

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**

**Aplicação de metodologias de administração da
produção em um fabricante de cabos elétricos**

Autor: **Eng. Cláudio Ricardo Monteiro Pinto**

Orientador: **Prof. Dr. Antonio Batocchio**

95/2006

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO

Aplicação de metodologias de administração da produção em um fabricante de cabos elétricos

Autor : **Cláudio Ricardo Monteiro Pinto**

Orientador: **Prof. Dr. Antonio Batocchio**

Curso: Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Materiais e Processos

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Campinas, 2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

P658a Pinto, Cláudio Ricardo Monteiro
 Aplicação de metodologias de administração da
 produção em um fabricante de cabos elétricos / Cláudio
 Ricardo Monteiro Pinto. --Campinas, SP: [s.n.], 2006.

 Orientador: Antonio Batocchio
 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
 Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

 1. Teoria das restrições (Administração). 2. Sistemas
 flexíveis de fabricação. 3. Simulação (Computadores).
 4. Processos de fabricação. 5. Sistemas de fabricação
 integrada por computador. I. Batocchio, Antonio. II.
 Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
 Engenharia Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: An application of management methodologies to a continuous-
production manufacturing system

Palavras-chave em Inglês: Theory of constrains (TOC), Lean manufacturing, Agile
manufacture, Computer-based simulation

Área de concentração: Materiais e Processos

Titulação: Mestre em Engenharia Mecânica

Banca examinadora: Olívio Novaski e Arthur José Vieira Porto

Data da defesa: 18/09/2006

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Aplicação de Metodologias de Administração da
Produção em um Fabricante de Cabos Elétricos**

Autor : **Cláudio Ricardo Monteiro Pinto**
Orientador: **Prof. Dr. Antonio Batocchio**

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:

Prof. Dr. Antonio Batocchio - Orientador
DEF/FEM/UNICAMP

Prof. Dr. Olívio Novaski
DEF/FEM/UNICAMP

Prof. Dr. Arthur José Vieira Porto
SEM/EESC/USP

Campinas, 18 de Setembro de 2006

Dedicatória:

Dedico este trabalho a minha família, em especial a minha esposa que sempre me apoiou para atingir o objetivo e conclusão deste trabalho.

Agradecimentos:

Este trabalho não poderia ser terminado sem a ajuda de diversas pessoas às quais presto minha homenagem:

Aos meus pais pela educação e formação em minha carreira profissional.

Ao meu orientador Profº Dr. Antonio Batocchio, que confiou sempre em meu projeto.

Aos meus amigos da empresa e principalmente o Engº Paulo Massuda que me apoiou na realização deste trabalho.

Outra pessoa que não posso deixar de citar é meu irmão, Roberto Monteiro Pinto (*in memorian*), que me direcionou na carreira técnica.

*“...As pessoas se convensem de que a sorte me ajudou,
mas plantei cada semente que o meu coração desejou...”*

“Aldir Blanc e Nando”

Resumo

PINTO, Cláudio Ricardo Monteiro, *Aplicação de metodologias de administração da produção em um fabricante de cabos elétricos*, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2006. 105 p. Dissertação de Mestrado.

Atualmente o aumento da competitividade industrial e da concorrência, está gerando uma busca constante de produtos inovadores e de baixo custo. Alguns seguimentos industriais também tem sentido o poder das “commodities”, onde grande parte dos custos envolvidos nos processos, principalmente matérias-primas, não são de controle da empresa dificultando e reduzindo a sua margem de atuação frente a concorrência.

Existem diversas técnicas administrativas que demonstram excelentes resultados com as suas implementações, como a Teoria das Restrições (TOC), Manufatura Enxuta, Manufatura Agil, etc e estes sistemas podem ser tratados de forma integrada e comparativa (Godinho Fº e Fernandes, 2005). O objetivo deste trabalho é avaliar a aplicação destas ferramentas em uma empresa com regime de produção semi-contínuo de condutores elétricos, analisando os resultados das implementações realizadas através de métricas aplicadas ao setor.

A Empresa estudada é uma empresa multinacional do ramo Eletroeletrônico, mais especificamente Condutores Elétricos, que atua principalmente no segmento de Energia e a linha de produtos selecionada para este estudo foi a de cabos flexíveis.

Realizou-se o levantamento do fluxo de valor da empresa adotando a metodologia da Manufatura Enxuta e avaliou-se o impacto de cada fase do processo em relação ao processo como um todo, através deste levantamento determinou-se o ponto de restrição do sistema, e a partir daí

foram definidas algumas ações de controle, como kanban, supermercado de peças e planos de manutenção preventiva nos equipamentos.

Como resultado atingiu-se um incremento de 100% de capacidade de fabricação de cabos flexíveis com um aumento de produtividade na ordem de 90%, uma redução do nível de inventário de 33% e uma melhoria de qualidade com a redução de 20% no nível de ppm's gerados por falhas. Outro fator importante foi a redução no tempo de dimensionamento e implementação dos novos processos com o auxílio da Simulação por computador.

Foi possível observar que é viável o uso conjunto da TOC e da Manufatura Enxuta comprovando a aplicabilidade destas teorias em um processo de fabricação de condutores elétricos.

Palavras Chave

- Teoria das Restrições, Manufatura Enxuta, Manufatura Ágil e Simulação por computador

Abstract

PINTO, Cláudio Ricardo Monteiro, *An application of management methodologies to a continuous-production manufacturing system*, Campinas: Mechanical Engineering College, Campinas State University, 2006. 105 p. Master's Dissertation.

The increasing degree of industrial competitiveness and competition has been generating recently a constant search for innovative and low-cost products. Some industrial segments have also been affected by the power of “commodities”, in relation to which a significant part of process-related costs, chiefly raw-materials, are not controlled by the enterprise, something that makes difficult and reduces its margins for maneuver before competition.

There are several managing techniques that present optimum implementation results, as is the case of the Theory of Constraints - TOC), Lean Manufacturing and Agile Manufacture, systems that can be approached in a integrated and comparative way (Godinho Fº e Fernandes, 2005). This work aims to evaluate the application of these tools in a company producing electric conductors in a semi-continuous production regime by means of the evaluation the results of implementations introduced by metrics applied to the sector.

The Enterprise studied is an Electronics multinational that produces electrical conductors, chiefly for the Power segment, and we selected for this study the production of flexible cables.

The value flow of the company was evaluated adopting the "Lean Manufacture" philosophy and we examined the impact of each phase of the process in relation to the process as a whole. This survey allowed determining the system's point of restriction, and the identification of the system's restrictions allowed to define some controlling actions, like kanban, parts supermarket and preventive equipment-maintenance plans.

As a result, an increment of 100% in manufacture capacity of flexible cables was reached, with an increase in productivity of 90%, a reduction in the level of inventory of 33% and a quality improvement with the reduction of 20% in the level of failure-induced PPMs. Another important factor was the reduction in the time of dimensioning and implementation of the new processes with the help of computer-based simulation.

The work showed the joint use of TOC and Lean Manufacturing to be possible, proving these theories to be applicable to a manufacturing process of electric cables production.

Keywords: Theory of Constraints (TOC), Lean Manufacturing, Agile Manufacture, Computer-based Simulation

Sumário:

Dedicatória.....	iv
Agradecimentos.....	v
Pensamento.....	vi
Resumo.....	vii
Abstract.....	ix
Sumário.....	xi
Lista de Figuras.....	xv
Lista de Tabelas.....	xvi
Lista de Gráficos.....	xviii

Capítulo 1 : Introdução

1.1 – Considerações Iniciais.....	1
1.2 – Método de Pesquisa.....	3
1.3 – Conteúdo da Dissertação.....	3

Capítulo 2 : Revisão Bibliográfica

2.1 – Sistemas de Manufatura Convencionais.....	5
2.2 – Manufatura Enxuta.....	6
2.2.1 – Just in Time.....	8
2.3 – Teoria das Restrições (TOC).....	17
2.3.1 – Comparação da Manufatura Enxuta e da Teoria das Restrições.....	19
2.4 - Manufatura Ágil.....	21
2.4.1 – Comparação da Manufatura Enxuta e da Manufatura Ágil.....	23
2.5 – Manufatura Integrada.....	25
2.6 – Simulação de um Sistema de Manufatura.....	28

2.7 – Medições de Desempenho.....	29
2.7.1 – Capacidade de Adaptação.....	30
2.7.2 – Flexibilidade.....	36
2.7.3 – Produtividade.....	39
2.8 – Conceituação.....	40

Capítulo 3 : Metodologia

3.1 – Caracterização e Avaliação da Empresa	43
3.2 – Mapeamento do Processo da Empresa e Identificação das Restrições	51
3.3 – Implantação de Melhorias nos Processos.....	53
3.4 – Avaliação dos Indicadores da Empresa.....	53

Capítulo 4 : Resultados

4.1 – Análise do Fluxo de Valor.....	56
4.2 – Análise dos pontos de restrição.....	58
4.3 – Implantação de Melhorias nos Processos.....	59

4.4 – Avaliação dos Resultados.....	75
-------------------------------------	----

Capítulo 5 : Conclusões/Trabalhos Futuros

5.1 – Conclusões.....	77
-----------------------	----

5.2 – Trabalhos Futuros.....	78
------------------------------	----

Referências Bibliograficas.....	79
---------------------------------	----

Anexos

Anexo 1: Utilização e Configuração do Software Arena.....	84
---	----

Anexo 2: Customizando o modelo para a Fabrica de Condutores Elétricos.....	94
--	----

Anexo 3: Parâmetros Introduzidos no Software Arena para Simulação do Kanban.....	99
--	----

Anexo 4: Simulação da capacidade (500toneladas).....	102
--	-----

Anexo 5: Dimensionamento dos supermercados (500toneladas).....	103
--	-----

Anexo 6: Simulação da capacidade (600toneladas).....	104
--	-----

Anexo 7: Dimensionamento dos supermercados (600toneladas).....	105
--	-----

LISTA DE FIGURAS

2.1 – Exemplo de fluxo com transferência unitária.....	10
2.2 – Fluxo de atividade de melhoria contínua.....	12
2.3 – Ciclo de redução do número de mão-de-obra.....	13
2.4 – Relação variedade de produtos e o volume de produção.....	31
2.5 – Coeficiente de Adaptabilidade.....	34
2.6 – Principais componentes de flexibilidade dos sistemas de manufatura.....	37
2.7 – Relação da capacidade de adaptação e o tempo de reação do sistema ou organização.....	38
4.1 – Quadro de Kanban.....	67
4.2 – Interfaceamento das lógicas do sistema simulado.....	71

LISTA DE TABELAS

2.1 – Lean Enterprise Institute = Theory of constraints versus Lean thinking.....	21
2.2 – Manufatura Enxuta x Manufatura Ágil.....	24
2.3 – Exigências do mercado.....	29
2.4 – Atividades principais ao desenvolvimento de um produto.....	32
2.5 – Eras Históricas.....	41
4.1 – Formação de Cabos – Número de Fios x Diâmetro dos Fios.....	47
4.2 - Distribuição dos fios por tipo de formação de cabo.....	49
4.3 – Percentual de Tempo por fase produtiva no estudo proposto.....	57
4.4 – Divisão de Volumes por Fase Produtiva.....	58
4.5 – Situação Anterior das Rotas de Trefilação.....	61

4.6 – Situação Proposta das Rotas de Trefilação.....	62
4.7 – Simulação de Capacidade para 300 toneladas por mês.....	64
4.8 – Simulação de Capacidade para 600 toneladas por mês.....	65
4.9 – Resultados Empresa.....	76

LISTA DE GRÁFICOS

4.1 – Percentual de Ocupação por Fase.....	57
4.2 – Evolução da Produção e Produtividade.....	75

Capítulo 1

Introdução

1.1 – Considerações Iniciais

O progresso tecnológico teve influência direta nas transformações econômicas e técnicas nas últimas décadas. O surgimento do mercado globalizado trouxe uma diversidade em termos de demanda e oferta, as empresas passaram a sofrer novos tipos de pressões bem diferentes daquelas sofridas na Era Industrial.

Este novo mercado fez com que as empresas buscassem uma maior velocidade de adaptação em seus processos, competência e capacidade de aprendizagem, tanto da empresa como dos seus colaboradores, além da capacidade permanente de inovação. Em conjunto com esta nova era, chamada de Era do Conhecimento, que marcou o final do século XX, as áreas de informação (comunicação e informática) evoluíram rapidamente fazendo com que as áreas de manufatura passassem a buscar continuamente uma maior produtividade, com a reestruturação, modernização e inovação de seus processos.

A década de 60 foi o marco na busca de uma melhor racionalização na área de manufatura. O russo Mitrofanov com o livro “The Scientific Principles of Group Technology” (Os princípios científicos da Tecnologia de Grupo), formalizou o conceito da Tecnologia de Grupo, que foi

definitivamente caracterizada através da publicação de J.L.Burbidge, em 1962, do método de Análise de Fluxo de Produção.

A integração das informações é uma característica organizacional, seu desempenho depende da simplificação das estruturas de forma que as informações transitem sem barreiras. Drucker (1998) previu que as organizações sofreriam uma profunda remodelação em seus níveis hierárquicos, com a redução pela metade dos níveis gerenciais, e em 20 anos uma redução para um terço do retrato da época.

Atualmente as indústrias vêm sofrendo com a pressão da competitividade, onde a ação das empresas é a busca constante de oferecer produtos inovadores, com baixo custo, e na frente da concorrência. Outro fator muito forte também em alguns seguimentos industriais são as “comodites”, onde grande parte dos custos envolvidos nos processos, principalmente matérias-primas, não são de controle da empresa dificultando e reduzindo a sua margem de atuação frente a concorrência.

Conforme observado na literatura específica, as empresas que querem estar prontas para enfrentar a competição do mercado internacional, devem possuir algumas características para buscar a excelência nos negócios (Schonberger, 1986). Existem diversas técnicas administrativas que demonstram excelentes resultados com as suas implementações, como a Teoria das Restrições (TOC), Manufatura Enxuta, Manufatura Ágil, etc e estes sistemas podem ser tratados de forma integrada e comparativa (Godinho Fº e Fernandes, 2005). Não observamos esta prática no ambiente de produção de condutores elétricos.

A junção de diferentes metodologias de administração pode proporcionar aumentos de produtividade, qualidade e redução de custo no seguimento de condutores elétricos.

Tendo em vista a simplificação do sistema de manufatura de uma empresa com base nas metodologias da Teoria das Restrições (TOC), Manufatura Enxuta e Manufatura Ágil, o objetivo deste trabalho é avaliar a aplicação destas ferramentas em uma empresa com regime de produção

semi-contínuo de condutores elétricos, analisando os resultados das implementações realizadas através de métricas aplicadas ao setor.

1.2 – Método de Pesquisa

O método da Pesquisa-Ação foi escolhido por ser considerado um tipo de pesquisa com base empírica que é concebida e realizada em associação com uma ação ou com uma solução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo (Thiollent, 2004).

Yin (2001) admite que o Estudo de Caso seja uma inquirição empírica que investiga acontecimentos contemporâneos dentro de um contexto da vida real, porém quando não se podem manipular comportamentos relevantes.

Segundo Thiollent (2004), a pesquisa ação é uma orientação destinada ao estudo e à intervenção em situações reais. Neste caso ela se apresenta como alternativa a tipos de pesquisas convencionais.

1.3 – Conteúdo da Dissertação

No Capítulo 1 foi descrito de forma sucinta as transformações do Mercado e as conseqüentes mudanças nos processos industriais, sendo que para que as organizações fizessem as adaptações em seus processos de forma sistêmica, surgiram diversas metodologias administrativas, que quando aplicadas adequadamente tornam o processo mais robusto e adaptável, isto justifica este projeto de pesquisa que tem o objetivo avaliar os ganhos com a introdução destas metodologias.

No Capítulo 2 foi realizada uma revisão bibliográfica onde primeiramente revisamos os Sistemas de Manufatura, principal foco desta dissertação, depois damos foco na evolução dos métodos de Avaliação de Desempenho detalhando alguns parâmetros de medição como a

Adaptabilidade, Flexibilidade e Produtividade e finalmente fazemos uma conceituação da evolução das metodologias de administração e seus principais fatores de sucesso na aplicação, auxiliando na escolha da melhor opção a ser adotada.

No Capítulo 3 foi descrita a metodologia usada no estudo proposto com o levantamento do fluxo de valor da empresa adotando a filosofia “Enxuta”. Utilizou-se também o princípio de Pareto para selecionar as fases do processo em termos de percentual de ocupação para determinar o impacto de cada fase do processo em relação ao processo como um todo, este levantamento propiciou a análise do ponto de restrição do sistema. A fase de processo em que a capacidade estava com o valor determinado mais próximo do empenho previsto foi considerado como uma restrição do sistema. A partir da identificação das restrições de um sistema foram definidas algumas ações de controle, como kanban, supermercado de peças e planos de manutenção preventiva nos equipamentos.

Para avaliar as mudanças propostas foi utilizado um software de simulação com a base das ações propostas.

No Capítulo 4 foram descritas as ações realizadas em uma empresa do ramo eletroeletrônico baseando-se na metodologia descrita no capítulo 3, e os resultados obtidos com o processo de simulação.

No Capítulo 5 foram descritas as conclusões obtidas com a metodologia proposta nesta dissertação.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

A seguir descreve-se uma revisão das metodologias dos sistemas de manufatura que foram aplicadas no contexto desta monografia. Apresenta-se também uma breve revisão de conceitos defendidas por alguns autores, para que seja possível relacioná-las com a proposta deste trabalho.

2.1 – Sistemas de Manufatura Convencionais

Batocchio & Agostinho (1998) definiram a Manufatura como o processo de transformação de matéria-prima em produtos finais, para suprir a necessidade dos consumidores.

Segundo Batocchio (1992), os sistemas convencionais de Manufatura são caracterizados usualmente três tipos básicos de manufatura:

- a) Manufatura Individual: Produção de quantidades pequenas de produtos.
- b) Manufatura em Lotes: Manufatura é efetivada em séries ou lotes.
- c) Manufatura em Massa: Quando se tem uma grande quantidade de produtos de um tipo ou tipos semelhantes.

As necessidades de adequação dos sistemas de manufatura face às mudanças de exigências do mercado fizeram com que os sistemas convencionais evoluíssem para sistemas que focassem tais exigências conforme iremos descrever a seguir.

2.2 – Manufatura Enxuta

É uma metodologia de mudança organizacional que tem como objetivo o aumento da sua lucratividade, com menores “lead-time” para entregar produtos e serviços com elevada qualidade e baixos custos através da melhoria do fluxo produtivo via eliminação dos desperdícios no fluxo de valor.

A indústria automobilística após o fim da segunda guerra mundial vivenciou diversas dificuldades, a princípio desejavam utilizar métodos da produção em massa, que haviam sido estudados por diversos administradores japoneses nos Estados Unidos. No entanto o mercado japonês era limitado e demandava diversos modelos diferentes de automóveis, não possibilitando a produção em massa. Estas dificuldades estimularam a criação de novos métodos de produção e administração. O conjunto desses métodos foi denominada de Manufatura Enxuta (Womack, 1990).

O modelo de produção enxuta apresenta as seguintes características: manufatura flexível com menor número de máquinas especializadas, redução de estoques, multifuncionalidade e qualificação da mão-de-obra com ênfases a trabalhos em equipe, ações preventivas de falhas na linha de montagem evitando refugos no final do processo e parceria com os fornecedores.

No desenvolvimento de novos produtos na manufatura enxuta, é dada ênfase às equipes multifuncionais com liderança forte, e participação ativa dos especialistas de todas as áreas, melhorando com isso a capacidade de projetar e atender um maior mix de produtos com respostas rápidas às exigências do mercado frente também a concorrência externa. O projeto enxuto, permite uma aproximação maior entre as áreas de desenvolvimento e a engenharia do produto

tendo como consequência a maior rapidez na introdução de inovações tecnológicas nos novos modelos.

Mattar & Aquino (1997) compararam e demonstraram a superioridade deste desempenho no desenvolvimento de produtos da Indústria Japonesa em relação aos EUA e Europa.

Segundo Lima (2001), a produção em lote e os altos volumes são os chamados “duplo mal” pois:

- Esconde os problemas;
- Devido ao elevado tempo de manufatura ou tempo de throughput os tempos de resposta aos problemas de qualidade são extremamente elevados.

“O projeto do equipamento e o projeto da célula são elementos fundamentais para se atingir a manufatura enxuta.” (Lima, 2001)

As atividades do sistema enxuto têm por objetivo a redução dos custos através do emprego de controles na organização que definem o valor agregado aos clientes. Todos os esforços são para eliminar etapas que não agregam valor ao cliente final.

Os 5 passos da Manufatura Enxuta segundo o Lean Enterprise Institute (1999) são:

- 1º) Caracterizar os valores agregados no foco do cliente;
- 2º) Identificar o fluxo de valor;
- 3º) Mapear o fluxo;
- 4º) Criar um sistema de “puxar” a produção;
- 5º) Aperfeiçoar o sistema.

Segundo Monden (1983), o contínuo fluxo de produção, ou a capacidade de adaptação às mudanças em quantidades e variedades de produtos, foi a base da criação dos 2 conceitos chaves: Just-in-time e Autonomation (“Jidoka” em japonês). Just-in-Time basicamente significa produzir o necessário na quantidade certa no menor tempo. Autonomation é interpretado como a autonomia no controle de falhas. Estes 2 conceitos incluem ainda a flexibilização da mão-de-obra (“Shojinka” em japonês), que é a variação no número de trabalhadores em função da demanda, e o desenvolvimento da criatividade (“Soikufu”), ou capitalização das idéias dos trabalhadores.

2.2.1 – Just in Time

A idéia de produzir somente o produto necessário, na quantidade necessária, no tempo certo é o resumo do que as técnicas de JIT têm como propósito (Monden, 1983).

O Just in Time (JIT) surgiu no Japão, nos meados da década de 70, baseado no chamado Sistema Toyota de Produção (Manufatura Enxuta), isso fez do JIT um método adequado de adaptação para mudanças de produtos e flutuações de demanda.

O sistema de "puxar" a produção a partir da demanda, produzindo em cada estágio somente os itens necessários, nas quantidades necessárias e no momento necessário, ficou conhecido no Ocidente como sistema Kanban. Porém o Kanban é apenas uma técnica de gerenciamento do JIT. O JIT é muito mais do que uma técnica ou um conjunto de técnicas de administração da produção, sendo considerado como uma completa "filosofia" que inclui:

- produção sem estoques;
- eliminação de desperdícios;
- manufatura de fluxo contínuo;
- esforço contínuo na resolução de problemas;
- melhoria continua dos processos.

O sistema JIT tem como objetivo a melhoria contínua do processo produtivo, sendo que fundamentalmente a redução de custos é um dos principais enfoques. Um dos mecanismos utilizados para atingir este objetivo é a redução dos estoques.

Os estoques têm sido utilizados para evitar descontinuidades do processo produtivo, diante de problemas de produção que podem ser classificados principalmente em três grandes grupos:

- Problemas de qualidade;
- Problemas de quebra de máquina;
- Problemas de preparação de máquina.

O planejamento da produção no sistema JIT deve garantir uma carga de trabalho diária estável, que possibilite o estabelecimento de um fluxo contínuo de material. O sistema de programação e controle da produção está baseado no uso de cartões para a transmissão de informação entre os centros produtivos. Esse sistema é denominado de sistema Kanban, e segue a lógica de "puxar" a produção, de modo a atender à demanda dos centros consumidores. O Kanban requer muitas adaptações entre elas:

- precisão nas quantidades produzidas;
- tempos de troca (set-up);
- projetos de produtos e processos adequados;
- padronização dos processos produtivos;
- sistemas de controle de falhas;
- atividades de melhorias contínuas (CCQ's).

A implementação do sistema JIT requer enfoques na redução do "lead time" de fabricação, sendo que é necessário desenvolver o sistema unitário de produção, ou seja, uma unidade produzida deve ser transferida para a próxima máquina de forma a reduzir os inventários e os

tempos entre fases do processo, isto pode ser garantido com um lay-out adequado que garanta um fluxo adequado do processo, e na redução nos tempos de troca de produtos, garantindo assim a manutenção dos tempos e a redução dos lotes de produção (Li & Barnes, 2000). Como exemplo desta redução necessária de tempos entre fases de produção pode imaginar um processo com 3 fases de produção, sendo gasto 1 minuto por processo, para produzir 600 peças serão gastos 600 minutos (10 horas) por fase e conseqüentemente 30 horas para conclusão dos produtos. Porém se a primeira peça for produzida e transferida unitariamente para a próxima fase e assim sucessivamente o tempo total do processo pode ser reduzido para 602 minutos, conforme ilustração a seguir:

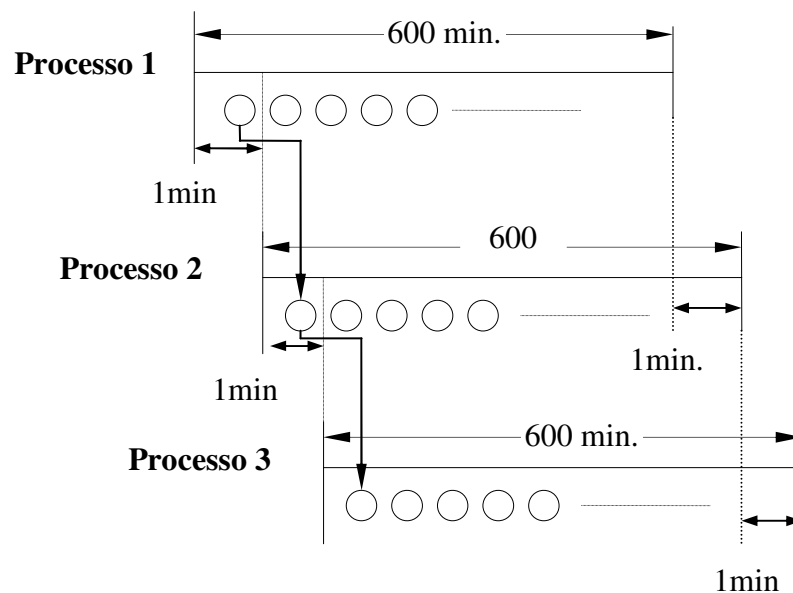


Figura 2.1 – Exemplo de Fluxo com transferência unitária (Mondey, 1983)

A adequação flexível do número de operários em relação as flutuações de demanda é chamado de Shojinka, ou seja quando ocorre uma redução na demanda os operários da linha em questão devem ser reduzidos e vice-versa em relação ao aumento de demanda. Tal adaptação requer uma multifuncional idade destes operários e uma adequação dos lay-out de forma a ocorrer a transição dos operários em função da demanda dos produtos.

O sistema JIT tenta aumentar constantemente a produtividade e reduzir os custos, e para aumentar a produtividade, deve-se manter o nível de produção e reduzir a mão-de-obra

empregada. Tal situação tende a criar ações humanitárias contrárias, que podem ser resolvidas com o envolvimento dos trabalhadores neste sistema de melhoria contínua, os chamados Círculos de Controle de Qualidade.

Adicionalmente o sistema Kanban entre outras funções contribui para promover um sistema de melhoria contínua em produtividade, esta relação entre o Kanban e o sistema de melhoria contínua no local de trabalho com o relacionamento do círculos de controle de qualidade pode ser avaliada na fluxo a seguir:

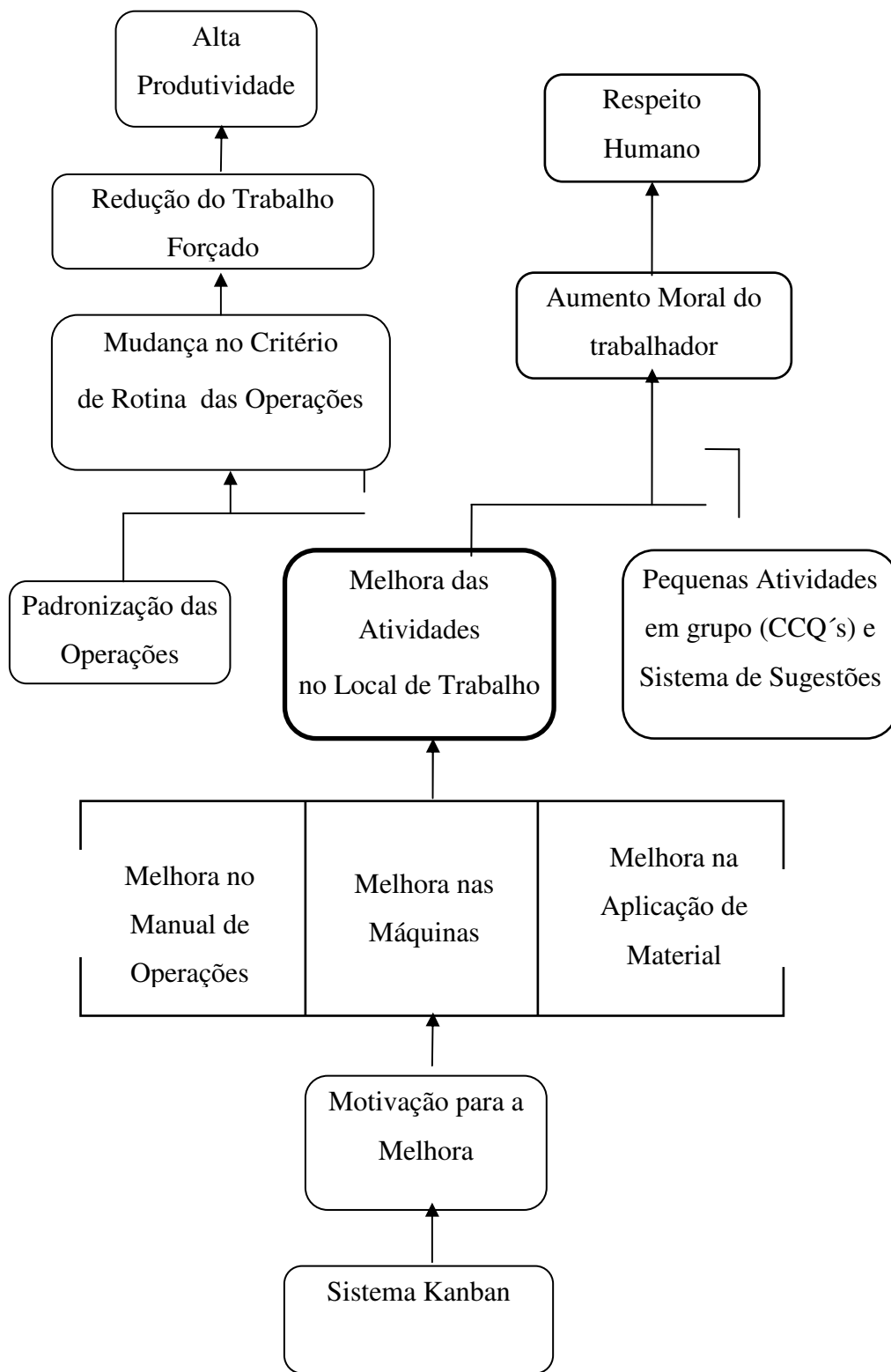


Figura 2.2 – Fluxo de atividade de melhoria contínua (Mondey, 1983).

Quando são realizadas melhorias que reduzem o número de operadores, existem três passos que fazem parte de um processo cíclico:

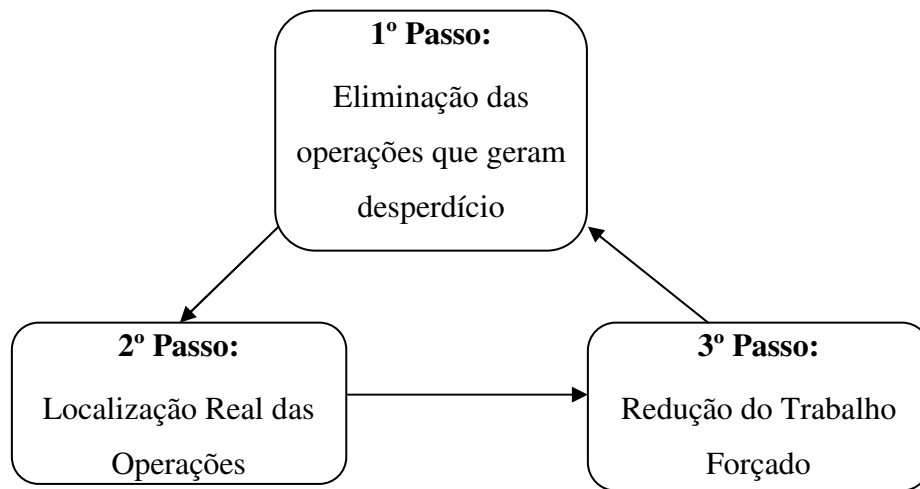


Figura 2.3 – Ciclo de redução do número de mão-de-obra (Mondey, 1983).

Há duas áreas de operação do sistema JIT, que devem ser desenvolvidas sequencialmente ou em paralelo: internamente à fábrica, e entre a fábrica e seu ambiente externo, seja no relacionamento com os fornecedores ou com os consumidores. A comparação realizada por Ulharuzo (1993) entre 2 fabricantes de autopeças com estruturas administrativas descentralizadas reforça a necessidade de inter-relação com os ambientes internos e externos para atingir os objetivos propostos no JIT.

A análise dos produtos e componentes produzidos na fábrica em função da frequência de produção torna-se um fator de sucesso do sistema JIT, sendo considerado uma análise ABC com análise de pareto, podemos classificar os itens em três categorias:

- 1º) Itens de fluxo regular;
- 2º) Itens de fluxo irregular;
- 3º) Itens de fluxo eventual.

As duas primeiras categorias são adequadas ao sistema kanban de “puxar” a produção, associado à operação de um sistema de cálculo de necessidades de materiais (possivelmente do tipo MRP) para a gestão da aquisição de materiais de terceiros. A terceira categoria pode requerer suporte de sistemas mais complexos.

O MRP e o Kanban são sistemas aplicáveis ao sistema JIT (Corrêa, 1993), O MRP utiliza o conceito de alocação de horas, que é similar ao conceito do Kanban para um dia.

O sistema Kanban é caracterizado como um sistema de “puxar”, o MRP é caracterizado como um sistema de “empurrar” a produção.

Os dois sistemas podem ser compatíveis. Depois de o MRP gerar o plano mestre de produção, o sistema Kanban pode ser aplicado como uma ferramenta de produção, porém a opção de um sistema de “puxar” ou “empurrar” a produção depende basicamente do nível de influência direta do cliente, pois se é uma influência baixa, um sistema de empurrar é mais adequado, já se for uma influência alta, um sistema de puxar é mais adequado (Kim & Palekar, 2002).

O JIT assim como outras técnicas possui características, as quais formam um corpo coerente com os princípios do JIT (Hutchins, 1993), entre estas características podemos citar:

a) O sistema JIT não se adapta à produção de mix de produtos muito diferentes, pois, em geral, isto requer extrema flexibilidade do sistema produtivo em dimensões que não são conseguidas com a filosofia JIT. Conseqüentemente, deve ser dada ênfase ao "projeto adequado à manufatura" e ao "projeto adequado à montagem", de modo a permitir que os setores produtivos tenham um foco definido, sem, entretanto restringir demais a variedade de produtos oferecidos ao mercado. Como o sistema kanban prevê a manutenção de certo estoque de componentes entre os centros de produção, conforme foi descrito, se houver uma variedade muito grande de produtos e de componentes, o fluxo de cada um não será contínuo e sim intermitente, gerando altos estoques em processo para cada item, principalmente considerando-se a demanda de cada um. Isto contrariaria uma série de princípios da filosofia JIT, comprometendo sua aplicação. Outro

problema resultante da grande variedade de produtos seria a conseqüente complexidade dos roteiros de produção. O princípio geral de transformação do processo produtivo numa linha contínua de fabricação e montagem de produtos fica prejudicado se um conjunto de roteiros preferenciais não pode ser estabelecido.

b) o layout do processo de produção deve ser celular, dividindo-se os componentes produzidos em famílias com determinado roteiro de produção e formas similares; dessa forma, podem-se montar pequenas linhas de produção (células), de modo a tornar o processo mais eficiente, reduzir a movimentação e o tempo gasto com preparação de máquina.

c) O planejamento da produção no sistema JIT deve garantir uma carga de trabalho diária estável, que possibilite o estabelecimento de um fluxo contínuo de material. O sistema de programação e controle da produção está baseado no uso de cartões para a transmissão de informação entre os centros produtivos. Esse sistema é denominado de sistema kanban, e segue a lógica de "puxar" a produção, produzindo somente o necessário, na quantidade necessária e no momento necessário, de modo a atender à demanda dos centros consumidores. Na sua forma mais avançada, a fábrica JIT não tem nenhuma margem de segurança na forma de estoques de segurança, material semi-acabado ou material em processo. Todas as normas relacionadas com esses fatores de segurança são continuamente questionadas.

d) A fábrica deve ser mantida em boa condição de trabalho todo o tempo, usando rotinas de manutenção planejadas.

e) O JIT requer aplicação intensa de programas de envolvimento do trabalhador, particularmente daqueles que incorporam técnicas de solucionar problemas.

f) Os designers de produtos devem utilizar design adequado e testado, acarretando minimização da ocorrência de modificações inesperadas nos produtos existentes.

g) O princípio de produção "puxada" mais provavelmente alcançará o JIT que o princípio de produção "empurrada". Todavia, é improvável que o sistema "puxado" possa ser utilizado de forma exclusiva, devido à necessidade de resposta rápida em alguns casos.

h) A redução de estoques do sistema pode aumentar o risco de interrupção da produção em função de problemas de administração da mão-de-obra, como greves, por exemplo, tanto na própria fábrica como nos fornecedores. Da mesma forma, o risco de paralisação por quebras de máquinas também é aumentado.

i) O sistema kanban de controle do fluxo de materiais também favorece a eficiência, pois a redução dos estoques torna visíveis os problemas como desbalanceamento da produção, fazendo com que o fluxo não possa continuar até que os problemas sejam corrigidos. O fluxo de produtos de qualidade ruim não é permitido, minimizando os custos com retrabalho e evitando que valor seja agregado a peças que não poderão ser utilizadas. Finalmente, as políticas de automação previnem contra a automatização de processos ineficientes.

j) O projeto do sistema de manufatura evita que os defeitos fluam ao longo do fluxo de produção; o único nível aceitável de defeitos é zero. A pena pela produção de itens defeituosos é alta, isto é, a parada da produção. Isto motiva a busca das causas dos problemas e das soluções que eliminem as causas fundamentais destes problemas. Os trabalhadores são treinados em todas as tarefas de suas respectivas áreas, incluindo a verificação da qualidade.

k) O sistema Just in Time aumenta a flexibilidade de resposta do sistema pela redução dos tempos envolvidos no processo. Embora o sistema não seja muito flexível com relação à faixa de produtos oferecidos ao mercado, como foi comentado, a flexibilidade dos trabalhadores contribui para que o sistema produtivo seja mais flexível em relação às variações do mix de produtos. Através da manutenção de estoques baixos, um modelo de produto pode ser mudado sem que haja muitos componentes obsoletos. Como o projeto dos componentes comprados é geralmente feito pelos próprios fornecedores a partir de especificações funcionais, ao invés de especificações

detalhadas e rígidas de projeto, estes podem ser desenvolvidos de maneira consistente com o processo produtivo do fornecedor.

l) A flexibilidade, o baixo nível de estoques e a redução dos tempos permitem que o ciclo de produção seja curto e o fluxo veloz. A prática de diferenciar os produtos na montagem final, a partir de componentes padronizados, de acordo com as técnicas de "projeto adequado à manufatura" e "projeto adequado à montagem", permite entregar os produtos em prazos mais curtos.

m) A confiabilidade das entregas também é aumentada através da ênfase na manutenção preventiva e da flexibilidade dos trabalhadores, o que torna o processo mais robusto. As regras do kanban e o princípio da visibilidade permitem identificar rapidamente os problemas que poderiam comprometer a confiabilidade, permitindo sua imediata resolução.

2.3 – Teoria das Restrições (TOC)

A Teoria das Restrições se baseia em um processo de melhoria contínua, através da identificação das restrições do sistema, surgindo a partir daí Processos de Raciocínio e conseqüentemente ações para sua eliminação. Após o tratamento de uma restrição novas restrições surgem e devem ser melhoradas (Goldratt Institute, 2001).

O conceito essencial da TOC é que todas as organizações possuem restrições. Uma restrição limita a organização nos esforços de melhoria. Normalmente é focado a TOC é nos processos produtivos porém, existem restrições em muitas áreas por exemplo: no departamento de vendas a velocidade na colocação de pedidos, etc.

A TOC é um método que requer mudanças de comportamento, para tal Goldratt definiu 5 passos, a partir dos processos de raciocínio da TOC, que foram interpretadas por Corbett (1997) :

1º) O que mudar? : Está é uma etapa necessária, o diagnóstico da situação, apontando os problemas vitais do sistema.

2º) Como mudar? O que esta por trás da doença: Construir soluções simples e práticas para o problema e entender o porquê das restrições existirem.

3º) Para o que mudar? Construindo toda solução: Procurar os pontos negativos da solução almejada.

4º) Como definir a Mudança? Definir o que será implementado.

5º) Como causar a Mudança? Definir ações a sua programação.

Para evitar problemas com relação aos paradigmas a serem quebrados com a implantação a TOC defende a utilização do método Socrático para superar a resistência emocional às mudanças.

O foco da TOC é a atuação no ganho e não em custos individuais, para tanto a TOC define nove princípios:

- não balancear a capacidade e sim o fluxo;
- o nível de utilização de um recurso não restritivo é determinado por outra restrição;
- utilização e ativação de um recurso não são a mesma coisa;
- uma hora perdida em gargalo é uma hora perdida no sistema todo;
- uma hora ganha em um recurso não restritivo não é nada;
- os recursos restritivos governam tanto o ganho quanto o inventário;
- os lotes de transferência não devem ser iguais aos lotes de processo;
- um lote de processo pode variar;
- a programação das atividades deve ser estabelecida através da análise de todas as restrições.

Goldratt propôs uma revisão no tradicional sistema de medição “custo de produção”, sendo descritos 3 meios de medição:

Faturamento: Representa o dinheiro que entra na organização.

Inventário: Representa o dinheiro investido na organização.

Gastos de Operação: Representa o dinheiro gasto no processo.

A condição ideal de sucesso é obter o máximo Faturamento com o mínimo inventário e gastos de operação.

Conforme Blackstone (2001), a TOC é uma metodologia com uma vasta aplicação não somente em processos produtivos, mas também em outras áreas como supply- chains, marketing, vendas, administração de pessoal e medidas de desempenho.

2.3.1 – Comparação da Manufatura Enxuta e da Teoria das Restrições

Rentes & Souza (1996), analisaram que o JIT considera todos os elementos de seu sistema de forma idêntica, buscando a melhoria contínua de seus processos e procedimentos. A TOC busca priorizar as melhorias em pontos de restrição do sistema que podem limitar o sistema como um todo. Outra diferença significativa é em relação aos estoques estratégicos que o JIT prevê antes de cada etapa do processo produtivo (kanban), na TOC este estoque somente deve ser considerado nos pontos restritivos, contribuindo desta forma com a redução no lead time total.

O processo de identificação de problemas no JIT se baseia na redução dos inventários e na TOC os problemas são atacados nos pontos restritivos reduzindo o risco de afetar os níveis de produção.

Segundo o Lean Enterprise Institute (1999), o objetivo da Manufatura Enxuta bem como da Teoria das Restrições é o aumento do lucro, sendo que ambas as teorias são focadas na redução de custos para tornar a equação do lucro crescente:

$$\text{LUCRO} = \text{PREÇO DE VENDA} - \text{CUSTOS} \quad (2.1)$$

A TOC parte da identificação das restrições e a solução das mesmas para aumentar o lucro com o aumento das vendas, diferente da Manufatura Enxuta onde se adiciona valor ao produto para aumentar o lucro, enfocando sempre o questionamento: O cliente paga por isso?.

Ambas as teorias acreditam que a organização deve primeiramente encontrar os pontos frágeis para implementar melhorias no sistema.

A tabela 2.1, resume as principais características das 2 teorias:

Tabela 2.1 - Lean Enterprise Institute = Theory of Constraints versus Lean Thinking (1999)

	TOC	ENXUTA
Objetivos	Aumentar Lucro com o aumento de vendas	Aumentar Lucro adicionando valor para os clientes.
Medidas de Desempenho	. Faturamento . Inventário . Gastos na Operação	. Custos . Tempo de resposta . Percentual de valor agregado
O que Mudar?	Restrições: Os pontos fracos do sistema.	Eliminar pontos fracos e adicionar valor
Como implementar mudanças?	5 passos da teoria enfatizando ações localizadas.	5 passos da teoria enfatizando ações globais.
Tempo de Implementação	Ambos podem obter resultados imediatos, porém os resultados substanciais são obtidos em longo prazo.	

2.4 – Manufatura Ágil

Desde os anos 80 as empresas vêm buscando aumentar a sua flexibilidade, eliminar os inventários, reduzir os lead-time e aumentar o nível de qualidade dos produtos e serviços, nesta época se popularizou os termos: Manufatura de Classe Mundial e Produção Enxuta (Sheridan 1993).

Nos anos 90, as indústrias de ponta estavam tentando formular um novo paradigma de sucesso para os sistemas de manufatura do século XXI, apesar de muitas empresas ainda estarem lutando para implantar os conceitos da manufatura enxuta, em 1991 um grupo de mais de 150 executivos participaram de um estudo que gerou 2 volumes de relatórios que foi intitulado “Estratégia para as empresas de manufatura do século XXI” e descrevia como seria a competitividade industrial nos próximos 15 anos. Como resultado o Ágil Manufacturing Enterprise Fórum (AMEF) foi formado e o conceito de Manufatura Ágil foi criado (Sheridan 1993).

Manufatura Ágil significa que o processo produtivo deve ter respostas rápidas para mudanças em função da informações do mercado. Isto requer lead-time reduzidos em termos de fluxo de informações e materiais e habilidade na mudança de produtos.

Johansson (1993), desenvolveu um modelo matemático que busca expressar a entrega de valor de um negócio:

$$\text{Valor Total} = \frac{\text{Qualidade X Nível de Serviço}}{\text{Custo X Lead Time}} \quad (2.2)$$

Uma empresa ágil deve ter uma flexibilidade organizacional para adotar em cada projeto um veículo gerencial que irá render uma vantagem competitiva.

Segundo Sanchez e Nagi (2001), a sinergia e a cooperação entre as funções internas da empresa é a base para o sucesso da Manufatura Ágil.

2.4.1 – Comparação da Manufatura Enxuta e Manufatura Ágil

Para muitas pessoas a Manufatura Enxuta e a Manufatura Ágil são similares, porém os conceitos são diferentes. Manufatura Enxuta são técnicas que focam a utilização produtiva dos recursos disponíveis, enquanto a Manufatura Ágil é uma estratégia focada na mudança do cenário mercadológico. Alguns estudos comparam a flexibilidade de um sistema de manufatura enxuto como um processo reativo de adaptação à mudanças e a Manufatura Ágil como um processo pró-ativo.

Esta idéia formada de igualdade entre Manufatura Enxuta e a Manufatura Ágil, somente têm um fundamento no que se refere a Lead-time reduzidos e a Qualidade dos produtos, pois nos dois sistemas estes requisitos são importantes.

Segundo Christopher & Towill (2000), a Manufatura Enxuta é aplicada a um mercado consumidor que objetiva exclusivamente o custo, enquanto que a Manufatura Ágil é focada ao mercado que busca a disponibilidade com agilidade em função das suas necessidades, em outras palavras quando o serviço e o valor agregado ao cliente são as maiores exigências.

A Agilidade neste caso, conforme já amplamente discutido nos itens anteriores, é a capacidade do negócio de responder à solicitação do mercado com um excelente sistema de informações, de processo logístico e de produção. A principal característica da organização Ágil é a sua flexibilidade no âmbito da flexibilidade organizacional.

A Agilidade não pode ser confundida com o modelo enxuto, em função desta segunda se embasar na filosofia do “zero inventário”, “just in time” que faz com que as companhias se tornem mais ágeis, isso não transforma a empresa ágil no conceito de disponibilidade ao cliente, um exemplo disso é a indústria automobilística onde os benefícios da Manufatura Enxuta estão restritos a fabrica com modelos extremamente eficientes de processamento, com lead-time de 12 horas ou menos, contudo com inventários de produto acabado de 2 meses ou mais de vendas.

Segundo Naylor, Naim & Berry (1999), os sistemas de manufatura não devem ser analisados de forma isolada, a aplicação das filosofias Enxuta e Ágil em conjunto podem gerar um cadeia de fornecimento adequada.

Segundo Mason-Jones, Naylor & Towill (2000), a opção pela adoção das filosofias Enxuta ou Ágil estão diretamente vinculadas ao tipo de mercado e/ou cenário que a empresa atua, onde basicamente a manufatura enxuta é mais aplicada a demanda estável e a manufatura Ágil onde a demanda é volátil.

Tabela 2.2 – Manufatura Enxuta x Manufatura Ágil

	ENXUTA	ÁGIL
Objetivos	Foca a utilização produtiva dos recursos disponíveis.	Foca a mudança do cenário mercadológico.
Medidas de Desempenho	. Custo . Tempo de resposta . Qualidade dos Produtos.	. Serviço e valor agregado ao cliente . Tempo de resposta . Qualidade dos Produtos
Aplicação	Demanda Estável	Demanda Volátil

2.5 – Manufatura Integrada

As organizações mais modernas estão avaliando e introduzindo novos aplicativos centralizados no cliente, tais como gerenciamento de relações com os clientes e auto-serviço. Além disso, estão incorporando novos aplicativos orientados a fornecedores, tais como integração de supply chain, trading communities (portais) e e-procurement.

Internamente, estão implementando aplicativos inovadores, como auto-serviço para funcionários e gerenciamento de conhecimentos, a fim de otimizar a eficiência e a produtividade e maximizar o capital de conhecimento da organização, pois neste aspecto a desempenho dos empregados esta diretamente ligada a desempenho do sistema de manufatura (Challis & Lawson, 2002).

A integração do Sistema de Manufatura é um pré-requisito para que se alcance as melhorias de competitividade, que expressa na forma de padrões, e irá determinar se os mesmos são suficientes para que a empresa possa competir nos mercados a que se propõe.

A integração representa um grau de organização, que é a capacidade de transitar informações sinergicamente entre suas atividades e subatividades em uma organização.

As empresas de manufatura precisam adotar uma metodologia para gerenciar o sistema de adaptação da empresa para variações de demandas do mercado e a solicitação dos clientes quanto a diversidade de produtos, para obter uma desempenho e um resultado adequado. Roberts (1997), propôs uma metodologia para este controle, que compõem um sistema de fluxo do processo interno, incorporando os sistemas operacionais de gerenciamento (Kanban, JIT, MRPII, etc.), podendo incluir também quando apropriado a cadeia de fornecimento (supply chain).

Um sistema de gerenciamento deve partir inicialmente para definição do fluxo de informações entre departamentos da empresa, principalmente enfocando não a pirâmide administrativa e sim a pirâmide operacional para o desenvolvimento de novos projetos.

A próxima etapa é a definição de um sistema que suporte as informações entre as áreas é que auxilie na organização e follow-up de todo o processo, sendo de extrema importância a definição de um plano de controle com o acompanhamento dos indicadores de desempenho. Neste aspecto é importante ressaltar que há necessidade de se utilizar um sistema visual de administração onde se alcança um melhor efeito para compreensão da situação do projeto.

Os sistemas visuais de controle podem utilizar cartas de controle, gráficos, etc., sendo que o mais importante é ressaltar a situação atual comparada com o objetivo a ser alcançado, ou seja a meta a ser alcançada deve ser de conhecimento de todos os envolvidos no processo.

O uso de métodos de melhorias contínuas se faz necessário sendo que indicadores de desempenho auxiliam neste processo de desenvolvimento. Alguns parâmetros básicos são sugeridos para a medição da Produção e Qualidade sendo destacados alguns bastante utilizados:

- lead time do processo;
- custos do processo produtivo;
- nível de estoque em processo;
- custos de inventário;
- controle da desempenho de entregas;
- tamanho dos lotes;
- tempo de set-up;
- estatísticas TQM;
- estatísticas de Controle de Qualidade.
- estatísticas de Manutenção

O sistema de gerenciamento precisa formular e controlar a estratégia operacional de produção, ou seja, deve incluir a análise das previsões de vendas em conjunto com as expectativas de compra dos clientes.

A estrutura de informações deve ser suportada por:

- Um programa global de produção que seja um reflexo real da demanda de mercado.
- Um gerenciamento dos fluxos de processo e operações sejam eles em linha, em grupos ou em células, voltado principalmente para as necessidades dos clientes.
- Um plano de controle e monitoração do fluxo de processo.
- Uso dos indicadores de desempenho para um plano de melhoria contínua do processo.

Conforme foi descrito e desenvolvido nos parágrafos anteriores, as metodologias tecnológicas visam, através de tecnologias ou métodos específicos, a otimização dos recursos e fluxo de informações do sistema de manufatura e devem garantir que as ações de melhoria não se tornem isoladas e não tragam a melhoria do sistema de forma global.

Todos os parâmetros estudados também convergem para os sistemas de gestão de qualidade com base nas normas de qualidade ISO 9000.

Com a revisão da norma ISO 9000 versão 2000 as organizações devem sofrer grandes mudanças, principalmente no que se refere a necessidade de promover um processo de melhoria contínua referenciado na seção 8 desta nova versão. Surgem novos requisitos a serem implementados nas empresas, como a pesquisa de satisfação dos clientes, a análise destes indicadores e conseqüente melhoria contínua dos processos. A satisfação e a insatisfação dos clientes passa a ter um papel prioritário no sistema de gerenciamento da qualidade sendo necessário definir metodologias para obtenção e utilização destas informações. A organização deve facilitar o processo de melhoria contínua através da sua política e objetivos da qualidade, resultados de auditorias, ações corretivas e preventivas e a análise crítica pela alta administração.

A dificuldade de implementação está diretamente ligada ao grau de maturidade do sistema de qualidade da empresa, como a nova norma requer uma análise dos dados que representam a efetividade e o desempenho dos processos, caberá às empresas uma grande habilidade de gerenciamento destas informações para as utilizarem adequadamente como um método de apoio à operação. A implantação desta nova versão da ISO traz grandes impactos no sistema de Gerenciamento da Qualidade, sendo que as empresas que somente buscam um “certificado” terão grandes dificuldades no processo de adequação do sistema, e por outro lado as empresas que já utilizam o sistema de qualidade como uma ferramenta de gerenciamento serão extremamente beneficiadas.

2.6 – Simulação de um Sistema de Manufatura

Simulação é a geração de uma história artificial do sistema, e a observação dessa história artificial para a obtenção de conclusões relativas às características operacionais do sistema real, em outras palavras, a simulação de um sistema produtivo é uma ferramenta computacional que vem complementar a pesquisa operacional, de forma a prover medidas quantitativas para as diversas configurações propostas para um sistema, auxiliando no processo de tomada de decisão.

O início da ênfase à simulação se deu na década de 50, com a sua utilização como ferramenta de auxílio no planejamento de estratégias militares. Ainda nesta década, indústrias aeroespaciais começaram a aplicar a simulação, mas foi apenas nas últimas duas décadas que a simulação assumiu um posto de popularidade em indústrias de manufatura e serviços. Isso se deveu, sobretudo, ao uso de ferramentas de simulação pelas indústrias aeronáuticas durante a década de 70.

De uma forma geral com o crescimento da competição global as empresas foram obrigadas a buscar investimentos em novas tecnologias, sendo que tais mudanças poderiam gerar um alto risco para a organização, por não existir uma previsão de como a empresa iria reagir a estas mudanças. Neste ponto é que foi introduzida a simulação por computador, sendo possível

modelar um sistema antes que este seja construído, ou poder testar políticas operacionais antes da sua implementação.

Atualmente os softwares de simulação auxiliam no desenvolvimento de sistemas baseados na produção JIT de forma a agilizar o processo de decisão, analisar as configurações e programar regras antes da implementação de um novo sistema (Martinez & Bedia, 2002).

2.7 – Medições de Desempenho

O mercado atual é determinado pelos consumidores. Para existirem indústrias, as mesmas devem buscar e produzir aquilo que os consumidores potencialmente desejam, o quadro a seguir demonstra a evolução dessas exigências, segundo Maleki (1991):

Tabela 2.3 – Exigências do mercado (Maleki, 1991)

60's	70's	80's	90's
Eficiência	Eficiência + Qualidade	Eficiência + Qualidade + Flexibilidade	Eficiência + Qualidade + Flexibilidade + Tempo de Resposta

Desde o final dos anos 70, os fabricantes se deparam com o problema da mudança constante das necessidades e desejos dos consumidores. Estes desejos podem ser traduzidos para os sistemas de manufatura segundo Agostinho (2001), em três parâmetros de medição:

Adaptabilidade: Capacidade de Adaptação dos Sistemas de Manufatura ou Organizações Industriais em implementar mudanças em tempos adequados às necessidades de atendimento do mercado consumidor.

Flexibilidade: Capacidade de adaptação das atividades de chão-de-fábrica de implementar alterações de quantidades, tamanho de lote e itens diferentes de produtos nos tempos adequados.

Produtividade: É um parâmetro de medida de avaliação do sistema de manufatura, visto que em função da análise de seu comportamento, torna-se possível a verificação de ganhos ou perdas na manufatura.

2.7.1 - Capacidade de Adaptação

A relação entre o tempo necessário para que o sistema de manufatura absorva o estímulo externo (necessidade do consumidor) e o tempo que o sistema de manufatura leva para colocar os novos produtos no mercado, determina o tempo de reação do sistema de manufatura. O tempo de reação é que determina o grau da capacidade de adaptação, ou seja, quanto menor o tempo de reação maior será a capacidade de adaptação, conforme observado na figura 2.4 (Agostinho, 2001):

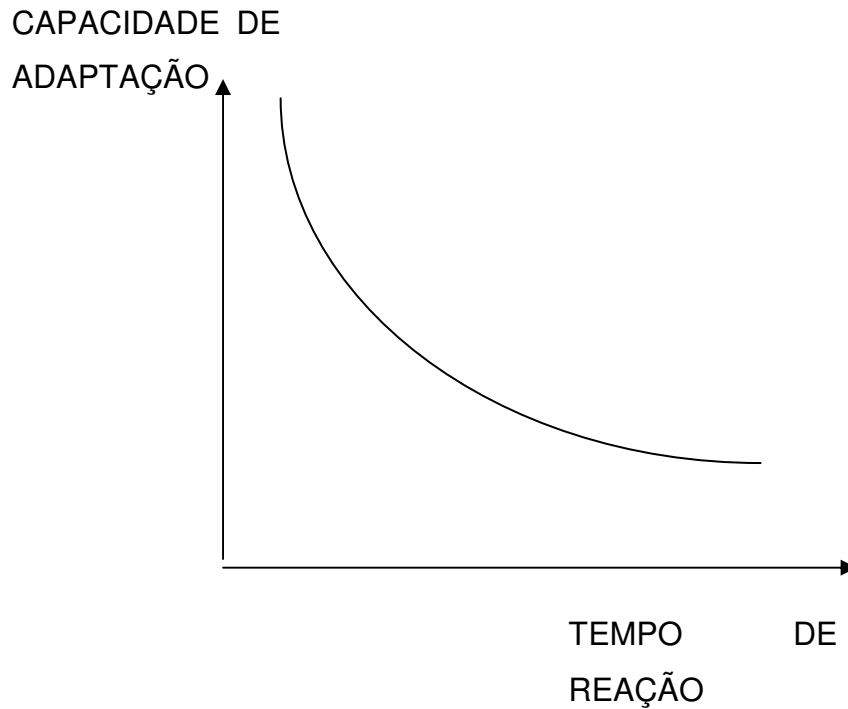


Figura 2.4: Relação da capacidade de adaptação e o tempo de reação do sistema ou organização.

A capacidade de adaptação conforme descrita anteriormente deve estar vinculada à capacidade de adaptação na introdução de novos produtos dos sistemas de engenharia e marketing e também a capacidade de adaptação dos sistemas de chão de fábrica em produzir simultaneamente vários produtos diferentes (flexibilidade), mantendo-se os índices de produtividade adequados.

Os três processos de negócio citados acima, possuem atividades distintas no processo de desenvolvimento de um novo produto numa organização, e que serão detalhados a seguir para conceituar tal divisão:

Tabela 2.4: Atividades principais no desenvolvimento de um produto.(Agostinho, 2001)

ATIVIDADE	SUBATIVIDADE	DETALHAMENTO DA SUBATIVIDADE
Negócios	▪ Marketing - Pesquisa de Aceitação do produto	1. Pesquisa de mercado 2. Definição das necessidades de mercado 3. Definição conceitual do produto 4. Prazo de implementação
Engenharia	▪ Desenvolvimento de produto	5. Projeto conceitual 6. Cálculo de dimensionamento 7. Detalhamento de Peças 8. Teste funcional 9. Comprovação de confiabilidade
	▪ Desenvolvimento dos meios de fabricação	10. Definição do roteiro de fabricação 11. Detalhamento do processo de fabricação 12. Determinação do ferramental e máquinas 13. Determinação das condições operacionais e tempos de fabricação
Chão de Fábrica	▪ Pré-produção	14. Try-out do ferramental 15. Teste dos processos de fabricação em condições de produção 16. Lote piloto

Cada atividade e subatividade descrita acima consomem certos tempos para sua execução, sendo que o seu respectivo tempo depende do grau de organização e produtividade de cada setor de atividade.

Conclui-se portanto que o tempo de implementação de um produto será uma relação entre o número de atividades pelo tempo para execução das mesmas:

$$T_f = T_i \times N_a \quad (2.3)$$

Sendo:

T_f = Tempo de desenvolvimento de um novo produto

T_i = Tempo de cada atividade ou subatividade

N_a = Número de atividades

O tempo de implementação de um produto T_f será tanto maior quanto o número de atividades e ou tanto maior quanto maiores forem os tempos correspondentes a cada atividade.

Partindo-se desta relação e analisando-se a introdução sucessiva de novos produtos, obtém-se o coeficiente de cálculo da adaptabilidade, conforme gráfico a seguir:

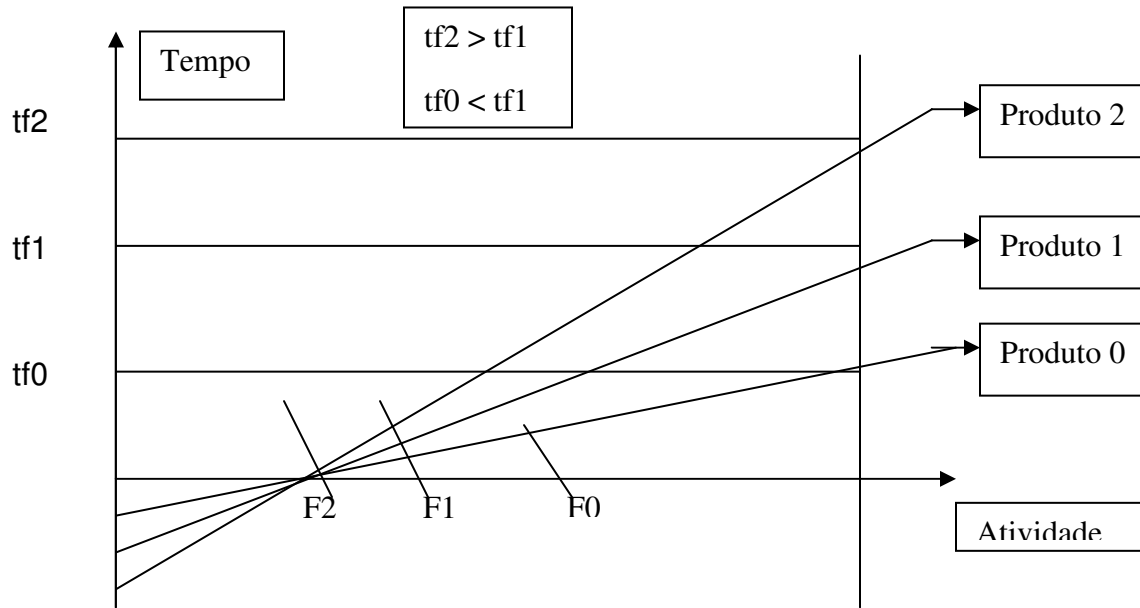


Figura 2.5 – Coeficiente de Adaptabilidade (AGOSTINHO, 2001)

Através da análise matemática definimos:

$$A_{i,j+1} = T_{fi} / T_{fi+1} \quad (2.4)$$

Sendo: A = Adaptabilidade dos sistemas de engenharia

O grau de adaptabilidade de um sistema pode ser classificado em três modelos:

Adaptabilidade Neutra:

É quando o tempo de introdução de um novo produto pelos sistemas de Engenharia e Marketing, é igual ao tempo utilizado pelo produto anterior.

$$T_{fi+1} = T_{fi} \quad (2.5)$$

Adaptabilidade Regressiva:

É quando o tempo de introdução de um novo produto pelos sistemas de Engenharia e Marketing, são maiores que o tempo utilizado pelo produto anterior.

$$T_{fi+1} > T_{fi} \quad (2.6)$$

Adaptabilidade Progressiva:

É quando os tempos de introdução de um novo produto pelos sistemas de Engenharia e Marketing, são menores que o tempo utilizado pelo produto anterior.

$$T_{fi+1} < T_{fi} \quad (2.7)$$

Outro conceito em relação à adaptabilidade defendido por Katayama, é que a adaptabilidade é a capacidade das empresas de manufatura em se adaptar as suas estrutura de custos em relação à demanda requerida, porém não será foco direto neste trabalho.

Condições de Aumento de Adaptabilidade

1) Redução do número de atividades para desenvolvimento de um novo produto

1.1 – redução de subatividades

1.2 – eliminação de atividades

1.3 – sobreposição de atividade (Engenharia Simultânea)

2) Redução do tempo por atividade

2.1 – padronização de produtos e processos de fabricação

2.2 – emprego de ferramentas de apoio computacional

2.7.2 - Flexibilidade

Segundo Agostinho (2001), flexibilidade significa em processos de manufatura, a característica de oferecer caminhos alternativos para que uma peça seja produzida. Esses caminhos se relacionam com a sequência de equipamentos que serão utilizados para sua execução.

A Flexibilidade pode também ser estabelecida como a velocidade de um sistema para reagir a mudanças. Para um sistema ser verdadeiramente flexível, deve haver flexibilidade durante todo o ciclo de vida, desde a concepção e projeto, passando pela sua implantação, chegando até a sua utilização.

O grau e o nível de flexibilidade de um sistema são limitados pelas barreiras tecnológicas. Assim, sistemas flexíveis não é a solução para todos os problemas de manufatura, e as expectativas em cima deles devem estar estabelecidas de acordo com a capacidade do sistema.

Para ilustrar, podemos citar as atividades de um artesão, que por concepção é um sistema bastante flexível, porém existe uma limitação muito grande no número de itens que podem ser produzidos, e sendo atingido este limite, não há possibilidade de aumentar a produtividade.

As necessidades de flexibilidade aumentaram a partir do momento que a necessidade de diversificação da produção aumentava, marcada desde a década de 60 com a implantação de

Tecnologia de Grupo na indústria soviética, e posteriormente com o desenvolvimento das técnicas japonesas de manufatura.

Sistemas flexíveis podem ter diferentes graus de flexibilidade, devido a isso algumas características próprias devem ser consideradas:

- . integração: interdependência dos componentes do sistema, de modo que eles trabalhem juntos e em harmonia;
- . inteligência: habilidade de interpretar entradas e produzir respostas baseadas nas expectativas do usuário;
- . agilidade: velocidade com que um sistema pode reagir a mudanças.

Para se conceituar flexibilidade deve-se observar que ela não é uma propriedade única e homogênea dos sistemas produtivos, podendo ser separada em vários itens distintos, conforme figura a seguir:

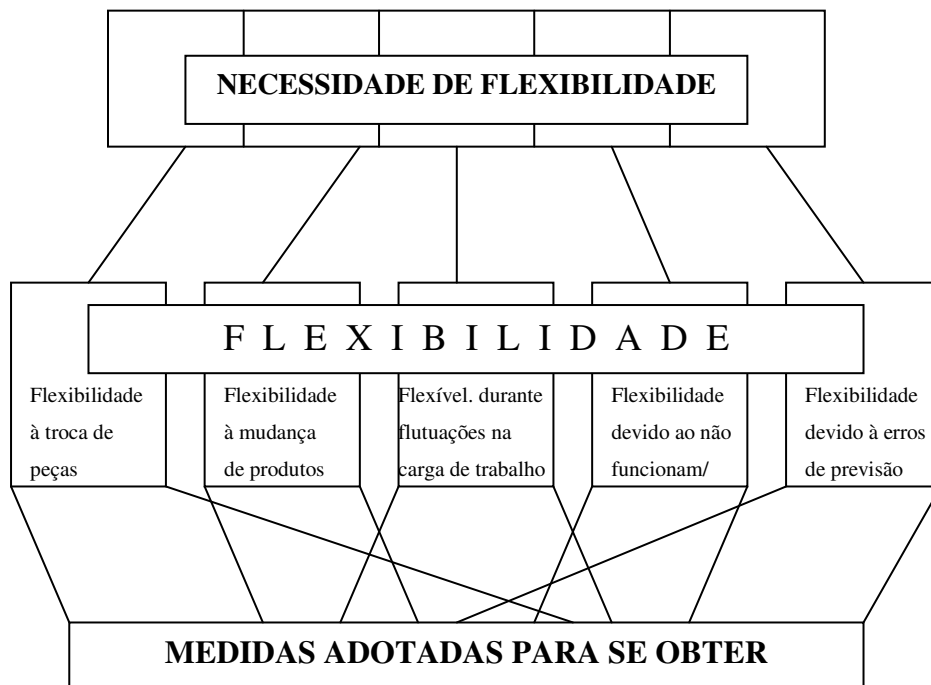


Figura 2.6.- Principais componentes da flexibilidade dos Sistemas de Manufatura (AGOSTINHO,2001)

- Capacidade de Produção x Flexibilidade

A flexibilidade de um processo produtivo está ligada diretamente ao volume de produção, ou seja as técnicas tradicionais de produção apresentam duas diferentes situações de produção, conforme figura 4 a seguir:

- grandes volumes com baixa variedade de produtos
- pequenos volumes com alta variedade de produtos

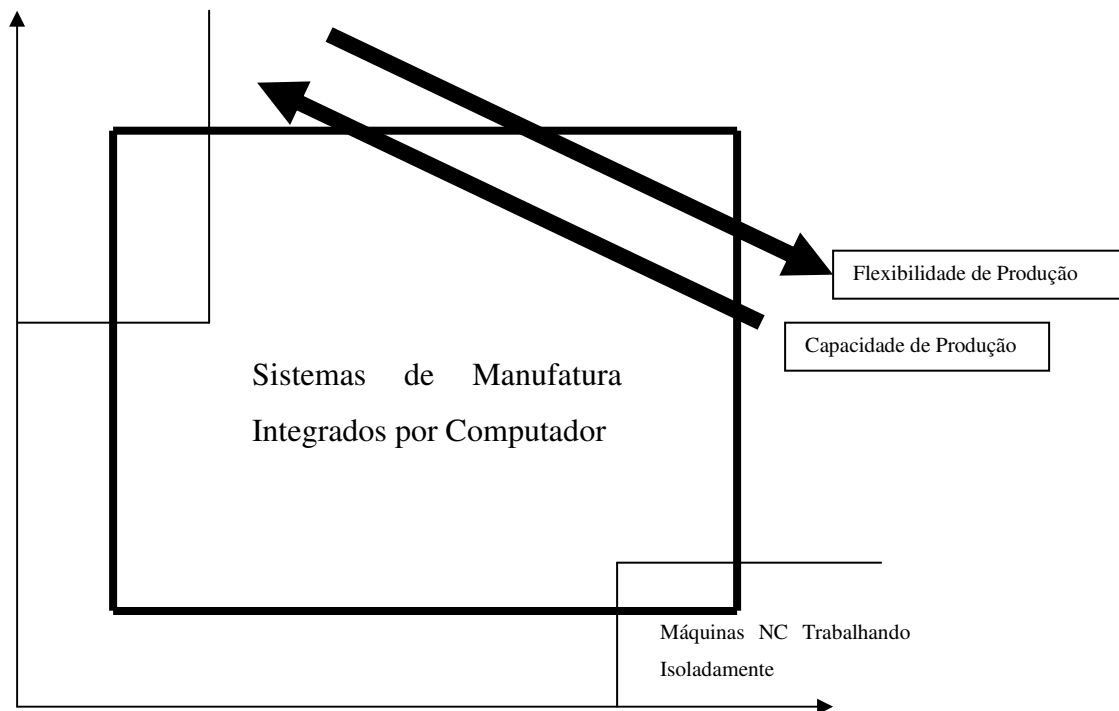


Figura 2.7 - Relação variedade de produtos e volume de produção (Maleki,1991)

2.7.3 - Produtividade

Tradicionalmente, no planejamento e no gerenciamento de uma linha de produção convive-se com dois objetivos conflitantes: a produtividade e a flexibilidade do sistema. A flexibilidade, no esforço de produzir um grande número de produtos diferentes, que é uma característica de um "job shop", e a produtividade, na busca de uma maior velocidade na produção, que é uma característica de uma linha de montagem.

Produtividade é um elemento essencial em qualquer atividade, seja ela de manufatura ou não, e para ser competitivo, o aumento na produtividade deve ser perseguido. Assim um sistema flexível deve prover o usuário não apenas de flexibilidade, mas também de aumento de produtividade. A questão desafiadora é colocada sobre a tecnologia dos equipamentos de produção, para prover o aumento proporcional destas duas vertentes (Batocchio, 1991).

A produtividade é um parâmetro de avaliação do sistema de manufatura, já que com base na sua análise podemos medir as vantagens e desvantagens entre os processos. A produtividade como meio de avaliação demonstra que o emprego de uma determinada tecnologia, proporciona um crescimento no nível de produtividade ao longo do tempo até o que podemos chamar de saturação do sistema, onde a partir do qual não ocorre mais aumento, e sim uma estabilização no valor de produtividade. Qualquer evolução a partir deste ponto de saturação, somente é obtida através da introdução de novas técnicas ou tecnologias (Batocchio, 1992). Toda introdução ou alteração em um sistema produtivo acarreta inicialmente uma perda de produtividade devido a um período de conhecimento e familiarização com a alteração introduzida, vencido esta etapa, a produtividade volta a crescer até o novo ponto de saturação da tecnologia implantada.

Os parâmetros de medição acima discutidos fazem parte da evolução que os sistemas de manufatura devem buscar em função das mudanças de cenário do ambiente externo, reforçando está importância Ketola & Robert (2000) relataram a importância dos sistemas de medição, análise e melhoria contínua que passou a ser exigida na revisão da norma internacional de qualidade ISO 9001:2000.

2.8 – Conceituação

A conceituação da evolução das metodologias de administração e seus principais fatores de sucesso na aplicação que auxiliam na escolha da melhor opção a ser adotada. A conceituação está apresentada em ordem cronológica.

Schonberger (1986), classificou as empresas aptas a enfrentar a competição do mercado internacional, como empresas de Manufatura de Classe Mundial, sendo que estas deveriam possuir algumas características comuns que podem ser resumidas em: buscar a excelência nos negócios, adotar técnicas de “just in time”, focar as forças de trabalho e a flexibilidade do processo no atendimento às necessidades dos clientes.

Maleki (1991), demonstrou a relação entre a variedade de produtos e o volume de produção com o aumento da capacidade de produção e a flexibilidade de produção e identificou que a falta de uma tecnologia e métodos de manufatura mais apropriados geram alguns problemas de manufatura como a má utilização das máquinas, aumento do lead time, aumento dos inventários em processo, mau uso das ferramentas e utilização ineficiente do espaço físico.

Esmail & Saggu (1996), apresentaram as mudanças de paradigmas para que as empresas de manufatura estejam aptas a enfrentar o futuro, dentre elas podemos citar a necessidade da alta capacidade para reagir rapidamente às mudanças de ambiente.

Rother & Shook (1996), demonstram que o uso de “atividades maciças de eliminação de desperdícios”, nem sempre resultam em redução de custos e melhorias na qualidade e produtividade. Afirmam a necessidade urgente de tornar disponível o mapa do fluxo de valor, onde a utilização conjunta de várias técnicas é imprescindível desde que aplicadas estrategicamente no contexto da produção.

Owen & Kruse (1997), definiram a habilidade de administrar as mudanças de ambiente, e a capacidade de sobrevivência no mercado que exige respostas rápidas nas variações de demanda

do consumidor, nas ações de competitividade e nas rupturas tecnológicas como sistema de Manufatura Ágil.

Batocchio & Agostinho (1998), analisaram que as mudanças nas Fontes de Riqueza, Tipos de Organização e Princípios Conceituais estão diretamente ligadas a três eras históricas: era da agricultura, era industrial e era do conhecimento, auxiliando a entender as mudanças ocorridas até o aparecimento dos atuais sistemas de manufatura. O quadro a seguir resume essa análise:

Tabela 2.5 – Eras Históricas (BATOCCHIO & AGOSTINHO, 1998)

	Agricultura (Fim)	Industrial (Início)	Industrial (Fim)	Conhecimento (Início)
Fontes de Riqueza	Terra	Trabalho	Capital	Conhecimento
Tipo de Organização	Feudal	Direito de Propriedade	Hierarquias definidas e muito escalonadas	Rede Humana
Princípios Conceituais		Divisão do Trabalho Interesse Próprio Pagamento por Tarefa	Divisão do Gerenciamento Separação Proprietário/Administrador Separação Fazer/Pensar Uma pessoa/Um chefe Automação	Rede sem Hierarquia Processos Integrados Trabalho através do diálogo Ajuste e Tempos do Homem Equipes virtuais focalizadas em tarefas

Gunasekaran (1999), descreve que dentro da moderna literatura de Gestão da Produção, muitos são os paradigmas que se apresentam no intuito de ajudar as empresas na difícil tarefa de se manterem competitivas no mundo atual globalizado. Exemplos destes paradigmas são: Manufatura Enxuta, Manufatura Ágil, World Class Manufacturing, Customização em Massa, entre outras.

Godinho Fº e Fernandes (2005), demonstraram que os sistemas de manufatura hoje existentes podem ser tratados de forma integrada e comparativa.

Hsu e Sun (2005), descreve a importância da adaptação das empresas no mercado globalizado através do desenvolvimento de ferramentas administrativas, dando ênfase a ferramenta da TOC e o uso do pensamento no processo, “Thinking Process” de modo a cumprir as 3 regras propostas do Thinking Process:

- What to Change?
- What to change to?
- How to change?

Thomke (2006), reforça a teoria de que empresas automobilísticas que usam a Simulação para fazer avaliações de protótipos são muito mais rápidas nos seus desenvolvimentos.

Taj and Berro (2006), comprovaram que a aplicação conjunta da TOC e Manufatura Enxuta revelou as restrições da planta estudada e incrementou a capacidade produtiva.

Capítulo 3

Metodologia

3.1 - Caracterização e Avaliação da Empresa

A Empresa estudada é uma empresa multinacional do ramo Eletroeletrônico, mais especificamente Condutores Elétricos, que atua principalmente no segmento de Cabos de Energia. A empresa estudada apesar de pertencer a um grupo multinacional, tem como responsabilidade a manutenção do mercado de atuação com livre atuação para definição do seu planejamento estratégico, desenvolvendo e implementando projetos e soluções na área de condutores elétricos. A linha de produtos fabricados engloba diferentes tipos de cabos, dentre os seguimentos de instalações residenciais, instalações prediais, indústrias, mineração, metrô, fios para enrolamentos de motores, etc. São mais de 2000 variações de produtos nos diversos mercados. Segundo dados estatísticos cerca de 20% dos cabos comercializados no Brasil são fabricados pela empresa estudada. A Empresa é líder no mercado nacional no segmento de Baixa Tensão e um dos maiores fornecedores das empresas de Geração e Transmissão de Energia.

No mercado de cabos elétricos que atua a empresa estudada haviam os seguintes fatores de competitividade frente a concorrência:

- produtividade;
- custo de fabricação;
- logística de distribuição e entrega;
- grau de flexibilidade das cordas que compõem os cabos.

No que se refere a flexibilidade das cordas, a mesma é alcançada através da redução do diâmetro individual dos fios que compõem a corda e o aumento do número de fios, consequentemente há um aumento no tempo de processabilidade do cabo e consequentemente um incremento no custo de fabricação. Para convergir a esta tendência de mercado as tecnologias de trefilação evoluíram para uma produção em escala, com o aumento do número de fios trefilados ao mesmo tempo, o que é chamado de trefilação multifilar.

Em relação aos concorrentes, a empresa estudada tem poucos concorrentes com o mesmo nível de qualidade e serviços reconhecido pelos clientes.

Um ponto importante refere-se ao fato de que este mercado tem variado muito ao longo dos anos, pressionado principalmente pela variação do preço do metal “Cobre” no mercado mundial, hoje toda a comercialização desta matéria prima está com preços controlados de acordo com a bolsa de metais de Londres, que sofre oscilações por consumos mundiais ou por tendência de investidores, fazendo com que até mesmo os pequenos consumidores (revendedores) passassem a comprar somente o necessário, evitando que seu capital de giro fique sujeito a flutuações, criando um kanban virtual em seu estoque e fazendo com que os fornecedores tenham um estoque dimensionado para o pronto atendimento. Mediante isto, a flexibilidade das empresas neste seguimento passou a ser o fator de sucesso, evitando que os estoques de produto acabado inviabilizem o negócio.

Foram escolhidos os indicadores de desempenho disponíveis da empresa estudada com referência a revisão bibliográfica de medição de desempenho de uma organização, sendo eles:

- **Produtividade:** Sendo a relação entre o material fisicamente transformado e o esforço despendido para este fim, na nossa aplicação será o volume de cobre em toneladas transferidas para o estoque de produto acabado em relação ao número de operadores direto da produção.

$$P = \text{Toneladas/n}^\circ\text{funcionários} \quad (3.1)$$

- **Nível de Inventário de Processo:** Total de dias de alcance de cobre medido através da relação entre o volume de cobre em estoque de processo dividido pelo volume de produção do mês em avaliação multiplicado por 30 dias.

$$\text{NI} = \text{Toneladas em Processo} / \text{Produção do Mês} * 30 \quad (3.2)$$

- **Custos de Inventário de Processo:** É a valorização do estoque de processo em Reais.

$$\text{CI} = \text{Toneladas em Processo} * \text{Valor Unitário} \quad (3.3)$$

- **Nível de Serviço:** É a medição do desempenho de atendimento das solicitações da área de vendas, medida através da relação percentual do número de itens atendidos no mês e o número de itens solicitados no mês.

$$\text{NS} = \text{Nº. Itens Atendidos} / \text{Nº. Itens Solicitados} * 100 \quad (3.4)$$

- **Eficiência dos Equipamentos:** É a relação percentual entre os tempos de produção efetivamente gastos pelos tempos de produção estimados.

$$\text{EF} = \text{Tempo Real} / \text{Tempo Estimado} * 100 \quad (3.5)$$

- **Nível de Qualidade:** São os índices de Não-Conformidades gerados no processo produtivo, medidos em ppm's do volume de produtos rejeitados em relação ao volume de produção.

$$\text{NQ} = \text{Toneladas Não-Conformes} / \text{Toneladas Produzidas} * 1000000 \quad (3.6)$$

Linhas de Produtos

A linha de produto selecionada para este estudo foi a de cabos flexíveis, pois deveria se tornar o principal segmento da empresa devido a tendência de mercado e também por se tratar da melhor margem de negociação dos produtos da empresa estudada.

O mercado de atuação da empresa estudada estava passando por um momento de forte transição de produtos, visto que a empresa líder de mercado passou a oferecer cabos mais flexíveis, com conseqüente maior valor agregado, com o custo equivalente ao que o mercado praticava com os cabos “antigos”.

Neste momento havia dois desafios para a empresa estudada, o primeiro era de conseguir migrar a produção para esta linha de produtos mais nobres, e o segundo o de manter os custos de produção.

A tecnologia da produção não era um agravante, porém se fosse adquirido novos equipamentos na proporção da produtividade atual os custos de produção não seriam mantidos.

A capacidade de produção de cabos flexíveis real era de 300 toneladas por mês, onde haviam 2 linhas de trefilas multifilares, 1 linha de 8 fios adquirida em 1989 e outra linha de 12 fios adquirida em 1994, o diâmetro dos fios nestas 2 linhas variavam de 0,2mm a 0,4mm. Para formar os agrupamentos exigidos nos projetos era necessário não só variar o diâmetro dos fios como também o número de fios, conforme tabela 4.1. Devido a baixa flexibilidade dos múltiplos das linhas de trefilação, tornou-se necessário trabalhar com as trefilas com um número menor de fios, por exemplo ao invés de 8 fios trabalhar com 7 fios. Isto automaticamente fazia com que a capacidade fosse reduzida em relação a capacidade total da máquina.

Tabela 4.1 – Formação de Cabos – Número de Fios x Diâmetro dos Fios

Seção	Formações		Diâmetro
	NºConjuntos	NºSubConjuntos	
0.5	1	14	0,205
0.75	1	21	0,205
1.0	1	28	0,205
1.5	1	28	0,246
2.5	1	48	0,246
4.0	1	52	0,294
6.0	1	80	0,294
10.0	7	20	0,294
16.0	7	44	0,246
25.0	7	68	0,246
35.0	7	68	0,294
50.0	10	68	0,294
70.0	14	68	0,294
95.0	19	68	0,294
120.0	24	68	0,294
150.0	30	68	0,294
185.0	37	68	0,294
240.0	49	68	0,294

Para melhor exemplificar a perda de produtividade em função do número de fios em processo vamos detalhar o método de análise.

Parâmetros do Equipamento:

= Velocidade Linear em metros por minuto (v)

= Diâmetro do fio em milímetros (Φ)

= Numero de Fios (n)

Parâmetros da Matéria-Prima:

= Densidade do Cobre (d) = 8,89kg/mm²

Cálculo da Produção por hora (P):

$$P = (\Phi^2 \times \pi) / 4 \times n \times d \times v \times (60 / 1000) \quad (3.7)$$

Exemplo: Através da formula 4.1, calcula-se a produção de um fio 0,30mm com velocidade de 1200m/min para n= 8 fios e n= 7fios.

$$P1 = (0,3^2 \times \pi) / 4 \times 8 \times 8,89 \times 1200 \times (60 / 1000) = 362\text{kg/h}$$

$$P2 = (0,3^2 \times \pi) / 4 \times 7 \times 8,89 \times 1200 \times (60 / 1000) = 317\text{kg/h}$$

Conclusão:

A Produção P1 é 14% maior que a produção P2.

Outro fator crítico neste processo era o planejamento da fabricação pois as linhas de trefilação, para serem mantidas com a maior parte do tempo em produção, reduzindo os set-ups de bobinas de recepção, somente tiravam bobinas cheias, porém tal efeito no momento da reunião dos cabos significava um excedente em quilômetros de uma bobina com menos fios e uma falta em quilômetros das bobinas com mais fios, gerando constantes sobras no processo conforme tabela a seguir.

Tabela 4.2 – Distribuição dos fios por tipo de formação de cabo

Seção (mm ²)	Formações		Diâmetro (mm)	Distribuição		
	NºConjuntos	NºSubConjuntos		7	8	12
0.5	1	14	0,205	2		
0.75	1	21	0,205	3		
1.0	1	28	0,205	4		
1.5	1	28	0,246		2	1
2.5	1	48	0,246		6	
4.0	1	52	0,294		2	3
6.0	1	80	0,294		1	6
10.0	7	20	0,294		1	1
16.0	7	44	0,246		1	3
25.0	7	68	0,246		1	5
35.0	7	68	0,294		1	5
50.0	10	68	0,294		1	5
70.0	14	68	0,294		1	5
95.0	19	68	0,294		1	5
120.0	24	68	0,294		1	5
150.0	30	68	0,294		1	5
185.0	37	68	0,294		1	5
240.0	49	68	0,294		1	5

Analizando também o tempo útil de produção, foi possível verificar um nível de paradas de máquinas muito elevado, onde 2 fatores se destacavam:

- Parada de máquinas por falta de bobinas de recepção: Este fator estava intimamente ligado ao sistema de planejamento, pois a fase de trefilação não possuía vínculo com a fase de reunião. A trefilação de um determinado diâmetro com um específico número de fios era realizada em lotes fixos, porém a fase de reunião não trabalhava por lotes fixos e sim de acordo com a necessidade da fase subsequente (extrusão), e consequentemente as bobinas com uma determinada configuração trefilada demoravam muito tempo para serem desocupadas.

- Paradas por manutenção corretiva: O segundo fator de manutenção simplesmente demonstrou um baixo nível de atendimento às manutenções preventivas.

Quanto ao mix de produtos observou-se a lógica de projeto e tentou-se minimizar ao máximo os números de partes, porém toda esta lógica estava limitada a configuração disponível dos equipamentos de trefila e também a proteção do projeto quanto ao consumo de metal.

Inicialmente realizamos uma avaliação da empresa selecionada para o presente estudo, buscando identificar as seguintes variáveis:

- mercado de atuação (custo ou flexibilidade)
- tipo de demanda de produtos (estável ou volátil)

Após o diagnóstico foi possível constatar que o mercado de atuação da empresa é um mercado que objetiva custo. A metodologia de Manufatura Enxuta é a que mais se aplica a este tipo de mercado e foi portanto a base do presente estudo. A demanda de produtos encontrada na empresa foi estável, o que também justifica a utilização da metodologia de Manufatura Enxuta.

Diferente do que se havia sido pensado no objetivo a metodologia de Manufatura Ágil não pode ser utilizada por ser mais aplicada a um mercado que objetiva serviço e a um tipo de demanda volátil.

3.2 - Mapeamento do Processo da Empresa e Identificação das Restrições

Após a adoção da metodologia “Enxuta” foi realizada uma divisão da empresa em processos, onde através do levantamento dos tempos planejados em cada processo foi possível determinar o percentual de contribuição por processo, bem como identificar os pontos de estoques intermediários nestes processos.

As fases do processo previstas para este tipo de indústria são:

a) Trefilação Primária: A matéria prima bruta de entrada é o Vergalhão de Cobre com 8 mm de diâmetro e é nesta fase que é realizada a primeira redução de diâmetro para 1,8mm.

b) Trefilação Secundária ou Fina: O material que saiu do processo anterior, sofre uma nova transformação, reduzindo de 1,8mm para o diâmetro final de aplicação, que geralmente se encontra entre 0,18mm a 0,4mm.

c) Reunião do Cabo Primária: Nesta fase os fios trefilados/ reduzidos de diâmetro da fase anterior, são agrupados formando um condutor podendo variar já em seção geométrica de 0,5mm² a 6mm².

d) Reunião do Cabo Secundário: Esta fase é similar a anterior porém para cabos com dupla reunião, ou seja, cabos que passaram a primeira fase e que são novamente reunidos formando condutores de seção geométrica que podem variar geralmente de 10mm² a 500mm². Outra particularidade desta fase é a possibilidade dos cabos primários terem sido isolados (processo “e”) e depois sofrerem um agrupamento, estes produtos são chamados de multipolares.

e) Isolação: É a aplicação de um composto termoplástico ou termo fixo através de um processo de extrusão cuja função é a proteção elétrica do condutor.

f) Cobertura: É a aplicação de um composto termoplástico ou termo fixo através de um processo de extrusão cuja função é a proteção mecânica do condutor.

Para o cálculo do percentual de tempo de cada fase do processo foi determinado um mix médio de produtos e calculado os tempos totais por fase, do total de horas previsto foi determinado os percentuais aplicados.

Utilizou-se o princípio de Pareto para selecionar as fases do processo em termos de percentual de ocupação. Estas fases foram objeto do estudo de modo a determinar o seu impacto em relação as demais fases.

A análise do ponto de restrição de um sistema se baseia no valor que expressa o ritmo de toda a cadeia produtiva, portanto em nosso estudo a restrição foi determinada através do cálculo de capacidade de cada processo e comparada com a necessidade determinada pelo departamento de vendas. A fase de processo em que a capacidade estava com o valor determinado mais próximo do empenho previsto foi considerado como uma restrição do sistema.

Para tornar a análise de capacidade mais clara, foram convertidas todas as fases do processo em uma mesma unidade de medida, ou seja, convertemos as necessidades de metros de cabos para toneladas, que é a unidade de medida da fase de Trefilação.

As fases com restrições são aquelas que determinam a capacidade do sistema como um todo e foram estas fases as submetidas a um plano de melhorias e também sujeitas aos sistemas de controles mais rigorosos.

3.3 – Implantação de Melhorias nos Processos

A partir da identificação das restrições de um sistema foram definidas algumas ações de controle:

- a) Implantação do Sistema de Puxar a produção (kanban)
- b) Implantação de Supermercados de Materiais em processo antes das restrições;
- c) Plano de Manutenção Preventiva;

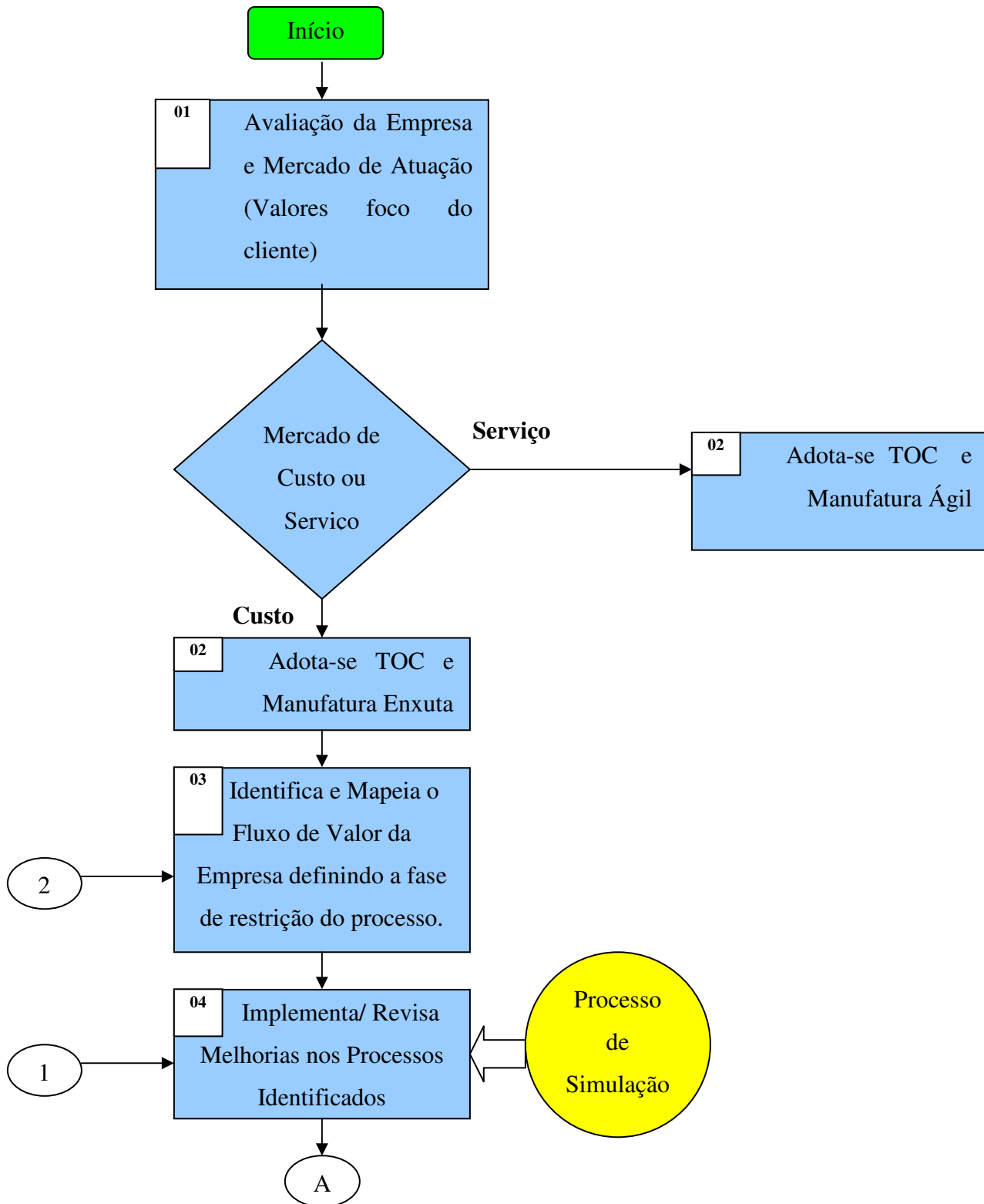
Para avaliar as mudanças propostas foi utilizado um software de simulação em uma das empresas estudadas, onde foi possível avaliar a aplicação desta ferramenta como meio de garantir que durante a implementação obtivéssemos os resultados pré-determinados.

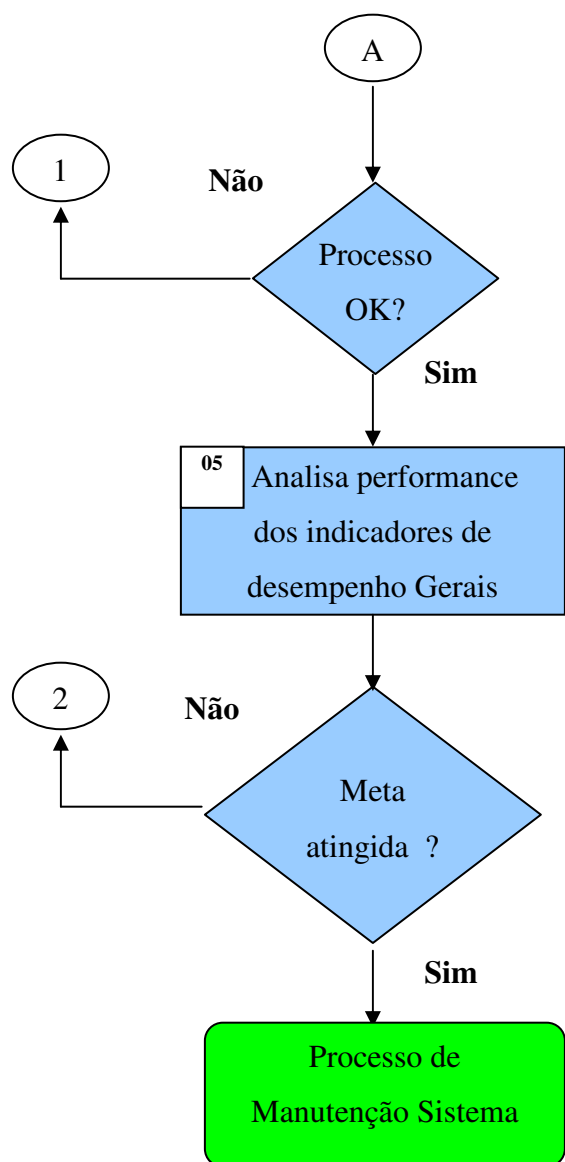
Neste projeto, foi aplicada a ferramenta de simulação de eventos discretos comercial Arena®. Foi criado um modelo virtual do sistema atual que serviu de bancada de testes. Uma vez que esse modelo foi validado, ou seja, assim que houve a confiança de realmente representar o sistema real, diversos cenários de demandas, capacidades e restrições puderam ser testadas. Assim, a partir desse modelo, foi possível instalar virtualmente o novo equipamento e testar diversas configurações identificando melhores soluções sem que o sistema real fosse afetado.

3.4 – Avaliação dos Indicadores da Empresa

Foram monitorados os indicadores de desempenho da empresa de modo a verificar os reais ganhos de forma global, tomando o período de Agosto/2000 a Outubro/2000 como período anterior a implementação e os meses de Novembro/2000 a Abril/2001 como período posterior a implementação.

O fluxograma abaixo descreve de forma resumida a metodologia descrita anteriormente:





Capítulo 4

Resultados

4.1 – Análise do Fluxo de Valor

Com base no processo da empresa, verificamos que até certa fase do processo produtivo, chamada de pré-fabricado, existia um desbalanceamento bastante acentuado em relação ao tempo de produção total, sendo que os tempos das fases subseqüentes eram menores, ou seja, potencialmente os estoques em processo estavam concentrados na fases iniciais do fluxo, conforme tabela 4.3 e gráfico 4.1 a seguir. Contatou-se que para o Cabo Unipolar até a bitola de cabo 6mm² a fase de Pré-Fabricado representa o total de 75% contra a fase de Produto Acabado que representa 25%, para o Cabo Unipolar com bitola acima de 10mm² a fase de Pré-Fabricado representa o total de 85% contra a fase de Produto Acabado que representa 15% e por último o Cabo Multipolar que a fase de Pré-Fabricado representa 70% contra a fase de Produto Acabado que representa 30%.

Tabela 4.3 – Percentual de Tempo por fase produtiva no estudo proposto

Rotas por Tipo de Produto	Pré-Fabricado				Acabado	
	Trefilação Primária	Trefilação Multifilar	Reunião Primária	Reunião Secundária	Isolação Fina	Isolação/ Cobertura
Unipolar $\leq 6\text{mm}^2$	5%	20%	50%		25%	
Unipolar $\geq 10\text{mm}^2$	5%	15%	50%	15%		15%
Multipolar	4%	16%	40%	10%	20%	10%

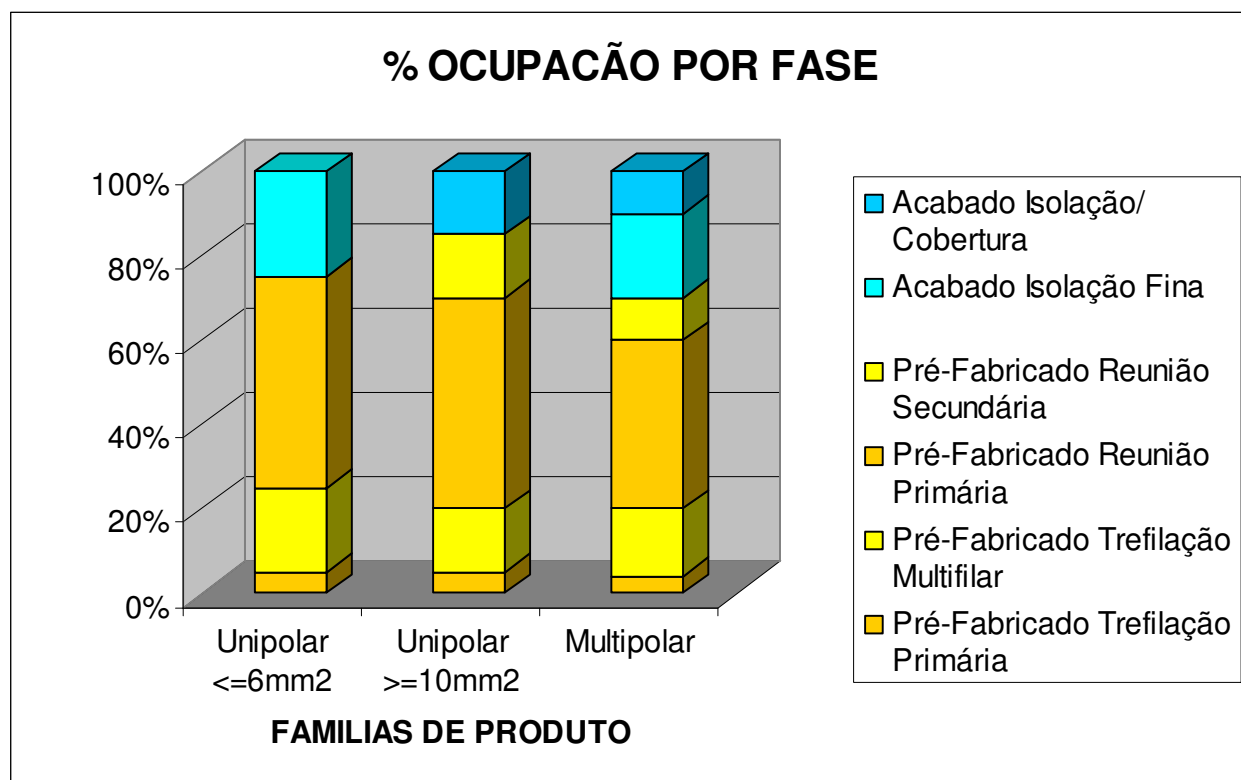


Gráfico 4.1 – Percentual de Ocupação por Fase de Produção

Uma vez definido esta área de Pré-Fabricado como mais representativa para a linha de produção, inclusive com o maior valor agregado, verificamos que seria nesta fase em que o impacto do aumento de volume de produção afetaria mais a produtividade e os custos da empresa e que portanto foi a fase central do estudo.

4.2 – Analise dos pontos de restrição

Por análise de capacidade de produção que pode ser observada na tabela 4.4, foi possível obter a Capacidade Disponível em cada fase do processo produtivo, onde destacamos a fase de Trefilação Multifilar cuja capacidade é de 300 toneladas por mês.

Tabela 4.4 – Divisão de Volumes por Fase Produtiva

Fase	Volume Vendas (ton/mês)	Capacidade Disponível (ton/mês)
Trefilação Primária	600	2000
Trefilação Multifilar	250	300
Reunião Primária	250	400
Reunião Secundária	400	1000
Isolação Fina	300	800
Isolação/Cobertura	350	1200

O Departamento Comercial estimou uma participação no mercado que representaria um aumento de 100% nas fases de Trefilação Multifilar e Reunião Primária na ordem de 100% no primeiro ano comercial (500toneladas), mais 20% no segundo ano para a nova linha de produtos. Estes fatores geraram a necessidade de aquisição de um equipamento de Trefilação Multifilar com capacidade de 300toneladas/mês e mais 2 equipamentos de reunião com capacidade de 200toneladas/mês.

Conforme avaliação até a fase do processo chamada de pré-fabricado tínhamos o que podemos chamar de uma célula, e foi identificado como nossa “Restrição”.

4.3 – Implantação de Melhorias nos Processos

A implantação de novas tecnologias foi feita após um minucioso processo de análise de viabilidade.

A restrição do processo estava na área de pré-fabricado e era uma área que representava em média 75% do tempo de processamento do produto, portanto foi necessário a implantação de algumas técnicas de controle definidas a seguir:

- a) Avaliar as combinações de número de fios na formação dos cabos;
- b) Criar um Kanban entre as trefilas multifilares e as reunidoras finas;
- c) Criar um Supermercado de fios de alimentação para as trefilas multifilares;
- d) Implantar um controle na manutenção dos equipamentos de meta em horas disponíveis.
- e) Analisar a capacidade do processo produtivo para diferentes configurações de produção;

a) Avaliar as combinações de número de fios na formação dos cabos

Iniciamos o processo de redução das restrições utilizando uma técnica de simplificação de rotas padronizando a produção baseada no melhor desempenho dos equipamentos.

Conforme tabela 4.5 podemos verificar na coluna “Mult8” (máquina de trefilação com capacidade de fabricação conjunta de 8 fios), que o cabo de seção 0.75mm^2 utiliza uma configuração de máquina com apenas 7 fios, o mesmo ocorre com o cabo de seção 1mm^2 , representando uma perda de produtividade de 12,5%.

Tabela 4.5 – Situação Anterior das Rotas de Trefilação

Seção (mm²)	% Volume Produção	Formação			Distribuição	Nº. Bobinas	
		Nº Conj.	Nº SubConj.	Diâmetro (mm)		Mult8	Mult12
0.75	1	1	21	0,205	3x7	3	
1.0	6	1	28	0,205	4x7	4	
1.5	11	1	28	0,246	1x12+2x8	2	1
2.5	22	1	48	0,246	4x12		4
4.0	10	1	52	0,294	3x12+2x8	2	3
6.0	7	1	80	0,294	6x12+1x8	1	6
10.0	7	7	20	0,294	1x12+1x8	1	1
16.0	6	7	44	0,246	3x12+1x8	1	3
25.0	5	7	68	0,246	5x12+1x8	1	5
35.0	5	7	68	0,294	5x12+1x8	1	5
50.0	3	10	68	0,294	5x12+1x8	1	5
70.0	3	14	68	0,294	5x12+1x8	1	5
95.0	4	19	68	0,294	5x12+1x8	1	5
120.0	2	24	68	0,294	5x12+1x8	1	5
150	5	30	68	0,294	5x12+1x8	1	5
185	1	37	68	0,294	5x12+1x8	1	5
240	2	49	68	0,294	5x12+1x8	1	5

Na tabela 4.6, podemos verificar a configuração final obtida, que passou a variar de Mult8 até Mult14 (máquina com combinação de 14 fios), para todas as seções de cabos alcançando assim um aproveitamento do equipamento 100%.

Tabela 4.6 – Situação Proposta das Rotas de Trefilação

Seção (mm²)	% Volume Produção	Formação			Distribuição	Nº. Bobinas		
		Nº Conj.	Nº SubConj.	Diâmetro (mm)		Mult8	Mult12	Mult14
0.75	0,4	1	24	0,19	3x8	3		
1.0	3	1	32	0,19	4x8	4		
1.5	5	1	28	0,25	1x12+2x8	2	1	
2.5	11	1	48	0,25	4x12		4	
4.0	4	1	54	0,29	1x12+3x14		1	3
6.0	3	1	82	0,29	1x12+5x14		1	5
10.0	3	7	20	0,29	1x12+1x8	1	1	
16.0	14	7	32	0,29	2x12+1x8	1	2	
25.0	10	7	48	0,29	4x12		4	
35.0	8	7	70	0,29	5x14			5
50.0	5	10	70	0,29	5x14			5
70.0	6	14	70	0,29	5x14			5
95.0	8	19	70	0,29	5x14			5
120.0	4	24	70	0,29	5x14			5
150	9	30	70	0,29	5x14			5
185	2	37	70	0,29	5x14			5
240	3	49	70	0,29	5x14			5

Após a configuração das formações dos cabos, passou-se a analisar os volumes previstos pela área comercial. Para tanto foi realizada uma simulação dos volumes previstos e a capacidade de produção das linhas de trefilação. Apresentamos a avaliação da condição anterior da fábrica com um volume de 300 toneladas/mês, tabela 4.7 e a situação nova para 600 toneladas/mês na tabela 4.8.

Nas tabela 4.7 e 4.8, verificamos a variação por seção de cabo (coluna 1) do volume em metros por mês (coluna 2) e também o percentual que cada seção representa no total de produção mensal (coluna 3) e de acordo com a formação do número de fios detalhada na tabela 4.5 calculou-se a Metragem por Máquina (coluna 4). Na coluna 5 inserimos a velocidade de produção de cada combinação de fio por tipo de máquina de modo a calcular o tempo que será ocupado em cada trefila (coluna 6) e convertemos esta mesma ocupação em Quilos de Cobre (coluna 7) o que totalizou 298583kg de Cobre na tabela 4.7 e os 603065kg de Cobre na tabela 4.8.

Foi possível verificar uma diferença de capacidade das linhas de trefila de 8 fios e 12 fios em função da implementação das melhorias no projeto do produto na ordem de 10%, e também que a opção de selecionar um equipamento com uma configuração diferente a existente, que foi a trefila de 14 fios, proporcionou uma melhoria na flexibilidade das formações dos cabos além de utilizar a capacidade deste equipamento em níveis elevados.

Um outro ponto de destaque na nova configuração apresentada é a redução de set'ups nas linhas de trefilação através da padronização das formações.

Tabela 4.7 – Simulação de Capacidade para 300 toneladas por mês

1	2	3	4	5	6	7					
Seção (mm²)	Quant. (m/mês)	% Volume Produção	Metrag./Máquina		Velocidade(m/s)		Tempos(h)		KgProd./Maq.		Total
			Mult8	Mult12	Mult8	Mult12	Mult8	Mult12	Mult8	Mult12	Kg/Seção
0.75	432000	1	1296000	0	30	35	12,00	0,00	2662	0	2662
1.0	2160000	6	8640000	0	30	35	80,00	0,00	17746	0	17746
1.5	2688000	11	5376000	2688000	25	32	59,73	23,33	18172	13629	31802
2.5	3240000	22	0	12960000	25	32	0,00	112,50	0	65713	65713
4.0	936000	10	1872000	2808000	20	25	26,00	31,20	9038	20336	29374
6.0	456000	7	456000	2736000	20	25	6,33	30,40	2202	19815	22016
10.0	252000	7	1764000	1764000	20	25	24,50	19,60	8517	12775	21292
16.0	144000	6	1008000	3024000	20	32	14,00	33,60	3407	15333	18740
25.0	72000	5	504000	2520000	20	32	7,00	28,00	1704	12777	14481
35.0	48000	5	336000	1680000	20	25	4,67	18,67	1622	12167	13789
50.0	19200	3	192000	960000	20	25	2,67	10,67	927	6952	7879
70.0	16800	3	235200	1176000	20	25	3,27	13,07	1136	8517	9652
95.0	16800	4	319200	1596000	20	25	4,43	17,73	1541	11558	13100
120.0	7200	2	172800	864000	20	25	2,40	9,60	834	6257	7092
150	12000	5	360000	1800000	20	25	5,00	20,00	1738	13036	14774
185	2400	1	88800	444000	20	25	1,23	4,93	429	3216	3644
240	2400	2	117600	588000	20	25	1,63	6,53	568	4258	4826
Total	10504800	100	TOTAIS				254,87	379,83	72243	226340	298583
TEMPO DISPONIVEL EQUIPAMENTO:	500h/mes		PRODUTIVIDADE				470,43			KG/H	

Tabela 4.8 – Simulação de Capacidade para 600 toneladas por mês

1	2	3	4			5			6			7				
Seção (mm²)	Quant.Projet (m/mês)	% Volume Produção	Metrag./Máquina			Velocidade(m/s)			Tempos(h)			KgProd./Maq.			Total	
			Mult8	Mult12	Mult14	Mult8	Mult12	Mult14	Mult8	Mult12	Mult14	Mult8	Mult12	Mult14	Kg/Seção	
0.75	432000	0,4	1296000	0	0	30	35	35	12,00	0,00	0,00	2697	0	0	2697	
1.0	2160000	3	8640000	0	0	30	35	35	80,00	0,00	0,00	17977	0	0	17977	
1.5	2688000	5	5376000	2688000	0	25	32	32	59,73	23,33	0,00	18172	13629	0	31802	
2.5	3240000	11	0	12960000	0	25	32	32	0,00	112,50	0,00	0	65713	0	65713	
4.0	936000	4	0	936000	2808000	20	25	25	0,00	10,40	31,20	0	6595	19786	26382	
6.0	456000	3	0	456000	2280000	20	25	25	0,00	5,07	25,33	0	3213	16066	19279	
10.0	252000	3	1764000	1764000	0	20	25	25	24,50	19,60	0,00	8287	12430	0	20717	
16.0	619200	14	4334400	8668800	0	20	25	25	60,20	96,32	0,00	20361	61084	0	81446	
25.0	309600	10	0	8668800	0	20	25	25	0,00	96,32	0,00	0	61084	0	61084	
35.0	206400	8	0	0	7224000	20	25	25	0,00	0,00	80,27	0	0	50903	50903	
50.0	82560	5	0	0	4128000	20	25	25	0,00	0,00	45,87	0	0	29088	29088	
70.0	72240	6	0	0	5056800	20	25	25	0,00	0,00	56,19	0	0	35632	35632	
95.0	72240	8	0	0	6862800	20	25	25	0,00	0,00	76,25	0	0	48358	48358	
120.0	30960	4	0	0	3715200	20	25	25	0,00	0,00	41,28	0	0	26179	26179	
150	51600	9	0	0	7740000	20	25	25	0,00	0,00	86,00	0	0	54539	54539	
185	10320	2	0	0	1909200	20	25	25	0,00	0,00	21,21	0	0	13453	13453	
240	10320	3	0	0	2528400	20	25	25	0,00	0,00	28,09	0	0	17816	17816	
Total	11629440	100	TOTAIS						236,46	363,54	491,69	67494	223749	311822	603065	
TEMPO DISPONIVEL POR EQUIPAMENTO: s		500h/mes	PRODUTIVIDADE 8+12fios						485,43						KG/H	
			PRODUTIVIDADE 14fios						634,18						KG/H	

b) Criar um Kanban entre as trefilas multifilares e as reunidoras finas

Para implantação do Kanban foi utilizado um quadro magnético, conforme exemplo na figura 4.1. Como as bobinas tem muito óleo proveniente do processo, foi necessário desenvolver uma etiqueta plastificada e de fácil fixação, em função disso desenvolvemos etiquetas magnéticas que poderiam ser tanto presas nas bobinas como no quadro de Kanban.

No quadro foi feita uma divisão nas cores verde, amarela e vermelho onde o objetivo foi obter a classificação das ações do operador da máquina, sendo:

VERDE = Indica que o estoque de produto trefilado atende as necessidades da fase de Reunião;

AMARELO = Indica um alerta de que o estoque deste item está abaixo do nível ideal, devendo planejar a troca de programa na trefila.

VERMELHO = Indica que o estoque deste item está em situação crítica, podendo faltar fio na fase seguinte, deve ser feito a troca de programa na trefila imediatamente, ou em caso negativo, comunicar a Supervisão.

As etiquetas possuíam a informação de identificação básica do produto sendo:

= Código do Produto

= Descrição Padrão

= Construção (número de fios)

= Quantidade (kg)

A quantidade de bobinas em cada cor do controle de Kanban, foram determinadas com base no volume de produção previsto e conseqüentemente no tempo takt para puxada da fase de Reunião, tais parâmetros foram obtidos através do programa de simulação.

A sistemática de funcionamento foi:

= Operador da Trefila Multifios verificava no quadro de Kanban o item a ser fabricado, de acordo as prioridades que seguem das cores vermelhas para verde;

= Operador de posse da etiqueta de identificação magnética (ordem de produção) produz o fio.

= A bobina pronta é identificada com a etiqueta magnética e disposta na área de estoque da reunidora.

= Operador da reunidora quando necessita puxar uma bobina, retira a bobina do estoque, retira a etiqueta e a recoloca no quadro de Kanban, neste caso seguindo o posicionamento de retorno da etiqueta da prioridade verde para vermelha.



Figura 4.1 – Quadro de Kanban

c) Criar um Supermercado de fios de alimentação para as trefilas multifilares

O processo de trefilação multifilar conforme verificou-se não pode de modo algum parar por falta de recursos, em função de ser uma restrição no sistema, o que justificou a criação do supermercado de fios de alimentação.

Pelo fato de termos apenas um tipo de produto de alimentação, com um tipo de apresentação física (embalagem), implantou-se um controle através desta identificação, ou seja, cada posição de alimentação sempre terá uma posição reserva que garante o abastecimento sem parada, e uma vez esvaziado uma embalagem está segue para a fase anterior como uma ordem de produção, sem afetar o ciclo calculado.

O dimensionamento foi realizado de acordo ao takt global do sistema com 1 dia de estoque de segurança sendo:

Takt Dia = 24 toneladas/dia (base 600toneladas/mês).

Capacidade do Cesto de Alimentação = 1200kg

Consumo Médio = 20 cestos/dia

Número de Cestos em Uso nas Trefilas Multifilares = 34

Objetivo de estoque de 1 dia = $34 - 20 = 14$ cestos vazios

d) Implantar um controle na manutenção dos equipamentos

A necessidade da disponibilidade dos equipamentos considerados de Restrição do processo foi imprescindível para o bom funcionamento de qualquer sistemática implantada, portanto a manutenção dos equipamentos passou a ser vital no que se refere a prevenção de falhas.

O nosso objetivo nesta etapa foi implementar um sistema de meta em horas disponíveis, ou seja, considerar alguns parâmetros matemáticos de manutenção no processo produtivo.

O tempo médio entre falhas (MTBF) e tempo médio de reparo (MTTR) passaram a ser controlados e serem retro alimentados no sistema de simulação de capacidade de modo a obter a condição mais adequada do processo.

e) Analisar a capacidade do sistema para diferentes configurações de produção

Uma vez identificadas as possíveis soluções do processo, passou-se a testá-las de modo a ratificar a sua aplicabilidade e também quantificá-las adequadamente, como é o caso do dimensionamento do Kanban e dos indicadores de Manutenção.

No Anexo 1 podemos verificar o procedimento de utilização e configuração do Software Arena e no Anexo 2 a customização realizada para o modelo para a Fabrica de Condutores Elétricos que foi foco deste estudo.

Primeiramente, foram criados e validados modelos conceituais do sistema. A partir desses, foi possível definir o nível de detalhamento do modelo de simulação. Essa definição é extremamente crítica. Se o modelo for pouco detalhado, não representará o sistema real. Quanto mais detalhes são inseridos, mais as respostas da simulação se aproximam do sistema real. No entanto, existe um ponto limite além do qual a acumulação das pequenas incertezas de cada detalhe se acumulam gerando um grande erro.

Tendo em vista essa importante questão, o nível de detalhamento foi definido. A lógica de cada operação foi estabelecida como sendo formada pela lógica do processo em si, a lógica das paradas e a lógica de manutenção. Para cada operação foram ainda modelados os recursos e os supermercados de produtos. Para caracterizar um sistema just in time, uma lógica de “puxar” a produção, de acordo com um mix e um takt time, foi modelada, conforme figura 4.2.

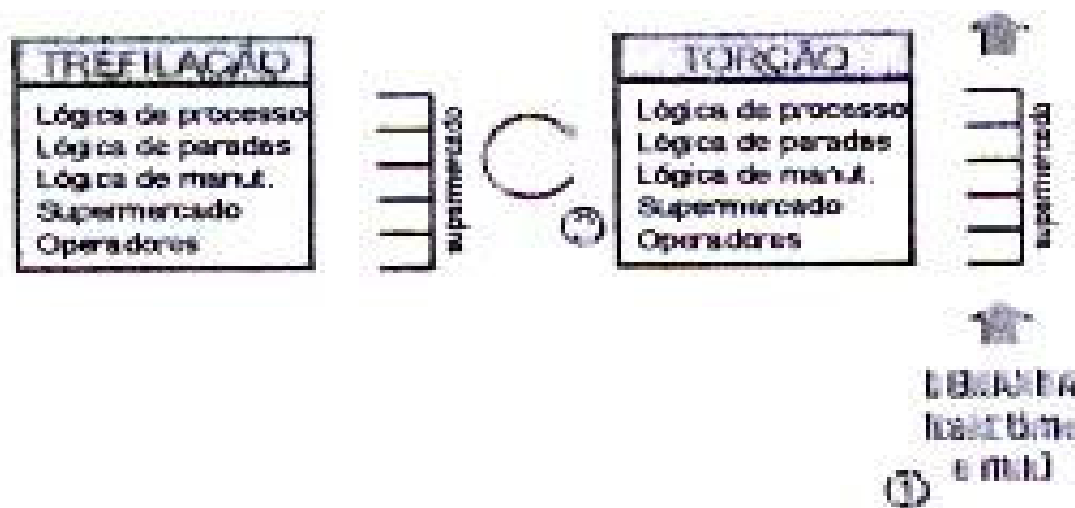


Figura 4.2 – Interfaceamento das lógicas do sistema simulado

Como parâmetros de análise, os cenários definidos prevêm:

- . 3 Trefilas Multifilares
- . 8 Reunidoras Primárias
- . 6 Tipos de produtos multifilares
- . 6 Tipos de produtos reunidos

O modelo criado para a empresa estudada foi capaz de auxiliar em tomadas de decisão como:

- . análise de capacidade do sistema para diferentes configurações;
- . avaliação da influência do sistema kanban, bem como o seu dimensionamento;
- . teste de diferentes combinações no processo de formação dos cabos;
- . definição de metas para a manutenção.

Apesar da limitação do escopo do projeto em relação ao restante da fábrica, onde seriam englobados outros processos seqüenciados, as análises realizadas foram satisfatórias em relação ao estudo que estava sendo realizado. Isto se deve principalmente ao caráter estratégico dos processos selecionados e a interface realizada, uma vez que a lógica que os une determina aspectos importantes de todo processo produtivo para os cabos flexíveis, uma vez que é iniciado no processo estudado a formação do cabo propriamente dita, sendo isso fundamental na determinação da eficiência de todo sistema em relação a sua capacidade produtiva e também em relação ao atendimento à demanda de mercado.

Simulou-se 2 condições de produção para 500 e 600 toneladas de acordo aos anexos 4 e 6 respectivamente e avaliou-se o dimensionamento dos supermercados de acordo aos anexos 5 e 7, onde foi possível validar o modelo matemático proposto, bem como concluir a capacidade de produção da empresa estudada.

Realizou-se também como resultado do processo de simulação o dimensionamento do Kanban de trefilas conforme a seguir:

– Aplicação da Simulação para dimensionamento do Kanban de Trefilas

Para dimensionamento de um kanban de trefilação por tipo de fio a ser trefilado vários fatores foram levados em consideração, como demanda, confiabilidade e custo. Tradicionalmente esse dimensionamento é feito através de cálculos analíticos seguidos de ajustes na prática. A experiência mostra que a quantidade de ajustes necessários no número de kanbans é sempre grande, independentemente da eficiência do cálculo analítico. O modelo de simulação se torna uma ferramenta útil, uma vez que minimiza os efeitos dos parâmetros aleatórios desse cálculo, chegando a resultados muito mais precisos.

Para se determinar o tamanho mínimo do lote de produção, um cálculo de lote econômico deve ser realizado. Esse cálculo para um determinado tipo de fio informa qual o tamanho da região verde do quadro de sinalização.

Para se determinar o ponto em que a produção pode ser afetada, o modelo de simulação se torna útil. Aumentando o lote de produção na tela inicial da simulação, é possível observar a falta de material no sistema. Para isso, as medidas de desempenho indicadas pelos índices Espera 11 a 16 e Espera 21 a 28 devem ser monitorados.

Uma vez que o ponto crítico de risco de parada da produção é determinado para cada tipo de fio, as regiões vermelhas podem ser definidas.

A partir da determinação dos pontos verdes e vermelhos, a confiabilidade do sistema pode ser testada, bem como o tamanho total dos kanbans. Para isso o nível médio dos supermercados deve ser monitorado através da medida de desempenho spmktT1 a T3 e spmktB1 a B8. Adotando-se o nível médio percentual de sua capacidade, o número de kanbans pode ser aumentado ou diminuído conforme testes realizados.

De acordo ao anexo 3, foram introduzidos no software Arena os parâmetros do processo de fabricação de cabos para simulação do kanban obtendo-se os números descritos abaixo:

- Teste 1:

Produção 600ton

Cabo Tipo 1 Gatilho = 3 e Demais cabos = 6

Parâmetros Base: Sem esperas na trefila

SPMKTT1=5; SPMKTT2=4,7; SPMKTT3=5,1; SPMKTT4=5; SPMKTT5=4,6;

SPMKTT6=4,1

Conclusão= 3 bobinas na área Vermelha do Kanban é suficiente.

- Teste 2 :

Produção 600ton

Cabo Tipo 1, 4 e 5 Gatilho = 6

Conclusão= 3 bobinas na área Vermelha do Kanban é suficiente (50% ok).

- Teste 3 :

Produção 600ton

Cabo Tipo 2 e 6 Gatilho = 9

Conclusão= OK para tipo 2 e Não OK para tipo 6, aumentar gatilho para 12.

- Teste 4 : Produção 600ton

Cabo Tipo 6 Gatilho = 12

Conclusão= 6 bobinas na área Vermelha do Kanban é suficiente (50% ok).

- Dimensionamento Final:

8x0,246mm – VD=6 ; AM=3 ; VM=3

8x0,290mm – VD=6 ; AM=3 ; VM=3

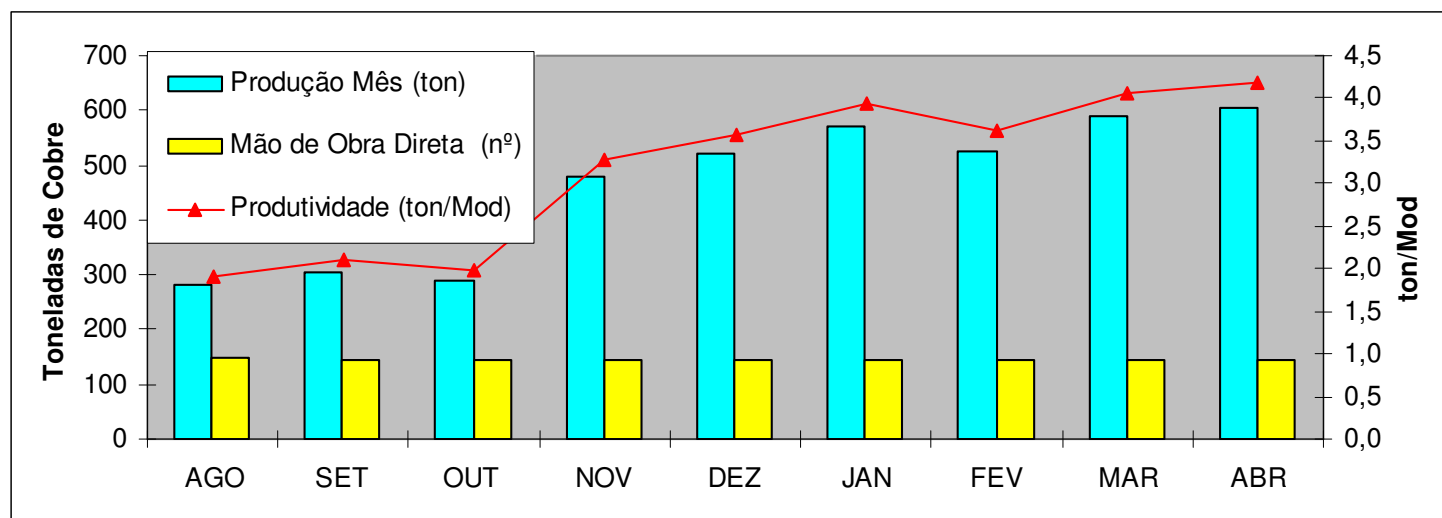
12x0,290mm – VD=6 ; AM=3 ; VM=3

12x0,246mm – VD=8 ; AM=3 ; VM=3

14x0,290mm – VD=9 ; AM=5 ; VM=6

4.4 – Avaliação dos Resultados

Como referencia do estudo realizado foi escolhido um período de avaliação, que no caso foi selecionado os meses de Agosto/2000 a Outubro/2000 como período anterior as ações implementadas, e os meses de Novembro/2000 a Abril/2001 como referência posterior as implementações. No gráfico 4.2 podemos observar a evolução do nível de produção ao longo dos meses e principalmente a evolução da Produtividade (formula 1.1) destacada como parâmetro mais importante deste processo.



Item	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR
Produção Mês (ton)	280	305	290	480	520	570	525	590	605
Mão de Obra Direta (nº)	147	145	146	146	146	145	145	145	145
Produtividade (ton/Mod)	1,9	2,1	2,0	3,3	3,6	3,9	3,6	4,1	4,2

Gráfico 4.2 – Evolução da Produção e Produtividade

Através da aplicação das formulas 1.1 a 1.6, descritas no Capítulo 1 encontrou-se os dados a seguir.

Tabela 4.9 – Resultados Empresa

Indicador	Antes	Depois
Produtividade	2ton/empregado	3,8ton/empregado
Nível de Inventário	20dias	15dias
Custo do Inventário	U\$ 600.000,00	U\$830.000,00
Pontualidade	91%	95%
Eficiência	65%	82%
Qualidade	5500ppm's	4300ppm's

Os sistemas de manufatura Enxuta e TOC puderam ser aplicados de forma conjunta e contributivas de acordo ao objetivo estratégico da empresa estudada, confirmando o modelo proposto por Godinho Fº e Fernandez (2005).

O uso de ferramentas de inovação dos processos defendido por Thomke (2006) é o caminho para o contínuo crescimento da empresa no mercado competitivo.

Capítulo 5

Conclusões/Trabalhos Futuros

5.1 – Conclusões

Com a aplicação da técnicas da Teoria das Restrições (Theory of Constraints) no processo de fabricação de cabos, foi possível identificar a fase de produção da corda, chamada de pré-fabricado como a limitante de capacidade e consequentemente prover investimentos e melhorias neste processo que elevou a capacidade de fabricação de cabos flexíveis de 300 toneladas por mês para 600 toneladas por mês, ou seja um incremento de 100% de capacidade.

A aplicação da metodologia da Manufatura Enxuta no processo de pré-fabricado proporcionou ganhos de produtividade na ordem de 90% e na análise proporcional do custo de produção em função do nível de inventário, tivemos uma redução de 33% no nível de estoque de produto em processo. Com relação a qualidade dos produtos e processos houve um ganho substancial e não mensurável no que se refere ao tempo de reação aos problemas detectados em função da filosofia do fluxo unitário, e no que se refere a perdas reais foi possível medir uma redução de 20% no índice de ppm's gerados no período estudado.

Concluiu-se adicionalmente que não foi aplicável a filosofia Ágil neste processo, visto que o mercado consumidor de cabos, na linha de cabos de baixa tensão, chamados de Building Wire, têm uma forte tendência de análise de custo no momento da compra, ou seja, o processo de

fabricação nesta linha de produtos deve objetivar a maior padronização possível, com ganhos de custo e produtividade.

A simulação de um processo com o auxílio do computador minimiza os tempos de dimensionamento e implementação dos novos processos e também auxilia na definição de metas para os processos de apoio.

Foi possível observar que é possível o uso conjunto da Teoria das Restrições e da Manufatura Enxuta comprovando a aplicabilidades desta teorias em um processo de fabricação de condutores elétricos.

5.2 – Trabalhos Futuros

Selecionar uma empresa com um mercado de atuação que visa disponibilidade e flexibilidade de atendimento para aplicação da Teoria das Restrições em conjunto com a filosofia de Manufatura Ágil para comprovação da aplicação das 2 técnicas em conjunto.

Utilizar o sistema de simulação criado para análise de capacidade da empresa, como uma ferramenta administrativa para análise de saturação do processo frente às variações do mercado.

Referências Bibliográficas

Agostinho, O. “*Apostila do Curso de Sistemas de Manufatura*”, 2001, 277p.

Batochio, A. – *Um modelo de índice de automação relacionado à flexibilidade e à produtividade dos sistemas de manufatura*. Tese de Doutorado, FEM/UNICAMP, Campinas, 1991, 302p.

Batocchio, A. – *Apostila do curso de Planejamento do Processo e de Célula de Manufatura*, 1992, 150p.

Batocchio, A., Agostinho, O.L. *Sistema de Manufatura*. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia de Fabricação. 1998. (Notas de Aula).

Blackstone, J. H., - *Theory of constraints – a status report*, International Journal of Production Research, 2001, vol 39, nº6, p.1053-1080.

Challis, D., Samson, D. and Lawson, B. – *Integrated Manufacturing employee and Business performance*. International Journal of Production Research, 2002, vol 40, nº 8, p. 1941-1964.

Corbett, T. – *Teoria das Restrições (TOC)* - Available on URL: <http://www.Corbett-toc.com/>, 1998.

Corrêa, H. L., Irineu, G. N. Giancesi - *Just in time, MRP II e OPT: um enfoque estratégico*. São Paulo: Atlas, 1993;

Christopher, M., Towill, Denis R. – *Supply chain migration from lean and functional to agile and customized*. Supply Chain Management: An International Journal, 2000, vol 5, nº 4, p. 206-213.

Drucker, Peter F. – *A Profissão de Administrador*. Editora Pioneira, 1998, 187p.

Esmail, K.K., Saggu, J.A. *Changing Paradigm*. Manufacturing Engineer, 1996.

Godinho Fº, M e Fernandes, F.C.F. – *Paradigmas Estratégicos de Gestão da Manufatura (PEGEMS): Elementos-Chave e Modelo Conceitual*. Gestão & Produção, 2005, vol 12, nº 3, p.333-345.

Goldratt Institute. *Avraham Y. Goldratt Institute*. Available on URL: <http://www.goldrat.com/>, 2001.

Gunasekaran, A. – *Agile Manufacturing: A framework for research and development*. International Journal of Production Economics, 1999, vol 62, nº 1-2, p.87-105.

Hutchins, David - *Just in time*. São Paulo: Atlas, 1993.

Johansson, H. J.,McHugh, P., Pendlebury, A.J. and Wheeler, W. A. – *Business Process Reengineering: Breakpoint Strategies for Market Dominance*, Johnwiley & Sons, Chichester, 1993.

Ketola, J & Robert, K. – *Measurement, Analysis and Improvement*. Quality Digest, Junho 2000, Available on URL: <http://www.qualitydigest.com/>.

Kim, K., Chhajed, D. and Palekar, U.S. – *A comparative study of the performance of push and pull systems in the presence of emergency orders*. International Journal of Production Research, 2002, vol 40, n° 7, p. 1627-1646.

Lean Enterprise Institute – *What is the Theory of Constraints, and How Does it Compare to Lean Thinking?*, 1999, Available on URL: <http://www.lean.org/>

Li, J., Barnes, D.J. – *Investigating the factors influencing the shop performance in a job shop environment with Kanban – based production control*. International Journal of Production Research, 2000, vol 38, n° 18, p. 4683-4699.

Lima, P.C., Cochran, D.S. - *Introdução ao Lean Manufacturing*, Notas de Aula, 2001, 17p.

Maleki, E. A.- *Flexible Manufacturing Systems* – The technology and Management, 1991.

Martinez, F.M., Bedia, L.M.A. – *Modular simulation tool for modeling JIT manufacturing*. International Journal of Production Research, 2002, vol 40, n° 7, p.1529-1547.

Mason-Jones, R., Naylor, B. and Towill, D.R. – *Lean, agile or leagile? Matching your supply chain to the marketplace*. International Journal of Production Research, 2000, vol.38, n°17,p.4061-4070.

Mattar, F. N. & Aquino, P., *A produção enxuta no Brasil*, Anais do 2ºSEMEAD – Revista FURB, 1997, 20p.

Monden, Y. – *Toyota Production System*. Institute of Industrial Engineers, 1983, 247p.

Naylor, J.B., Naim, M.M. and Berry, D. – *Leagility: Integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain*. International Journal of Production Economics, 1999, vol 62, p.107-118.

Owen, D. , Kruse, G. *Follow the Customer*. Manufacturing Engineer, 1997.

Hsu P. and Sun M., - *Using the Theory of Constraints to Improve the Identification and Solution of Manager Problems*. International Journal of Management, 2005, vol 22, p.415-425.

Rentes, A. F., Souza, F.B., O sistema logístico de produção da teoria das restrições: um paralelo com o Just in Time. Anais ENEGEP 96. Piracicaba, SP, (1996),

Roberts, Irving, *Manufacturing Engineer* – BPR for SMEs, (Dez 1997)

Roesch, S. M. A. *Projetos de Estágios e de Pesquisa em Administração: Guia para Estágios, Trabalhos de Conclusão, Dissertações e Estudos de Caso*. 2 ed. São Paulo: Atlas, 1999. 312 p.

Rother, M. , Shook, J. *Aprendendo a Enxergar*, 1996.

Sanchez, L.M. & Nagi, R. – *A review of agile manufacturing system*. International Journal of Production Research, 2001, vol.39, nº 16, p.3561-3600.

Schonberger, R.J. *World Class Manufacturing* – The Lessons of Simplicity Applied. 1986.

Sheridan, J.H. - *Agile manufacturing: Stepping beyond lean production*. Industry Week, 1993, 242(8), p.30-46.

Taj, S. and Berro L. – *Application of Constrained Management and Lean Manufacturing in developing best practices for productivity improvement in an auto-assembly plant*. International Journal of Productivity and Performance Management, 2006, nº 3/4, p.332-345.

Thiollent, M. – *Metodologia da pesquisa-ação*. São Paulo: Cortez, 2004, 13.ed.

Thomke, S. H. – *Capturing the Real Value of Innovation Tools*. MitSloan Management Review, 2006, vol.47, nº 02.

Ulharuzo, C.G. – *Novos paradigmas da economia industrial e economia de escala: estudo de casos em fabricantes de autopeças do R.G.S. Porto Alegre*, UFRGS, 1993 (monografia).

Womack, James D., JONES, Daniel T. & ROOS, Daniel. *A Máquina que mudou o mundo*. Rio de Janeiro: Campus, 1990, 347p.

Yin, Robert K. *Case Study Research – Design and Methods*. Sage Publications Inc., USA, 1989.

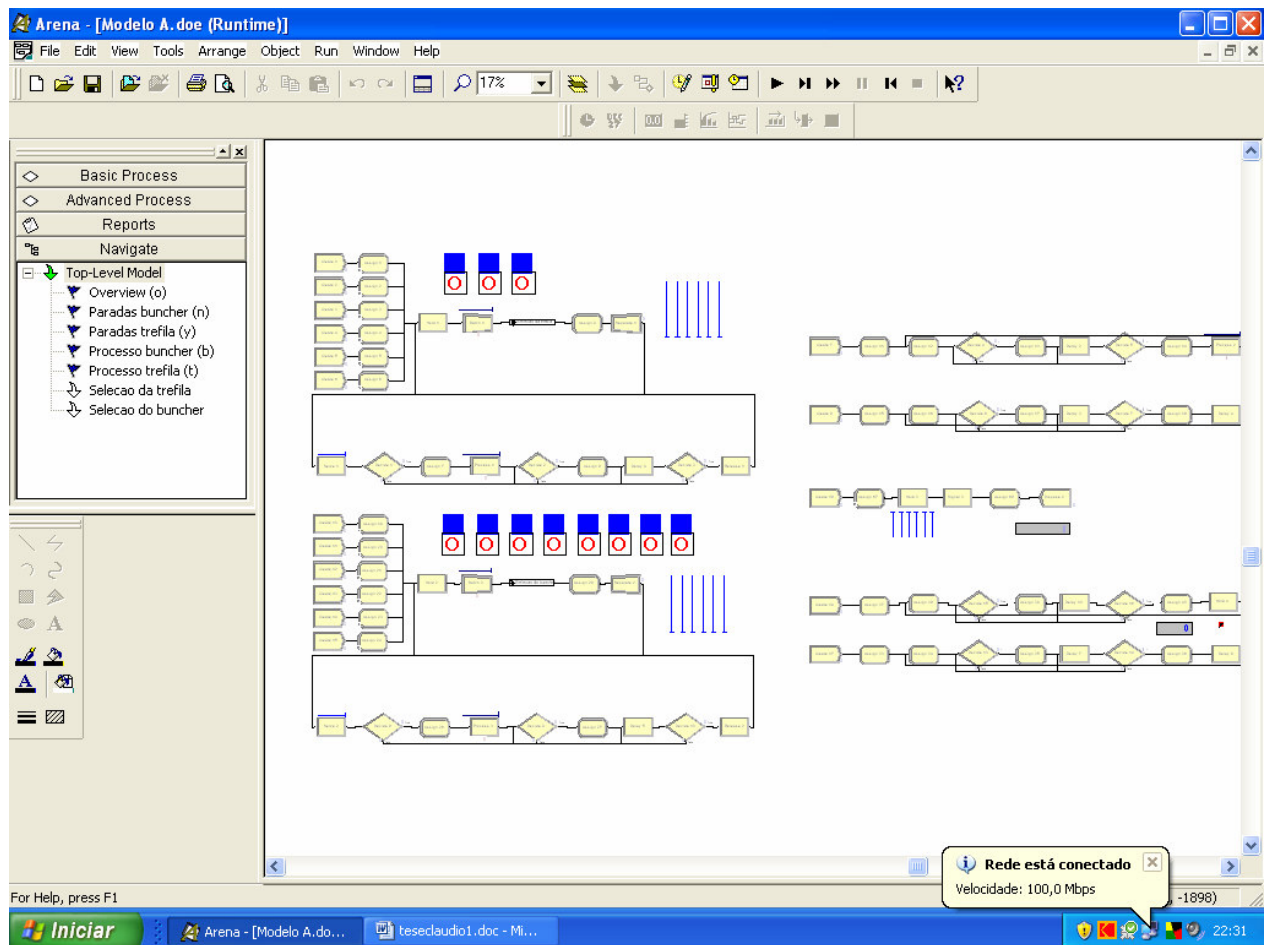
Yin, Robert K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 205 p.

Anexos

Anexo 1 - Utilização e Configuração do Software Arena

A Systems Modeling Corporation foi a criadora do Arena, fundada em 1982 e situada em Sewickley (Pennsylvania – EUA). O Arena foi criado em 1993 como um up-grade de outros dois softwares: O Siman e o Cinema, criados em 1982 e 1984 respectivamente. O Siman é uma linguagem de simulação baseada no GPSS da IBM e o Cinema foi o primeiro software de animação para ser usado com simulação de eventos discretos. O aperfeiçoamento e a união desses dois softwares levou a um ambiente completo de simulação chamado de Arena.

O Arena é inicializado executando-se o arquivo *arena.exe*. Esse pode ser acessado através de atalhos como o do menu iniciar do Microsoft Windows. Ao abrir o Arena, surge uma janela de introdução, através da qual é possível, além de abrir o programa, rodar tutoriais, abrir bibliotecas e exemplos conforme figura a seguir.



- Tela inicial do programa Arena

Após sair da janela de introdução, a janela principal do Arena aparecerá. Para abrir um modelo existente, basta clicar no botão abrir na barra de ferramentas no canto superior esquerdo da janela do Arena. Alternativamente, é possível selecionar File – Open na barra do menu, também no canto superior esquerdo da janela e o arquivo contendo o modelo testado. Devendo sempre ser utilizado o disco rígido para utilizar o arquivo modelo.

A janela do Arena consiste de componentes padrões do Microsoft Windows: uma janela principal com barra de título, barra de menu, barras de rolagem, barra de status e barras de ferramentas. A interação do usuário com esses componentes é semelhante às demais aplicações para o Windows. A janela contida dentro da janela do Arena é a janela do modelo. O Arena é

uma aplicação Windows MDI (multiple document interface), possibilitando, assim, a abertura de várias janelas contendo diferentes modelos simultaneamente.

A esquerda na janela do Arena, está o painel do projeto, que provê um mecanismo para mostrar os painéis de template utilizados para a construção de modelos, bem como o painel de navegação, que facilita a visualização de um modelo através da estrutura hierárquica.

Os controles necessários para rodar um modelo podem ser acessados em *Run* na barra de menu. Estes comandos podem, ainda, ser encontrados na barra de ferramentas Run. Para rodar um modelo, deve se executar o comando *Go*. Quando for necessária a pausa da simulação, o comando *Pause* pode ser utilizado. Para avançar passo a passo, há o comando *Step*, e, para avançar rapidamente, o comando Fast-Forward. O comando Start Over reinicia a simulação e o comando Stop a finaliza.

A interação do modelo em estudo com o usuário se dá através de um aplicativo em Visual Basic. Assim rodando o modelo, surge uma janela onde os principais dados de entrada podem ser acessados. O usuário pode, assim, determinar os seguintes parâmetros do modelo, conforme tela UserForm 1:

- Dados do mercado: takt time e mix de produção;
- Dados de produção: tamanho de cada kanban e lote de produção;
- Dados de manutenção: tempo médio entre falhas (MTBF) e tempo médio de reparo (MTTR);

– Tela de interação do programa com o usuário

A demanda do sistema é então determinada em função de seu takt time. Esse foi definido como sendo o intervalo de tempo entre a produção de cada bobina de cabos para que a demanda seja alcançada. Assim o takt time pode ser calculado através da fórmula:

$$Tt = [pb \text{ (ton)} / \text{demanda (ton)}] * h$$

Onde:

Tt – Takt time;

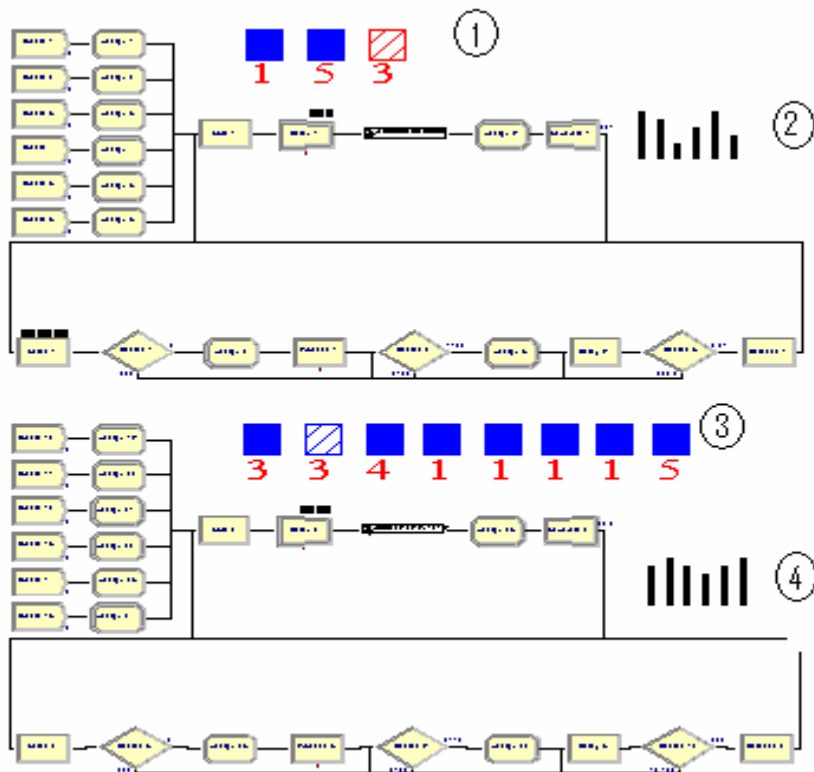
Pb – peso médio das bobinas;

Demanda – demanda a ser alcançada no mês;

H – número de horas disponíveis no mês.

Os dados de mercado são ainda caracterizados pelo mix de produção. Esse deve ser introduzido através de uma função aleatória discreta (DISC) indicando a probabilidade de ocorrência acumulada dos cabos classificados de 1 a 6. Na função *ajuda* do Arena há uma descrição da sintaxe dessa função.

Uma vez preenchida a janela de entrada de dados e apertando a tecla “Simular”, a animação do modelo se inicia onde podemos observar a animação das entidades físicas do modelo, de acordo com a figura abaixo.



– Visualização da Animação

Sendo elas:

- 1 – As trefilas multifilares com suas filas;
- 2 – O supermercado com bobinas de fios trefilados;
- 3 – Os bunchers com suas filas;
- 4 – O supermercado de bobinas com cabos;

O número próximo a cada máquina, informa qual fio ou cabo está sendo produzido. Para entender a animação, é importante ainda compreender o sistema de cores que representa os diversos estados das máquinas:

	Fabricando
	Disponível
	Parada
	Em manutenção

Os estados de máquina parada e máquina em manutenção foram classificados de forma diferente em função de que no caso da máquina em manutenção a mesma é realizada por pessoal técnico de manutenção, não dependendo do operador da máquina.

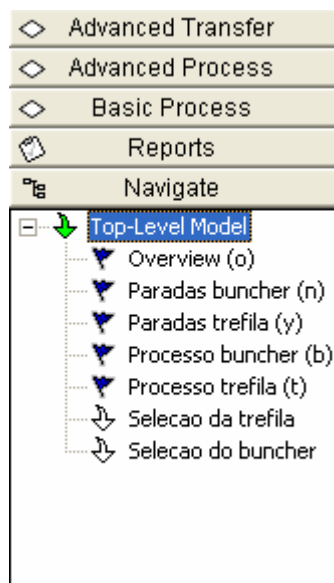
Simulação em computador oferece várias conveniências, tornando-se uma ferramenta de análise bastante atrativa. O tempo de análise pode ser comprimido, fazendo com que vários anos de atividade de um sistema possam ser simulados em minutos ou mesmo segundos. Assim, podem ser rodados várias possibilidades a serem estudadas numa fração pequena de tempo necessário para uma experimentação no sistema real. Ainda, é possível expandir o tempo. Essa conveniência proporciona uma análise mais detalhada da lógica de um ponto específico de interesse que não pode ser obtida no tempo real. Para mudar a velocidade de animação, pode-se utilizar as teclas de atalho > e < para aumentar e diminuir a velocidade respectivamente. Há, ainda, a possibilidade de se indicar o fator de velocidade em *Run* → *Setup...* → *Speed* → *Animation Speed Factor* (Time Units per Frame).

Para construção de modelos no Arena, não há a necessidade de se programar rotinas literais. Através da interface gráfica é possível definir qualquer sistema, colocando e interconectando módulos sob a forma de caixas na área de trabalho. Além desses módulos, existem elementos de animação e gráficos estatísticos na área de trabalho, fazendo com que a interpretação de modelos complexos totalmente definidos em uma mesma área possa ser difícil.

Para ajudar, é possível definir no Arena uma estrutura hierárquica de vistas, cada uma com seu ambiente independente. A estas vistas dá-se o nome de submodelos.

Um submodelo pode conter qualquer objeto suportado numa janela de módulo. A utilização de submodelos aumentam o tamanho da área de trabalho e propiciam meios para melhor organizar um modelo. Cada submodelo pode conter, ainda, outros submodelos. Podem ainda ser conectados a outros módulos, outros submodelos ou ficarem isolados.

Diferente vistas podem ser definidas dentro do modelo ou de submodelos e, a essas, podem ser associadas teclas de atalhos. Desse modo, é possível estabelecer formas de fácil navegação num modelo. O painel de navegação dentro da barra de projeto mostra a estrutura hierárquica dos submodelos e das vistas, conforme o exemplo da figura abaixo. Clicando no nome de uma dessas vistas ou num submodelo, é possível visualiza-lo na janela de modelo.

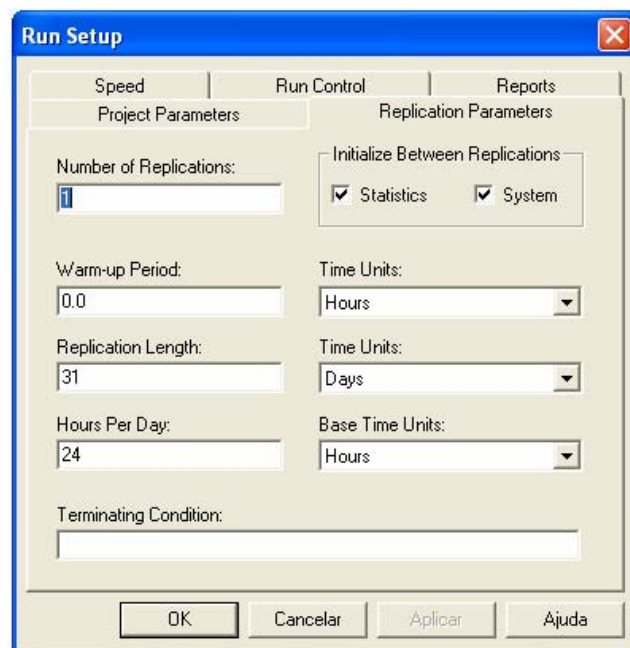


– Visualização dos Submodelos

Outros dados de simulação podem ser alterados através do item menu na barra de menus conforme figura abaixo. Em *Run* → *Setup..* , é possível alterar parâmetros de simulação como:

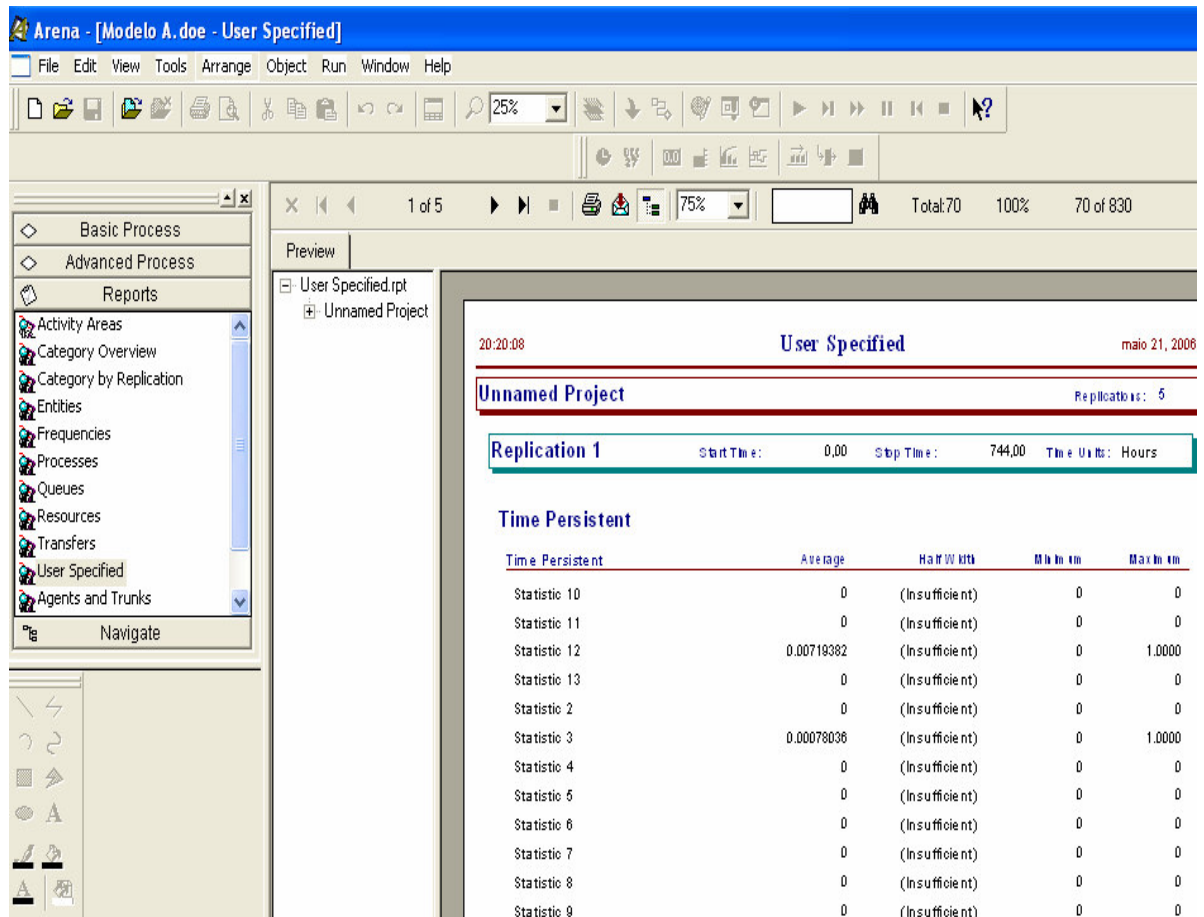
- Project Parameters: introduzir o título do projeto e nome do analista, bem como seleccionar as estatísticas coletadas;
- Replication Parameters: definir o número de replicações, a duração de cada replicação, unidades de tempo;
- Speed: alterar fatores de velocidade de animação;
- Run Control: habilitar fatores de simulação como animação em tela inteira;
- Reports: definir relatório padrão.

Outro parâmetro de simulação importante é desabilitar a animação. Isso se torna fundamental quando uma análise envolve rodar um modelo por várias replicações. Desabilitando a animação o tempo de simulação é reduzido ao máximo, uma vez que as entidades de animação não precisam ser atualizadas constantemente. Para desabilitar a animação, o modo *Batch Run* deve ser selecionado em *Run* → *Run Control* → *Batch Run (No Animation)* através da barra de menus.



– Alteração dos dados de simulação

Ao final da simulação, de acordo com as configurações de simulação, um relatório com os resultados de cada replicação é exibido. Através da janela *Reports* contida na barra de projeto, é possível selecionar a categoria de relatório a ser exibida, conforme figura abaixo. Através da ajuda do Arena é possível entender o significado de cada item do relatório.



– Obtenção de Resultados

Os mais importantes para o modelo em estudo estão contidos no relatório User Specified:

= Espera 11 a Espera 16: média de ordens de produção paradas por falta de bobinas com fios trefilados do tipo 1 a 6;

= Espera 21 a Espera 28: média de pedidos parados por falta de bobinas com cabos do tipo 1 a 8;

= Produção: Total em toneladas de cabos produzidos no período simulado (por mês);

Nas outras categorias, pode-se, ainda, avaliar outras medidas de desempenho do sistema como:

= Nível de utilização dos recursos: na categoria *Resources* é possível verificar o nível de utilização de cada trefila múltipla, dos bunchers e de cada operador.

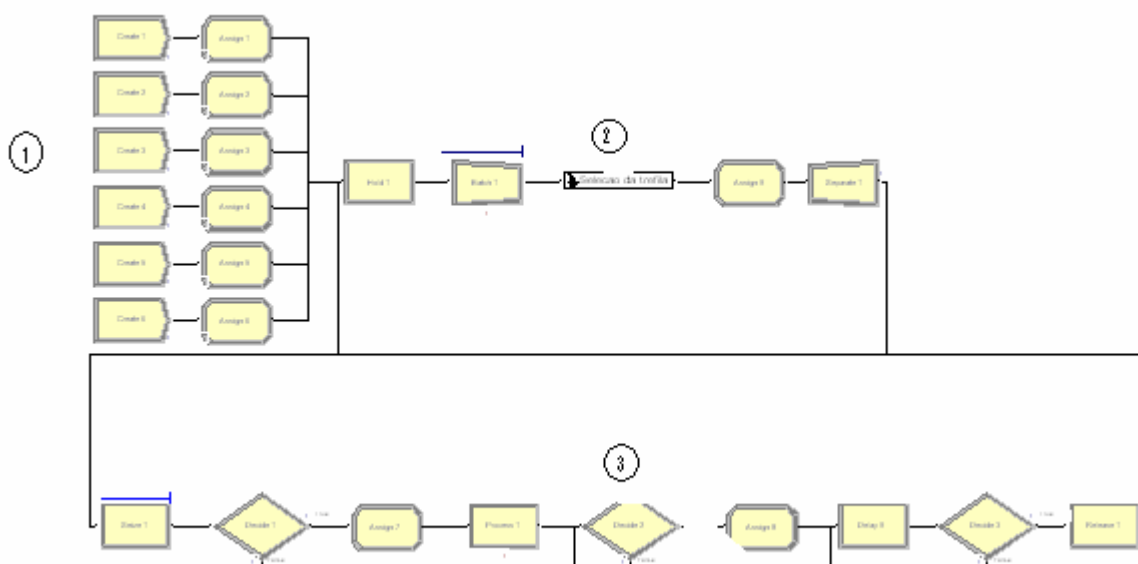
= Nível médio dos supermercados: na categoria *Queues* é possível verificar o nível médio dos supermercados das trefilas múltiplas (spmktT1, spmktT2,...) e dos supermercados dos bunchers (spmktB1, spmktB2,...);

= Filas dos recursos na categoria *Queues* é possível, ainda, verificar a fila antes de cada máquina.

Anexo 2: Customizando o modelo para a Fabrica de Condutores Elétricos

Além dos dados de entrada, existem outros parâmetros do modelo que devem ser alterados de acordo com a realidade do sistema. Para isso, é necessário altera-los diretamente no modelo.

É fundamental que a lógica de cada processo seja compreendida para que o modelo seja alterado de forma segura. Cada processo, trefilação e torção, é formado por uma lógica semelhante a figura abaixo, onde as seguintes partes podem ser observadas.



– Customização do modelo

1 – Criação das entidades: a lógica de cada processo é alimentada por entidades que representam cada bobina de cada tipo de fio ou cabo. Ao inserir um tamanho de kanban através da janela inicial da simulação, esse valor é automaticamente inseridos nos módulos Create.

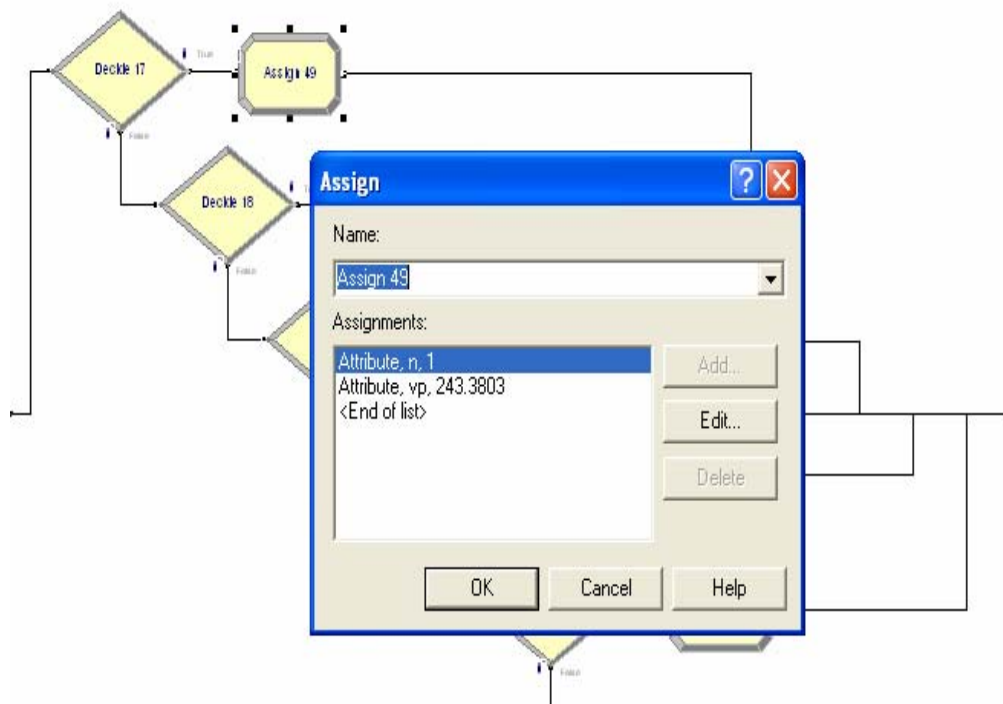
2 – Seleção das máquinas: antes da produção de uma bobina, essa deve formar um lote e, então, ser atribuída a uma determinada máquina. Dependendo do tipo de fio ou cabo, máquinas específicas podem ser selecionadas.

3 – Produção: cada processo possui sua lógica de produção, que envolve a discretização desse processo no tempo, cessando de acordo com a ocorrência de paradas ou manutenções.

Dentro do submodelo de Seleção de trefila, é possível inserir a lógica de seleção das trefilas e também definir as velocidades de produção desses fios. Para acessar o submodelo, basta clicar duas vezes no módulo ou utilizar a janela de Navigate da barra de projeto. Os módulos Assign 49 a Assign 54 definem os valores de seleção e velocidade para cada um dos fios a serem trefilados.

Conforme a figura a seguir o atributo **n** define a trefila a ser utilizada, de acordo com uma numeração de 1 a 3. Se mais de uma máquina é capaz de trefilar um determinado fio, uma função de probabilidade discreta deverá ser utilizada: a função DISC.

O atributo **vp** determina a velocidade de produção em quilogramas por hora.

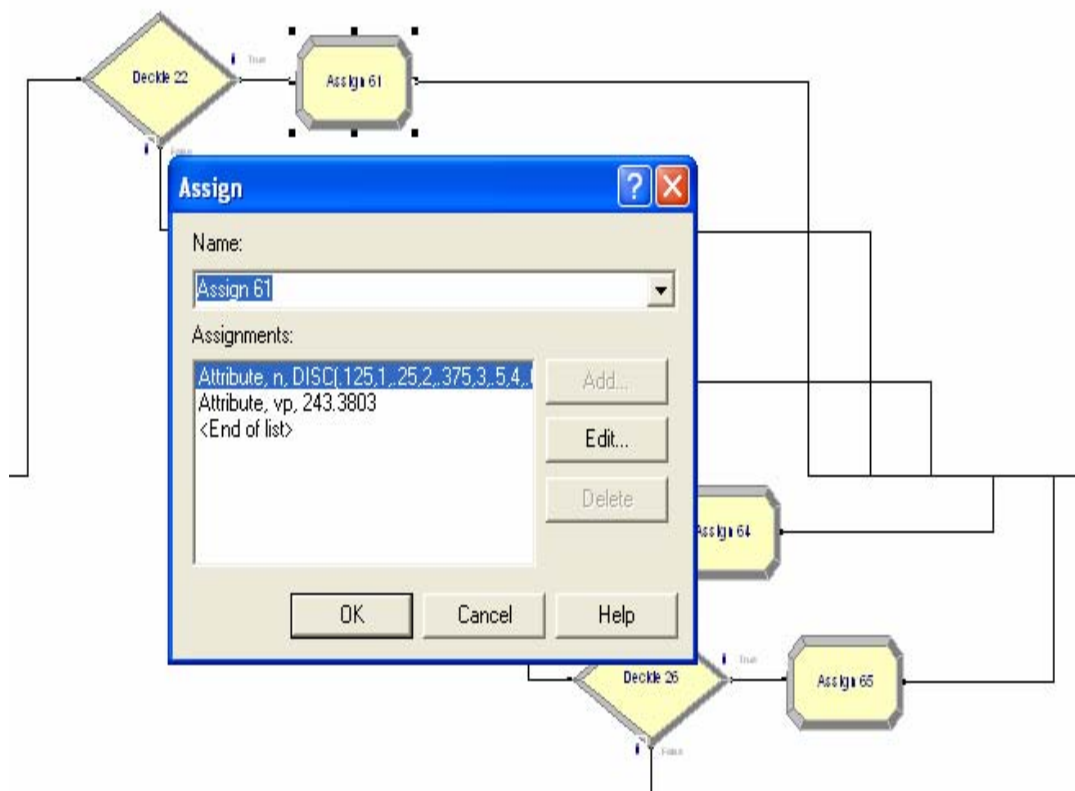


– Seleção e velocidades das trefilas multiplas

Dentro do submodelo de Seleção do buncher, é possível inserir a lógica de seleção dos bunchers e também definir as velocidades de produção desses cabos. Para acessar o submodelo, basta clicar duas vezes no módulo ou utilizar a janela de Navigate da barra de projeto. Os módulos Assign 61 a Assign 66 definem os valores de seleção e velocidade para cada um dos cabos a serem torcidos.

Conforme a figura a seguir o atributo **n** define o buncher a ser utilizado, de acordo com uma numeração de 1 a 6. Se mais de uma máquina é capaz de torcer um determinado cabo, uma função de probabilidade discreta deverá ser utilizada: a função DISC.

O atributo **vp** determina a velocidade de produção em quilogramas por hora.



– Seleção e velocidades dos bunchers

Mais um parâmetro importante a ser introduzido no modelo é a formação de fios. Um cabo pode ser formado por diferentes combinações de fios trefilados. Esse é, inclusive, um aspecto estratégico para se alcançar maiores índices de produção e pode, ser testado pelo modelo de simulação proposto.

Para se alterar a lógica de formação dos fios, é necessário acessar a expressão FB no template Advanced Process na barra de projeto, conforme a figura abaixo. Para se definir como um determinado cabo é formado, utiliza-se a função discreta DISC, que indica para cada fio sua ocorrência acumulada no cabo. Assim, um cabo formado por 12 fios de uma bobina tipo 2 e 36 fios de uma bobina tipo 4 é definido pela função DISC (0,25,2,1.0,4).

The screenshot shows the Arena software interface. The main window is titled 'Arena - [Modelo A.doe (Runtime)]'. The menu bar includes File, Edit, View, Tools, Arrange, Object, Run, Window, and Help. The toolbar contains various icons for file operations, editing, and simulation. The left sidebar shows a tree view with 'Basic Process' and 'Advanced Process' expanded. Under 'Advanced Process', there are icons for 'Unstore', 'Advanced Set', and 'Expression'. The 'Expression' icon is selected. The main area displays the 'Expression - Advanced Process' window. This window contains a table with the following data:

	Name	Rows	Columns	Expression Values
1	MTBFB			1 rows
2	FB	6		6 rows

Below this table, there is a sub-window titled 'Expression Values' which contains a table with the following data:

	Expression Values
1	3
2	2
3	DISC(25,5,1.0,6)
4	DISC(167,5,1.0,6)
5	DISC(5,4,1.0,5)
6	DISC(25,1,1.0,2)

– Formação dos Fios

Mais um parâmetro que pode ser alterado é o tamanho médio de cada bobina. Isso é possível de se alterar através da variável pbtt no template Basic Process na barra de projeto, conforme figura abaixo. Por definição esse valor é de 470kg.

The screenshot shows the Arena software interface. The main window displays the 'Variable - Basic Process' table, which lists various variables and their initial values. The 'Initial Values' dialog box is open, showing the value 470 for the variable pbtt.

	Name	Rows	Columns	Clear Option	Initial Values	Report Statistics
1	tipoa	3		System	3 rows	☐
2	pbtt			System	1 rows	☐
3	temp1			System	1 rows	☐
4	temp2			System	1 rows	☐
5	temp3			System	1 rows	☐
6	temp4			System	1 rows	☐
7	tipob	8		System	8 rows	☐
8	tipopB	8		System	0 rows	☐
9	temp5			System	1 rows	☐
10	tipopT	8		System	0 rows	☐
11	prod			System	0 rows	☒

The 'Initial Values' dialog box shows the following values:

Variable	Initial Value
tipoa	3 rows
pbtt	470
temp1	1 rows
temp2	1 rows
temp3	1 rows
temp4	1 rows
tipob	8 rows
tipopB	0 rows
temp5	1 rows
tipopT	0 rows
prod	0 rows

– Tamanho das bobinas

Anexo 3: Parâmetros Introduzidos no Software Arena para Simulação do Kanban

- 1) No submodelo da trefila (módulos de 49 a 54) foram inseridas as velocidades para cada fio:

Combinação 1 = $8 \times 0,246\text{mm} = 25\text{m/s} = 304,6\text{kg/h}$

Combinação 2 = $12 \times 0,246\text{mm} = 32\text{m/s} = 584,8\text{kg/h}$

Combinação 3 = $14 \times 0,246\text{mm} = 32\text{m/s} = 682,2\text{kg/h}$

Combinação 4 = $8 \times 0,29\text{mm} = 20\text{m/s} = 338,2\text{kg/h}$

Combinação 5 = $12 \times 0,29\text{mm} = 25\text{m/s} = 634,9\text{kg/h}$

Combinação 6 = $14 \times 0,29\text{mm} = 25\text{m/s} = 887,9\text{kg/h}$

- 2) No submodelo dos bunchers (módulos de 61 a 66) foram inseridas as velocidades médias dos cabos produzidos em cada buncher, utilizou-se uma vp ponderada por tipo de cabo, e também qual será a incidência do cabo nos respectivos 8 bunchers simulados:

Cabo 1 = Código 8193 = $206\text{kg/h} = \text{DISC}(0.25,2,.,5,4,1.0,6)$

Cabo 2 = Código 0901/0903/0904 = $567\text{kg/h} = \text{DISC}(0.25,2,1.0,4)$

Cabo 3 = Código 0902 = $358\text{kg/h} = 3$

Cabo 4 = Código 0905 = $273\text{kg/h} = 5$

Cabo 5 = Código 0906 = $294\text{kg/h} = 1$

Cabo 6 = Código 0927 = $172\text{kg/h} = \text{DISC}(0.33,6,0.67,7,1.0,8)$

- 3) Introduziu-se a distribuição dos tipos de fios por cabo no template FB:

Tipo 1 = $1,5\text{mm}^2 = \text{DISC}(0.67,1,1.0,2)$

Tipo 2 = $2,5\text{mm}^2 = 2$

Tipo 3 = 4mm² = DISC(0.25,5,1.0,6)

Tipo 4 = 6mm² = DISC(0.17,5,1.0,6)

Tipo 5 = 10/16/25mm² = DISC(0.22,4,1.0,5)

Tipo 6 = >35mm² = 6

- 4) Definiu-se o tamanho médio de cada bobina no template Basic Process:

Pbtt = 470kg

- 5) Definiu-se o takt-time do sistema:

Demanda = 600toneladas

Tempo Base Mês = 600horas

Tt = 0,47 * 600 / 600 = 0.47 h

- 6) Inseriu-se o Mix de produção estudado:

1,5mm² = 8,4%

2,5mm² = 11%

4mm² = 4%

6mm² = 3%

10/16/25mm² = 27%

>35mm² = 46,6%

DISC(0.084,1,0.194,2,0.234,3,0.264,4,0.534,5,1.0,6)

- 7) Definição do tamanho de cada kanban e lote de produção, definição inicial, visto que é através da variação neste item é que se determina o tamanho do kanban:

Tipo 1 = 12

Tipo 2 = 24

Tipo 3 = 28

Tipo 4 = 12

Tipo 5 = 24

Tipo 6 = 32

Lote de Produção = 12

- 8) Definiu-se os parâmetros de manutenção, através dos índices disponíveis na empresa:

$MTBFT_{ref} = NORM(96,2)$

$MTTR_{ref} = EXPO(2)$

$MTBFB_{unc} = NORM(154,5)$

$MTTR_{Bunc} = EXPO(1)$

Anexo 4: Simulação da capacidade (500toneladas)

User Specified

22:11:29

julho 15, 2006

Unnamed Project

Replications: 20

Replication 1

Start Time: 0,00

Stop Time: 744,00

Time Units: Hours

Time Persistent

Time Persistent	Average	Minimum	Maximum
Statistic 10	0	0	0
Statistic 11	0,00281092	0	1,0000
Statistic 12	0,1182	0	1,0000
Statistic 13	0,02572017	0	2,0000
Statistic 2	95,2954	0	190,00
Statistic 3	76,8455	0	155,00
Statistic 4	0,5085	0	9,0000
Statistic 5	0,8864	0	8,0000
Statistic 6	64,7691	0	134,00
Statistic 7	4,1309	0	33,0000
Statistic 8	0,00236331	0	1,0000
Statistic 9	0,1863	0	2,0000
prod	251.714,59	0	497.730,00

Output

Output	Value
Statistic 1	497.730,00

Anexo 5: Dimensionamento dos supermercados (500toneladas)

Queues

23:09:21

julho 15, 2006

Unnamed Project

Replications: 20

Replication 1

Start Time:

0,00

Stop Time:

744,00

Time Units: Hours

Queue Detail Summary

Time

	<u>Waiting Time</u>
Batch 1.Queue	3,22
Batch 2.Queue	3,75
Process 2.Queue	0,10
Process 5.Queue	0,62
Queue 1	281,37
Queue 10	2,09
Queue 11	4,40
Queue 12	1,37
Queue 2	246,65
Queue 3	7,57
Queue 4	7,95
Queue 5	232,28
Queue 6	13,99
Queue 7	1,76
Queue 8	3,55
Seize 1.Queue	5,00
Seize 2.Queue	13,08
spmktB1	0,97
spmktB2	0,67
spmktB3	7,46
spmktB4	6,19
spmktB5	1,70
spmktB6	3,94
spmktT1	28,70
spmktT2	6,26
spmktT4	63,80
spmktT5	8,89
spmktT6	5,34

Other

	<u>Number Waiting</u>
Batch 1.Queue	4,58
Batch 2.Queue	5,33
Process 1.Queue	0,00
Process 2.Queue	0,03
Process 3.Queue	0,00
Process 5.Queue	0,94
Queue 1	95,30
Queue 10	0,00
Queue 11	0,12
Queue 12	0,03
Queue 2	76,85
Queue 3	0,51
Queue 4	0,89
Queue 5	64,77
Queue 6	4,13
Queue 7	0,00
Queue 8	0,19
Queue 9	0,00
Seize 1.Queue	7,07
Seize 2.Queue	18,76
spmktB1	0,11
spmktB2	0,10
spmktB3	2,50
spmktB4	2,43
spmktB5	0,21
spmktB6	1,25
spmktT1	4,03
spmktT2	2,08
spmktT3	6,00
spmktT4	4,47
spmktT5	2,40
spmktT6	3,38

Anexo 6: Simulação da capacidade (500toneladas)

User Specified

23:09:23

julho 17, 2006

Unnamed Project

Replications: 20

Replication 1

Start Time: 0,00

Stop Time: 744,00 Time Units: Hours

Time Persistent

Time Persistent	Average	Minimum	Maximum
Statistic 10	0	0	0
Statistic 11	0	0	0
Statistic 12	0,00185653	0	1,0000
Statistic 13	0,04370792	0	2,0000
Statistic 2	62,4454	0	130,00
Statistic 3	41,2975	0	100,00
Statistic 4	0,01261708	0	3,0000
Statistic 5	0,00487796	0	1,0000
Statistic 6	0	0	0
Statistic 7	1,7037	0	21,0000
Statistic 8	0,00195727	0	1,0000
Statistic 9	0,06059161	0	2,0000
prod	308.099,61	0	617.580,00

Output

Output	Value
Statistic 1	617.580,00

Anexo 7: Dimensionamento dos Supermercados (600toneladas)

Queues 23:11:32

julho 17, 2006

Unnamed Project

Replications: 20

Replication 1

Start Time: 0,00 Stop Time: 744,00 Time Units: Hours

Queue Detail Summary

Time

	<u>Waiting Time</u>
Batch 1.Queue	3,89
Batch 2.Queue	3,18
Process 2.Queue	0,12
Process 5.Queue	0,38
Queue 1	168,97
Queue 11	1,38
Queue 12	2,50
Queue 2	130,09
Queue 3	1,17
Queue 4	0,73
Queue 5	0,00
Queue 6	14,08
Queue 7	1,46
Queue 8	1,96
Seize 1.Queue	3,57
Seize 2.Queue	6,69
spmktB1	0,60
spmktB2	0,55
spmktB3	10,79
spmktB4	11,62
spmktB5	12,16
spmktB6	7,35
spmktT1	19,30
spmktT2	7,89
spmktT4	99,84
spmktT5	20,61
spmktT6	7,43

Other

	<u>Number Waiting</u>
Batch 1.Queue	4,86
Batch 2.Queue	5,61
Process 1.Queue	0,00
Process 2.Queue	0,04
Process 3.Queue	0,00
Process 5.Queue	0,49
Queue 1	62,45
Queue 10	0,00
Queue 11	0,00
Queue 12	0,04
Queue 2	41,30
Queue 3	0,01
Queue 4	0,00
Queue 5	0,00
Queue 6	1,70
Queue 7	0,00
Queue 8	0,06
Queue 9	0,00
Seize 1.Queue	4,45
Seize 2.Queue	11,87
spmktB1	0,12
spmktB2	0,11
spmktB3	3,64
spmktB4	4,06
spmktB5	3,88
spmktB6	2,70
spmktT1	3,57
spmktT2	3,03
spmktT3	6,00
spmktT4	4,85
spmktT5	3,89
spmktT6	3,48