

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PROCESSOS INDUSTRIAIS**

**REGINALDO ALVES NOGUEIRA**

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO  
COMPUTACIONAL COMO APOIO À TOMADA DE DECISÃO EM PROCESSOS  
PRODUTIVOS INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO EM UMA ORGANIZAÇÃO DO  
SEGMENTO DE DUAS RODAS.**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**BELÉM - PA**

**2011**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PROCESSOS INDUSTRIAIS**

**REGINALDO ALVES NOGUEIRA**

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO  
COMPUTACIONAL COMO APOIO À TOMADA DE DECISÃO EM PROCESSOS  
PRODUTIVOS INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO EM UMA ORGANIZAÇÃO DO  
SEGMENTO DE DUAS RODAS.**

**Orientador: Prof. Dr. Roberto Célio Limão de Oliveira.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica com ênfase em Processos Industriais.

**BELÉM - PA**

**2011**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PROCESSOS INDUSTRIAIS**

**REGINALDO ALVES NOGUEIRA**

**TÍTULO: ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COMO APOIO À TOMADA DE DECISÃO EM PROCESSOS PRODUTIVOS INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO EM UMA ORGANIZAÇÃO DO SEGMENTO DE DUAS RODAS.**

**DEFESA DO MESTRADO**

Esta Dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Elétrica na Área de Concentração em Processos Industriais do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará - ITEC - UFPA.**

Belém-PA, 28 de fevereiro de 2011.

---

Prof. José Antonio de Souza Silva, Dr.  
Coordenador do CMPPI

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Roberto Célio Limão de Oliveira, Dr.  
Orientador - UFPA

---

Prof. Jandecy Cabral Leite, M.Sc.  
ITEGAM

---

Prof. Sandro Dimy Barbosa Bitar, Dr.  
UFAM

## **DEDICATÓRIA**

Ao Altíssimo Deus pela vida e força, sem as quais não alcançaria este objetivo.

À minha esposa Darluce a quem devo todo apoio e a nossa filha Ana por alegrar todo este percurso.

Aos meus pais a quem admiro e meus irmãos pelo incentivo concedido.

## **AGRADECIMENTOS**

A Universidade Federal do Pará – UFPA.

Ao Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia – ITEGAM.

Aos professores Dr. Roberto Célio Limão de Oliveira e M.Sc. Jandecy Cabral Leite, pela orientação e condução necessária ao decorrer do curso.

Aos demais professores e colegas pela amizade, conhecimento adquirido e estímulo para a realização desta nova etapa.

Aos especialistas Darluce Baker e André Nogueira pelos respectivos suportes técnicos da língua portuguesa e ciência da computação.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

***Epígrafe:***

*“O limite... é o início de novas conquistas”*

*Reginaldo Alves Nogueira*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	
<b>LISTA DE TABELAS</b>	
<b>LISTA DE QUADROS</b>	
<b>LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS</b>	
<b>RESUMO</b>	
<b>ABSTRACT</b>	

### **CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO**

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....	17
1.2 JUSTIFICATIVA .....	18
1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA .....	19
1.3.1 Objetivo Geral .....	19
1.3.2 Objetivos Específicos .....	19
1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA .....	20
1.5 DELIMITAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	21
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO PROPOSTO.....	22

### **CAPÍTULO II - ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO E TOMADA DE DECISÃO**

2.1 ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO .....	23
2.1.1 Finalidade .....	23
2.1.2 Evolução Histórica .....	23
2.1.3 A Manufatura.....	25
2.1.3.1 A História da Manufatura em décadas .....	26
2.1.4 A Produtividade.....	26
2.1.4.1 Administração da Produtividade .....	29
2.1.4.2 Qualidade da Produção.....	29
2.1.4.3 Sistemas de Produção .....	30
2.2 A TOMADA DE DECISÃO .....	33
2.2.1 A Tomada de Decisão <i>versus</i> Tecnologia .....	34
2.2.1.1 Aplicabilidade.....	35
2.2.2 Tecnologia de Manufatura.....	36
2.2.2.1 Investimentos em Tecnologia de Processos .....	37

### **CAPÍTULO III - MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

3.1 MODELOS .....	39
3.1.1 Definições .....	39
3.1.2 Propósitos de Modelos .....	40
3.2 MODELAGEM .....	42
3.2.1 Definições.....	42
3.2.2 Modelagem Computacional.....	42
3.3 SISTEMAS .....	43
3.3.1 Definições.....	43
3.4 SIMULAÇÃO .....	43
3.4.1 Definições.....	43
3.4.2 Etapas do Processo de Simulação.....	44
3.4.3 Simulação Computacional.....	46

3.4.3.1	Histórico .....	47
3.4.3.2	Desenvolvimento .....	48
3.4.3.3	Vantagens e Desvantagens .....	50
3.4.3.4	Modelagem e Simulação de Sistemas de Produção .....	51
<b>CAPÍTULO IV – MODELAGEM NO PLANT SIMULATION</b>		
4.1	TECNOMATIX® .....	54
4.1.1	Ferramenta: <i>Plant Simulation</i> .....	55
4.1.1.1	Conceitos .....	55
4.1.1.2	Interface Gráfica: funcionalidades.....	59
4.1.2	Modelagem Inicial.....	66
4.1.2.1	Processo Manual (Real).....	66
4.1.2.2	Processo Automatizado (Virtual/Real).....	69
<b>CAPÍTULO V - ESTUDO DE CASO</b>		
5.1	CARACTERÍSTICAS DA ORGANIZAÇÃO .....	71
5.2	ESTUDO PROPOSTO .....	71
5.2.1	<i>Software Tecnomatix®: Plant Simulation</i> .....	72
5.2.2	Especificações: Processo e Produto.....	73
5.2.2.1	O Processo .....	73
5.2.2.2	O Produto.....	74
5.2.3	Processo Manual (Real).....	76
5.2.3.1	Descrição do Trabalho.....	76
5.2.4	Processo Automatizado (Virtual) .....	77
5.2.4.1	Descrição do Trabalho.....	78
5.2.5	Construção do Modelo Computacional .....	80
5.2.5.1	Principais Elementos do Modelo .....	81
5.2.5.2	Verificação e Validação do Modelo .....	82
5.2.6	Condução de Experimentos na Simulação .....	85
5.2.6.1	Construção de Cenários do Modelo .....	86
5.3	ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	87
5.3.1	Exposição e Interpretação dos Resultados.....	87
5.3.1.1	Contexto Real – Cenário 1 .....	87
5.3.1.2	Contexto Real/Virtual – Cenário 2 .....	88
5.3.1.3	Contexto Real/Virtual – Cenário 3 .....	89
5.3.1.4	Contexto Virtual – Cenário 4 .....	90
5.3.1.5	Contexto Virtual – Cenário 5 .....	91
5.3.1.6	Contexto Virtual – Cenário 6 .....	91
5.3.2	Análise das Situações Propostas.....	92
5.3.2.1	Resultados Obtidos.....	93
5.3.2.2	Apresentação dos Resultados e Implementações .....	94
<b>CAPÍTULO VI - CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>		
6.1	CONCLUSÕES .....	95
6.2	PROPOSTAS DE PESQUISAS FUTURAS.....	96
<b>REFERÊNCIAS</b> .....		97



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> – Processo da Produtividade .....	27
<b>Figura 3.1</b> – Programas de simulação <i>versus</i> flexibilidade e especialização do usuário. ....	49
<b>Figura 4.1</b> – Plano de Visualização de um Processo Produtivo em 3D (virtual e real).....	56
<b>Figura 4.2</b> – Modelo de Visualização Computacional .....	58
<b>Figura 4.3</b> – Tela inicial e criação de novo modelo do <i>Tecnomatix<sup>®</sup> Plant Simulation</i> .....	59
<b>Figura 4.4</b> – Biblioteca da <i>Class Library</i> com subpastas .....	60
<b>Figura 4.5</b> – Principais categorias do <i>Toolbox</i> .....	61
<b>Figura 4.6</b> – Barra do <i>Menu Bar</i> .....	63
<b>Figura 4.7</b> – Barra de ferramenta do <i>Frame</i> .....	65
<b>Figura 4.8</b> – Processo de Soldagem Manual (Simples) - Modelagem inicial .....	66
<b>Figura 4.9</b> – Janela de Diálogo do <i>Plant Simulation</i> - Manual (Simples) .....	68
<b>Figura 4.10</b> – Processo de Soldagem Automatizada (Avançado): situação virtual.....	69
<b>Figura 4.11</b> – Janela de Diálogo do <i>Plant Simulation</i> - Automatizado (avançado) .....	70
<b>Figura 5.1</b> – Suspensão Traseira da Motocicleta – Suporte Oscilante .....	74
<b>Figura 5.2</b> – Processo de Soldagem Manual (Simples) – contexto real .....	82
<b>Figura 5.3</b> – Janelas de erros do modelo: a) individual e b) relatório .....	84
<b>Figura 5.4</b> – Janela de desempenho lógico do modelo .....	85
<b>Figura 5.5</b> – Contexto Real – Cenário 1 .....	88
<b>Figura 5.6</b> – Contexto Real/Virtual – Cenário 2 .....	88
<b>Figura 5.7</b> – Contexto Real/Virtual – Cenário 3 .....	89
<b>Figura 5.8</b> – Contexto Virtual – Cenário 4 .....	90
<b>Figura 5.9</b> – Contexto Virtual – Cenário 5 .....	91
<b>Figura 5.10</b> – Contexto Virtual – Cenário 6 .....	92

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b> – Evolução da manufatura nos últimos 200 anos .....	25
<b>Tabela 2.2</b> – Evolução da manufatura em décadas: a partir de 1950 .....	26
<b>Tabela 3.1</b> – Histórico a partir de 1950 da utilização da simulação computacional .....	47
<b>Tabela 3.2</b> – Desenvolvimento dos sistemas de simulação .....	48
<b>Tabela 5.1</b> – Análise dos Resultados Obtidos do Modelo .....	93

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.1</b> – Situações relevantes para diferentes estratégias de pesquisa .....	20
<b>Quadro 3.1</b> – Atributos e descrição de modelos relevantes .....	41
<b>Quadro 3.2</b> – Principais Etapas do Processo de Simulação .....	45
<b>Quadro 4.1</b> – Principais vantagens do <i>software Tecnomatix</i> <sup>®</sup> .....	54
<b>Quadro 4.2</b> – Lista de algumas ferramentas do <i>Toolbox</i> utilizadas neste estudo de simulação com o <i>Plant Simulation</i> .....	62
<b>Quadro 4.3</b> – Barra de ferramenta do <i>Toolbar</i> com os comandos mais utilizados .....	64
<b>Quadro 4.4</b> – Funcionalidades do <i>Toolbar</i> do <i>Frame</i> .....	65
<b>Quadro 5.1</b> – Componentes da estrutura do Suporte Oscilante da motocicleta .....	75
<b>Quadro 5.2</b> – Principais Elementos do Modelo.....	81

## LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

AMT – *Advanced Manufacturing Technologies*  
C – Confiabilidade  
C1 – Cenário 1: Contexto Real  
C2 – Cenário 2: Contexto Real/Virtual  
C3 – Cenário 3: Contexto Real/Virtual  
C4 – Cenário 4: Contexto Virtual  
C5 – Cenário 5: Contexto Virtual  
C6 – Cenário 6: Contexto Virtual  
CIM – *Computer Integrating Manufacturing*  
ERP – *Enterprise Resources Planning*  
FMEA – *Failure Mode Effect and Analysis*  
FMS – *Flexible Manufacturing Systems*  
JIT – *Just in Time*  
MRP I – *Material Requirement Planning*  
MRP II – *Manufacturing Resources Planning*  
NR – Número Real de Operadores  
PCPM – Planejamento e Controle da Produção e Material  
Pe - Perdas  
PLM – *Product Lifecycle Management*  
PO – Pesquisa Operacional  
Prod – Produção  
Rh – Recursos Humanos  
RF – Razão de Falhas  
TC – Tempo de Ciclo  
WMS – *Warehouse Management System*  
VIS – *Visual Interactive Simulation*

## RESUMO

NOGUEIRA, R. A. **Análise da aplicação de modelagem e simulação computacional como apoio à tomada de decisão em processos produtivos industriais: estudo de caso em uma organização do segmento de duas rodas.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Tecnologia – Universidade Federal do Pará, Belém, 2011. 100 p.

O presente trabalho destina-se a analisar os recursos e vantagens do uso da modelagem e simulação computacional em processos de manufatura industrial como ferramenta de apoio à tomada de decisão. Deste modo, efetuou-se um estudo de caso em uma empresa do segmento de duas rodas localizada no Pólo Industrial de Manaus, no qual se empregou o *software Tecnomatix® Plant Simulation*. Inicialmente, desenvolveu-se o projeto de simulação centrado na manufatura industrial de um processo produtivo do suporte oscilante, item de significativa relevância para a fabricação de motocicletas. Essa manufatura se distingue como sendo de alta complexidade em razão dos riscos proporcionados durante seu processo produtivo. Esta dissertação apresenta ainda, em seu bojo, conceitos relacionados à administração da produção e a importância da tomada de decisão, bem como as principais definições de modelagem e simulação computacional, com ênfase à plataforma *Plant Simulation*. Outras aplicações vantajosas no uso da ferramenta de modelagem e simulação computacional foram identificadas no decorrer do desenvolvimento deste trabalho. Contudo, a opção foi por restringir-se a demonstrar a otimização de um processo produtivo manual. Feita a análise dos resultados da simulação, nos múltiplos cenários modelados no ambiente virtual, e considerando os parâmetros de risco e produtividade, bem como tendo entendimento sistêmico da situação pesquisada, mostrou-se como melhor alternativa para a organização os cenários produtivos automatizados com *layouts* que possibilitem maior interação, flexibilidade, produtividade e menor risco – proporcionando a maximização dos resultados almejados. Por fim, a partir da análise dos resultados alcançados, juntamente com as conclusões pertinentes, torna-se fácil vislumbrar claramente as vantagens e recursos da aplicação da simulação computacional como instrumento de auxílio à tomada de decisão em processos de manufatura industrial.

**Palavras-chaves:** Modelagem, Simulação computacional, Produção, Tomada de decisão.

## ABSTRACT

NOGUEIRA, R. A. **Analysis of the application of computational modeling and simulation to support decision making in industrial production processes: a case study in a motorcycle business.** Masters degree Dissertation. Institute of Technology – Federal University of Pará, Belém, 2011. 100 p.

This study aims to analyze the resources and advantages of using modeling and computer simulation in industrial manufacturing processes as a tool to support the decision making. Thus, a case study was made at a motorcycle company located in Manaus' Industrial Center, in which they used the software Tecnomatix® Plant Simulation. Initially, it was developed a simulation project, based on the industrial manufacture of a productive process of the variable support, an important item on the motorcycles production. This manufacture is known for its high complexity, due to the risks during its productive process. This dissertation also presents concepts related to the production management and the importance of decision making as well as the main definitions of modeling and computer simulation, with emphasis on Plant Simulation platform. Some other advantageous applications of using the modeling and computer simulation as tools have been identified, as we wrote this dissertation. However, we would rather make a restriction and just demonstrate the optimization of a manual productive process. After analyzing the simulation's results, in multiple virtually modeled scenarios, taking into consideration the risk and productivity parameters, as well as having a systemic understanding of the situation, we considered the best option to organize would be the automated productive scenarios whose layouts allow greater interaction, flexibility, productivity and lower risk - providing the maximization of the desired results. Finally, from the analysis of the achieved results, as well as the relevant conclusions, it is easier to see clearly the advantages and resources of applying computer simulation as a support tool on the decision making in industrial manufacture processes.

**Key Words:** Modeling, Computer simulation, Production, Decision making.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUÇÃO

A abertura da economia, a partir da década de 90, século XX, somada à inserção do modelo japonês, proporcionou grande impulso à manufatura brasileira, que passou a vivenciar o mercado internacional mesmo sem ter uma política industrial como a que o Japão vivenciou oferecendo vantagem competitiva às suas indústrias. As empresas brasileiras, em meio à concorrência, passaram a buscar melhorias da qualidade e produtividade (PAIVA, 2004).

Desde o “advento da globalização e da informatização, no século XXI, as sociedades se beneficiaram do progresso tecnológico alcançado. Houve um aporte significativo de desenvolvimento nas áreas da saúde, ciências, tecnologia, entre outras, constatado por vários países” conforme Nogueira, Leite e Faria (2010). E agora, mais recentemente, uma nova mudança conhecida como a *Revolução da Informação* impulsiona o homem e as organizações à sociedade pós-industrial. “Entretanto, apesar dos esforços de promoção do crescimento econômico e tecnológico em escala global, ainda existem diferenças contrastantes entre nações desenvolvidas e subdesenvolvidas”.

Neste prisma, verificamos que ainda se projeta uma nova exclusão mercadológica, na qual a economia mundial será baseada em produção de conhecimento, e que, para manter-se competitiva e sustentável, a nação deverá não somente obter, mas também produzir sua própria tecnologia, seu próprio conhecimento tecnológico e utilizá-los de forma a alcançar melhores resultados. As transformações incididas principalmente no cenário competitivo compeliram as organizações de um modo geral a criarem soluções inovadoras, que lhes garantam subsídios mais consistentes no momento de tomada de decisões, para se manterem vivas no mercado. O Brasil, mesmo sendo considerado um país subdesenvolvido, abriga em seu contexto social indústrias nacional e internacional que estão cada vez mais envolvidas com um crescente processo de automação, o qual se encontra no centro do processo de modernização da economia nacional, e mais especificamente da economia local, por envolver aspectos de desenvolvimento regional sustentável (NOGUEIRA; LEITE; FARIA, 2010).

Para Lima (2007), com os avanços tecnológicos, especialmente na área da informática, é possível ter acesso cada vez maior às novas tecnologias aplicadas aos processos de manufatura tanto pelo seu menor custo, quanto pelos maiores ganhos que proporcionam o aumento de flexibilidade, qualidade, produtividade, entre outros.

É nesse contexto de grandes transformações nos níveis globais da sociedade que o desenvolvimento dos sistemas de produção obteve relevância econômica capaz de gerar uma variedade de estudos relacionados à modernização dos processos de manufatura, dentre os quais serão abordados em alguns aspectos a seguir. O processo de evolução tecnológica tem proporcionado resultados significativos nos sistemas produtivos tanto no aspecto quantitativo, quanto qualitativo. O termo tecnologia pode ser definido e entendido sobre vários aspectos e, em muitos casos, está relacionado principalmente com *hardware*, *software* e ser humano.

A tecnologia muitas vezes é confundida com inovação, contudo, existe uma sutil diferença entre ambas: a tecnologia é a aplicação do conhecimento com o objetivo de proporcionar inovação de maneira que, geralmente, é demonstrada nas figuras de um elemento virtual como um *software* ou um elemento físico como o *hardware*. Enquanto que a inovação é algo interpretado como novidade para as pessoas, de forma a ser demonstrado como uma prática, idéia ou até mesmo um objeto (SAAKSJARVI, 2003).

A tecnologia para Angeloni (2008) também está relacionada aos “recursos de *hardware* e *software* que apóiam a tomada de decisão e o gerenciamento de informações e conhecimentos, considerando os indivíduos que participam ativamente desses processos.” Ressalta ainda que a “tecnologia deve ser aplicada de forma integrada e sistêmica à organização”, e que tenha como objetivo principal o “alcance da integração com os indivíduos e suas respectivas expertises, com a visão, os propósitos e a infraestrutura organizacional”, consciente de que a simples utilização de tecnologia não sustenta com garantia o sucesso de um projeto, pelo fato da amplitude e da complexidade de outros objetos relacionados às demais dimensões existentes e que, muitas vezes, não são mensuradas ou entendidas.

O custo se reveste em outro aspecto de relevância fundamental para a organização, haja vista o dispêndio de recursos financeiros nessa área. Quanto maior avanço tecnológico, menor será o valor de sua aquisição. Atualmente constata-se uma grande propagação dessas ferramentas computacionais de gestão mais avançadas como: os Sistemas Computacionais de Gestão Integrada (*Enterprise Resources Planning - ERP*), Sistema Computacional para Gerenciamento de Armazéns (*Warehouse Management System - WMS*). A aplicação de “novas maneiras e metodologias na gestão produtiva”, como: os sistemas de Planejamento das Necessidades de Materiais (*Material Requirement Planning - MRP I*), Planejamento dos Recursos de Manufatura (*Manufacturing Resources Planning II*), Análise do Modo de Falha e seus Efeitos (*Failure Mode Effect and Analysis - FMEA*), Tempo Justo (*Just-In-Time - JIT*), *kaizen*, entre outros que tem proporcionado desenvolvimento extraordinário, principalmente,



na área produtiva industrial. É fato que até a bem pouco tempo atrás, estas ferramentas tecnológicas e metodologias era prerrogativa de poucas organizações de grande porte, as quais mantinham a hegemonia pelo poder financeiro (SANTOS; NOGUEIRA; LEITE, 2010).

A tecnologia abordada no presente estudo está relacionada à ferramenta de modelagem e simulação computacional que proporciona melhorias no processo produtivo da manufatura, permitindo a visualização de ambientes produtivos mais eficientes, flexível, confiável, proporcionando real garantia quanto às suas funcionalidades prometidas.

Em suma, a utilização de ferramentas de modelagem e simulação computacional, como apoio à tomada de decisão no processo produtivo, vem somar sistematicamente às organizações, proporcionando-lhes condições de alcançar a maximização de seus resultados, tanto na área de gestão quanto na área produtiva - reduzindo riscos ao capital empregado.

## **1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA**

Para muitos autores, em especial Saleh (2001), em um ambiente organizacional, árdua tarefa é a de avaliar as mudanças de melhorias necessárias quanto ao futuro da empresa, haja vista que tais mudanças, normalmente, envolvem um alto valor a ser empregado, bem como as incertezas quanto ao desempenho de tecnologias para o benefício da organização. Em alguns casos, como ressalta Burcher e Lee (2000) o resultado esperado vem não como resultados tangíveis, por exemplo, como a redução de custos ou um melhor controle gerencial, mas sim, como ganhos intangíveis, tais como a melhora da imagem empresarial e ainda no desempenho das funções de seus colaboradores.

Com a dinâmica e complexidade organizacional moderna, conforme muitos autores destacam, tornou-se impreciso fazer mensuração dos benefícios apenas pelos métodos convencionais, dado que estes não possuem estrutura ou extensão funcional para quantificar outros valores importantes nessa nova abordagem, tais como relaciona Ferreira (2004), “os níveis de balanceamento das linhas e de sincronização dos fluxos, as unidades de flexibilidade do sistema operacional, a diminuição de falhas, ou a diminuição de refugos”.

Como o investimento em tecnologia é relativamente alto, ele deve ter como retorno alguma vantagem para a empresa; vantagem aqui sendo entendida como um “atributo, qualidade ou característica de superioridade”, que vise aumentar a possibilidade de êxito no

aspecto de mercado competitivo no qual a empresa está inserida (CHUNG, 1991). Com isso, esse investimento pode se tornar um *upgrade* na busca por vantagens para a organização.

Para organizações inseridas em sistemas complexos, o desafio de atuação e sobrevivência está intimamente relacionado com o processo de tomada de decisões por parte da gerência. Não há certeza quanto às consequências decorrentes de mudanças promovidas em sistemas complexos (PIDD, 1998). Essa certeza só seria possível a partir de um completo controle sobre os eventos, que normalmente é difícil de operacionalizar, contudo é necessário buscar maneiras de minimizar os riscos e de gerenciar a complexidade dos sistemas.

Em cenários sistêmicos como esses é que surge oportunidade para o uso de ferramentas de modelagem e simulação computacional. A questão crucial é saber se tais ferramentas são mais eficientes, por meio das quais os responsáveis pela tomada de decisão, nos processos produtivos das unidades industriais, podem adquirir conhecimento sobre o sistema e ambientes nos quais estão inseridos, procurando melhorias. Essas ferramentas são realmente eficazes no apoio à tomada de decisões complexas? Proporcionam o desenvolvimento de novas definições sobre as relações entre elementos do sistema produtivo em análise, de modo a serem adequadas para diferentes cenários do processo produtivo? Em síntese, o objeto deste trabalho pode ser descrito na seguinte questão proposta: *Como as potencialidades de uma ferramenta de modelagem e simulação computacional podem proporcionar apoio nas tomadas de decisões complexas em processos produtivos industriais?*

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A presente pesquisa se justifica pelo fato da existência do impacto da tomada de decisão em cenários produtivos complexos, que almejam continuamente a maximização dos resultados com celeridade ao menor dispêndio. Assim, o desenvolvimento de um estudo com o objetivo de identificar potencialidades e suas respectivas vantagens proporcionadas pelo uso de ferramentas de modelagem e simulação computacional nos ambientes de alto nível de complexidade se mostra relevante e estratégico para a organização.

Comprovou-se na literatura que o investimento em novas tecnologias de produtos ou processos é alto e arriscado. Entretanto, foi identificado também que é essencial, para a sobrevivência da organização o uso de recursos que garantam a eficácia e a viabilidade econômica de novas tecnologias, a um baixo custo e, preferencialmente, que proporcione o mínimo de risco possível (LEPISKSON, 1998).

A modelagem e simulação permitem “a aferição das possibilidades e do futuro de um sistema, ao se alterarem *virtualmente* suas condições específicas de funcionamento, sem a necessidade de *ensaios destrutivos*”. A aplicação da modelagem e simulação computacional permite transformar informação em conhecimento, de modo a ser utilizada no processo de tomada de decisão estratégica. Em meio às mudanças rápidas e novas formas globais de relacionamentos, a ferramenta computacional pode proporcionar maior eficiência às organizações para a tomada de decisão de maneira: flexível, sistêmica, célere, analítica, entre outros dados estratégicos (DOMINGUES, 2005).

A realização deste estudo teve também como motivação a dificuldade em encontrar publicações científicas brasileiras acerca da aplicação da simulação computacional em organizações industriais, e especificamente sobre o processo de soldagem em análise – o qual não foi identificado. Constituindo, deste modo, uma relevante contribuição para a divulgação do método da modelagem e simulação computacional desenvolvida neste ambiente. Deste modo, o ensejo da análise realizada no estudo de caso apresentado nesta dissertação firma-se na importância de apreciar alternativas que possibilitem alcançar otimizações nos processos produtivos antes de ocasionar impactos sobre o fluxo de trabalho do sistema real - avaliando os possíveis resultados e oferecendo solução antes da real implementação do projeto.

### **1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA**

#### *1.3.1 Objetivo Geral*

O objetivo geral desta pesquisa é demonstrar a aplicação prática da modelagem e simulação computacional como instrumento de apoio à tomada de decisão nos processos produtivos complexos das organizações industriais.

#### *1.3.2 Objetivos Específicos*

- a) Pesquisar a existência de risco e otimização de recursos nas operações dos processos produtivos da empresa industrial analisada;
- b) Averiguar a aplicação de modelagem e simulação computacional quanto à possibilidade de proporcionar benefícios competitivos à organização;
- c) Avaliar a conveniência da metodologia e das ferramentas de modelagem e simulação computacional em processos produtivos industriais complexos;

## 1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia utilizada para a realização deste estudo foi desenvolvida, inicialmente, em três etapas:

1ª) Revisão bibliográfica em relação às metodologias existentes e a confirmação da problemática quanto ao uso de ferramentas computacionais como instrumento de apoio à tomada de decisão nas organizações industriais quanto ao processo produtivo complexo;

2ª) Pesquisa *in loco*, através de entrevistas diretas com analistas, gestores e demais profissionais do processo visando à confirmação da extensão da problemática, previamente mencionada na bibliografia pesquisada, relativa à dificuldade da maioria das empresas em avaliar e decidir quanto a processos produtivos complexos de forma rápida e flexível; e,

3ª) Modelagem e simulações computacionais com o *software Tecnomatix*® utilizando a plataforma do *Plant Simulation* para a respectiva validação do modelo sugerido através de um estudo de caso na referida organização pesquisada.

A opção deste método de pesquisa está em que o estudo de caso tem sido válido “como estratégia de pesquisa, em muitas situações para contribuir com o conhecimento em termos dos fenômenos individuais, organizacionais, sociais, políticos, e de grupos, além de outros fenômenos relacionados”. O estudo de caso tem como característica a investigação empírica – questões contextuais, e também é um método abrangente, ou seja, trata da lógica de planejamento, das técnicas de coleta de dados e de abordagens específicas (YIN, 2005).

O estudo de caso é aplicado principalmente em estudos de problemas poucos conhecidos onde “o pesquisador vivencia a pesquisa” interpretando-a e, “por vezes, participa da pesquisa”. Em que são utilizados métodos qualitativos como a observação, entrevista individual e análise documental (OLIVEIRA, 2008). O Quadro 1.1 apresenta a comparação do estudo de caso com outros métodos.

**Quadro 1.1** – Situações relevantes para diferentes estratégias de pesquisa

<b>Estratégia</b>	<b>Forma da questão de pesquisa</b>	<b>Exige controle sobre eventos comportamentais?</b>	<b>Focaliza acontecimentos contemporâneos?</b>
Experimento	Como, por que	Sim	Sim
Levantamento	Quem, o que, onde, quantos, quanto	Não	Sim
Análise de arquivos	Quem, o que, onde, quantos, quanto	Não	Sim/Não
Pesquisa histórica	Como, por que	Não	Não
Estudo de caso	Como, por que	Não	Sim

Fonte: YIN (2005).

Assim, como método de pesquisa, optou-se pelo estudo de caso, desenvolvido em uma indústria em que foi utilizada uma ferramenta computacional com o propósito de modelar e simular uma linha de produção com processo manual (real) para um automatizado (virtual).

Como instrumentos de pesquisa, foram realizadas entrevistas com supervisores, líderes, operadores e analistas da organização de forma indireta, com perguntas diretas e livres, visualização *in loco* e alicerçado na literatura, bem como através de correio eletrônico, havendo maior interação entre as duas partes, pesquisador e entrevistados.

Através da análise das informações obtidas, foi possível iniciar a modelagem computacional, partindo-se do pressuposto que a empresa estava em projeção de crescimento e necessitava de apoio para a tomada de decisão na realização de mudanças estratégicas em seu processo produtivo manual para um processo automatizado.

## 1.5 DELIMITAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Como delimitação desta pesquisa, pretende-se explorar especificamente as potencialidades e vantagens oriundas do uso da modelagem e simulação computacional como ferramenta de apoio à tomada de decisão no processo produtivo complexo industrial, porém, sem abrangência de todas as variáveis reais neste ambiente simulado. O critério está em modelar e simular um processo produtivo real de uma linha industrial, para um automatizado virtual de uma organização e partir para a formulação da questão de forma sistêmica, transportando o modelo real para dentro de um ambiente computacional, com parâmetros úteis aos profissionais das áreas gerenciais e operacionais, para a tomada de decisão estratégica em sistemas produtivos complexos.

O presente trabalho não pretende exaurir questões de modelagem e simulação do processo produtivo industrial manual ao automatizado, estimulando desta forma outros pesquisadores a continuar este estudo, inserindo pontos novos e ampliando sua relevância à realidade. Restringe-se a:

- 1) Modelagem e simulação computacional estocástica com eventos discretos. De acordo com Domingues (2005), “as simulações estocásticas discretas são conhecidas como modelagens baseadas em eventos discretos, contrapondo-se a eventos contínuos, nos quais os valores numéricos são contínuos”. Para Fitzsimmons e Fitzsimmons (2007), a simulação de eventos discretos “é orientada por eventos que ocorrem em determinados pontos no tempo tais como a chegada de um cliente ou o término de um serviço”, em que ocorrendo “um evento, o estado do sistema se modifica”;

- 2) Sistemas produtivos de soldagem da manufatura industrial;
- 3) Estudo de uma organização de duas rodas no Pólo Industrial de Manaus - PIM;
- 4) O intervalo temporal da pesquisa bibliográfica compreende do surgimento da metodologia da modelagem e simulação, meados da década de 50, até a atualidade. O caso de estudo proposto aborda a otimização de operações do processo produtivo da manufatura manual para o automatizado, por intermédio de modelagem e simulação computacional, em uma indústria do segmento de duas rodas, desenvolvido no primeiro semestre de 2010.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO PROPOSTO

Esta dissertação está dividida em 6 capítulos. O **primeiro capítulo** descreve a formulação do trabalho, bem como a caracterização do problema, justificativa, objetivos, a metodologia da pesquisa a ser utilizada e a lógica de desenvolvimento dos capítulos.

O **segundo capítulo** trata da revisão bibliográfica. O propósito é estabelecer as bases conceituais necessárias para o desenvolvimento desta pesquisa no que tange à administração da produção e a respectiva tomada de decisão em processos produtivos industriais.

O **terceiro capítulo** destina-se a apresentar a importância da modelagem e simulação computacional com sua respectiva base conceitual, de forma a estabelecer sua relevância para análises de problemas complexos da manufatura.

O **quarto capítulo** é referente à conceituação da ferramenta computacional utilizada, com sua aplicabilidade à modelagem e simulação de processos produtivos.

O **quinto capítulo** trata do estudo de caso, no qual é desenvolvido cenários otimizados de uma linha de produção industrial, em que tem como objetivo principal a modelagem e simulação computacional em um ambiente produtivo manual (real) para o automatizado (virtual). Ao final, a avaliação dos resultados do estudo proposto nesta dissertação.

O **sexto capítulo** apresenta as considerações finais da dissertação e recomendações para futuras pesquisas. E ao final deste trabalho estão mencionadas as referências.

## **CAPÍTULO II**

### **2 ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO E TOMADA DE DECISÃO**

Este capítulo aborda os conceitos de administração da produção, sua evolução histórica até os termos da atualidade e seus subtópicos como manufatura, produtividade, administração de produtividade, qualidade da produção, sistemas de produção. Ao final versa sobre a importância da tomada de decisão na aplicação de tecnologia na manufatura.

#### **2.1. Administração da Produção**

##### **2.1.1 Finalidade**

O objetivo da administração da produção e operações está em gerir, de forma eficaz, as atividades organizacionais, de modo que alcance seus propósitos planejados. Martins e Laugeni (2005) comentam que:

As atividades desenvolvidas por uma empresa visando atender seus objetivos de curto, médio e longo prazos se inter-relacionam, muitas vezes, de forma extremamente complexa. Como tais atividades, na tentativa de transformar insumos, tais como matérias-primas, em produtos acabados e/ou serviços, consomem recursos e nem sempre agregam valor ao produto final.

O setor produtivo tem grande responsabilidade no progresso da empresa, visto que, suas atividades refletem de forma positiva ou negativa neste resultado. Analisando por este prisma, constata-se a relevância de produzir (serviços) com alto padrão qualitativo, em que a organização e seus colaboradores possam crescer e desenvolver-se competitivamente.

Conforme Moreira (2004), “a Administração da Produção e Operações é o campo de estudo dos conceitos e técnicas aplicáveis à tomada de decisões na função de Produção (empresas industriais) ou Operações (empresas de serviços)”.

##### **2.1.2 Evolução Histórica**

O conjunto de atividades, denominada de função produtiva, que proporciona “à transformação de um bem tangível em um outro com maior utilidade” vem desde a origem do homem. A partir das habilidades das pessoas sendo desenvolvidas durante a produção de bens, surge a figura dos artesãos e da forma de produção organizada. Com a dinâmica da

sociedade de então, paulatinamente, o advento da Revolução Industrial fez com que o modelo de produção artesanal entrasse em declínio, possibilitando que as primeiras fábricas fossem formadas por grandes artesãos que antes “trabalhavam em suas próprias oficinas”.

Em 1790 foi introduzido o conceito de padronização de componentes por Eli Whitney, através da “produção de mosquetões com peças intercambiáveis”, proporcionando benefícios operacionais aos exércitos; passando a surgir “a função de projeto de produto, de processos, de instalações, de equipamentos”, entre outros. Foi com Frederick W. Taylor, pai da administração científica, que a sistematização da definição de produtividade passou a existir, ou seja, “a procura incessante por melhores métodos de trabalho e processos de produção, com o objetivo de se obter melhoria da produtividade com o menor custo possível”, tendo como objetivo principal mensurar o sucesso ou o fracasso das organizações até hoje (MARTINS & LAUGENI, 2005).

Através de Henry Ford, em 1910, são criadas as linhas de montagens seriadas, surgindo o conceito de produção em massa, diferenciada por apresentar volumes de produtos extremamente padronizados, com técnica definida pela engenharia industrial (introduzindo conceitos: linha de montagem, posto de trabalho, estoques intermediários, monotonia do trabalho, arranjo físico, balanceamento de linha, produtos em processo, motivação, sindicatos, manutenção preventiva, controle estatístico da qualidade e fluxogramas de processo).

Martins e Laugeni (2005) ressaltam que esse ambiente predominou nas fábricas até 1960, sendo substituído por uma nova técnica denominada de produção enxuta, inserindo os conceitos de just-in-time (JIT), engenharia simultânea, tecnologia de grupo, consórcio modular, células de produção, desdobramento da função qualidade (quality function deployment-QFD), comakership, sistemas flexíveis de manufatura (flexible manufacturing systems-FMS), manufatura integrada por computador (computer integrated manufacturing-CIM), benchmarking. Posteriormente, o consumidor passou a ser de forma mais clara o grande protagonista do cenário produtivo, “levando as empresas a se atualizarem com novas técnicas de produção cada vez mais eficazes, eficientes e de alta produtividade”, como através de uma produção customizada (personalizado, flexível), com uma incessante procura por melhoria contínua almejando o grupo seletivo de uma empresa de classe mundial.

Para Martins e Laugeni (2005), o processo de automação industrial gerou a expressão “fábrica do futuro”, caracterizada pelo alto grau de automação, organizada tecnologicamente com aplicação de ferramentas como CAD, CAM, CIM, MRP II, ERP, EDI, proporcionando



dentre outros fatores um alto nível de produtividade; havendo colaboradores com elevado conhecimento e aplicação da inteligência no processo (utilizando menos esforço físico), denominados de knowledge worker.

### 2.1.3 A Manufatura

A manufatura, conforme Paiva (2004) teve sua origem na Inglaterra entre o período de 1765 a 1815 com a Revolução Industrial, e está associada ao “resultado do surgimento de novas tecnologias associadas às habilidades dos artesãos da época”. Em seus primórdios, a produção de bens manufaturados surgiu do artesanato produzido pelos artesãos na era Medieval na Europa, como sapatos, utensílios e carroças e que eram “os donos do negocio”, ou seja, detinham tanto o poder de projeto, como o de compra, venda e confecção dos produtos de toda a produção.

Nesse contexto, com idéias eminentemente centralizadoras, o artesanato permaneceu inalterado como a principal forma de produção até o advento da Revolução Industrial e tinha como características fundamentais: mão-de-obra qualificada, baixo volume de produção e qualidade variável (PAIVA, 2004). A Tabela 2.1 mostra um resumo da história da manufatura em suas diferentes fases.

**Tabela 2.1** – Evolução da manufatura nos últimos 200 anos

ANO	FASE	FILOSOFIA BÁSICA	BASE DE COMPETIÇÃO	ORGANIZAÇÃO INDUSTRIAL
1800 – 1850	A idade do capitalismo técnico	Poder e controle	Substituição das importações	Dono próximo da operação e domínio da tecnologia; Capataz cuida da produção;
1850 – 1890	Introdução da produção em massa	Intercabialidade de componentes	Baixo custo	Dono preocupado com a tecnologia e investimentos; Encarregado cuida da produção;
1890 – 1920	Administração científica	“One Best Way”	Eficiência	A administração toma o poder do encarregado sobre a produção;
1920 – 1960	Os anos dourados da manufatura	Curva de aprendizado	Volume	Automatização da mão-de-obra;
1960 – 1990	Declínio da manufatura americana;	Técnicas numéricas e computacionais  versus...	Automação e Base Eletrônica	Automatização da mão-de-obra indireta;
	Entrada dos novos competidores no cenário internacional	Os modelos simplificados e descentralizados	Qualidade e variedade	Descentralizações das decisões;
1990 em diante	Manufatura como arma competitiva	Um tipo de produção para cada estratégia de negócio	Qualidade, Variedade e Velocidade	Fábrica focalizada; Trabalhos em equipes; Lançamento de novos produtos; Customização em massa

Fonte: PAIVA (2004).

### 2.1.3.1 A História da Manufatura em décadas

Apesar de ter sua origem na Inglaterra entre o período de 1765 a 1815, com a Revolução Industrial, a manufatura correu o mundo e ganhou novos ares em sua trajetória, como detalhado na Tabela 2.2:

**Tabela 2.2** – Evolução da manufatura em décadas: a partir de 1950

<b>Estados Unidos:</b> a manufatura encontrou terra fértil para se desenvolver, onde “a história de seu desenvolvimento nos EUA é a própria história da manufatura mundial, até a entrada dos países orientais no cenário internacional, por volta da década de 1960.”	
<b>Brasil:</b> a história da manufatura está interrelacionada com a indústria automobilística, e que, a partir da década de 1920 (início da chegada das multinacionais) até a atualidade podemos visualizar várias fases da qual foi vivenciada pela indústria nacional, como:	
Década de 1950	com o advento da segunda guerra houve a substituição nas importações de autopeças, proporcionando expansão neste setor até meados do final destes anos;
Década de 1960	período marcado pela estagnação até o golpe militar;
Década de 1970	é concebido o “milagre econômico”;
Década de 1980	o desdobramento da política brasileira desse período foi desastroso, sendo conhecida como a “década perdida”;
Década de 1990	a abertura do mercado e a chegada do modelo japonês proporcionam novo impulso à indústria brasileira, mas ainda encontra-se com necessidade de uma visão de longo prazo e de melhoramentos à inserção internacional;
Década de 2000 (e o futuro)	período com forte demanda por “qualidade, produtividade e flexibilidade” para atingir o padrão internacional. Os anseios por vantagem competitiva passa a exigir da indústria brasileira novas estratégias de produção para poder participar de um ambiente que estava nascendo denominada de “Nova Economia” a qual está “remodelando todos os setores da economia mundial”, onde existe uma “euforia associada à utilização de tecnologias de ponta”.

**Fonte:** Adaptado de PAIVA (2004).

### 2.1.4 A Produtividade

A produtividade pode ser considerada como uma associação entre variáveis de entrada e saída. Na literatura, duas formas de associação foram aplicadas em estudos anteriores na indústria, onde se evidencia a equação geral (PARK et al., 2005):

1.  $\text{produtividade} = \text{saída}(\text{output}) / \text{entrada}(\text{input})$
2.  $\text{produtividade} = \text{entrada}(\text{input}) / \text{saída}(\text{output})$

Onde é possível mensurar, entre outros:

- ✓ Produtividade do trabalho = unidade produzida/ hora trabalhada
- ✓ Produtividade do capital = saída / entrada de capital
- ✓ Produtividade do material = saída / entrada de material

A produtividade nacional é mensurada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) que avalia os principais indicadores como “o produto nacional bruto (PNB), o produto interno bruto (PIB) e o PIB dividido pela população (PIB per capita)”.

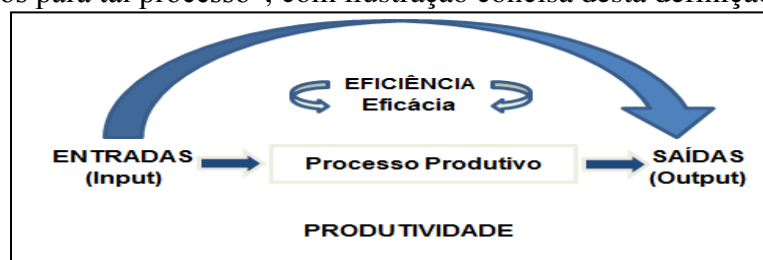
Demais órgãos de classe divulgam também indicadores, entre os quais está o produto interno industrial, agrícola, etc. O índice de produtividade da mão de obra é o principal indicador avaliado em âmbito nacional, fato justificado por ser menos difícil de mensurar, existir mais dados à disposição, ser um grande fator de custos na maioria dos produtos e a influenciar de forma direta a economia do país. A medida da produtividade da organização pode ser avaliada pelos indicadores (MARTINS & LAUGENI, 2005):

- a) Produtividade total: relação entre uma medida do “output gerado entre dois instantes i e j, a preços do instante inicial, e a medida do input consumido entre os dois instantes i e j, a preços do instante inicial”;
- b) Produtividade parcial do trabalho (mão de obra): relação entre uma medida do “output total no período, a preços constantes, e o input de mão de obra no mesmo período, a preços constantes”;
- c) Produtividade parcial do capital: relação entre uma medida do “output total no período, a preços constantes, e o input de capital no mesmo período, a uma taxa de retorno constante”;
- d) Produtividade parcial dos materiais: relação entre uma medida do “output total no período, a preços constantes, e o input dos materiais intermediários comprados no período, a preços constantes.

Para Moreira (2004), “dado um sistema de produção, onde insumos são combinados para oferecer uma saída, a produtividade refere-se ao maior ou menor aproveitamento dos recursos nesse processo de produção, ou seja, diz respeito a quanto se pode produzir partindo de uma certa quantidade de recursos”.

Segundo Guinato (2000), a produtividade é a expressão mais simples dos resultados operacionais da gerência de operações, sendo que se refere a uma relação entre a capacidade de produção e os demais elementos que podem ser gerenciados de forma a proporcionar expansão produtiva e, conseqüentemente, elevar a capacidade produzida.

Souza (2006), ao analisar o processo produtivo, o qual envolve a transformação de entrada(input) / saída(output), conceitua-se produtividade como a “eficiência (e, na medida do possível, a eficácia) na transformação de tais entradas em saídas que cumpram com os objetivos previstos para tal processo”, com ilustração concisa desta definição na Figura 2.1.



Fonte: SANTOS et al., (2010).

**Figura 2.1** - Processo da Produtividade

O índice de Produtividade proporciona a identificação do nível do processo produtivo, através de análises como: balanceamento, qualidade, perdas (confiabilidade), ciclo produtivo, capacidade, outros (DAVIS; AQUILANO; CHASE, 2001; MARTINS & LAUGENI, 2005).

Existe uma variedade de fatores internos e externos que uma organização está suscetível, de modo a refletir no resultado da produtividade (CORRÊA & CORRÊA, 2006):

- Regulamentação governamental e legislação trabalhista;
- Atualidade, intensidade e adequação tecnológica;
- Métodos gerenciais e organização do trabalho;
- Estratégia competitiva;
- Situação econômica do país e do setor da economia;
- Sistema de avaliação de desempenho da força de trabalho e da gestão;
- Políticas de recursos humanos;
- Situação da mão de obra, especificidades e treinamento;
- Situação científica e tecnológica do país e do setor da economia;
- Habilidade, qualificação, motivação e composição da força de trabalho.

Paiva et al. (2004) declara que a diminuição dos custos, como critério competitivo, perpassa pela análise da produtividade, de tal forma que:

A lógica de produtividade em massa focalizava o numerador da equação, na qual o objetivo era o aumento de produtividade através do aumento de escala, sem maiores preocupações com as perdas ao longo do processo produtivo. A produção enxuta trouxe a preocupação com a eliminação do desperdício, passando o foco para o denominador da equação. A eliminação dos desperdícios, envolvendo a melhoria da qualidade, a racionalização dos fluxos da produção, a identificação de perdas no processo e a diminuição dos estoques, trouxe um melhor desempenho na produtividade ao racionalizar a utilização dos recursos.

Park et al. (2005) afirma que diversas pesquisas, nacional e internacionalmente, tem abordado o assunto produtividade. E, mesmo existindo uma variedade de publicações sobre este tema, o que se constata é uma indefinição acerca da atividade de trabalho e do sistema de mensurar a produção de forma padronizada. Martins e Laugeni (2005) comentam que economistas, engenheiros, administradores e contadores utilizam várias formas de mensurar a produtividade de uma organização, em que “a mais aceita utiliza indicadores que permitem avaliar as variações, ao longo do tempo, de uma grandeza não suscetível de medida direta”, e ressalta ainda que:

A forma de medir ou avaliar a produtividade numa organização tem sido objeto de estudos entre muitos pesquisadores, não havendo, entretanto, consenso entre eles. Assim, várias formas de avaliação da produtividade têm sido utilizadas, cada uma com suas vantagens e desvantagens e seus respectivos defensores. No entanto são unânimes no que se refere aos benefícios decorrentes do aumento da produtividade, entre os quais podemos citar o aumento no lucro, maiores salários, menores preços e impactos positivos no nível de vida da sociedade.

#### 2.1.4.1 Administração da Produtividade

A medição da produtividade perpassa “pela definição de métodos adequados, utilizando dados já existentes ou coletando novos. Uma vez medida, pode ser comparada com índices equivalentes de outras empresas” através da metodologia de benchmarking. Este método é aplicado inicialmente obtendo os níveis identificados referente às comparações realizadas, de modo a “planejar níveis a serem atingidos, tanto a curto quanto a longo prazo”. Após o planejamento, com a determinação dos objetivos, são postas em prática aquelas em que serão executadas as melhorias com suas respectivas análises cíclicas. A avaliação e comparação da produtividade através de programas de melhorias já fazem parte da agenda dos gestores do processo produtivo, atualmente. Esta preocupação dá-se em prol da manutenção competitiva profissional e empresarial, que “corresponde ao processo formal de gestão, envolvendo todos os níveis de gerência e colaboradores, a fim de reduzir os custos de manufatura, distribuição e venda de um produto ou serviço por meio da integração de todas as fases do ciclo da produtividade” (MARTINS & LAUGENI, 2005).

O benchmarking energiza “as organizações a pesquisar os fatores-chave que influenciam a produtividade e a qualidade. Essa visualização pode ser aplicada a qualquer função – como produção, vendas” entre outras, de modo que proporciona melhores resultados quando são implementados na organização de forma ampla (CHIAVENATO, 2003).

Na avaliação da produtividade, quanto mais elevado for este indicador maior será o rendimento proveniente da matéria-prima, máquinas, colaboradores, etc. Como resultado, ocorrerá redução nos respectivos custos de produção ou serviços. Esta relação ocorre “porque cada unidade de produto ou de serviço terá sido conseguida com a menor quantidade de insumos, o que afeta diretamente o custo”. A minimização do preço ocasiona custos mais baixos, o que proporciona uma melhor posição competitiva da organização no mercado através da majoração dos lucros, os quais são consequência desta cadeia resultando em capacidade financeira, possibilidade de novas reaplicações dos investimentos, assegurando o crescimento e existência da empresa (MOREIRA, 2004).

#### 2.1.4.2 Qualidade da Produção

O lucro de uma organização está intrinsecamente relacionado com o padrão de qualidade de seus produtos/serviços oferecidos aos clientes, que possam ganhar e manter suas vantagens competitivas. No mercado brasileiro, algumas organizações ainda mantêm “a idéia

de que a qualidade é o esforço para minimizar defeito”, como também “a visão de que a qualidade está restrita às melhorias localizadas”. Para que a qualidade seja construída as pessoas têm que passar a entender de forma efetiva o valor deste item “para a sobrevivência da organização e delas próprias. Não se deseja, assim, uma simples mudança de postura ou comportamento, mas, sim, uma alteração na forma de pensar e crer. Criar uma nova forma de agir, portanto, seria simples consequência” (PALADINI, 2006).

Conforme Slack, Chambers e Johnston (2009), a qualidade do produto é vista como sendo “um conjunto mensurável e preciso de características, que são requeridas para satisfazer ao consumidor”, e que uma abordagem tendo como base o usuário “assegura que o produto ou o serviço está adequado a seu propósito. Essa definição demonstra preocupações não só com a conformidade a suas especificações, mas também com a adequação das especificações ao consumidor”. Muitos consumidores procuram apenas produtos ou serviços satisfatórios, ou seja, não os melhores. Esta flexibilidade tem como base o valor, o qual “leva definições de manufatura a um estágio além e define qualidade em termos de custos e preços”.

Segundo Martins e Laugeni (2005), em uma definição transcendental a qualidade “é constituída de padrões elevadíssimos, universalmente reconhecidos”. A definição mais aceita no mercado de qualidade está com enfoque no valor, em que “a qualidade é uma questão de o produto ser adequado ao uso e ao preço”. Enquanto na abordagem da produção, os produtos de qualidade podem não significar perfeição; pois se deve almejar sempre “melhorias nas técnicas de projetos de produtos e de projetos de processos e no estabelecimento de sistemas de normas”, de modo a manter muita cautela neste estabelecimento “pois a empresa poderá gerar produtos não necessariamente com boa aceitação no mercado, mas que apenas atendam às especificações fixadas internamente na empresa”.

Paladini (2006) afirma que a qualidade apresenta contribuições operacionais valiosas como: aumento da produtividade, reduções de custos, defeitos e de trabalho. Para Davis, Aquilano e Chase (2001), a qualidade proporciona um maior grau de realização para os consumidores, fazendo com que seja refletido nos lucros da organização e a possibilidade de realizar maiores investimentos.

#### 2.1.4.3 Sistemas de Produção

O processo de “classificação dos sistemas produtivos tem por finalidade facilitar o entendimento das características inerentes a cada sistema de produção com a complexidade

das atividades de planejamento e controle destes sistemas”. A classificação do produto em tangível e intangível está relacionada respectivamente em manufatura de bens e prestador de serviços, em que, “ambas devem projetar seus produtos, prever sua demanda, balancear seu sistema produtivo, treinar sua mão de obra, vender seus produtos, alocar seus recursos e planejar e controlar suas operações” (TUBINO, 2007).

Moreira (2004) define sistema de produção como sendo “o conjunto de atividades e operações inter-relacionadas envolvidas na produção de bens (caso de indústrias) ou serviços”. Comenta ainda que “é uma entidade abstrata, porém extremamente útil para dar uma idéia de totalidade”.

Há quatro tipos de sistemas produtivos da administração da produção: sistemas contínuos, em massa, em lote e sob encomenda.

a) **Sistemas Contínuos:** dificuldade em identificar e separar uma unidade do produto das demais unidades produzidas, e “são empregados quando existe alta uniformidade na produção e demanda de bens ou serviços, fazendo com que os produtos e os processos produtivos sejam totalmente interdependentes, favorecendo a sua automação”. Ex: bens de base como energia elétrica, petróleo, derivados, produtos químicos de forma geral, entre outros. Em virtude de serem produzidos através de sincronização e automação dos processos, a probabilidade de que possa existir uma mudança no produto é muita ínfima. E “são necessários altos investimentos em equipamentos e instalações, e a mão de obra é empregada apenas para a condução e a manutenção das instalações sendo seu custo insignificante em relação aos outros fatores produtivos” (TUBINO, 2007).

Os equipamentos são conexos uns aos outros, em geral por tubulação ou correias transportadoras, resultando em baixos níveis de estoque em processo. Estas estruturas fabris em geral são automatizadas, constituindo-se quase de uma única “máquina”, trabalhando em geral ininterruptamente, de forma coerente com suas exigências de competitividade no mercado (CORRÊA & CORRÊA, 2006).

A necessidade da existência de altos volumes de produção que sejam “mantidos para se recuperar o custo de equipamentos especializados, o que requer um conjunto padrão de produtos estabilizados ao longo do tempo” (MOREIRA, 2004).

Para Tubino (2007), o fato da demanda destes produtos ser baixa justifica as empresas criarem estoques destes itens de forma que fiquem à disposição de seus clientes, e que serão

vendidos sem dificuldade. Ressaltando que o processo proporcionará um custo produtivo baixo, e o tempo de espera tenderá para nulidade.

b) **Sistemas em Massa:** a produção é de grande escala com elevado nível de padronização, semelhante ao sistema contínuo. O diferencial está em que:

Os produtos não são possíveis de automatização em processos contínuos, exigindo participação de mão de obra especializada na transformação do produto. A demanda por estes produtos é estável, fazendo com que seus projetos tenham pouca alteração a curto prazo, possibilitando a montagem de uma estrutura produtiva altamente especializada e pouco flexível, em que os altos investimentos possam ser amortizados durante um longo prazo (TUBINO, 2007).

De acordo com Moreira (2004), o processo de produzir em massa pode denominar-se de produção pura “quando existe uma linha ou conjunto de equipamentos específicos para um produto final”.

Como exemplo deste tipo de processo identificam-se: transporte aéreo, editoração de jornais e revistas montadoras de automóveis, eletrodoméstico, grandes confecções têxteis, entre outros processos com sua respectiva linha produtiva.

O sistema em massa proporciona uma produção de grande escala, com elevada padronização dos seus componentes, em que ocorrem apenas alterações em termos de fabricação final dos produtos acabados. Desta forma os custos finais são baixos, apoiados na alta produção, ocasionando custos fixos menores; e refletindo custos variáveis das matérias-primas e componentes mais baixos, pelo fato de serem comprados em grandes lotes.

c) **Sistemas sob Encomendas:** apresentam períodos e características particulares para serem entregues, conforme acordado com o proponente da compra – o cliente. Neste tipo de sistema, os serviços “se encontram numa posição próxima à posição de volume correspondente à dos serviços de massa, mas que, ao fazer uso de tecnologias, principalmente das mais avançadas tecnologias de informação, criam no cliente uma sensação de serviço customizado” (CORRÊA & CORRÊA, 2006).

A flexibilidade é um dos recursos que deve ser maximizado, o qual é essencial para o atendimento das diversas especificações da clientela. Quando não se concretizam certas demandas, isto é, ficam ociosas, faz com que os custos produtivos fiquem mais onerosos em



relação aos sistemas contínuos e em massa. As especificações dos produtos devem ser concretizadas conforme o padrão exclusivo do projeto, e ser produzido mediante ordem de produção, ou seja, não pode ser fabricado antecipadamente pelos colaboradores, e que, apenas os componentes, como: matéria-prima, partes e peças podem ser armazenadas como estoque intermediário.

Segundo Moreira (2004), a utilização do equipamento “é do tipo genérico, ou seja, equipamentos que permitem adaptações dependendo das particulares características das operações que estejam realizando no produto”. Tubino (2007) ressalta que, uma das particularidades relevante deste sistema é apresentar alto custo e dificuldades no planejamento e controle gerencial. E como finalidade principal “a montagem de um sistema produtivo voltado para o atendimento de necessidades específicas dos clientes, como demandas baixas, tendendo para a unidade”. Como exemplos: usinas hidrelétricas, fábrica de navios, agência de propaganda, etc.

d) Sistemas em Lotes: distinguidos por apresentar “produção de um volume médio de bens ou serviços padronizados em lotes, sendo que cada lote segue uma série de operações que necessitam ser programadas à medida que as operações anteriores forem sendo realizadas” (TUBINO, 2007). Para Corrêa e Corrêa (2006), sua aplicabilidade é indicada “quando a empresa tem uma linha de produtos relativamente estabilizada de variedade alta”. Ressalta a necessidade de flexibilidade e observar a diversidade de pedidos dos clientes e demais variações da demanda referente ao sistema produtivo.

Moreira (2004) comenta que, ao finalizar a “fabricação do lote de um produto, outros produtos tomam o seu lugar nas máquinas”. Como exemplos deste sistema em lote estão as indústrias químicas de especialidades, estamperia de montadoras de veículos, alimentos, embalagem, entre outras.

## **2.2 A Tomada de Decisão**

A tomada de decisão parte do princípio que a existência de um problema que pode levar a várias alternativas de solucioná-lo. E, “mesmo quando, para solucionar um problema, possuímos uma única ação a tomar, temos as alternativas de tomar ou não essa ação.

Concentrar-se no problema certo possibilita direcionar corretamente todo o processo” (GOMES et al., 2006).

Ainda conforme o mesmo autor, a tomada de decisão pode ser classificada de várias formas, como em:

- 1) decisões simples ou complexas;
- 2) decisões específicas ou estratégicas, entre outras.

O resultado das decisões tomadas pode apresentar-se da seguinte forma: imediata, curto prazo, longo prazo e multidimensional (uma combinação das três formas anteriores).

A tomada de decisão está em optar por uma alternativa em um conjunto de alternativas possíveis sob a influência, de no mínimo, duas variáveis conflitantes, onde as principais variáveis consideradas ao tomar decisão são: parâmetros quantitativos e qualitativos, os quais são aplicados por decisões empresariais, governamentais, militares, entre outros setores ou seguimentos da sociedade.

### 2.2.1 A Tomada de Decisão versus Tecnologia

O que se constata no cenário atual é uma demanda insaciável por tomar decisões mais céleres e abrangentes, principalmente com objetivos competitivos empresariais, tendo como foco principal do decisor: a minimização das perdas atuais para alcançar a maximização dos lucros no futuro. A tecnologia tem sido uma grande aliada na tomada de decisão nos últimos anos.

Angeloni (2008) conceitua tecnologia como “os recursos de hardware e software que apóiam a tomada de decisão e o gerenciamento de informações e conhecimentos, considerando os indivíduos que participam ativamente desses processos.” Saaksjarvi (2003) vai mais além e diz que não deve haver equívoco na conceituação de tecnologia e inovação. Esta trata de uma “novidade” para as pessoas, devendo ser demonstrado/configurado como uma prática, idéia ou até mesmo um objeto; e aquela, tecnologia, é a aplicação do conhecimento com o objetivo de proporcionar inovação e normalmente é visualizada fisicamente.

Em outra definição, afirma-se que: tecnologia são atividades físicas relacionadas com a manufatura de produtos, e pode está relacionada com variáveis como hardwares (físico) ou

de maneira mais ampla, podendo englobar habilidades humanas, softwares, aspectos organizacionais, entre outros (DREJER, 2000).

Os avanços tecnológicos trouxeram novas formas de processamento dos materiais plásticos, metais, tecidos e outros, e que a tecnologia é utilizada em todos os processos produtivos. As tecnologias de processos “são as máquinas, equipamentos e dispositivos que ajudam a produção a transformar materiais, informações e consumidores de forma a agregar valor e atingir os objetivos estratégicos da produção” (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

#### 2.2.1.1 Aplicabilidade

O desenvolvimento de tecnologias que tenham a capacidade de captar, acessar e distribuir informações e conhecimentos relacionados ao mundo organizacional são exigências sobre as empresas, em particular, e à sociedade como um todo, para a aplicação de novas formas de atuação em tempos cada vez mais competitivo e corporativo.

Nesse sentido, segundo Angeloni (2008), “as tecnologias de informação e comunicação, bem como a sua aplicação às atividades relacionadas ao gerenciamento do conhecimento, constituem o cerne das questões de adaptação da empresa a um ambiente dinâmico e interativo”.

A tecnologia desempenha papel essencial na Era do Conhecimento, consistindo na utilização de ferramentas e métodos que objetivam facilitar a captação, a estruturação e a disseminação do conhecimento anteriormente desestruturado e disperso na organização ou restrito a poucas pessoas por meio de manuais e normas complexos, tendo em vista a sua utilização de forma estratégica e racional por todos os colaboradores (ANGELONI, 2008).

A avaliação do investimento da tecnologia de processo deve ser analisada principalmente quanto a: viabilidade, aceitabilidade, impacto financeiro e sua vulnerabilidade (SLACK, 2002):

- Viabilidade: quando os recursos necessários “para instalar uma tecnologia são maiores do que aqueles que podem ser obtidos ou são avaliáveis, ela não é viável”.
- Aceitabilidade: a aprovação da tecnologia de processo está relacionada em o “quanto ela ajuda a atingir os objetivos da empresa”, concernente ao seu impacto operacional e financeiro.
- Impacto financeiro: análise comparativa “dos custos com os quais o investimento compromete a operação e os benefícios financeiros que podem ser originados”.

- Vulnerabilidade: o risco inerente do investimento está em não ser previsível, significa que sempre deve ser feita a pergunta “se escolhermos esta tecnologia, o que poderemos fazer para reduzir os efeitos do pior acontecimento?”.

### 2.2.2 Tecnologia de Manufatura

A Tecnologia Avançada de Manufatura (Advanced Manufacturing Technologies – AMT) tem apresentado crescimento significativo no seguimento industrial. Esse desenvolvimento tecnológico, a cada dia, tem atingido novos ambientes organizacionais, fato que tem proporcionado uma crescente exigência dos mercados, demandando estratégias para implantação de novas soluções às organizações que desejam manter-se competitivas e resistirem a estas mudanças estruturais. Goldratt e Fox (1989) destaca a importância da implementação de tecnologias avançadas de manufatura para o ganho de vantagem competitiva.

Segundo Small e Yasin (1997) é nesse contexto de mutação altamente exigente que são introduzidas as AMTs, visando o aprimoramento das operações do processo produtivo e a um crescente aumento da competitividade das organizações. Para Costa (2003) as AMTs são definidas como sendo os softwares e hardwares desenvolvidos com propósito de executar funções estratégicas da manufatura, os quais são “aparatos de base numérica e computacional (softwares e hardwares) projetados para executar ou suportar atividades de manufatura”. Comenta ainda que quando as AMT estão integradas em um projeto de fabricação são consideradas um Sistema Flexível de Manufatura, e quando se incorporam aos setores administrativos com suas respectivas atividades são identificadas como uma Manufatura Integrada por Computador.

As AMTs de acordo com Ferreira (2004) são tecnologias de manufatura utilizadas em processos da produção com o objetivo de proporcionar melhores resultados como no tempo de ciclo de produção (lead time), na flexibilidade e qualidade.

Ainda nessa linha de pensamento tem-se que os principais objetivos das AMTs listados são, de acordo com Small e Yasin (1997) apud Gaertner (2005):

- 1) melhoria da produtividade do trabalho;
- 2) redução do custo de produção por unidade;
- 3) redução de sobras e retrabalho;
- 4) redução dos custos do trabalho;
- 5) redução do tempo de preparação;
- 6) redução dos leadtimes de manufatura;
- 7) melhoria na qualidade do produto;

- 8) desenvolvimento de expertise no gerenciamento e da organização integrada;
- 9) melhora na expertise da engenharia;
- 10) redução de lead times de engenharia e projeto.

Nesta dissertação, a tecnologia de manufatura avançada compreenderá um processo produtivo automatizado com equipamentos controlados por computador (braços robóticos), planejados para executar ou suportar atividades do processo produtivo. As AMT podem assumir dois enfoques: quando integrados no âmbito do projeto de fabricação, formados pelos sistemas flexíveis de manufatura – ambiente proposto do presente estudo; e, quando incorporados nos setores administrativos com as suas atividades, formando a manufatura integrada por computador.

#### 2.2.2.1 Investimentos em Tecnologia de Processos

Investimentos em tecnologia, como na utilização de um Sistema Flexível da Manufatura (FMS - Flexible Manufacturing Systems), Manufatura Integrada por Computador (CIM - Computer Integrating Manufacturing) podem proporcionar revitalização para uma organização com aumento da produtividade, redução do tempo de ciclo, sucata e retrabalho (CARTER, 1992).

Segundo Roach (1991), os grandes investimentos em tecnologia oferecidos por prestadoras de serviços, algumas vezes, “não têm levado aos aumentos esperados em produtividade”.

Conforme Davis, Aquilano, Chase (2001), para melhor compreender as formas de contribuições para que uma empresa possa querer investir em tecnologia, diferentes da elevação da produtividade, são: a) manter a participação no mercado; b) evitar perdas catastróficas; c) criar maior flexibilidade e adaptabilidade; melhorar a resposta a novos produtos, melhorar a qualidade dos serviços; elevar a qualidade de vida e da previsibilidade das operações. Acrescenta ainda que, “os gerentes de serviços devem, portanto, perceber que investimentos em tecnologia podem não resultar em maior produtividade”, e ressalta:

Na verdade, eles devem perceber que tais investimentos são freqüentemente necessários apenas para manter o status quo (e a falta desses investimentos resultaria em quedas significativas nas vendas e lucros associados) em relação à competição. Os gerentes devem também perceber que alguns dos benefícios dos investimentos em tecnologia são difíceis de serem medidos e quantificados em dólares, tais como maior moral do trabalhador e tempos de serviço ao cliente reduzidos, os quais podem ser de considerável importância à organização.

O que se constata é que várias empresas tomam a decisão de investir em tecnologia de manufatura avançada puramente por ordem da matriz e ou pressão da concorrência. Embora tenham estes fatores a considerar constantemente, o que é bastante relevante aos investidores é uma análise financeira da organização, visto que se trata de valores de investimentos geralmente altos, de forma que o caixa da empresa pode não estar superavitário – com reservas. Concernente a investimentos em tecnologia de processo:

[...] vale salientar que os investimentos buscam atualmente a flexibilização do sistema produtivo, em vez de estarem centrados em economias de escala. Essa era a orientação dominante nas últimas décadas e surgiu a partir da produção em massa. Entre esses equipamentos estão compreendidos os robots, Flexible Manufacturing Systems (FMS), Computer-Aided Design e Computer-Aided Manufacturing (CAD/CAM) e Computer integrated Manufacturing (CIM). Tais tecnologias têm possibilitado o seguinte: grande flexibilidade em projetos e mix de produtos; agilidade na resposta às variações de demanda; maior controle, segurança e confiabilidade no sistema produtivo; redução de desperdícios e melhor taxa de utilização dos equipamentos; e finalmente, um melhor gerenciamento do sistema produtivo como um todo (PAIVA et al., 2004).

A tomada de decisão com o objetivo de implantar tecnologia de processo como as AMTs deve perpassar por várias análises visto que necessita visualizar várias questões em nível aprofundado, tais como: a experiência da organização, resultados dos concorrentes, a econômico-financeira para que possa identificar o possível retorno esperado.

### **Considerações finais**

Em síntese, é possível compreender a relevância da administração da produção no processo produtivo, visto que, suas atividades refletem diretamente na dinâmica existencial da organização - de forma positiva ou negativa no resultado final. A tomada de decisão, aliada a recursos tecnológicos favorece um padrão aceitável - mais produtivo, constituindo-se como peça chave para que a administração da produção alcance êxito na organização.

## **CAPÍTULO III**

### **3. MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Este capítulo objetiva mostrar a importância da modelagem e simulação computacional com sua respectiva base conceitual como modelo, modelagem, sistema, simulação, bem como suas principais características. Ao final se abordará a simulação computacional em ambientes da manufatura, a qual é considerada uma das técnicas mais usuais, nas últimas décadas, para análises de problemas complexos do processo produtivo.

#### **3.1 Modelos**

##### **3.1.1 Definições**

Gomes et al., (2006) define que modelos “é uma representação abstrata de um sistema real, ou uma imitação simplificada que permite sua manipulação e entendimento quando o sistema real não está disponível para estudo ou a condução de experimentos é muito cara ou perigosa”, relaciona ainda três características importantes em aplicar a representação de um modelo:

- a) Por meio da realidade projetada para algum propósito definido;
- b) Através da realidade planejada para ser usada por alguém no entendimento, mudança, gerenciamento e controle da realidade;
- c) Representação externa e explícita de parte da realidade vista pela pessoa que deseja usar aquele modelo para entender, mudar, gerenciar e controlar parte da realidade.

Quanto às suas particularidades relevantes, os modelos apresentam interdisciplinariedade, permitindo quantificação e também o fato de serem holísticos, isto é, abrangentes.

Para que o modelo possa ser utilizado, deve existir a validação, haja vista que permite a representação, entendimento, análise e quantificação da realidade.

Estas características, entretanto, devem ser verificadas com cautela, pois a modelagem e utilização dos modelos perpassam pelas particularidades:

- a) nenhum modelo seja considerado uma reprodução perfeita da realidade, pois os modelos são representações simplificadas do mundo real, e as simplificações são necessárias, pois o mundo real é normalmente muito complexo. Essas simplificações são conhecidas como *assunções do modelo*;
- b) a avaliação do modelo seja feita nos termos e nos aspectos do estudo a ser realizado, pois um modelo só é válido para a finalidade para a qual foi construído.
- c) haja conscientização de que o modelo tem sua qualidade afetada pelo tempo disponível para confecção, pelo pessoal envolvido e pelos recursos materiais (GOMES et al., 2006).

### 3.1.2 Propósitos de Modelos

Os modelos podem ser aplicados em diferentes propósitos de acordo com seus objetivos específicos e classificação (BACK et al., 2008):

- Explicação de fenômenos: teorias em física (mecânica quântica, relatividade, modelos de partículas), economia (modelos de equilíbrio macroeconômico), Biologia (modelos predador-presa, epidemiológicos), etc;
- Desenvolver previsões: modelos aerodinâmicos (previsões de manobrabilidade da aeronave), climáticos (prever o nível do efeito estufa – atmosfera), etc;
- Apoio à Decisão: decidir o melhor modelo de projeto (custo, localização da planta industrial), etc;
- Propósitos diversos: modelos de manual (aeronave), normas técnicas (ABNT), entre outros.

No geral pode-se constatar a existência de uma variedade de classificação de modelos, que retrata a magnitude desse campo de pesquisa.

No Quadro 3.1, podemos verificar a classificação dos modelos com seus atributos versus descrição mais relevantes.

Ressalte-se que a pretensão é ilustrar uma classificação de vários atributos de modelos, porém não de maneira exaustiva, mas com objetivo de mostrar sua amplitude; considerando ainda que, de forma alguma são excludentes, ou seja, pode existir a união, intercessão ou fusão de modelos.

De acordo com a complexidade do modelo se torna necessário uma representação computacional.



**Quadro 3.1 - Atributos e descrição de modelos relevantes**

ATRIBUTOS	DESCRIÇÃO
Geométrico	Geometricamente similar ao objeto original
Físico	Usa efeitos descritos por leis físicas que também podem ser encontrados no original
Biológico	Biologicamente relacionado ou similar ao original
Material	Aplica materiais que podem ser encontrados no original
Estrutural	Possui componentes igualmente designados e as mesmas relações entre estes componentes; é estruturalmente similar ao original
Funcional	Função ou comportamento de entrada-saída similar ao original
Estocástico	O modelo é influenciado por efeitos aleatórios; geradores de efeitos randômicos são usados para simular um efeito aleatório no original
Determinístico	Nenhum efeito aleatório é envolvido
Estático	Não apresenta modificação ao longo do tempo
Dinâmico	Suas propriedades (variáveis, parâmetros, entradas ou saídas) modificam-se ao longo do tempo
Contínuo	Todos os seus valores são funções contínuas ao longo do tempo e não apresentam mudanças bruscas de seus valores ou estados
Discreto	Mudanças bruscas de valores ou estados do modelo ocorrem
Combinado	Mudanças bruscas de valores ou estados e, além disso, processos não lineares dependentes do tempo que podem ser descritos através de equações diferenciais
Corpóreo	Possui forma física
Abstrato ou matemático	Não existe em uma forma física, mas apenas como uma imagem abstrata do original, que pode ser usada para problemas típicos de identificação, dedução, etc.
Computacional	O modelo é analisado com base em simulação computacional
Síncrono	Modelo que não contém relações temporais
Diacrônico	Modelo contendo relações temporais, também conhecido como modelo de comportamento
Icônico	Modelo com ênfase nas características físicas (2D ou 3D) do sistema
Analógico	Comporta-se como o sistema original, embora necessariamente não tenha a mesma aparência

**Fonte:** BACK et al., (2008).

O desenvolvimento de modelos tem o objetivo de oferecer uma ferramenta que possa substituir de forma mais eficiente e eficaz o sistema real em suas respectivas análises, visando à otimização do sistema real em estudo. No qual se pode citar como funções relevantes destas ferramentas de modelagem:

- Previsão do comportamento conjunto das variáveis modeladas;
- Compreender o inter-relacionamento das variáveis com seus respectivos resultados proporcionado;
- Avaliação do desempenho do sistema real e suas potenciais alterações realizadas;
- Justificação das alterações propostas no sistema atual conforme especificações objetivas;

- Alteração do sistema real, por meio de análises, em que será alterado ou redefinido.

No geral, a análise dos modelos dá-se no nível da unidade industrial e subunidades, e não no nível das atividades concebidas pelos operadores dos equipamentos; de modo que são simulados apenas as ações do operador e os efeitos delas sobre seus dispositivos, equipamentos, cargas, etc.; mas não os efeitos ocasionados sobre o próprio operador no processo.

## 3.2 Modelagem

### 3.2.1 Definições

O ponto de partida do processo de modelagem é “o objeto real que está sendo considerado”. Ao ser modelado, “o objeto real é substituído por outro objeto abstrato, ou modelo mais simples, geralmente com a mesma designação, em forma gráfica, textual ou simbólica” (BACK et al., 2008).

O conhecimento do mundo real, aceito como domínio de conhecimento, é estruturado no modelo, enquanto que as características do objeto real são reduzidas aos fenômenos e aspectos considerados relevantes.

### 3.2.2 Modelagem Computacional

A Modelagem Computacional de um processo ou sistema é uma tarefa que exige conhecimento e dedicação do modelador, visto a exigência de ser conduzido com raciocínio cuidadoso e planejado, para que possa resultar em benefícios muito proveitosos. Princípios básicos e indispensáveis em qualquer metodologia para implementar um processo de simulação (SILVA, 2005):

1. Aplicar a simplicidade no modelo mesmo que venham de pensamentos complicados. Os modelos não necessitam ser tão complicados quanto à realidade;
2. Agir com neutralidade, começando do simples e ir aumentando complexidade à medida do necessário;
3. Evitar modelos extensos pela dificuldade em entendê-los. A regra é dividir esses grandes modelos;
4. Definir os dados a serem coletados, os quais devem ser orientados pelo modelo. O modelador deve agir com imparcialidade, isto é, não “se apaixonar pelos dados”;

5. A atitude do modelador no desenvolvimento do modelo é semelhante a como se estivesse desembaraçando-se dos problemas, pois, a modelagem de alguma forma é um processo desordenado.

### **3.3 Sistemas**

#### **3.3.1 Definições**

Um sistema pode ser definido como “uma coleção de entidades, pessoas ou máquinas, que agem e interagem juntas através de suas habilidades com algum objetivo específico”, sendo um conjunto de variáveis necessárias para descrever um sistema em um intervalo de tempo (LAW & KELTON, 2000).

Para Harrel, Ghosh e Bowden (2000) conceituam sistemas em dois tipos: discretos e contínuos. Um sistema discreto é aquele que apresenta mudanças em um dado intervalo de tempo. Por exemplo, peças que chegam a uma máquina. Já o sistema contínuo apresenta mudanças contínuas nas variáveis de acordo com o tempo, tendo como exemplo, os quilômetros rodados pelos caminhões na simulação de um sistema logístico.

De acordo com Silva (2005) “um sistema também pode ser uma parte ou conjunto no qual o estudo será realizado, que por sua vez está inserido em universo ainda maior, como a área responsável pelo saque e depósito de uma agência bancária”.

Resumindo na conceituação de Gomes et al., (2006) “sistemas: conjuntos de partes que interagem para atingir determinado fim, de acordo com um plano ou princípio”. Na dinâmica da realidade social, existem vários exemplos de sistema, dentre eles: sistema de tráfego, sistema policial, sistema econômico, sistema bancário, entre outros.

### **3.4 Simulação**

#### **3.4.1 Definições**

A utilização da simulação teve seu início a partir da década de 1950 através da indústria aeroespacial dos Estados Unidos da América, e com o avanço da tecnologia de computadores houve um desenvolvimento exponencial em que proporcionou na atualidade uma série de ferramentas computacionais sendo aplicadas em inúmeras áreas.

Para Torres (2007), a “simulação faz parte do conjunto de técnicas da Pesquisa Operacional (PO) usadas para resolver problemas complexos e que utiliza uma abordagem estruturada e precisa”. Afirma ainda que:

Simulação é a imitação da operação de um processo ou sistema real no tempo e envolve a geração de um histórico artificial de dados. A observação desse histórico permite que se façam inferências a respeito das características operacionais dos elementos reais que estão sendo representados e de como interagem.

A definição de simulação está relacionada ao processo de criar um modelo computacional de um sistema real (KELTON; SADOWSKI; STURROCK, 2007). A interpretação da simulação está em recriar um sistema real em um ambiente controlado, visando uma possível compreensão, manipulação e verificação do seu comportamento de forma segura e a custos menores aos que seriam indispensáveis em análises com alterações no sistema produtivo real, onerando assim o investimento.

A simulação implica em modelar um processo ou sistema, “de tal forma que o modelo imite as resposta do sistema real” através de sucessivas demonstrações de eventos que possam ocorrer em determinado período de tempo estabelecido (FREITAS FILHO, 2008).

Neste aspecto, a simulação visa projetar determinado modelo computacional de um processo real e gerir experimentos através deste modelo com a finalidade de mensurar e compreender o seu funcionamento.

“A simulação é essencialmente um trabalho com analogias; é uma modalidade experimental de pesquisa que procura tirar conclusões com modelos que representam a realidade; é a imitação da realidade por meio de modelos”, conforme Gomes et al. (2006).

#### 3.4.2 Etapas do Processo de Simulação

As principais etapas do processo de simulação, também denominadas de metodologia de simulação, compõem as atividades clássicas do especialista em simulação.

Chwif e Medina (2010) afirmam que mesmo existindo, em sua maioria, uma tendência para a sistematização do processo da simulação (em forma de etapas seqüenciais, para fins didáticos), outros autores enfatizam a não linearidade desta prática, tendo em vista que “a melhor maneira é imaginar que o projeto de simulação desenvolve-se em forma de espiral, em que as etapas são repetidas” de modo que “entre uma iteração e outra, não existam mais diferenças nos resultados de cada etapa. Esta situação é particularmente comum em projetos de sistemas novos, dos quais não se dispõe de dados reais”.

O Quadro 3.2 mostra as principais etapas das características didáticas mais aplicadas.

**Quadro 3.2 – Principais Etapas do Processo de Simulação**

<b>ETAPAS DO PROCESSO DE SIMULAÇÃO</b>	
Formulação do Problema	Inicia-se com a declaração do problema de forma clara, de modo que todos possam entender as implicações dessa declaração. Essa formulação servirá de ponto de partida, mas poderá ser atualizada quando se souber mais a respeito do sistema.
Determinação dos Objetivos e Plano Geral do Projeto	O sucesso do processo se inicia pelo estabelecimento e registro das questões que serão respondidas pelo modelo. Também deve haver um questionamento sobre se a simulação é realmente a metodologia adequada para auxiliar a responder essas questões. Também devem ser especificados os cenários a serem considerados e quais critérios serão utilizados para avaliar cada um deles. As necessidades de dados e as hipóteses consideradas também devem ser levantadas.
Desenvolvimento do Conceito do Modelo	Esta é uma das etapas mais difíceis do processo e uma das que exige mais experiência prática. Nesta fase é desenvolvido o conceito geral do modelo, geralmente partindo-se de um modelo mais simples ao qual vão sendo acrescentados os detalhes até que sejam obtidos subsídios suficientes para responder às questões propostas inicialmente. Como o modelo é construído visando responder essas questões é necessário o envolvimento do usuário do modelo para capturar as suas expectativas com relação ao tipo de resposta esperada.
Coleta de Dados	Esta etapa pode ser bastante complexa e exige bastante tempo, pois, em geral, as informações necessárias se encontram dispersas, sumariadas em excesso ou simplesmente não existem. Às vezes, as informações existem mas o usuário do modelo desconhece a sua existência. Também se deve evitar a coleta de dados desnecessários, o que reduz o tempo disponível para as outras atividades.
Codificação	Nesta fase o modelo conceitual deve ser recriado em uma linguagem de programação genérica (por exemplo, Pascal ou C++), em uma linguagem de simulação (por exemplo, GPSS/H ou SIMAN) ou em um simulador (por exemplo, Arena, AutoMod ou Promodel). Esta etapa depende da experiência do modelador em traduzir o modelo conceitual em um modelo computadorizado.
Verificação do Modelo	Consiste na comparação do modelo computadorizado com o modelo conceitual para se determinar se o que foi programado corresponde ao que foi planejado. BANKS & NORMAN (1996) sugerem que sejam usados os princípios de engenharia de software como: a) desenvolvimento modular, b) criação de verificações internas ao modelo, c) teste com valores aleatórios, d) criação de comentários dentro do modelo, e) acompanhamento do programa passo a passo e f) utilização de animação, se possível.
Validação do Modelo	Nesta etapa, depois de verificado o modelo, pretende-se verificar se o modelo representa de fato o sistema real. Entre os testes sugeridos por BANKS & NORMAN (op. cit.) estão testes de degeneração (para taxas de chegada altas), validação da aparência (observando-se se os valores de saída fazem sentido), comparação das saídas com dados históricos e a análise de sensibilidade (observando se os resultados estão apontando as tendências esperadas).
Planejamento de Experimentos	Determinação do período de inicialização (warmup), duração dos tamanhos das simulações e do número de replicações.
Simulações e Análise de Produção	Para levantar medidas de desempenho, determinação dos intervalos de confiança e dos experimentos planejados.
Mais Simulações	Para determinação da precisão estatística desejada.
Documentação, Criação de Relatórios e Implementação	Nessa fase é feita a documentação do modelo para evitar perda de informações quando o modelo tiver que ser estudado ou modificado posteriormente por analistas. Também devem ser gerados relatórios das atividades desenvolvidas, documentando datas, eventos e decisões tomadas. Sugere-se que isso seja feito periodicamente para manter o demandante do projeto a par dos progressos feitos. E sua respectiva implementação.

Fonte: Adaptado de TORRES (2007).

Quanto à implementação do modelo, o analista deve exercer uma atitude de imparcialidade frente aos resultados obtidos e soluções apresentadas (TORRES, 2007):

O processo de desenvolvimento de um estudo de simulação não está livre de erros, problemas e contratempos. O. M. ULGEN et al. (1996) reforçam a necessidade de uma metodologia robusta para que se tenha sucesso no uso de simulação. Como fatores de fracasso apontam como falhas do processo em si: (a) a falha ao não saber apresentar os casos de sucesso de outros projetos; (b) as mudanças freqüentes do escopo do projeto; (c) a falta de revisão do modelo enquanto o estudo avança e (d) não saber quando parar o estudo. Quanto ao modelo, acrescentam que ele pode ser usado menos do que deveria e as pessoas podem não entender os limites dele. Quanto ao elemento humano: (a) há a necessidade de trabalho em equipe, (b) deve ser vencida a incapacidade de ouvir e entender o cliente e (c) devem ser fornecidas muitas alternativas para o problema.

Gomes et al. (2006), comenta que a aplicação da simulação é indicada na ausência de “métodos analíticos para o problema em estudo”. A simulação pode ser compreendida como experimentos ou demonstrações “numéricas utilizando modelos lógicos e/ou matemáticos que têm como propósito descrever o comportamento de um sistema representado por um modelo e obter estimações de parâmetros que desejamos analisar.”

A simulação de modelos e suas respectivas vantagens, de forma sucinta, estão divididas nas seguintes características:

- Simulação de Modelos:
  - a) dispo de variáveis determinísticas ou não determinísticas;
  - b) estáticos ou dinâmicos;
  - c) discretos ou contínuos.
  
- Vantagens da Simulação:
  - a) investiga vários cenários futuros, através de modificação dos parâmetros de entrada e comparação dos resultados subseqüentes;
  - b) identifica problemas futuros;
  - c) economiza investimentos, pois o estudo por meio de um modelo de simulação costuma ser menos de 2% do custo de implementação de um projeto.

### 3.4.3 Simulação Computacional

A simulação computacional conforme Kelton, Sadowski e Sturrock (2007) é conceituada como sendo métodos para estudar uma ampla variedade de modelos de sistemas do mundo real por avaliação numérica, usando um software projetado para imitar as operações do sistema ou suas características, geralmente além do tempo normal. Logo, simulação é o processo de projetar e criar um modelo computadorizado de um sistema real ou um sistema proposto com a finalidade de administrar experiências numéricas para nos dar um

entendimento melhor do comportamento daquele sistema para um determinado conjunto de condições estabelecidas. Para Dávalos (2001):

A simulação computacional de sistemas consiste na utilização de determinadas técnicas matemáticas empregadas em programação, implementadas em computadores digitais, que permitem imitar o funcionamento de praticamente todos os tipos de operação ou processos do mundo real. Essa tem sido cada vez mais aceita e empregada como uma ferramenta técnica que permite aos analistas, dos mais diversos segmentos (administradores, engenheiros, biólogos, técnicos em informática etc.), verificar ou encaminhar soluções, com a profundidade desejada, aos problemas com os quais lidam diariamente.

### 3.4.3.1 Histórico

**Tabela 3.1 - Histórico a partir de 1950 da utilização da simulação computacional**

<b>Décadas</b>	<b>Ferramenta</b>	<b>Características do estudo da simulação</b>	<b>Exemplos</b>
50 e 60	Linguagens de propósito geral	Aplicações em grandes corporações; Grupos de desenvolvimento de modelos com 6 a 12 pessoas; Geram programas a serem executados em grandes computadores.	FORTRAN, PASCAL E C.
70 e início dos anos 80	Linguagens de simulação	Utilização em uma maior número de corporações; Desenvolvimento e uso de pacotes de linguagens; Surgem linguagens de simulação baseadas em <i>System Dynamics</i> ; Comandos projetados para tratar lógica de filas e demais fenômenos comuns; Mais amigáveis, mas ainda requerem programador especializado.	SIMSCRIPT, GPSS, GASP IV, DYNAMO, SIMAN E SLAM
80 e início dos anos 90	Linguagens de simulação	Introdução do PC e da animação; Presença de guias, menus e caixas de diálogos; Simulação realizada antes do início da produção; Facilidade de uso; Menos flexível que as linguagens de propósito geral e de simulação; Projetados para permitir modelagem rápida; Dispõe de elementos específicos para representar filas, transportadores e etc.; Restringem-se a sistemas de certos tipos.	Simfactory e Xcell
Após 90	Pacotes flexíveis de programas de simulação	Melhor animação e facilidade de uso; Fácil integração com outras linguagens de programação; Usada na fase de projeto; Grande uso em serviços; Uso para controle de sistemas reais; Grande integração com outros pacotes (base de dados e processadores de texto) Aprimoramento dos simuladores, o que permite modelagem rápida; Integram a flexibilidade das linguagens de simulação, com a facilidade de uso dos pacotes de simulação.	Witness, Extend, tella, ProModel for Windows

**Fonte:** Adaptação de TORGA (2007).

A Tabela 3.1 mostra a trajetória histórica de utilização da simulação desde seu aparecimento até os dias atuais, onde se constata um maior desenvolvimento dos computadores e como conseqüência uma maior possibilidade de aplicação da ferramenta em função da facilidade de uso em decorrência do surgimento de interfaces mais amigáveis a partir da década de 90.

Gavira (2003) comenta que:

Mesmo após o reconhecimento relativo à eficiência da simulação computacional, seu uso ainda demandava muito tempo de treinamento, caso os candidatos usuários não tivessem um conhecimento prévio. A construção dos modelos e animações era demorada, e os analistas precisavam ter conhecimento do sistema que estavam simulando.

A partir do aparecimento “de softwares específicos acoplados a simuladores”, com capacidade de reprodução gráfica em inúmeros sistemas têm-se uma nova configuração da eficiência da simulação. “Dentre as vantagens da utilização dos softwares pode-se citar a facilidade de compreensão, o treinamento de pessoal e uma melhor visualização do sistema produtivo das indústrias” (SILVA, 2005).

### 3.4.3.2 Desenvolvimento

A aplicabilidade da simulação computacional permaneceu limitada a poucos usuários durante muitas décadas, praticamente às grandes corporações, principalmente, no setor aeroespacial, automobilístico, siderúrgico, entre outros. Esta particularidade deu-se pelo “elevado custo de hardware, do grande esforço de programação requerido e das limitações de memória para armazenamento de dados”, ilustrado na Tabela 3.2 (CARVALHO, 2006):

O desenvolvimento de linguagens específicas e a acessibilidade e incremento na capacidade de processamento computacional vêm aumentar o leque de possibilidades de utilização desta metodologia. A simulação computacional apresenta uma evolução que está diretamente relacionada com a tecnologia de suporte (hardware e software) disponível no momento de seu desenvolvimento.

A utilização de um programa computacional está diretamente relacionado com o trade-off entre flexibilidade e especialização do usuário, o qual está ilustrado nas diversas categorias de pacotes possíveis com o objetivo de modelagem computacional de um sistema.

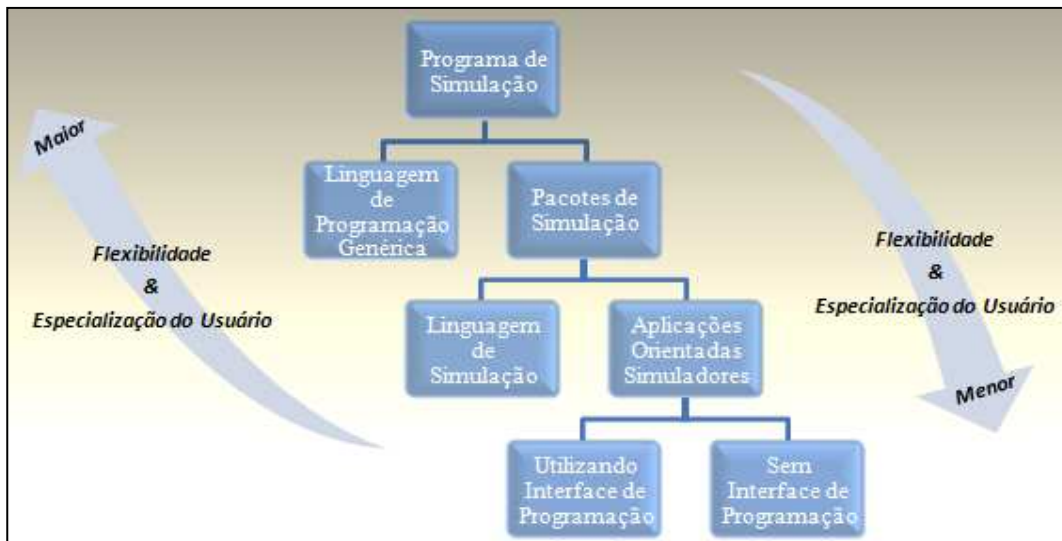
**Tabela 3.2 - Desenvolvimento dos sistemas de simulação**

<b>Classificação</b>	<b>Tecnologia Disponível</b>	<b>Ferramentas</b>
Tipo I Até Década de 60	Conhecimentos científicos, matemáticos, estatísticos e habilidades manuais.	Modelos matemáticos e físicos em escala reduzida.
Tipo II Décadas de 60 e 70	Computadores de grande porte. Primeiros microcomputadores.	Linguagem genérica: Fortran, Pascal e C. Linguagens de simulação: GPSS, SLAM, SIMAN, etc.
Tipo III Até Década de 80	Microcomputadores.	Pacotes de simulação: Witness, Arena, Promodel, etc.
Tipo IV Até Década de 90	Estações de trabalho de alto desempenho e grande capacidade de memória.	Simuladores de interface gráfica, interativos e inteligentes.

**Fonte:** Adaptação de CARVALHO (2006).



Na Figura 3.1 podemos visualizar esta afirmação, com suas respectivas relações, de um Programa de Simulação.



Fonte: Adaptado de RODRIGUES (1994).

**Figura 3.1** – Programas de simulação versus flexibilidade e especialização do usuário.

Esse desenvolvimento pôs em evidência uma nova necessidade para os usuários dos modelos de simulação: eles mesmos seriam os analistas e implementadores do modelo computacional. Nascia assim, uma nova tecnologia, conhecida como VIS - Visual Interactive Simulation. A nova tecnologia, VIS, se configura como base dos atuais softwares de simulação, realiza a modelagem através de ícones agrupando comandos das linguagens tradicionais de simulação, e tornando o trabalho de desenvolvimento mais fácil, através de uma interface semelhante à do Windows, mas muito mais amigável, reduzindo drasticamente o tempo de treinamento (SHANNON, 1998):

Embora as linguagens de programação utilizadas até então ainda podem ser utilizadas, isso raramente ocorre. Existem pacotes de simulação disponíveis no mercado atualmente que apresentam inúmeras vantagens em termos de facilidade de uso, eficiência e eficácia dos resultados obtidos. Dentre as vantagens em se usar os pacotes de simulação podemos ressaltar a redução na tarefa de programar, o aumento da flexibilidade de realizar mudanças nos modelos, menos erros de programação e a coleta automática de dados estatísticos.

O objetivo dos pacotes de simulação é diminuir o espaço entre a conceituação que o usuário tem do modelo e sua forma executável. Os pacotes de simulação são divididos em duas categorias: uma de propósito geral e outra de propósito específico. Na primeira categoria estão os pacotes que podem resolver praticamente todos os problemas de simulação de eventos discretos, como ARENA®, AweSim®, GPSS/H™, Simscript II.5®, Extend™ etc. Na segunda categoria estão os pacotes utilizados na simulação de sistemas de manufatura e problemas de manuseio de material, tais como SimFactory, ProModel®, AutoMod™, Taylor II® e Witness® se encaixam nesta categoria. Assim como os pacotes designados para a condução de estudos de reengenharia de processos, como BPSimulator™, processModel™, SIMPROCESS® e Extend+BPR. Outros, possuem o objetivo de simular áreas como a da saúde, como o MedModel®, ou redes de comunicação, como o COMNET II.5.

O processo da simulação pode ser aplicado em vários softwares (MOORE & WEATHERFORD, 2005):

A simulação pode ser realizada com uma grande variedade de softwares, desde planilhas isoladas (Excel, Lotus) até suplementos de planilha (Crystal Ball, @Risk), linguagens de programação gerais de computador (PASCAL, C++) e linguagens de simulação com propósito específico (SIMAN). Como modelos de simulação agora podem ser criados e rodados num PC ou estação de trabalho, o nível de cálculo e habilidade matemática exigido para projetar e rodar um simulador proveitoso foi substancialmente reduzido. Agora é bastante razoável criar e usar um simulador mesmo quando está claro que um modelo analítico (otimização) poderia ser construído com mais tempo e esforço.

Para Moore e Weatherford (2005), a importância habilidosa dos modelos de simulação “para lidar com complexidade, captar a variabilidade de medidas de desempenho e reproduzir comportamento no curto prazo” resulta em uma poderosa ferramenta de análise da atualidade.

#### 3.4.3.3 Vantagens e Desvantagens

Como apresentam inúmeras vantagens sobre os modelos matemáticos e analíticos e possuem facilidade de compreensão em seus conceitos normativos, os modelos de simulação se tornam diferenciais e sua justificativa, tanto para a gerência quanto para os clientes, é tarefa relativamente fácil. Possuem, além disso, por ter a capacidade de comparar o modelo virtual com a situação real, grandes contribuições para o objeto de estudo, logo mais créditos. Strack (1984) recomenda a utilização da simulação quando:

1. Não há uma formulação matemática completa para o problema;
2. Não há método analítico para a resolução do modelo matemático;
3. Resultados são mais fáceis de serem obtidos por simulação que por qualquer outro analítico;
4. Não existe habilidade técnica para a resolução do modelo matemático por técnica analítica ou numérica;
5. Torna-se necessário observar o desenvolvimento do processo desde o início até o seu término;
6. Quando são necessários detalhes específicos do sistema;
7. Quando a experimentação na situação real apresenta inúmeros obstáculos ou não é possível.

Vantagens de utilização da simulação (SHANNON, 1998):

- a) Possibilidade de se testar novos designs e layouts sem a implementação real dos recursos necessários;
- b) Pode ser utilizada para explorar novas políticas de alocação de funcionários, procedimentos operacionais, tomadas de decisão, estruturas organizacionais, fluxos de informação e etc. Sem causar nenhuma ruptura no sistema real da organização;

- c) A simulação permite a identificação de gargalos nos fluxos de informação, material e produto e realiza testes com o objetivo de aumentar cada taxa;
- d) Permite a realização de testes de hipótese em relação a como e por que certos fenômenos ocorrem no sistema;
- e) A simulação permite o controle do tempo. Assim, sistemas podem ser simulados por meses ou anos em questão de segundos e fornecer resultados visualizados em longo prazo. Além disso, pode-se diminuir a velocidade da simulação para a realização de estudos;
- f) Permite adquirir conhecimento em relação a como o sistema funciona e a identificação de quais são as variáveis que mais afetam a performance do modelo;
- g) A simulação significa em uma maior possibilidade de realização de experimentos com situações não familiares e responder a questões “e se”.

Desvantagens da simulação (LAW & KELTON, 2000):

- a) Os modelos de simulação são caros e consomem tempo para serem desenvolvidos;
- b) A execução de um modelo de simulação estocástico só estima as características do mesmo para valores específicos dos parâmetros de entrada. Assim, serão necessárias várias execuções independentes do modelo para os conjuntos de parâmetros a serem estudados. Por essa razão é que os modelos de simulação geralmente não são tão eficientes em relação à otimização.
- c) A grande quantidade dos dados gerados por um estudo de simulação faz com que as pessoas confiem no modelo mais do que deveriam. Se um modelo não for a representação adequada de um dado sistema, não importa o tipo de informação que será obtida, a real utilidade será mínima.

Além destas desvantagens, Shannon (1998) identifica:

- a) A modelagem de um dado sistema é uma “arte” que requer um treinamento especializado e as habilidades dos modeladores tendem a variar amplamente. A utilidade do estudo dependerá diretamente da qualidade do modelo desenvolvido e das habilidades do modelador;
- b) A coleta de dados de entrada confiáveis pode consumir grande quantidade de tempo e mesmo assim os resultados podem ser questionáveis. A simulação não pode compensar dados inadequados;
- c) Modelos de simulação envolvem a execução de dados de entrada, produzindo as saídas propriamente ditas, surgidas em função das rodadas realizadas. Os modelos não geram por si só uma solução ótima, servindo apenas como uma ferramenta de análise a partir de condições pré-estabelecidas pelo modelador.

#### 3.4.3.4 Modelagem e Simulação de Sistemas de Produção

Os modelos de simulação são fundamentais como ferramentas que estabeleçam uma relação entre os investimentos em tecnologias e o retorno sobre esse investimento. É através da simulação que se tem a capacidade de considerar uma serie de fatores que agem

simultaneamente e “de apresentar adequadamente os resultados para análise. Isso nem sempre é possível usando outros métodos tradicionais. Muitos modelos otimizantes têm baixo desempenho quando aplicados a problemas complexos e que contenham grande número de fatores” (TORRES, 2007).

Os modelos de simulação fornecem maior capacidade de representação, flexibilidade e qualidade dos resultados produzidos, quando comparados aos modelos físicos e estáticos no momento da representação dos arranjos físicos, uma vez que já foram desenvolvidos para representar vários tipos de processo.

A atual tecnologia de simulação fornece recursos adequados para modelar a produção segundo uma lógica de desempenho econômico. No entanto, mesmo essa modelagem pode deixar detalhes importantes de lado, o que descola os resultados do modelo de simulação dos resultados dos sistemas reais em função do grau de parcialidade do modelo. Isso se torna ainda mais crítico quando um modelo deve considerar tecnologias, cuja representação em função da lógica econômica, não se dá de forma direta. Um exemplo disso são ganhos de produtividade que ocorrem no longo prazo em função de benefícios decorrentes da forma de organização do trabalho ou de intervenções ergonômicas. Outro exemplo é o dos ganhos de produção obtidos através de um rearranjo do trabalho e que não se mantém devido a danos causados à saúde dos trabalhadores a médio e longo prazo (TORRES, 2007).

A simulação computacional é uma das ferramentas mais amplamente utilizada em sistemas de manufatura do que em qualquer outra área. Ressaltando ainda que, este fato ocorre em virtude de alguns fatores importantes, afirma Banks et al. (2005):

- a) Aumento da produtividade e qualidade na indústria: resultado direto da automação – em decorrência da complexidade deste tipo de processo é mais vantajoso analisar por meio da simulação;
- b) Custos de equipamentos e instalações: relativamente altos;
- c) Softwares de simulação mais otimizados (ex: interface gráfica): redução do tempo de desenvolvimento de modelos de simulação;
- d) Disponibilidade de animação: maior compreensão e utilização dos gestores da manufatura.

Por mais forte que seja o apelo da imagem de resolução de problemas de forma racional determinista (da lógica modernista), o desenvolvimento de modelos de simulação se dá, normalmente, sob uma série de influências ambientais e temporais contingenciais. Podem ser citados, a título de exemplo, a pressão do contratante por resultados rápidos a partir do modelo e a inutilização de um modelo por conta de decisões gerenciais abruptas.

Os analistas de sistemas produtivos, durante o processo de desenvolvimento de modelos de simulação, de acordo com Torres (2007), enfrentam uma série de dificuldades de modelagem:

Modelos desenvolvidos através de estudos de simulação, mesmo que contando com o reconhecimento institucional são apenas modelos de ação (modelos de tecnologia) que serão realizados de forma parcial ou pelo menos de forma diferente. Se por um lado o aumento do detalhamento do modelo não assegura a veracidade dos resultados, por outro há a explicitação dos condicionantes tecnológicos postos em confronto com os condicionantes ambientais não redutíveis à lógica do desempenho econômico. Como ferramentas de apoio à decisão esses elementos têm que ser explicitados no modelo para que o decisor exercite suas capacidades, considerando então uma riqueza maior do cenário sob o qual a necessidade de decisão foi motivada. Além disso, ao considerar elementos reconhecidos pelo ambiente como válidos, há a possibilidade de aumento da legitimidade do modelo e das ações decorrentes da sua análise.

O objetivo do especialista ao desenvolver seus modelos de simulação, em última análise, é conseguir a interação modelo-prática, potencializando os efeitos do modelo sobre as práticas. Ao transpor o momento da criação de um modelo, o especialista tem cumprida sua tarefa. E o resultado de seu trabalho, o modelo propriamente dito, possivelmente sofrerá alterações ao ser otimizado, sob a ótica dos indicadores de desempenho.

Os especialistas que desenvolvem esta profissão, de modelagem e simulação, são das mais variadas formações (engenheiros mecânicos, de produção, de computação e outras) e classes sociais com conhecimento e experiências diversas. Estes profissionais de simulação atuam, principalmente, em ambientes: a) empresarial (internamente à empresa) nos setores de análise de processos, informática, entre outros; e b) por meio de consultorias, prestadoras de serviços.

### **Considerações finais**

A utilização da modelagem e simulação computacional tornou-se uma ferramenta de análise fundamental, em que se mostra relevante às mais diferentes áreas de aplicação, particularmente em ambientes complexos do processo produtivo. Contudo ressalta-se que o processo de validação do modelo deve ser realizado com prudência para que transmita confiabilidade na demonstração virtual do sistema; e para que se tenha uma maior confiança nas experimentações e resultados propostos de forma coerentes na realidade.

## CAPÍTULO IV

### 4. MODELAGEM NO PLANT SIMULATION

Este Capítulo se destina a apresentar a ferramenta computacional Plant Simulation, integrada ao software Tecnomatix<sup>®</sup>, com suas características, vantagens e suas respectivas aplicabilidades quanto à modelagem e simulação.

#### 4.1 Tecnomatix<sup>®</sup>

O software Tecnomatix<sup>®</sup> oferece um conjunto abrangente de soluções digitais que ajudam as empresas a identificar rapidamente as melhores estratégias para aumentar a produtividade, baixar custos e alcançar metas de qualidade (SIEMENS PLM, 2010). Suas maiores características são discriminadas no Quadro 4.1, abaixo:

**Quadro 4.1 – Principais vantagens do software Tecnomatix<sup>®</sup>**

<b>Vantagens</b>	<b>Importância</b>
Liderança	A tecnologia é sua base, com participação no mercado e a experiência colaborativa das indústrias mundialmente reconhecidas. Suas soluções de manufatura digital são desenvolvidas com base na solução de PLM (Product Lifecycle Management) - gerenciamento do ciclo de vida do produto, a mais implantada no mercado.
Base de ciclo de vida aberto escalável para empresa	Todo o portfólio da Siemens PLM Software foi desenvolvido sobre uma arquitetura aberta, permitindo que as soluções do Tecnomatix integrem qualquer sistema de gerenciamento de dados de produto (PDM). Essa flexibilidade se traduz em implantações com excelente relação custo-benefício e capacidade inigualável de integração com outros sistemas comerciais.
Controle de processos e dados em maior escala	A solução de gerenciamento de processos e dados fornece visibilidade e auditoria entre a planta, o processo, os recursos e as configurações de produtos, além de dar suporte, em conjunto e em tempo real, à consistência e à reconciliação reforçadas, o que reduz a confusão e a complexidade, delinea a responsabilidade e diminui o risco de aumento de custos durante a introdução de novos produtos e as inevitáveis alterações ao ambiente de produção.
Estrutura de valor específica da indústria	As soluções são adequadas para suportar e melhorar processos específicos de diferentes indústrias, incluindo a automotiva, de equipamentos pesados, aeroespacial, de eletrônicos de alta qualidade, de produtos de consumo e de maquinaria pesada. Permitem que as empresas implementem soluções de manufatura digital com facilidade ao utilizar práticas recomendadas da indústria. No ambiente de gerenciamento, as empresas podem configurar rapidamente estruturas de dados, fluxos de trabalho e regras comerciais que atendam as suas necessidades.
Análise poderosa em nível de sistema	A otimização é obtida por meio de um ambiente gerenciado e compartilhado que permite aos engenheiros reagir rapidamente a mudanças independentemente da origem. O comportamento e a lógica do dispositivo do sistema podem ser modelados para garantir otimização total da linha de produção, onde os erros são corrigidos através de interação dinâmica, abrangendo a necessidade de sistemas altamente automatizados e configuráveis para garantir resultados de produção otimizados.

**Fonte:** SIEMENS PLM (2010).

Para a Siemens PLM (2010), o software Tecnomatix<sup>®</sup> proporciona ainda:

- a) Soluções (portfólio) de alta qualidade: proporciona um conjunto completo de aplicativos baseados em fluxo de trabalho, abrangendo assim todos os domínios influenciados pelos seus requisitos de produção;
- b) Planejamento do layout da fábrica com colaboração: aplica associação de ferramentas de manufatura com as de simulação, facilitando a compreensão do real fluxo de trabalho e de materiais para a configuração de um layout de fábrica específico. Essa abordagem permite analisar interativamente diversos processos de produção e cenários de layout, fornecendo um meio inteligente para a tomada de decisões bem informadas;
- c) Ambiente de engenharia simultâneo: utiliza a fonte única de conhecimento de ciclo de vida do Teamcenter, que cria uma base que pode ser usada para racionalizar e aproveitar os ativos de engenharia e otimizar/sincronizar os resultados finais da produção para reduzir complexidades e acelerar a introdução de inovações no mercado.

Dentre essas características amplas do Tecnomatix<sup>®</sup>, serão abordadas a modelagem e simulação no Plant Simulation, tendo em vista que é a ferramenta computacional a ser utilizada no presente estudo.

#### 4.1.1 Ferramenta: Plant Simulation

##### 4.1.1.1 Conceitos

O Tecnomatix<sup>®</sup> Plant Simulation é uma ferramenta de simulação de eventos discretos que ajuda criar modelos digitais de sistemas logísticos (por exemplo, produção), para que seja possível explorar as características dos sistemas e otimizar seu desempenho.

Com esses modelos digitais, é possível executar experiências em cenários hipotéticos sem afetar os sistemas de produção existentes ou, quando usados no processo de planejamento, bem antes que os sistemas de produção reais sejam instalados.

Ferramentas de análise abrangente, como análise de dificuldades, estatísticas e gráficas permitem que sejam avaliados diferentes cenários de fabricação. Os resultados fornecem as informações necessárias para tomar decisões céleres e confiáveis nos primeiros estágios do planejamento do processo produtivo (SIEMENS PLM, 2010).

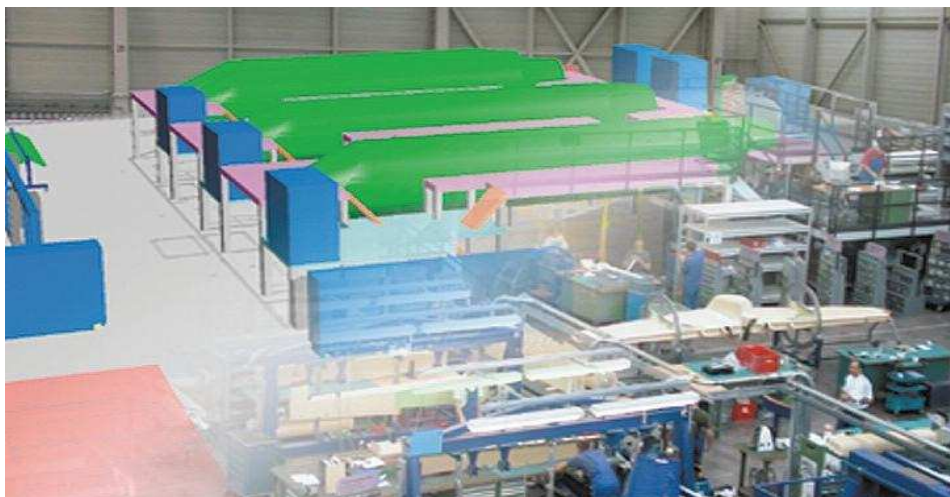
“Uma simulação discreta por eventos é orientada por eventos que ocorrem em determinados pontos no tempo tais como a chegada de um cliente ou o término de um serviço. Quando ocorre um evento, o estado do sistema se modifica” (FITZSIMMONS & FITZSIMMONS, 2007).

Por meio desta ferramenta, pode-se modelar e simular sistemas de produção e seus processos, podendo ainda otimizar o fluxo de materiais, a utilização de recursos e a logística para todos os níveis de planejamento de fábrica a partir de instalações de produção, passando por fábricas locais, até linhas específicas, evitando o desperdício de recursos valiosos na correção de problemas nas fábricas reais.

Ao utilizar simulações de resultado de produção, o Tecnomatix® Plant Simulation otimiza os parâmetros que definem as capacidades do sistema de produção, facilita a vinculação do layout da fábrica à simulação de eventos distintos. Isso permite desenvolver e analisar, com rapidez, diversos cenários de produção, eliminando gargalos, melhorando a eficiência e aumentando os resultados.

O planejamento e a validação de montagem computacional garantem uma enorme gama de ferramentas para agilizar o fluxo de planejamento do processo, automatizar suas tarefas de planejamento sem valor agregado e validar o melhor plano para o desenvolvimento de produtos.

Essas ferramentas facilitam o desenvolvimento do processo, o gerenciamento da lista de materiais para produção, o ajuste da linha de produção, a criação de um processo automático de montagem/desmontagem, a análise do layout da fábrica e da ergonomia em 3D, entre muitas outras coisas. A Figura 4.1 exemplifica essa idéia.



Fonte: SIEMENS PLM (2010).

**Figura 4.1** – Plano de Visualização de um Processo Produtivo em 3D (virtual e real)



Com o projeto e a visualização 3D da manufatura, o Tecnomatix® Plant Simulation oferece acesso a informações fundamentais dos processos de design, layout e instalação. É possível graças a “objetos inteligentes” que representam todos os recursos da sua manufatura: de transportadores, mezaninos e guindastes a contêineres, e operadores. Ao combinar técnicas de layout 3D e objetos inteligentes, é possível criar layouts de fábrica com mais rapidez do que em 2D, melhorar a visibilidade das inovações no processo em toda a empresa e reduzir os custos e os riscos em potencial da não conformidade (SIEMENS PLM, 2010).

O Tecnomatix®, através do Plant Simulation, garante inovação ao vincular todas as disciplinas de produção com a engenharia de produtos, incluindo layout e o projeto de processo, simulação e engenharia e gerenciamento da produção. Fornece soluções de alta qualidade por meio de integrações abertas que reduzem os prazos para obtenção dos resultados finais e aumentam a precisão dos esforços do plano de produção.

A ferramenta do Plant Simulation possibilita associar dados de produtos, processos, recursos e manufaturas, de modo que os fabricantes conseguem aproveitar todo um arsenal de tecnologias orientadas a processo reconhecidas como as tecnologias líderes no domínio da manufatura digital. Mantém a continuidade digital que é tão crucial no ciclo de vida do produto, ajudando os fabricantes a fornecer produtos inovadores mais rapidamente ao mercado e também a aproveitar o potencial das operações de produção mundial, aumentar a eficiência da produção, manter a qualidade e aumentar a lucratividade.

Ressalte-se que é de conhecimento geral no meio empresarial que a produção é responsável por um volume maior de dados do que a engenharia do produto. Entretanto, as relações entre esses dois domínios são críticas para o desenvolvimento de um novo produto e o início da manufatura, e pelo Plant Simulation é permitido aproveitar as alterações, atualizações e as dependências do produto em todo o processo de planejamento, o que resulta em planos de produção validados que garantem a visibilidade dos detalhes de manufatura de um produto (fato fundamental uma vez que problemas de qualidade e custos com garantia podem, rapidamente, devastar os lucros e influenciar negativamente na satisfação do cliente), e promovendo desta forma melhorias na qualidade, controle do processo e conformidade em todo seu processo de produção.

Vantagens da simulação computacional no Plan Simulation (SIEMENS PLM, 2010):

- Reduz o tempo de planejamento e os custos associados;
- Aumenta a transparência dos processos de montagem, reduzindo o impacto das alterações do produto;

- Engenharia colaborativa em ambientes com diversos usuários;
- Produtividade da manufatura: permite otimização antes do início da produção;
- Diminui o tempo de análise da causa;
- Reduz o custo total da qualidade;
- Analisa a variação de qualidade da produção em relação aos modelos matemáticos nominais;
- Automatiza os esforços de programação de inspeção;
- Utiliza padrões da indústria para reduzir a dependência de soluções de propriedade;
- Diminui os custos de implantação ao aproveitar seus processos comerciais e a infraestrutura de PLM (Product Lifecycle Management) - gerenciamento do ciclo de vida do produto.



Fonte: SIEMENS PLM (2010).

**Figura 4.2** – Modelo de Visualização Computacional

A solução de projeto e otimização de plantas, como visualizado nas Figuras 4.1 e 4.2, permitem a criação de modelos de manufatura mais rapidamente e garante a operação com total eficiência antes que ocorra aumento na produção.

Ao possibilitar que engenheiros visualizem o resultado dos planos nas fábricas virtuais, as organizações conseguem evitar o desperdício de recursos valiosos na correção de problemas nas fábricas reais.

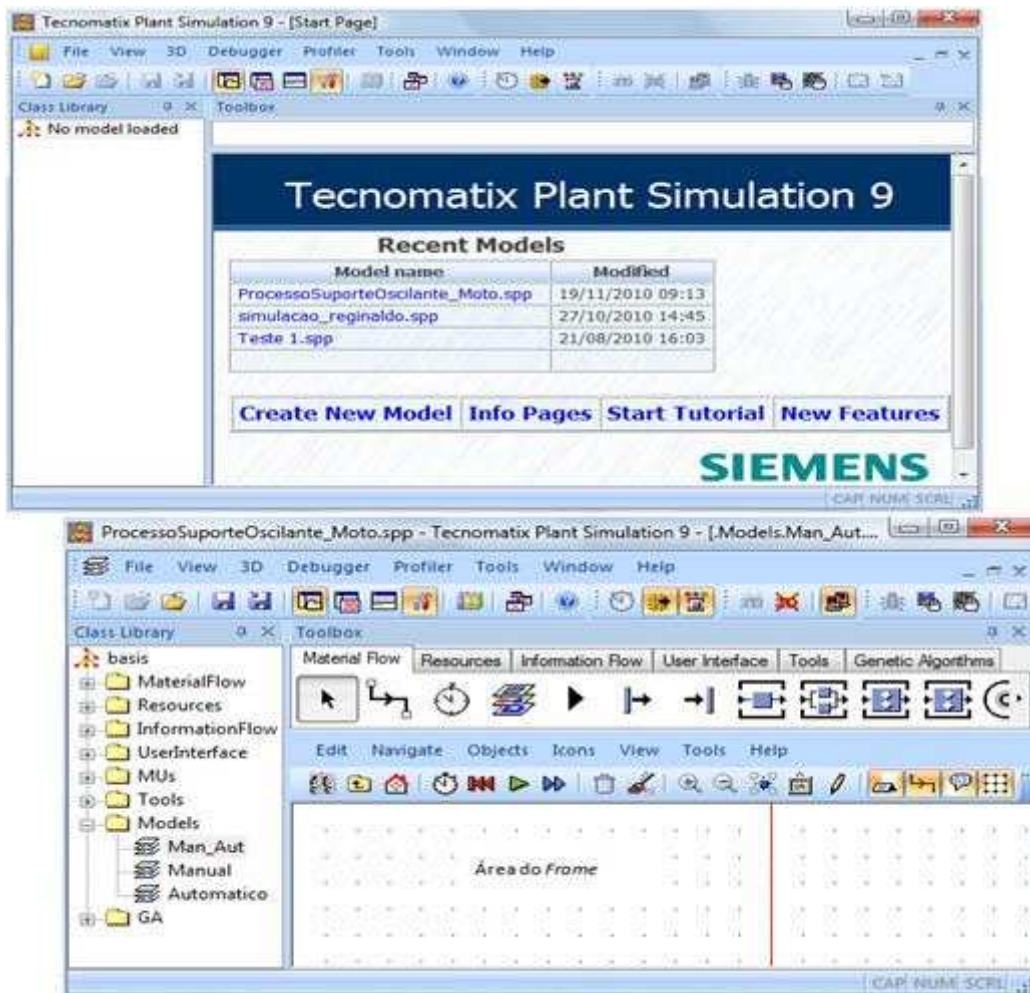
A simulação de resultado de produção otimiza os parâmetros que definem as capacidades do sistema de produção, facilita isso ao vincular o layout da fábrica à simulação de eventos distintos. Isso permite desenvolver e analisar, com rapidez, diversos cenários de produção, eliminando gargalos, melhorando a eficiência e aumentando os resultados.

4.1.1.2 Interface Gráfica: funcionalidades.

O Plant Simulation oferece ao usuário de uma forma ampla o gerenciamento e a estruturação de seus modelos de simulação.

Primeiramente, objetiva-se mostrar uma forma geral da ferramenta utilizada e cobrir as seguintes funcionalidades da área de trabalho, menus e barras de ações: Class Library, Toolbox, Menu Bar, Toolbars.

Na Figura 4.3 a visualização da área de trabalho com a tela inicial (Start Page) e barras de tarefas com suas respectivas funcionalidades para criação de novo modelo (Create New Model) do Tecnomatix® Plant Simulation.



Fonte: Retirado do software Tecnomatix® Plant Simulation

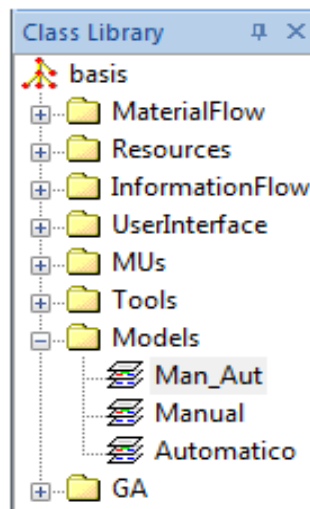
Figura 4.3 – Tela inicial e criação de novo modelo do Tecnomatix® Plant Simulation

a) Class Library

A biblioteca da Class Library é estruturada hierarquicamente com semelhança ao sistema de arquivos do Windows, visualizada na Figura 4.4.

Os objetos de classe são armazenados em pastas na Class Library da qual podem ser retirados todos os objetos filhos - que podem ser inseridos nos respectivos modelos de simulação, bem como objetos de outra classe que possam ser desenvolvidos.

É recomendável que o gerenciamento, a criação de pastas e mover os objetos das pastas na Class Library sejam feitos de forma eficiente desde o início, pois facilitará a rápida localização dos objetos e proporcionará um maior suporte a manutenção de modelos já existentes.



Fonte: Retirado do software Tecnomatix® Plant Simulation  
**Figura 4.4** – Biblioteca da Class Library com subpastas

A Class Library já contém um número de pastas e seus respectivos objetos.

O Plant Simulation possui uma série de objetos padrão com o qual se constrói os modelos, incluindo gráficos, tabelas, métodos e objetos de fluxo de material. Alguns dos objetos mais comumente utilizados serão aqui abordados.

Ao criar um modelo, é recomendável criar novas pastas para os objetos do seu modelo, ao invés de armazenar os objetos dentro de pastas existentes. Caso contrário, haverá risco de mudar os objetos padrão, podendo causar efeitos imprevisíveis.

Para criar uma nova pasta, deve-se clicar no botão direito do mouse em Class Library e selecionar New > Folder e renomear a pasta. Outra parte importante do Plant Simulation é a caixa de ferramentas ou Toolbox.

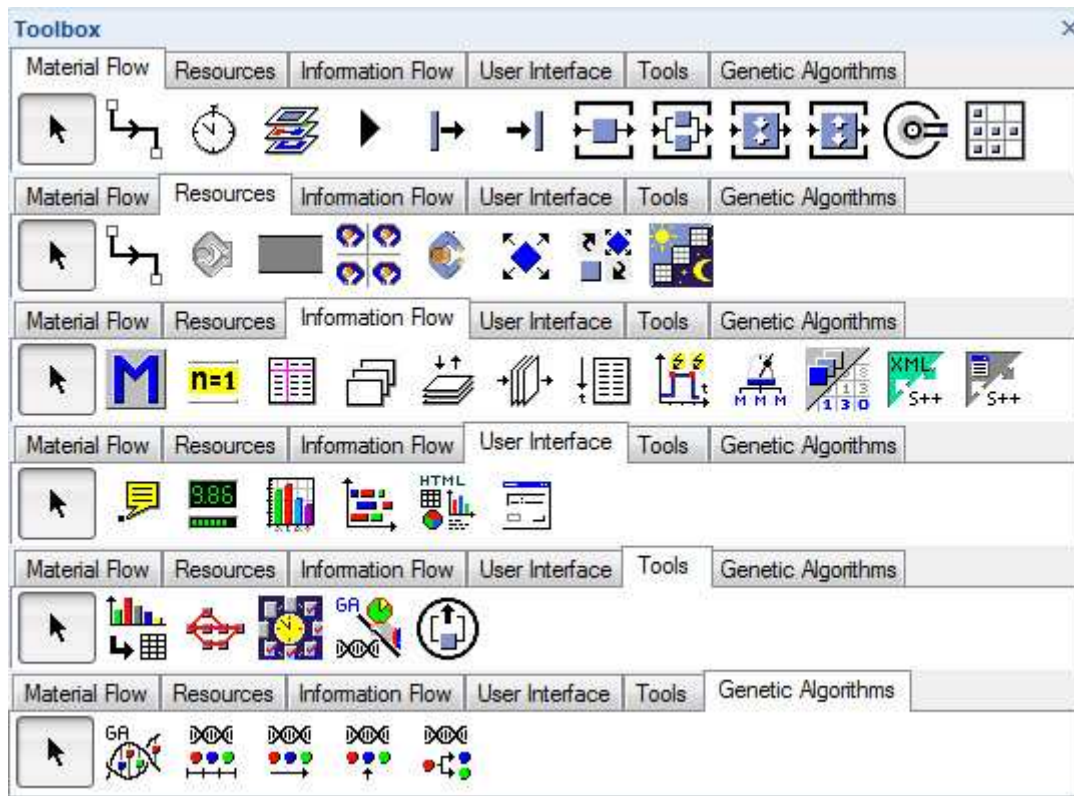
**b) Toolbox**

O Toolbox contém todos os objetos da classe padrão, a Class Library. Para construir modelos de simulação, devem-se criar, primeiramente, novos quadros ou Frames.

Após criar os Frames, usa-se o Toolbox para inserir os objetos nos Frames, bastando para isso clicar com o botão esquerdo do mouse no objeto e arrastá-lo até o Frame desejado.

Para inserir várias cópias de um objeto, mantém-se pressionada a tecla Ctrl e clicar com o botão esquerdo do mouse no Frame.















Na Figura 4.5 podemos visualizar algumas das principais categorias, de forma expandida, do Toolbox:



**Fonte:** Retirado do software Tecnomatix® Plant Simulation  
**Figura 4.5** – Principais categorias do Toolbox

O Quadro 4.2 exibe algumas ferramentas (objetos) utilizadas para o desenvolvimento da modelagem e simulação deste estudo proposto, o qual será analisado no Capítulo 5.

**Quadro 4.2** – Lista de algumas ferramentas do Toolbox utilizadas neste estudo de simulação com o Plant Simulation.

 ShiftCalendar	Shift calendar: modela os diferentes turnos trabalhados na instalação, ambiente proposto, no qual define as mudanças necessárias do processo a ser simulado.
 EventController	Event controller: utilizado para dar início à simulação e determinar o tempo estimado do processo.
 Comment	Comment: este objeto cria uma caixa de texto para inserir comentários, entre outros tópicos.
 Workplace  Worker	Workplace: representa uma pessoa no local de trabalho, na estação do processo, onde o trabalhador exerce a sua profissão. Worker: representa uma pessoa, colaborador que trabalha, realizando uma determinada função.
 Source	Source: utilizado para criar as peças, que estarão se movendo através do sistema de produção.
 Drain	Drain: este objeto é onde as peças deixam o sistema (final do processo).
 SingleProc	Single proc: objeto genérico que pode ser usado para qualquer estação ou máquina, onde as peças passam um certo tempo (como nos postos de trabalho).
 ParallelProc	Parallel proc: este objeto tem a função de executar mais de um processo de uma só vez
 Frame	Frame: utilizado para criar outra janela e simular parte de um processo separadamente sem afetar no processo como um todo.
 Interface	Interface: esse objeto é usado para definir onde o fluxo de material entra / sai da armação.
 Display_	Display: contabilizador do processo produtivo (utilizado para demonstrar a quantidade de produtos que foram fabricados).
 BottleneckAnalyzer	Bottleneck analyzer: exibe as estatísticas normais dos objetos de fluxo material e classifica os dados em um ranking.
 Chart	Chart: apresenta os resultados da simulação na forma gráfica. O gráfico mostra os conjuntos de dados armazenados e disponíveis à mensuração, após a simulação.

**Fonte:** Retirado do software Tecnomatix® Plant Simulation

O Toolbox é dividido em diferentes categorias básicas, tais como Material Flow, Resources, Information Flow, User Interface, Tools e Genetic Algorithms, correspondentes as pastas da Class Library. É caracterizado pelo adição de novas barras de ferramentas (Toolbars) e, em seguida, acrescentar os objetos para estas barras. Para fazer isso, basta clicar

com o botão direito em Class Library e selecionar New > Toolbar; em seguida, renomear o Toolbar da Class Library.

O adição de novos objetos para a nova Toolbar é feito arrastando-se objetos da Class Library diretamente para a Toolbar do Toolbox.

### c) Menu Bar

O Menu Bar ou a barra de menu contém os seguintes itens: File, View, 3D, Debugger, Profiler, Tools, Window e Help. Visualizado na Figura 4.6.



Fonte: Retirado do software Tecnomatix® Plant Simulation
























**Figura 4.6** – Barra do Menu Bar

- File: fornece comandos para abrir modelos novos ou existentes, salvar modelos e gerenciar a Class Library.
- View: são comandos para mudar, animar, desligar, além de mostrar ou ocultar Toolbars e janelas.
- 3D: comandos para iniciar ou fechar o visualizador 3D, para abrir, salvar, importar e exportar dados em 3D.
- Debugger (Depurador): pode encontrar e rastrear problemas em seu modelo de simulação. O Debugger permite definir pontos de interrupção e, através da execução de métodos linha por linha, pode mudar para métodos diferentes na cadeia de chamadas, faixa variável de valores, etc. O Debugger possibilita que facilmente se encontrem erros, corrija o código do método defeituoso e continue a executar a simulação ou iniciá-la novamente.
- Profiler: é uma ferramenta que analisa os métodos em relação a performance. Se as simulações levarem muito tempo para terminar, pode-se analisar quais métodos consomem a maior parte do desempenho e melhorar os métodos. Recomenda-se apenas ativar o Profiler quando pretende-se coletar dados, pois ativá-lo consome um desempenho adicional.
- Tools: permite especificar as configurações de modelo e preferências (como as unidades), criptografar / descriptografar todos os métodos no seu modelo, bem como gerenciar números aleatórios.
- Window: fornece menus para organizar as janelas.
- Help: comandos para navegar no conteúdo da pasta de ajuda, ou procurar palavras-chaves através do índice. Além disso, o menu contém vários links para páginas de suporte na internet.

**d) Toolbar**

O Plant Simulation oferece uma barra de ferramenta Toolbar com os comandos mais frequentemente utilizados. O Quadro 4.3 mostra uma lista desta barra de ferramentas.

**Quadro 4.3 – Barra de ferramenta do Toolbar com os comandos mais utilizados**

	Abre um novo modelo.
	Abre um modelo existente.
	Fecha o modelo.
	Salva o modelo atual.
	Salva o modelo com outro nome.
	Mostra / oculta a Class Library.
	Mostra / oculta a biblioteca 3D.
	Mostra / oculta o console.
	Mostra / oculta o Toolbox.
	Permite gerenciar o conteúdo da Class Library e verificar se há versões atualizadas.
	Fecha todas as janelas abertas de diálogo e visualiza as janelas que estão localizadas sob as janelas de diálogo. Um segundo clique sobre o ícone traz de volta as janelas de diálogo.
	Abre o ajuda (help) da tabela de conteúdos.
	Abre o evento controlador ativo.
	Alternar MU ("Movable Unit") de animação.
	Alternar a animação do ícone (por exemplo, a visualização dos estados de objetos de fluxo de materiais, como: falhou, fez uma pausa, trabalho etc.)
	Inicia o visualizador 3D.
	Fecha o visualizador 3D.
	Conecta-se / desconecta do visualizador 3D.
	Abre o método Debugger.
	Parar os Controles - Abre a janela do Debugger sempre que um controle é iniciado.
	Ignorar Breakpoints - Continua a execução do método, mesmo que os pontos de interrupção (breakpoints) estejam definidos.
	Mostra os métodos de suspensão (por exemplo, métodos que a execução foi suspensa por um comando "waituntil").
	Finaliza a suspensão dos métodos.

**Fonte:** Retirado do software Tecnomatix® Plant Simulation



**e) Toolbar do Frame**

A barra de ferramenta do (Toolbar) do Frame (quadro) fornece os comandos para o desenvolvimento de modelos e controle de funcionalidades da modelagem e simulação.

Conforme a Figura 4.7 e Quadro 4.4, a seguir.



Fonte: Retirado do software Tecnomatix® Plant Simulation

**Figura 4.7** – Barra de ferramenta do Frame

O Quadro 4.4 mostra o Toolbar do Frame com suas respectivas funcionalidades descritas.

**Quadro 4.4** – Funcionalidades do Toolbar do Frame

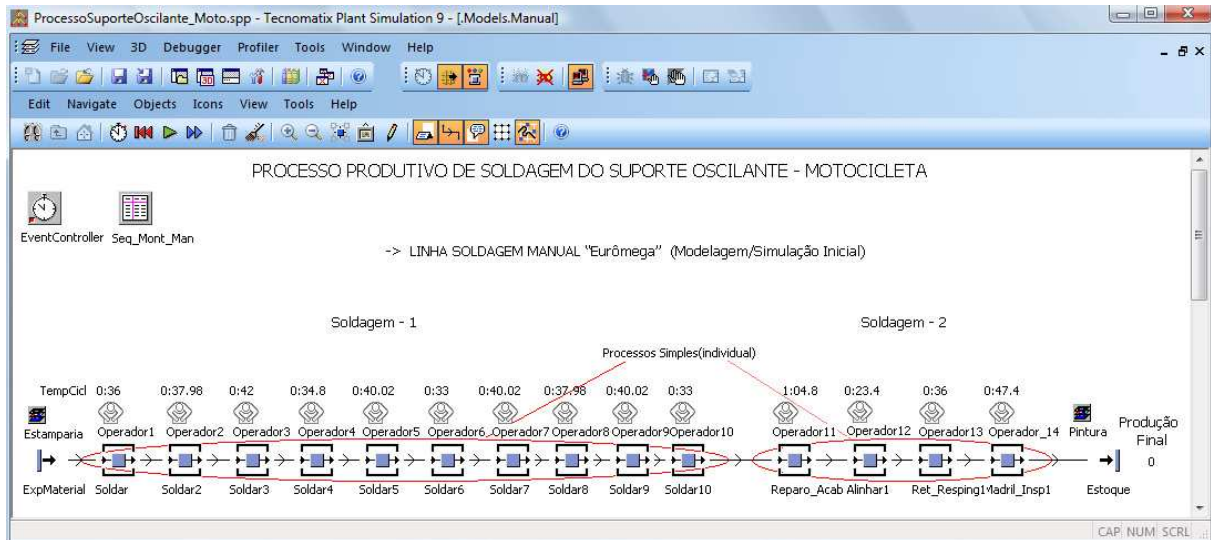
	Abre a janela do Frame em que o Frame é localizado.
	Abre a janela do Frame em que o Frame é localizado e fecha a janela atual.
	Abre a janela do Frame do qual o Frame atual foi derivado.
	Abre o Frame's evento se existir, se não ele insere um.
	Redefine o Frame's do controlador de eventos.
	Inicia e pára a simulação.
	Inicia a simulação sem animação - desta forma, a simulação é mais rápida.
	Exclui os objetos selecionados.
	Exclui todos os objetos em movimento (MUs) no Frame.
	Amplia o conteúdo dentro do Frame.
	Amplia o conteúdo fora do Frame.
	Seleciona todos os objetos com entradas não conectadas ou sai do Frame.
	Abre o Editor de ícone para editar ícones do Frame.
	Abre o editor para desenhar elementos gráficos de vetor no fundo do Frame.
	Alterna nomes de objeto em ligado e desligado.
	Alterna a visualização das conexões e desliga.
	Liga ou desliga os comentários em objetos.
	Alterna a grade Frame em ligado ou desligado.
	Ativa ou desativa a modificação do conteúdo do Frame (se desativada, o quadro herda o conteúdo de outro quadro).
	Abre a Ajuda on-line para o Frame.

Fonte: Retirado do software Tecnomatix® Plant Simulation

## 4.1.2 Modelagem Inicial

### 4.1.2.1 Processo Manual (Real)

Na Figura 4.8 pode visualizar uma modelagem inicial do Processo de Produção Manual (Simples) no Plant Simulation.



**Figura 4.8** – Processo de Soldagem Manual (Simples) - Modelagem inicial

Nesta modelagem, inicial, utilizou-se conjuntos de blocos (ou módulos) para descrever um sistema real e que funcionam como comandos de uma linguagem de programação, com o objetivo de desenvolver um layout da linha de produção do processo manual.

Davis, Aquilano, Chase (2001) afirmam que “uma linha de montagem consiste de uma série de estações de trabalho, cada uma com um intervalo de tempo uniforme chamado de tempo de ciclo (que é também o tempo entre unidades sucessivas saindo do final da linha)”.

A linha de montagem, de acordo com Martins e Laugeni (2005), é:

Uma série de trabalhos comandados pelo operador, que devem ser executados em seqüência e que são divididos em postos de trabalho, nos quais trabalham um ou mais operadores com ou sem o auxílio de máquinas. O que se procura nesse tipo de layout é otimizar o tempo dos operadores e das máquinas, realizando o que se denomina balanceamento da linha”. [...] Para o balanceamento, deve-se, em primeiro lugar, determinar o tempo de ciclo. O tempo de ciclo (TC) expressa a frequência com que uma peça deve sair da linha ou, em outras palavras, o intervalo de tempo entre duas peças consecutivas.

O tempo de ciclo (TC) é expresso como:  $TC = \text{tempo de produção} / \text{quantidade de peças}$  no tempo de produção. De modo que, com a definição do TC é possível a determinação do “número mínimo de operadores que, teoricamente, seriam necessários para que se tivesse

aquela produção (número teórico, N)”, expressa por:  $N = \text{tempo total para produzir uma peça na linha}/TC$  (MARTINS & LAUGENI, 2005).

Considerando o tempo da peça em cada posto (operação) por  $T_i$ , temos a expressão:  $N = \sum T_i / TC$ . Posteriormente deve ser mensurado o quantitativo teórico de operadores quanto a real necessidade em cada posto por NR (número real de operadores). Esta mensuração é desenvolvida por simulação no processo:

Esse número real é determinado por simulação, distribuindo-se os trabalhos em postos e alocando-se a cada posto de trabalho o menor número de operadores possível. Para essa alocação, devemos sempre considerar que o tempo de cada operador deverá ser menor ou, no limite, igual ao TC. Uma vez determinada a solução, calculamos a eficiência do balanceamento”. A eficiência do balanceamento é igual a:  $E = N/NR$ ” (MARTINS & LAUGENI, 2005).

O balanceamento de uma linha de montagem “resulta, freqüentemente, em tempos de estações de trabalho desiguais. Na verdade, quanto mais curto o tempo de ciclo, maior a probabilidade de um maior percentual de desbalanço na linha” (DAVIS; AQUILANO; CHASE, 2001).

Outro fator importante no processo produtivo, de acordo com Martins e Laugeni (2005), é a preparação da máquina, denominado de tempo de setup, que significa “o tempo gasto na nova preparação do equipamento até o instante em que a produção é liberada”, dentre do qual já está incluso o tempo de try-out, “que é a produção das primeiras peças para verificar se o equipamento pode ser liberado para a produção normal”.

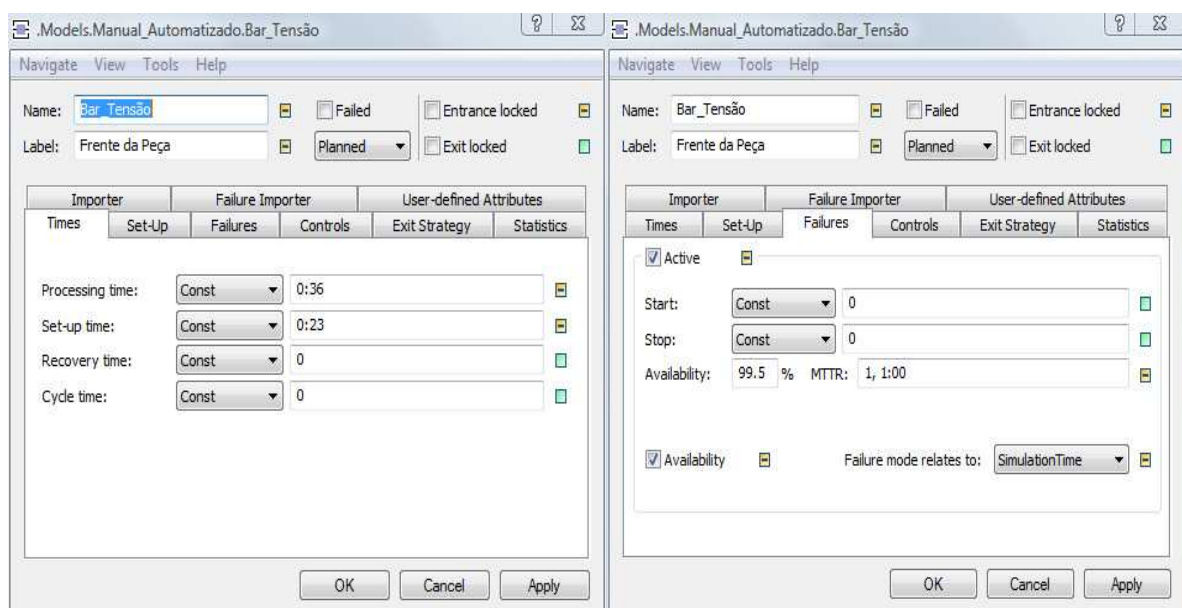
Outra variável relevante de uma produção são as perdas do processo, que “normalmente é vista na literatura contábil como o valor dos insumos consumidos de forma anormal”, de forma que “são separadas dos custos, não sendo incorporadas nos estoques”. Enquanto que “na literatura da Engenharia de Produção, muitas vezes, esse termo significa o trabalho não-eficiente”. Outra forma de conceituar as perdas é denominá-la de desperdícios “que é o esforço econômico que não agrega valor ao produto da empresa nem serve para suportar diretamente o trabalho efetivo” (BATALHA, 2008).

Neste trabalho o termo perda significa a danificação de uma peça ocorrida em seu processo produtivo, avaliada como sem utilidade ou possibilidade de aproveitamento para a organização.

As perdas do processo, também denominada de razão de falhas (RF), é um conceito interligado ao de confiabilidade (C) por mensurar de forma inversa esta variável, em que (MARTINS & LAUGENI, 2005):

- a) A confiabilidade (C) é definida como “a probabilidade de que um sistema (equipamento, componente, peça, software, pessoa) dê como resposta aquilo que dele se espera”.
- b) A razão de falha (RF) é definida como “a probabilidade de que um sistema (equipamento, componente, peça, software, pessoa) não dê como resposta aquilo que dele se espera”. Na qual consolida a relação lógica de:  $(C)_t + (RF)_t = 1$ . Onde o  $(C)_t$  = confiabilidade do sistema no intervalo de tempo t; e a  $(RF)_t$  = razão de falha do sistema no mesmo intervalo t.

Na janela do Plant Simulation, como mostra a Figura 4.9, identifica a inserção de informações concernente à modelagem de um posto no processo manual.

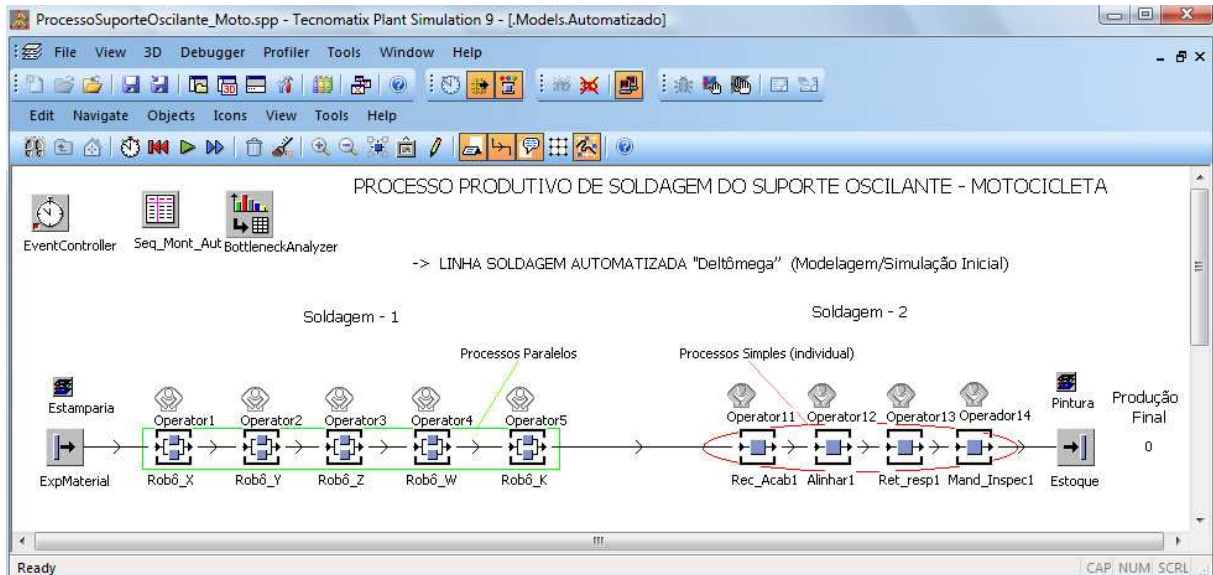


**Figura 4.9** – Janela de Diálogo do Plant Simulation - Manual (Simples)

Neste posto, visualizado pela Figura 4.9, o operador é responsável por soldar uma específica parte do suporte oscilante através do processo manual, em um determinado tempo de ciclo (36 segundos) e setup (23 segundos); no campo da segunda janela pode ser visualizado a avaliação de falhas (perdas) na ordem de 0,5% (logo, confiabilidade de 99,5%), este porcentual foi aplicado em todos os postos na divisão de Soldagem – 1, totalizando nível de perdas média de 1 peça/dia - nesta área de maior complexidade e risco operacional.

#### 4.1.2.2 Processo Automatizado (Virtual/Real)

A modelagem inicial do processo automatizado (virtual/real), Figura 4.10, visualiza o novo layout da área modificada, em que a função do operador se restringe à inspeção do produto/máquina - nos dois processos fabricados pelo robô (antes por dois operadores).

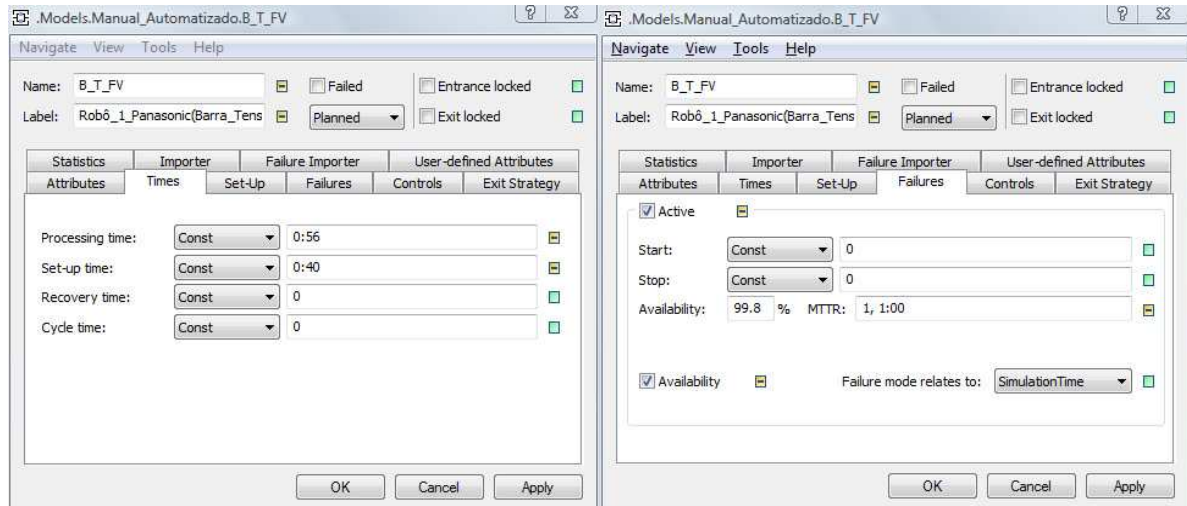


**Figura 4.10** – Processo de Soldagem Automatizada (Avançado): situação virtual

O tempo de ciclo mensurado pelo braço robótico, conforme análise neste equipamento e processo produtivo fora estimado em 56 segundos (nos dois processos paralelos - com 28 segundos cada), uma redução média, a priori, de 9 segundos por processo/peça fabricada em relação ao processo manual. Um dos consultores pertencente a uma empresa renomada, nacional, especializada em equipamentos robóticos comentou que “é de praxe afirmar que um braço robótico de solda tem a possibilidade de desenvolver a produção de 3 ou 4 soldadores no mesmo espaço de tempo”, ressalta. Vincendon (2007) comenta que um braço robótico de soldagem proporciona “em qualidade do trabalho, e em custo, quase que a mesma coisa que um soldador humano... à razão de oito horas. A dezesseis horas, o robô leva nitidamente vantagem, e com mais forte razão ao ritmo de três turnos de oito horas”.

Os braços robóticos são utilizados, principalmente, para executarem serviços em ambientes impróprios (com elevado peso, calor, frio ou perigo) para a sobrevivência humana. Um braço robótico é capaz de realizar todas as funções de um braço humano. De modo que são “infatigáveis, tão possantes quanto se desejar, sem fantasias nem revolta, minuciosos e precisos, são também recicláveis permanentemente” (VINCENDON, 2007).

Na janela a seguir, Figura 4.11, mostra dados do primeiro posto automatizado (com braço robótico) do processo produtivo do suporte oscilante, em que visualiza o tempo de ciclo (56 segundos – 28 segundos x 2) e setup (40 segundos – 20 segundos x 2).



**Figura 4.11** – Janela de Diálogo do Plant Simulation - Automatizado (avanzado)

No campo da segunda janela pode ser visto a avaliação de falhas (perdas) na ordem de 0,2% - 0,1% x 2 (logo, confiabilidade de 99,8%), este percentual foi aplicado em todos os postos na divisão de Soldagem – 1, totalizando um baixo nível de perdas, com média de 1 peça/mês - nesta área de maior complexidade, que anteriormente proporcionava elevado índice de perdas e risco operacional.

A partir da modelagem inicial do Processo Manual (Real), vista até o momento, foi possível desenvolver o modelo computacional final, o qual será explanado no Capítulo 5, de forma ampla, com suas respectivas análises obtidas por meio da simulação dos cenários.

### Considerações finais

Em síntese, foram vistas as partes mais significativas e funcionais do software Tecnomatix® Plant Simulation as quais serão utilizadas para o desenvolvimento da modelagem e simulação computacional como apoio à tomada de decisão de uma manufatura de soldagem manual - processo real, para uma manufatura automatizada - processo virtual, onde abordará otimizações do processo produtivo, o qual será demonstrado no Capítulo 5, desta dissertação. A principal razão em utilizar este software está na disponibilidade e conhecimento do mesmo para realização de estudos de simulação computacional.

## **CAPÍTULO V**

### **5. ESTUDO DE CASO**

Este capítulo aborda um estudo comparativo de processos de manufatura através da modelagem e simulação computacional, e visa demonstrar a relevância desta ferramenta à tomada de decisão quanto a otimizações de processos produtivos. O estudo de caso propõe modelar e simular um ambiente de soldagem manual para o automatizado em uma empresa do seguimento de duas rodas no Pólo Industrial de Manaus.

#### **5.1 Características da Organização**

A referida organização permanecerá em sigilo por motivo concorrencial, e neste trabalho foi denominada de RDA Indústria de Duas Rodas Ltda., doravante sendo citada apenas como RDA. O nível de investimentos no seu processo fabril é realizado de forma moderada – conservadora, com aquisição de equipamentos de manufatura avançada e reengenharia de novos setores, mantendo ainda a filosofia de treinamentos periódicos, com o objetivo de manter o conhecimento e aprimoramento dos profissionais. Ressalta-se ainda que as informações apresentadas neste estudo são expressões representativas das informadas pela empresa avaliada, onde se prima pela confidencialidade dos dados concedidos.

O presente estudo caracteriza-se em fator relevante de modelagem e simulação computacional nos cenários produtivos complexos, como a análise do processo produtivo de soldagem do suporte oscilante da motocicleta, visto que a tomada de decisão nesta área é de vital importância para a manutenção de sua colocação no mercado. A escolha do processo produtivo a ser analisado, além de fatores como: risco do processo, poluição ambiental, perspectiva de expansão, também está no fato do seu intenso consumo nos modelos de maior demanda da organização - o qual está com projeções produtivas ascendente no mercado nacional e internacional.

#### **5.2 Estudo Proposto**

O estudo de caso em questão demonstra como a ferramenta computacional através da modelagem e simulação pode ser aplicada como apoio à tomada de decisão em otimizações do processo produtivo industrial. A base está em modelar e simular um processo produtivo de soldagem manual para um automatizado através do software Tecnomatix® Plant Simulation -

abordado no Capítulo 4. O processo automatizado compreenderá um tipo de Sistema Flexível da Manufatura (FMS - Flexible Manufacturing Systems)<sup>1</sup>. É neste contexto que será desenvolvida a modelagem e simulação computacional como apoio à tomada de decisão em análises de otimizações produtivas.

### 5.2.1 Software Tecnomatix<sup>®</sup>: Plant Simulation

O presente trabalho utilizou como apoio à decisão em otimizações industriais o software Tecnomatix<sup>®</sup> para demonstrar suas abrangências quanto às funcionalidades da simulação e modelamento à análise de um segmento do processo produtivo. Esse software apresenta um ambiente gráfico integrado de simulação que contém recursos para modelagem, animação real, análise estatística, análise de resultados e utiliza a abordagem por processos para execução da simulação. Também é composto por um conjunto de blocos (ou módulos) utilizados para descrever um sistema real e que funcionam como comandos de uma linguagem de programação.

O Tecnomatix<sup>®</sup> contém ferramentas de simulação de eventos discretos que cria modelos digitais de sistemas logísticos (por exemplo, produção), para que seja possível explorar as características dos sistemas e otimizar seu desempenho. Com esses modelos digitais, é possível executar experiências e cenários hipotéticos (bem realístico) sem afetar os sistemas de produção existentes ou, quando usados no processo de planejamento, bem antes que os sistemas de produção reais sejam instalados. Ferramentas de análise abrangente, como análise de dificuldades, estatísticas e gráficas permitem que se avaliem diferentes cenários de fabricação. Os resultados fornecem as informações necessárias para tomar decisões rápidas e confiáveis nos primeiros estágios do planejamento da produção.

Um dos ambientes do pacote deste software é o Plant Simulation, onde se pode modelar e simular sistemas de produção e seus processos. Além disso, é possível otimizar o fluxo de materiais, a utilização de recursos e a logística para todos os níveis de planejamento de fábrica a partir de instalações de produção, passando por fábricas locais, até linhas específicas em 3D.

---

<sup>1</sup> Integração de manufatura automatizada até certo ponto e produz uma variedade de produtos (DAVIS, AQUILANO, CHASE (2001).



O estudo a seguir, com a ferramenta Plant Simulation, tem como objetivo modelar e simular um processo manual (mecânico) de forma a projetar este ambiente em um processo automatizado.

## **5.2.2 Especificações: Processo e Produto**

### **5.2.2.1 O Processo**

Durante o planejamento de uma linha é necessário analisar algumas particularidades quanto ao processo manual e automatizado, afirma que “no caso de uma operação manual, devem ser observadas questões ergonômicas, devendo evitar esforços demais e desperdícios como movimentação. No caso de uma operação automatizada, a atividade é realizada ou através de robôs ou em dispositivos automáticos sem ação direta do operador” (VIDAL, 2006). Na empresa industrial, deve-se entender por operação, “o trabalho desenvolvido sobre o material por homens ou máquinas em um determinado tempo”. Enquanto que um processo é “o percurso realizado por um material desde que entra na empresa até que dela sai com um grau determinado de transformação” (MARTINS & LAUGENI, 2005).

As principais atividades desenvolvidas em um processo de soldagem são: a) abertura e manutenção do arco; b) alimentação de material, controle do calor e penetração; c) deslocamento da tocha; d) procura e seguimento da junta; e) direcionamento da tocha e do arco; f) correções e compensações.

O processo de soldagem e o de corte de materiais oferecem “uma série de riscos para as pessoas envolvidas. Os principais riscos incluem a possibilidade de incêndios e explosões, de recebimento de choque elétrico, de exposição à radiação gerada pelo arco elétrico e a fumos e gases prejudiciais à saúde”. Entre os fumos e gases prejudiciais no processo de soldagem podem-se citar: vapores de zinco (causam dor de cabeça intensa e febre) e cádmio (mortífero); e, gases de proteção (são mais pesados que o ar) como o argônio, CO<sub>2</sub> e misturas, que não são tóxicos, mas deslocam o ar podendo proporcionar asfixia e morte (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

Outros riscos comuns na soldagem estão durante o processo de limpeza, esmerilhamento e goivagem que podem ser arremessadas fagulhas e partículas frias ou aquecidas:

As operações de soldagem e corte envolvem a manipulação de materiais a temperaturas elevadas, a exposição a uma quantidade considerável de luz e a outras formas de radiação eletromagnética e o contato com partículas metálicas incandescentes projetadas em alta velocidade (respingos). Os soldadores, expostos diretamente a estes riscos, necessitam de vestimentas e equipamentos próprios para a proteção do corpo, da cabeça e dos olhos. Estes devem permitir liberdade de movimentos e ao mesmo tempo cobrir e proteger adequadamente as diversas partes do corpo para minimizar a chance de queimaduras e outras lesões (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

Os principais utensílios que compõem as peças de vestuário utilizado por um soldador são: óculos e sapato de segurança; capacete de proteção; avental, manga, luva, perneiras e ombreiras – todos de couro. As roupas produzidas com raspa de couro são as mais indicadas para um ambiente de soldagem, pois proporcionam maior resistência e durabilidade ao fogo.

#### 5.2.2.2 O Produto

Uma motocicleta é um veículo de duas rodas, semelhante a uma bicicleta com acréscimo de um motor. O motorista utiliza o guidão da moto para conduzi-la, o qual também tem a função de acelerar (ir mais rápido) e freiar (ir mais lento). O motor (que faz estrondo e barulho ao ser acionado) está localizado abaixo do tanque de combustível da motocicleta (DOEDEN, 2007). Na Figura 5.1 pode-se visualizar uma motocicleta enfatizando sua suspensão traseira com seu respectivo suporte oscilante.



**Figura 5.1-** Suspensão Traseira da Motocicleta – Suporte Oscilante.

A forma e as disposições básicas da motocicleta pouco mudaram desde, aproximadamente, 1900. Listados abaixo os principais componentes que compõem uma motocicleta, conforme Crouse e Anglin (1992), são:

- chassi (quadro principal de sustentação);
- suspensão da roda dianteira – direcionável;
- motor;
- caixa de câmbio – transmissão; e,
- suspensão da roda traseira.

Na suspensão da roda traseira da motocicleta tem-se o suporte oscilante, o qual é usado em quase todas as motocicletas.

A matéria-prima para a fabricação deste produto, na empresa RDA, é adquirida através de fornecedores nacionais, sendo 45,5% no sudeste - São Paulo e 54,5% no norte - Manaus.

O Quadro 5.1, a seguir, mostra os componentes da estrutura do suporte oscilante - em estudo.

**Quadro 5.1** – Componentes da estrutura do Suporte Oscilante da motocicleta.

Nível	Discriminação	Aplicação	Valor Médio Fabricação	Desenho
<u>I</u>	<u>Suporte Oscilante</u>	<u>Und/Pc</u>	<u>R\$</u>	<u>Componentes do Produto</u>
1.1	Barra de União	1	R\$ 5,0	
1.2	Suporte Traseiro (Braço A)	1	R\$ 9,3	
1.3	Suporte Traseiro (Braço B)	1	R\$ 9,3	
1.4	Elo C	1	R\$ 5,0	
1.5	Parafuso	2	R\$ 2,1	
1.6	Base Extra	1	R\$ 1,1	
1.7	Suporte A	1	R\$ 1,3	
1.8	Suporte Barra de União	1	R\$ 0,7	
1.9	Terminal A	1	R\$ 9,7	
1.10	Terminal B	1	R\$ 9,1	
1.11	Tubo Frontal	2	R\$ 2,4	
<b>Total</b>		<b>13</b>	<b>R\$ 55,0</b>	

O suporte oscilante, ou braço, ou garfo (como também é conhecido) tem apenas um ponto do pivô no motor por trás da armação. Isso permite a oscilação (movimento) para cima e para baixo do conjunto da roda traseira. Ela se move em um arco quando girado em torno do ponto de fixação no rack. O deslocamento da roda traseira é controlada por uma ou duas molas e amortecedores (CROUSE & ANGLIN, 1992).

### 5.2.3 Processo Manual (Real)

O processo produtivo de fabricação manual tem como base dados reais da empresa RDA, e retrata um processo de soldagem do produto denominado de suporte oscilante da motocicleta. A simulação referente a este processo será vista no subtópico 5.3 - Análise dos Resultados.

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2009), “um processo de soldagem é classificado como manual quando todas as atividades são executadas e controladas pelo soldador”.

A soldagem através de eletrodos revestidos é um processo típico da soldagem manual.

#### 5.2.3.1 Descrição do Trabalho

O processo da produção manual, do suporte oscilante, perpassa pela atividade de soldagem desenvolvida por soldadores qualificados, passando em seguida pelo processo de controle da qualidade que executa atividades de inspeção final do produto como visual, dimensional e documental (normas técnicas) conforme cada posto e parte específica - análise das características da soldagem da junta, ocorrência de defeitos como porosidade, trincas, inclusão de impurezas, falta de fusão, penetração, entre outros.

Os principais procedimentos desenvolvidos pelo soldador (operador) neste processo manual são:

- a) inicia-se com a regulagem da corrente da máquina de solda conforme o diâmetro do eletrodo aplicado – controla o calor, penetração e deslocamento da tocha; acoplamento do material a mesa ou base (gabarito);
- b) limpeza da superfície a ser emendada; posicionamento do eletrodo na caneta da máquina de solda;
- c) realização do contato do eletrodo e a superfície a ser soldada – iniciando a deposição do material;
- d) execução do ponto de soldagem (ponteamento das juntas) nas extremidades da superfície a ser emendada – facilitando o posicionamento e inclusão do cordão de solda na área especificada, caso necessário realiza correções e compensações;
- e) ao finalizar o processo, o soldador retira a peça soldada e inspeciona-a: se dentro do padrão estabelecido, encaminha para o processo seguinte; caso fora do padrão, para o posto de recuperação ou refugo.
- f) retirada das felpas, alinhamento e limpeza dos respingos de solda da região soldada; madrilhamento e inspeção do acabamento final. E o processo inicia-se novamente.

#### 5.2.4 Processo Automatizado (Virtual)

O processo automatizado, neste estudo, refere-se a um ambiente produtivo totalmente virtual, no qual foram utilizados recursos da modelagem computacional, tendo como base os dados do processo manual, objetivando o mesmo propósito do processo manual, em manufaturar o produto denominado de suporte oscilante da motocicleta. Foi avaliada a necessidade de substituição de cinco operadores por cinco braços robóticos para o novo processo, após análise e mensuração dos parâmetros do processo como: o balanceamento, perdas (refugo) e nível de produção. A simulação referente a este processo será explanada no subtópico 5.3 - Análise dos Resultados.

De acordo com Marques, Modenesi e Bracarense (2009), “para que o processo de soldagem seja classificado como automatizado”, todas as atividades do processo “devem ser executadas e controladas pela máquina”. A expressão automático “indica que todas as funções ou passos de uma operação são executados, em sequência, por meios mecânicos e/ou eletrônicos, sem qualquer ajuste feito pelo soldador, exceto uma eventual programação do equipamento”. O propósito da automação, no aspecto parcial ou total, é proporcionar a redução do custo de manufatura, em que aumenta a produtividade e melhora a qualidade e confiança do produto final – por meio da repetibilidade. Este fato é possibilitado pela eliminação ou redução dos erros humanos. Afirmam ainda os autores que:

Um Robô industrial é o sistema automatizado flexível mais utilizado em operações de manufatura. A operação robotizada pode ser bastante simples, quando as condições de soldagem são fixas e uma única sequência é usada em todas as operações, ou bastante complexa, se as condições são constantemente modificadas em função da configuração da junta, exigindo a atuação de inúmeros sensores para retroalimentar e corrigir o sistema, dependendo do tipo de peça a ser processada.

A soldagem através de processo semiautomático ou mecanizado (arco submerso) geralmente proporciona custo menor se comparado aos processos manuais (eletrodo revestido). “Isto é devido principalmente à maior produtividade dos processos mecanizados, que em geral permitem maiores velocidade de soldagem e taxas de deposição, reduzindo consideravelmente o tempo de operação”, sendo que requer elevado investimento de capital. O processo de soldagem automatizada em relação ao manual apresenta várias vantagens, por exemplo, para um tamanho da solda de 6,4 mm, em uma área da solda 0,32 cm<sup>2</sup>, pode proporcionar aumento porcentual como na: velocidade de soldagem (cm/min.) de 140%;

corrente (A) de 67%; tensão (V) de 20%; eficiência de deposição de 58%; e, eficiência do equipamento de 7% (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

#### 5.2.4.1 Descrição do Trabalho

O processo da descrição do trabalho do suporte oscilante, a ser desempenhado em cada posto automatizado, dá-se da seguinte forma:

- a) Inicia-se com a programação do braço robótico através do painel de controle, feita pelo colaborador, para o serviço a ser realizado no posto de trabalho;
- b) O colaborador retira a cortina (não refletora de raios ultravioletas) da cabine e posiciona a respectiva peça (com superfície limpa) na base da moldura para que seja completamente encaixada e fixa;
- c) O processo de soldagem é desenvolvido de modo que o braço robótico inclina-se e aproxima-se tomando a posição inicial do ponto estabelecido e executa a soldadura (deposição do material) da peça sistematicamente - por meio das instruções armazenadas na memória do robô, até o ponto final: realiza processos como ponto a ponto e trajetória computada, e suas articulações permitem a realização de curvas complexas com precisão;
- d) Ao finalizar o processo, o colaborador levanta a cortina da cabine e retira a peça soldada e inspeciona-a: se dentro do padrão estabelecido, encaminha para o processo seguinte; caso fora do padrão, para o posto de recuperação ou refugo.
- e) Retiragem das felpas, alinhamento e limpeza dos respingos de solda da região soldada; madrilhamento e inspeção do acabamento final. E o processo inicia-se novamente.

Davis, Aquilano e Chase (2001) afirmam que os braços robóticos ou robôs industriais são “substitutos para a manipulação humana e outras funções altamente repetitivas”. Ressaltam ainda que:

Um Robô é uma máquina reprogramável com funções múltiplas que pode transportar dispositivos, através de movimentos especializados para desempenhar qualquer número de tarefas. Ele é, essencialmente, um braço mecanizado onde podem ser acoplados diversos dedos como os das mãos humanas ou pegadores, taças de vácuo, ou uma ferramenta como uma chave inglesa. Os robôs são capazes de executar muitas operações de fábrica, desde os processos de usinagem à simples montagem.

Martins e Laugeni (2005) listam as principais características e vantagens de um robô:

- braço mecânico articulado, que pode ser programado por computador; articulações com seis eixos (movimentos para frente/ trás, lados direito/esquerdo, para cima/baixo);
- precisão de parada repetida (erro máximo) de 0,1mm;
- utilizado para transportar peças, soldar, etc.;

- painel de controle e uma prancheta eletrônica para programação dos movimentos;
- economizam mão de obra direta;
- flexibilidade no projeto de peças;
- operam durante 24 horas por dia;
- realizam tarefas perigosas e podem trabalhar em ambientes insalubres;
- não tem fadigas e produzem qualidade uniforme.

Um robô industrial consiste de um conjunto de elos conectados e articulados, sendo o primeiro elo vinculado, geralmente, a uma base fixa e, no último elo, denominado extremidade terminal, tem-se a ferramenta (tocha de soldagem). Desse modo, o deslocamento da tocha passa a ser controlado segundo a movimentação especificada durante a programação do robô (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

Os principais componentes básicos de um sistema para soldagem robotizada com suas características, conforme observam Marques, Modenesi e Bracarense (2009):

- Robô: graus de liberdade, envelope de trabalho, destreza (precisão), fonte de energia, repetibilidade, velocidade, capacidade de carga, tipos de acionadores;
- Controle computacional do robô: técnica de programação, sistema de feedback de controle, tamanho da memória e do arquivo de backup, armazenamento do programa, interfaces, protocolos de comunicação, softwares especiais de soldagem;
- Fonte de energia para soldagem: ciclo de trabalho (usualmente 100% é desejável), interface com o controle do robô, precisão (corrige pequenas flutuações da tensão do arco) e capacidade de constantemente iniciar o arco elétrico;
- Equipamento e acessórios para soldagem a arco: tipo de alimentador do arame (dois ou quatro roletes), tipo de controle, interface com o controle do robô, tocha de soldagem (capacidade, precisão, dimensões), cabos (comprimento e montagem), ferramentas para alinhamento, estação de limpeza do bocal da tocha, estação do operador e equipamento de segurança;
- Posicionadores: são equipamentos (suportes) utilizados para melhorar a versatilidade do sistema e aumentar a sua amplitude - existem casos que a geometria das peças não permite uma livre movimentação da tocha do robô para acesso à junta, restringindo o seu grau de liberdade.

Usualmente são citados dois benefícios quanto à aplicação de um processo automatizado: redução de custos com mão de obra direta e variabilidade no sistema de manufatura. A justificativa maior é dada na primeira, sendo que geralmente a mais relevante é a última.

Para Slack (2002), de qualquer forma “vale a pena examinar o tipo de mão de obra que pode ser economizado através de automação em qualquer caso particular”, em que muitas

vezes “a mão de obra direta certamente pode ser economizada, mas isso não significa que o efeito líquido seja de economia”, ressalta.

Na manufatura, a velocidade do processo é uma grande arma como vantagem competitiva, de forma que o “tempo é muito mais que dinheiro; tempo é valor” (SLACK, 2002):

Mover solicitações e materiais através da operação mais rapidamente faz uma operação mais enxuta e mais produtiva. Aproxima também os requisitos do cliente e a resposta da empresa, dando maior satisfação ao consumidor e menor complexidade para a empresa. O tempo ganho é um investimento na satisfação do consumidor e na redução dos custos da manufatura.

A redução do ciclo total do fluxo de operações de um processo manufaturado torna-o mais vantajoso (veloz) tanto com benefícios externos quanto internos, conforme Slack (2002):

- Benefícios externos: o produto chega mais rapidamente ao destino final - em algumas circunstâncias competitivas, reduzir este tempo é vital para a organização.
- Benefícios internos: o planejamento tem sua atividade especulativa reduzida, com melhoria nas previsões e um retorno mais rápido do capital investido; redução de despesas: material em processo, iluminação, espaço, estocagem, controle; facilidade em identificar problemas; proteção contra eventuais atrasos.

### **5.2.5 Construção do Modelo Computacional**

Esta fase consiste no desenvolvimento do modelo conceitual, através da modelagem computacional por um software de simulação. Neste trabalho será utilizado o software Tecnomatix® Plant Simulation.

A finalidade principal está em representar o modelo conceitual em um modelo da esfera computacional. Ao atingir esta fase o modelo computacional foi processado (rodado), realizado a verificação e validação; conseqüentemente os erros de lógica ou sintaxe foram alinhados durante o desenvolvimento do modelo computacional.

A validação do modelo conceitual define se as teorias e suas respectivas proposições do modelo conceitual estão de conformidade em relação ao sistema real. O modelo computacional deste estudo pode ser visto através da Figura 5.5 com seus respectivos elementos do processo produtivo.



### 5.2.5.1 Principais Elementos do Modelo

O Quadro 5.2 mostra a definição dos principais elementos do modelo. A visualização desses elementos, que compõem o modelo, está exposta no ambiente de simulação da Figura 5.5 do subtópico 5.3 - Análise dos Resultados.

**Quadro 5.2 – Principais Elementos do Modelo.**

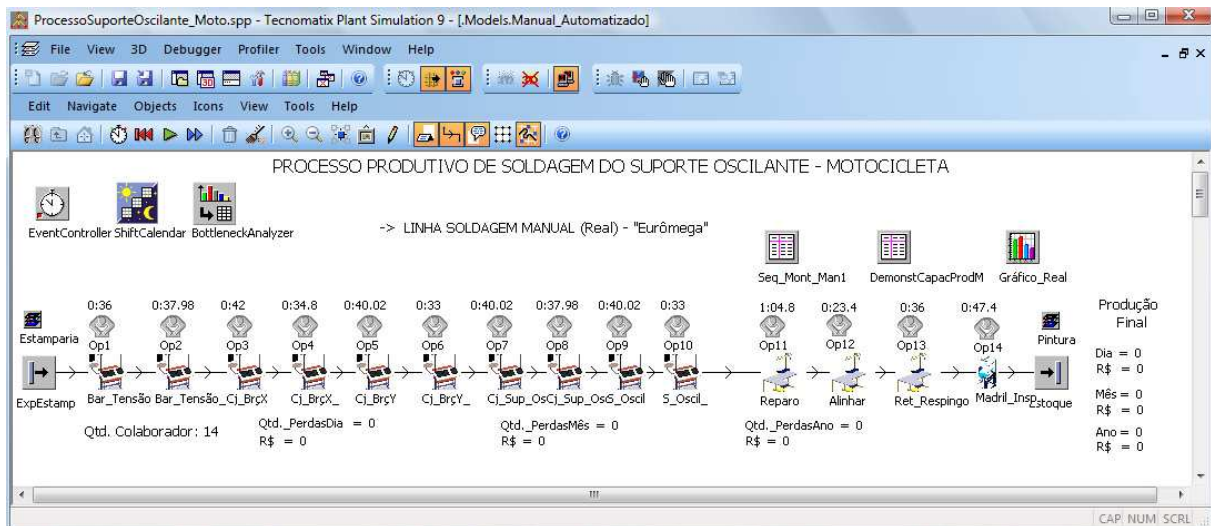
Elementos do Modelo	Descrição e Características
Área do Quadro ( <i>Frame</i> )	Área referente ao processo produtivo, da organização <i>RDA</i> , o qual foi desenvolvido no <i>Plant Simulation</i> em escala aproximada e posteriormente foram acrescentados ao modelo os subseqüentes elementos.
Fluxo de Material ( <i>MaterialFlow</i> )	Locais inseridos no modelo que representam a linha de produção localizada entre os setores da Estamparia e Pintura, onde os materiais são expedidos do almoxarifado da Estamparia e entregues após finalização da soldagem ao almoxarifado da Pintura.
Entidades ( <i>Entity</i> )	Representa o produto - suporte oscilante como unidade móvel de animação - MU " <i>Movable Unit</i> ", no processo produtivo da soldagem, o qual é produzido e transportado em suas respectivas etapas de fabricação.
Recursos ( <i>Resources</i> )	Recursos de ferramentas que sintetiza ou consolida as operações como o controlador de eventos do modelo, a estação do processo do operador (posto).
Interface do Usuário ( <i>UserInterface</i> )	Ferramentas do modelo que proporciona mensurar resultados estatísticos e gráficos.
Fluxo de Informação ( <i>InformationFlow</i> )	A construção dos processos desenvolveu-se a partir do fluxo das Entidades ( <i>Entity</i> ). O desenvolvimento do modelo com seus roteiros produtivos de cada tipo de processo e seu respectivo tempo de execução foram realizadas através de <i>interfaces</i> de arquivos externos provenientes de planilhas eletrônica e de texto.
Calendário de Turnos ( <i>ShiftCalendar</i> )	Os dois turnos de trabalho foram inseridos conforme o período de intervalos de paradas em relação ao sistema real.
Contabilizador ( <i>Display</i> )	Variável utilizada para demonstrar o quantitativo dos produtos que foram fabricados, de modo a contabilizar a performance do sistema. Neste modelo as variáveis desenvolvidas foram os resultados finais que informa o quantitativo total da produção, da perda e de seu respectivo valor - mensurado por cada processo produtivo realizado na linha de soldagem.

A linha de produção do presente estudo está composta por 14 colaboradores diretos. E os principais parâmetros a serem analisados nesta modelagem, do ambiente fabril, em relação ao seu processo são: recursos humanos, nível de refugo e produtividade.

O processo produtivo desta linha está dividido em:

- a) Soldagem 1: processo com maior complexidade, com 10 soldadores, com realização de soldagem mig (metal-gás inerte), aplicadas em chapas de espessuras finas entre 3 a 6 mm, com seus postos individuais – desenvolvendo apenas uma operação em cada posto; e,
- b) Soldagem 2: processos com menor complexidade, executados por 4 colaboradores, com seus postos individuais – desenvolvendo apenas uma operação em cada posto.

A modelagem, final, aplicada na Figura 5.2 mostra o sistema produtivo manual (simples) com base no processo do sistema real, o qual será denominado de Contexto Real - Cenário 1.



**Figura 5.2** – Processo de Soldagem Manual (Simples) – contexto real

O Contexto Real - Cenário 1 apresenta seus respectivos maquinários do processo associados aos operadores, os quais também funcionam como comandos de uma linguagem de programação. Pode-se visualizar os 10 primeiros operadores em seus postos de soldagens (Soldagem 1) e os 4 demais operadores nas funções de reparo, alinhamento, limpeza (retirar respingo) e madrilhamento/inspeção (Soldagem 2). Este cenário será visto de forma mais ampla no subtópico 5.3 - Análise dos Resultados.

#### 5.2.5.2 Verificação e Validação do Modelo

A verificação e validação do modelo são etapas próximas, as quais podem proporcionar ambigüidade por serem fases complementares, de modo que durante as análises de verificação do presente modelo e a não identificação de falhas ou erros, em seqüência estas etapas estavam automaticamente sendo validadas. Neste trabalho, a verificação e validação do modelo foram observadas pelo próprio analista do modelo em conjunto com demais especialistas de desenvolvimento.

O propósito da verificação é analisar o processo de desenvolvimento do modelo computacional quanto ao desempenho de processamento, se está adequado; exige que o resultado do modelo, isto é, suas respectivas variáveis de saída, sejam listados e determinada sua precisão quanto ao sistema real. A princípio devem ser identificados e averiguadas se as equações e demais fases do modelo funcionam como o projetado e a observância da inexistência de algum empecilho quanto a travamentos em partes internas do modelo – preservando o desempenho de uma simulação. Esta verificação por partes foi realizada durante a construção do modelo: cada parte construída foi testada contra erros de modo a evitar que fossem corrigidos somente na etapa posterior do modelo como um todo. Outro método aplicado foi a verificação por parâmetros, em que consiste na execução da simulação por meio da variação dos parâmetros de entrada, examinando a consequência destas alterações de modo a alcançar resultados satisfatórios - quando comparados ao sistema real em estudo.

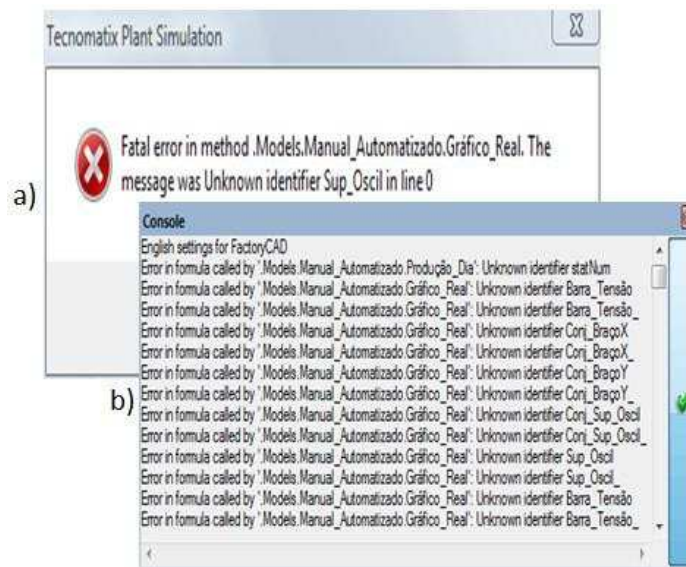
Todas essas análises são verificadas no instante em que o modelo está processando (ativo, rodando), possibilitando ao analista realizar as funções específicas da modelagem desenvolvida em uma velocidade mais lenta e averiguar qualquer possível travamento – proporcionando uma das grandes vantagens da simulação para o modelador: reduzir, estabilizar, acelerar ou repetir o tempo quantas vezes for necessário. Desta forma pode realizar uma análise completa com maior segurança e credibilidade – algo praticamente impossível em um ambiente real, pelo alto nível de complexidade e custo financeiro.

A verificação deste trabalho transcorreu, a princípio, com a animação do modelo, em que foi possível verificar o comportamento operacional por meio de análise gráfica em relação ao nível de:

- a) balanceamento do processo produtivo da linha; e,
- b) produção final – de acordo com o plano mestre informado pelo departamento de Planejamento e Controle da Produção e Materiais (PCPM) - em determinado período.

Neste estudo também foram utilizados, para o processo de verificação e validação, os recursos do próprio software, como as janelas de erros e a janela de desempenho lógico do modelo denominada de Switch to Debugger (localizada no menu Debugger), a qual tem a função de depurar erros informando ao analista a existência de erros de lógica.

A Figura 5.3 ilustra duas janelas de erros do modelo: “a” aviso individual de erro; e, “b” relatório de erros - console.



Fonte: Retirado do software Tecnomatix® Plant Simulation  
**Figura 5.3** – Janelas de erros do modelo: a) individual e b) relatório

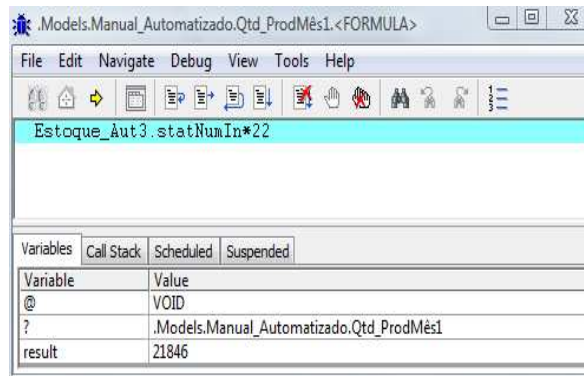
A janela de desempenho lógico do depurador permite que seja feito um refinamento, alinhamento do modelo de simulação. A simulação pode ser parada, o que proporciona a verificação do processo que está sendo executado. Pode-se ainda definir pontos de interrupção na simulação, de modo a monitorar o comportamento dos métodos. O depurador fornece acesso a todos os dados envolvidos nos métodos, permitindo-lhe inspecionar o modelo e os métodos envolvidos. Ao comparar o que é e o que deveria ser, fica mais fácil detectar erros, podendo ser corrigido o código fonte com defeito e continuar a simulação de execução ou iniciá-lo novamente.

A solução proporcionada pela ferramenta computacional é de grande relevância, tendo em vista a existência de alguns erros que não são perceptíveis através da inspeção visual, apenas.

A validação começa no fim do teste de verificação e consiste em avaliar “se os requisitos informados” foram “implementados consistentemente”.

Desse modo este teste de validação “fornece a garantia final de que satisfaz a todos os requisitos funcionais, comportamentais e de desempenho”, em que assegura a representação do sistema real (MARTINS, 2007).

A Figura 5.4 mostra a janela de desempenho lógico.



Fonte: Retirado do software Tecnomatix® Plant Simulation

**Figura 5.4** – Janela de desempenho lógico do modelo

Para Chwif e Medina (2010), afirmam que para alcançar o nível da validação computacional “alguns resultados devem ser gerados, observando-se se o modelo é uma representação precisa da realidade”. Com isso, a forma de validação do modelo aplicada consistiu, também, na validação operacional, por meio da comparação direta dos resultados obtidos pelo modelo computacional em relação aos dados do sistema real. O desempenho resultante do sistema real e do modelo computacional desenvolvido foram analisados e comparados por meio dos respectivos indicadores obtidos.

Após realizar a verificação e validação do modelo computacional (Contexto Real - Cenário 1), que passa a representar o sistema real, foi dado andamento ao desenvolvimento da condução de experimentos. Nesta fase de análise, “o modelo computacional está pronto para a realização dos experimentos, dando origem ao modelo experimental ou modelo operacional. Para esta etapa, são efetuadas várias “rodadas” do modelo, e os resultados da simulação são analisados e documentados” (CHWIF & MEDINA, 2010).

### 5.2.6 Condução de Experimentos na Simulação

Os experimentos foram realizados a partir dos cenários que foram definidos e consequentemente testados no modelo de simulação.

Esta fase exige a compreensão do sistema real tendo como base principal o modelo de simulação desenvolvido, o qual “mede a qualidade da solução sugerida, assim como quanta variabilidade poderia haver nas várias medidas de desempenho devido à randomização nas

entradas” (MOORE & WEATHERFORD, 2005). O processo da simulação do modelo proposto resultou em uma variedade de “experimentação e interação com o modelador”. Os autores comentam ainda que a simulação em termos gerais “costuma ser uma maneira muito mais barata e rápida de fazer experimentos com muitos fatores de interesse”, mesmo que não proporcione diretamente uma otimização de forma direta. Chwif e Medina (2010) acrescentam que “a partir dos resultados, conclusões e recomendações sobre o sistema podem ser geradas. Caso necessário (se o resultado da simulação não for satisfatório), o modelo pode ser modificado, e este ciclo é reiniciado”.

Esta fase foi executada durante a condução dos experimentos da simulação com avaliação das variáveis (por meio de adaptações de parâmetros de entrada e análise das variáveis de saídas) e de suas respectivas influências no modelo proposto.

Os experimentos de simulação proporcionaram a elaboração e validação do sistema real (Contexto Real - Cenário 1) com a identificação, também, das principais restrições do nível de capacidade do sistema. Posteriormente foram construídos os cenários que expõem possíveis otimizações do sistema propostos ao processo produtivo do suporte oscilante da motocicleta.

#### 5.2.6.1 Construção de Cenários do Modelo

Após o entendimento dos procedimentos do sistema real, Contexto Real (através da construção e validação do Cenário 1) permitiu que outras concepções do modelo fossem analisadas de forma a resultar em novas alternativas propostas, objetivando o desenvolvimento do processo com o intuito de otimizá-lo.

O Contexto Real/Virtual (modelo mesclado com parte do sistema real e outra do virtual) e Contexto Virtual (modelo totalmente virtual) foram propostos como alternativas de melhoria em relação ao Contexto Real – Cenário 1 (C1), os quais estão listados de forma sucinta a seguir.

##### a) Contexto Real/Virtual:

- Cenário 2 (C2) - Refere-se ao Cenário 1 com a mudança de layout na área da Soldagem 2, alterando o formato produtivo de linha para o formato em “U”;
- Cenário 3 (C3) - Refere-se ao Cenário 1 com a mudança de layout na área da Soldagem 2, visualizando a duplicação do posto “Reparo” e do novo formato em “U” dos demais.

b) Contexto Virtual:

- Cenário 4 (C4) - Este cenário totalmente virtual contém: a mudança de todo o processo produtivo manual (em linha), da área de Soldagem 1, para um processo automatizado (em linha); e, parte do Cenário 2 (virtual) apresentando a mudança de um novo layout na área da Soldagem 2;
- Cenário 5 (C5) - Este cenário totalmente virtual mostra a mudança do formato produtivo do processo automatizado (em linha) para o formato em “U”, da área de Soldagem 1 – consolidando este formato;
- Cenário 6 (C6): Este cenário totalmente virtual ilustra: uma nova mudança de layout apenas na Soldagem 2 – conforme realizado no Cenário 3 através da duplicação do posto Reparo e novo formato em “U” dos demais.

O subtópico Análise dos Resultados apresenta as análises desenvolvidas por meio da simulação computacional dos cenários propostos.

### 5.3 Análise dos Resultados

Este tópico versa sobre os resultados proporcionados pelas simulações computacionais desde o modelo do sistema real (Contexto Real - Cenário 1) até aos demais cenários virtuais propostos e suas respectivas avaliações.

Os cenários propostos à empresa RDA visam otimizar o processo de fabricação com mudanças de layout, balanceamento e manufatura avançada e objetiva retratar um processo industrial com maior flexibilidade, interação e produtividade.

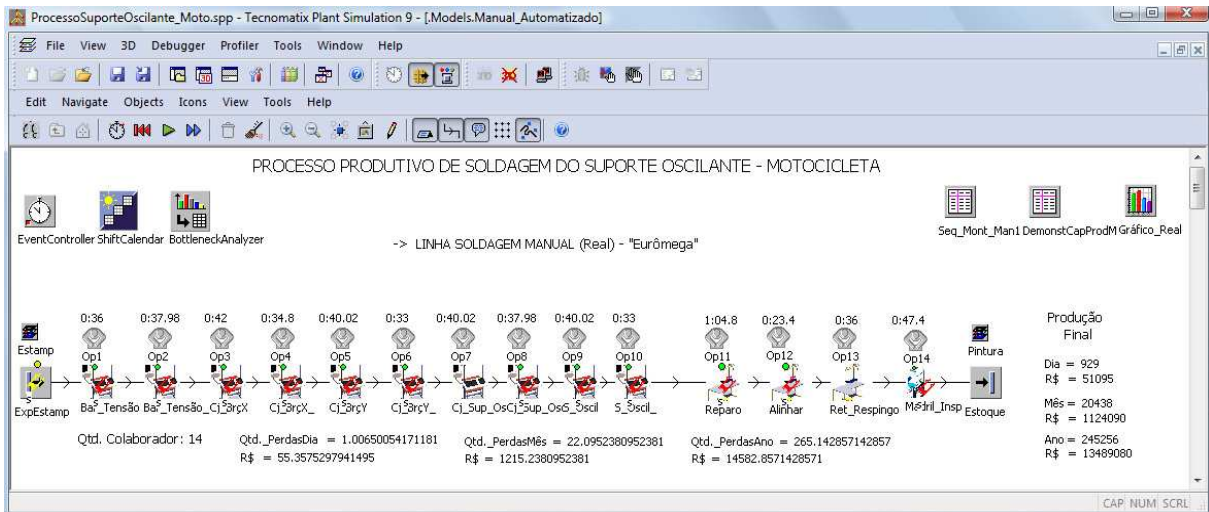
#### 5.3.1 Exposição e Interpretação dos Resultados

##### 5.3.1.1 Contexto Real – Cenário 1

Neste cenário tratou-se sobre o modelo que representa o contexto real, ou seja, a representação do funcionamento do processo produtivo da RDA anterior ao estudo em questão.

A Figura 5.5 retrata o Cenário 1, o qual foi explanado em detalhes no subtópico 5.2.5, restando agora abordar os indicadores relevantes propostos como apoio à tomada de decisão do processo produtivo, como: recursos humanos (Rh), perdas (Pe) e produção (Prod). Estes indicadores mostram o quantitativo contabilizado através do resultado final do processo, os

quais foram mensurados para uma visualização mais ampla, em: dia, mês e ano - com seus respectivos custo de fabricação.

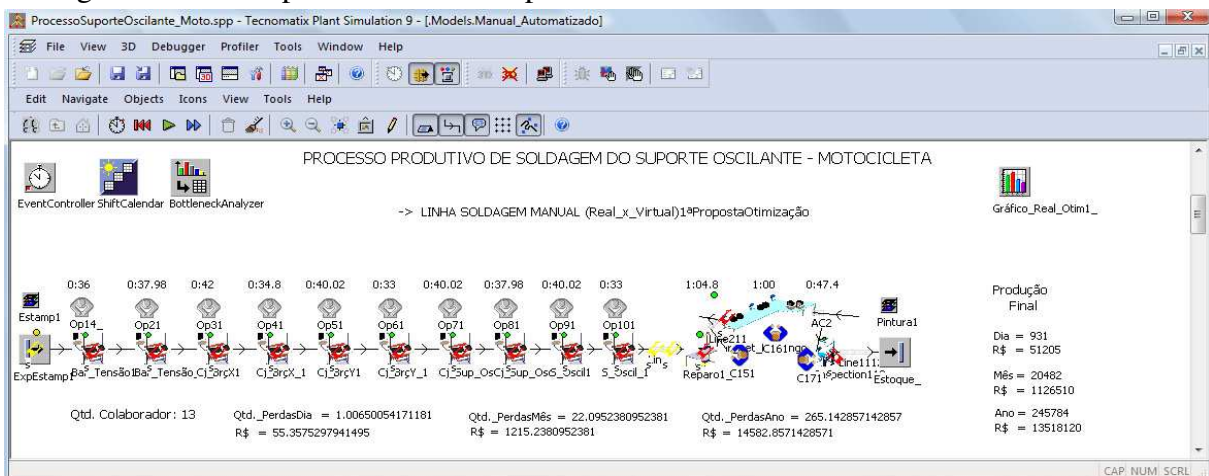


**Figura 5.5 – Contexto Real – Cenário 1**

Para melhor explanação, neste momento, serão apresentados apenas os resultados produtivos diário. Para o Cenário 1 têm-se  $Rh = 14$ ;  $Pe = 1$  e  $Prod = 929$ . O processo fabril caracteriza-se ainda por apresentar baixa interação e flexibilidade operacional, além de proporcionar alto risco no processo produtivo. Os indicadores quantitativos são contabilizados em todos os seis cenários propostos e os resultados consolidados estão apresentados de forma ampla no subtópico 5.3.2 - Análise das Situações Propostas.

### 5.3.1.2 Contexto Real/Virtual – Cenário 2

Este contexto real/virtual refere-se ao Cenário 1: com a mudança de layout na área da Soldagem 2: formato produtivo de linha para o formato em “U”.



**Figura 5.6 – Contexto Real/Virtual – Cenário 2**



O formato em “U” favorece uma maior flexibilidade e interação dos colaboradores. Este procedimento possibilitou a unificação dos postos Alinhamento e Limpeza (retirar respingo), proporcionando a redução de 1 operador e foi possível realizar um melhor balanceamento desta área resultando em aumento do nível de eficiência e da produção. Neste cenário o resultado quantitativo obtido mostra: Rh = 13; Pe = 1 e Prod = 931, conforme visualizado na Figura 5.6. Ressalta-se ainda que, o processo de produção apresenta baixa interação e flexibilidade operacional na área de Soldagem 1 e alta na Soldagem 2, além de proporcionar alto nível de risco no processo produtivo.

### 5.3.1.3 Contexto Real/Virtual – Cenário 3

Este contexto real/virtual refere-se ao Cenário 1 com a mudança de layout na área da Soldagem 2: duplicação do posto Reparo e novo formato em “U” dos demais. A proposta está em:

- ampliar com mais um operador, no posto de trabalho Reparo (visto ser um gargalo no processo), resultando em aumento considerável na produção - de 37,4%; e,
- alteração do layout nos postos seguintes, para um novo formato, também em “U” – proporcionando uma maior interação e flexibilidade dos postos.

Logo, o processo de produção neste cenário apresenta baixa interação e flexibilidade operacional na área de Soldagem 1 e alta na Soldagem 2, além de oferecer alto nível de risco no processo produtivo.

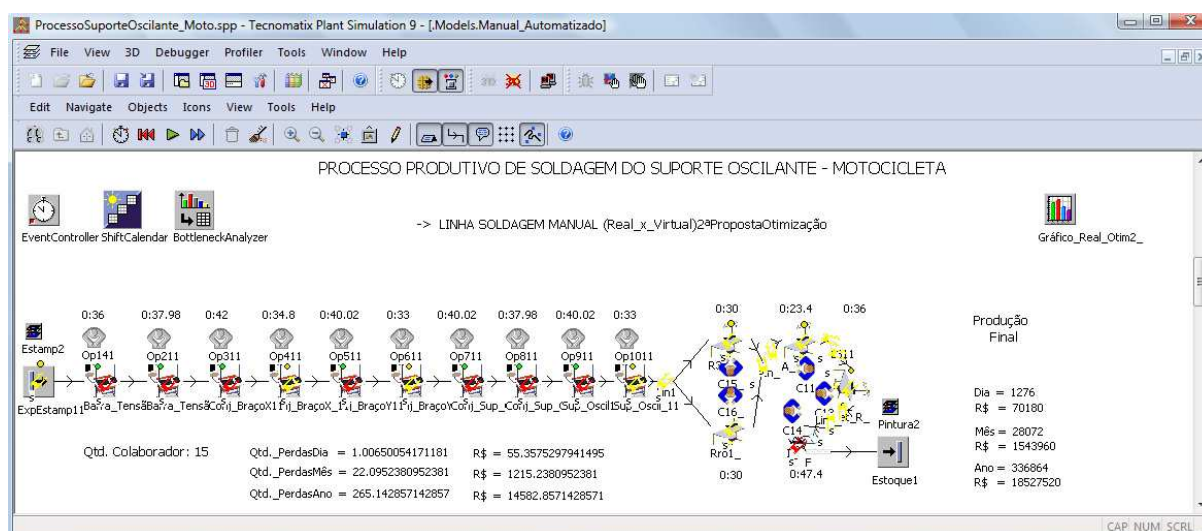


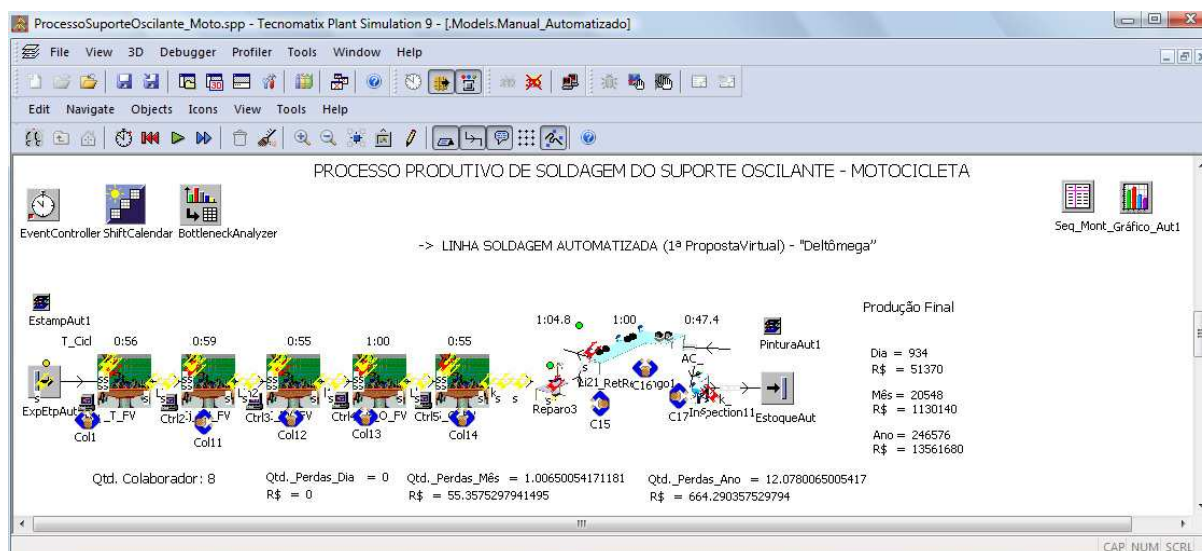
Figura 5.7 – Contexto Real/Virtual – Cenário 3

O resultado quantitativo obtido desse cenário foi de:  $Rh = 15$ ;  $Pe = 1$  e  $Prod = 1.276$ , de acordo como mostra a Figura 5.7.

#### 5.3.1.4 Contexto Virtual – Cenário 4

Este contexto, doravante totalmente virtual, refere-se ao Cenário 2 com mudança de todo o layout e processo produtivo manual, da área de Soldagem 1, para um processo produtivo automatizado; enquanto que, na área da Soldagem 2, foi mantida a otimização virtual anterior.

Esta 1ª proposta virtual, do processo automatizado, pode ser vista na Figura 5.8, a qual identifica os 5 postos (cabines) automatizados com braços robóticos.



**Figura 5.8** – Contexto Virtual – Cenário 4

Nesta modelagem, cada braço robótico é coordenado e supervisionado por um operador e é realizada a soldagem de duas partes específicas (frente e verso) em cada posto robotizado do processo produtivo do suporte oscilante. Na etapa seguinte desta linha, a qual antes se denominava “Soldagem 2”, foi aplicado formato em “U”, que favorece uma maior flexibilidade e interação dos colaboradores. Observa-se deste modo que, o processo de produção, apresenta uma média interação e flexibilidade operacional na área de Soldagem 1 e alta na Soldagem 2, proporcionando ainda baixo nível de risco no processo produtivo. O resultado quantitativo obtido nesse cenário representa:  $Rh = 8$ ;  $Pe = 0$  e  $Prod = 934$ , de acordo como mostra a Figura 5.8.

### 5.3.1.5 Contexto Virtual – Cenário 5

Este contexto virtual refere-se ao Cenário 4 com mudança de todo o layout automatizado do formato em linha (Soldagem 1), para o formato em “U” – consolidando este formato no processo produtivo automatizado.

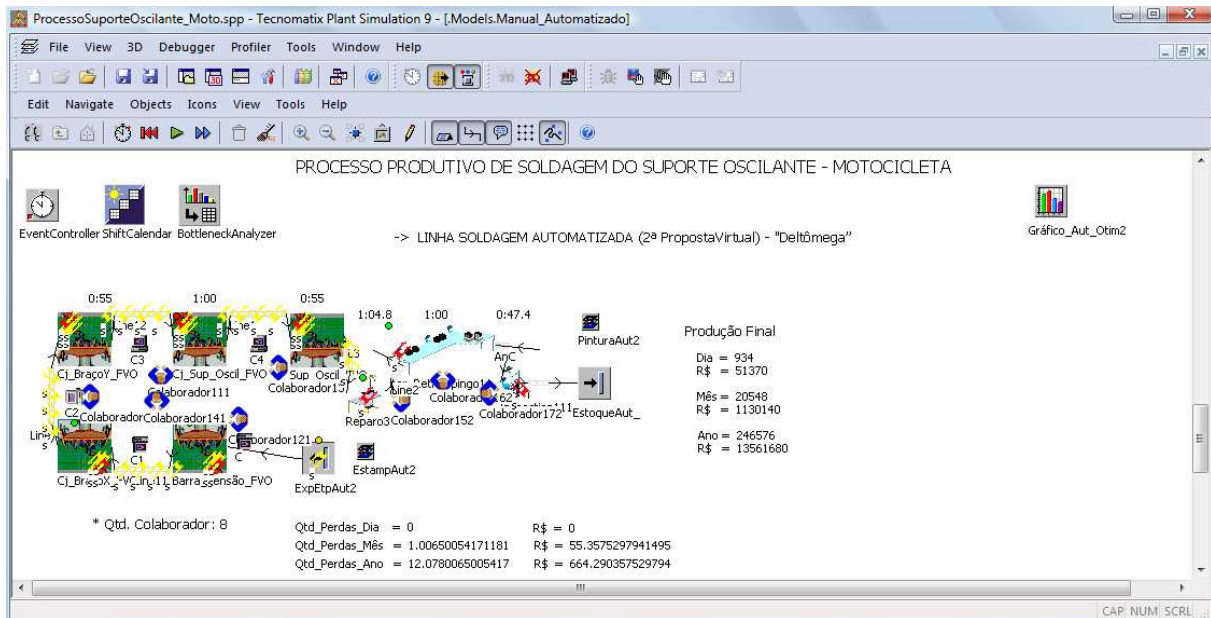


Figura 5.9 – Contexto Virtual – Cenário 5

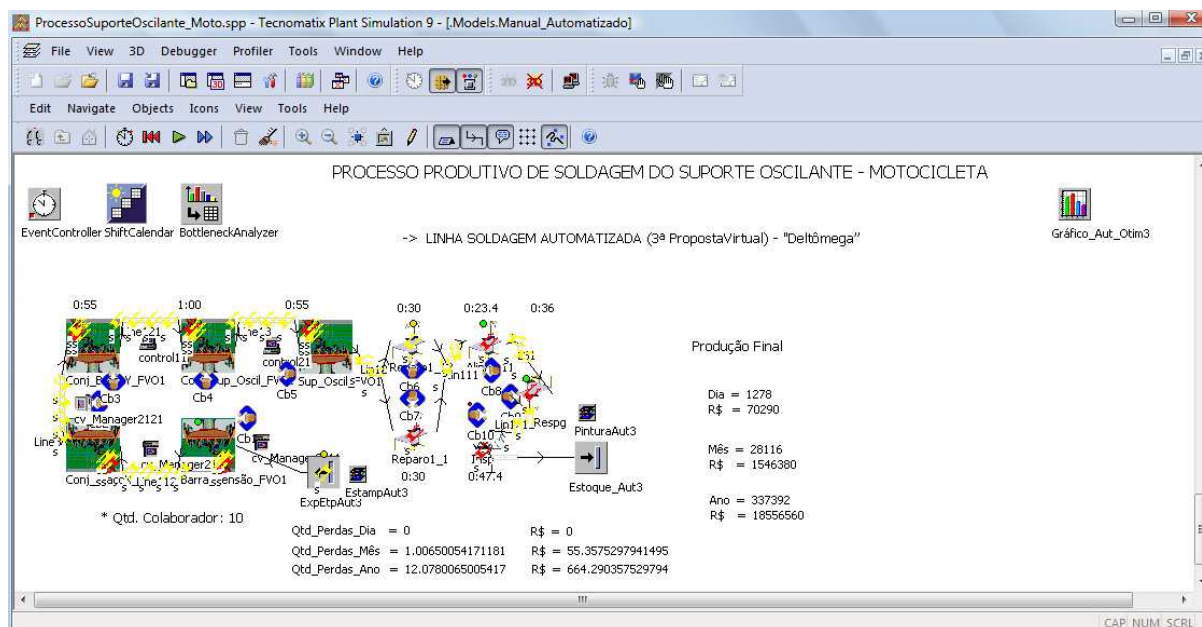
A Figura 5.9 visualiza o Cenário 5 com o resultado quantitativo simulado em:  $R_h = 8$ ;  $P_e = 0$  e  $Prod = 934$ . Para este novo layout (formato em “U” – Soldagem 1) pode ser visto que não houve alteração quantitativa nos resultados, mas proporciona uma alta interação e flexibilidade dos colaboradores com baixo risco do processo, e uma nova alternativa de layout de acordo com as necessidades do ambiente fabril.

### 5.3.1.6 Contexto Virtual – Cenário 6

Este contexto virtual refere-se ao Cenário 5 com a mudança de layout na área da Soldagem 2 através da duplicação do posto Reparo e novo formato em “U” dos demais.

Reid e Sanders (2005) afirmam que “o estabelecimento da forma da linha de modo que os trabalhadores possam se ver e se comunicar entre si pode melhorar a produtividade e a satisfação do trabalhador”. Em que o formato da linha, como exemplo, em “U e Q podem armazenar recursos freqüentemente usados no centro, onde permaneçam acessíveis a todos”.

Neste processo produtivo pode-se, também, visualizar a consolidação do formato em “U”, que proporciona um ambiente fabril bastante interativo e flexível – nível alto, com baixo risco operacional, favorecendo o trabalho em equipe e possibilitando a aprendizagem dos processos próximos por parte dos colaboradores.



**Figura 5.10** – Contexto Virtual – Cenário 6

Para Lima (2007), “a flexibilização do trabalho resulta na utilização diferenciada do tempo de trabalho, das formas de contrato ou de institucionalização de seu uso, e na qualificação dos trabalhadores, desejada como multifuncional ou polivalente”. Este quadro proporciona ainda: valorização do conhecimento no trabalho, redução das hierarquias, maior participação nas decisões do nível gerencial, resultando em um ambiente mais democrático para o processo de produção.

Neste cenário, o resultado quantitativo obtido mostra:  $R_h = 10$ ;  $P_e = 0$  e  $Prod = 1.278$ , conforme visualizado na Figura 5.10. No tópico seguinte, serão vistos, de forma consolidada, todos estes indicadores abordados e suas respectivas análises.

### 5.3.2 Análise das Situações Propostas

Para análise das situações propostas foi aplicado o método direto de interpretação baseado em informações relevantes do processo produtivo real em relação às otimizações desenvolvidas nos cenários apresentados.

## 5.3.2.1 Resultados Obtidos

A Tabela 5.1 expõe os resultados auferidos dos cenários para cada uma das alternativas propostas ao modelo computacional – Contexto Real:

**Tabela 5.1** – Análise dos Resultados Obtidos do Modelo.

Cenário	Descrição da Modelagem	Recursos humanos (Rh)		Perdas (Pe)		Produção (Prod)	Variações (%)			Interação e Flexibilidade		Risco do Processo
		Qtd.	Dia	Mês	Dia	Rh	Pe	Prod	Soldagem 1	Soldagem 2	Nível	
									Nível			
C1	Contexto Real (Atual)	14	1	22	929	-	-	-	Baixa	Baixa	Alto	
C2	Contexto Real/Virtual: mudança de <i>layout</i> na Soldagem 2 - formato em "U", com redução de recurso humano	13	1	22	931	-7	-	0,2	Baixa	Alta	Alto	
C3	Contexto Real/Virtual: nova mudança de <i>layout</i> na Soldagem 2 - formato em "U", com acréscimo de recurso humano	15	1	22	1.276	7	-	37,4	Baixa	Alta	Alto	
C4	Contexto Virtual: mudança de todo o processo produtivo manual (em linha) - Soldagem 1, para automatizado (em linha), com redução de recurso humano	8	0	1	934	-43	-95	0,5	Média	Alta	Baixo	
C5	Contexto Virtual: mudança do formato produtivo automatizado (em linha) para formato em "U" - na Soldagem 1	8	0	1	934	-43	-95	0,5	Alta	Alta	Baixo	
C6	Contexto Virtual: nova mudança de <i>layout</i> em "U" - na Soldagem 2, com acréscimo de recurso humano	10	0	1	1.278	-29	-95	37,6	Alta	Alta	Baixo	

Nestes resultados, conforme apresenta a Tabela 5.1, pode-se verificar a existência de parâmetros que enfocam desde dados quantitativos (recursos humanos, perdas, produção) como também dados que refletem o tipo de processo utilizado (nível de interação, flexibilidade e risco) os quais foram aplicados para contribuir à tomada de decisão, de acordo com a necessidade e objetivos da organização - política interna e externa.

Tendo em vista os dados apresentados, sugere-se que a melhor tomada de decisão, para que a empresa RDA não tenha maiores problemas relacionados à saúde, risco do processo e de produção, encontra-se entre os cenários C4 ao C6 – processos automatizados; os quais proporcionam: a) maior produtividade – como também redução nas perdas de 95% ao mês; b) melhor interação e flexibilidade no processo – de média para alta; c) baixo risco operacional – como também redução em Rh de 43%. Esta mudança pode ser realizada de forma gradual (com a alteração da área de Soldagem 2 para o formato em “U” e posteriormente alterar, por etapa, para o processo automatizado a área da Soldagem 1, visando

não comprometer o capital de giro, já que os processos automatizados requerem investimentos elevados para a maioria das organizações.

### 5.3.2.2 Apresentação dos Resultados e Implementações

O propósito principal foi apresentar os resultados auferidos com o projeto de simulação computacional como apoio à tomada de decisão. Um projeto de simulação não é desenvolvido com o objetivo de dar a melhor solução, mas proporcionar subsídios aos tomadores de decisão, com base em aspectos de segurança, custo, nível de serviço, planejamento estratégico, entre outros aspectos relevantes, decidam dentre as melhores alternativas a ser implementada. Neste estudo optou-se pelos cenários C4, C5 e C6 como melhores alternativas a serem implementadas de acordo com a política e recursos da empresa em estudo.

O resultado proporcionado pela aplicação da ferramenta computacional mostrou-se relevante quanto a sua operacionalidade, tendo em vista que oferece recursos visuais com modelos da própria ferramenta ou outros desenvolvidos, no qual modela e simula qualquer processo produtivo de acordo com suas particularidades, podendo ser desde um sistema produtivo simples para um complexo ou otimização de ambos.

Ofereceu ainda a possibilidade de mensurar parâmetros relevantes do processo produtivo, antes mesmo de colocá-los em prática, pois tudo foi desenvolvido por meio da ferramenta computacional de modo virtual – podendo criar, recriar e realizar inúmeras alterações, tomando decisões desde a projeção do empreendimento até sua implantação; enquanto que utilizando-se apenas o método tradicional, seria inviável realizar projeções (virtual realística) do mesmo nível e celeridade sem maiores dispêndio de recursos e tempo. É neste contexto que a simulação computacional através da ferramenta Plant Simulation se faz necessária à modelagem de processos produtivos complexos objetivando proporcionar melhores resultados na análise de projetos através de cenários desde sua implantação.

## **CAPÍTULO VI**

### **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste estudo objetivou-se analisar as principais potencialidades na aplicação da modelagem e simulação computacional como ferramenta de apoio à tomada de decisão em processos produtivos complexos de soldagem em uma organização industrial do segmento de duas rodas no Pólo Industrial de Manaus. Como também foi enfatizada, por meio da revisão bibliográfica, a importância da administração da produção em proporcionar ao processo produtivo um nível de produtividade aceitável e com recursos tecnológicos modernos – visando o melhor processo, produto e lucro.

#### **6.1 Conclusões**

A aplicação da modelagem e simulação computacional, através da ferramenta aplicada, mostrou-se eficiente e de utilização relativamente pouco complexa com suporte de especialistas e demais conhecedores do processo. Deste modo, foi possível verificar a aplicabilidade da modelagem e simulação computacional, conferindo ao estudo uma importante contribuição científica, com aplicabilidade na orientação em pesquisas futuras e de contribuição relevante de análise em processos industriais de soldagem complexos, o qual é um fator primordial na tomada de decisão para o crescimento e desenvolvimento do processo produtivo e conseqüentemente da organização como um todo.

O desenvolvimento e domínio de ferramentas, tecnologia e conceitos existentes dos softwares com o objetivo de modelar e simular a realidade, como a utilização do software Tecnomatix<sup>®</sup> Plant Simulation, faz com que grandes organizações empresariais possam reduzir seus dispêndios com investimentos desnecessários, prazos, entre outros, para que venham obter efetivamente um diferencial de competitividade à concorrência. O fato de um projeto desenvolvido servir como base para outros (como adaptações de linhas, reaproveitamento de instalações existentes, etc.), diminui o tempo para novas mudanças, pois foca-se a alteração; proporcionando assim ganho real em novos projetos, de forma a obter redução de custos em novos investimentos. A ferramenta de simulação permitiu ainda o desenvolvimento de experimentos alternativos de forma rápida por meio de variação de novos cenários modelados.

Deste modo, entende-se que o resultado obtido do estudo proposto além de trazer avanços ao compreender melhor o funcionamento do processo, possibilita identificar as principais restrições do processo produtivo do sistema real e tomar decisões mais eficientes. Também permite avaliar o sistema real através de um modelo computacional sem o desembolso real (prático) do investimento financeiro.

Quando uma organização pode visualizar através de um modelo computacional (virtual realístico – com recurso visual), que apresenta informações confiáveis aos tomadores de decisão (gestores e investidores), ganhando assim, importância comparada a métodos de projetos tradicionais, é um fator relevante tanto para o tomador de decisão quanto para a sociedade, pois proporciona não só um melhor entendimento do sistema real como um todo, mas possibilita a redução em dispêndios desnecessários, com menor impacto ao meio ambiente, por meio da redução de resíduos provenientes dos testes de experimentos desnecessários como os: protótipos de materiais e produtos – ensaios destrutivos, entre outros processos produtivos desenvolvidos.

## **6.2 Propostas de Pesquisas Futuras**

Como complementação deste estudo e desenvolvimento de trabalhos futuros, sugere-se realizar:

- Modelagem e simulação do processo, de tal forma que seja mensurado, através do arranjo (figuras, imagens) customizado em 3D, o valor do investimento, isto de forma instantânea, objetivando uma melhor visualização e celeridade à tomada de decisão;
- Utilização da simulação computacional na identificação de problemas relacionados à ergonomia e riscos operacionais do processo de soldagem, mapeando as áreas críticas para desenvolvimento de possíveis melhorias;
- Desenvolvimento de projeto de simulação para os processos logísticos do ambiente produtivo de soldagem da organização – internamente, almejando mensurar os percursos e custos envolvidos de forma a poder desenvolver otimizações;

E, finalizando, almeja-se que o estudo proposto, com a modelagem e simulação computacional, possa contribuir para o conhecimento e desenvolvimento de novos projetos e experimentos de processos produtivos.



## REFERÊNCIAS

- ANGELONI, M. T. (org.) **Organizações do conhecimento: infra-estrutura, pessoas e tecnologia**. 2.ed. São Paulo: Saraiva, 2008.
- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A. & SILVA, J. C. **Projeto Integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, SP: Manole, 2008.
- BANKS, J.; CARSON II, J. S.; NELSON, B. L. & NICOL, D. M. **Discrete event system simulation**. 4 rd Ed. Prentice Hall, 2005.
- BATALHA, Mário O. (org.) **Introdução à Engenharia de Produção**. 2ª reimpressão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.
- BURCHER, P. G.; LEE, G. L. **Competitiveness strategies and AMT investment decisions**. Integrated Manufacturing Systems, 11/5, pp. 340-347, 2000.
- CARTER, W. K. **To invest in new technology or not? New tools for making the decision**. Journal of accountancy, may, pp. 58-64, 1992.
- CARVALHO, L. S. **Análise das potencialidades e vantagens do uso da simulação computacional em operações logísticas complexas, como ferramenta de auxílio à tomada de decisões**. Dissertação de Mestrado em Administração, UFB, Salvador, 2006.
- CHIAVENATO, I. **Introdução à teoria geral da administração**. 7 ed. RJ: Elsevier, 2003.
- CHUNG, K B. **Deriving Advantages from Advanced Manufacturing Technologies -An Organizing Paradigm**. International Journal of Production Economics, pp. 13-21, 1991.
- CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: teoria & aplicações**. 3. ed. (amp. rev.) - São Paulo: Ed. do Autor, 2010.
- CROUSE, W. H.; ANGLIN, D. L. **Mecánica de la motocicleta**. España: Marcombo, 1992.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA C. A. **Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- COSTA, M. Gouvêa da. **Desenvolvimento de uma abordagem estratégica para a seleção de tecnologias avançadas de manufatura – AMT**. Tese em Engenharia, EPUSP. SP, 2003.
- DÁVALOS, Ricardo V. **O Ensino de Simulação de Sistemas nos Cursos de Engenharia e Informática**. In: Escuela de Perfeccionamiento em Investigación Operativa, 12., 2001, Córdoba (Argentina). Anais...Córdoba, 23 a 25 mayo 2001.
- DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. **Fundamentos da Administração da Produção**. 3. ed. – Porto Alegre: Bookman Editora, 2001.
- DOEDEN, Matt. **Motocicletas/Motorcycles**. USA: Capstone Press, 2007.

- DOMINGUES, Ivan. **Conhecimento e Transdisciplinaridade II: aspectos metodológicos**. Belo Horizonte: UFMG, 2005.
- DREJER, A. **Integrating product and technology development**. European Journal of Innovation Management, v. 3, n. 3, pp. 125-136, 2000.
- FERREIRA, Douglas da Costa. **Proposta de Metodologia de Análise para Adoção de Tecnologias Avançadas de Manufatura**. Dissertação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004.
- FITZSIMMONS, James A.; FITZSIMMONS, Mona J. **Administração de Serviços: operações, estratégias e tecnologia da informação**, 4. ed., Bookman: Porto Alegre, 2007.
- FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em Arena**. 2ª ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.
- GAERTNER, Cesar Augusto. **Desenvolvimento de framework e processo para justificação econômico-financeira de tecnologias avançadas de manufatura (AMT)**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas, PUCP, Curitiba, 2005.
- GAVIRA, Muriel O. **Simulação Computacional como uma Ferramenta de Aquisição de Conhecimento**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. USP, SC, SP, 2003.
- GOLDRATT, E.; FOX, R. E. **A Corrida pela Vantagem Competitiva**. SP: Educator, 1989.
- GOMES, L. F. A. M. et al. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. 2. ed. – São Paulo: Atlas, 2006.
- GUINATO, P. **Produção e Competitividade: Aplicação e Inovações**. Tradução: Adiel Almeida e Fernando Souza. Recife: UFPE, 2000.
- HARREL, Charles R.; GHOSH, Biman K.; BOWDEN, Royce. **Simulation Using ProModel**. McGraw-Hill, 2000.
- KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; STURROCK, D. T. **Simulation with Arena**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2007.
- LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. NY, McGraw-Hill, 2000.
- LEPISKSON, H. A. **SOMA – Sistema Orgânico de Manufatura Autônoma: uma nova abordagem distribuída para o gerenciamento do chão de fábrica**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.
- LIMA, Jacob C. (org.) **Ligações Perigosas: trabalho flexível e trabalho associado**. São Paulo: Annablume, 2007.
- MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. 3ª edição atualizada. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009.

- MARTINS, José Carlos C. **Técnicas para Gerenciamento de Projetos de Software**. Rio de Janeiro: Brasport, 2007.
- MARTINS, P.G.; LAUGENI F.P. **Administração da Produção**. (6ª tiragem, 2009), São Paulo: Saraiva, 2005.
- MOORE, Jeffrey H.; WEATHERFORD, Larry R. **Tomada de Decisão em Administração com Planilhas Eletrônicas**. 6. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2005.
- MOREIRA, Daniel A. **Administração da Produção e Operações**. 5. ed. SP: Pioneira, 2004.
- NOGUEIRA, R. A.; LEITE, J. C; FARIA, M. A. **Model to support analysis of investments in advanced technology manufacturing - AMT**: a comparative study of processes with modeling and computer simulation. Convencion Internacional de la Ingenieria en Cuba - CIIC. VI Conferencia de Ingeniería Mecánica, Eléctrica e Industrial - CIMEI. Varadero, Matanzas, Cuba, Junio 03 al 05 de 2010.
- OLIVEIRA, Valéria R. **Desmitificando a Pesquisa Científica**. Belém: EDUFPA, 2008.
- PAIVA, E. L. et al. **Estratégia de produção e de operações**: conceitos, melhores práticas, visão de futuro. Porto Alegre: Bookman, 2004.
- PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade**: teoria e casos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.
- PARK, H.; THOMAS, S.R.; TUCKER, R.L. **Benchmarking of construction productivity**. Journal Construction Engineering and Management, Reston, v.131, n.7, p.772-778, July 2005.
- PIDD, Michael. **Modelagem Empresarial**: ferramentas para tomada de decisão. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.
- REID, R. D.; SANDERS, N. R. **Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2005.
- ROACH, S. S. **Services Under Seige – The Restructuring Imperative**. Harvard Business Review, pp. 82-91, setembro-outubro de 1991.
- RODRIGUES, Luís H. **Developing na approach to help companies synchronise manufacturing**. Tese, Departament Management Science University of Lancaster, UK, 1994.
- SAAKSJARVI, M. **Consumer adoption of technological innovations**. European Journal of Innovation Management, v. 6, n. 2, pp. 90-100, 2003.
- SALEH, B. et al. **Factors in capital decisions involving advanced manufacturing technologies**. International Journal of Operations & Production Management, v. 21, n. 10, pp. 1265-1288, 2001.
- SANTOS, E. S.; NOGUEIRA, R. A.; LEITE, J. C. & COSTA JR., C. T. **Sistema para tomada de decisão na mensuração do nível de Produtividade Industrial**: estudo desenvolvido com lógica fuzzy. Congresso Brasileiro de Sistemas Fuzzy – CBSF. Sorocaba-SP, Brasil, 9 a 12 de novembro de 2010.

SANTOS, E. S.; NOGUEIRA, R. A.; LEITE, J. C. **Simulação Computacional no Auxílio à Tomada de Decisão nos Processos Industriais**: utilizando a ferramenta Tecnomatix Plant Simulation. Congresso Nacional de Engenharia da Produção - I CONEPRO-SUL. Competitividade na Engenharia de Produção: Inovação e Sustentabilidade. Joinville-SC, Brasil, 22 a 24 de setembro de 2010.

SHANNON, R. E. **Introduction to the art and science of simulation**. Proceedings of the Winter Simulation Conference, 1998.

SIEMENS PLM. Site Oficial. Disponível em: <<http://www.plm.automation.siemens.com>>. Acesso em: 15 abr. 2010.

SILVA, Wesley A. **Otimização de parâmetros da gestão baseada em atividades aplicada em uma célula de manufatura**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Itajubá, 2005.

SLACK, Nigel **Vantagem Competitiva em Manufatura**: atingindo competitividade nas operações industriais. 2. ed., São Paulo, Editora: Atlas, 2002.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. São Paulo, Editora: Atlas, 2009.

SMALL, M. H.; YASIN, M. **Developing a framework for the effective planning and implementation of advanced manufacturing technology**. International Journal of Operations and Production Management, v.17, n.5, p. 468-489, 1997.

SOUZA, U.E.L. **Como aumentar a eficiência da mão-de-obra**: manual de gestão da produtividade na construção civil. São Paulo: Pini, 2006.

STRACK, Jair. **GPSS: Modelagem e Simulação de Sistemas**. Rio de Janeiro: LTC, 1984.

TORGA, B. L. M. **Modelagem, Simulação e Otimização em Sistemas Puxados de Manufatura**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Itajubá, 2007.

TORRES, Isaías **Um Formalismo Relacional para o Desenvolvimento de Arranjos Físico Industrial**. Tese de Doutorado em Engenharia, UFSC. São Paulo, 2007.

TUBINO, Dalvio F. **Manual de Planejamento e Controle da Produção**. SP: Atlas, 2007.

VIDAL, O. C. **Aplicação do conceito de Fábrica Digital no planejamento de instalações para armação de carroçarias na indústria automobilística**. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

VINCENDON, Daniel. **As Máquinas Vivas**: perspectivas para o nosso futuro. Paraná: Hemus, 2007.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso**: planejamento e métodos. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.