%	27,3%	9,1%
Fluxo contínuo (one piece flow) / redução do tamanho do lote	3,2	0,8		63,6%	18,2%	18,2%
Sistema de produção puxada (Kanban, contenedores ou demarcações como controle da produção)	3,2	1,2		27,3%	54,5%	18,2%
Mapeamento do fluxo de valor	3,2	0,6		18,2%	63,6%	18,2%
Jidoka/"autonomia"	3,1	0,9	18,2%	60,0%	40,0%	
Recebimento e fornecimento <i>just-in-time</i>	2,7	1,4		63,6%	18,2%	18,2%
Células de Fabricação	2,3	1,2	9,1%	63,6%	18,2%	18,2%

As ferramentas Tempo *Takt* (*takt-time* como citado na pesquisa), *Poka-Yoke* e *Jidoka* apresentaram os maiores percentuais de respostas em branco e, conforme as instruções de preenchimento sugerem desconhecimento por parte dos respondentes. Mesmo assim não há indicação de correlação entre as ferramentas com maior taxa de não preenchimento (e presumível desconhecimento) e o seu percentual de implantação. Naturalmente que o desconhecimento por parte dos pesquisados não impede a utilização eficaz por outras empresas da amostra pesquisada. Da mesma forma, há uma correlação, de certa forma também esperada, entre as ferramentas de melhor avaliação quanto a aplicabilidade e eficácia e o respectivo percentual de implantação. Entretanto, há de se notar que no topo das avaliações estão aquelas ferramentas tidas como universalmente aplicáveis independentemente do ambiente de manufatura por Abdullah (2003), e é o caso das ferramentas *Kaizen*, 5S e Gestão Visual.

Outra constatação diz respeito às ferramentas tidas como estruturantes do conceito da Produção Enxuta, como a redução do tamanho do lote, o sistema de produção puxado ou o mapeamento do fluxo de valor estarem classificadas na porção mediana (quer pela média ou pela moda) na classificação obtida entre os respondentes. Pelo ponto de vista da implantação, tais ferramentas encontram-se predominantemente em implantação ou não implantadas. A ferramenta *Jidoka*, tida por Ohno (1997) como um dos pilares do Sistema Toyota de Produção apresentou os maiores percentuais de “não implantado”, uma taxa elevada de desconhecimento e ainda uma avaliação quanto à aplicabilidade e eficiência abaixo dos valores centrais. Uma ilação possível é que justamente a dificuldade de customização destas ferramentas ao ambiente industrial objeto do estudo. Outra consideração possível sobre os mesmos dados é que, aliás, no sentido da discussão dos parágrafos anteriores, há a possibilidade da predominância de uma interpretação rasa e imediatista das ferramentas, em particular, aquelas de implantação mais universal como se fossem o próprio conceito em si. Ou ainda o entendimento que o conceito resume-se a um rol de ferramentas aplicáveis ou apenas mais um programa de melhora da qualidade e produtividade. Isso sob o patrocínio dos resultados vigorosos e alardeados pela indústria automotiva, a “indústria das indústrias” (Drucker, *apud* Womack et al, 2004). Em quaisquer destas hipóteses e a propósito de se evitar essa confusão metonímica exige-se uma maior profundidade na avaliação caso a caso apenas possível por estudos mais intimistas do que uma *survey*.

Tabela 11 – Benefícios esperados

	$\bar{x}$	s
Melhoria do nível de serviço	4,3	0,6
Melhoria da satisfação do cliente	4,2	0,8
Redução do prazo de entrega	4,1	0,8
Redução do lead-time	4,1	0,8
Redução de custos	4,0	1,2
Incremento da flexibilidade da manufatura	3,9	1,0
Redução do tempo para desenvolvimento de novos produtos	3,1	1,4

Numa última questão foi perguntado quais os benefícios esperados (ou já obtidos) com a adoção da Produção Enxuta. Foram apresentados sete potenciais ganhos, aos quais foi oferecida a escala: 5 – Muito elevado, 4 – Elevado, 3 – Moderado, 2 – Baixo ou 1 – Não

previsto. O resultado está apresentado na Tabela 11 por meio das médias ($\bar{x}$) e desvios-padrão (s). A melhoria do nível de serviço aparece no topo corroborando a percepção dos respondentes quanto ao conceito como alavanca a maior disponibilidade, redução da incidência de não conformidades e melhor desempenho. O incremento da flexibilidade da manufatura, embora na penúltima posição, apresenta uma valoração próxima do “elevado” e não diverge fundamentalmente do resultado obtido ao se perguntar sobre ter implantado, estar em implantação ou ter decidido pela implantação do conceito. Na última posição, o tempo para desenvolvimento de novos produtos, justifica-se ai posicionado até pelo caráter normativo e padronizado dos produtos do segmento principalmente condutores destinados à distribuição e transmissão de energia elétrica.

4.1.4 Considerações finais sobre o *survey*

Escorados na intencionalidade da escolha de uma amostra que contemplasse as empresas melhor inseridas no cenário de indústrias fabricantes de condutores, e presumivelmente mais equipadas conceitualmente, os resultados obtidos neste *survey* revelam uma fase pueril na adoção da abordagem enxuta. Do que se apurou, corroborado pela participação das empresas de grande porte e capital estrangeiro que compuseram a amostra, o segmento parece não ter o domínio do conceito, como também não faz uso disseminado de ferramentas mais complexas do ponto de vista da customização ao ambiente da manufatura contínua.

A Figura 29 apresenta a visualização os resultados já apresentados acerca do julgamento dos respondentes sobre a aplicabilidade prática e a eficácia de cada uma das ferramentas da Produção Enxuta. Foi considerada uma variação de mais ou menos um desvio padrão calculado sobre a média obtida das respostas.

Desta forma, é possível verificar alguma correlação entre as médias inferiores e a crescente variabilidade das respostas. Uma especulação possível para tal comportamento é a de que ferramentas presumivelmente menos aplicáveis ou eficazes no julgamento dos respondentes também não o são perfeitamente compreendidas levando-se a percepções mais difusas. É contrastante, por exemplo, que a ferramenta *Kaizen* tenha recebido a média cravada de 4,0 (com desvio padrão igual a zero) enquanto a ferramenta Célula de Fabricação ficou com a nota 2,3 mas com um desvio padrão de 1,2. Na literatura consultada, a ferramenta *Kaizen*, isto é, os melhoramentos contínuos são cabíveis em qualquer organização. Já a Célula

de Manufatura encontra grandes limitações de ser adotada em ambientes de fabricação contínuos já que, normalmente, seus equipamentos são grandes, pesados e pouco flexíveis (MAHAPATRA e MOHANTY, 2007).

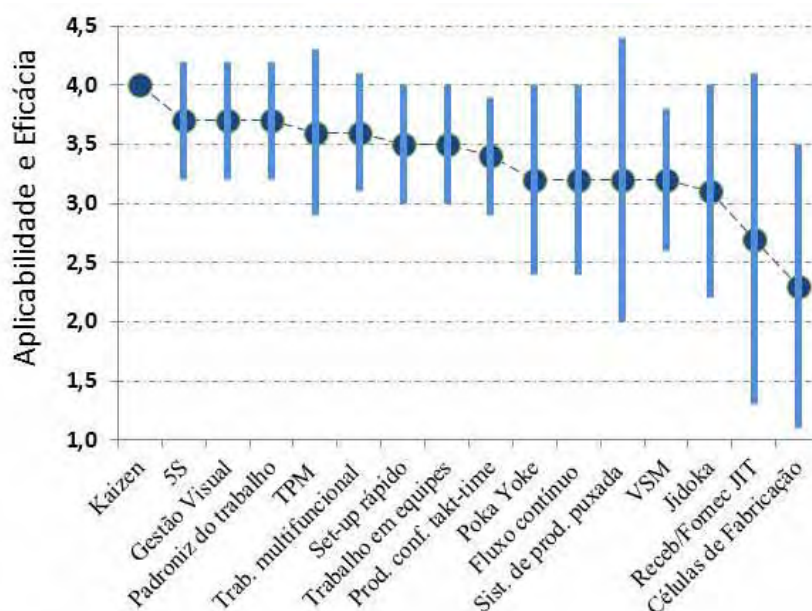


Figura 29 – Aplicabilidade e eficácia das ferramentas (média $\pm$ 1 desvio padrão)

Do conjunto dos resultados, pode-se presumir que a adoção do conceito enxuto nas indústrias de condutores elétricos ainda requer uma evolução mais significativa tanto da disseminação das ideias de uma forma plena como pela adaptação das ferramentas. Isto pode explicar a carência de literatura científica que discuta casos no setor.

Por última consideração, vale ainda observar que o resultado nas 9^a, 12^a e 13^a posições entre as 16 ferramentas, atribuídas as de denominação “tempo Takt”, “sistema de produção puxada” e “mapeamento do fluxo de valor” vem a corroborar a justificativa e demonstrar a contribuição e oportunidade do presente trabalho. Neste mesmo sentido, note-se também o desvio padrão de 1,2 atribuído à ferramenta “sistema de produção puxado”, o maior obtido. Pelo mesmo raciocínio em que se relaciona a maior variabilidade nas respostas ao desconhecimento e/ou necessidade de adaptação da ferramenta, o uso pleno do *Kanban* encaixe-se naturalmente. Afinal trata-se de uma técnica especificamente desenvolvida para produtos discretos.

4.2 Resultados da simulação do mapa do estado futuro

Como exposto no presente trabalho, a simulação pode complementar o mapeamento de fluxo de valor ao quantificar os potenciais ganhos do mapa do estado futuro proposto. Permite ainda a análise, avaliação e melhoria para diferentes cenários do mapa do estado futuro. O foco deste trabalho, quanto ao mapa idealizado, está em três ferramentas da Produção Enxuta incorporadas no mapa do estado futuro: o uso exclusivo do sistema puxado, o tempo *Takt* e o *Heijunka*.

Acerca das variáveis de saída, e também como já mencionado, decidimos usar duas principais medidas de desempenho: *lead-time* e estoque em processo (WIP). A razão para tais escolhas torna-se natural quando se observa o mapa do estado atual e os tempos de espera em relação ao tempo de valor agregado. Ao reduzir tempo de espera objetiva-se uma redução do WIP. O *lead-time* também está correlacionado ao WIP e, em geral, quanto maior o WIP maior o tempo de espera e o *lead-time*. De outro lado, na seção 3.3 discutimos o histórico enxuto da empresa objeto deste estudo e relatamos a dificuldade em se monitorar a meta redução de *lead-time*. Também por esse motivo, a escolha destes parâmetros de saída se justifica.

Num primeiro esforço de comparação, os resultados a partir da simulação do mapa do estado atual ilustrados nas figuras dos Apêndices B e C desta tese, podem ser confrontados com curvas representadas nas figuras dos Apêndices D, E e F (resultados do mapa do estado futuro). É importante se frisar que neste primeiro momento, a condição simulada definida pelo mapa do estado futuro tem por diferenças a introdução daquelas ferramentas enxutas (o tempo *Takt*, o *Heijunka* e o sistema exclusivamente puxado) além de, exclusivamente, o novo valor de *set-up* da trefila assumido como discutido em 3.5.4.2. Todos os demais parâmetros permanecem inalterados.

De pronto, pela observação desses gráficos, constata-se uma clara redução da variabilidade nos parâmetros escolhidos com variáveis de saída (*lead-time* de cada produto, *Linnet* e *Grosbeak*, e o WIP total). Mas as diferenças são mesmo expressivas. As Tabela 12 e Tabela 13 mostram as reduções nos tempos de *lead-time* para cada um dos produtos e do material em processo (WIP) tanto para as médias como também a dispersão (desvio padrão). Os dados foram obtidos por meio do *Output Analyzer* e já descartam os valores relativos aos transientes, conforme tratado na página 92 deste trabalho.

Tabela 12 – Lead-time: resultados nas simulações atual e futuro

	Mapa Atual		Mapa Futuro		Variação	
	Média [s]	desvio padrão	Média [s]	desvio padrão	média	desvio padrão
<i>Linnet</i>	6,38	8,35	1,63	0,75	- 74,4%	- 91,0%
<i>Grosbeak</i>	25,60	26,70	12,50	6,94	- 51,1%	-74,0%

Tabela 13 – Material em processo: resultados nas simulações atual e futuro

Mapa Atual		Mapa Futuro		Variação	
Média [kg]	desvio padrão	Média [kg]	média	média	desvio padrão
36,00	13,20	18,50	6,61	- 48,6%	- 49,9%

A importância desse resultado para o resultado econômico da empresa é fácil de estimar ao considerar que o custo do metal condutor – alumínio – representa cerca de 93% do preço final do cabo (como comentamos, trata-se de um produto com um comportamento muito próximo das *commodities*). As variáveis de saída *lead-time* e material em processo permitem mensurar exatamente, entre outras consequências, o custo do capital aprisionado pelo sistema produtivo. *Lead-times* e WIP menores significam, no conceito enxuto, o encurtamento entre o pedido do cliente e o pagamento deste pelo produto recebido ao mesmo tempo em que a redução do capital investido.

Outras investigações podem ainda ser conduzidas a partir da modelagem do mapa do estado futuro. A percepção da necessidade de redução do *set-up* da trefila a fim de permitir o equilíbrio do sistema, inspira o exame do impacto de reduções ainda maiores do que a assumida. E, além da trefila, pode-se estudar o impacto da redução de *set-up* também das trançadeiras. Da mesma forma, pode-se avaliar o impacto da intensificação do programa TPM *Total Productive Maintenance* e a melhoria dos índices MTBF *Mean Time Between Failures* dos equipamentos produtivos.

Neste sentido, para a análise e avaliação de diferentes cenários para o mapa do estado futuro, um planejamento fatorial foi utilizado com a simulação. A análise envolveu quatro fatores: os tempos de *set-up* da trefila, de *set-up* da trançadeira, o MTBR da trefila e o MTBR da trançadeira. Portanto, a análise deu-se sobre duas dimensões dos conceitos da Produção

Enxuta: a da troca rápida de ferramentas e o programa de manutenção produtiva total (TPM). O experimento foi executado utilizando um projeto fatorial 2^k , em que 2 é o número de níveis para cada fator e k é o número de fatores. Neste caso, k é igual a quatro e cada um dos fatores foram examinados (simulados) em dois níveis.

A fim da estimativa de cada um dos dois níveis de dos fatores (variáveis de entrada) recorreu-se a algumas premissas. Quanto aos tempos de *set-up* das trefila e trançadeira, considerou-se o mesmo percentual de redução assumido por conta da simulação do mapa do estado futuro, discutido na seção 3.5.4.2 de forma a se determinar o nível baixo. Ressalte-se, como já comentado, a provável exequibilidade prática deste redutor. Sobre os tempos MTBF da trefila e trançadeira, consultados relatórios de manutenção e trabalhos de melhorias realizados pela empresa objeto de estudo, convencionou-se valores coerentes aos que vinham sendo obtidos na prática. É importante frisar que o objetivo aqui é o de viabilizar os experimentos (simulações) a partir destas premissas como forma de justificativa da ferramenta Simulação consorciada ao VSM, coerente aos objetivos estabelecidos pela presente tese. Neste caso, o importante é o dimensionamento dos ganhos potenciais a fim de orientar os esforços e investimentos em melhorias. A Tabela 14 resume os níveis baixo e alto de cada um dos fatores de entrada.

Tabela 14 – Níveis dos fatores (projeto fatorial 2^k)

	Set-up (em horas)		MTBF (em minutos)	
	Trefila	Trançadeira	Trefila	Trançadeira
Nível baixo	0,15	0,33	31.680	40.320
Nível alto	0,23	0,50	43.200	48.960

O tratamento da matriz de experimentos se fez por meio do software *Minitab 16* e os respectivos resultados estão apresentados graficamente nas Figura 30, Figura 31, Figura 32 e Figura 33. Da sua análise, identifica-se o tempo de *set-up* da trefila como sendo o de maior impacto nas três variáveis de saída. A surpresa está por conta da pequena (ou melhor dizendo, pela menor) influência do tempo de *set-up* da trançadeira. Os resultados são elucidativos e muito práticos no sentido de proverem uma visão muito clara de otimização dos esforços de melhoria.

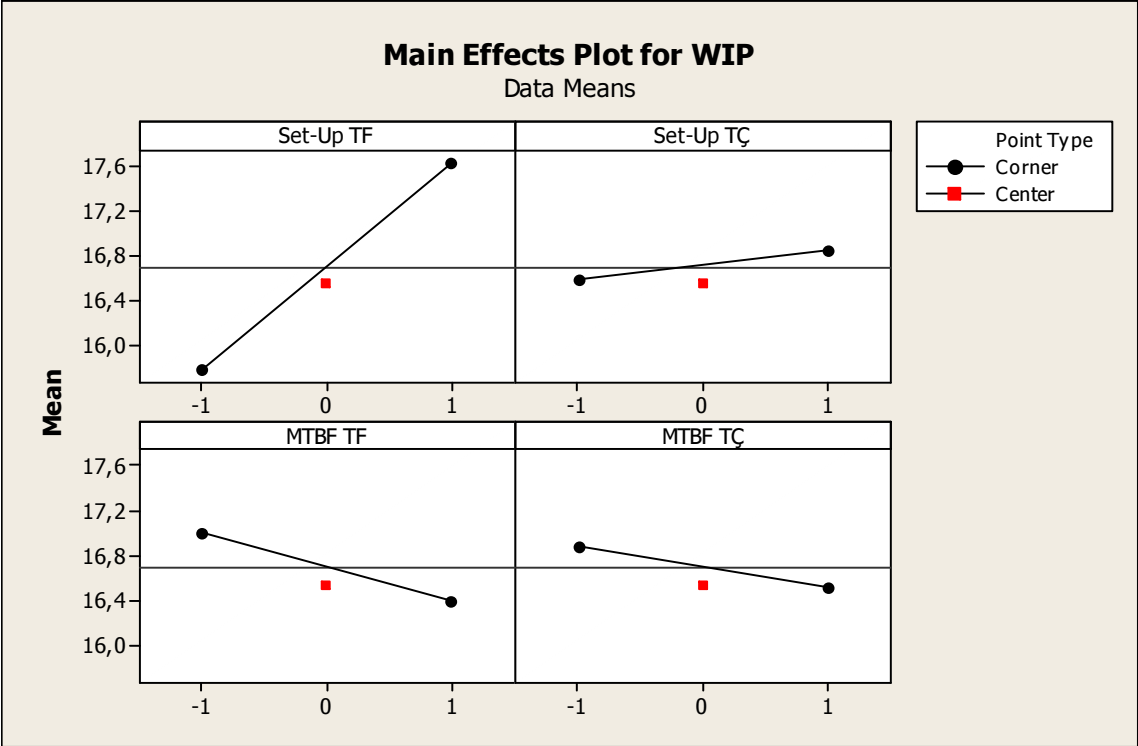


Figura 30 - Análise para a resposta WIP

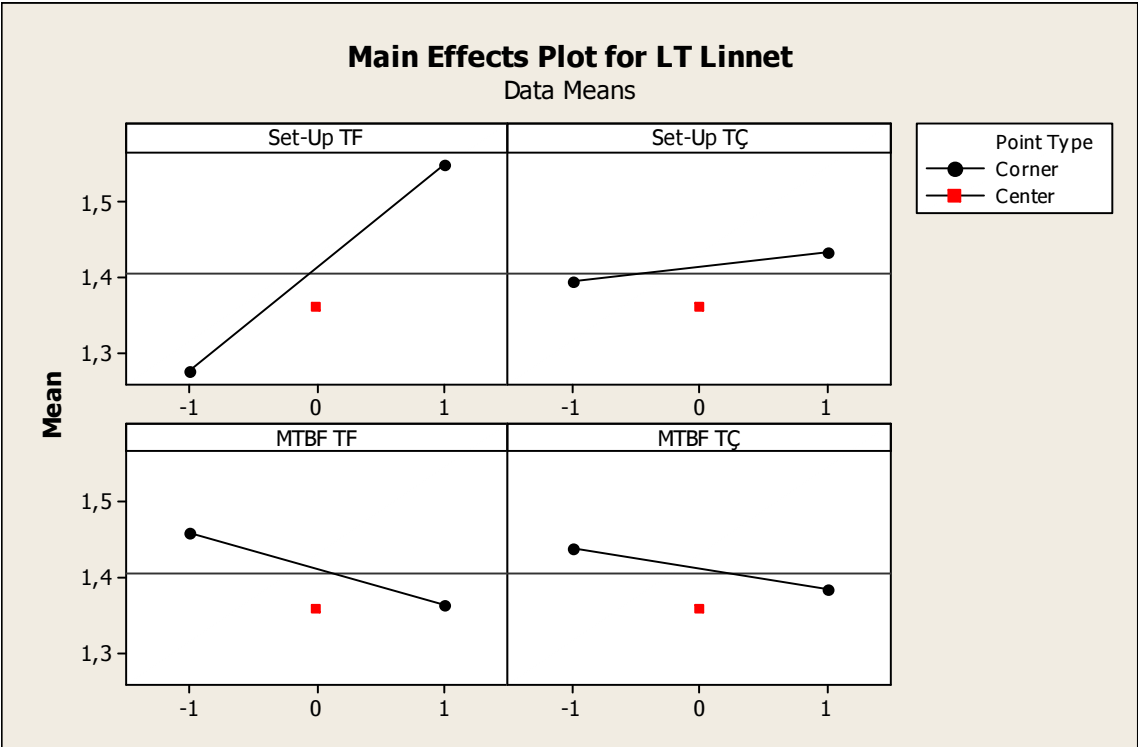


Figura 31 – Análise para a resposta *Lead-time Linnet*

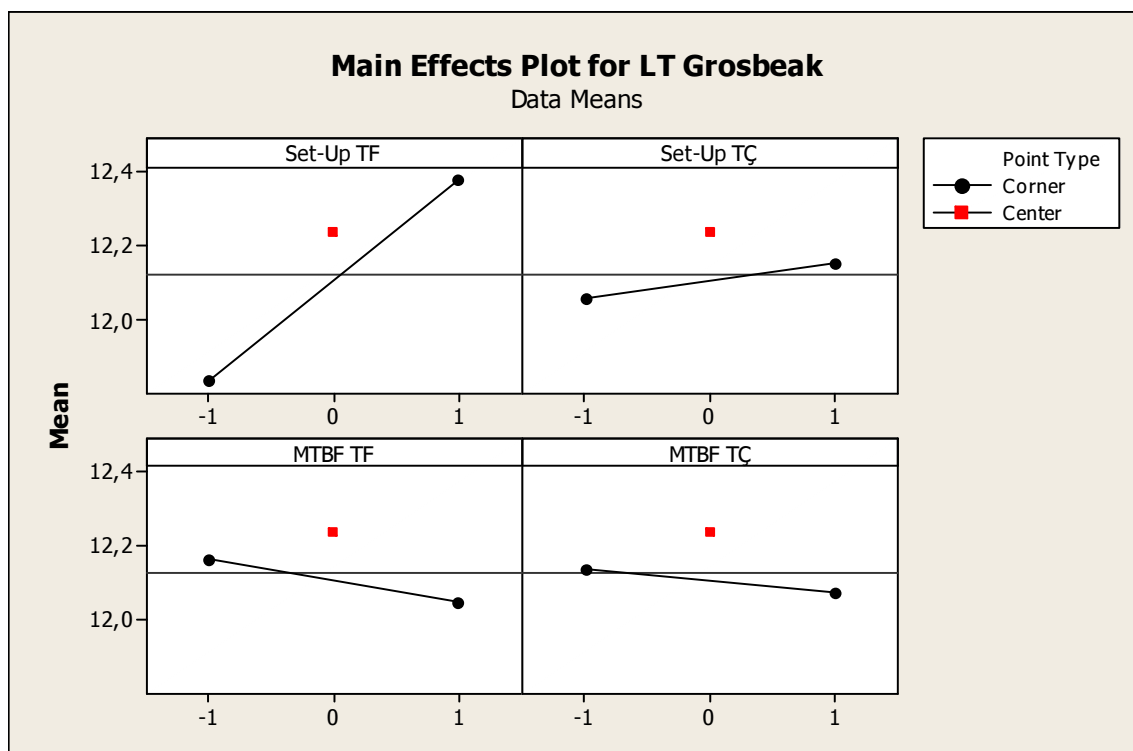


Figura 32 – Análise para a resposta *Lead-time Grosbeak*

Contudo, o método usado considerado o experimento 2^k possui a desvantagem por envolver mais de uma função objetivo. A interação entre elas pode implicar na solução ótima do problema diferir da solução a ser implementada no sistema real. Considerando-se esse cenário de respostas múltiplas, decidiu-se pelo uso do conceito de esta desvantagem, foi desenvolvido o conceito de *Desirability* como técnica de otimização de múltiplas respostas (DERRINGER e SUICH, 1980).

Projitou-se então uma matriz de experimentos para as quatro variáveis, *set-up* trefila, *set-up* trançadeira, MTBF da trefila e MTBF das trançadeiras, pelo modelo *Plackett-Burman*. Conforme Rodrigues e Iemma (2005), a matriz proposta por Robin L. Plackett e J. P. Burman trata de uma classe de planejamentos fracionários que emprega 12, 20, 24, 28,... ensaios para investigar concomitantemente até 11, 19, 24, 27,... fatores. Este modelo é adequado para situações exploratórias e pesquisas economicamente enxutas, pois com n experimentos permite-se investigar $n-1$ fatores e utilizam-se fatores fantasmas, os quais fazem o papel de variáveis inertes e servem para fazer a estimativa do erro experimental associado aos contrastes.

Foram mantidos os níveis alto e baixo para cada uma das variáveis, já apresentados na Tabela 14, e adotados os pontos centrais conforme o método *Plackett-Burman*. A matriz utilizada está reproduzida na

Tabela 15 já com os resultados obtidos para as variáveis de saída (WIP e o *lead-time* de cada um dos cabos).

Tabela 15 – Delineamento de experimentos *Plackett-Burman*

Experi- mento	Variáveis de Entrada				Respostas		
	Set-Up TF (h)	Set-Up TÇ (h)	MTBF TF (min)	MTBF TÇ (min)	WIP (x100 kg)	LT Linnet (h)	LT Grosbeak (h)
1	0,23	0,33	43200	48960	16,99	1,45	12,21
2	0,23	0,50	31680	48960	18,02	1,60	12,49
3	0,15	0,50	43200	40320	15,78	1,28	11,83
4	0,15	0,33	43200	48960	15,74	1,27	11,84
5	0,23	0,33	31680	48960	17,39	1,52	12,28
6	0,23	0,50	31680	40320	18,61	1,70	12,59
7	0,23	0,50	43200	40320	17,21	1,47	12,37
8	0,23	0,50	43200	48960	17,06	1,46	12,36
9	0,15	0,50	43200	48960	15,75	1,27	11,82
10	0,23	0,33	43200	48960	16,97	1,45	12,21
11	0,15	0,50	31680	48960	15,81	1,28	11,84
12	0,23	0,33	43200	40320	17,03	1,46	12,22
13	0,15	0,50	31680	48960	15,80	1,28	11,84
14	0,15	0,33	43200	40320	15,77	1,27	11,83
15	0,15	0,33	31680	48960	15,77	1,27	11,86
16	0,15	0,33	31680	40320	15,81	1,28	11,84
17	0,23	0,33	31680	40320	18,43	1,69	12,47
18	0,23	0,50	31680	40320	18,61	1,70	12,59
19	0,15	0,50	43200	40320	15,78	1,28	11,83
20	0,15	0,33	31680	40320	15,81	1,28	11,84
21	0,19	0,42	37440	44640	16,55	1,36	12,24
22	0,19	0,42	37440	44640	16,55	1,36	12,24
23	0,19	0,42	37440	44640	16,55	1,36	12,24

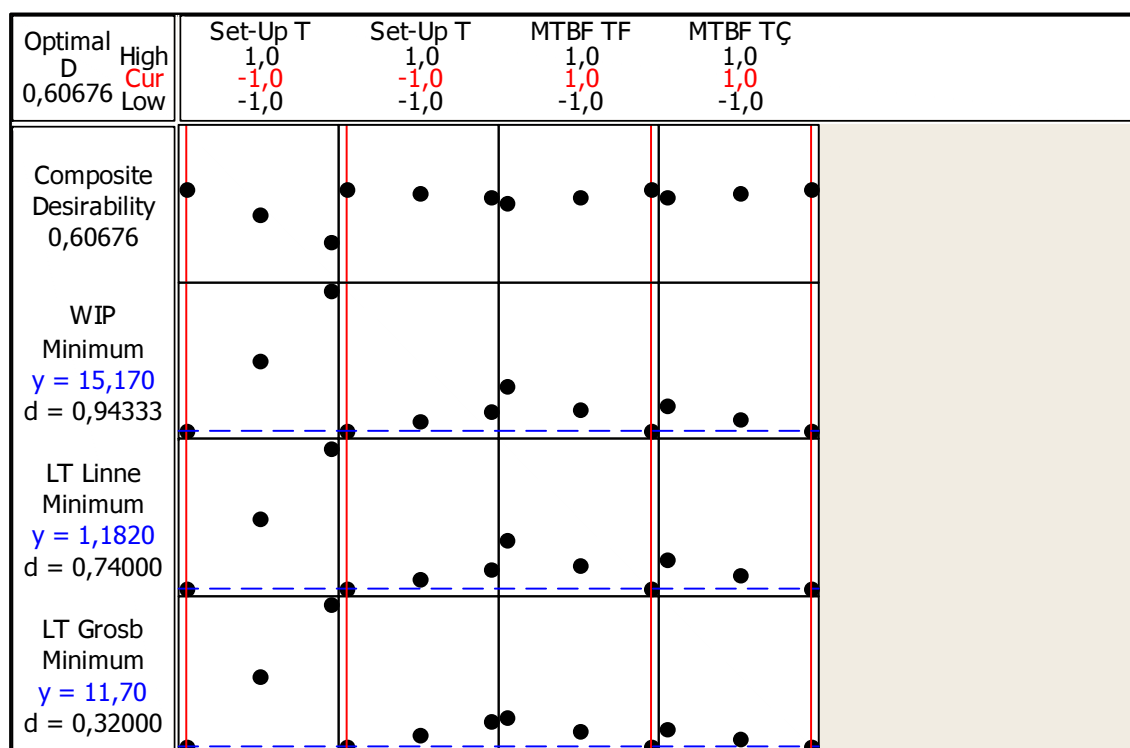


Figura 33 - Análise *Desirability*

A Figura 33 apresenta representação gráfica obtida. Naturalmente a função objetivo escolhida foi a de minimizar tanto os *lead-times* dos cabos *Linnet* e *Grosbeak* como o WIP.

Nas diversas análises, os resultados pontam para o impacto dominante do tempo de *set-up* da trefila sobre as variáveis de saída. A investigação tem também a importância de definir a sensibilidade a cada esforço de *Kaizen* e serve, sobremaneira, como balizador de programas de melhorias a serem introduzidos na planta industrial.

O índice composto (total) de *desirability* para as múltiplas respostas ficou em 0,606 (varia numa escala de 0 a 1), enquanto os valores individuais para WIP, *lead-time Linnet* e *lead-time Grosbeak* resultaram nos índices 0,94, 0,74 e 0,32 respectivamente. Observe-se que das variáveis de respostas elencadas, o WIP é o que apresenta maior *desirability*. Isso significa que é a função objetivo para próxima de ser obtida e que apresenta melhor sensibilidade aos esforços de melhorias das variáveis de entrada. A apresentação gráfica mostra ainda que, no mesmo sentido que os resultados obtidos pelos experimentos realizados para cada uma das respostas isoladamente, os *set-up* da trefila é a variável de entrada de maior efeito.

Finalizada a apresentação e discussão dos resultados, o próximo capítulo conclui a presente tese.

5 CONCLUSÃO

5.1 Verificação dos objetivos

A pesquisa teve por propósito investigar a aplicabilidade do conceito da Produção Enxuta e de suas ferramentas na manufatura contínua, em particular na fabricação de condutores elétricos, sendo a hipótese central a da oportunidade da aplicação também em ambientes não discretos, a despeito da pouca literatura a respeito.

De pronto, o *survey* realizado entre os fabricantes paulistas de condutores elétricos revelaram uma fase pueril na adoção da filosofia enxuta. O segmento parece não ter o domínio do conceito, como também não faz uso disseminado de ferramentas mais complexas do ponto de vista da customização ao ambiente da manufatura contínua. A confrontação do julgamento dos respondentes sobre a aplicabilidade e a eficácia de cada uma das ferramentas da Produção Enxuta, permite considerar a existência de correlação entre as médias inferiores e a crescente variabilidade das respostas.

Uma razoável especulação para tal comportamento é de que ferramentas presumivelmente menos aplicáveis ou eficazes no julgamento dos respondentes também não o são perfeitamente compreendidas levando-se a percepções mais difusas. Outra consideração possível é a provável predominância de uma interpretação rasa e superficial das ferramentas, em particular, aquelas de implantação mais universal como se fossem o conceito em si. Ou ainda o entendimento que o conceito resume-se a um rol de ferramentas aplicáveis ou apenas mais um programa de melhora da qualidade e produtividade dando origem a uma confusão metonímica. Pode-se presumir, portanto, que a adoção do conceito enxuto nas indústrias de condutores elétricos, sob o olhar da amostra paulista realizada no *survey*, ainda requer uma evolução mais significativa tanto da disseminação das ideias de uma forma plena como pela customização das ferramentas.

Na sequência da pesquisa, foi conduzido o estudo acerca da empresa objeto deste trabalho. Trata-se de uma multinacional e destacado *player* no mercado de condutores elétricos. A empresa, sob influência da matriz e a proximidade com a *Toyota Motor Company*, tem desenvolvido um expressivo programa de implantação da filosofia enxuta. Várias ferramentas já o eram de uso cotidiano quando da realização desta pesquisa. Desta forma, técnicas como o Kaizen, 5S, Gestão Visual, Padronização do Trabalho, TPM - Manutenção Produtiva Total, Trabalhador multifuncional (*job rotation*), *Set-up* rápido, Trabalho em equipes, *Poka Yoke*, *Jidoka*, CONWIP, *Souken*, *Jishuken*, *Hearing*, *Kenshiyu Kai* e *Andon*,

são usuais e auferiram ganhos consideráveis de produtividade à empresa. Entretanto, a empresa não tem um sistema de produção puxada e ainda se utiliza das ordens de produção geradas pelo sistema MRP. Tampouco adotou qualquer técnica de nivelamento (suavizamento) da produção, a exemplo do *Heijunka* e o controle do tempo *Takt*. A explicação deste aparente paradoxo de se ter tantas ferramentas em franca utilização e, no entanto, prescindir daquelas que são o âmago do conceito enxuto talvez resida nas peculiaridades do ambiente contínuo de produção.

São muitas as características absolutamente diferentes às observadas na manufatura discreta, que podem justificar a dificuldade de adoção plena do conceito enxuto. Por exemplo, o emprego de equipamentos de grande porte e inflexíveis em termos do mix de produtos, elevados tempos de *set-up*, intermitência do fluxo sob o ponto de vista dos produtos específicos, embora contínuos sob a ótica dos equipamentos, arquitetura multiequipamento (os processos embora arranjados linearmente ao longo do fluxo têm características funcionais), elevado número de roteiros possíveis para os mesmos produtos, a dependência de temperatura dos fornos laminadores, a variedade de produtos (com formações e características distintas) e a incerteza da demanda.

Com o objetivo de investigar as oportunidades e possíveis resultados da implantação efetiva da produção puxada, do *Heijunka* e tempo *Takt*, foi realizado o mapeamento de fluxo de valor. O mapa do estado atual foi elaborado e todos os dados foram recolhidos in loco incluindo tempo de ciclo de máquina, quantidade de estoques em processo, tempos de *set-up*, fluxo de informações etc.

Um possível mapa do estado futuro, com situações otimizadas e *Kaizens* identificados, foi elaborado. Para tanto, um conjunto de perguntas estruturadas segundo o roteiro dos autores Rother e Shook (2005) foram abordados de forma a permitir a elaboração do mapa. A adequação deste roteiro, com as ligeiras adaptações adotadas, sugerem a sua aplicabilidade também a ambientes contínuos. O procedimento demonstrou-se aplicável e útil para a identificação do fluxo de valor e dos desperdícios como os estoques em processos, os longos ciclos de fabricação e a falta de coordenação. Os resultados desta tese, mormente com a aplicação do VSM – Mapeamento do fluxo de valor, confirmam essa técnica como ponto inicial também para ambientes contínuos como os da fabricação de cabos.

Mais além, a fim de quantificar os resultados, utilizou-se de um modelo de simulação discreta estocástica. A pesquisa levou à discussão de condições de contorno de forma a fazer uso da simulação discreta em fabricação contínua. A questão estava em como definir o tamanho da entidade discreta já que o processo de fabricação de condutores elétricos, a

exemplo de outras produções contínuas, não adota embalagens ou contentores padrão. O modelo de simulação deveria contemplar as peculiaridades do produto “comprido e redondo” e suas consequências.

Resolvidos as questões e levado a cabo a simulação do mapa do estado futuro, os resultados foram significativos no sentido de substanciais reduções nos tempos de *lead-time* e nas quantidades de estoque em processo. Mais a fundo, um delineamento de experimentos foi conduzido de forma a avaliar o impacto e sensibilidade dos eventuais esforços de melhoria quanto ao *set-up* e ao MTBF *Mean Time Between Failures*.

Fica demonstrado a simulação como um meio para a quantificação dos ganhos potenciais na implantação das ferramentas enxutas propostas ao oferecer evidências sobre as medidas de desempenho do sistema, como o *lead-time* e o estoque em processo, também aplicável aquele ambiente contínuo de produção.

Pode-se ainda especular que para qualquer outra indústria contínua que venha a considerar a implementação do conceito enxuto e suas ferramentas, a simulação aliada ao mapeamento do fluxo de valor pode tornar uma técnica apurada de apoio ao processo decisório.

5.2 Sugestões para pesquisas futuras

Da delimitação imposta ao presente trabalho surgem possibilidades de trabalhos futuros que possam contribuir para o enriquecimento da aplicação do conceito da Produção Enxuta no segmento da fabricação contínua. Como sugestões de trabalhos futuros entende-se como oportuna a extensão do trabalho em ambientes além do de fabricação de condutores elétricos. No mesmo sentido, o estudo de ambientes complexos multiequipamentos e com roteiros flexíveis podem consubstanciar-se em importantes abordagens a serem estudadas.

5.3 Considerações Finais

A principal contribuição deste trabalho é o desenvolvimento de um método que utilizou do VSM e da Simulação a fim de auxiliar a indústria de produção contínua a estimar os ganhos potenciais do conceito da Produção Enxuta, bem como nortear a necessidade de adaptações das suas ferramentas.

Embora escolhido o segmento de fabricação de condutores elétricos, a sequência metodológica apresentada muito provavelmente pode ser estendida a outras áreas de aplicação na indústria de produção contínua. A intenção principal é o auxílio aos processos decisórios quando da implantação da Produção Enxuta num segmento não abastecido de experiências e relatos como o é o da produção discreta.

Por fim, a pesquisa mostrou, por meio do método descrito, o ganho potencial que as ferramentas da Produção Enxuta podem inferir ao sistema constituindo-se numa elaborada técnica de diagnóstico e avaliação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULLAH, F. **Lean Manufacturing Tools and Techniques in the Process Industry with a Focus on Steel**. thesis. Pittsburgh: University of Pittsburgh. 2003.

ABDULLAH, F.; RAJGOPAL, J.; NEEDY, K. **A taxonomy of the process industry with a view to lean manufacturing**. 23rd National Conference of the American Society for Engineering Management. Tampa FL: Engineering Management in the Global Environments, Proceedings. 2002. 314-321.

ABDULMALEK, F. A.; RAJGOPAL, J. Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. **International Journal of Production Economics**, 107, 2007. 223-236.

ALFORD, D.; SACKETT, P.; NELDER, G. Mass Customization – An Automotive Perspective. **International Journal of Production Economics**, UK, 65, 2000. 99-110.

ANTONELLI, S. C.; SANTOS, A. B. **Uso da Estatística para a Garantia da Qualidade: Um Survey com Indústrias Baseado no Seis Sigmas**. SIMPOI XII Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais. São Paulo: FGV-EAESP. 2009.

Anuário Estatístico Sindicel. Sindicato da Indústria de Condutores Elétricos, Trefilação e Laminação de Metais Não-Ferrosos do Estado de São Paulo. São Paulo. 2012. Disponível em http://www.sindicelabc.org.br/anuario/2012/anu_pt_index, acesso em 08/10/2012.

APPOLINARIO, F. **Metodologia da ciência filosofia e prática da pesquisa**. 1a. ed. São Paulo: Thomson Pioneira, 2006. 220 p.

ARENA Simulation Software. **Site na Internet**, 2012. Disponível em: <http://www.arenasimulation.com/arena_Home.aspx>. Acesso em: 12 fev. 2012.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V. A.; MORABITO, R.; YANASSE, H. H. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Campus Elsevier, 2006. 544 p.

BATEMAN, N. **Factors Affecting the Sustainability of Process Improvement Activities**. Birmingham: Industry Forum, 2000.

BECHTE, W. Theory and practice of load-oriented manufacturing control. **International Journal of Production Research**, 26, 1988. 375-395.

BECHTE, W. Load-oriented manufacturing control just-in-time production for job shops. **Production Planning and Control**, 5, 1994. 292-307.

BERKLEY, B. J. A review of the kanban production control research literature. **Production and Operations Management**, 1, 1992. 393-411.

BERTRAND, J. W. M.; WORTMAN, J. C. **Production control and information systems for component manufacturing shops**. North-Holland: Elsevier, 1981. 420 p.

BHASIN, S.; BURCHER, P. Lean Viewed as a Philosophy. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 17, 2006. 56-72.

BILLESBACH, T. Applying Lean Production Principles to a Process Facility. **Production and Inventory Management Journal**, 35, 1994. 40-44.

BODEK, N. Prefácio. In: OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção, Além da Produção em Larga Escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997. p. 137.

BOKHORST, J. A. C.; SLOMP, J. Lean Production Control at a High-Variety, Low-Volume Parts Manufacturer. **Interfaces**, 40, July-August 2010. 303-312.

BOONLERTVANICH, K. **Extended CONWIP Kanban system: control and performance analysis**. Thesis. Atlanta: Georgia Institute of Technology. 2005.

BORTOLOTTI, T.; DANESE, P.; ROMANO, P. Assessing the impact of just-in-time on operational performance at varying degrees of repetitiveness. **International Journal of Production Research**, 51, n. 4, 2012, 1117-1130.

BOSCH-MAUCHAND, M. et al. VCS: value chains simulator, a tool for value analysis of manufacturing enterprise processes (a value-based decision support tool). **Journal of Intelligent Manufacturing**, 23, 2012. 1389-1402.

BRAGLIA, M.; CARMIGNANI, G.; ZAMMORI, F. A new value stream mapping approach for complex production systems. **International Journal of Production Research**, 44, 2006. 3929-3952.

BREITHAUPT, J. W. . L. J.; NYHUIS, P. The workload control concept: theory and practical extensions of Load Oriented Order Release. **Production Planning and Control**, 13, 2002. 625-638.

CARLISLE, J. A.; PARKER, R. C. **Beyond Negotiation: Redeeming Customer-Supplier Relationships**. Chichester: John Wiley & Sons, 1989. 200 p.

CHADHA, R.; SINGH, A.; KALRA, J. Lean and queuing integration for the transformation of health care processes: A lean health care model. **Clinical Governance: An International Journal**, 17, 2012. 191 - 199.

CHRISTOPHER, M.; TOWILL, D. R. An integrated model for the design of agile supply chains. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, 31, 2001. 235-246.

CLARK, A. J.; SCARF, H. Optimal Policies for the Multi-Echelon Inventory Problem. **Management Science**, 6, 1960. 475-490.

COONEY, R. Is “Lean” a Universal Production System? Batch Production in the Automotive Industry. **International Journal of Operations and Production Management**, 22, 2002. 1130-1147.

COTTYN, J.; VAN LANDEGHEM, H.; STOCKMAN, K.; DERAMMELAERE, S. A method to align a manufacturing execution system with Lean objectives. **International Journal of Production Research**, 49, July 2011. 4397-4413.

COX, A.; CHICKSAND, D. The Limits of Lean Management Thinking: Multiple Retailers and Food and Farming Supply Chains. **European Management Journal**, 23, 2005. 648-662.

CUSUMANO, M. A. **The Japanese Automotive Industry**. Cambridge: Harvard University Press, 1989.

CUSUMANO, M. A. The Limits of Lean. **Sloan Management Review**, Cambridge, Summer 1994.

DAVIDOW, W.; MALONE, M. **The Virtual Corporation**: Structuring and Revitalizing the Corporation for the 21st Century. New York, NY: Harper Business, 1992. 304 p.

DEIF, A. M. Dynamic analysis of a lean cell under uncertainty. **International Journal of Production Research**, Vol.50, n.4, February 2012. 1127-1139.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous Optimization of Several Response Variables. **Journal of Quality Technology**, 12, 1980. 214-219.

FERNANDES, N. O. G. **Contribuições para o controlo da actividade de produção no sector de produção por encomenda**. Tese. Castelo Branco, Portugal: Universidade do Minho, Escola de Engenharia. 2007.

FORZA, C. Survey Research in Operations Management: A Process-Based Perspective. **International Journal of Operations & Production Management**, 22, 2002. 152-194.

FRAMINAN, J. M.; GONZÁLEZ, P. L.; RUIZ-USANO, R. The CONWIP production control system: review and research issues. **Production Planning & Control**, 14, 2010. 255-265.

FUCINI, J.; FUCINI, S. **Working for the Japanese**. New York, NY: The Free Press, 1990. 272 p.

GARRAHAN, P.; STEWART, P. **The Nissan Enigma**: Flexibility at Work in a Local Economy. London: Mansell, 1992. 224 p.

GLASSEY, C. R.; RESENDE, M. Closed loop job release control for VLSI circuit manufacturing. **IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing**, 1, 1988. 36-46.

GODINHO FILHO, M.; FERNANDES, F. C. F. Uma Revisão Que Classifica e Analisa os Trabalhos Apontando Perspectivas de Pesquisas Futuras. **Gestão & Produção**, v. 11, n. 1, 2004. 1-19.

GOLDMAN, S.; NAGEL, R.; PREISS, K. **Agile Competitors and Virtual Organizations Strategies for Enriching the Customer (Industrial Engineering)**. New York, NY: Van Nostrand Reinhold Book, 1995. 423 p.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. I. **A meta: um processo de melhoria contínua**. 2a. ed. São Paulo: Nobel, 2003. 366 p.

GOLDRATT, E. M.; FOX, R. E. **A corrida pela vantagem competitiva**. São Paulo: IMAM, 1992. 177 p.

GREEN, S. D.; MAY, S. C. Lean construction: arenas of enactment, models of diffusion and the meaning of 'leanness'. **Building Research & Information**, 33, 2005. 498-511.

HARRISON, A.; CHRISTOPHER, M.; VAN HOEK, R. **Creating the Agile Supply Chain, Institute of Logistics and Transport Focus**. [S.l.]: Corby, 1999. 52 p.

HENDRY, L.; KINGSMAN, G. A decision support system for job release in make-to-order companies. **International Journal of Operations and Production Management**, 11, 1991. 6-16.

HILL, J. A.; ECKERD S.; WILSON, D.; GREER, B. The effect of unethical behavior on trust in a buyer-supplier relationship: The mediating role of psychological contract violation. **Journal of Operations Management**, 27, August 2009. 281-293.

HINES, P.; HOLWEG, M.; RICH, N. Learning to Evolve: A Review of Contemporary Lean Thinking. **International Journal of Operations & Production Management**, 24, 2004. 994-1011.

HINES, P.; RICH, N. The Seven Values Stream Mapping Tool. **International Journal of Operation and Management**, 17, 1997. 46-64.

HOLWEG, M. The genealogy of lean production. **Journal of Operations Management**, 25, 2007. 440-437.

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. To Pull or Not to Pull: What Is the Question? **Manufacturing & Service Operations Management**, 6, Spring 2004. 133-148.

JINA, J.; BHATTACHARYA, A. K.; WALTON, A. D. Applying Lean Principles for High Product Variety and Low Volumes: Some Issues and Propositions. **Logistics Information Management**, 10, 1997. 5-13.

KIMBALL, G. General principles of inventory control. **Journal of Manufacturing and Operations Management**, 1, 1988. 119-130.

KRAFCIK, J. F. Triumph of the lean production system. **Sloan Management Review**, v. 30, n. 1, 41-52, 1988.

LAND, M.; GAALMAN, G. The performance of workload control concepts in job shops: Improving the release method. **International Journal of Production Economics**, 56-57, 1998. 347-364.

LEE, W. L.; ALLWOOD, J. M. Lean Manufacturing in Temperature Dependent Processes with Interruptions. **Journal of Operations & Production Management**, 23, 2003. 1377-1400.

LIAN, Y. H.; VAN LANDEGHEM, H. Analysing the effects of Lean manufacturing using a value stream mapping-based simulation generator. **International Journal of Production Research**, 45, 2007. 3037-3058.

LOURENÇO JR, J. **O conceito de produção enxuta aplicado a uma indústria de manufatura não seriada**: uma proposta metodológica de implantação. Dissertação. Taubaté: Universidade de Taubaté. 2002.

LU, J.-C.; YANG, T.; WANG, C.-Y. A lean pull system design analysed by value stream mapping and multiple criteria decision-making method under demand uncertainty. **Journal of Computer Integrated Manufacturing**, 24, March 2011. 211-228.

MAHAPATRA, S. S.; MOHANTY, S. R. Lean Manufacturing in Continuous Process Industry: An Empirical study. **Journal of Scientific & Industrial Research**, 66, January 2007. 19-27.

MARTINS, R. A. Abordagens Quantitativa e Qualitativa. In: MIGUEL, P. A. C., et al. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Campus Elsevier, 2010. Cap. 3, p. 226.

MCCARTHY, I. Manufacturing classification: Lessons from organizational systematics and biological taxonomy. **Integrated Manufacturing Systems**, 6, 1995. 37-48.

MCDONALD, T.; VAN AKEN, E. M.; RENTES, A. F. Utilising Simulation to Enhance Value Stream Mapping: A Manufacturing Case Application. **Journal of Logistics Research and Applications**, 5, 2002. 213-232.

MIGUEL, P. A. C. M.; HO, L. L. Levantamento tipo Survey. In: MIGUEL, P. A. C., et al. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Campus Elsevier, 2010. Cap. 5, p. 226.

MONDEN, Y. **Totota Production System: An Integrated Approach to Just-in-Time**. 4. ed. New York: CRC Press, Taylor & Francis, 2011.

MONTEVECHI, J. A. B.; COSTA, R. F. S.; LEAL, F.; PINHO, A. F. Economic Evaluation of Scenarios for Manufacturing Systems Using Discrete Event Simulation Based Experiments. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, 7, 2010. 77-103.

MORABITO, R.; PUREZA, V. Modelagem e Simulação. In: MIGUEL, P. A. C., et al. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Campus Elsevier, 2010. Cap. 8, p. 226.

MURMAN, E.; ALLEN, T.; CUTCHER-GERSHENFELD, J.; McMANUS, H.; NITHINGALE, D.; REBENTISCH, E.; SHIELDS, T.; STAHL, F.; WALTON, M.; WARMKESSEL, J.; WEISS, S.; WIDNALL, S. **Lean Enterprise Value - Insights from MIT's Lean Aerospace Initiative**. New York: Palgrave, 2002.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção, Além da Produção em Larga Escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997. 137 p.

ORLICKY, J. **Materials Requirement Planning**. New York: McGraw-Hill, 1994. 331 p.

PINTO, S. H. B.; CARVALHO, M. M.; HO, L. L. Implementação de Programas de Qualidade: Um Survey em Empresas de Grande Porte no Brasil. **Gestão & Produção**, v. 13, n. 2, 191-203, 2006.

PLOSSL, G. W.; WIGHT, O. W. Capacity planning and control. **Production and Inventory Management Journal**, 14, 1973. 31-67.

POOL, A.; WIJNGAARD, J.; ZEE, D.-J. V. D. Lean planning in the semi-process industry, a case study Original Research Article. **International Journal of Production Economics**, 131, 2011. 194-203.

PRINCE, J.; KAY, J. M. Combining lean and agile characteristics: Creation of virtual groups by enhanced production flow analysis. **International Journal of Production Economics**, 85, 2003. 305-318.

RAUSAND, M.; HOYLAND, A. **System reliability theory: models, statistical methods and applications**. 2nd. ed. New York: Wiley, 2004.

RAWABDEH, I. A. A model for the assessment of waste in job shop environments. **International Journal of Operations & Production Management**, 25, n. 8, 2005. 800-822.

REYES, J. A. G.; ORAIFIGE, I.; MEIER, H. S.; FORRESTER, P. L.; HARMANTO, D. The development of a lean park homes production process using process flow and simulation methods. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 23, 2012. 178 - 197.

RINEHEART, J.; HUXLEY, C.; ROBERTSON, D. **Just Another Car Factory? Lean Production and its Contents**. Ithaca, NY: Cornell University Press, 1993. 264 p.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos: uma estratégia sequencial de planejamentos**. Campinas: Casa do Pão Editora, 2005. 325 p.

RONG, C.; TAKABHASHI, K.; WANG, J. Enterprise waste evaluation using the analytic hierarchy process and fuzzy set theory. **Production Planning & Control: The Management of Operations**, 14, 2003. 90-103.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2005. 113 p.

SCHONBERGER, R. J. **Técnicas Industriais Japonesas**. 4. ed. São Paulo: Thomson Pioneira, 1993.

SCHONBERGER, R.; KNOD, E. **Operations Management: Customer-Focused Principles**. 6a. ed. Boston, MA: Irwin/MacGraw Hil, 1997. 736 p.

SHAH, R.; WARD, P. T. Defining and Developing Measures of Lean Production. **Journal of Operations Management**, 25, 2007. 785-805.

SHINOHARA, I. **New Production System: JIT Crossing Industry Boundaries**. Cambridge: Productivity Press, 1988.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SLOMP, J.; BOKHORST, J. A. C.; GERMS, R. A Lean Production Control System for High-Variety/Low-Volume Environments: A Case Study Implementation. **Production Planning Control**, 20, 2009. 586-595.

SPEARMAN, M. L.; WOODRUFF, D. L.; HOPP, W. J. Conwip: a pull alternative to Kanban. **International Journal of Production Research**., 28, 1990. 879-894.

STEVENSON, M.; HENDRY, L.. **Improving supply chain integration using a workload control (WLC) concept and web functionality**. Lancaster University. UK. 2005. Working paper 2005/55.

SUGIMORI, Y.; KUSUNOKI, K.; CHO, F.; UCHIKAWA, S. Toyota production system and Kanban system materialization of Just-In-Time and respect for Human system. **International Journal of Production Research**, 15, 1977. 553-564.

SURI, R. **Quick Response Manufacturing: a company-wide approach to lead time reduction**. Portland: Productivity Press, 1998. 576 p.

SURI, R. **Quick Response Manufacturing**. Portland, OR: Productivity Press, 1999. 576 p.

SURI, R.; KRISHNAMURTHY, A. **How to Plan and Implement POLCA: a material control system for high-variety or custom-engineered products**. Center for Quick Response Manufacturing. University of Wisconsin. Madison. 2003. Technical Report. Disponível em <http://www.apics-nwie.org/images/uploads/polca.pdf>.

TATSIOPOULOS, I. P. **A microcomputer based interactive system for managing production and marketing in small component manufacturing firms using a hierarchical backlog control and lead time management technology**. Lancaster University. UK. 1983. Thesis.

VAN HOEK, R.; HARRISON, A.; CHRISTOPHER, M. Measuring agile capabilities in the supply chain. **International Journal of Operations & Production Management**, 21, 2001. 126-147.

VANDAELE, N.; CLAERHOUT, D.; NIEUWENHUYSE, van; CREMMERTY, R.. **POLCA to control multi-product, multi-machine job shops**. Faculty of Applied Economics. Antwerp. 2005. Research paper. Disponível em http://www.ua.ac.be/download.aspx?c=*TEWHI&n=23608&ct=023227&e=61247.

WEIN, L. M. Scheduling semiconductor wafer fabrication. **IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing**, 1, 1988. 115-129.

WIGHT, O. W. Input/output control: a real handle on lead time. **Production and Inventory Management Journal**, 11, 1970. 9-31.

WILLIAMS, K.; HARLAM, C.; WILLIAMS, J.; CUTLER, T.; ADCROFT, A.; JOHAL, S. Against lean production. **Economy and Society**, 21, 1992. 321-354.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean Thinking – Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation**. New York: Simon & Schuster, 1996. 350 p.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A Máquina que Mudou o Mundo**. 11. ed. [S.l.]: Campus, 2004. 342 p.

YANG, T.; HSIEH, C.-H.; CHENG, B.-Y. Lean-pull strategy in a re-entrant manufacturing environment: a pilot study for TFT-LCD array manufacturing. **International Journal of Production Research**, 49, March 2011. 1511-1529.

YANG, T.; LU, J.-C. The use of a multiple attribute decision-making method and value stream mapping in solving the pacemaker location problem. **International Journal of Production Research**, 49, May 2011. 2793-2817.

YAVUZ, M.; AKÇALI, E. Production smoothing in just-in-time manufacturing systems: a review of the models and solution approaches. **International Journal of Production Research**, 45, August 2007. 3579-3597.

YAVUZ, M.; TUFEKCI, S. Dynamic programming solution to the batching problem in just-in-time flow-shops. **Computers & Industrial Engineering**, 51, 2006. 416-432.

APÊNDICE A

Questionário utilizado no survey



unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Guaratinguetá

Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

Lean Manufacturing na Indústria Brasileira de Condutores Elétricos

Este levantamento é parte da pesquisa de doutorado de José Lourenço Junior, sob a orientação do Prof. Dr. Messias Borges Silva, pela UNESP - Universidade Estadual Paulista, campus de Guaratinguetá SP, com o título "O Conceito de Produção Enxuta Aplicado à Ambientes de Produção Não-Seriada".

Muito obrigado pela sua atenção e tempo despendidos! Este questionário é anônimo. O registro guardado das suas respostas ao questionário não contém nenhuma informação de identificação a seu respeito, salvo se alguma pergunta do questionário o pediu expressamente. Se você respondeu a um questionário que utilizasse algum código de identificação para lhe permitir acessar, pode ter certeza que o código de identificação não foi guardado com as respostas. É gerido numa base de dados separada e será atualizado apenas para indicar se completou ou não este questionário. Não é possível relacionar os códigos de identificação com as respostas deste questionário.

Há 12 perguntas neste questionário

Dados do informante e de sua instituição

Informações gerais do informante e da empresa

***Qual a origem (predominante) do capital de sua empresa?**
Escolha um dos seguintes:

Escolha uma opção..

***Quantos empregados tem sua empresa no Brasil?**
Escolha um dos seguintes:

Escolha uma opção..

Qual o faturamento (receita operacional bruta consolidada) de sua empresa?
Escolha um dos seguintes:

Escolha uma opção..

relacionamento com os clientes						
Melhoria da qualidade dos itens e matérias-primas adquiridas	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Melhoria da confiabilidade dos fornecedores	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Redução da burocracia interna	☐	☐	☐	☐	☐	☐

***Quão adiantado está a implantação do Lean Manufacturing em sua empresa?**
Escolha um dos seguintes:

Escolha uma
opção..
▼

***O quanto cada um dos pontos de vista abaixo se identifica com a percepção do Lean Manufacturing em sua empresa?**

	Muito fortemente	Fortemente	Moderadamente	Levemente	Não se percebe assim
Como um modismo	☐	☐	☐	☐	☐
Trata-se de um conceito de abordagem parcial da minha empresa	☐	☐	☐	☐	☐
Um conjunto de técnicas e ferramentas de gestão principalmente da produção	☐	☐	☐	☐	☐
Método para a melhoria da produtividade	☐	☐	☐	☐	☐
É um conceito de abordagem holística na empresa	☐	☐	☐	☐	☐

Sobre as ferramentas e técnicas do Lean Manufacturing a seguir listadas, marque a opção mais adequada quanto a aplicabilidade e eficácia para a sua empresa. (Assinale a opção "sem resposta" caso a ferramenta/técnica não lhe seja conhecida)

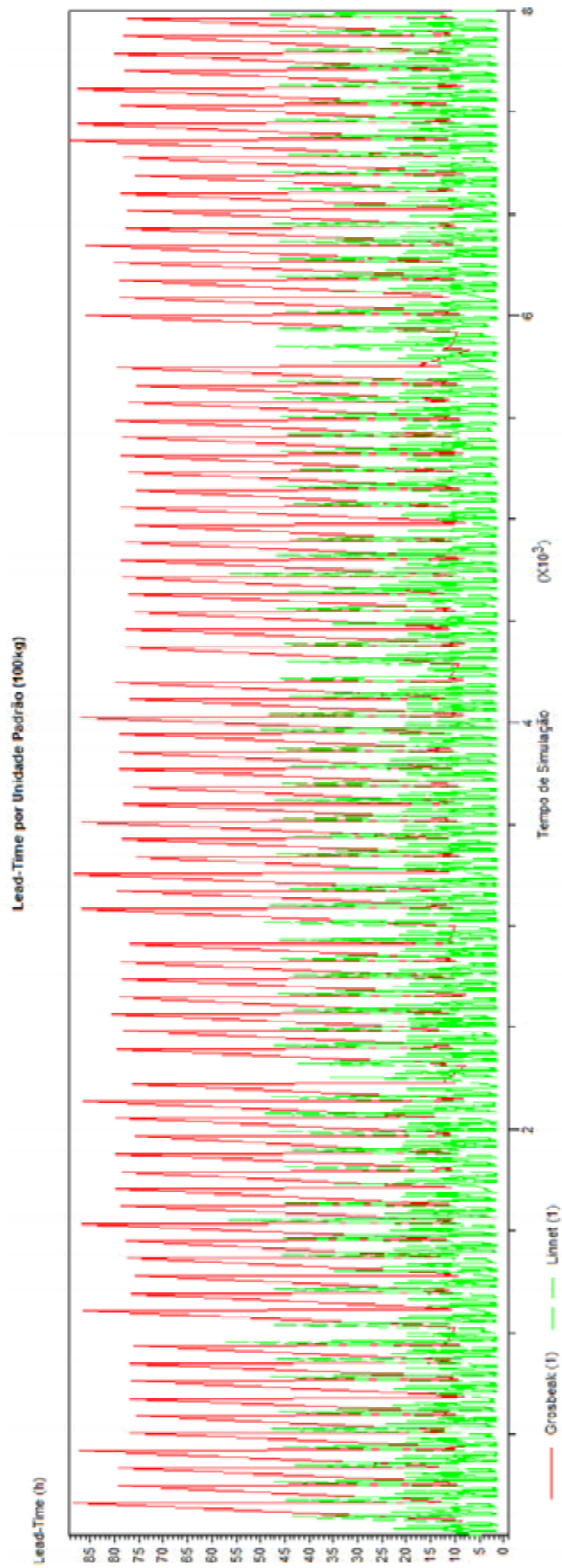
	Não aplicável	Aplicável mas pouco eficaz	Aplicável e eficaz	Aplicável e extremamente eficaz	Sem resposta
Células de fabricação	☐	☐	☐	☐	☐
Poka Yoke	☐	☐	☐	☐	☐
Jidoka/"automação"	☐	☐	☐	☐	☐
Fluxo contínuo (one piece flow) / redução do tamanho do lote	☐	☐	☐	☐	☐

Set-up rápido	☒	☒	☒	☒	☒
Produção conforme takt-time (produção sincronizada)	☒	☒	☒	☒	☒
TPM - Manutenção Produtiva Total	☒	☒	☒	☒	☒
Sistema de produção puxada (kanban, contenedores ou demarcações como controle da produção)	☒	☒	☒	☒	☒
5S	☒	☒	☒	☒	☒
Trabalhador multi-funcional / rodízio de funções	☒	☒	☒	☒	☒
Gestão visual	☒	☒	☒	☒	☒
Padronização do trabalho	☒	☒	☒	☒	☒
Kaizen: esforços de melhorias contínuas	☒	☒	☒	☒	☒
Recebimento e fornecimento just-in-time	☒	☒	☒	☒	☒
Mapeamento do fluxo de valor	☒	☒	☒	☒	☒
Trabalho em equipes (CCQ's, APG ou outras técnicas de trabalhos de grupos)	☒	☒	☒	☒	☒
*Sobre as ferramentas e técnicas do Lean Manufacturing a seguir listadas, marque as implantadas ou em implantação em sua empresa.					
	Implantada	Em implantação	Não implantada		
Células de fabricação	☒	☒	☒		
Poka Yoke	☒	☒	☒		
Jidoka/"autonomia"	☒	☒	☒		
Fluxo contínuo (one piece flow) / redução do tamanho do lote	☒	☒	☒		
Set-up rápido	☒	☒	☒		
Produção conforme takt-time (produção sincronizada)	☒	☒	☒		
TPM - Manutenção Produtiva Total	☒	☒	☒		
Sistema de produção puxada (kanban, contenedores)	☒	☒	☒		

ou demarcações como controle da produção)																																																					
5S	☐	☐	☐	☐	☐																																																
Trabalhador multi-funcional / rodízio de funções	☐	☐	☐	☐	☐																																																
Gestão visual	☐	☐	☐	☐	☐																																																
Padronização do trabalho	☐	☐	☐	☐	☐																																																
Kaizen: esforços de melhorias contínuas	☐	☐	☐	☐	☐																																																
Recebimento e fornecimento just-in-time	☐	☐	☐	☐	☐																																																
Mapeamento do fluxo de valor	☐	☐	☐	☐	☐																																																
Trabalho em equipes (CCQ's, APG ou outras técnicas de trabalhos de grupos)	☐	☐	☐	☐	☐																																																
Há outras técnicas/ferramentas do Lean Manufacturing, além das listadas nas questões anteriores, implantadas ou em implantação em sua empresa? (Por exemplo, ferramentas com o propósito da eliminação ou redução de desperdícios). Se houver, cite-as no espaço a seguir; caso contrário, deixe em branco.																																																					
*Quais os benefícios obtidos ou esperados com a adoção do Lean Manufacturing? <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Não previsto</th> <th>Baixo</th> <th>Moderado</th> <th>Elevado</th> <th>Muito elevado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Redução de custos</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Melhoria do nível de serviço</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Redução do prazo de entrega</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Redução do lead time (tempo de fabricação)</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Incremento da flexibilidade da manufatura</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Melhoria da satisfação do cliente</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Redução do tempo para desenvolvimento de novos produtos (time to market)</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> </tbody> </table>							Não previsto	Baixo	Moderado	Elevado	Muito elevado	Redução de custos	☐	☐	☐	☐	☐	Melhoria do nível de serviço	☐	☐	☐	☐	☐	Redução do prazo de entrega	☐	☐	☐	☐	☐	Redução do lead time (tempo de fabricação)	☐	☐	☐	☐	☐	Incremento da flexibilidade da manufatura	☐	☐	☐	☐	☐	Melhoria da satisfação do cliente	☐	☐	☐	☐	☐	Redução do tempo para desenvolvimento de novos produtos (time to market)	☐	☐	☐	☐	☐
	Não previsto	Baixo	Moderado	Elevado	Muito elevado																																																
Redução de custos	☐	☐	☐	☐	☐																																																
Melhoria do nível de serviço	☐	☐	☐	☐	☐																																																
Redução do prazo de entrega	☐	☐	☐	☐	☐																																																
Redução do lead time (tempo de fabricação)	☐	☐	☐	☐	☐																																																
Incremento da flexibilidade da manufatura	☐	☐	☐	☐	☐																																																
Melhoria da satisfação do cliente	☐	☐	☐	☐	☐																																																
Redução do tempo para desenvolvimento de novos produtos (time to market)	☐	☐	☐	☐	☐																																																
Salvar Questionário e Retornar confirmar [Sair e Limpar Questionário]																																																					

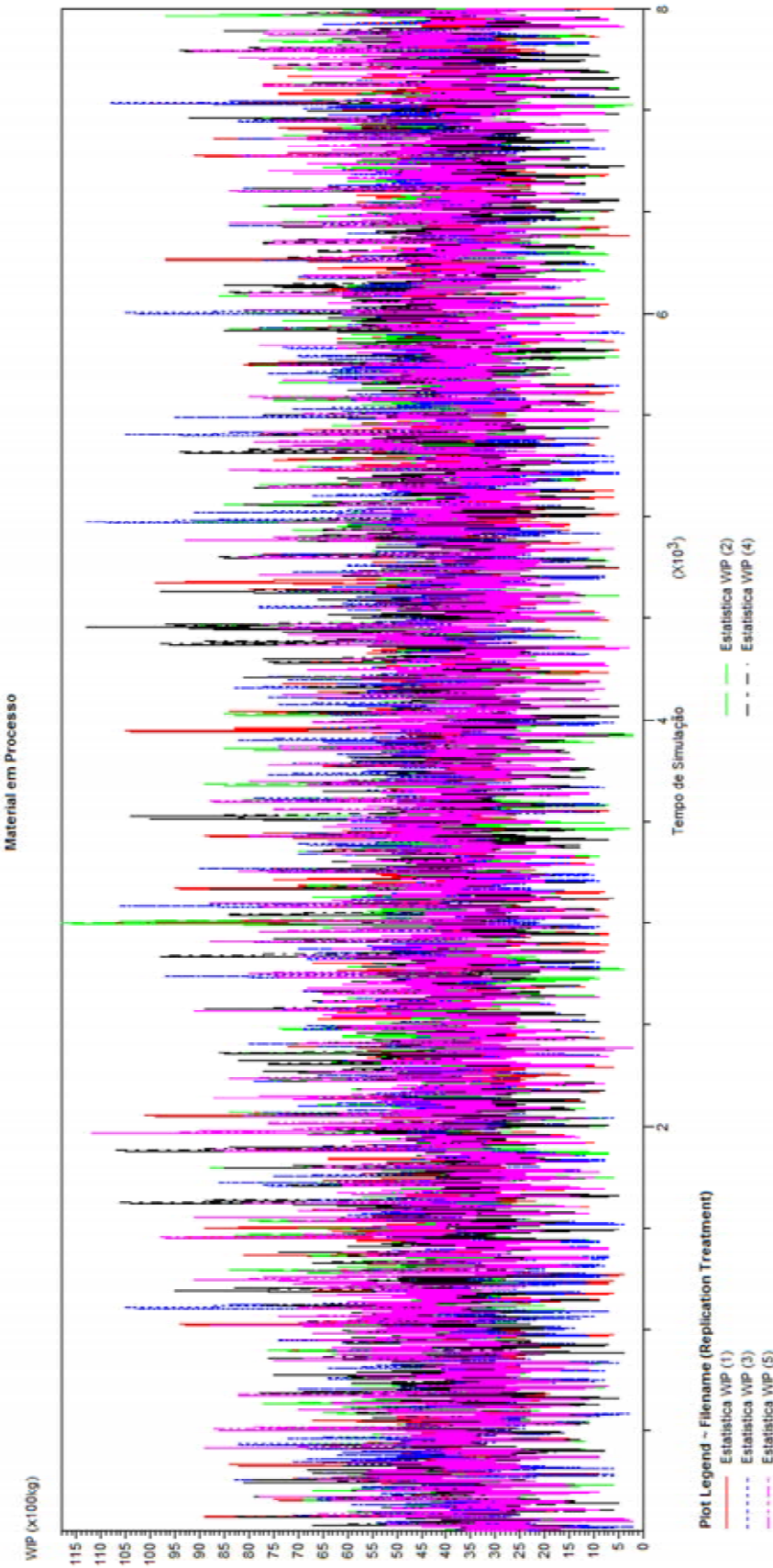
APÊNDICE B

Lead-time, simulação do mapa atual (7.500 horas de simulação, 1 replicação)



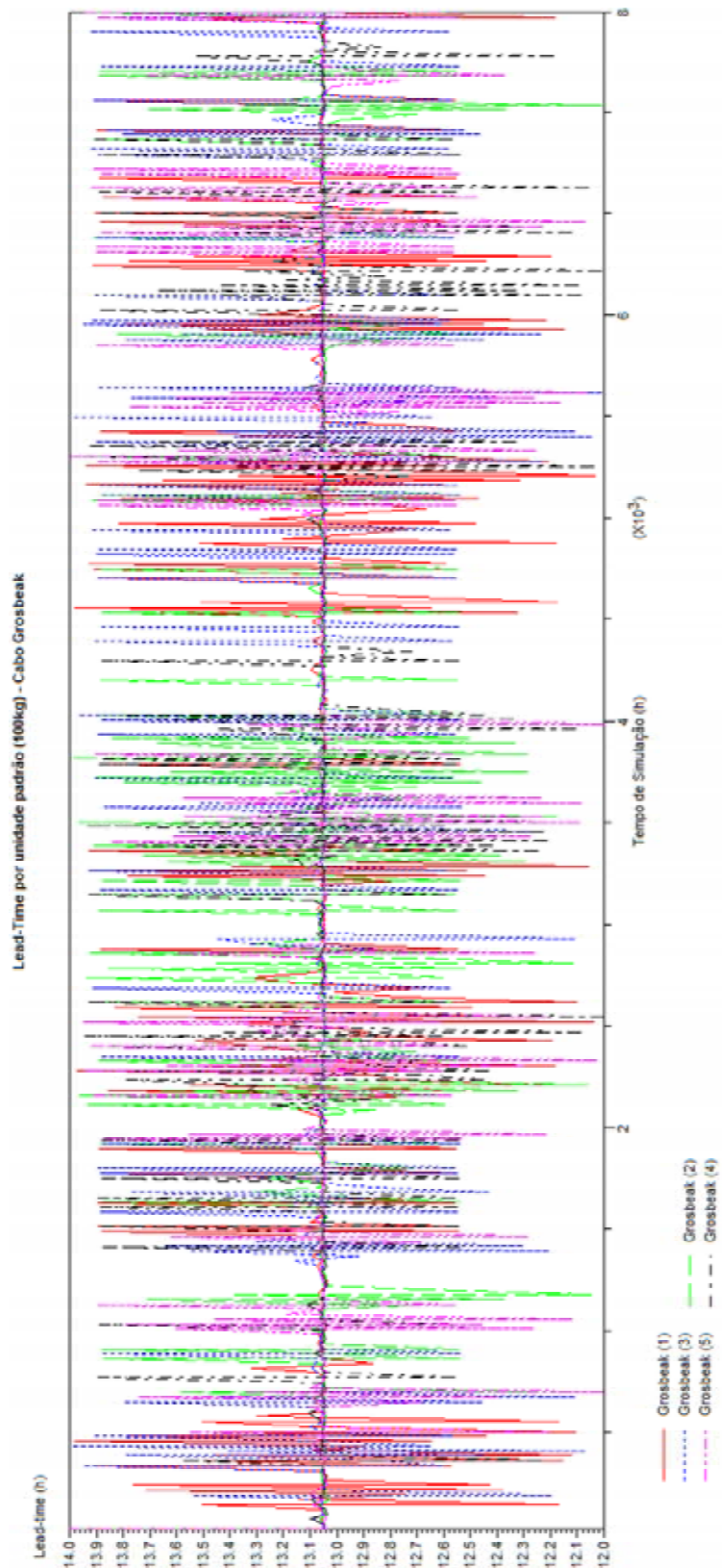
APÊNDICE C

Material em processo (WIP), simulação do mapa atual (7.500 horas, 5 replicações)



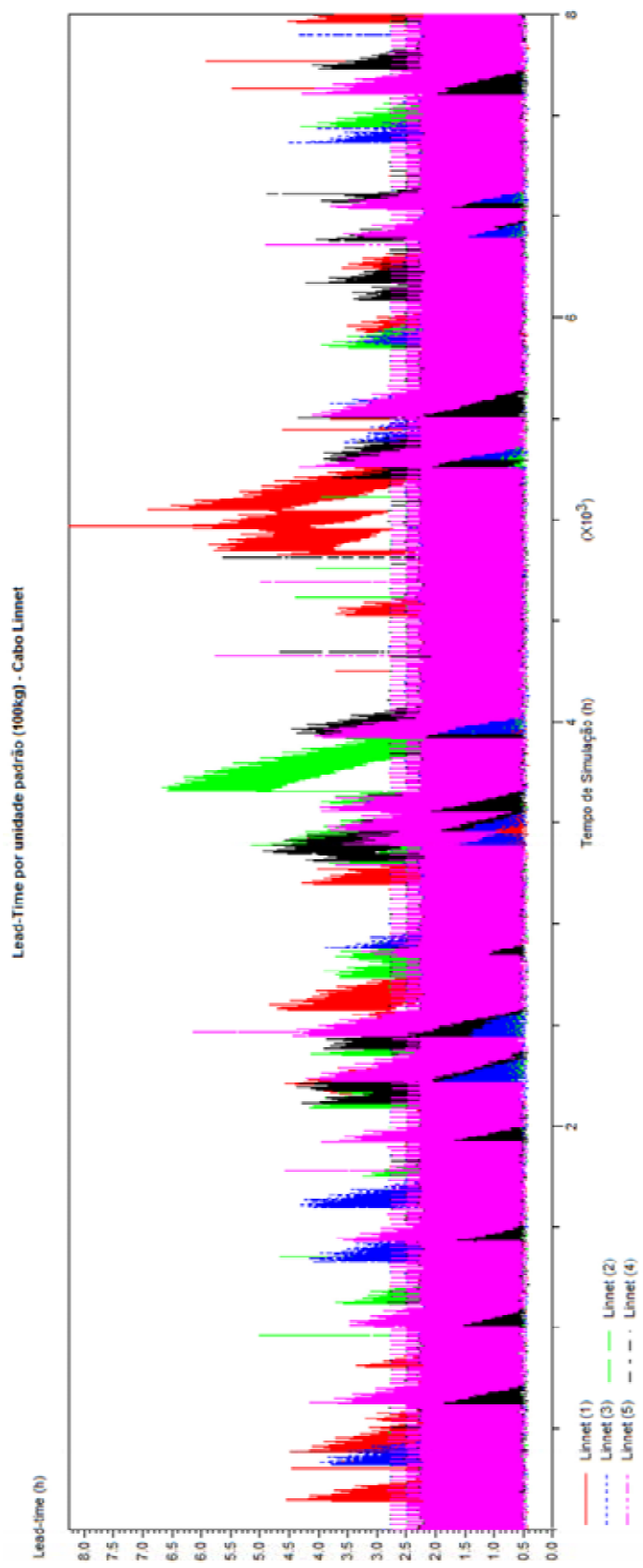
APÊNDICE D

Lead-time do cabo Grosbeak, simulação do mapa futuro (7.500 horas, 5 replicações)



APÊNDICE E

Lead-time do cabo Linnet, simulação do mapa futuro (7.500 horas, 5 replicações)



APÊNDICE F

Material em processo (WIP), simulação do mapa futuro (7.500 horas, 5 replicações)

