

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**UM MÉTODO UTILIZANDO SIMULAÇÃO DISCRETA E PROJETO
EXPERIMENTAL PARA AVALIAR O FLUXO NA MANUFATURA
ENXUTA.**

ADRIANO JOSÉ SCHAPPO

Florianópolis, 2006.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**UM MÉTODO UTILIZANDO SIMULAÇÃO DISCRETA E PROJETO
EXPERIMENTAL PARA AVALIAR O FLUXO NA MANUFATURA
ENXUTA.**

*Dissertação apresentada ao Programa de
Pós- Graduação em Engenharia de Produção
e Sistemas da Universidade Federal de Santa
Catarina para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia de Produção.*

Orientador Prof: Dr. Paulo José de Freitas.

ADRIANO JOSÉ SCHAPPO

Florianópolis, 2006.

Adriano José Schappo

**UM MÉTODO UTILIZANDO SIMULAÇÃO DISCRETA E PROJETO
EXPERIMENTAL PARA AVALIAR O FLUXO NA MANUFATURA
ENXUTA.**

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

Prof. Professor Edson Pacheco Paladini, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Paulo José de Freitas, Dr. Eng.
Orientador

Prof. Dálvio Ferrari Tubino, Dr. Eng.

Prof. João Neiva Figueiredo, PhD.

AGRADECIMENTOS

- Ao meu orientador Paulo José de Freitas pela orientação, paciência, amizade e dedicação, fatores fundamentais para a concretização deste trabalho.
- Aos professores, membros da Banca Examinadora, pela valiosa apreciação deste trabalho e pelas contribuições.
- Ao corpo de professores e funcionários do Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção, que de alguma maneira ajudaram na realização do curso.
- A UFSC pela infra-estrutura que suportou este trabalho.
- Aos colegas de pós-graduação, pelas discussões em aula.
- A Empresa na qual trabalho e colegas que me proporcionaram a realização deste estudo.
- A minha esposa e familiares que souberam me compreender nos momentos de ausência e ansiedade, me incentivando a continuar.

SUMÁRIO

LISTAS DE FIGURAS	7
LISTAS DE TABELAS.....	8
RESUMO.....	9
ABSTRACT	10
Capítulo 1 - Introdução.....	11
1.1. Objetivo Geral	12
1.2. Objetivos Específicos	12
1.3. Esclarecimento, Justificativa e Relevância do Tema.	13
1.4. Limitações do Trabalho.....	13
1.5. Estrutura do Trabalho.....	13
Capítulo 2 - Revisão da Literatura	15
2.1. A Manufatura Enxuta	15
2.1.1. Produção Focalizada	17
2.1.2. Focalização na Fabricação Repetitiva em Lotes	18
2.1.3. Focalização nos Processos de Montagem	19
2.2. Produção Puxada	19
2.3. Nivelamento da Produção	20
2.4. Manufatura Celular	21
2.5. O Sistema de Produção JIT e o Sistema de Produção Convencional	23
2.6. Definição de Células de Produção	24
2.7. Análise de Desempenho dos Sistemas	25
2.8. Melhorias de Layout em uma Célula de Montagem	27
2.9. Modelagem e Simulação de Sistemas	27
2.10. Definição da Simulação de Sistemas	28
2.11. Classificação de Modelos de Simulação	29
2.12. Terminologia Básica da Simulação.....	29
2.13. Modelos Discretos e Modelos Contínuos	31
2.14. Métodos de Modelagem.....	31
2.15. Análise dos Resultados em uma Simulação.....	32
2.16. Processo de Determinação, Amostragem e Coleta dos Dados de Entrada.	34
2.17. Escolha das Distribuições para os Dados de Entrada.....	35
2.18. Etapas de um Estudo Utilizando Simulação	36
2.19. O Uso da Simulação na Manufatura	38
2.20. Conclusão	41
Capítulo 3 – Método Proposto.....	42
3.1. Introdução	42
3.2. Definição dos Objetivos e Metas	44
3.3. Definição dos Parâmetros de Entrada	44
3.4. Projeto de Experimentação na Manufatura	45
3.5. Definição das Medidas de Desempenho	45
3.6. Desenvolvimento do Modelo de Simulação	47
3.7. Execução das Simulações e Análise dos Resultados	47
3.8. Implementação das Mudanças	48
3.9. Considerações	48
Capítulo 4 – Aplicação da Método Proposto na Indústria	49
4.1. Introdução	49

4.2. A Empresa do Setor Metal Mecânico Catarinense	49
4.3. Processo Produtivo da Empresa	50
4.4. Unidade Gerencial Básica – Montagem.....	51
4.5. Definição dos Objetivos e Metas	53
4.6. Definição dos Parâmetros de Entrada	54
4.7. Medida de Desempenho para o Processo.....	58
4.8. Desenvolvimento do Modelo de Simulação	59
4.9. Execução das Simulações	60
4.10. Análise dos Resultados (Processo atual).....	61
4.11. Conclusão (Processo atual)	64
4.12. Aplicação da Técnica de Projeto de Experimentação	64
4.13. Medidas de Desempenho Obtidas no Experimento	66
4.14. Resultados Obtidos no Experimento	69
4.15. Implementação das Mudanças	70
4.16. Considerações	71
Capítulo 5 – Conclusões e Recomendações	72
5.1. Conclusões	72
5.2. Recomendações	74

LISTAS DE FIGURAS

Figura 2.1 - Migração na forma de produzir bens.....	15
Figura 2.2 - Formato U ou em serpentina.....	19
Figura 2.3 – Lógica Empurrar e Lógica Puxar a Produção.....	20
Figura 2.4 - (a) Fluxo tradicional e (b) Fluxo puxado JIT Slak, Nigel (2002)	24
Figura 2.5 – Passos em um projeto de modelagem e simulação.....	37
Figura 3.1 - Fluxograma do método para avaliação do sistema fabril.	43
Figura 4.1 – Fabricação do Compressor Hermético.....	50
Figura 4.2 – Fabricação do Compressor Hermético.....	52
Figura 4.3 – Gráfico da produção mensal da linha.....	53
Figura 4.4 – Gráfico dos tempos padrões das estações e da linha.....	54
Figura 4.5 – Gráfico produção horária nominal das e estações e da linha.....	55
Figura 4.6 - Gráfico da meta em produção por horária.	55
Figura 4.7 - Gráfico de reprocesso da linha.....	56
Figura 4.8 - Gráfico tempo médio entre troca de tipo.....	56
Figura 4.9 - Gráfico tempo médio para efetuar uma troca de tipo.....	57
Figura 4.10 - Gráfico paradas da linha por manutenção.....	57
Figura 4.11 – Capacidades nominal x simulada linha montagem.....	61
Figura 4.12 – WIP por estação simulado.....	62
Figura 4.13 – Taxa de utilização por estação simulado.....	62
Figura 4.14 – Taxa de bloqueio por estação simulado.....	63

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 – Capacidade dos buffers entre estações de trabalho.....	58
Tabela 2 – Experimentos realizados.....	65
Tabela 3 – Resultado dos efeitos dos fatores para produção.....	65
Tabela 4 – Resultado dos efeitos dos fatores para LeadTime.....	66
Tabela 5 – Resultado dos efeitos dos fatores para utilização.....	66
Tabela 6 – Resultado dos efeitos dos fatores para WIP.....	67
Tabela 7 – Experimentos realizados.....	67
Tabela 8 – Meta real de produção para o período simulado.....	68
Tabela 9 – Resumo dos melhores níveis para os fatores.....	68

RESUMO

SCHAPPO, Adriano José. **Um Método Utilizando Simulação Discreta e Projeto Experimental para Avaliar o Fluxo na Manufatura Enxuta**. Florianópolis, 2006. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção de Sistemas, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, 2006. 78p.

O objetivo desse trabalho é: desenvolver um método usando simulação discreta e projeto experimental como ferramenta de análise para a identificação dos pontos de melhoria do fluxo na manufatura enxuta. O uso do método juntamente com a simulação discreta é ferramenta poderosa para avaliação de sistemas dos mais variados tipos, apresentando todos os requisitos necessários para auxiliar na tomada de decisão tendo como base, os resultados de um modelo. A adoção do método se faz pela necessidade de técnicas capazes de preverem o funcionamento dos sistemas produtivos sob variadas condições e diferentes cenários, testando alternativas de operação, visando o melhor aproveitamento dos recursos produtivos. Este trabalho apresenta a análise de um processo de montagem de compressores e as alternativas de layout celular, empregando as técnicas de projeto de experimentos e simulação computacional como ferramenta de análise dos diferentes cenários no intuito de mensurar quantitativamente as mudanças introduzidas no sistema em estudo, melhorando os indicadores de desempenho no processo fabril como aumento da produtividade. Os resultados da aplicação do método proposto possibilitaram um incremento na disponibilidade dos recursos produtivos e conseqüentemente o aumento no número de peças produzidas na ordem de 17%.

Palavras-chave: Manufatura, simulação, enxuto.

ABSTRACT

SCHAPPO, Adriano José. **Um Método Utilizando Simulação Discreta e Projeto Experimental para Avaliar o Fluxo na Manufatura Enxuta**. Florianópolis, 2006. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção de Sistemas, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, 2006. 78p.

The objective of this paper is: to develop a method using discrete simulation and experimental project as tool of analysis for the identification of the points improvement of the flow in the lean manufacture. The discreet simulation is powerful tool for systems of the most varied types, presenting all the necessary requirements to aid in the taking of decision, tends as base the results of a model. The use of the method it is makes for the necessity of techniques capable to foresee the functioning of the productive systems under varied conditions and different scenario, testing alternative of operation, aiming at optimum exploitation of the productive resources. This work presents the analysis of a process of assembly of compressors and the alternatives of cellular layout, using the techniques of project of experiments and computational simulation as tool of analysis of the different scenarios in the intention of quantitatively to measure the changes introduced in the system in application, improving the pointers of performance in the process manufacturer as increase of the productivity The results of the application of the proposed method provided an increment in the availability of the resources in increment in the availability of the productive resources and the increase in the number of parts produced in 17% approximately.

Key word: Manufacture, simulation, lean

Capítulo 1 - Introdução

Com os processos cada vez mais automatizados, estratégias de manufatura integrando toda a cadeia de fornecimento, programas de redução de custos, redução de perdas, além de diversas outras frentes de melhorias pregadas na filosofia da manufatura enxuta, as companhias vêm buscando constantemente novas vantagens competitivas frente aos concorrentes e, para o atingimento dessas vantagens, o presente trabalho têm como origem a necessidade de avaliar a real eficiência dos recursos produtivos e estudar como melhorar o fluxo produtivo voltados para a manufatura enxuta.

Seguindo este advento mundial que se apresenta como uma ótima oportunidade de elevação dos padrões atuais da manufatura de alta escala, tem-se o desafio do desenvolvimento de um método usando simulação discreta que identifique os pontos a serem ajustados em sistemas onde a manufatura enxuta está presente para melhorar a produtividade juntamente com o aumento no fluxo de produção de forma integrada.

Por análise integrada, entende-se relacionamento entre variáveis, incluindo os seguintes fatores: qualidade, transporte de material, tempos de ciclo, estoques em processo (WIP), manutenção, setup's, regulagens e o fator humano; focando o estudo nas perdas, em suas diversas modalidades, presentes nos fatores levados em consideração no trabalho. O resultado deve permitir maximizar os esforços para ganhos em produtividade e nos custos em determinada área da manufatura, atuando nos aspectos que sejam considerados prioritários.

Considerando vários fatores durante a aplicação do método será possível identificar a influência das variáveis como Tc (tempo de ciclo), MTBF (mean time between failure), MTTR (mean time to repair), qualidade, quantidade de recursos disponíveis, setup's e regulagens sobre a produtividade global da área em estudo e seus impactos nos custos de fabricação. Adicionalmente, o resultado apresentado com a aplicação do método avalia se o dimensionamento fabril da área em estudo está adequado às metas estabelecidas prevendo com certa margem de segurança, a capacidade real dos recursos.

O estudo em questão prevê quatro etapas para o desenvolvimento do trabalho:

- Análise das referências bibliográficas sobre sistemas de manufatura, simulação, aplicação da simulação na manufatura entre outros;
- Apresentação do método proposto para avaliação do desempenho do sistema em estudo;

- Aplicação do método e elaboração de um modelo de simulação discreta para avaliação e futura implantação das mudanças tendo como base, os resultados da análise do projeto de experimentação em um processo produtivo;
- Conclusões e recomendações.

1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um método usando simulação discreta e projeto experimental como ferramenta de análise para a identificação dos pontos de melhoria do fluxo na manufatura enxuta.

1.2. Objetivos Específicos

A partir do objetivo geral proposto os seguintes objetivos específicos são estabelecidos:

- Desenvolver um método que permita identificar pontos críticos nos processos de uma das linhas de montagem da fábrica de MIDIS;
- Obter uma visão melhor dos passos que envolvem o processo de desenvolvimento de um estudo de simulação e a análise dos resultados;
- Analisar referências bibliográficas relacionadas ao tema, levantando as dificuldades que se pode encontrar na aplicação de um estudo de simulação nos processos fabris;
- Analisar de forma integrada e dinamicamente todas as variáveis associadas ao processo, permitindo priorizar trabalhos de melhorias formalizando planos de ação com maior consistência.

1.3. Esclarecimento, Justificativa e Relevância do Tema.

A demanda de produtos em curva crescente em cada período de planejamento com os recursos disponíveis reduzidos, se comparado com anos anteriores, levam a um desequilíbrio no que diz respeito às metas estabelecidas no planejamento estratégico e os índices reais no dia a dia dos setores fabris. Portanto, se faz necessário a aplicação de métodos que facilitam a identificação das variáveis envolvidas e responsáveis pelo não cumprimento dessas metas.

Não será possível resolver todos os problemas com o trabalho proposto, porém, priorizará ações sistemáticas de melhoria contínua nos processos onde as variáveis mais relevantes serão estudadas e tratadas.

A aplicação do método com projeto de experimentos se justifica pela grande preocupação de entregar o produto ao cliente com qualidade na data esperada pelo cliente ao menor custo possível; onde a qualidade e a data esperada são exemplo de fatores que agregadores de valor ao produto.

1.4. Limitações do Trabalho

Este trabalho está limitado à aplicação de um método usando modelo computacional em uma das linhas da fábrica sendo visto como piloto para um estudo aplicado às linhas de montagem na produção de compressores herméticos.

Será abordada a otimização do sistema em termos de ineficiência de cada recurso componente da linha de montagem e sua contribuição para a ineficiência global da mesma.

Os resultados e sugestões serão apenas aplicáveis para a linha de montagem em questão, sendo apenas aplicáveis para as outras linhas, o método proposto.

1.5. Estrutura do Trabalho

No capítulo 1 desenvolve-se a introdução desta dissertação e os objetivos à importância do tema e as limitações do trabalho.

No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica, onde é mencionadas a manufatura enxuta nos sistemas de produção e sua relação aos sistemas convencionais, as células de manufatura, seus formatos de layout, a modelagem e simulação de sistemas e por último, o uso da simulação na manufatura.

No capítulo 3 apresenta-se o método proposto para a análise dos pontos críticos, por meio da utilização de simulação computacional discreta e projeto experimental como ferramenta.

No capítulo 4 é descrito o estudo de caso e aplicação em cenário real do método, utilizando os conceitos teóricos da revisão bibliográfica fundamentadas no capítulo 2 onde se faz a avaliação quantitativa dos resultados obtidos e realiza-se uma análise comparativa entre o sistema atual e o proposto.

No capítulo 5 apresentam-se as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2 - Revisão da Literatura

Neste capítulo, será feita a fundamentação teórica que dará suporte ao desenvolvimento do trabalho com a revisão dos conceitos sobre os sistemas de produção, focando na manufatura enxuta e celular, seus conceitos e formas de avaliação do desempenho nas mudanças através de um modelo de simulação discreta da mesma.

2.1. A Manufatura Enxuta

A filosofia just-in-time também chamada de manufatura enxuta (Lean Manufacturing) foi desenvolvida no Japão pela Toyota Motor Company na década de 60, na tentativa de combater a produção em excesso e conseqüentemente o desperdício, produzindo apenas os componentes certos, no lugar certo e na hora certa levando à redução dos estoques, dos custos e melhora na qualidade dos produtos.

Se comparados com os sistemas convencionais que conforme Ohno (1988) “A base do sistema Toyota de produção é a absoluta eliminação do desperdício” sendo um sistema integrado de princípios, técnicas operacionais e ferramentas que levam à incessante busca pela excelência na criação de valor para o cliente.

Estes princípios, alteraram radicalmente a forma de produzir bens por duas vezes no século passado:

- Ford e Sloan - da Produção Artesanal para a Produção em Massa;
- Toyota e Ohno - da Produção em Massa para a Produção Enxuta.

A figura abaixo retrata as alterações na forma de produzir bens sofridas na manufatura.

	Artesanal	"em Massa"	Enxuta
Produção	Uma peça por vez	"Em Massa"	Somente quando o cliente solicitar
Volume de Produção	Baixo Volume	Foco no Volume de Produção	Possibilita alto volume de produção, se existir demanda.
Ferramentas	Simple e Flexíveis	Máquinas caras e pouco versáteis	Right Sized Tools
Qualidade	O que puder ser feito!	Bom o suficiente!	Busca constante pela perfeição!
Cliente/Mercado	Produto definido pelo cliente	Produz uma opção padrão para o mercado.	Produz diversas opções de produtos para escolha.
Funcionário	Altamente especializado	Semi qualificado em trabalho monótono	Qualificado e Multifuncional (Responsável pelo seu trabalho)
Custo	Altíssimo	Baixo	Mais Baixo Ainda !!!

Figura 2.1 – Migração na forma de produzir bens.

Além de eliminar desperdícios, a manufatura enxuta procura utilizar os operadores ao máximo, pois a eles é delegada a autoridade para produzir itens de qualidade para atender em tempo o próximo passo do processo produtivo. A filosofia usa um sistema simples para a movimentação do material chamado Kanban onde autoriza a retirada das peças processadas de uma célula de trabalho para a próxima célula do processo.

Segundo Schonberger e Ansari (1984) descrevem as idéias do Sistema Toyota de Produção assim como a manufatura enxuta como um sistema para produzir e entregar produtos acabados em tempo certo quando da necessidade do cliente.

Para Lubben (1989), o objetivo da mentalidade enxuta é de obter um processo de manufatura que atenda seus objetivos usando o mínimo de recursos onde se pode citar os materiais, equipamentos, mão-de-obra, espaço físico, energia, etc.

Para Bicheno (1991), a filosofia tem por objetivos atender à demanda instantaneamente, com qualidade perfeita e redução total dos desperdícios, portanto, se pode encontrar várias definições no que diz respeito à manufatura enxuta, porém, nenhuma delas engloba todas as implicações para gerir as operações e por isso, existem diversas frases para descrever a abordagem da filosofia tais como:

- Manufatura de fluxo contínuo;
- Manufatura de alto valor agregado;
- Produção sem estoque;
- Guerra ao desperdício;
- Manufatura veloz;
- Manufatura de tempo de ciclo reduzido;

De acordo com o descrito, pode-se dizer que ao adotar a filosofia, todos os segmentos da organização devem ser envolvidos para que as melhorias se concretizem, onde as otimizações e os ganhos podem ocorrer em todas as áreas desde os setores administrativos até o chão de fábrica e, para este trabalho, será centrado nos assuntos relacionados com os sistemas de produção na manufatura enxuta.

A manufatura enxuta prega o melhoramento contínuo nas áreas produtivas tais como a redução da superprodução, das esperas, das movimentações, dos retrabalhos, dos estoques e dos defeitos. Tais reduções implicam diretamente no incremento do valor agregado ao produto para o cliente e redução dos fatores que não acrescentam valor ao produto.

Para o atendimento das metas estabelecidas no planejamento estratégico e pelo PCP, existem algumas ferramentas que podem ser os métodos, técnicas, conceitos ou regras que dão suporte na execução das atividades para a concretização das melhorias. Dentre essas ferramentas, se pode citar o Mapa de Fluxo de Valor, Produção Focalizada, Produção Puxada, o Nivelamento da Produção, a Manufatura Celular.

2.1.1. Mapa do Fluxo de Valor

Fluxo de Valor é toda ação necessária que agrega valor ou não que um produto ou serviço sofre ao longo dos fluxos essenciais. Esses fluxos são:

- Fluxo de Produção - desde a matéria prima, transformação em produto, até ao cliente final.
- Fluxo de Projeto do Produto - da concepção ao lançamento.
- Fluxo de Informação - da necessidade do cliente ao atendimento pleno.

O Mapeamento do Fluxo de Valor é a ferramenta ideal para se identificarem desperdícios de uma fábrica. Este conhecimento é baseado no livro “Aprendendo a Enxergar” e estes desperdícios são obstáculos que prejudicam o fluxo da produção através da fábrica, logo, a remoção desses obstáculos permite a resposta ao cliente com muito mais rapidez e qualidade.

O método consiste em se mapear o “Estado Atual” para se entender como o material e a informação fluem pelo sistema produtivo atualmente e, em seguida, desenha-se o “Mapa Futuro Lean”, que é a maneira desejada para o fluxo de material e de informação sem desperdícios. O desenho consistente do mapa atual é fundamental para qualquer tipo de proposta para o futuro.

Rother & Shook (1999) apresentam a ferramenta denominada Mapa de Fluxo de Valor onde são mapeados os fluxos de todos os materiais e de informações. Sua aplicação se deu primeiramente na manufatura, porém, os autores sugerem que pode ser adaptada para outros segmentos onde o objetivo final do método é desenhar o Mapa da Situação Futura, que retrata a situação ideal chamada de “Blue Ski Vision”.

Na fase citada acima é mostrado o fluxo com todas as perdas eliminadas sendo a referência a ser atingida. De posse deste referencial, identificam-se os desperdícios e suas causas priorizando-se ações para eliminação total destas.

2.1.1. Produção Focalizada

No sistema convencional onde se têm fábricas centralizadas, há crescimentos excessivos das empresas, fazendo com que se tenham excessivos níveis hierárquicos, dificuldades em exercer o planejamento e controle do processo produtivo gerando a produção de grandes lotes e aumento dos estoques em processo.

A produção focalizada vem para auxiliar na redução do crescimento excessivo, defendendo a criação de novas unidades de negócios seguindo a definição de uma estratégia competitiva adequada para cada produto. Dessa maneira, as empresas dividiriam fisicamente seus recursos, montando fábricas focalizadas em produtos, ou famílias dentro da própria fábrica que, segundo Harmon e Peterson (1991), Uma fábrica focalizada possui as seguintes vantagens na busca pelos princípios manufatura enxuta:

- Domínio do processo produtivo;
- Gerência junto à produção;
- Staff reduzido e exclusivo;
- Estímulo a polivalência de funções;
- Uso limitado de recursos.

2.1.2. Focalização na Fabricação Repetitiva em Lotes

De acordo com Tubino (1999), o crescimento desorganizado das empresas que trabalham com processos de fabricação repetitiva em lotes, produzindo peças para as linhas de montagem ou vendendo-as como produtos acabados, fez com que as mesmas desenvolvessem seus layouts produtivos de forma departamental ou por processo. A escolha pelo layout departamental levou a uma série de desperdícios do tipo superprodução, esperas, movimentação, transporte desnecessários, processamento e estoques.

Como forma de eliminar ou, pelo menos, reduzir esses desperdícios, precisa-se agrupar as máquinas por produto, focalizando-as em um produto ou em famílias de produtos, utilizando o layout celular. A redução dos tempos de processamento pela adoção do layout celular, se dá pelos seguintes motivos:

- Tempo de espera na fila: é eliminado pela disposição adequada das máquinas, segundo o roteiro de fabricação do item e pela produção;
- Tempo de setup: o simples fato de organizar o fluxo de produção por item ou por famílias, evita os setups para o processamento de itens diferentes;

- Tempo de processamento: com a redução dos tempos de setups, pelo layout celular, pode-se diminuir economicamente o tamanho dos lotes de fabricação;
- Tempo de movimentação: o layout celular faz com que as distâncias entre as máquinas sejam minimizadas.

2.1.3. Focalização nos Processos de Montagem

Nos processos de montagem fica mais fácil a aplicação dos conceitos da focalização da produção para as linhas, uma vez que os processos nas montagens são em muitos casos, características de produção repetitivas em massa onde são produzidos produtos com alto grau de padronização.

O layout procura facilitar o fluxo, onde o ideal é o formato em “U” podendo ser usado os layouts em “V” ou “L” para linhas menores sendo os estoques colocados próximos ao local de uso, reduzindo os buffers e consequentemente o espaço físico entre as operações.

Para linhas maiores se usa o formato em serpentina conforme mostra a figura abaixo.

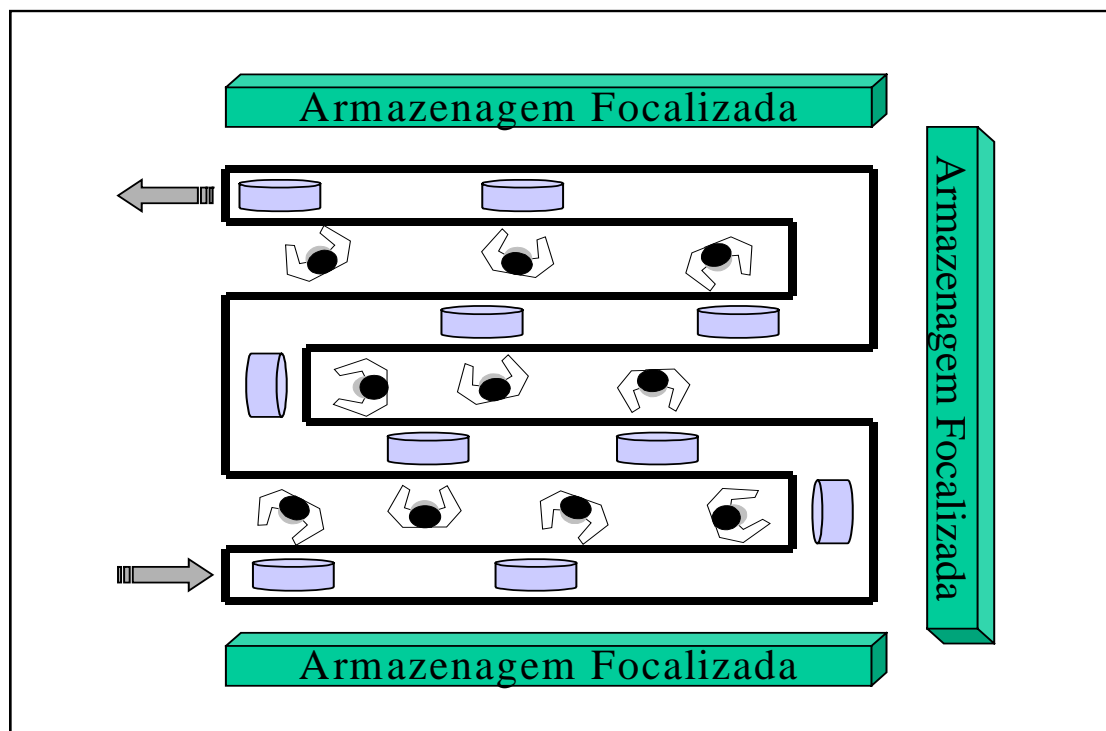


Figura 2.2 - Formato U ou em serpentina. (TUBINO, 1999)

2.2. Produção Puxada

Uma das regras da manufatura enxuta é que nada se produz até que exista a necessidade de produzir um produto final. Esta regra representa a base do sistema de produção puxada.

A produção puxada ao contrário do sistema convencional de empurrar ou prever a produção, tem por objetivo utilizar de maneira mais racional possível os recursos produtivos disponíveis de tal forma que o fluxo produtivo total seja maximizado. Este tipo de produção prevê que cada elo da cadeia produtiva só deve iniciar a produção de um determinado lote quando houver efetivo consumo desse lote pelo processo subsequente da cadeia produtiva.

Sob o ponto de vista interno da empresa, o ponto de partida do ciclo de produção é a expedição ou ainda o departamento de vendas que estando estes mais próximos do mercado consumidor e os programas de produção podem ser alterados de forma mais eficiente.

Em seu artigo, Gottesman (1991) descreve que na manufatura celular esse sistema pode ser visível no processo onde os operadores podem verificar visualmente ou através de sinalização, quando as peças são necessárias. Em outras áreas, sinalizações para a produção são requeridas.

Na Toyota um sistema de cartões de produção, chamado Kanban, é utilizado para solicitar as peças necessárias, e os operadores só devem produzir as peças que o cartão Kanban está assinalando prioridade.

A figura 2.3 apresenta de forma esquemática as diferenças entre a lógica de puxar e empurrar a produção.

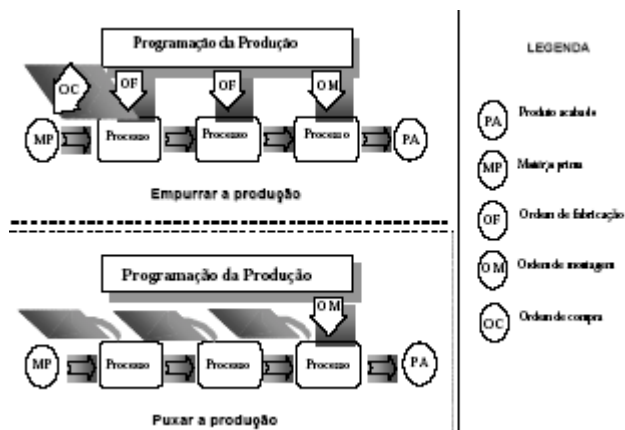


Figura 2.3 – Lógica Empurrar e Lógica Puxar a Produção

2.3. Nivelamento da Produção

O nivelamento da produção consiste em planejar a produção de pequenos lotes, diferentemente da produção convencional que visa produzir grandes lotes, e variado acompanhando a demanda. O objetivo é flexibilizar a produção e permitir um rápido atendimento ao mercado consumidor com estoques reduzidos. De acordo com Shingo (1996), há três maneiras de balancear quantidades:

- Padronizar (balancear) processos em uma linha de produção, a partir da capacidade de processamento mais alta.
- Padronizar processos em uma linha de produção, a partir da capacidade de processamento mais baixa.
- Equilibrar quantidades de produção no nível necessário para que satisfaçam as exigências determinadas pelos pedidos.

A terceira alternativa é a que melhor identifica a mentalidade de enxugar, pois permite realizar o nivelamento da produção em lotes baseado nas necessidades do mercado consumidor.

Conforme Shingo (1996), o mais importante benefício de se produzir lotes menores é que o lote pequeno estabelece as bases para um nivelamento entre a produção e a demanda. Há ainda outros benefícios que uma empresa pode esperar tais como o aperfeiçoamento através da curva de aprendizagem, aumento da flexibilidade do mix de produtos, redução de estoques, menor tempo de supervisão e melhoria da qualidade.

Com a produção nivelada, a única informação necessária para programação da produção é o programa de montagem final, que pode ser flexibilizado de acordo com a demanda atual do mercado. O chão de fábrica trabalharia com o sistema de produção puxada baseada na demanda do produto final.

Para alguns autores, o conceito mais importante para a manufatura enxuta é o de balanceamento, sincronização e fluxo. A manufatura enxuta estabelece que o balanceamento seja necessário para o fluxo e que é de vital importância sendo mais importante até que a velocidade dos recursos produtivos, ou seja, a capacidade de produção desses recursos não têm tanta importância, pois grandes capacidades podem gerar por exemplo, maiores níveis de estoques gerando atividades que não agregam valor.

2.4. Manufatura Celular

A adoção da manufatura celular no chão de fábrica promove o aumento da qualidade, diminuições das perdas fazendo com que a resposta e a velocidade no processamento sejam maiores e é definida como um grupo de processos em ordem para que componentes ou produtos sejam produzidos em um fluxo através do sistema.

Em uma célula, os processos são fisicamente localizados perto um dos outros, fazendo com que a movimentação de materiais e as áreas de estoques sejam minimizadas. Tradicionalmente, máquinas iguais são localizadas juntas em departamentos. A desvantagem

do layout de chão de fábrica tradicional é a criação de barreiras de distâncias e tempos entre operações subseqüentes. O aumento da movimentação de materiais, estoques em processo e retrabalhos são resultados dessas barreiras porque a detecção do problema e as ações corretivas não acontecem no tempo certo. Removendo essas barreiras entre processos subseqüentes, os problemas tornam-se evidentes quando ocorrem, facilitando a pesquisa das causas e soluções para o mesmo.

Na manufatura celular, as máquinas são agrupadas por produtos ou família de produtos para qual são dedicadas, reduz-se o estoque em processo entre as operações, as perdas e os retrabalhos. Segundo Stockton (1994), adotando células de manufatura, as empresas podem ter vários benefícios tais como maior qualidade e redução dos tempos poderão ser obtidas com operadores polivalentes, os fluxos de materiais mais simplificados e redução do estoque em processo através do uso de Kanbans, maior facilidade de identificação de gargalos, etc.

Para Thorn (1996) as vantagens de se adotar a manufatura celular está na ampliação da flexibilidade nos processos, facilidade para se isolar e ou resolver problemas, redução e controle de custos, redução de prazos de entrega ou aumento de produção, controle de estoques, melhoria da qualidade, controle de perdas, eliminação de refugos, focalização de novos critérios de projeto e introdução de novas tecnologias nos processos.

Para Black (1998), é cada vez maior o número de empresas que mudam seu layout de funcionais para o celular visando à redução do tamanho dos lotes de produção, conseqüentemente os estoques intermediários e a necessidade de maior quantidade de mão-de-obra para todo o processo, uma vez que os principais responsáveis pelos altos custos de produção são os níveis de estoque, tempos de setup, LeadTime produtivo, quantidade de mão-de-obra para produzir, qualidade e outros recursos de suporte.

Um elemento extremamente importante na manufatura celular é a polivalência da mão-de-obra. O ideal é que todo o operador conheça todas as operações da célula e, a célula seja responsável pelo produto do começo ao fim da produção. O operário, sempre que possível, deve ser responsável pela manutenção das máquinas.

2.5. O Sistema de Produção JIT e o Sistema de Produção Convencional

Basicamente os sistemas de produção convencionais estão arranjados no seu layout de forma departamental e as máquinas são agrupadas de acordo com suas funções como por exemplo máquinas de usinagem, estampagem e montagem.

Os componentes são fabricados na sua maioria em grandes lotes chamados de work-in-process (WIP) causados em geral, pelo desbalanceamento entre os estágios e vão para um estoque. Os processos são isolados de um estágio para outro onde posteriormente seguem para outros departamentos exigindo equipamentos e mão-de-obra para a movimentação.

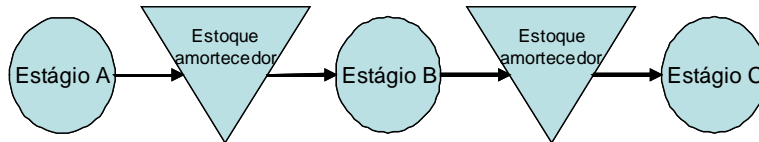
Os estoques citados acima fazem com que o estágio do processo produtivo através da cadeia seja relativamente independente de maneira que, quando da ocorrência de interrupções como paradas por quebra, trocas de tipo ou falta de algum insumo em um estágio do processo, os outros estágios podem continuar produzindo por algum tempo sem sofrer os efeitos da parada. Dessa maneira, cada estágio pode operar de maneira ininterrupta e, quanto maior for esse estoque intermediário, menor é o distúrbio no sistema como um todo causado pelo problema.

Quando se tem um menor distúrbio nos diversos estágios do processo conseguido pelos altos estoques, se tem geralmente, um valor de capital empatado que é o custo dos estoques e o aumento do LeadTime produtivo fazendo com que a resposta ao mercado seja lenta.

Para a filosofia JIT, um dos principais argumentos contra a abordagem dos sistemas convencionais está na independência entre os estágios do processo produtivo, pois quando da ocorrência de um problema, este não é percebido imediatamente pelas outros estágios sendo a responsabilidade pela resolução do problema, somente as pessoas que operam a área onde ocorreu o problema.

Para o JIT, o problema deve afetar todos os estágios e ser de conhecimento de todos, dando a condição de que a responsabilidade é do processo como um todo reforçando a polivalência da mão de obra, ampliando as chances de que o problema seja resolvido. A figura 2.4 abaixo mostra as diferenças entre a abordagem tradicional e JIT.

(a) Abordagem tradicional – estoques separam os estágios produtivos



(b) Abordagem JIT – entregas feitas sob solicitação

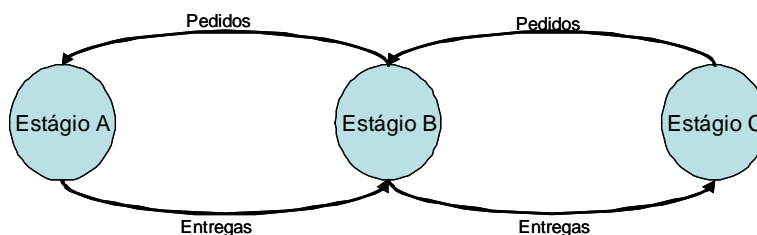


Figura 2.4 - (a) Fluxo tradicional e (b) Fluxo puxado JIT Slak, Nigel (2002)

2.6. Definição de Células de Produção

As células de produção são conjuntos de máquinas agrupadas com funções diferentes para executar a produção de componentes ou família de peças.

As linhas de montagem também operam como as células e as máquinas estão interligadas por um transporte automático ou não, onde nem todos os componentes que serão montados, passam por todas as máquinas ou operações do agrupamento. As células de montagem são caracterizadas por agrupar as peças da mesma família definidas por tecnologias de grupos e produzidas nas células de componentes, gerando um produto acabado ou semi-acabado sendo chamado assim de montagem final e pré-montagem.

Alguns autores defendem que as células de manufatura foram criadas para melhorar a eficiência de uma linha de produção, porém, com possibilidade de fabricar peças diferentes, dentro de uma mesma família.

De acordo com Rajamani (1990), tecnologia de grupo é uma técnica de manufatura que agrupa atividades similares. A tecnologia de grupo envolve grupos de processamentos de peças similares (família de peças) em um setor dedicado com máquinas e processos diferentes. Os métodos empregados pela tecnologia de grupo dividem-se em quatro grupos básicos para definição das famílias, de acordo com Lorini (1993):

- Inspeção visual: identifica família de itens pela análise visual de suas características;

- Análise de fluxo de produção (PFA): procura agrupar os itens levando em consideração os seus roteiros de fabricação ou fluxo de produção;
- Classificação por código: tem por objetivo desenvolver um sistema de código de maneira que permita codificar os itens por atributos de projeto, de processos ou de ambos;
- Reconhecimento de padrões: busca estabelecer algumas características geométricas ou tecnológicas, de forma padrão, para serem comparadas com as características dos itens que se pretende agrupar.

2.7. Análise de Desempenho dos Sistemas

Com a implementação da manufatura enxuta, as características do sistema produtivo são alteradas e, se faz necessário a verificação do quanto essas mudanças influenciarão o desempenho do sistema. Nesse momento, a empresa deve elaborar um sistema de avaliação de desempenho do sistema.

De acordo com Tubino (1999), o objetivo de qualquer sistema de avaliação de desempenho é mensurar seu desempenho de modo a gerenciar sua performance para que determinados objetivos sejam atingidos, principalmente no que diz respeito aos custos. Tubino, em seus trabalhos de modelagem de sistemas produtivos propõe algumas medidas de avaliação do desempenho produção em ambiente Enxuto. As principais medidas de desempenho propostas são:

- Volume de produção (VP): Tem como objetivo medir a quantidade de produtos produzidos em um determinado período de tempo. Entende-se por volume de produção a quantidade de produtos fabricados e vendidos interna e externamente. O estoque é considerado como um ponto negativo para essa medida, pois geram custos e não agregam valor ao produto. O volume de produção é medido pela seguinte relação:

$$VP = \text{Quantidade produzida} / \text{Quantidade vendida}$$

Sendo melhor o valor quando este se aproxima valor ideal que para essa medida é um. Se o valor for menor que 1 indica que a empresa não está atendendo a demanda e se o valor for maior que 1 estará gerando, talvez, estoques desnecessários, piorando assim o seu desempenho para a medida VP.

- LeadTime de produção (LP): é contado desde o tempo do pedido foi posto em carteira até a sua entrega para o cliente. Os valores do LeadTime médio indicam a velocidade de resposta dos recursos produtivos ao atendimento da demanda. Quanto menor o LeadTime de produção, mais rápida será a adaptação da produção ao mix da demanda.
- Estoque em processo (WIP): É o estoque que percorre o fluxo de materiais no processo para atender uma determinada e tem relação direta com a eficiência do sistema produtivo, pois quanto maior o seu nível, maior serão os custos diretos e indiretos agregados ao produto final. A redução do estoque em processo deve ser vista como resultado da melhoria contínua do processo produtivo..
- Taxa de utilização dos centros de trabalho (TUCT): Como na manufatura enxuta só se produz havendo o consumo, essa medida de desempenho avalia o balanceamento dos centros de trabalho ou elos da cadeia produtiva.
- Taxa de utilização do recurso gargalo (TURG): Indica o limite mínimo do tamanho do lote para o qual é possível suprir a demanda ou ainda a quantidade de recursos que se deve alocar para atender determinada demanda. Essa medida de desempenho é empregada para a determinação da capacidade desse recurso, de uma célula ou até de todo sistema produtivo.
- Taxa de utilização de mão-de-obra (TUMO): O operário deve participar não só da produção direta do produto, mas também na manutenção preventiva das máquinas, limpeza e organização da área de trabalho, participar da análise e solução de problemas, etc. Consequentemente, seria incorreto medir as produções individuais da mão-de-obra, devendo sim analisar quanto de recursos humanos (operadores, ferramenteiros, manutenção, supervisores, etc.) foi utilizado na produção do produto. Dessa maneira, se pode medir a utilização da mão-de-obra através da seguinte relação:

$$\text{TUMO} = \text{horas totais trabalhadas} / \text{produção do período}$$

Na medida em que a equipe produza uma quantidade maior de produtos dentro de um mesmo período, ou que para a mesma demanda seja utilizada uma equipe menor ou um tempo menor de produção, a taxa de utilização da mão-de-obra elevar-se-á, aumentando a produtividade da mesma.

2.8. Melhorias de Layout em uma Célula de Montagem

Darwin Sukiman e Shahrukh Irani, do departamento industrial de sistemas de Engenharia da Universidade do Estado de Ohio (EUA), publicaram artigo, editado pela revista Máquinas & Metais, de março de 2001, em que descrevem o projeto de layout de uma célula de manufatura. Os critérios usados foram níveis de demanda, distribuições da demanda e os processos executados. As medidas de desempenho foram fluxos de produtos e matérias-primas, requisitos de espaço, utilização dos operadores, produção e capacidade de expansão do layout.

Os autores comentam que para a simulação, os esforços de coleta de dados precisam ser intensos para garantir a precisão e assim os resultados da simulação podem ser obtidos rapidamente sendo que as metas que se espera alcançar com um novo layout são os estoques reduzidos, leadtime menores, deslocamentos reduzidos e otimização na utilização dos recursos produtivos. Com base nos dados coletados, se podem obter informações importantes que podem levar a melhorar os índices de desempenho tais como a baixa atualização de máquinas e operadores, as áreas não utilizada ou má utilizadas, a má utilização de prateleiras para armazenamento e os tempos de ciclos desbalanceados.

2.9. Modelagem e Simulação de Sistemas

Dentre as técnicas disponíveis para modelagem de sistemas temos a teoria das filas e a simulação, sendo que a última é a mais utilizada.

Enquanto a primeira utiliza método analítico através de fórmulas matemáticas, a simulação utiliza o computador digital para montar modelos que melhor representa o sistema em questão, portanto, simulação por definição, é uma técnica de solução de um ou mais problemas pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital. As técnicas de simulação possuem inúmeras aplicações das quais a área que tem apresentado maior quantidade de aplicações de modelagem são nas linhas de montagem; objeto de estudo deste relatório.

Quando se faz estudos de planejamento, algumas vezes depara-se com problemas, sejam eles de dimensionamento ou de fluxo, onde a solução muitas vezes é complexa. O

estudo pode ser feito em qualquer organização, processo ou lugar, mas, geralmente o objetivo dos estudos são:

- O melhor roteiro para o fluxo dentro do sistema que está sendo analisado;
- O melhor layout;
- A quantidade correta de recursos alocados; sejam eles equipamentos, ferramentas ou pessoas.

Com os itens acima se pode fazer com que o funcionamento do sistema esteja dimensionado e, se dimensionado corretamente, então se diz que o mesmo está balanceado. Com estudos de modelagem de processos ou sistemas, podemos fazer quaisquer alterações tais como automatização, ampliação, trocas de equipamentos, modificações de layout, tempos de ciclo, quantidade de recursos alocados e dentre estes se pode citar máquinas e mão-de-obra.

2.10. Definição da Simulação de Sistemas

Segundo Freitas (2001), “a simulação computacional de sistemas”, ou simplesmente simulação, consiste na utilização de determinadas técnicas matemáticas, empregadas em computadores digitais, as quais permitem imitar o funcionamento de praticamente qualquer tipo de operação ou processo (sistemas) do mundo real.

Um sistema segundo Taylor (1970) é “um conjunto de objetos, como pessoas ou máquinas, por exemplo, que interagem com a intenção de alcançar um objetivo ou um propósito lógico”.

De acordo com Pegden (1990) “simulação é o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação”.

De acordo com definições dos autores, estas devem ser transformadas em relações lógicas e ou matemáticas constituídas em modelos computacionais com o objetivo de entender e avaliar o comportamento do sistema atual e, posteriormente, modificando suas variáveis de entrada, obtendo respostas específicas que podem atender ou não os objetivos do modelo.

Dentre sistemas, podemos citar inúmeros sistemas aptos à modelagem e simulação e como exemplos tem-se:

- Sistemas de produção;

- Sistemas de computacionais;
- Sistemas administrativos;
- Sistemas de transporte e armazenamento;
- Sistemas de prestação de serviços.

Em muitos casos, o processo de modelagem exige uma série de simplificações sobre o sistema, podendo ocorrer em muitos modelos computacionais na área da manufatura entre outras áreas. Dependendo do propósito e da complexidade do sistema sob estudo, este pode apresentar um comportamento não previsível, onde simplificações sobre o mesmo levam a uma solução analítica que podem levar a solução pouco confiável. Neste caso, um modelo voltado à simulação do sistema em questão é a ferramenta mais correta para sua análise.

2.11. Classificação de Modelos de Simulação

De acordo com o tipo de processo decisório envolvido, podem-se classificar os modelos de simulação de acordo com os propósitos listados abaixo:

- Previsão - Usada para prever o estado de um sistema em algum ponto no futuro, baseado nas suposições sobre seu comportamento atual e de como continuará comportando-se ao longo do tempo;
- Investigação - Usada para buscar informações para o desenvolvimento de hipóteses sobre o comportamento de sistemas, pois nem sempre os objetivos dos estudos estejam bem definidos no início do estudo em questão;
- Comparação - Usada para avaliar o efeito de mudanças nas variáveis de controle de entrada e seus efeitos podem ser medidos sobre as variáveis de resposta de acordo com os objetivos quando estes forem bem específicos.

2.12. Terminologia Básica da Simulação

Conceitualmente, existe uma série de elementos básicos envolvidos na modelagem e simulação de sistemas e utiliza-se a seguinte terminologia:

- Variáveis de estado: É aquele conjunto de variáveis necessárias à compreensão do que está ocorrendo no sistema num determinado instante de tempo, com relação aos objetos do estudo.

- Eventos: Um evento são acontecimentos, programados ou não, e quando ocorrem provocam uma mudança de estado no sistema.
- Entidades e Atributos: Um sistema é formado de um conjunto de entidades explicitamente definidas. Neste sistema, uma entidade representa um objeto que pode ser dinâmica, movendo-se através do sistema, ou estática, servindo outras entidades. Atributos são características próprias das entidades. São dados que fazem parte das variáveis de estado do sistema.
- Recursos e Filas de recursos: Um recurso é uma entidade estática que fornece serviço às entidades dinâmicas. Uma fila de espera é uma coleção de entidades com alguma característica comum como, por exemplo, chamadas em espera numa central de atendimento.
- Atividades e Tempo de espera: Uma atividade é um período de tempo predeterminado antes de sua execução e seu final pode ser programado. A duração pode ser uma constante, como pode não o ser, pois pode ser resultado de uma expressão matemática, um valor aleatório com base em uma distribuição de probabilidades, etc.
- Tempo real simulado e tempo de simulação: O tempo simulado é o tempo real a ser simulado e deve ser distinguido do tempo de simulação que representa o tempo total necessário à execução de um experimento no computador.

2.13. Modelos Discretos e Modelos Contínuos

Em modelos contínuos, o estado do sistema pode mudar continuamente com o tempo. Um exemplo seria o nível de um reservatório com fluxo de água entrando e saindo, a ocorrência de precipitação e evaporação.

Em um modelo discreto, as mudanças podem ocorrer somente com a separação de pontos no tempo, tal como no sistema de fabricação com peças chegando e saindo em tempos específicos, uma máquina baixando e voltando em tempos específicos. Podem-se ter mudanças de elementos contínuos e discretos, ambos no mesmo modelo, os quais são chamados modelos mistos contínuos e discretos.

2.14. Métodos de Modelagem

Segundo Freitas (2001), a abordagem adotada na modelagem é nada mais que o próprio ponto de vista da realidade do sistema pelos especialistas em simulação.

De acordo com Pedgen (1990), a visão sob o ponto vista da linguagem de simulação diz que a realidade ocorre de maneira que uma série de entidades ou transações flui pelo sistema ou através dele, nomeadas, caracterizadas e identificadas pelos seus atributos, interagindo com os recursos fazendo parte de atividades do modelo, criando eventos os quais alteram o estado do sistema.

Seguindo o texto acima, de acordo com Freitas (2001), dependendo da linguagem de simulação utilizada, podemos basicamente citar os métodos de modelagem por eventos, por atividade e por último, por processos.

No método por eventos, a modelagem deve ser construída partindo da identificação e da ocorrência dos eventos característicos do modelo, estes sendo incondicionais, ou seja, dependem unicamente do tempo de simulação no relógio do programa e, conseqüentemente, a execução deste evento se dará dependendo do tempo que o do modelo é rodado. O processo de simulação evolui ao longo do tempo de acordo com a execução dos eventos que foram pré-determinados em tempo de simulação no relógio, definidos numa lista de ocorrência destes eventos. Quando da ocorrência de qualquer outra situação que não seja um evento determinado, estes devem ser previstos e relacionados dentro das rotinas em que esta situação possa ocorrer.

Já no método de modelagem por atividades, segundo Freitas (2001), a principal diferença entre a abordagem por eventos e a abordagem por atividades, é buscar o próximo evento da lista pelo tempo programado no relógio de simulação como também em testes

condicionais, ou seja, o próximo evento de uma lista mais próximo do relógio de simulação ocorrerá somente se certa condição verdadeira for atendida, caso contrário, o evento seguinte será efetuado se este atender ao tempo de simulação e teste condicional simultaneamente.

Na última forma de modelagem, os sistemas são na maioria das vezes do ponto de vista das entidades, ou seja, as entidades fluem pelo sistema de maneira competir os mesmos recursos em mesmo tempo de simulação ou não, ou ainda formarem novas entidades que podem ser receber nova caracterização e novos atributos.

De acordo com Freitas (2001), a modelagem por processos é a forma mais lógica de modelagem onde o programa do computador imita o comportamento das entidades através do fluxo do sistema de acordo com as rotinas programadas para o cumprimento das atividades no processo. As entidades são criadas, movimentadas pelo relógio do programa de simulação até que alguma movimentação da referida entidade é cessada por algum tempo para a ocorrência de evento com tempo predeterminado ou não. Esse evento pode ser um tempo de processamento, uma espera em filas nos buffers, uma troca de ferramentas, manutenção, etc.

Portanto, enquanto esta entidade sofre o evento em questão, o relógio do programa de simulação avança para o tempo em que a entidade na fila do próximo evento seja movimentada até que ocorra mais uma parada. Esta seqüência de operações descritas pelo programa de simulação ocorre até que todas as entidades passem pelas atividades do fluxo atualizando contentemente as variáveis de estado, os atributos e os demais objetos onde as entidades têm relacionamento durante a passagem pelo sistema e o processo pode ser interrompido quando estas alcançarem um número limite internamente no sistema ou quando o relógio atingir um valor predeterminado pelo modelista.

2.15. Análise dos Resultados em uma Simulação

Conforme Freitas (2001), para a conclusão sobre o desempenho de qualquer sistema modelado com os resultados da simulação, é necessário à observação das variáveis respostas do modelo em cada rodada de simulação e assim, estimando o desempenho do sistema real e a partir do conjunto de resultados obtidos nos experimentos, preocupando-se na minimização dos erros no processo de estimação dos parâmetros.

Toda simulação de sistemas que contém variáveis aleatórias gera resultados aleatórios Freitas (2001) e como estes valores podem apresentar grande variabilidade, se precisa fazer análises apropriadas quando se quer fazer qualquer tipo de inferência sobre os resultados da

simulação. Essas análises se fazem na quantidade certa de replicações, em como interpretar as diferenças obtidas em cada replicação, na duração da rodada de simulação entre outras.

A análise do desempenho de um sistema depende do tipo de sistema que se está tratando e, para determinar o tempo de simulação de uma replicação, deve-se classificar os modelos de simulação em terminais ou não-terminais (Law e Kelton, 1991).

De acordo com Freitas (2001), os modelos terminais apresentam condições iniciais fixa, ou seja, no início de cada rodada de simulação, o sistema volta a assumir os mesmos valores. Para Law e Kelton (1991), nos modelos terminais existem um evento natural que determina o tempo simulado de cada replicação.

Segundo os autores, as diferentes replicações usando números aleatórios independentes e sob as mesmas condições iniciais em cada replicação, implica que as variáveis aleatórias comparáveis entre si, nas várias replicações, possuem distribuições independentes e idênticas. Quando se deseja estimar o valor médio de uma variável de desempenho qualquer, no caso dos modelos terminais, a questão principal envolve a determinação do número de replicações mínimo necessário com um determinado nível de precisão e de confiança (Freitas, 2001). O cálculo do número de replicações mínimo é um processo iterativo iniciado pela execução piloto de n_0 replicações (Freitas, 2001). A relação entre o semi-intervalo de confiança e o número de replicações é dada pela equação (Freitas, 2001):

$$h = t_{n-1, 1-\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Onde:

n : número de replicações piloto / tamanho da amostra;

h : semi-intervalo de confiança para n replicações;

$S^2(n)$: variância para n replicações / amostras;

$t_{n-1, 1-\alpha/2}$: valor crítico da distribuição t-student com nível de confiança $1-\alpha$, e n graus de liberdade.

Para alguns autores, uma vez determinado o tamanho mínimo da amostra e se o intervalo apresentar limites além dos desejados, pode-se fazer uma nova estimativa para a quantidade de replicações aplicando-se a seguinte fórmula:

$$n^* = n \frac{h^2}{h^2}$$

onde:

n^* : nova estimativa para o tamanho da amostra

h : semi-intervalo de confiança obtido

h^* : semi-intervalo de confiança desejado

De acordo com Kelton (1998), a fórmula acima para o cálculo do intervalo de confiança, é preciso atender duas exigências que são os dados independentes e identicamente distribuídos e ainda a normalidade dos dados.

A primeira exigência é garantida pela utilização de diferentes números aleatórios para cada replicação. O teorema central do limite estabelece que a soma ou a média resultante de um grande número de valores aleatórios e independentes é aproximadamente normal, independente da distribuição dos valores individuais (Kelton et al., 2002). Alguns autores estabelecem que o efeito no nível de confiança depende da semelhança da distribuição dos dados relação à distribuição normal, ou seja, a simetria da distribuição em relação à distribuição normal, está diretamente relacionado ao efeito no nível de confiança.

As maiorias dos sistemas modelados são rotulados como não-terminais (Freitas 2001) e nestes sistemas, não se têm um estado inicial predefinido ao menos um evento caracterizando o fim do período de simulação (Freitas, 2001). Na análise dos resultados da simulação de sistemas não terminais as observações que são influenciadas pelo estado inicial do modelo devem ser desconsideradas desde que o interesse da análise esteja no desempenho do sistema quando o mesmo se encontra em regime (Freitas, 2001). O tempo de simulação deve ser de duração suficientemente longa para que os efeitos do estado inicial sejam esgotados (Kelton et al., 1998). Se o tempo da fase transiente for pequeno em relação ao tempo da replicação pode se fazer à análise por meio de replicações independentes como no caso dos sistemas terminais descartando as observações da fase transiente (Kelton et al., 1998). Outro método seria a realização de apenas uma simulação de duração suficientemente longa descartando as observações da fase transiente e dividir as demais observações numa série de lotes (Freitas, 2001).

2.16. Processo de Determinação, Amostragem e Coleta dos Dados de Entrada.

Segundo Freitas (2001) para a determinação das fontes para a coleta dos dados geralmente depara-se em duas situações básicas que são a existência ou possibilidade de existência dos dados e a inexistência ou impossibilidade de obtenção dos dados e que na maioria dos casos cai-se no primeiro caso e para este as fontes podem ser:

- Arquivos históricos do sistema;
- Através de observações;
- Dados obtidos através de sistemas similares;
- Fontes por experiências ou estimativas de pessoas que trabalham no processo em questão;
- Por experiência dos fornecedores, projetistas dos equipamentos, máquinas, etc.;
- Considerações teóricas baseadas na física, matemática sobre o sistema.

Para a amostragem, Banks (1984) sugere alguns pontos para facilitar a condução da coleta dos dados que irão alimentar o modelo citando fazer uma pré-observação da situação e coletar dados na medida de que se observa o processo, tentando analisa-los enquanto se registra os mesmos, observando se suas distribuições em intervalos de tempo diferentes são homogêneas e o relacionamento entre as variáveis que podem mostrar algum tipo de relação principalmente se estas são objetivos do estudo.

2.17. Escolha das Distribuições para os Dados de Entrada

Segundo Law e Kelton (1991) a maioria dos sistemas reais possui uma ou mais fontes de variáveis aleatórias e, para simular estes sistemas é preciso especificar a distribuição de probabilidades dessas variáveis e, quando for possível coletar dados de uma variável aleatória de interesse, estes dados podem ser usados em uma das seguintes abordagens para especificar a distribuição a ser usada:

- Alimentação dos dados de entrada coletados do sistema no modelo sem tratamento específico;
- Alimentação dos dados de entrada coletados do sistema no modelo com distribuição de probabilidades empíricas;
- Alimentação dos dados de entrada coletados do sistema no modelo usando métodos estatísticos para ajustar os dados a uma distribuição teórica fazendo testes de hipóteses para analisar a aderência dos dados reais à distribuição escolhida.

De acordo com autores, quando se encontra uma distribuição teórica com aderência adequada aos dados coletados, então a última abordagem é recomendada.

2.18. Etapas de um Estudo Utilizando Simulação

Para a realização de estudos utilizando simulação, o analista deve seguir uma seqüência de etapas que são iguais na maioria das bibliografias que falam sobre os procedimentos para a realização de um estudo de simulação.

No estudo de simulação, o analista deve estudar o desempenho analisando as saídas e identificando alternativas permitindo soluções cada vez melhor, ou seja, analisar as saídas e identificar alternativas de projeto e configurações possíveis.

A primeira etapa é a formulação dos objetivos, deve ser feita de maneira clara e bem definida pelo analista, o tipo de resposta que se deseja extrair nas variáveis respostas, o método de modelagem e tipo de modelo a ser adotado no estudo identificando seus limites, restrições, relacionamentos internos e externos necessários ao andamento do processo em estudo.

Um estudo de simulação consiste nos seguintes passos:

- 1) Formulação do problema
- 2) Formulação dos objetivos
- 3) Coleta de dados
- 4) Modelagem e codificação
- 5) Verificação e validação do modelo
- 6) Experimentação e análise
- 7) Documentação e recomendações

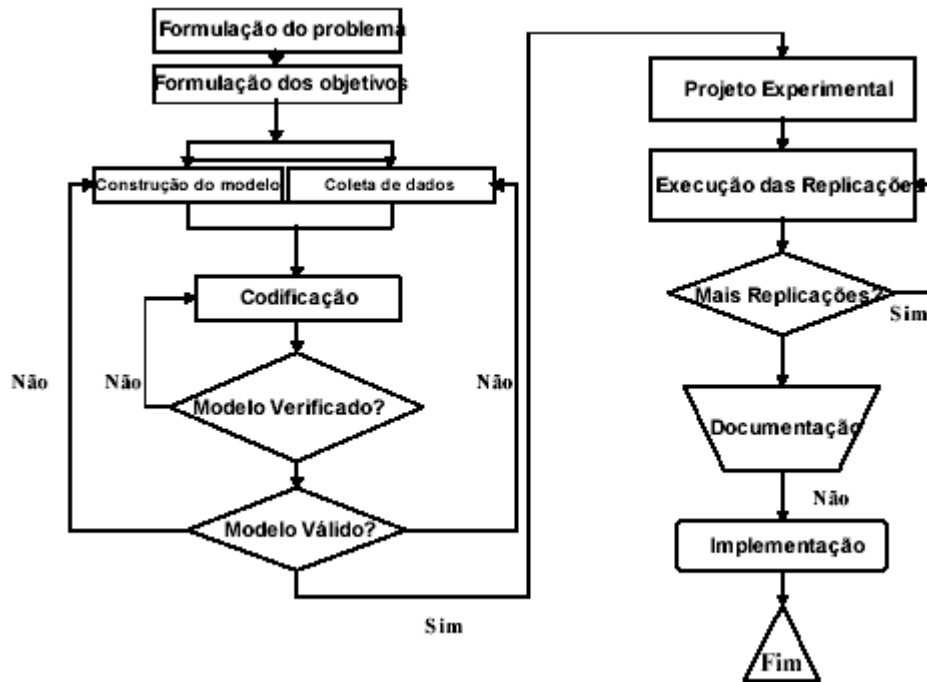


Figura 2.5 – Passos em um projeto de modelagem e simulação

- **Formulação do problema** – Todo estudo de simulação inicia com a formulação do problema.
- **Formulação dos objetivos** - Deve ser explicitamente definida os objetivos da simulação, a amplitude e a profundidade que se quer da análise e os recursos disponíveis.
- **Coleta de dados** - A coleta de dados é um processo de recolhimento dos fatos e informações disponíveis que serão processados quando houver necessidade. De posse da formulação do problema, a coleta dos dados deve obedecer alguns critérios como, por exemplo, haver uma quantidade suficiente de dados sendo estes confiáveis e ainda devem ser significativos para o processo de decisão.
- **Formulação do modelo conceitual** - Deve-se traçar um esboço do sistema de forma gráfica ou algorítmica, fazer a definição dos componentes e descrever as variáveis e interações lógicas que constituem o sistema.

Esta pode ser a parte mais difícil do processo de simulação. A dificuldade decorre do fato de que, na construção de modelos, é exigida tanto arte quanto técnica, levando-se em conta todas relações importantes, tanto entre as variáveis internas do sistema quanto entre este e o meio ambiente que o cerca.

- Validação do modelo - Estando o modelo pronto, é necessário saber se ele atende aos objetivos da simulação, representando corretamente o sistema em estudo. Os testes de verificação e validação com o modelo devem abranger também os dados, de forma a verificar sua consistência garantindo os resultados obtidos pelo modelo de simulação comparada ao sistema real e então apresentam proximidade aceitável.

- Projeto experimental – Na experimentação se faz simulações para a análise das informações geradas.

- Documentação – Se faz necessária facilitando os novos trabalhos para alterações futuras caso haja mudança no modelo.

2.19. O Uso da Simulação na Manufatura

Métodos tradicionais de projeto e análise tem simplesmente se mostrado inadequados para o estudo de complexas interações que ocorrem nos sistemas de manufatura. As novas tecnologias de fabricação são caracterizadas pelo aumento da variedade dos produtos, redução do tamanho dos lotes de produção e maior exigência em relação à qualidade por parte do cliente, fazem com que as empresas procurem formas alternativas para solucionar seus problemas de produtividade e conseqüentemente, aumentando o lucro. Uma das alternativas utilizadas pelas organizações é a simulação, sendo um veículo de análises dinâmicas antes da implementação dos processos e projetos e que foi usado principalmente na última década do século passado na Europa pelas indústrias automotivas.

Segundo artigo publicado pela Sim-Serv (2005), para a modelação de um completo sistema de produção de uma planta, o grande desafio está na precisão e confiabilidade do modelo e a habilidade em criar estes, tendo grandes benefícios potenciais no desenvolvimento de protótipos. De acordo com o artigo, em se tratando de modelar a manufatura, em geral, esse modelos seguem uma “rede de filas” que representam a fábrica na qual o material (processos/transações) fluem através do conjunto de máquinas e outros recursos. Os processos seguem um “Seize, Hold, Release” onde esse padrão de comportamento é em muitos aspectos apropriado para modelar um simples fluxo de material.

Tradicional simulações sofrem limitações em representar sistemas com interações complexas que podem ocorrer na manufatura devido a falta de conceitos de ferramentas de software apropriados para tal.

De acordo com Pegden (1990), a simulação na manufatura prevê o comportamento de sistemas complexos calculando o movimento e interação dos componentes do sistema, pela avaliação do fluxo de peças através das máquinas e estações de trabalho examinando os conflitos de demanda por recursos limitados avaliando layouts, seleção de equipamentos e procedimentos de operação.

O autor especifica que as ferramentas de simulação podem ser empregadas tanto nas fases de planejamento, quanto nas fases de projeto ou de operação de sistemas de produção, agindo sobre três áreas, a saber:

- Hard-system: refere-se ao número e aos tipos dos equipamentos, a configuração do layout e as peças a serem processadas no sistema;
- Soft-system: refere-se ao planejamento, sequenciamento das peças, scheduling, ferramentas, operadores do sistema;
- Controle em tempo real: controle de fluxo envolvendo contingências como as falhas das máquinas, resultando em paradas, trocas de ferramentas, trocas de modelos, etc.

Para Pegden (1990), o uso da simulação se dará em três modos distintos:

- Como ferramenta de projeto e análise de layouts, de compra de máquinas, de avaliação de políticas alternativas, etc. Atualmente, estas são as funções da simulação mais frequentemente utilizadas;
- Como ferramenta de scheduling, particularmente em se tratando de sistemas automatizados. Este uso permite ao tomador de decisão explorar, planejar e avaliar mudanças no scheduling a fim de obter a otimização do mesmo;
- Como parte de sistemas em tempo real. Tal sistema deverá ser periodicamente ativado, ler as condições correntes, definindo o scheduling, com ou sem a intervenção humana.

Para a modelagem de um sistema de manufatura, são necessários alguns elementos básicos como, por exemplo, estações de trabalho incluindo os estoques entre elas, procedimentos de trabalho (ex.: planos de produção), organização dos elementos (controles de produção, organização dos trabalhadores, etc.), modelos de troca de turnos e procedimentos para troca dos produtos a serem produzidos e ainda informações da ordem de produção como o mix desses produtos e quantidades a serem produzidas. Além desses elementos, outros importantes fatores para alcançar o sucesso na modelagem de um sistema de produção é a

precisão do modelo e o desenvolvimento de uma rotina para a geração de uma rápida geração de relatórios de resultados para análise.

A simulação de eventos discretos é o método mais usado para estudar, modelar, analisar e melhorar os sistemas de manufatura. A maioria dos pacotes de simulação na manufatura é baseada na interação das entidades através do fluxo do processo, ou seja, um conjunto de processos ou transações viajam através de um conjunto de blocos ou recursos no modelo alterando as variáveis de estado deste. Ao conjunto de processos diz-se que são ativos, enquanto os recursos são passivos e um evento ocorre quando um processo passa através do recurso.

2.20. Conclusão

No capítulo foram mostrados definições e conceitos que envolvem a manufatura enxuta, simulação e modelagem de sistemas e suas classificações de acordo com os objetivos e também a terminologia que determinam os elementos básicos na simulação desses sistemas. Também foram apresentadas as técnicas envolvidas para tratar a aleatoriedade dos sistemas reais e como os dados podem ser tratados e incorporados aos modelos dos sistemas e, finalmente, foi apresentado um resumo dos passos envolvidos num projeto de simulação. Por fim, apresentaram-se alguns conceitos relativos ao uso da ferramenta simulação discreta na manufatura e suas configurações para que se tenha um melhor desempenho da mesma, a aplicabilidade da técnica e seus elementos básicos necessários para se alcançar os objetivos quando a simulação é aplicada à manufatura.

No próximo capítulo será proposto e detalhado um método para avaliação das mudanças no desempenho de uma linha de produção de uma empresa do setor metal-mecânico.

Capítulo 3 – Método Proposto

Apresenta-se, neste capítulo, um método usando simulação discreta e projeto experimental como ferramenta de análise para a identificação dos pontos de melhoria do fluxo na manufatura enxuta de uma empresa do setor metal-mecânico.

3.1. Introdução

Para a otimização da produção, a manufatura enxuta defende o melhoramento contínuo nas áreas produtivas tais como a redução da superprodução, das esperas, das movimentações, dos retrabalhos, dos estoques e dos defeitos, ou seja, a total eliminação dos desperdícios e, para o atendimento dos objetivos da aplicação do método, se faz necessário o estudo dos fatores e recursos que podem afetar ou não, o desempenho do sistema. Dentre alguns fatores se pode citar o quanto está nivelada à produção e conseqüentemente indicando a padronização das operações e o tamanho dos lotes de fabricação, o LeadTime, os tempos para os setups e a eficiência da mão-de-obra.

Baseado na revisão bibliográfica realizada no capítulo anterior, o layout celular possui diversas vantagens sobre o layout funcional nos sistemas de produção, portanto, a proposta neste capítulo é de ser utilizado um método para focalização da produção com layout celular.

Para o método proposto, se faz à elaboração do modelo de simulação discreta onde inicialmente se deve representar o sistema atual e a partir da análise dos resultados dos parâmetros definidos para as variáveis respostas, identificam-se as ineficiências e os parâmetros através da técnica de projeto de experimentos com o objetivo da otimização do sistema.

Os resultados e sugestões serão aplicáveis para a linha de montagem em questão, sendo apenas aplicáveis para as outras linhas e estágios do processo, as técnicas de modelagem.

Na figura 3.1 é apresentado o fluxograma ilustrando o método proposto para o trabalho.

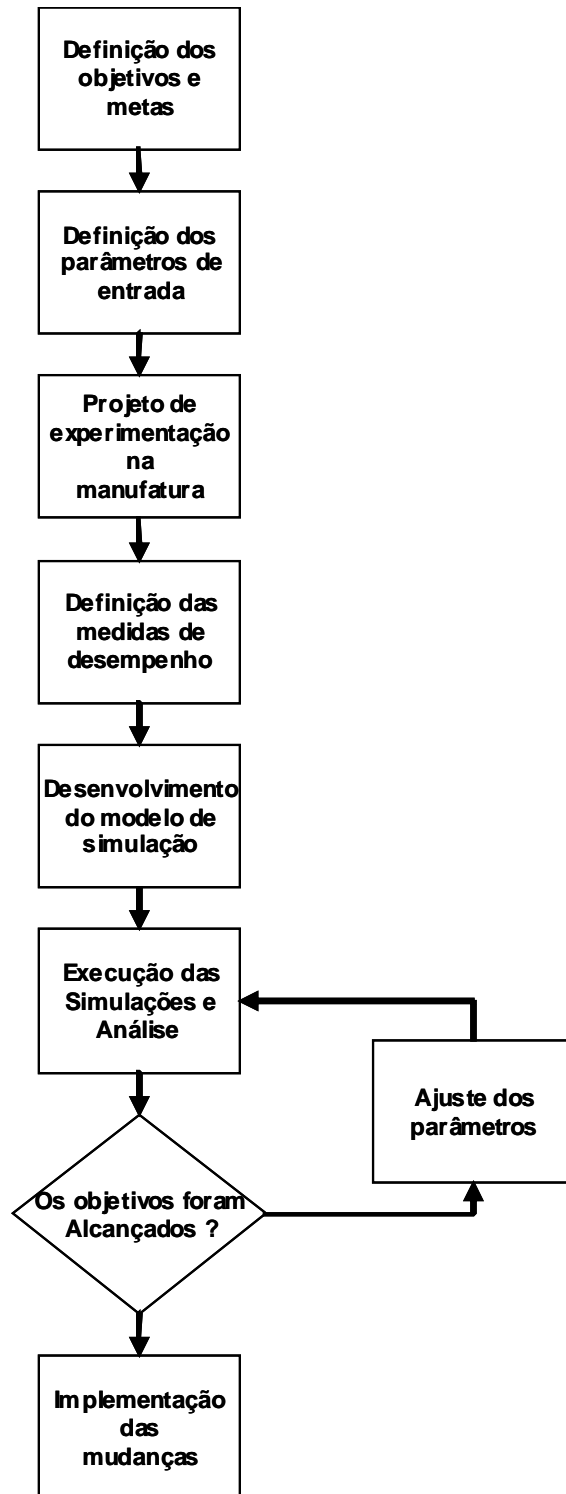


Figura 3.1 - Fluxograma do método de avaliação do sistema fabril.

3.2. Definição dos Objetivos e Metas

Quando se trata de avaliar o desempenho de um sistema de produção focalizando as células de manufatura deve-se definir os objetivos que espera alcançar através da aplicação das ferramentas da engenharia de produção. Existem alguns objetivos que são comuns para todas as empresas que empregam manufatura enxuta com intuito final da redução dos custos de produção. Os objetivos mais comuns estão listados abaixo:

- Reduzir o LeadTime fabril,
- Aumentar o fluxo de produção;
- Reduzir o estoques amortecedores em processo (WIP);
- Analisar e se possível reduzir ou redimensionar os as filas entre operações (tamanho buffers);
- Aumentar a utilização dos recursos produtivos;
- Redução dos estoques de produtos acabados;
- Redução dos tempos de setup;
- Aumentar a flexibilidade e conseqüentemente à resposta aos mercados;
- Redução do espaço físico;
- Aumentar os níveis de qualidade.

Entretanto, para o presente trabalho, pode-se resumir como os principais objetivos sendo:

- Aumentar o fluxo de produção, ou seja, aumentar a quantidade total produzida;
- Aumentar a utilização dos recursos produtivos;
- Reduzir o LeadTime

3.3. Definição dos Parâmetros de Entrada

Os parâmetros de entrada no modelo são características que determinam o funcionamento da manufatura enxuta, sendo todas as variáveis independentes que devem ser definidas para que o modelo de simulação seja executado e gere os resultados a serem analisados. A quantidade de variáveis dependem, do número de elementos que estarão sendo estudados e dos objetivos do estudo. Para o atendimento dos objetivos proposto no trabalho, o modelo para avaliação será alimentado com os seguintes parâmetros:

- Capacidade dos buffers;

- Tempo de setup;
- Porcentagem de reprocesso;
- Tempo padrão das operações;
- Tamanho médio dos lotes de produção;
- Índices de manutenção por operação.

3.4. Projeto de Experimentação na Manufatura

É a técnica estatística utilizada para determinar a influência no comportamento de sistemas ou processo quando uma ou mais variáveis assumem valores distintos e de acordo com Montgomery (1997), consiste em um teste ou uma série de testes no qual alterações controladas são realizadas sobre os fatores envolvidos no sistema ou processo, possibilitando a observação e a razão das mudanças ocorridas sobre as respostas.

As variáveis envolvidas no processo são denominadas fatores que podem ser controláveis ou não. Para fins de testes, no uso de modelos de sistemas ou processos, os fatores não controláveis podem ser fixados.

Os objetivos do processo experimental, segundo Montgomery (1997), é determinar quais as variáveis têm mais influência sobre as respostas, quais valores associar às variáveis de maneira que as respostas permaneçam próximas de seus valores nominais, ou com variabilidade mínima, ou ainda, que a influência dos fatores não controláveis seja mínima.

Os parâmetros de entrada que serão selecionados como fatores controláveis (não fixos), no presente trabalho, serão definidos em função dos resultados da simulação do sistema no estado atual, isto porque os fatores que podem afetar o desempenho de um sistema podem ser diversos e o objetivo do projeto de experimentação aqui é avaliar os mais representativos.

A variável resposta a ser monitorada será o volume de produção sendo a estratégia dentro da técnica que será utilizada no projeto experimental é de projeto fatorial com replicações.

3.5. Definição das Medidas de Desempenho

O conjunto de medidas de desempenho apresentadas na revisão bibliográfica no capítulo anterior está direcionado para avaliar o chão de fábrica, porém, cada empresa tem seu próprio sistema de produção e levando em conta as suas metas, deverão desenvolver os seus

modelo de avaliação. Para o presente trabalho, as variáveis participantes da medição do desempenho do sistema em questão podem ser:

- Volume de produção - O volume de produção tem como objetivo medir a quantidade de produtos fabricados num determinado período medidos em peças produzidas por hora a qual é chamada na empresa em questão de produtividade. Sob a ótica da manufatura enxuta, o volume de produção deve ser visto como a quantidade de produtos fabricados e vendidos interna ou externamente, dentro do conceito de produção puxada;
- LeadTime produtivo – É a diferença de tempo que leva desde a solicitação de um determinado item até que ele seja entregue ao cliente;
- Taxa de utilização dos recursos – analisada isoladamente pode induzir à produção excessiva para os estoques em sistemas desbalanceados. O enfoque convencional de maximização da taxa de utilização das máquinas encoraja a compra de equipamentos modernos com base apenas na velocidade de fabricação, dificultando a formação de células. A taxa de utilização das máquinas deve estar associada ao desempenho global do sistema;
- WIP – A quantidade de peças em processo nos buffers necessários para atender uma determinada demanda relaciona-se, de forma direta, com a eficiência do sistema produtivo ou o balanceamento do mesmo, pois quanto maior o nível de estoques intermediários maiores os custos diretos e indiretos associados aos produtos fabricados, indicando certo grau de ineficiência do sistema;
- Taxa de utilização dos buffers – A análise desse indicador pode ser muito útil principalmente quando se avalia uma linha de produção seriada onde parte dela pode ser chamada de célula produtiva composta por diversos postos de trabalho principalmente onde estes são automáticos que podem ter diversos fatores que podem ou não influenciar no desempenho total do sistema, tais como, pequenas paradas das estações de trabalho, pequenas anomalias, variações no ciclo e onde se têm estações que envolvem o trabalho humano, temos fatores como quebra de ritmo e falta de treinamento, entre outros, onde na manufatura enxuta também está associada ao desempenho global do sistema.
- Taxa de bloqueio dos recursos – Igualmente ao indicador anterior, este pode fornecer uma correlação entre recursos desbalanceados. A análise deve ser feita de

tal maneira que se observe esse indicador juntamente com os indicadores de desempenho das máquinas ou estações de trabalho subsequentes a esta, mostrando a existência de um possível desbalanceamento entre as estações ou postos de trabalho que podem ser uma variável atuando no resultado e até o mau dimensionamento dos recursos produtivos. Portanto as taxas de bloqueio dos recursos, também devem estar associadas ao desempenho global do sistema.

3.6. Desenvolvimento do Modelo de Simulação

Nesta fase será executada a formação de célula de montagem onde deverão ser utilizadas algumas técnicas para a sua formação. A escolha vai depender das informações e da experiência do modelista de que a empresa dispõe, recursos técnicos e computacionais compatíveis com as necessidades para um bom desenvolvimento das atividades.

Os parâmetros de entrada para utilização no processo de modelagem variam de acordo com o nível de organização da empresa, sendo que em algumas, os dados relativos aos tempos padrões, roteiros de fabricação, tamanho dos lotes de produção, tempos de setup, índices de reprocessos e capacidade dos buffers se encontram armazenados em sistemas computacionais.

Será usada neste trabalho a modelagem voltada à comparação que de acordo com Freitas (2001), estes são classificados assim por avaliar o efeito de mudanças nas variáveis de controle de entrada e seus efeitos podem ser medidos sobre as variáveis de resposta de acordo com os objetivos quando estes forem bem específicos.

3.7. Execução das Simulações e Análise dos Resultados

Nesta fase se faz necessário à execução dos modelos com objetivo de se fazerem os ajustes, quando necessários, uma vez que um modelo muitas vezes não está representando as situações existentes na prática. Esses ajustes podem ser de diversas naturezas como, por exemplo, problemas de lógica, sequenciamento no fluxo das entidades diferentes da situação real atual, erros na alimentação dos dados de entrada, etc. Ainda é nesta fase que o modelo deve passar por revisões do especialista de modelagem juntamente com engenheiros ou especialistas do processo para avaliação dos e adequação do modelo no que diz respeito ao atendimento dos objetivos.

3.8. Implementação das Mudanças

Depois de definido o melhor resultado de acordo com os objetivos, deve-se definir um plano para as alterações dos parâmetros que interferem nas variáveis respostas. As alterações que serão efetuadas devem ser oficializadas e divulgadas para todos os setores envolvidos com o processo fabril em questão mostrando as vantagens das mudanças, efetuarem treinamento dos funcionários de acordo com o novo processo incluindo as pessoas do suporte e manutenção uma vez que as pessoas têm certa “inércia” às mudanças.

3.9. Considerações

Neste capítulo apresentou-se um método para avaliação das variáveis de desempenho do sistema de produção em estudo, empregando técnicas de simulação discreta e projeto experimental.

No próximo capítulo, será apresentada a aplicação da proposta do estudo em uma empresa do setor metal-mecânico.

Capítulo 4 – Aplicação do Método Proposto na Indústria

Este capítulo trata da aplicação do método e elaboração de um modelo de simulação discreta para avaliação e futura implantação das mudanças tendo como base, os resultados da análise do projeto de experimentação em um processo produtivo.

4.1. Introdução

Segundo Tubino (1999), de acordo com o tipo de operações que o produto sofre, podem-se classificar os sistemas produtivos em dois grandes grupos: processos contínuos e processos discretos. Essa classificação está associada ao grau de padronização dos produtos e ao volume de produção da demanda.

Nos processos contínuos, pode-se citar a produção de bens ou serviços que não podem ser identificados individualmente, e os processos conhecidos como discretos envolvem a produção de bens ou serviços que podem ser isolados, em lotes ou unidades, particularizando-os uns dos outros e, em função da demanda para a qual se destinam, podem ser subdivididos em processos repetitivos em massa para grandes demandas, processos repetitivos em lotes para demandas médias que é o caso da empresa em questão empregando a simulação.

Nas primeiras seções descrevem-se o funcionamento do processo produtivo de compressores em uma das quatro linhas produtivas da pré-montagem da empresa e, em seguida, apresenta-se o levantamento das informações que são necessárias para a avaliação e o atendimento das metas que são objetivos da aplicação do método proposto no estudo e o processo de modelagem do sistema produtivo em questão. Em seguida, a fase verificação e validação do modelo onde este deverá mostrar que os resultados da simulação tenham um comportamento semelhante ao do sistema modelado.

4.2. A Empresa do Setor Metal Mecânico Catarinense

A empresa pesquisada é de capital aberto e atua no setor metal mecânico, especificamente no segmento de máquinas e equipamentos. Ocupa a segunda posição no ranking mundial do setor, com 20% do mercado. No Brasil, a participação da empresa representa aproximadamente 65% do volume total. Somando os mercados nacionais e internacionais, já são mais de 150 milhões de compressores vendidos. No que se refere à pesquisa, desenvolvimento e qualidade, a empresa investe até 3,5% do seu faturamento onde

financiam projetos destinados na busca de ser o fornecedor preferencial de soluções para uma melhor qualidade de vida, maior eficiência energética, menor nível de ruído e maior desempenho em se tratando da qualidade.

4.3. Processo Produtivo da Empresa

O planejamento de produção é executado conforme os pedidos em carteira provenientes do setor de vendas. Neste momento origina-se em um banco de dados um plano mestre de produção que é importado para um sistema onde este sugere um plano mestre de produção com tecnologias de “capacidade finita” priorizando os modelos de produtos a serem produzidos dentro das famílias destes, obedecendo a restrições de processo, clientes, datas de entregas no cliente, datas dos roteiros dos navios entre outros. A partir deste ponto o plano mestre sugerido é analisado por analistas de planos macros de produção e, sendo aprovado, este é exportado para o sistema em forma de documento chamado ordens de produção (OP) onde é executado o MRP (Master Resource Planning) para todos os processos da fábrica. Após todo esse processo, as ordens de produção são liberadas na montagem final pelo setor de PCP (Planejamento e Controle da Produção) em software supervisorio que assim é distribuído para os recursos disponíveis, de acordo com as restrições cadastradas via receita, para cada recurso, chamados de “tecnologias”. Em seguida, as ordens de produção são executadas utilizando os conceitos da manufatura enxuta.

Em função das características do produto, existem muitos processos produtivos distintos que são denominados “Unidades Gerenciais Básicas”. A figura 4.1 representa o processo produtivo dos compressores herméticos. A descrição sucinta dos processos é a seguinte:

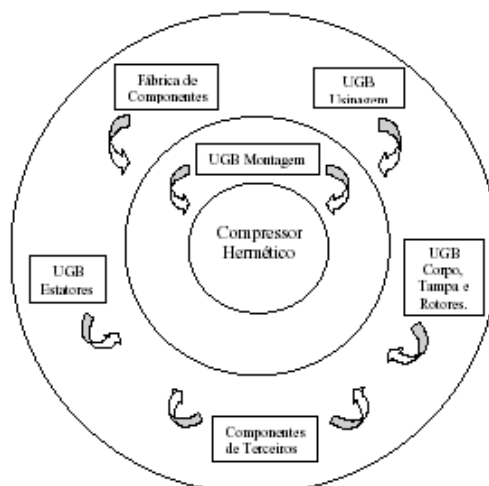


Figura 4.1 – Fabricação do Compressor Hermético

- UGB Estatores - neste setor é produzido o motor elétrico do compressor hermético.
- UGB Rotores - neste setor é produzido o rotor, que tem a função de fornecer a rotação utilizada pra movimentação do kit mecânico de compressão do gas refrigerante. Também é produzida a tampa do cilindro de bloco.
- UGB Corpo e tampa - neste setor é produzido a carcaça do compressor (corpo e tampa).
- UGB Usinagem - neste setor são produzidos os componentes usinados do compressor (eixo, pistão, bloco, bielas, bucha e placa válvula).
- Fábrica de componentes - neste setor são produzidos todas as tuberias existentes no compressor, além da fundição dos componentes de ferro fundido e da estampagem das lâminas do estator e rotor.
- Componentes de Terceiros - todos os demais componentes do compressor são fornecidos por terceiros e administrados por um setor denominado gestão de materiais.
- UGB Montagem - todos os componentes são direcionados para este setor, onde acontece toda a montagem do compressor hermético.
- Expedição - neste setor é feita a embalagem final dos compressores.

4.4. Unidade Gerencial Básica – Montagem

Nesse setor da fábrica, se tem quatro linhas de montagem e a proposta do estudo contempla uma delas onde esta têm características específicas que diferem dos produtos montados nas outras linhas. A definição do produto a ser montado em cada linha são definidas geralmente pelo tipo de cliente ou segmento do mercado a serem atendidos.

O motivo que leva à confecção do modelo de simulação de um das linhas é o de existir outra linha com estações e características técnicas bastante parecidas, porém, com eficiência produtiva bastante baixa quando comparadas, uma vez que poucos modelos de produtos existe a restrição de produzir em somente em uma das duas células produtivas.

O funcionamento da logística dessas linhas são de forma idêntica no que diz respeito aos transportadores entre estações de trabalho e no abastecimento dos componentes que serão montados até que o produto esteja acabado. A logística e layout da célula produtiva atual da pré-montagem a ser modelada pode ser visto na abaixo.

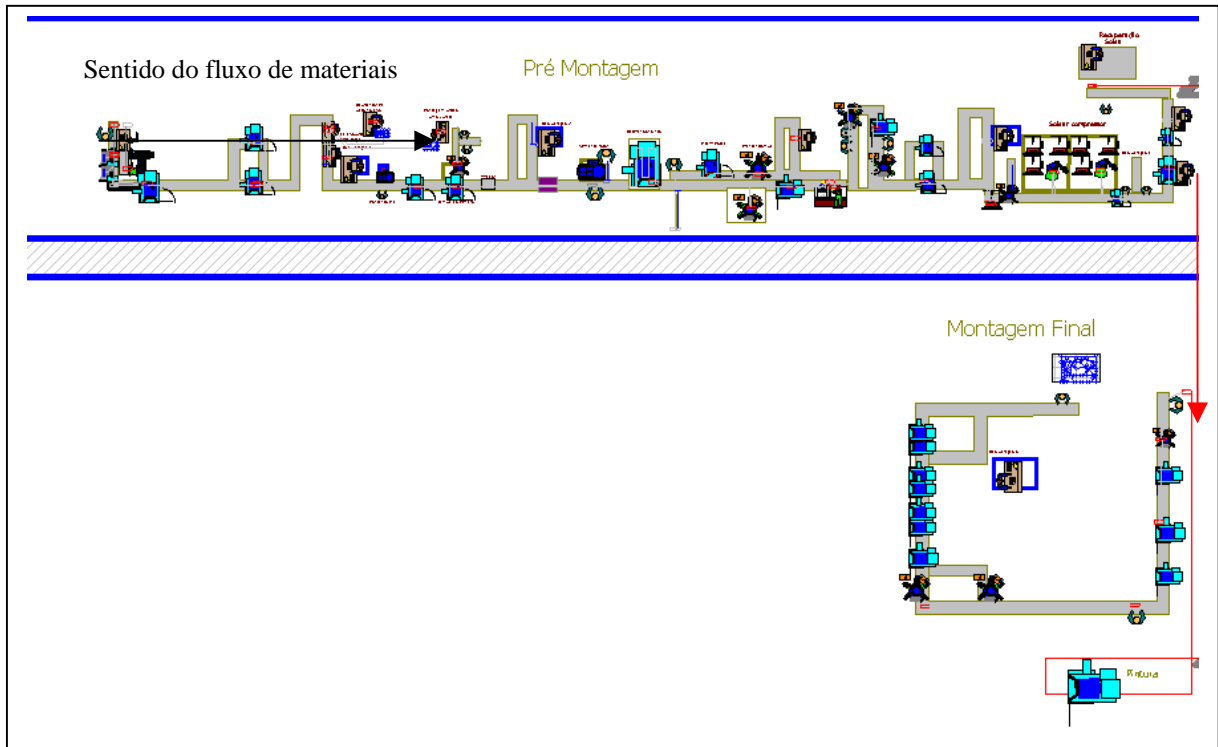


Figura 4.2 – Fabricação do Compressor Hermético

No início da linha chegam apenas dois componentes principais do compressor que são o motor elétrico, sendo esse responsável de produzir o movimento do conjunto mecânico internamente e o bloco usinado sendo responsável de sustentar toda parte mecânica do conjunto.

Estes componentes são alimentados pelos operadores nas esteiras rolantes automáticas sendo processados numa seqüência de quatro máquinas automáticas separadas por buffers entre estas com capacidades que variam de um buffer para outro. Na seqüência, esse conjunto chega automaticamente por esteiras automáticas para outras estações que são adicionados manualmente ou não outros componentes mecânicos que chegam através de AGV's (Automated Guided Vehicle) ou trazidos de empilhadeiras até que em certo ponto da linha onde todos os componentes serão montados. A partir desse último processo de agregação de componentes, o kit passa por vários testes em estações automáticas que podem ou não sofrer retrabalho. Passando nos testes, o compressor é lacrado pelo processo de solda elétrica onde é

testada a efetividade da mesma podendo ser novamente retrabalhado ou rejeitado. Após esse ponto, o compressor passa pelas cabines de pintura e montagem final respectivamente, onde nesta etapa final, são agregados ou não mais componentes que dependem do cliente e segmento do mercado, sendo finalmente testado e despachado para o depósito ou expedição.

Atualmente, o volume de produção mensal dessa linha é bastante alto com ciclos em torno de 8,5 segundos. A produção mensal está mostrada na figura 4.3

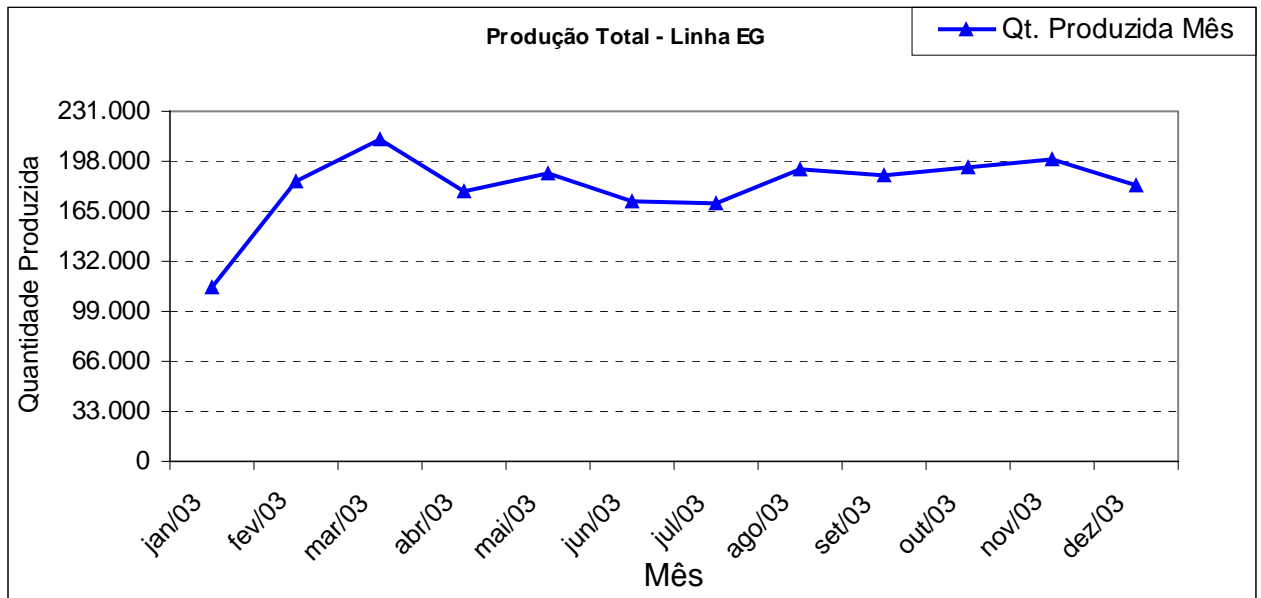


Figura 4.3 – Gráfico da produção mensal da linha

4.5. Definição dos Objetivos e Metas

As metas definidas com a análise do sistema em questão correspondem àquelas mencionadas no capítulo anterior, com algumas considerações a fazer após análise dos especialistas em manufatura participantes do estudo:

1. Aumentar o fluxo de produção, ou seja, aumentar a quantidade total produzida em pelo menos 15%, sendo este o mais importante, uma vez que a organização está perdendo os embarques dos compressores em navios por não estarem prontos na data prevista em função da baixa produtividade da linha em estudo, portanto, o nível de importância dessa meta é alto;
2. Reduzir o LeadTime da linha quando possível – essa meta fica em segundo lugar na importância pelos motivos citados na meta acima.
3. Aumentar a utilização dos recursos produtivos

O objetivo principal da seleção das metas acima é nada mais que a redução dos custos de fabricação e seu atendimento será avaliado pelos parâmetros de medidas de desempenho.

4.6. Definição dos Parâmetros de Entrada

Como descrito no capítulo anterior, os parâmetro de entrada do modelo correspondem as informações da situação atual do sistema que se encontra em banco de dados, à saber:

- Capacidade dos buffers;
- Tempo de setup;
- Porcentagem de reprocesso;
- Tempo padrão das operações;
- Tamanho médio dos lotes de produção;
- Índices de manutenção por operação.

De acordo com as medidas feitas por técnicos cronometristas, calcula-se a capacidade nominal da mesma para efeitos de carga-máquina e carga-homem. Pelos valores da capacidade nominal de produção calculada a partir dos tempos padrões pela técnica de cronometragem é calculado a meta de produtividade em peças produzidas por hora. O valor da meta de produtividade provém dos valores históricos das interrupções da linha por motivos de trocas de tipo, manutenções e problemas de qualidade que estão armazenados em bancos de dados da empresa. A figura 4.4 mostra o gráfico com os tempos padrão da linha.

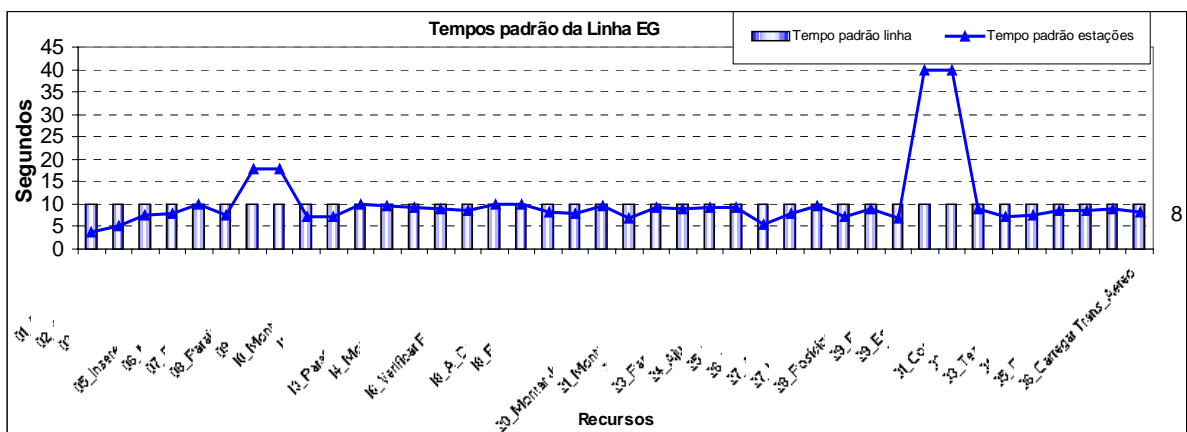


Figura 4.4 – Gráfico dos tempos padrões das estações e da linha

A capacidade nominal da linha de produção tem como base a menor capacidade do conjunto de estações que compõem a linha. A figura 4.5 mostra o gráfico com a capacidade nominal em produção por hora da linha em estudo.

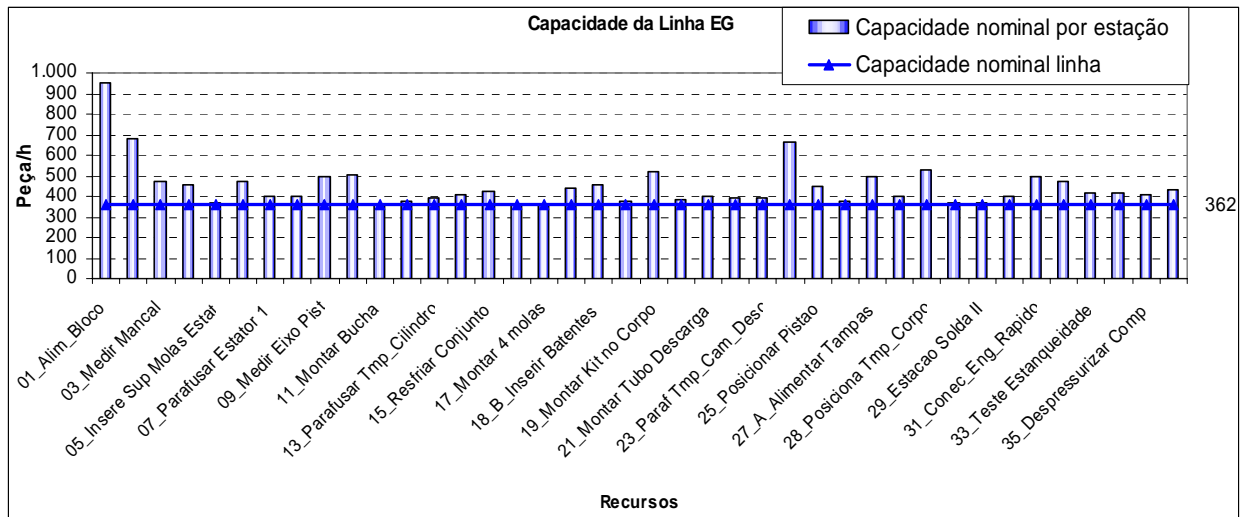


Figura 4.5 – Gráfico produção horária nominal das e estações e da linha

A figura 4.6 com o gráfico abaixo mostra que a linha em estudo detém uma meta de produtividade de 89%, em outras palavras, a linha tem com meta de perdas de produtividade de 11%. Os fatores que geram essas perdas são as interrupções da linha por motivos de trocas de tipo, manutenções e problemas de qualidade.

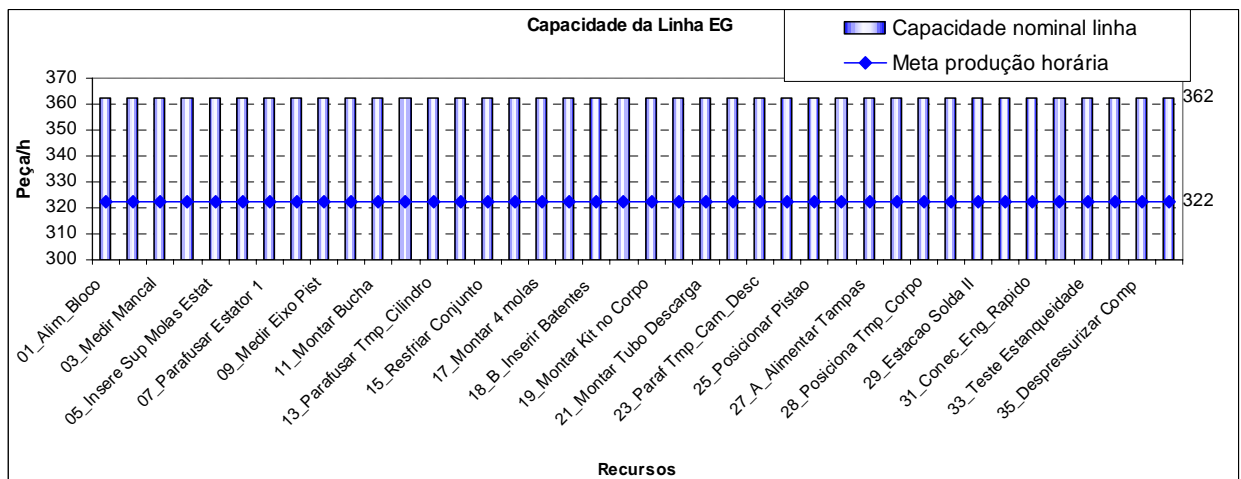


Figura 4.6 - Gráfico da meta em produção por horária.

Na sequencia é mostrado as tabelas resgatadas do banco de dados da empresa no que diz respeito aos índices de reprocesso total da linha, tempo médio para efetuar uma troca de

tipo e o tempo entre as trocas, índices de manutenção da linha e a capacidades das esteiras transportadoras que fazem papel de buffers entre as estações de trabalho.

➤ Gráfico de reprocesso da linha

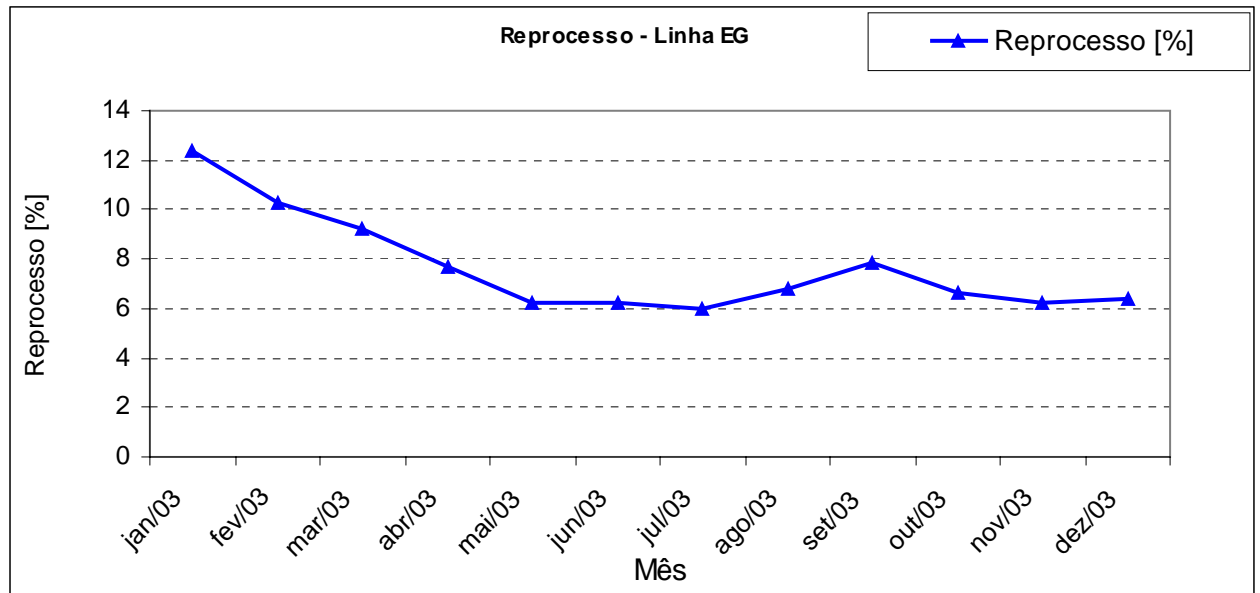


Figura 4.7 - Gráfico de reprocesso da linha

➤ Tempo médio entre troca de tipo

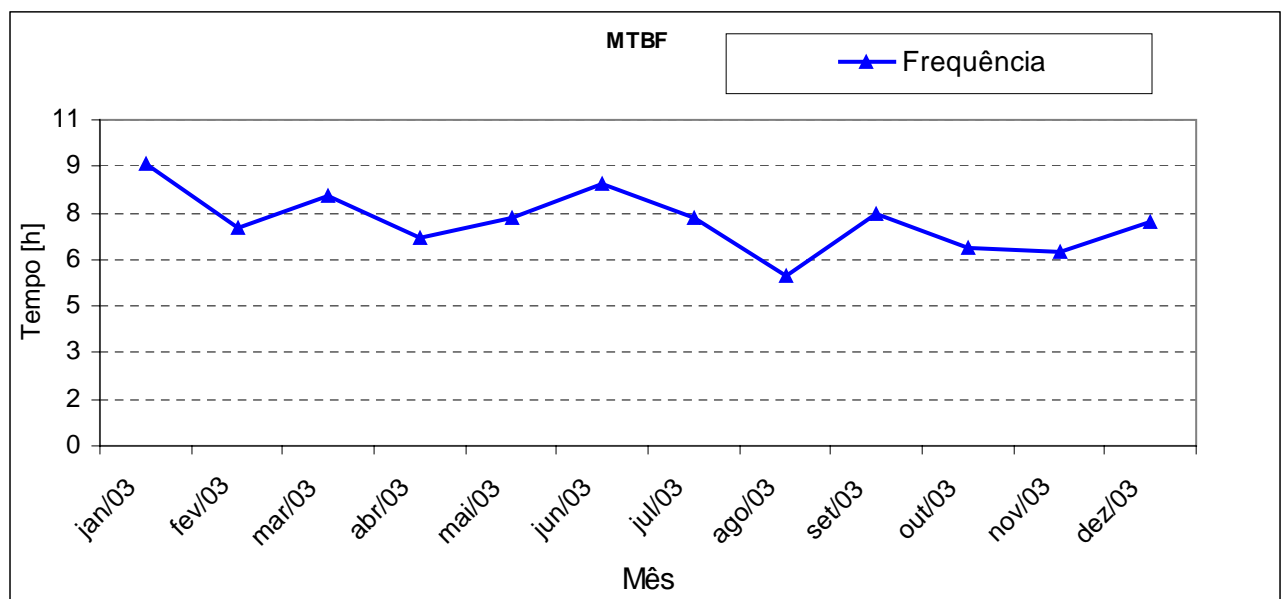


Figura 4.8 - Gráfico tempo médio entre troca de tipo

- Tempo médio para efetuar uma troca de tipo

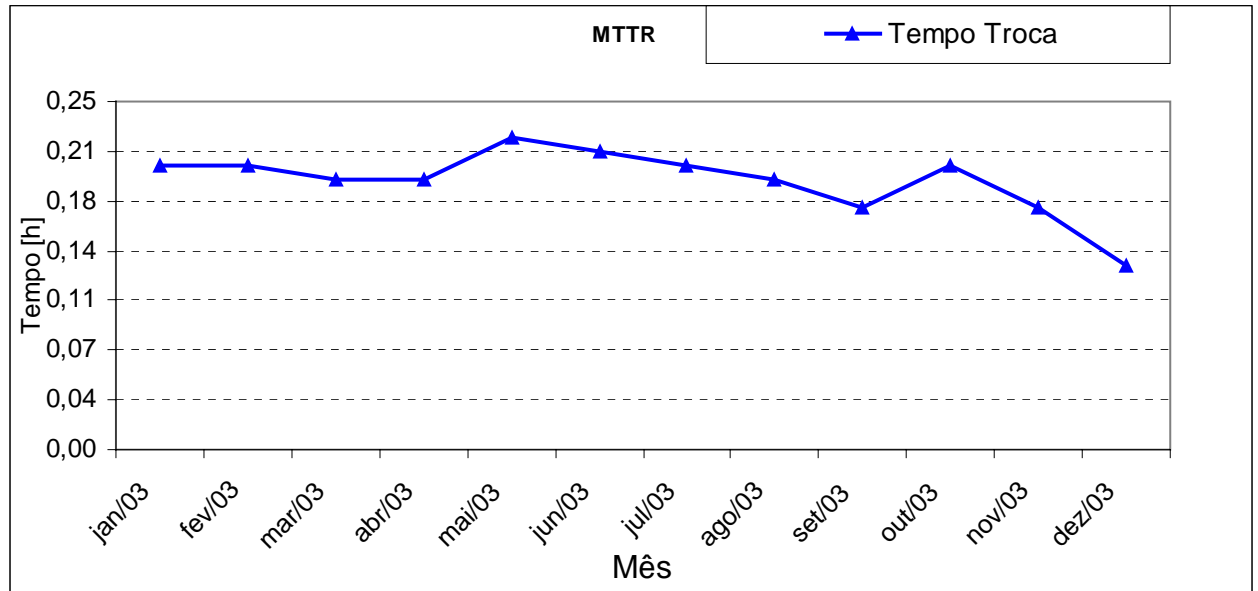


Figura 4.9 - Gráfico tempo médio para efetuar uma troca de tipo

- Paradas da linha por manutenção

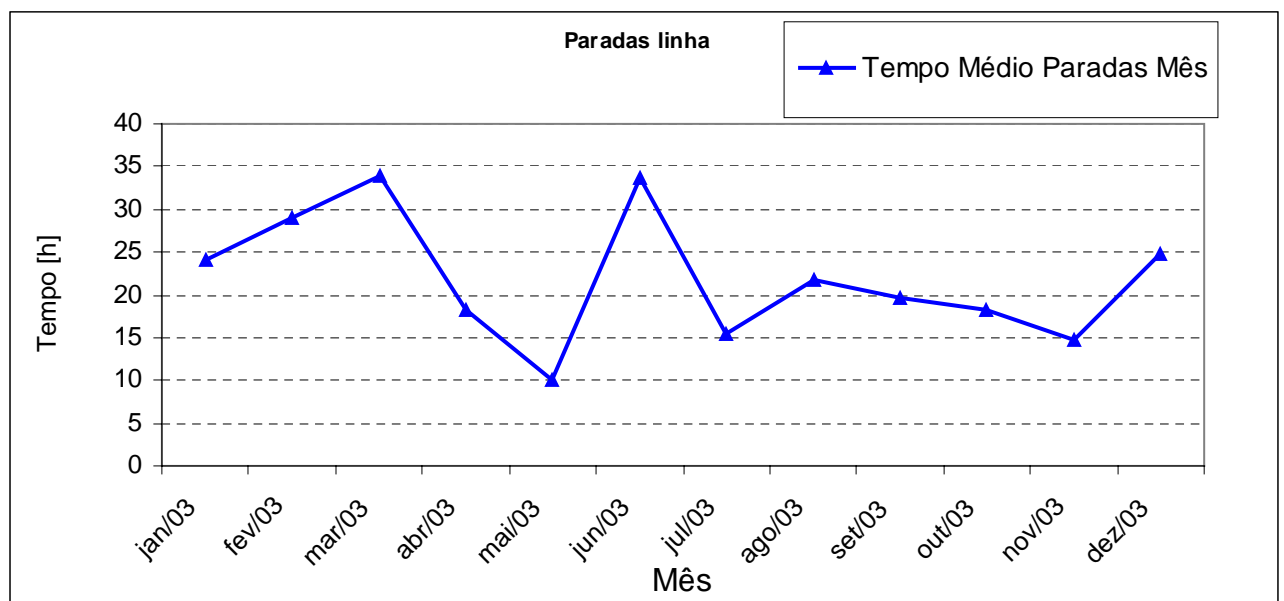


Figura 4.10 - Gráfico paradas da linha por manutenção

➤ Capacidade dos buffers para o layout atual

CAPACIDADE ATUAL DOS BUFFERS EM PALLET'S			
CAPACIDADE DOS BUFFERS EM PALLET'S		CAPACIDADE DOS BUFFERS EM PALLET'S	
	Layout atual	Buffer 18	14
Buffer 1	2	Buffer 19	9
Buffer 2	2	Buffer 20	8
Buffer 3	26	Buffer 21	16
Buffer 4	21	Buffer 22	21
Buffer 5	10	Buffer 23	8
Buffer 6	14	Buffer 24	14
Buffer 7	11	Buffer 25	32
Buffer 8	12	Buffer 26	14
Buffer 9	2	Buffer 27	10
Buffer 10	2	Buffer 28	8
Buffer 11	27	Buffer 29	15
Buffer 12	16	Buffer 30	12
Buffer 13	25	Buffer 31	20
Buffer 14	6	Buffer 32	16
Buffer 15	8	Buffer 33	35
Buffer 16	13	Buffer 34	16
Buffer 17	8	Buffer 35	5

Tabela 1 – Capacidade dos buffers entre estações de trabalho

4.7. Medida de Desempenho para o Processo

A problemática posta em questão na célula de pré-montagem da linha foi colocada pelo setor de PCP junto à gerência da fábrica que a eficiência produtiva sempre era menor que outras linhas, caindo mais ainda quando uma subfamília era programada para produzir nesta mesma linha produtiva. Baseando-se nas informações do setor de PCP e engenharia de fábrica, o modelo proposto não deveria medir o desempenho sobre as variáveis de controle de chegada de componentes na linha, nas faltas de mão-de-obra para processamento, de insumos, de ferramentas, trocas de ferramentas e ainda as paradas administrativas como, por exemplo, refeições, alongamentos, reuniões de cinco minutos no início de cada turno de trabalho, sendo que, as variáveis participantes dos objetivos da medição do desempenho do sistema em questão correspondem àquelas mencionadas no capítulo anterior, com exceção da taxa de utilização dos buffers e taxa de bloqueio dos recursos porque estas são conseqüências dos resultados das variáveis de saída que serão consideradas, portanto, serão consideradas:

- Volume de produção - O volume de produção tem como objetivo medir a quantidade de produtos fabricados num determinado período medidos em peças produzidas por hora a qual é chamada na empresa em questão de produtividade. O volume de produção deve ser visto como a quantidade de produtos fabricados e vendidos interna ou externamente, dentro do conceito de produção puxada;

- LeadTime produtivo – É a diferença de tempo que leva desde a solicitação de um determinado item até que ele seja entregue ao cliente;
- Taxa de utilização dos recursos – analisada isoladamente pode induzir à produção excessiva para os estoques em sistemas desbalanceados. O enfoque convencional de maximização da taxa de utilização das máquinas encoraja a compra de equipamentos modernos com base apenas na velocidade de fabricação, dificultando a formação de células. A taxa de utilização das máquinas deve estar associada ao desempenho global do sistema;
- WIP – A quantidade de peças em processo nos buffers necessários para atender uma determinada demanda relaciona-se, de forma direta, com a eficiência do sistema produtivo ou o balanceamento do mesmo, pois quanto maior o nível de estoques intermediários maiores os custos diretos e indiretos associados aos produtos fabricados, indicando um certo grau de ineficiência do sistema.

4.8. Desenvolvimento do Modelo de Simulação

Nesta seção, será apresentado o modelo computacional proposto e desenvolvido para ser utilizado no estudo em questão, citando as particularidades que foram assumidas na confecção do mesmo como mencionadas na revisão de literatura anteriormente, o nível de complexidade de um modelo computacional está diretamente relacionado aos objetivos deste, sendo claros desde o início do estudo.

O modelo foi elaborado utilizando um sistema de manufatura enxuta onde é voltada para a otimização da produção baseado na produção focalizada, no nivelamento da produção, na redução do readmitos produtivos, na fabricação em pequenos lotes ou lotes mínimos, na redução das trocas de modelos, na manutenção preventiva e preditiva, na polivalência da mão-de-obra, e na agregação de valores ao produto sendo estes, medidores de desempenho responsáveis pela redução ou aumento dos custos de produção. Portanto, faz-se a utilização de alguns indicadores de desempenho para verificação dos objetivos propostos e usa-se a simulação computacional como ferramenta de análise para alguns parâmetros do sistema e dos indicadores de desempenho.

Os objetivos são de identificar as principais características e comportamento do sistema objetivando a determinação das variáveis e desenvolvendo condições de controle para adequação às características do processo em estudo. Nessa fase planejou-se a coletados dos

dados reais do processo de produção como mostrado anteriormente com o intuito da geração de informações para análise e conclusões sobre o desempenho do processo através da técnica de projeto de experimentos. A análise e conclusões obtidas sobre o sistema em estudo serão feitas em conjunto com os especialistas em manufatura responsáveis pela área do processo em estudo (PCP) onde serão cruzadas as informações geradas pelo modelo e o histórico real ocorrido no mesmo período da coleta dos dados.

4.9. Execução das Simulações

A abordagem empregada para análise dos resultados do modelo na situação atual em questão é de sistemas não-terminais onde normalmente as variáveis passam por um estado inicial transiente que dependem das condições iniciais, não existindo um ponto definido em que o comportamento mude de transiente para permanente. Portanto, na análise dos resultados da simulação desses sistemas, as observações que são influenciadas pelo estado inicial do modelo devem ser desconsideradas (warm-up), pois o interesse da análise está no desempenho do sistema quando o mesmo se encontra em regime. Para a execução do modelo, algumas variáveis devem ser consideradas depois do estado transiente e que por definição da equipe técnica, estas variáveis são:

- O preenchimento dos transportadores que funcionam como buffers entre as estações;
- Os estoques em processo de componentes para a montagem estão cheios;
- Os operadores dos postos de trabalho não têm fase de warm-up pós-paradas administrativas.

No layout atual, os buffers entre as estações estarão modelados com capacidade idêntica à capacidade atual do processo.

Após a execução das simulações, faz-se necessário à análise dos resultados da situação atual onde o foco são as variáveis respostas do modelo no sentido de fazer os ajustes como mostrado no fluxograma do processo de modelagem no capítulo anterior. Após várias rodadas para que se façam esses ajustes, o modelo deve ser validado por parte dos especialistas de manufatura da área em estudo na empresa, avalia-se o desempenho do sistema real, obtendo-se algumas informações que se julgue relevante e, a partir dessa fase, definem-se os fatores para aplicação da técnica estatística do projeto experimental, onde alterações controladas são

realizadas sobre os fatores definidos, possibilitando a observação e as causas das mudanças ocorridas sobre as variáveis respostas.

4.10. Análise dos Resultados (Processo atual)

De acordo com os dados obtidos na fase de coleta de dados, foi possível comprovar que o modelo elaborado para representar o processo em questão reflete a realidade do mesmo, sendo que os resultados foram avaliados pelos especialistas de manufatura da fábrica. Os resultados para o volume de produção em peças por hora para o processo atual estão mostrados no gráfico abaixo.

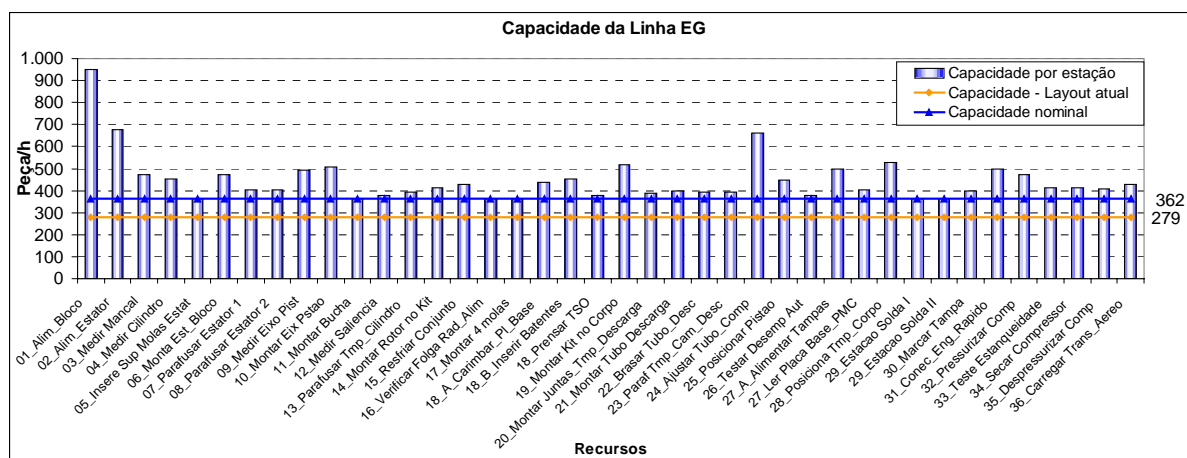


Figura 4.11 – Capacidades nominal x simulada linha montagem

Observando o gráfico acima, pode-se notar que o índice de desempenho “volume de produção”, mostra a capacidade de 279 peças por hora, valor este que difere da produtividade real em 1,66%, ou seja, a produtividade real no período foi de aproximadamente 284 peças por hora. Em relação à capacidade nominal da linha, podemos dizer que esta trabalha com produtividade de 77,1% e a linha de produção é programada para faturamento durante a fase de orçamento da empresa em 82,0% de produtividade sendo que a velocidade meta é de 296,8 peças por hora. O presente trabalho tem objetivo atingir pelo menos 89% até o ano de 2005. Portanto nota-se que é necessário à tomada de ações para incrementar a produtividade da linha em questão.

Para o indicativo WIP, que considera a quantidade de peças nos buffers, o gráfico da figura para o processo é mostrado no gráfico abaixo.

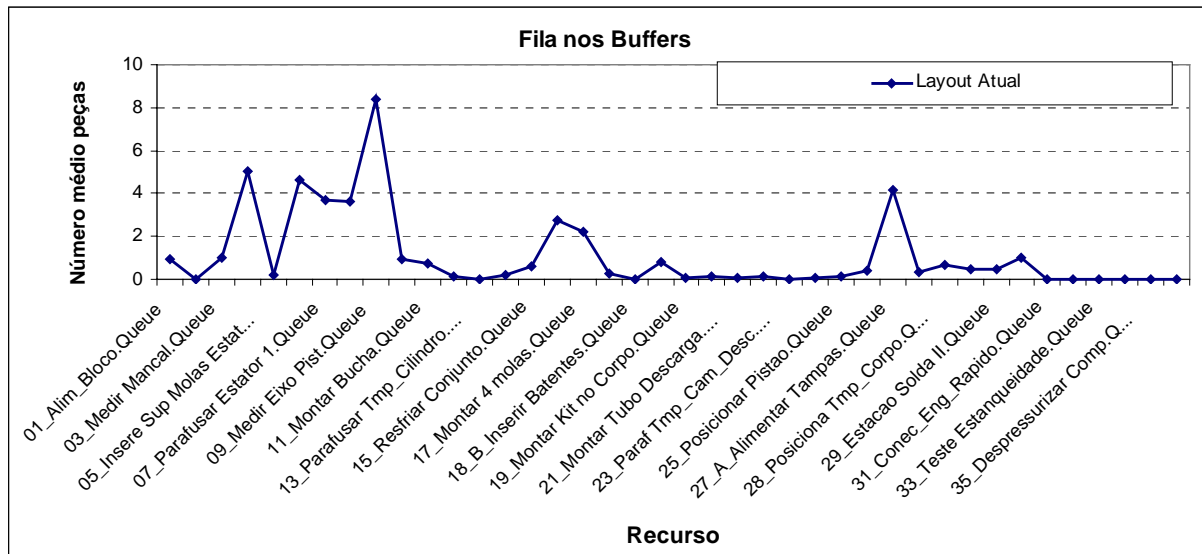


Figura 4.12 – WIP por estação simulado

Observando o gráfico acima, pode-se notar que para a produtividade atual da linha temos um acúmulo médio de palets maior em estações específicas no início da linha, mostrando que algumas estações podem estar com a capacidade de fluxo reduzida em relação às outras. Principalmente nas estações que precedem à medição do eixo e pistão no layout atual, a figura mostra um acúmulo maior de peças esperando para serem processadas.

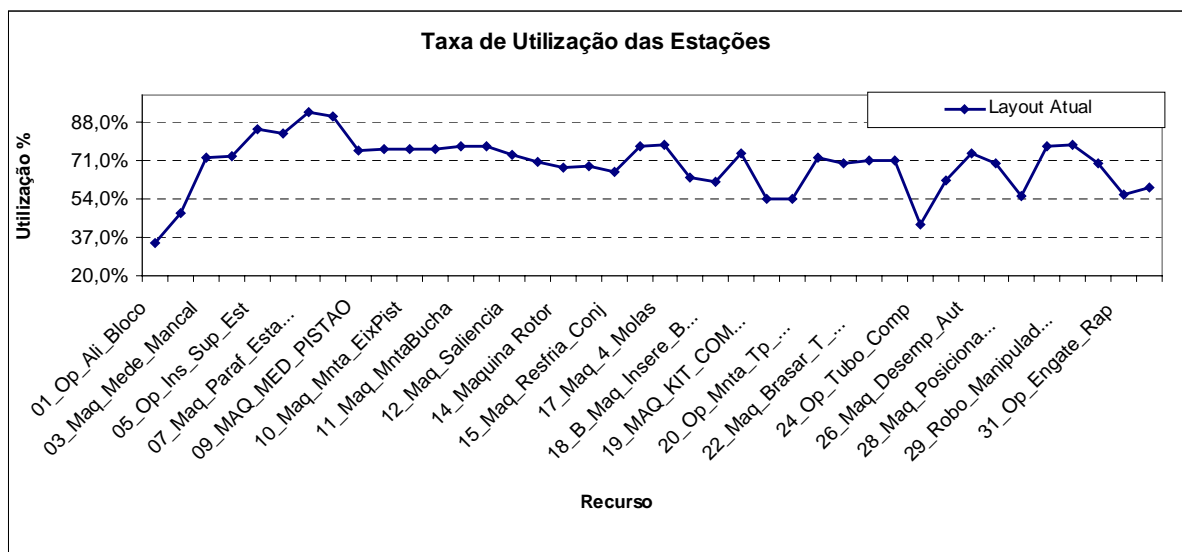


Figura 4.13 – Taxa de utilização por estação simulado

A figura acima, mostra que as estações estão com taxa média de utilização abaixo do índice programado para a fase de orçamento para os programas de produção como mencionado anteriormente que é de 82,0% para esta linha, portanto, a capacidade de fluxo em peças por hora está menor que o programado. Algumas dessas estações se mostram com taxa de utilização maior que o programado, dessa maneira pode-se deduzir que estas estações de trabalho estão sofrendo o efeito da falta espaço nos transportadores buffers subsequentes e sendo assim, se faz necessário à análise da taxa de bloqueio das estações da linha para diagnóstico dos motivos que levam a mesma ter este comportamento. A figura 4.14 mostra a o resultado da simulação com a taxa de bloqueio das estações.

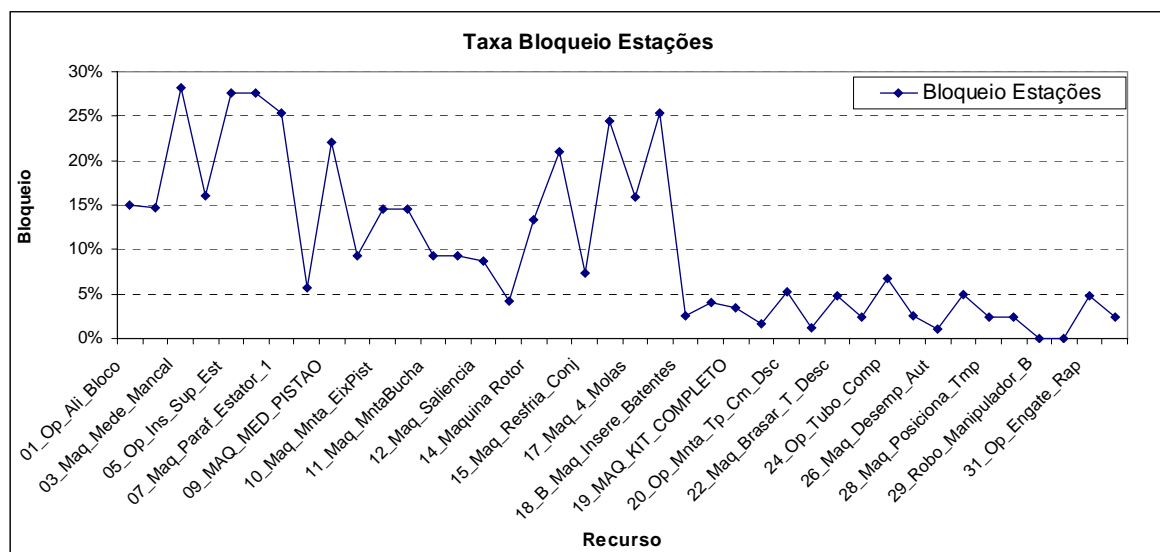


Figura 4.14 – Taxa de bloqueio por estação simulado

A figura mostra que para algumas estações no layout atual, ocorrem interrupções no fluxo de peças com mais freqüência, fazendo com que as estações retenham as peças prontas até que se tenha espaço físico nas estações subsequentes e conseqüentemente nos buffers transportadores, portanto, pode-se notar que as perdas de capacidade podem ser consideravelmente altas. O fato das estações que estão posicionadas da metade da linha para frente não ocorre o fenômeno de bloqueio com freqüência, ou seja, esta situação mostra que a capacidade das últimas estações é maior que as estações iniciais. Este fato pode ocorrer por vários fatores tais como desbalanceamento no ciclo das estações, taxa de freqüência das falhas para cada estação (MTBF), tempo necessário para reparar uma falha (MTTR), freqüência das trocas de modelos, etc.

4.11. Conclusão (Processo atual)

Frente às diversas variáveis que podem influenciar dinamicamente a capacidade do processo em questão, decidiu-se elaborar variações do modelo para obtenção da melhor resposta sem se preocupar com a viabilidade em área física ou econômica.

Ao observar os gráficos anteriores, nota-se que a capacidade individual das primeiras estações é relativamente alta quando comparada com as demais, porém, por motivos diversos, ocorre à queda de fluxo na linha como mostrado anteriormente, isto porque, algumas estações estão com seus buffers trabalhando com taxa de utilização bastante altas, podendo ser fator decisivo caso ocorra algum tipo de anomalia, interrupções nas estações subsequentes, interrupções na linha ou ainda desbalanceamento de capacidades entre estações podendo ocasionar a interrupção do fluxo.

Para melhor compreender o comportamento do sistema e antes da tomada de decisões precipitadas, se faz o uso da técnica já apresentada no capítulo anterior e comentada no item 4.9 deste capítulo que é o projeto de experimentação.

4.12. Aplicação da Técnica de Projeto de Experimentação

Para a aplicação dessa técnica se faz necessária à definição dos fatores que são as variáveis de entrada que podem ser controladas e que podem afetar ou não as variáveis definidas como respostas.

Os fatores selecionados para o trabalho correspondem àqueles que a equipe definiu como mais prováveis de terem contribuição para o atendimento ou não das metas, a saber:

- Tempo de setup
- Capacidade dos buffers;
- Tempo entre setup;

Para o estudo, foi escolhido o uso da estratégia de projeto fatorial com replicações onde a vantagem está no fato de todas as combinações possíveis serem analisadas para os fatores definidos. O número total de ensaios para a estratégia selecionada é função da quantidade de fatores definidos para o estudo, ou seja, $2^n \cdot r$ (n = número de fatores, r = nº replicações).

De acordo com a estratégia, o número total de ensaios para o projeto de experimento no trabalho para 3 replicações é de $2^3 \times 3 = 24$ experimentos.

Cada fator deve apresentar pelo menos dois valores denominados níveis e, no trabalho, os valores atribuídos para os níveis de cada fator é definido a partir dos resultados mostrados na análise dos resultados do sistema atual. O nível –1 representa os valores do sistema atual.

- Fator A - Tempo entre setup (MTTR) : Esse fator mede a quantidade de tempo em minutos para se fazer uma troca de tipo. O nível 1 propõe a redução desse tempo e consequentemente o aumento na disponibilidade da linha para produção.

Nível –1: 11,3 minutos

Nível 1: 5,7 minutos

- Fator B - Capacidade dos buffers: Este fator expressa o número de palets entre cada estação de trabalho que dependendo da eficiência das estações anterior e posterior ao buffer, se faz necessário maior ou menor quantidade de palets fazendo papel de estoque amortecedor. Atualmente, nas estações totalmente automáticas, o número médio de palets são 13.

Nível –1: 13 palets

Nível 1: 20 palets

- Fator C - Tempo entre setup (MTBF): Esse fator mede a frequência em minutos da ocorrência de uma troca de tipo nível 1 propõe a redução dessa frequência e consequentemente o aumento do tamanho dos lotes de produção.

Nível –1: 461 minutos

Nível 1: 922 minutos

Em seguida tem-se a tabela 2 que mostra a quantidade de experimentos realizados onde são feitas combinações variando um a um para três replicações totalizando vinte quatro experimentos.

Fator	A	B	C
Experimento	Tempo de setup	Capacidade buffers	Tempo entre setup
1	1	1	1
2	-1	1	1
3	1	-1	1
4	-1	-1	1
5	1	1	-1
6	-1	1	-1
7	1	-1	-1
8	-1	-1	-1

Tabela 2 – Experimentos realizados

4.13. Medidas de Desempenho Obtidas no Experimento

Para cada variável de resposta dos experimentos, têm-se os resultados dos valores das contribuições de cada um dos fatores e de suas combinações sobre as variações da variável de resposta. Os resultados são mostrados nas tabelas abaixo.

Produção	
SQA =	2,4%
SQB =	32,2%
SQC =	0,8%
SQAB =	11,3%
SQAC =	33,4%
SQBC =	13,3%
SQABC =	6,1%
SQErros =	0,7%
SQT =	100,0%

Tabela 3 – Resultado dos efeitos dos fatores para produção

Os resultados apresentados na tabela 3 mostram que 34,5% da variação dos resultados da variável de resposta produção são de responsabilidade dos fatores individuais e 64,0% é devido às combinações dos três fatores. Isoladamente, o principal fator responsável pela variação é o fator B (Capacidade dos buffers) com aproximadamente 32,2%, já na interação entre os fatores temos como responsável o fator A (Tempo de setup) com o fator C (Freqüência setups). A soma das contribuição de todos os fatores é de 99,3%.

Leadtime	
SQA =	60,6%
SQB =	5,1%
SQC =	27,2%
SQAB =	1,1%
SQAC =	1,4%
SQBC =	1,3%
SQABC =	0,2%
SQErros =	3,2%
SQT =	100,0%

Tabela 4 – Resultado dos efeitos dos fatores para leadtime

Os resultados apresentados na tabela 4 mostram que 92,8% da variação dos resultados da variável de resposta leadtime são de responsabilidade dos fatores individuais e 4,0% é devido às combinações dos três fatores. O principal fator responsável pela variação é o fator A (Tempo de setup) com aproximadamente 61%. A soma das contribuições de todos os fatores é de 96,8%.

Utilização	
SQA =	38,8%
SQB =	14,4%
SQC =	9,8%
SQAB =	8,8%
SQAC =	12,2%
SQBC =	8,9%
SQABC =	4,5%
SQErros =	2,7%
SQT =	100,0%

Tabela 5 – Resultado dos efeitos dos fatores para utilização

Os resultados apresentados na tabela 5 mostram que 63,0% da variação dos resultados da variável de resposta utilização são de responsabilidade dos fatores individuais e 34,4% é devido às combinações dos três fatores. O principal fator responsável pela variação é o fator A (Tempo de setup) com aproximadamente 39%. A soma das contribuições de todos os fatores é de 97,3%.

WIP	
SQA =	83,2%
SQB =	3,6%
SQC =	10,4%
SQAB =	0,2%
SQAC =	0,6%
SQBC =	0,5%
SQABC =	0,0%
SQErros =	1,6%
SQT =	100,0%

Tabela 6 – Resultado dos efeitos dos fatores para WIP

Os resultados apresentados na tabela 6 mostram que 97,2% da variação dos resultados da variável de resposta WIP são de responsabilidade dos fatores individuais e 1,2% são devido às combinações dos três fatores. O principal fator responsável pela variação é o fator A (Tempo de setup) com aproximadamente 83,0%. A soma das contribuições de todos os fatores é de 98,4%.

Comparando-se os efeitos dos três fatores individuais e suas interações para as variáveis de resposta, pode-se concluir que o fator que tem maior influência sobre os resultados é o tempo das trocas e, em segundo lugar é a capacidade dos buffers. Em terceiro lugar está a frequência das trocas tendo este, a responsabilidade muito próximo do segundo lugar.

As médias dos resultados para os experimentos realizados são mostrados na tabela 7.

Experimento	Produção(un.)	Leadtime(min.)	WIP(un.)	Taxa de utilização
1	71689	54	1160	90%
2	71281	33	953	86%
3	63548	40	926	81%
4	71146	31	822	87%
5	70479	28	549	85%
6	67499	19	148	81%
7	70021	25	368	85%
8	67217	19	145	81%

Tabela 7 – Experimentos realizados

A tabela 7 mostra os resultados para cada experimento totalizando oito e, para cada variável resposta tem-se uma coluna com os valores médios. Observa-se que a variável resposta “produção” teve melhores valores nos experimentos 1, 2 e 4 sendo os valores muito próximos. Já para as variáveis respostas “LeadTime” e “WIP”, o melhor resultado foi no oitavo experimento. Para a taxa de utilização obteve-se o melhor resultado no experimento 1.

Os valores que as variáveis respostas assumiram para todos experimentos mostram uma certa correlação entre elas, porque quando comparadas, percebe-se que quanto maior a produção, maior é a taxa de utilização dos recursos produtivos, maior também é o LeadTime e os estoques amortecedores (WIP).

Inicialmente a meta estabelecida para o trabalho era de aumentar o volume de produção, aumentar a taxa de utilização dos recursos, reduzir o LeadTime e os estoques amortecedores, sendo a primeira meta a mais importante do trabalho.

O melhor resultado é o experimento 1 produzindo 71.689 peças para o período simulado. Os experimentos com valor de produção inferior a 70.308 unidades devem ser desprezados do estudo porque de acordo com a tabela 8, não atendem as metas para a variável de resposta volume de produção.

Meta real da linha		
meta linha	322	peças / hora
horas dia	24	horas
meta produção	70.308	unidades produzidas

Tabela 8 – Meta real de produção para o período simulado

Os melhores resultados das combinações dos níveis dos fatores para cada variável de resposta são mostrados na tabela 9.

	Tempo de setup	Capacidade buffers	Tempo entre setup
Produção(un.)	1	1	1
Leadtime(min.)	-1	-1	-1
WIP(un.)	-1	-1	-1
Taxa de utilização	1	1	1

Tabela 9 – Resumo dos melhores níveis para os fatores

4.14. Resultados Obtidos no Experimento

De acordo com a tabela 9 e as considerações feitas sobre o objetivo principal do experimento citado anteriormente, a redução do tempo dos setups tem efeito decisivo na quantidade de peças produzidas e, por esse motivo, o nível adotado para o resultado final do trabalho será 1, ou seja, 5,7 minutos para cada troca de tipo, conseqüentemente, a capacidade dos buffers também fica com o nível estabelecido em 1 (20 palets) e o nível para o a freqüência das trocas de tipo fica com valor 1 (922 minutos).

O resultado para a configuração mencionada acima mostra que a produção era de 60.918 unidades e passou para 71.689 unidades para o período simulado, incrementando o volume de produção em 17,7 %, atingindo a meta principal estabelecida para a variável resposta.

4.15. Implementação das Mudanças

Após a avaliação dos principais fatores que afetam o desempenho do sistema e dos ganhos mostrados pela simulação, faz-se necessário o envolvimento das diversas áreas no sentido de mostrar a importância das mudanças para a efetivação dos ganhos apresentados no trabalho.

Deve-se reunir a equipe de marketing e vendas juntamente com a equipe de manutenção e processos para a definição de um plano de atividades, responsabilidades e prazos para as mudanças uma vez que, em função do tempo gasto para se estruturar e realizar toda essa alteração, se faz necessário um coordenador de projetos de médio prazo.

Quando se fala em reduzir o tempo das trocas de tipo, se fala em aumentar a disponibilidade da linha de produção, portanto, as equipes do suporte e manutenção precisam trabalhar em conjunto para a criação de idéias no intuito de gerar alternativas para as trocas como por exemplo dispositivos de trocas rápidas que são ferramentas da manufatura enxuta. Para reduzir a frequência com que ocorrem essas trocas, se fala em aumentar o tamanho dos lotes e, para tal, o departamento de vendas precisa trabalhar no sentido de impor restrições quanto ao tamanho dos pedidos e ou planejar esses pedidos.

O planejamento dos pedidos pode ocorrer fazendo um trabalho de otimização dos estoques de produtos acabados chamados “make to stock” onde é envolvido o cliente já na fase inicial de implantação com o intuito de ter uma melhor previsibilidade na demanda do cliente e conseqüentemente o controle do estoque na fábrica.

Para as alterações nas capacidades dos buffers que são as esteiras transportadoras entre estações, se faz necessário à programação da equipe de manutenção e suporte para a execução das alterações juntamente com o time de PCP, isto porque se faz necessário programar as paradas da linha que podem ser feitas tudo de uma só vez, que é o caso da ocorrência das férias coletivas ou, fazer em etapas nos feriados prolongados durante o ano.

As capacidades individuais de cada buffer podem ser recalculadas pelos especialistas fazendo alterações no modelo e simulando para obter a melhor configuração.

4.16. Considerações

Neste capítulo foi apresentado o estudo para aplicação de um método apresentado no capítulo 3 para avaliar o desempenho de um processo fabril. Inicia-se com os dados gerais da empresa, mostrando-se uma de suas linhas de produção e suas características atuais, posteriormente, a análise das variáveis do sistema através das técnicas de projeto de experimentos com o auxílio de um modelo de simulação discreta visando à busca de alternativas para as melhorias nesse sistema.

Foram percebidas melhorias significativas na variável resposta volume de produção onde esta era a meta de maior importância para o trabalho.

Capítulo 5 – Conclusões e Recomendações

5.1. Conclusões

Os sistemas produtivos para a manufatura enxuta estão sujeitos a uma grande variedade no mix de produtos, aumentando assim a complexidade dos sistemas. Muitas empresas têm sistemas que auxiliam o planejamento da produção como, por exemplo, os supervisórios de produção, scheduling, etc, porém, não levam em consideração as restrições relacionadas à rotina diária das empresas tais como a capacidade individual de cada recurso produtivo, as interações entre cada um desses recursos e a capacidade nominal de uma célula de acordo com o mix.

Portanto o planejamento gerado por tais sistemas podem não apresentar o desempenho esperado e a principal contribuição deste trabalho foi mostrar que com a utilização do método para a manufatura enxuta, se consegue expressíveis otimizações dos processos produtivos e podem-se usar dinamicamente para a tomada de decisões no dia a dia nas organizações inclusive em níveis estratégico.

Como o mercado consumidor vem exigindo cada vez mais variedades de produtos que possuam qualidade, confiabilidade e preços adequados, ou seja, a agregação de valores ao produto, estas exigências refletem diretamente nas linhas de produção das indústrias e consequentemente em toda cadeia logística.

Um dos grandes problemas ainda enfrentado pelas indústrias está na quebra dos conceitos ou paradigmas na cultura das pessoas. Inicialmente se enfrenta bastantes dificuldades quando é exposto uma alternativa para a melhoria dos processos de manufatura. Para que os esforços não caiam em descrédito por parte das pessoas envolvidas, se faz necessário um planejamento detalhado de todo o trabalho mostrando com os modelos computacionais os cenários que possibilitam a viabilidade das mudanças que serão propostas.

Os ciclos de vida dos produtos estão cada vez mais curtos e as exigências de aprimoramento e modernização constante dos produtos e processos são algumas das conseqüências que o mercado está impondo às indústrias e, além disso, a concorrência entre as empresas, à necessidade de tornar-se competitiva sob todos os aspectos, conduz a uma busca por soluções que tornem a produção eficiente.

A relação de custo/benefício atualmente, a produtividade e a qualidade são os objetivos mais perseguidos por todas as empresas no horizonte de curto prazo como forma de tornar seus produtos competitivos e adequar seus custos de produção.

Este trabalho teve como objetivo apresentar um método fazendo-se uso da simulação discreta como ferramenta de análise para avaliar o desempenho de um processo fabril em parte do processo de uma empresa do setor metal-mecânico catarinense.

A necessidade se fez pelo fato do não cumprimento das metas estabelecidas no planejamento estratégico. Outro ponto que se pode citar, é que o processo estudado possui tempo de ciclo de produção bastante baixo. Portanto, as ações de melhoria que reduzem esse tempo de ciclo propostas aqui, podem trazer ganhos para toda a organização, principalmente se estas ações forem replicadas para outras áreas.

Outro ponto importante do envolvimento das pessoas na aplicação do método, é a conquista da equipe no sentido de quebrar a resistência das pessoas frente às mudanças, disseminando a importância das ações para outros segmentos na manufatura e, com o tempo, mudando a cultura de toda organização.

Para dar suporte ao trabalho, na revisão bibliográfica foram apresentadas à fundamentação teórica ao desenvolvimento do trabalho com a revisão dos conceitos sobre manufatura enxuta, os sistemas de produção, focando na manufatura celular, nos seus conceitos e formas de avaliação do desempenho, nas mudanças através de um modelo de simulação discreta do processo em questão.

O método proposto para avaliação das mudanças no desempenho da linha de produção foi apresentado no capítulo 3 onde foram selecionados os parâmetros de entrada e as medidas de desempenho para o projeto de experimentos aplicados na manufatura utilizando um modelo de simulação discreta como ferramenta.

A aplicação do método foi apresentado no capítulo 4 onde foi mostrado o desempenho do processo para a situação atual através de um modelo da linha, obtendo-se informações importantes sobre o desempenho e os principais fatores que afetam a eficiência esperada.

Definiu-se os fatores para a aplicação da técnica estatística de projeto experimental onde alterações controladas foram realizadas sobre estes fatores possibilitando a observação e identificação dos motivos causadores das mudanças ocorridas sobre as variáveis de respostas.

Quando o retorno financeiro se dá no período de longo prazo, os investimentos podem se tornar inviável ou até ineficientes, que é quando as mudanças já não atendem as estratégias da organização. Sob essa ótica, pode-se usar o método no dia a dia, no plano tático e ainda em nível de planejamento estratégico de longo prazo.

O estudo e aplicação realizados em parte do processo de manufatura da organização foram de grande valia para a conscientização de que cada vez mais, este segmento necessita da utilização de métodos e ferramentas de diagnósticos para as melhorias nos processos,

portanto, o presente estudo é apresentado com o propósito da continuidade do método, pois se notou que em todo processo existem oportunidades e que pode auxiliar bastante nos trabalhos de melhoria contínua.

Os resultados dos cenários simulados mostram que nem sempre há necessidade de grandes alterações ou investimentos, isto porque, muitas dessas mudanças ou investimentos devem estar alinhadas ao plano estratégico da área em estudo e conseqüentemente da organização para o atendimento dos objetivos.

Pelo método proposto, algumas melhorias foram identificadas que podem proporcionar um aumento no número de peças produzidas em 17,7%, ou seja, de 60.918 unidades para 71.689 unidades no período de tempo considerado.

Dessa forma, as variáveis respostas LeadTime, estoques em processo (WIP) e taxa de utilização ficaram em segundo posição no que diz respeito ao nível de importância.

O atendimento da principal meta se deu ao custo da redução nos tempos dos setups, na frequência dos mesmos e na alteração da capacidade dos buffers sendo que, o primeiro fator, tem efeito decisivo na quantidade de peças produzidas.

Os ganhos citados acima são considerados bastante altos se comparados com o histórico da evolução na capacidade de produção da organização. Os resultados da utilização do método mostram para as lideranças empresariais que os custos envolvidos para tal ganhos estão muito aquém das despesas envolvidas quando se faz o uso de métodos tradicionais para a melhoria da produtividade.

5.2. Recomendações

O trabalho pode-se estender para todas as outras áreas produtivas da organização inclusive em outros sites do grupo situados na Europa e Ásia. O presente trabalho foi limitado apenas em parte do processo por motivos de disponibilidade de tempo e alocação de recursos.

Uma vez mostrados os ganhos potenciais com a aplicação do método presente no trabalho, é com grande a chance de ser estendida a sua aplicação para os outros setores da empresa.

Aqui, analisa-se apenas a parte final do processo de manufatura que é a montagem de compressores.

Para dar continuidade e resultados efetivos no uso do método nos processos de manufatura, recomenda-se o apoio da área de informática, principalmente no que diz respeito à aquisição de dados que alimentarão os modelos, das lideranças dos diversos segmentos do processo de produção e principalmente da alta administração da organização.

Os potenciais em incremento em produtividade e conseqüentemente a redução dos custos industriais estão em todas as áreas e muito fortemente na logística dos processos que integram todo o fluxo, no dimensionamento da quantidade de máquinas e mão de obra, nas capacidades de cada processo e conseqüentemente do parque fabril podendo estender para a medição e avaliação do desempenho global (OEE) da organização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANZATO, Eduardo. Integrando layout com movimentação de materiais. Revista LOG Movimentação & Armazenagem. Número 130, p.110 –111, agosto 2001.

BOTTER, Rui Carlos. Ferramentas de modelagens, simulação e otimização. Curso de Especialização Logística Empresarial. Uberlândia: [s. n.], Out. 2000.

BORBA, Mirna de. Estudo de Tempos e Métodos. Apostila do Curso de Tempos e Métodos, Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

BLACK, J.T. O Projeto da Fábrica com Futuro. Porto Alegre: Bookman, 1998.

CAMPOS, Vicente Falconi. TQC - Controle da Qualidade Total (no estilo japonês). 4º ed., Rio de Janeiro: Bloch Editores S.A., 1994.

CAMPOS, Vicente Falconi. Gerenciamento da Rotina do Trabalho do dia-a-dia. 3º ed. Rio de Janeiro: Bloch Editores S.A., 1994.

FREITAS FILHO, Paulo José de. Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena. Florianópolis: Visual Books, 2001.

FREITAS FILHO, Paulo José de. Um Sistema Inteligente de Simulação para Avaliação de Desempenho Operacional de Um Sistema Flexível de Manufatura, Tese de Doutorado em Engenharia de Produção, Departamento de Engenharia de Produção de Sistemas, UFSC, Florianópolis, 1995.

GAONA, H.B.M. O uso da Simulação para Avaliar Mudanças Organizacionais na Produção. Dissertação de Mestrado apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

GOTTESMAN, K. Jit Manufacturing is more than inventory programs and delivery schedules. Industrial Engineer, 1991.

GREENWOOD, N. R. Implementing Flexible Manufacturing Systems. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1988.

HARMON, R.L., PETERSON, L.D. Reinventando a fábrica: conceitos modernos de produtividade aplicados na prática. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

HUNT, G. E. Waste Reduction Techniques and Technologies. New York: Mc-Graw Hill, p. 25-54, 1990.

KANNAN, V. R. A simulation analysis of the impact of family configuration on virtual cellular manufacturing Production Planning & Control, 1997.

KELTON, W. David; SADOWSKI, Randall P; SADOWSKI, Deborah A. Simulation with Arena. 2^a ed. Boston: McGraw-Hill, 2002.

KELTON, W. David; SADOWSKI, Randall P; SADOWSKI, Deborah A. Simulation with Arena. 1^a ed. Boston: McGraw-Hill, 1998.

LAW, Averill M; KELTON, W. David. Simulation Modeling and Analysis. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 1991.

LORINI, F.J. Tecnologia de Grupo e Organização da Manufatura. Florianópolis: Editora da UFSC, 1993.

NOVAES, Antônio G.; ALVARENGA, Antônio C. Logística Aplicada São Paulo : Pioneira, 1994.

PARAGON. Manual de Introdução a Simulação com ARENA®. [s. n. d.].

PEGDEN, C.D. et al. Introduction to Simulation Using SIMAN. Mc Graw Hill.1990.

RAJAMANI, D. et al. Integrated design of cellular manufacturing systems in the presence of alternative process plans, 1990.

SHINGO, S. Sistemas de Produção com Estoque Zero: O Sistema Shingo para Melhorias Contínuas, Porto Alegre, Bookman, 1996.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. Administração da Produção. 2^a ed. São Paulo: Atlas, 2002.

STOCKTON, David. Developing the sequence. Manufacturing Engineer, 1994.

SONG, S. J. - HITOMI, K. Interacting the production planning and cellular layout for flexible cellular manufacturing Production Planning & Control, 1996.

TAVEIRA, R. A. Uma metodologia para aperfeiçoamento da mudança para um sistema de produção íntima em uma indústria metalúrgica, usando a simulação discreta e técnica de projeto de experimentos de Taguchi. Dissertação de Mestrado em engenharia de produção e sistemas, UFSC, Florianópolis, 1997.

TUBINO, Dálvio F. Sistemas de Produção: A produtividade no chão de fábrica. Porto Alegre: Bookman, 1999.

TUBINO, Dálvio F. Manual de Planejamento e Controle de Produção. Atlas, Sao Paulo, 1997.

THORN, R. Cellular Solutions: Some Considerations for Cellular Manufacturing. Sheet Metal Industries, March, pp. 9-10, 1996.

WEMERLÖV, U. - JOHNSON, D. J. Cellular manufacturing at 46 user plants: implementation experiences and performance improvements International Journal of Production Research, vol. 35, n.º 1, pp. 29-49, 1997.

WOMACK, James P. & JONES, Daniel T. A Mentalidade Enxuta nas Empresas: Elimine o Desperdício e Crie Riqueza. 5º ed., Rio de Janeiro: Campus, 2004.

ROTHER, M. & SHOOK, J. Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. São Paulo : Lean Institute Brasil, 1999.

WOMACK, J. P. A máquina que mudou o mundo Rio de Janeiro, Campus, 1992