

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ABORDAGEM PARA A DIVULGAÇÃO  
DA SIMULAÇÃO NO SETOR CALÇADISTA GAÚCHO**

**Ricardo Augusto Cassel**

**Orientador: Professor Dr. Luís Henrique Rodrigues**

**Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.**

**Porto Alegre, maio de 1996.**

Orientador: Prof. Luís Henrique Rodrigues

Coordenador do Curso: Prof. Juan Luis Mascaró

Banca Examinadora:

Prof. Antônio Sérgio de Souza  
Dr. pela Universidade de São Paulo

Profª. Lia Buarque de Macedo Guimarães  
Ph.D. pela University of Toronto - Canadá

Prof. José Luís Duarte Ribeiro  
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## Agradeço...

... a Deus por tudo;

... a meus pais pela dedicação prestada em todos os momentos e pelo incentivo sempre presente nas fases turbulentas e de indecisão;

... a minha noiva e futura esposa pela compreensão e apoio, bem como por seu imenso amor capaz de suportar dias de impaciência e de mau-humor;

... ao Professor Dr. Luís Henrique Rodrigues por sua sabedoria, seu apoio durante toda a dissertação, suas críticas, e principalmente sua amizade;

... aos Professores Dr. Antônio Sérgio de Souza, Dra. Lia Buarque de Macedo Guimarães e Dr. José Luís Duarte Ribeiro por aceitarem ser examinadores desta dissertação de mestrado;

... a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção pelo empenho dedicado ao programa e pelas informações passadas a todos os alunos que procuram se tornar mestres nesta área;

... a todos os colegas do mestrado pela amizade e colaboração;

... a todos os funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, sem os quais o curso não poderia existir;

... ao CNPq pela bolsa de estudos a mim concedida durante a realização do mestrado;

... à Grendene S.A. por permitir que fosse realizado um projeto de pesquisa em suas instalações, e seus funcionários pelo apoio e amizade dedicados em todos os momentos do projeto desenvolvido;

... a todas as empresas que participaram e colaboraram com a pesquisa e as demais etapas do estudo realizado.

## RESUMO

Esta dissertação buscou desenvolver uma abordagem para divulgar a técnica de simulação em um setor industrial importante no estado do Rio Grande do Sul, o setor calçadista. Este processo de disseminação foi desenvolvido utilizando-se um método específico.

Este processo foi iniciado com a realização de uma pesquisa de sondagem dos conhecimentos sobre simulação que as empresas do setor possuíam. Os resultados obtidos comprovaram algumas hipóteses iniciais, como o não conhecimento por parte das empresas desta técnica aplicada em sistemas de manufatura e, conseqüentemente, a não realização de nenhum projeto de simulação em suas fábricas.

O processo de difusão também contemplou a realização de um seminário sobre simulação, que buscou dar às empresas conhecimentos básicos sobre o assunto. A etapa final do método de divulgação foi a realização de um estudo de caso em uma empresa do setor.

O projeto de simulação desenvolvido no estudo de caso seguiu um método criado a partir de métodos desenvolvidos por Law & Kelton (1991), por Gogg & Mott (1992) e por Pritsker (1990), e utilizou o simulador Micro Saint para criar e simular os modelos. Durante o desenvolvimento do projeto, cada etapa do método era explicada aos participantes do grupo de trabalho, tendo em vista que o objetivo do trabalho era de divulgar a simulação e de repassar os conhecimentos sobre a técnica para a empresa.

Durante todo o processo de divulgação, pelo menos 21 novas empresas (que responderam o questionário da pesquisa realizada) obtiveram o conhecimento do conceito de simulação e de suas possíveis aplicações em sistemas de manufatura. Uma empresa teve seu primeiro projeto de simulação desenvolvido, e adquiriu a base de conhecimento necessária para desenvolver novos projetos. Isto demonstra que os resultados obtidos foram satisfatórios, o que pode ser melhor visualizado no decorrer deste estudo.

## ABSTRACT

In this thesis an approach to spread the simulation technique among the shoe making industries was proposed. This process of dissemination was developed using a specific method.

The process has begun with a survey about the simulation knowledge of the industries in the shoe making sector. The results confirmed some initial hypothesis, like the ignorance of the industries about this technique applied to manufacturing systems, and therefore the non-existence of a implementation project of the tool.

The approach has also contemplated a seminar about simulation and has finished with a study case in a shoe making company.

The simulation project developed in the case study has followed a method that was adapted from the methods of Law & Kelton (1991), Gogg & Mott (1992) and Pritsker (1990), and has used the Micro Saint simulator to run the models. During the project development, each step of the method was explained to the participants of the work group, since the study objective was to spread the technique and its development method.

Along the spread process, at least 21 new companies learned the simulation concept and its possible applications to manufacturing systems. One company had its first simulation project developed, and is now able to develop new projects on its own. This demonstrates the satisfactory results achieved, which can be better visualized along this study.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
SUMÁRIO	iv
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	3
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	5
1.3 MÉTODO DE TRABALHO	6
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	8
1.5 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 A SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO	13
2.2 SIMULANDO A MANUFATURA	17
2.3 MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE SIMULAÇÃO PARA MANUFATURA	20
2.4 CARACTERÍSTICAS DOS SOFTWARES DE SIMULAÇÃO PARA SISTEMAS DE MANUFATURA	35
2.5 MICRO SAINT	38
2.5.1 Elementos Básicos	39
2.5.2 Avaliação da Ferramenta	45

<b>3. ABORDAGEM DESENVOLVIDA</b>	<b>47</b>
<b>3.1 MÉTODO DE DIVULGAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL</b>	<b>48</b>
3.1.1 Identificação do Setor Industrial	49
3.1.2 Desenvolvimento da Pesquisa	56
3.1.3 Seminário sobre Tópicos Básicos de Simulação Computacional Aplicados ao Setor Calçadista Gaúcho	64
3.1.4 Contato com a Empresa Piloto	66
3.1.5 Realização do Projeto Piloto	66
3.1.6 Projetos Subseqüentes	68
3.1.7 Publicações dos Resultados	68
<b>3.2 AVALIAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO</b>	<b>70</b>
<b>3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>71</b>
<b>4. ESTUDO DE CASO</b>	<b>72</b>
<b>4.1 HISTÓRICO DA EMPRESA</b>	<b>72</b>
<b>4.2 PROJETO PILOTO</b>	<b>75</b>
4.2.1 Formular o Problema	75
4.2.2 Treinar o Grupo em Simulação	77
4.2.3 Definir um Modelo Conceptual	77
4.2.4 Construir o Modelo	79
4.2.5 Simular o Modelo	84
4.2.6 Fazer Rodadas Produtivas	86
4.2.7 Análise dos Dados de Saída	86
4.2.8 Apresentação dos Resultados e Implementação	92
<b>4.3 PROJETOS SUBSEQÜENTES</b>	<b>93</b>
4.3.1 A Situação Problemática	93
4.3.2 Proposta de Melhoria	95
<b>4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>99</b>
<b>5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>102</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>108</b>

ANEXO I	113
ANEXO II	118
ANEXO III	130
ANEXO IV	131



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1: Formas de Estudar um Sistema (LAW & KELTON, 1991)	13
FIGURA 2.2: Passos em um Estudo de Simulação (LAW & KELTON, 1991)	22
FIGURA 2.3: Etapas para Construção de um Modelo de Simulação (GOGG & MOTT, 1992)	25
FIGURA 2.4: Processo de Modelagem e Simulação (PRITSKER, 1990)	29
FIGURA 2.5: Tempo Alocado no Passado para Coletar Dados, Construir e Simular o Modelo (GOGG & MOTT, 1992)	34
FIGURA 2.6: Tempo Alocado Hoje para Coletar Dados, Construir e Simular o Modelo (GOGG & MOTT, 1992)	34
FIGURA 2.7: Exemplo de um Modelo Criado no Micro Saint	39
FIGURA 2.8: Janela de Diálogo da <i>Task</i>	41
FIGURA 2.9: Janela de Diálogo da Fila	42
FIGURA 2.10: Nodo de Decisão	43
FIGURA 2.11: Janela de Diálogo do Nodo de Decisão	44
FIGURA 3.1: Etapas da Abordagem Desenvolvida	48
FIGURA 3.2: Número de Empresas Envolvidas nas Fases do Processo	69
FIGURA 4.1: Método Utilizado no Desenvolvimento do Projeto Piloto	76
FIGURA 4.2: Representação da Operação e de sua Folga	81
FIGURA 4.3: Modelo Final do Sistema	84
FIGURA 4.4: Gráfico do Tempo Total para Produção do Lote em Função do Intervalo de Tempo entre a Passagem de Duas Células Iguais	91
FIGURA 4.5: Gráfico da Produtividade do Sistema em Função do Intervalo de Tempo entre a Passagem de Duas Células Iguais	92
FIGURA 4.6: Sistema com Esteira	97
FIGURA 4.7: Sistema sem Esteira	97

FIGURA 4.8: Modelo Final do Sistema do Projeto Subseqüente	99
FIGURA II.1: Gráfico de Gant do Sistema Real	121
FIGURA II.2: Gráfico de Gant do Modelo Criado	122
FIGURA II.3: Representação da Operação e de sua Folga	122
FIGURA II.4: Exemplo da Folga	126
FIGURA II.5: Gráfico de Gant do Exemplo	129
FIGURA IV.1: Exemplo com Esteira	143
FIGURA IV.2: Exemplo sem Esteira	143

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 2.1: Benefícios da Simulação Mais Citados (HOLLOCKS, 1992)	16
TABELA 3.1: Síntese da Produção de Calçados nos Principais Países Concorrentes do Brasil (SATRA, 1994)	51
TABELA 3.2: Participação do Sapato Brasileiro nas Importações dos Principais Países Compradores (ABAEX, 1995)	52
TABELA 3.3: Participação das Regiões Brasileiras na Produção de Calçados (ABAEX/ DECEX, 1994)	53
TABELA 3.4: Participação dos Estados na Exportação de Calçados (DECEX/CTIC/ FGV, 1994)	54
TABELA 3.5: Produção Média Mensal	58
TABELA 3.6: Faturamento Médio Mensal	58
TABELA 3.7: Itens Produzidos pelas Empresas	59
TABELA 3.8: Tipos de Computadores das Empresas	60
TABELA 3.9: Funções da Empresa a serem Simuladas	62
TABELA 4.1: Tempos Utilizados na Simulação	87
TABELA 4.2: Ocupação Média	88
TABELA 4.3: Ocupação Média	89
TABELA II.1: Tempos de Operação e de Chegada dos Chinelos	127
TABELA II.2: Tempos de cada Chinelo	128
TABELA IV.1: Tempos-Padrão	132
TABELA IV.2: Número de Costureiras por Operação	134
TABELA IV.3: Novos Tempos-Padrão	137
TABELA IV.4: Número de Costureiras por Operação	138



## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

O mundo vem presenciando, nos últimos anos, a criação de blocos econômicos que visam a facilitação de negociações entre diferentes países. Mais do que nunca, as distâncias existentes entre uma parte e outra do nosso planeta não são mais restrições para a realização de negócios. Esta corrida intercapitalista vem fazendo com que as empresas cada vez mais procurem se sobressair e atender melhor os seus clientes, buscando obter seus nichos de mercado e evitando que seus concorrentes as ultrapassem. Este fato acarreta um mercado muito instável, onde a cada dia novas mudanças ocorrem visando a satisfação do cliente e a aquisição de uma fatia de mercado.

Esta nova postura dinâmica do mercado, em grande parte causada pela visão de várias companhias em diversificar seus centros de consumo buscando globalizar seus mercados, fez com que as empresas começassem a se preocupar com o tempo requerido para as tomadas de decisão dentro da corporação. Para que as empresas possam se manter competitivas, é necessário que tais decisões sejam tomadas de forma rápida e acertada.

Existem algumas formas de se tomar decisões rápidas, como a utilização da experiência empírica, mas que, no entanto, muitas vezes não levam a decisões acertadas, pois são tomadas no ímpeto de se resolver logo o problema, desconsiderando uma análise mais cuidadosa de suas possíveis conseqüências. Existem também formas de se tomar decisões acertadas como, por exemplo, fazendo-se um estudo analítico do problema, mas que muitas vezes não são rápidas. Isto ocorre pelo fato de que estes estudos procuram analisar todas as possíveis conseqüências das decisões tomadas, fazendo com que se gaste muito tempo em sua análise.

Portanto, se fosse possível tomar uma decisão rápida e saber de antemão quais as conseqüências que esta decisão iria causar, muitos problemas seriam evitados e solucionados de acordo com o que o mercado exige nos dias de hoje, rapidez e eficácia. Em suma, o que se necessita é de uma ferramenta que consiga representar a realidade, mostrando as conseqüências que algumas mudanças iriam causar no sistema real, sem que este seja realmente afetado. Esta descrição se assemelha muito à definição dada por Hollocks (1992) a respeito de uma técnica, a qual “envolve a criação de um programa computacional que representa alguma parte do mundo real de tal forma que experimentos realizados no modelo predigam o que acontecerá na realidade”. Esta técnica é chamada de simulação computacional.

A simulação permite fazer estudos gerando modelos que se comportam como o sistema real, evitando, assim, que se gaste dinheiro, energia e até o moral do pessoal em mudanças que não tragam resultados positivos. Porém, deve-se ter claro que mesmo a simulação pode levar a resultados negativos, caso o trabalho não seja desenvolvido de uma forma metódica e organizada.

O uso da simulação vem crescendo em várias áreas de conhecimento. Também em sistemas de manufatura, suas aplicações têm aumentado. Aplicações com sucesso da simulação já foram realizadas em várias empresas e as cifras poupadas por elas são muito grandes, por exemplo:

- a empresa de consultoria Northern Research and Engineering Corp. simulou uma nova linha de produção da Torrington Co. e verificou que 4 das 77 máquinas que seriam compradas não eram necessárias, poupando-se U\$ 750.000,00 (Wild & Port, 1987);
- a Exxon desenvolveu um programa para simular a manufatura, a mistura, a estocagem e as operações de expedição da gasolina, e poupou U\$ 1,4 milhões na sua primeira aplicação (Graff, 1986);
- a Draw Tite Inc. pretendia transformar suas células de manufatura em uma linha de produção contínua, porém ao simular as modificações percebeu que elas não trariam resultados positivos, e evitou o gasto de U\$ 80.000,00 na aquisição de novas máquinas (Boblitz, 1991).

Entretanto, esta técnica tem um uso muito incipiente na realidade dos sistemas produtivos brasileiros. Portanto, este trabalho versa sobre a possibilidade de difusão deste conhecimento em um setor industrial específico do estado do Rio Grande do Sul.

## **1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO**

A simulação permite que se verifique o funcionamento de um sistema real em um ambiente virtual, considerando a variabilidade do sistema e demonstrando o que acontecerá na realidade de forma dinâmica. Isto permite que se tenha uma melhor visualização e um melhor entendimento do sistema real, compreendendo as interrelações existentes no mesmo.

A simulação pode ser usada como uma ferramenta de suporte a decisões, para um melhor entendimento do sistema, para o treinamento de pessoal e para o envolvimento dos funcionários. Percebe-se que esta ferramenta possui um vasto número de possíveis aplicações, tanto em sistemas industriais como em outros sistemas, e que podem trazer vários benefícios a quem a usar.

No entanto, no Brasil esta técnica ainda é pouco conhecida. O número de softwares disponíveis no país ainda é pequeno, e os que existem não são muito divulgados. A literatura existente sobre o assunto é escassa, sendo praticamente toda em inglês e importada por acadêmicos interessados na ferramenta. Por este motivo, resolveu-se realizar este estudo buscando disseminar os conhecimentos e o uso da simulação no setor manufatureiro do país, acreditando na possíveis vantagens competitivas que a técnica pode trazer ao setor.

Decidiu-se escolher apenas um setor industrial específico e fazer todo o estudo em função deste tipo de atividade, pois a simulação é um assunto muito amplo e com possibilidade de várias aplicações. Optou-se pelo ramo calçadista, mais especificamente as empresas calçadistas gaúchas. Esta escolha foi feita com base nos seguintes fatores:

#### *Importância Econômica*

- no ano de 1994, 58,92% do total de divisas obtidas pelo Rio Grande do Sul em vendas ao exterior foi representado pelo calçado;

#### *Geográfico*

- a maioria das empresas calçadistas está situada em cidades próximas a Porto Alegre, cidade onde foi realizado o trabalho;

#### *Organizacional*

- o setor calçadista é um setor que tem dados disponíveis e bem estruturados, como tempos de processamento, roteiros de produção, etc.;

#### *De Acesso*

- o contato com as empresas é facilitado pelo conhecimento de pessoas envolvidas com o setor;

#### *Aspectos Ligados à Concorrência*

- as empresas do setor estão procurando alternativas para combater a concorrência de outros países, principalmente os chamados Tigres Asiáticos.



## 1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Este estudo tem como objetivo principal desenvolver uma abordagem para difundir o conceito de simulação, buscando disseminar a técnica e lançar as primeiras “sementes” de conhecimento da mesma no setor calçadista gaúcho. Para se alcançar este objetivo, ter-se-á de buscar, também, alguns objetivos secundários:

- revisão bibliográfica sobre o assunto, ampliando a literatura sobre simulação na língua portuguesa;
- realização de uma pesquisa com as empresas calçadistas gaúchas, visando a verificação do grau de conhecimento sobre simulação que as mesmas possuem e a identificação do nível de penetração desta ferramenta no setor;
- adaptação de um método para a aplicação da simulação no setor calçadista gaúcho;
- realização de um estudo de caso em uma empresa do setor buscando maiores informações sobre o processo produtivo das indústrias calçadistas;
- criação de modelos demonstrativos do sistema produtivo calçadista;
- avaliar a potencialidade do uso da simulação no setor calçadista e as possíveis utilizações da ferramenta nas empresas do setor.

Para se obter êxito nestes objetivos, é necessário que se desenvolva o trabalho de uma forma metódica. Assim, a seguir é apresentado o método de trabalho.

## **1.3 MÉTODO DE TRABALHO**

Procurando-se alcançar os objetivos citados anteriormente, seguiu-se as seguintes etapas neste trabalho:

### **1. Identificação do Tópico de Pesquisa**

O primeiro passo para se realizar uma pesquisa é identificar o assunto no qual se pretende formular uma tese. No caso deste trabalho, o assunto simulação relacionado com o setor calçadista gaúcho, parece ser, como demonstrado na justificativa, relevante no aspecto acadêmico.

### **2. Revisão Bibliográfica sobre o Assunto**

Depois de ter-se escolhido o tema sobre o qual se faria a pesquisa, era necessário colher informações sobre o tópico em questão. Para tanto, fez-se uma coletânea de bibliografias referentes à simulação, buscando-se revistas, livros, publicações acadêmicas e anais de eventos que se referiam ao assunto. Feito isto, procurou-se reunir os pontos principais de cada bibliografia para se conhecer o estado da arte na simulação.

Também foram coletados alguns dados do setor calçadista junto à ABAEX (Associação Brasileira dos Exportadores de Calçados e Afins) para se conhecer melhor o setor. Foi adquirida ainda, junto à ABICALÇADOS (Associação Brasileira das Indústrias de Calçados) uma listagem das empresas calçadistas associadas à entidade, que foi utilizada como base de dados para o envio dos questionários da pesquisa de campo realizada.

### **3. Pesquisa de Campo**

Nesta etapa, fez-se uma pesquisa com as empresas do setor calçadista gaúcho, procurando saber o quanto conheciam sobre o tema do trabalho. Foram enviados questionários às empresas e as respostas coletadas foram descritas em um relatório que foi enviado às empresas para que elas tivessem conhecimento dos resultados da pesquisa. Também foram criados seminários sobre simulação, de acordo com o interesse demonstrado pelas empresas no questionário.

### **4. Estágio Técnico**

Como o presente estudo pretendia divulgar a simulação no setor calçadista gaúcho, era necessário demonstrar as possíveis utilizações da técnica em um exemplo prático, já utilizando-o, também, para repassar à empresa o método de desenvolvimento de um projeto com esta ferramenta. Para isto, realizou-se um estágio em uma empresa do setor, para se conhecer o mecanismo de funcionamento da mesma e buscar desenvolver projetos que pudessem auxiliá-la em suas tomadas de decisão. Durante este estágio, coletou-se dados que foram utilizados para a criação de um modelo que foi simulado.

O contato com as empresas foi realizado com base no interesse mostrado pelas mesmas durante a pesquisa sobre o conhecimento da simulação no setor calçadista.

Depois de se conhecer o funcionamento do sistema produtivo da empresa, iniciou-se o desenvolvimento do projeto de simulação. Baseou-se nas etapas de desenvolvimento de projetos de simulação propostos por Law & Kelton (1991), por Pritsker (1990) e por Gogg & Mott (1992) criando-se um modelo inicial de uma seção da empresa. Durante toda esta etapa, foram feitas reuniões com a empresa para demonstrar o andamento do projeto de simulação e, também, para explicar o seu funcionamento.

## **5. Formalização da Pesquisa**

Nesta fase, descreveu-se os problemas encontrados, os resultados obtidos e as conclusões alcançadas. Ou seja, nesta etapa, formalizou-se, de forma, escrita o que ocorreu nas demais etapas do trabalho.

### **1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO**

O presente trabalho está estruturado em 5 capítulos:

Capítulo 1 - Introdução

Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica

Capítulo 3 - Abordagem Desenvolvida

Capítulo 4 - Estudo de Caso

Capítulo 5 - Conclusões e Trabalhos Futuros

A seguir dar-se-á uma pequena explicação de cada capítulo.

#### **Capítulo 1 - Introdução**

Neste capítulo, procurou-se explicar o termo simulação e o motivo pelo qual se resolveu fazer um estudo sobre este assunto. Também foram explicadas as razões que levaram a realização deste estudo no setor calçadista gaúcho. Foram mostrados, ainda, os objetivos do estudo proposto, determinando quais as conclusões a que se pretendia chegar, e fez-se uma pequena explanação sobre as etapas seguidas para alcançar tais objetivos. Demonstrou-se, também, a forma como foi estruturado o trabalho e citou-se algumas delimitações deste.

## **Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica**

A revisão bibliográfica faz um apanhado geral sobre simulação. Nela, estão informações de autores que trabalham com o assunto, como Pidd, Law & Kelton, Pritsker, e outros. Neste capítulo, estão descritos a definição de simulação, informações de como a técnica surgiu, suas classificações, métodos para sua aplicação, tipos de software e exemplos de aplicações da simulação em indústrias de manufatura.

## **Capítulo 3 - Abordagem Desenvolvida**

Este capítulo descreve detalhadamente a abordagem desenvolvida para a difusão dos conceitos básicos de simulação no setor calçadista gaúcho. Esta abordagem foi iniciada a partir de um estudo exploratório do grau de conhecimento da simulação no respectivo setor industrial, passando por palestras sobre o tema e culminando com o projeto piloto. O capítulo, desta maneira, descreve todas estas fases criticamente, apresentando os resultados e barreiras encontrados.

## **Capítulo 4 - Estudo de Caso**

Este capítulo descreve o estudo de caso de uma empresa do setor calçadista. Nele é feito um apanhado geral do setor calçadista, apresenta-se a empresa onde o estudo foi realizado e descreve-se os trabalhos desenvolvidos na mesma.

A primeira parte deste capítulo busca mostrar alguns detalhes do setor calçadista gaúcho. É apresentado um pequeno histórico do setor a nível nacional, demonstrando a situação do mesmo em relação a outros países produtores de calçados. Depois é feita uma comparação da produção de calçados de cada região do país, demonstrando a importância do Rio Grande do Sul no setor.

Também é feito um apanhado histórico da empresa onde realizou-se o estudo de caso, mostrando como a empresa iniciou suas atividades, seus principais produtos, e o estágio em que a mesma se encontra nos dias de hoje.

Descreve-se ainda, todo o trabalho realizado na empresa, analisando os problemas que foram encontrados e as soluções que foram dadas. Mostra-se os resultados obtidos no projeto de simulação, as implantações que foram realizadas e as conclusões a que se chegou.

## **Capítulo 5 - Conclusões / Trabalhos Futuros**

O capítulo 5 é um apanhado geral das conclusões obtidas durante todas as etapas do trabalho. Nele, analisa-se os resultados dos trabalhos e das pesquisas realizadas, e é verificado se os objetivos do trabalho foram alcançados.

Além disso, este capítulo contém sugestões para trabalhos futuros a serem realizados.

### **1.5 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO**

Este trabalho possui as seguintes limitações principais:

- Por ser o assunto muito vasto, teve-se que escolher um setor industrial com o qual trabalhar. Este setor foi o calçadista gaúcho. Portanto, todas as conclusões alcançadas, todos os resultados conseguidos, são em função do setor calçadista gaúcho, não podendo-se estender estas informações a outros setores ou outros estados.
- O trabalho prático foi realizado em apenas uma empresa do setor, devido a disponibilidade destas empresas e a falta de tempo para realizá-lo em várias indústrias. Assim, não se pode generalizar os resultados do estudo para todas as empresas do setor, tendo em vista que elas podem ser bastante diferentes umas das outras, embora exista uma grande semelhança no processo produtivo destas.

- A pesquisa realizada teve um caráter de divulgação, tentando chamar a atenção das empresas do setor para a técnica de simulação. Portanto, maiores cuidados na pesquisa, como a utilização de técnicas de análise de experimentos, não foram tomados.
- Também os projetos de simulação desenvolvidos não tiveram a preocupação de uma análise estatística mais criteriosa, devido ao caráter de divulgação da técnica. Apesar da preocupação de se repassar à empresa um método correto de se desenvolver um projeto de simulação, deixou-se ao encargo da mesma a realização de uma coleta mais cuidadosa de dados e a análise dos dados de saída do modelo.
- No desenvolvimento de todo o trabalho de modelagem computacional foi utilizado o software denominado Micro Saint. A utilização do mesmo deveu-se ao fato de estar disponível na Universidade onde se realizou o trabalho e de ser um software bastante flexível e de fácil programação.

Tendo-se feito, neste primeiro capítulo, uma introdução sobre o trabalho realizado, apresenta-se, no capítulo seguinte, a revisão bibliográfica sobre o assunto estudado.

## **CAPÍTULO 2**

### **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A revisão bibliográfica enfocará primeiramente a simulação, demonstrando-a como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão. Serão descritos, também, alguns exemplos do uso da mesma em sistemas de manufatura. Após, serão apresentados três métodos de desenvolvimento de um estudo de simulação e as características que devem ser observadas nos softwares a serem utilizados. Por fim, será feito um apanhado do software Micro Saint, que foi utilizado durante o desenvolvimento do estudo.



## 2.1 A SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO

Sabe-se que, nos dias de hoje, o mercado vem se modificando cada vez mais rapidamente. Assim sendo, as empresas precisam modificar seus produtos, seus leiautes, suas máquinas, etc., de maneira cada vez mais eficiente e eficaz. Para tanto, é necessário que se faça um estudo das possíveis modificações a serem feitas na fábrica, para que se tenha uma idéia de como estas modificações irão funcionar. Law e Kelton (1991) sugerem uma estrutura de algumas maneiras de se estudar um sistema (Figura 2.1).

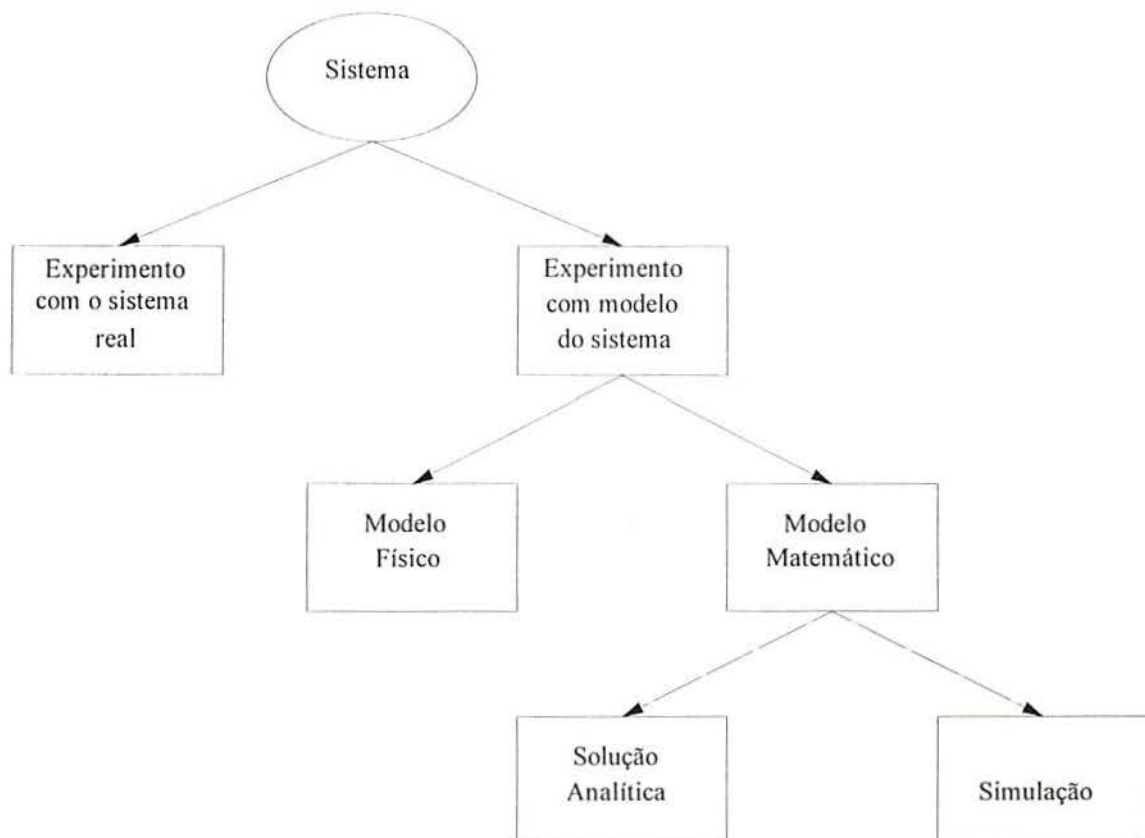


FIGURA 2.1: FORMAS DE ESTUDAR UM SISTEMA (LAW & KELTON, 1991)

Uma maneira de se estudar um sistema é modificar o sistema real atual e verificar como ele se comporta. Os problemas desta abordagem podem ser o tempo e o dinheiro gastos nesta implementação, pois, normalmente, a modificação do sistema real é muito complexa,

gastando-se dinheiro em alterações que poderiam ser visualizadas previamente em modelos que representem o sistema.

Assim sendo, outra maneira é a construção de um modelo que represente o sistema real. Este modelo pode ser físico ou matemático. Modelos físicos são construídos com materiais físicos que representam o sistema real sob condições controláveis, por exemplo: túneis de vento, *cockpits* de simuladores de voo. Porém, nem sempre é possível construir um modelo físico de um sistema, pois estes não são muito genéricos e em alguns casos não conseguem representar uma situação particular, tendo em vista as simplificações que devem ser feitas no modelo para que se possa utilizá-lo.

Os modelos matemáticos são mais genéricos e representam o sistema em termos lógicos e relações quantitativas que são manipulados e modificados para verificar como o modelo reage. Os modelos matemáticos podem ser analisados analiticamente ou por meio de simulação.

As soluções analíticas utilizam técnicas tradicionais de matemática e de estatística para realizar a análise e obter informações exatas sobre o sistema modelado. No entanto, se a complexidade do modelo for grande (por exemplo, modelar o aspecto dinâmico<sup>1</sup> do sistema), torna-se praticamente inviável a utilização das soluções analíticas, pois as relações matemáticas ficam muito extensas e o cálculo das mesmas fica complexo. Neste caso, procura-se utilizar a simulação. Isto porque a simulação consegue modelar as características complexas do sistema, inclusive a estocasticidade e a característica dinâmica, sem tornar o modelo difícil de ser estudado. Por isso, pode-se afirmar que a simulação é uma técnica de “último recurso”, mas que muitas vezes é a única opção disponível para a tomada de decisão [Pidd, 1992].

Uma definição formal para simulação computacional afirma que esta é uma técnica de Pesquisa Operacional que envolve a criação de um programa computacional que representa alguma parte do mundo real de forma que experimentos no modelo são uma antevisão do que

---

<sup>1</sup> Os modelos desenvolvidos podem possuir uma característica dinâmica ou estática. De acordo com Law & Kelton (1991), os modelos estáticos representam o sistema em um instante de tempo particular, sendo que a variável tempo não influencia no modelo. Já os modelos dinâmicos, representam o sistema evoluindo ao longo do tempo.

acontecerá na realidade [Hollocks, 1992], com o objetivo de apoiar decisões nos mais variados campos de conhecimento.

Dessa maneira, o uso da simulação para o estudo de sistemas tem as seguintes vantagens [Law & Kelton, 1991]:

- sistemas complexos que contenham elementos estocásticos que não conseguem ser descritos perfeitamente por modelos matemáticos resolvidos analiticamente, podem ser estudados pela simulação;
- fornece um controle melhor sobre as condições experimentais do que seria possível no sistema real, pois pode-se fazer várias replicações no modelo designando-se os valores que se deseja para todos os parâmetros;
- permite a replicação precisa dos experimentos, podendo-se, assim, testar alternativas diferentes para o sistema;
- permite simular longos períodos em um tempo reduzido;
- é, em geral, mais econômico que testar o sistema real, e evita gastos inúteis na compra de equipamentos desnecessários.

Visando comprovar estas vantagens, Hollocks (1992) realizou uma pesquisa com 65 empresas do Reino Unido que estavam utilizando ou que já haviam utilizado a simulação. Estas empresas responderam quais os principais benefícios de se usar esta técnica. Os benefícios mais citados foram os apresentados na Tabela 2.1:

BENEFÍCIOS	% DAS 65 EMPRESAS
Redução de riscos	80
Melhor entendimento	75
Redução dos custos operacionais	72
Redução do lead time	72
Mudanças mais rápidas da planta	52
Redução dos custos de capital	48

TABELA 2.1: BENEFÍCIOS DA SIMULAÇÃO MAIS CITADOS (HOLLOCKS, 1992)

No entanto, a simulação também tem suas desvantagens [Law & Kelton, 1991]:

- devido a sua natureza estocástica, os modelos de simulação devem ser rodados várias vezes para poder se prever a performance do sistema;
- a simulação é muito dependente da validade do modelo desenvolvido, ou seja, de nada adianta se fazer um estudo detalhado dos dados de saída e se encontrar uma solução para o problema, se o modelo criado não representa fidedignamente o sistema ou se os dados de entrada não são corretos;
- a simulação não é uma técnica otimizante, ela só testa as alternativas dadas pelo usuário.

Tendo-se visto que a utilização da simulação pode trazer muitas vantagens, far-se-á, a seguir, uma explanação sobre a utilização da simulação na manufatura, citando-se alguns exemplos.

## 2.2 SIMULANDO A MANUFATURA

A utilização da simulação em sistemas de manufatura, durante muito tempo, foi restrita, devido à “hesitação dos gerentes em aceitar os resultados da simulação” [Walde, 1991] e à necessidade de grandes recursos computacionais. Porém, hoje em dia, os softwares de simulação básicos rodam no ambiente PC e os programas são bem mais “amigáveis”. Além disso, os simuladores não fornecem mais como resultado apenas grandes listas de dados estatísticos, mas se utilizam também da animação gráfica, o que, muitas vezes, torna os resultados mais fáceis de serem compreendidos.

A simulação pode ser usada de diversas formas nos sistemas de manufatura. Suas características permitem seu uso em várias áreas da empresa com os mais diferentes fins.

A dinamicidade e a complexidade dos sistemas industriais atuais dificultam o uso de técnicas otimizantes. Sabe-se que os sistemas de manufatura não são determinísticos, prejudicando o uso de tais técnicas. Com isso, abre-se um grande campo para o emprego da simulação que, por utilizar ferramentas estocásticas, consegue representar as variações que ocorrem na manufatura.

A simulação pode ser usada como uma ferramenta de suporte a decisões. Ela permite que se façam testes do tipo “*what if*”, ou seja, modifica-se o programa alterando algumas características do modelo e testa-se o que aconteceria se estas modificações fossem feitas no sistema real. Esta capacidade de se testar “o que acontece se”, além de permitir que se visualize os resultados de mudanças no sistema atual, permite também que se antevêja o funcionamento de um projeto novo que pretende-se implementar. Assim, sabendo-se previamente o que acontecerá caso seja realizado o novo projeto, ou caso seja feita a mudança no sistema atual, pode-se evitar gastos inúteis em equipamentos desnecessários ou mudanças desfavoráveis.

Também pode-se utilizar a simulação para verificar-se como o sistema atual está funcionando, onde estão seus principais problemas e o que pode ser melhorado. A partir daí, utiliza-se a técnica “*what if*” e tenta-se resolver as características indesejáveis.

A simulação do sistema atual também permite um entendimento maior de como o sistema funciona, tanto para gerentes como para funcionários de chão-de-fábrica. A participação destes últimos na discussão das melhorias que poderiam ser realizadas no sistema atual, gera um maior comprometimento deles com as modificações a serem feitas.

Uma outra aplicação importante da simulação nos sistemas de manufatura é o treinamento de pessoal. Com o modelo do sistema em mãos, tem-se condições de simular os principais problemas que podem ocorrer no sistema real, e de demonstrar como se deve reagir para resolver e contornar estes problemas. Esta visualização dos problemas e de suas soluções, permite um melhor entendimento e uma maior memorização do que se está explicando.

A seguir, serão apresentados alguns exemplos, citados por vários autores, de utilizações da simulação em sistemas de manufatura que demonstram as vantagens que se pode obter utilizando-se a técnica.

Dois exemplos de projetos que foram modificados depois de serem simulados são citados por Wild e Port (1987). Um exemplo é o projeto do sistema de produção do novo motor Series 60 da General Motors. A simulação mostrou que o sistema de Veículos Guiados Automaticamente (AGV), previamente projetado, não comportaria o alto volume de motores a serem produzidos, e deveria ser reprojetoado. O outro exemplo foi o de uma empresa de consultoria, Northern Research and Engineering Corp., que foi contratada pela Torrington Co. para projetar uma linha de processo para a produção de rolamentos de esferas. Inicialmente, estimava-se que seriam necessárias 77 máquinas ferramentas, porém, após a simulação, viu-se que 4 máquinas não eram necessárias. Assim, a Northern Research and Engineering Corp. fez com que seu cliente poupasse U\$ 750.000,00.

A Exxon [Gordon Graff, 1986] desenvolveu um programa para simular a manufatura, a mistura, a estocagem e as operações de expedição da gasolina, e conseguiu poupar U\$ 1,4 milhões na sua primeira aplicação.

A Draw Tite, Inc., em Canton, Michigan [Gerald Boblitz, 1991], pretendendo reduzir o custo unitário de seus engates para *trailer*, considerou modificar suas células de manufatura em uma linha de produção contínua onde seria necessária a compra de mais uma máquina e todas elas iriam trabalhar dedicadas a uma única operação. Ao simular as modificações a

serem feitas, observou-se que a produção caiu e não se obteve os resultados desejados. Com isso a empresa, gastando U\$ 10.000,00 com a simulação, evitou o gasto de U\$ 80.000,00 na aquisição de uma nova máquina.

John Dwyer e Steve Korwin (1990), ambos da Honeywell Inc., mostram que a simulação é usada na Honeywell como uma ferramenta flexível que traz benefícios a muitas atividades relacionadas com a manufatura. A simulação é utilizada na empresa para: arranjo dos equipamentos de escritório (ex.: quantidade de estações de CAD necessárias), análise dos processos de montagem para melhoria da produção, análise dos equipamentos de fabricação para redução de *setup*, análise de leiaute e análise da movimentação de materiais.

Outro exemplo da utilização da simulação é o caso da Universal Data Systems, de Huntsville, Alabama [Wilbanks, Stafford e Schroer, 1990], que, como resultado do aumento de suas vendas, percebeu alguns sintomas que indicavam problemas potenciais nos seus métodos atuais de gerenciamento da movimentação dos materiais. Eles pretendiam alterar seu sistema de lotes de transferência para um sistema onde os itens eram levados para a operação seguinte logo que estivessem prontos. Para ver a viabilidade destas modificações, a empresa simulou o novo sistema e verificou os resultados.

Nos exemplos citados, não foram mencionados problemas com a simulação dos modelos. Entretanto, para se conseguir resultados satisfatórios na simulação de sistemas de manufatura, é necessário que se desenvolva um modelo confiável e que represente fielmente o sistema em estudo. Para isto ocorrer, é preciso que se siga algumas etapas para o desenvolvimento do modelo de simulação.

## 2.3 MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE SIMULAÇÃO PARA MANUFATURA

Para que um projeto de simulação tenha sucesso, é necessário que alguns cuidados sejam tomados. Law e McComas (1990) identificaram 8 elementos fundamentais para o sucesso de um projeto. Eles foram divididos por Rodrigues (1994) em três classes e são apresentados a seguir:

### Técnicos:

- conhecimento sobre método de simulação, modelos estocásticos de Pesquisa Operacional, teoria de probabilidade e estatística;
- modelar a aleatoriedade do sistema de maneira razoável;
- escolher o software de simulação apropriado e utilizá-lo corretamente;
- usar procedimentos estatísticos apropriados para interpretar os dados de saída da simulação.

### Gerenciais:

- formular corretamente o problema;
- empregar boas técnicas de gerenciamento de projetos.

### Precisão dos Dados:

- obter boa informação nos procedimentos de operação do sistema e lógica de controle;
- estabelecer a validade e a credibilidade do modelo.



A precisão dos dados é crucial para qualquer técnica e uma atenção especial deve ser dada a estes elementos, pois não interessa quão bem as outras duas classes de elementos sejam realizadas, sem a precisão dos dados a simulação é inútil [Rodrigues, 1994].

Os elementos técnicos podem ser obtidos adotando-se um pacote de simulação para manufatura apropriado, que faça toda a parte técnica, a geração dos números randômicos, a análise estatística, o cálculo do período de *warm up*<sup>2</sup>, etc [Rodrigues, 1994].

No entanto, os elementos gerenciais podem fazer a diferença entre um projeto com e sem sucesso. É fundamental que se formule o problema de forma correta. Por este motivo, é necessário que se tenha um método para ser seguido no estudo de simulação. A seguir serão analisados alguns métodos propostos pelos seguintes autores: Law & Kelton, Gogg & Mott, Pritsker.

Law e Kelton (1991) desenvolveram uma estrutura para gerenciar as diferentes etapas do estudo. Esta estrutura é apresentada na Figura 2.2, juntamente com uma pequena explicação de cada etapa:

1. *Formulação do problema e planejamento do estudo*: todo estudo precisa começar com o estabelecimento claro de seus objetivos principais e dos pontos específicos a serem verificados. Nesta etapa também são definidas as alternativas a serem testadas e quais os critérios a serem analisados.
2. *Coleta de dados e formulação do modelo*: as informações e os dados do sistema de interesse devem ser coletados e usados para especificar os procedimentos operacionais e as distribuições de probabilidade para as variáveis randômicas usadas no modelo.

---

<sup>2</sup> O período de *warm up* é o intervalo de tempo necessário, a partir do início da simulação, para que os parâmetros estejam em condições apropriadas para a simulação e obtenção de dados de saída confiáveis.

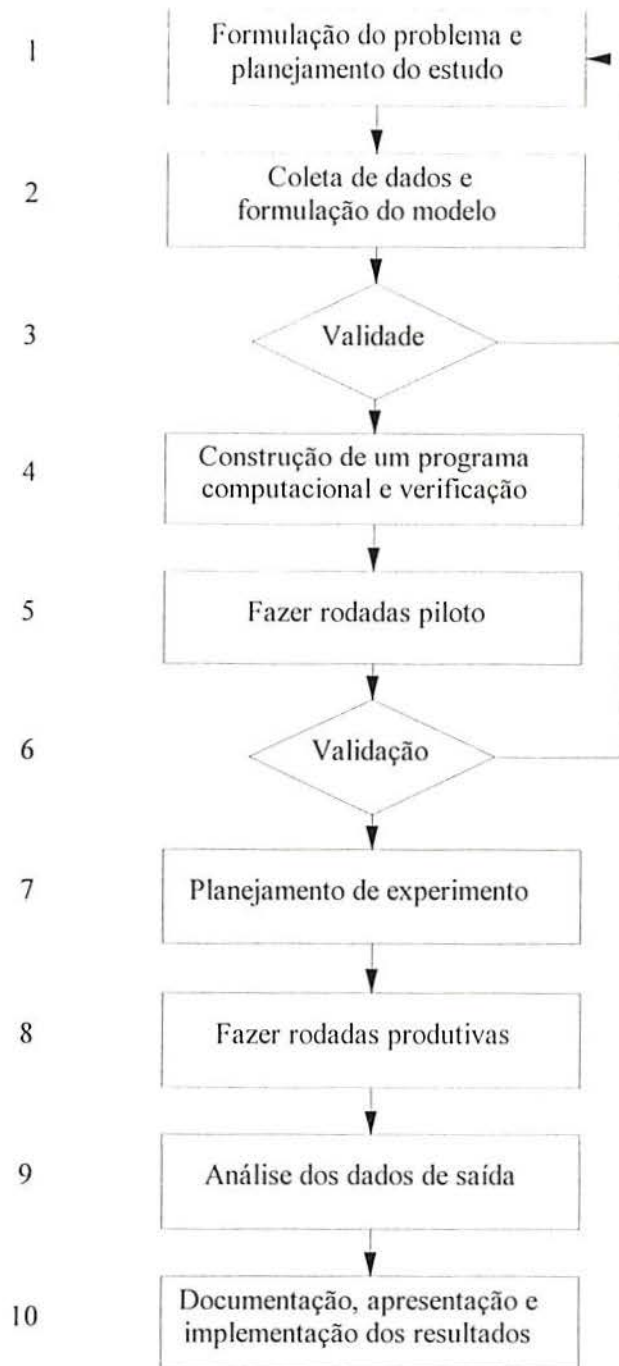


FIGURA 2.2: PASSOS EM UM ESTUDO DE SIMULAÇÃO (LAW & KELTON, 1991)

3. *Validade*: nesta etapa, é necessário que o modelista interaja com o pessoal que conhece o processo intimamente, para que consiga verificar se seu modelo é válido.

4. *Construção de um programa computacional e verificação*: nesta etapa, deve-se transformar o modelo teórico em um programa computacional. A escolha do software de simulação depende das características que se deseja do software, o que será discutido na próxima seção. Depois do programa pronto, deve-se verificá-lo usando técnicas de verificação. Law & Kelton (1991) sugerem algumas técnicas:

- rodar o programa com vários valores diferentes dos parâmetros de entrada e verificar se os dados de saída são razoáveis;

- fazer um *trace*, ou seja, avaliar a lista de eventos e o estado das variáveis sempre que um evento ocorrer;

- rodar o modelo com parâmetros simples, de modo que o seu desempenho já seja conhecido na realidade, ou seja fácil de ser calculado.

5. *Fazer rodadas piloto*: depois da verificação do programa, deve-se fazer rodadas piloto para que o mesmo possa ser validado.

6. *Validação*: a etapa de validação serve para verificar se as rodadas piloto têm como saída informações que refletem o sistema real. Caso contrário, existe algum erro na modelagem ou nos dados utilizados.

7. *Planejamento de experimento*: como a simulação tem uma natureza estocástica, ela apenas estima o comportamento do sistema para determinados parâmetros. Por isso é necessário que se planeje o experimento, definindo:

- a duração do período de *warm up*;

- as condições iniciais da simulação;

- a duração de cada rodada de simulação;

- o número de replicações;
- os cenários a serem simulados.

8. *Fazer rodadas produtivas*: considerando os parâmetros estabelecidos na etapa anterior, faz-se as rodadas para a coleta dos dados do sistema de interesse.
9. *Análise dos dados de saída*: técnicas estatísticas são utilizadas para analisar os dados de saída. Em muitos casos, onde tem-se cenários alternativos, escolhe-se a melhor opção. Law & Kelton (1991) sugerem que sejam utilizados intervalos de confiança para determinar a precisão estatística dos resultados, bem como o uso de saídas gráficas, como histogramas e gráficos de barra.
10. *Documentação, apresentação e implementação dos resultados*: como os projetos de simulação podem ser repetidos, é necessário se documentar todo o processo a fim de ser usado novamente no futuro. Law & Kelton (1991) afirmam que para um estudo ser um sucesso, é preciso que o projeto seja apresentado e implementado.

Outro método para a realização de um projeto de simulação é apresentado por Gogg & Mott (1992), e possui as etapas apresentadas na Figura 2.3.

1. *Formular e Analisar o Problema*: nesta fase é definido o problema. Deve-se saber onde se está e onde se pretende chegar com o projeto proposto, tendo em mente, portanto, os objetivos do estudo, os critérios de avaliação da performance, os pressupostos que serão utilizados, os parâmetros de entrada, as limitações dos resultados e os recursos que serão necessários.

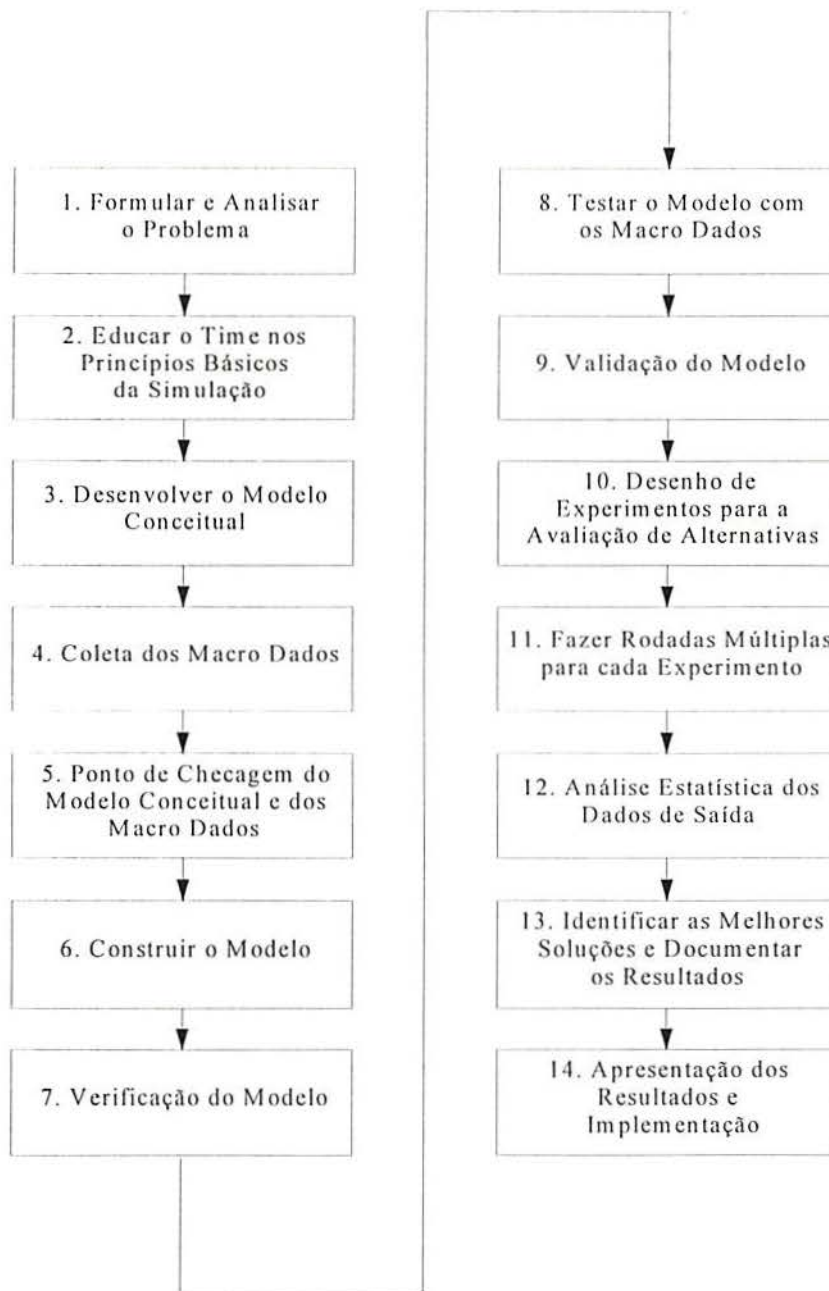


FIGURA 2.3: ETAPAS PARA CONSTRUÇÃO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO (GOGG & MOTT, 1992)

2. *Educar o Time nos Princípios Básicos da Simulação*: as pessoas envolvidas no projeto de simulação, desde o programador até o usuário do chão-de-fábrica, devem ter um conhecimento básico sobre o que é simulação, por quê esta é necessária, como funciona, e como cada funcionário é responsável pelo sucesso global do projeto de simulação.

3. *Desenvolver o Modelo Conceptual*: no processo de modelagem é necessário que se procure definir a que nível de detalhe será feito o modelo, como serão apresentados os resultados das simulações, quanto tempo será utilizado para a criação de animação gráfica, se o modelo terá que ser rodado com um tempo de *warm up* ou não.
4. *Coleta dos Macro Dados*: macro dados são fatos, informações e estatísticas fundamentais que são obtidas por análises históricas, experiências ou por cálculos. Estes dados não se preocupam com as minúcias do modelo, mas sim, procuram dar uma base para a definição dos parâmetros de entrada do modelo e apontar os parâmetros que necessitam de dados mais detalhados (micro dados).
5. *Ponto de Checagem do Modelo Conceptual e dos Macro Dados*: o objetivo desta etapa não é adicionar detalhes ao modelo. Sua intenção é esclarecer as discordâncias existentes nos macro dados e no modelo conceptual. Para isto é feita uma reunião com todos os envolvidos no projeto (gerentes, tomadores de decisões, engenheiros, fornecedores dos dados, programadores), fazendo com que uma visão global do problema permita a descoberta mais rápida de possíveis falhas.
6. *Construir o Modelo*: o programador que irá construir o modelo deve ser uma pessoa que tenha um bom conhecimento sobre os princípios fundamentais da simulação, um treinamento adequado e experiência com o pacote de simulação a ser utilizado, e uma boa capacidade de comunicação, para que possa se relacionar bem com as pessoas que lhe darão as informações e os dados do sistema a ser simulado.
7. *Verificação do Modelo*: o principal objetivo da verificação é de certificar que o modelo esteja rodando adequadamente tanto a nível funcional quanto computacional. Deve-se

verificar se as equações e as instruções contidas no modelo estão funcionando da maneira desejada e se as informações geradas pelo modelo satisfazem os objetivos do estudo.

8. *Testar o Modelo com os Macro Dados*: o principal objetivo de testar o modelo com os macro dados é determinar os parâmetros de entrada e os pressupostos que exercem uma maior influência nos critérios de performance. Para estes fatores, dados mais detalhados deverão ser coletados com o objetivo de melhorar a capacidade do modelo de emular as características operacionais do sistema estudado.
9. *Validação do Modelo*: o objetivo da validação do modelo é de verificar a capacidade do modelo de responder, de uma maneira consistente com o sistema real, aos critérios de performance estabelecidos. A validação define a credibilidade do modelo, permitindo que os gerentes e os tomadores de decisão tenham confiança nos resultados produzidos por ele.
10. *Desenho de Experimentos para a Avaliação de Alternativas*: como a simulação não calcula a melhor solução para um problema, mas simplesmente testa as alternativas e informa o seu desempenho, é necessário que se tenha uma forma de se testar cada uma das alternativas com o mesmo grau de variabilidade. Assim, usa-se o desenho de experimentos para verificar quais os fatores que mais influenciam nos resultados finais da simulação, permitindo que se encontre a melhor solução para o sistema, além de calcular o número de replicações necessários para cada modelo, buscando se alcançar o grau de confiabilidade desejado.
11. *Fazer Rodadas Múltiplas para cada Experimento*: replicações no modelo são sempre necessárias quando dados estocásticos estão envolvidos. Portanto, é necessário que se façam replicações para cada uma das alternativas a serem testadas, considerando, também, os períodos de *warm up* do sistema.

12. *Análise Estatística dos Dados de Saída*: como a simulação envolve dados estocásticos, é necessário que se faça uma análise estatística dos resultados. Caso contrário, será difícil definir qual das alternativas simuladas é a melhor, tendo em vista que não é somente a média dos resultados que deve ser considerada, mas também a sua variância.
13. *Identificar as Melhores Soluções e Documentar os Resultados*: a documentação final do projeto deve conter os objetivos e pressupostos, os parâmetros de entrada do modelo, o desenho de experimentos, os resultados, e as conclusões.
14. *Apresentação dos Resultados e Implementação*: a apresentação dos resultados de um estudo de simulação deve ser feita em grupo. Os resultados do projeto refletem o esforço coletivo dos indivíduos responsáveis pelos muitos aspectos do projeto. Além da apresentação, deve ser feita a implementação das mudanças propostas pelo projeto de simulação, e um acompanhamento destas mudanças para verificar se elas realmente surtiram o efeito desejado.

Já Pritsker (1990), considera o processo de modelagem de um projeto de simulação mais iterativo que os demais autores. Percebe-se que as etapas sugeridas por ele são bem mais relacionadas, contendo várias realimentações e etapas que são um conjunto de tarefas sendo realizadas simultaneamente. Isto está demonstrado na Figura 2.4.

1. *Formular o Problema*: o primeiro passo no processo de resolução de um problema é formulá-lo de forma a entender o seu contexto, identificar os objetivos do projeto, especificar as medidas de performance do sistema, definir objetivos específicos da modelagem e definir o sistema a ser modelado. Esta etapa é muito importante, pois evita gastos desnecessários na resolução de problemas errados ou no desenvolvimento de modelos que não serão utilizados.



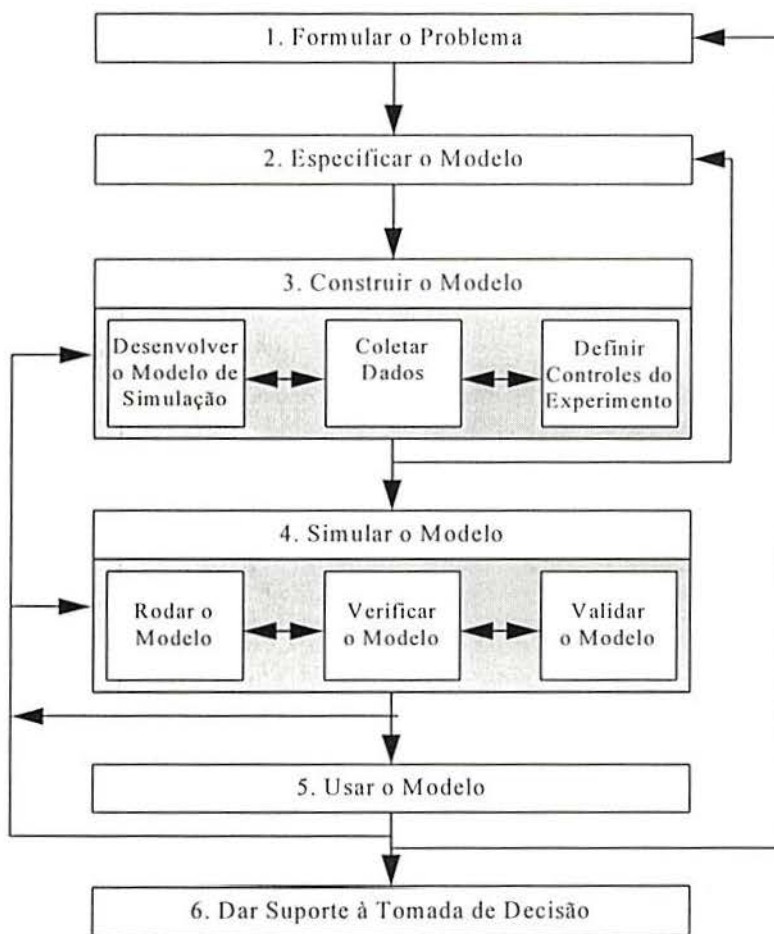


FIGURA 2.4: PROCESSO DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO (PRITSKER, 1990)

2. *Especificar o Modelo*: neste passo são identificados os dados necessários para o modelo. Criando-se um modelo em termos dos elementos estruturais do sistema e do fluxo dos produtos no mesmo, pode-se projetar a necessidade de detalhamento dos dados, estabelecendo os roteiros, algoritmos e controles exigidos pelo modelo. Desta forma, é possível se criar um modelo fácil de ser compreendido e que apresente de forma detalhada e realística as características do sistema.

3. *Construir o Modelo*: a etapa de construção do modelo consiste em três sub-etapas interativas:

Desenvolver o Modelo de Simulação: a construção de um modelo deve ser interativa e gráfica, pois o modelo não é somente definido e desenvolvido, mas sim continuamente redefinido, atualizado, modificado e estendido.

Coletar Dados: a coleta de dados envolve a realização de estudos de tempo detalhados, a obtenção de informações do fabricante de equipamentos, e conversa com operadores do sistema. Dados históricos do sistema também são coletados, sempre que possível, para ajudar a validar os dados de saída do modelo.

Definir Controles do Experimento: ao definir os controles do experimento, as seguintes informações são especificadas:

- título do projeto e identificação do modelista;
- informações de controle como tempo de início e de fim da rodada e o número de rodadas;
- tipos de relatório e frequência desejada;
- variáveis de estado onde a performance é desejada e a forma como esta performance será relatada, como gráficos, tabelas, histogramas;
- valores iniciais das variáveis de estado e localização inicial das entidades no modelo;
- procedimentos para estimativas estatísticas dos períodos de *warm up* e da variância, métodos para os cálculos dos intervalos de confiança, e técnicas para redução de variância;
- arquivos e base de dados onde estão os dados de entrada e onde serão armazenados os dados de saída.

Estas três sub-etapas são realizadas simultaneamente, tendo em vista que a mudança de alguma informação em uma das três afeta diretamente as demais.

4. *Simular o Modelo*: a etapa de simular o modelo necessita que a etapa de construir o modelo esteja completa. Esta etapa consiste de três sub-etapas que são realizadas simultaneamente:

Rodar o Modelo: nesta etapa o modelo é rodado, auxiliando sua verificação e sua validação.

Verificar o Modelo: antes do modelo poder ser utilizado como apoio à tomada de decisões, deve-se ter certeza que o mesmo está rodando de acordo com suas especificações. Assim, deve-se fazer a verificação do modelo, que é o processo de determinar se a rodada de simulação está sendo executada da forma desejada.

Validar o Modelo: validação é o processo de determinar se o modelo de simulação é uma boa representação do sistema real. Esta etapa normalmente envolve o exame dos dados de entrada, dos elementos do modelo, dos subsistemas e dos pontos de interface.

A realimentação da etapa de simular o modelo para a etapa de construir o modelo ocorre freqüentemente. Isto porque qualquer problema que ocorra durante a simulação, que tenha relação com a construção do modelo, deve ser avaliado e corrigido.

5. *Usar o Modelo*: o uso do modelo envolve a execução de rodadas e a interpretação e apresentação dos dados de saída. Quando os resultados de uma simulação são usados para se fazer inferências ou para se testar hipóteses, métodos estatísticos devem ser utilizados. Depois da etapa de usar o modelo estar completa, pode haver a necessidade de se voltar para a etapa de simulação do modelo, ou para a etapa de construção do modelo, ou até mesmo, para a etapa de formulação do problema.

6. *Dar Suporte à Tomada de Decisão*: nenhum projeto de simulação deve ser considerado completo até que seus resultados sejam utilizados em uma tomada de decisão. O sucesso nesta etapa é muito dependente do grau de sucesso alcançado pelo modelista nas demais etapas.

Analisando-se os três métodos apresentados por estes autores, percebe-se que existem alguns passos, que poderiam ser considerados primordiais, que estão presentes em todos eles. Assim, utilizando estas etapas, pode-se estabelecer uma “espinha dorsal” para a elaboração de um projeto de simulação:

- Formulação do Problema;
- Definição de um Modelo Conceptual;
- Desenho de Experimentos;
- Coleta de Dados;
- Construção do Modelo;
- Verificação do Modelo;
- Validação do Modelo;
- Uso do Modelo;
- Análise dos Dados de Saída;
- Apresentação dos Resultados e Implementação.

Os autores podem utilizar outras nomenclaturas para cada etapa, ou podem desmembrar algumas etapas em mais de uma, porém os principais passos para a realização do projeto de simulação estão na “espinha dorsal” apresentada acima.

No entanto, percebe-se que a etapa de desenho de experimentos não está presente no método apresentado por Pritsker. Além disto, Gogg & Mott e Law & Kelton apresentam esta etapa apenas após a etapa de validação do modelo e antes da execução das rodadas produtivas. Acredita-se que esta etapa deveria ser realizada antes mesmo da coleta de dados e da construção do modelo, pois análises das principais variáveis envolvidas no sistema bem como dos principais cenários a serem considerados, poderiam auxiliar estas etapas.

As etapas apresentadas como sendo a “espinha dorsal” de um método de desenvolvimento de um projeto de simulação não precisam estar necessariamente presentes

em todos os projetos desenvolvidos. Cada projeto possui suas características peculiares e, sendo assim, algumas etapas podem ser desconsideradas ou realizadas em uma ordem diferente da apresentada.

O método proposto para a realização dos projetos no estudo de caso tem como base a “espinha dorsal” apresentada. As etapas foram adaptadas e algumas delas foram desconsideradas. No capítulo 4 (Estudo de Caso) o método utilizado é apresentado com maiores detalhes.

Apesar dos autores apresentarem métodos muito parecidos, a relevância dada a alguma das etapas ou a algum dos pressupostos existentes em cada uma das etapas, pode variar de autor para autor. A esse respeito percebe-se o seguinte:

- Law & Kelton se preocupam mais com a coleta de dados e com a definição do modelo, tendo em vista que as realimentações existentes no seu método de trabalho saem dos pontos de validação e vão direto para a etapa de definição e coleta de dados.
- Pritsker, como pode ser visto no fluxograma de seu método, se preocupa principalmente com a iteração existente entre as diversas etapas do processo, realçando a simultaneidade das tarefas e a interdependência dos passos a serem realizados, demonstrado pelo número de realimentações existentes no seu modelo.
- Os autores Gogg & Mott se preocupam mais com a educação e o treinamento das pessoas que participarão do projeto, bem como com a relação existente entre os integrantes do grupo de trabalho.

Gogg & Mott, além de apresentarem o método para o desenvolvimento de um estudo de simulação, apresentam ainda um gráfico da evolução dos tempos para este desenvolvimento. Segundo os autores, com a evolução dos produtos e linguagens de simulação encontrados no mercado hoje em dia, a dificuldade de programação na construção de um modelo de simulação foi bastante reduzida, diminuindo o tempo necessário para a construção do modelo a ser simulado. Assim sendo, pode-se perceber nas Figuras 2.5 e 2.6, que a etapa de construção do modelo teve uma queda de 50 % para 20 % do tempo total gasto

em um projeto de simulação, permitindo com que se despendesse mais tempo na simulação do modelo.

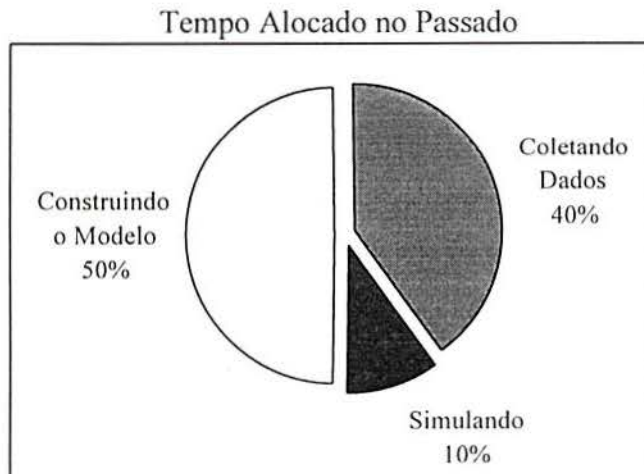


FIGURA 2.5: TEMPO ALOCADO NO PASSADO PARA COLETAR DADOS, CONSTRUIR E SIMULAR O MODELO (GOGG & MOTT, 1992)

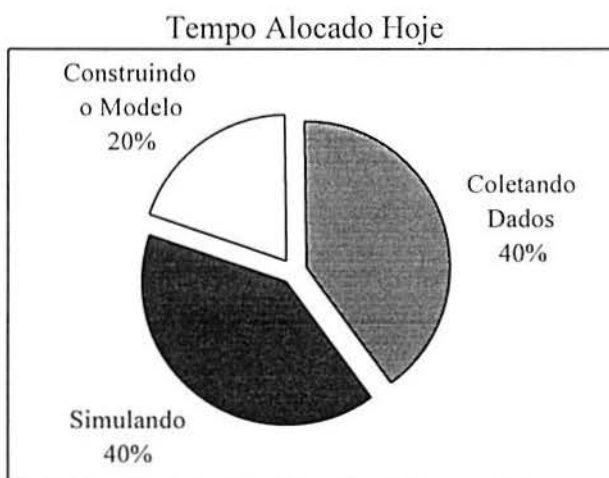


FIGURA 2.6: TEMPO ALOCADO HOJE PARA COLETAR DADOS, CONSTRUIR E SIMULAR O MODELO (GOGG & MOTT, 1992)

Independente do método que se vá utilizar para realizar o projeto de simulação, um dos pontos principais para que a construção do modelo tenha sucesso é a escolha do software de simulação. Esta escolha deve ser bem feita, tendo em vista que Law e McComas (1990) consideram a escolha do software apropriado como sendo um dos 8 elementos fundamentais para o sucesso de um projeto de simulação.

## **2.4 CARACTERÍSTICAS DOS SOFTWARES DE SIMULAÇÃO PARA SISTEMAS DE MANUFATURA**

Os softwares de simulação estão sendo desenvolvidos e aperfeiçoados cada vez mais rapidamente. De acordo com Law & McComas (1992), existem duas grandes classes de softwares de simulação: a linguagem de simulação e o simulador de manufaturas.

Na linguagem de simulação, um modelo é desenvolvido escrevendo-se um programa usando modelos construtivos da linguagem, como entidades, atributos, recursos e filas. A grande vantagem das linguagens é a capacidade de modelar quase todos os tipos de sistemas de manufatura. As suas desvantagens, se comparadas com alguns simuladores, são a necessidade de um programador experiente e possivelmente o grande período de tempo gasto para codificar e depurar o programa, que é proporcional à complexidade do sistema de manufatura. Exemplos de linguagens de simulação são: GPSS, MODSIM II, SIMAN/Cinema IV, SLAMSYSTEM.

Nos simuladores de manufaturas, os sistemas a serem simulados não precisam ser programados. Os modelos são gerados por meio de fluxogramas de tarefas ou escolhendo-se os itens desejados em menus já existentes no programa. A grande vantagem dos simuladores de manufatura é que o tempo de programação necessário é bem menor que o tempo necessário para uma linguagem de simulação. Outra vantagem é a maior facilidade de utilização por parte de um leigo em programação. A maior desvantagem dos simuladores básicos é a sua

limitação em modelar outras configurações de manufaturas. Exemplos de simuladores são: FACTOR/AIM, Micro Saint, ProModelPC, WITNESS, SIMFACTORY.

Portanto, a escolha de um software de simulação deve iniciar com a decisão de que tipo de software se deseja, um simulador de manufatura ou uma linguagem de simulação. Deve-se escolher um software que possua as características necessárias para poder-se simular o sistema do qual se está interessado. As principais características a serem consideradas são [Law & McComas, 1992]:

- *Quantidade de memória disponível*: os softwares podem utilizar somente a memória baixa (640 Kb) ou a memória alta (limite de memória RAM do hardware) do computador. Se o software utilizar somente a memória baixa, o modelo a ser simulado não pode ser complexo, devido ao pouco espaço de memória disponível;
- *Flexibilidade*: esta característica diz respeito à capacidade do software de modelar diferentes sistemas;
- *Facilidade de programação*: alguns softwares necessitam de um programador experiente para serem utilizados enquanto que outros permitem que um leigo, em poucos instantes, consiga utilizá-lo;
- *Tratamento estatístico*: como quase todos os sistemas de manufatura exibem algum tipo de comportamento randômico, um pacote de simulação precisa ter capacidades estatísticas;
- *Portabilidade computacional*: é desejável que um software seja capaz de ser rodado em computadores de menor porte como PC's;



- *Dados de saída*: os dados de saída devem ser claros e parametrizáveis, preferencialmente com a opção de saídas gráficas;
- *Utilização de dados externos*: é interessante que o software tenha uma interface para a aquisição de dados de outros programas;
- *Velocidade na execução do modelo*: o software deve ser o mais rápido possível na execução do modelo, para que o modelo possa ser simulado frequentemente;
- *Animação gráfica*: a animação gráfica ajuda na verificação e na validação dos modelos, facilita a apresentação do modelo a pessoas menos técnicas, ajuda no entendimento do comportamento dinâmico do sistema, ajuda no treinamento de pessoal.

Ao se fazer a escolha das características desejadas do software, deve-se prestar atenção, pois algumas delas estão relacionadas, existindo um aparente *trade-off* entre elas. Por exemplo:

- quanto mais flexível o software, maior a dificuldade de programá-lo, pois em softwares mais específicos, várias funções já estão previamente programadas, facilitando a modelagem de sistemas indicados para aquele software. Este *trade-off* vem sendo eliminado pelos novos programas, que utilizam bibliotecas de funções já prontas, mas que permitem também a criação de novas funções por parte do usuário;

- quanto mais animação gráfica o software utiliza, mais lenta se torna a execução do modelo.

Portanto, percebe-se que a seleção de um software de simulação é uma tarefa nada fácil. Existem ainda mais dois elementos para dificultar a escolha do software: a grande oferta de softwares alternativos e sua diferenciação de preços (de US\$500 a US\$80.000). Na maioria

das casos, o preço do software varia de acordo com sua qualidade e os recursos que possui. No entanto, deve-se procurar utilizar o software que tenha somente os recursos necessários para o projeto a ser desenvolvido, evitando gastos na aquisição de um pacote que vá ser sub-utilizado.

O Micro Saint foi o software escolhido para ser utilizado no trabalho realizado neste estudo, em virtude de seu desempenho com relação ao *trade-off* de flexibilidade e especialização do programador, e pelo custo de aquisição do mesmo.

## 2.5 MICRO SAINT

O Micro Saint é a versão para microcomputadores do SAINT (System Analysis of Integrated Networks of Tasks), programa desenvolvido nos anos 70 pela Pritsker & Associates Inc. para o Laboratório de Pesquisas Médicas Aeroespaciais da Força Aérea dos Estados Unidos. O objetivo do Micro Saint foi de tornar o SAINT mais fácil de ser aprendido e usado [Farrell, 1995].

O Micro Saint é um programa de simulação que usa fluxograma de tarefas, ou seja, as tarefas são definidas juntamente com suas variáveis, sendo então associadas na seqüência em que serão realizadas. Ao se rodar o programa, este gera uma animação simbólica das tarefas realizadas, facilitando a verificação dos inter-relacionamentos dos elementos do sistema modelado de uma forma dinâmica, o que contribui para a detecção de erros lógicos. Além desta animação simbólica, o Micro Saint possui um módulo de animação gráfica chamado ActionView, que gera ícones que se mexem sobre uma figura de fundo e que estão associados com itens que se movimentam através da rede de tarefas.

O fluxograma de tarefas é composto por alguns elementos básicos que são: as tarefas, as filas e os nodos de decisão. Eles podem ser visualizados na Figura 2.7. A seguir dar-se-á uma pequena explicação de cada um destes elementos.

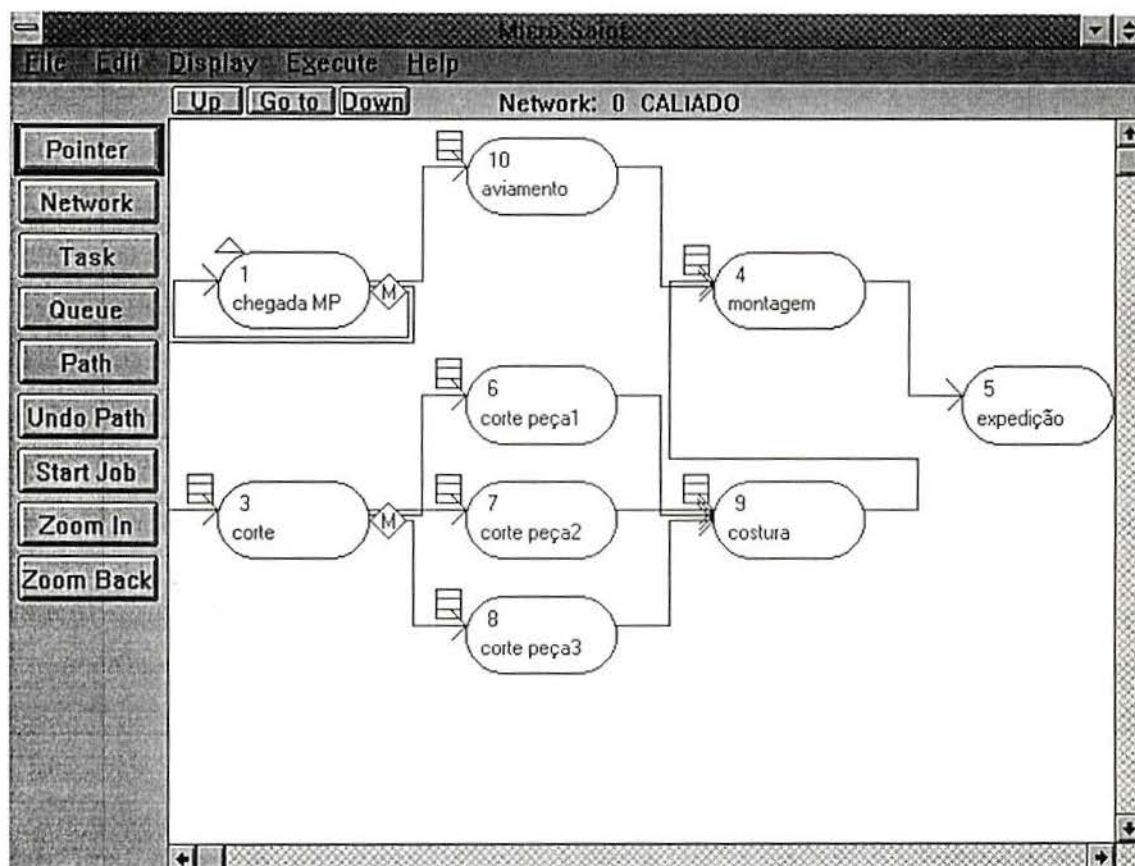


FIGURA 2.7: EXEMPLO DE UM MODELO CRIADO NO MICRO SAINT

### 2.5.1 Elementos Básicos

Os elementos básicos do fluxograma de tarefas, como por ser visto na Figura 2.7, são representados por:

- figura ovalada: *task*
- retângulo à frente da *task*: fila
- losango: nodo de decisão

## A) *Task* ou Tarefa

As *tasks* são os elementos primordiais do modelo. São elas que informam o que acontecerá quando cada tarefa será realizada. Para isso, cada *task* possui uma janela de diálogo (Figura 2.8) para que os detalhes da tarefa sejam informados.

As informações necessárias são as seguintes:

- **Informações sobre o Tempo da Tarefa:** o tempo de execução de cada tarefa é uma variável aleatória definida por uma distribuição probabilística. O Micro Saint possui uma biblioteca de 14 distribuições, além de novas funções que podem ser definidas pelo usuário e adicionadas à biblioteca. Define-se a distribuição desejada e coloca-se os parâmetros necessários nos espaços de média (*mean time*) e de desvio-padrão (*standard deviation*).
- **Release Condition (condição de liberação):** neste espaço coloca-se um teste lógico no formato de uma expressão matemática a qual deve ser verdadeira para que a tarefa possa ser realizada. Por exemplo: é preciso haver um operário disponível para que uma peça seja realizada, então a condição é que  $OPERADORES\_LIVRES \geq 1$ .
- **Beginning Effect (efeitos de início da tarefa):** neste campo coloca-se todos os acontecimentos que ocorrerão no instante em que a tarefa for iniciada. Por exemplo: ao se iniciar a tarefa, um operador que estava disponível ficará ocupado, ou seja,  $OPERADORES\_LIVRES := OPERADORES\_LIVRES - 1$ .
- **Ending Effect (efeitos de fim da tarefa):** este campo é utilizado para relatar o que acontecerá no final da tarefa. Exemplo: ao terminar a tarefa o operador ficará disponível para realizar outra tarefa, ou seja,  $OPERADOR\_LIVRE := OPERADOR\_LIVRE + 1$ .
- **Launch Effect (efeitos de lançamento):** este campo se refere principalmente ao uso do ActionView, sendo colocados ali os comandos para movimentação dos ícones da animação gráfica e para o cálculo da duração da tarefa.

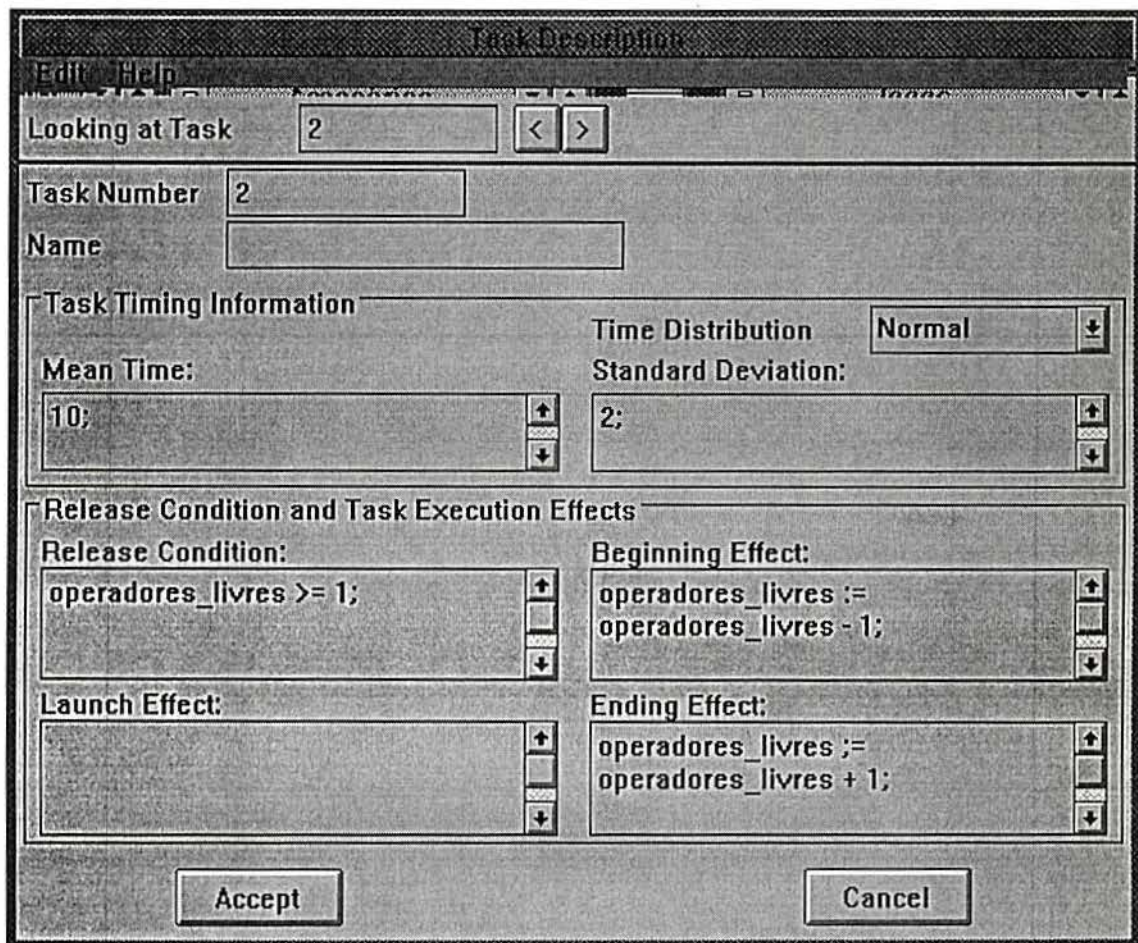


FIGURA 2.8: JANELA DE DIÁLOGO DA TASK

## B) *Queue* ou Fila

O estudo do comportamento das filas é muito importante para se definir o cenário em que se trabalhará. Por esse motivo, filas podem ser colocadas na frente de cada uma das tarefas a serem executadas, permitindo que se monitore os seus comportamentos. As filas são definidas de acordo com as informações inseridas na janela de diálogo destas (Figura 2.9).

As definições dadas para a fila são as seguintes:

- **Sorting Order (ordem de escolha):** diz respeito à forma que serão tratados os itens que chegarem à fila. Esta ordem pode ser FIFO (primeiro que chega é o primeiro que sai), LIFO (primeiro que chega é o último que sai), ou ordenado (de acordo com a expressão utilizada no campo *priority* (prioridade)).

- **Entering Effect (efeito de entrada na fila):** este campo é utilizado para definir o que acontece quando um item entra na fila. Por exemplo: quando um item entra na fila, esta cresce de uma unidade, ou seja,  $FILA := FILA + 1$ .

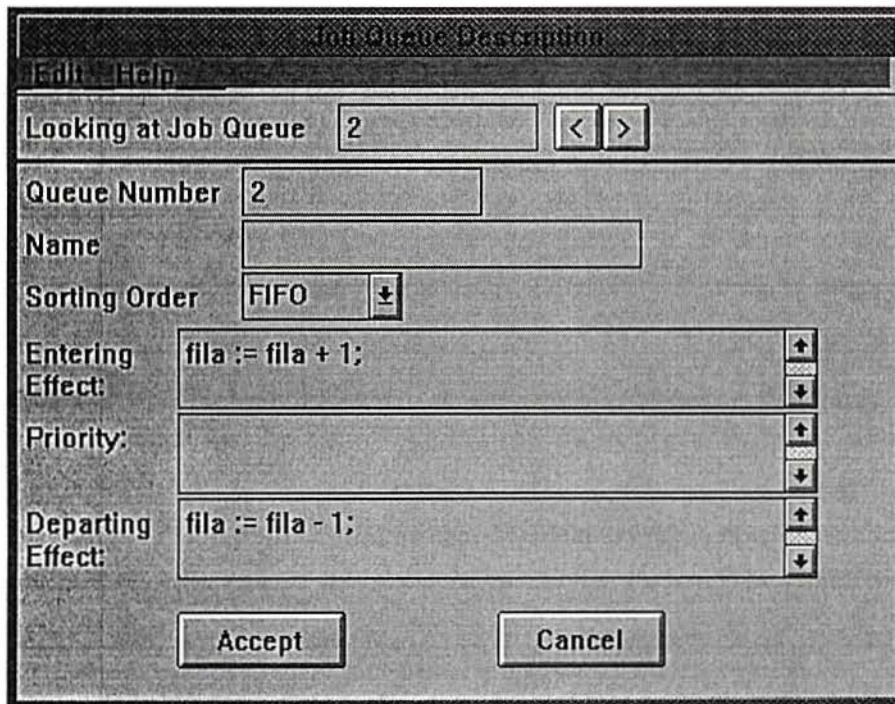


FIGURA 2.9: JANELA DE DIÁLOGO DA FILA

- **Priority (prioridade):** este campo está relacionado com a ordem de escolha do tipo ordenado. Sempre que se define que a escolha será ordenada, deve-se informar qual será a prioridade de escolha dos itens.
- **Departing Effect (efeito de saída da fila):** este espaço é utilizado para informar o que acontecerá quando um item sair da fila. Por exemplo: quando um item sair da fila, esta será diminuída de uma unidade, ou seja,  $FILA := FILA - 1$ .

### C) Nodo de Decisão

Sempre que um item, ao sair de uma tarefa, puder se deslocar para mais de uma tarefa subsequente, haverá ali um nodo de decisão (evidenciado pelo losango da Figura 2.10), para que o programa possa definir para onde o item se deslocará.

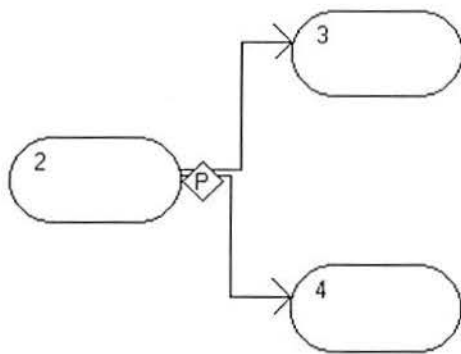


FIGURA 2.10: NODO DE DECISÃO

Para se definir o nodo de decisão, utiliza-se os seguintes campos na janela de diálogo (Figura 2.11):

- **Routing Condition (Condição de Execução):** neste campo, cada tarefa que pode ser executada em seguida recebe uma condição para que ela seja selecionada;
- **Decision Type (Tipo de Decisão):** os nodos podem ser de três tipos:
  - Probabilístico: as tarefas seguintes são executadas de acordo com a probabilidade de ocorrência definida para cada tarefa na *routing condition*. Apenas uma tarefa é escolhida de cada vez;
  - Múltiplo: todas as tarefas seguintes são executadas, desde que atendam as condições de execução;
  - Tático: a tarefa a ser executada é aquela que possuir o maior valor na sua condição de execução.

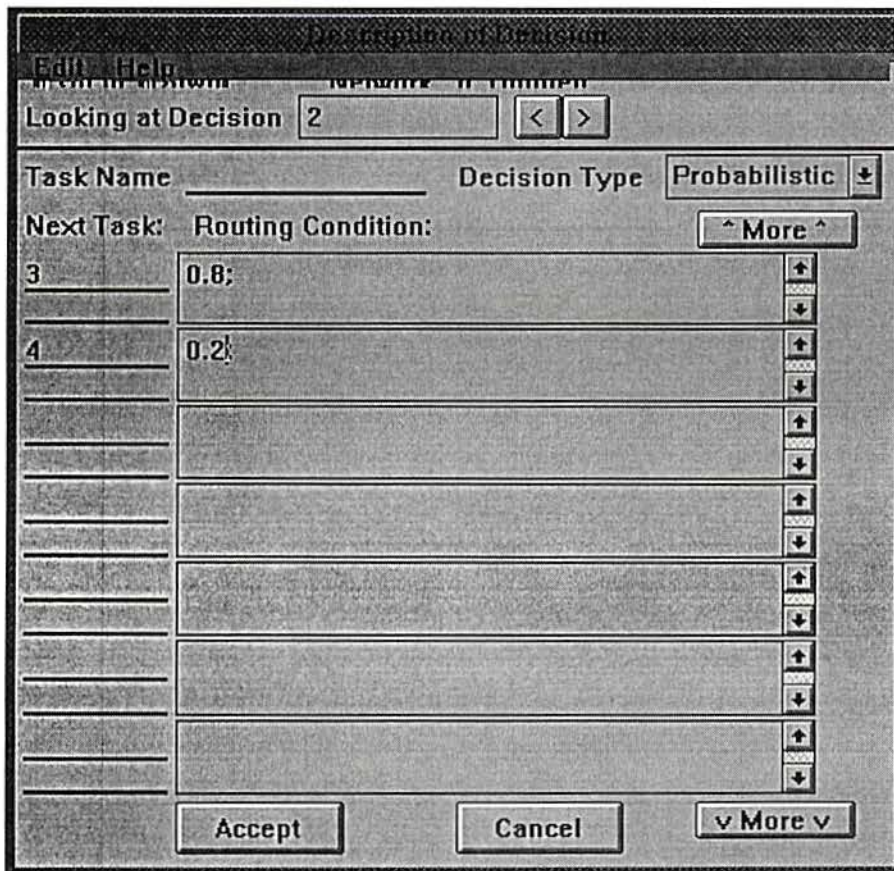


FIGURA 2.11: JANELA DE DIÁLOGO DO NODO DE DECISÃO

A utilização de fluxogramas de tarefas para elaborar os modelos permite que o Micro Saint seja utilizado para os mais diversos propósitos. Além disso, esta forma de programação torna o software fácil de ser programado.



## 2.5.2 Avaliação da Ferramenta

Para avaliar o Micro Saint, utilizar-se-á as características descritas no item 2.4 *Características dos Softwares de Simulação para Sistemas de Manufatura*. Assim sendo, tem-se:

- Quantidade de memória disponível: o Micro Saint utiliza a memória alta do computador, sendo o seu limite portanto, igual ao limite de memória RAM do computador;
- Flexibilidade: o software é flexível, sendo possível modelar qualquer tipo de sistema no mesmo. Exemplos de simulações de ocupação de leitos em hospitais, de treinamento de pilotos de helicóptero do exército, de sistemas financeiros e outros são relatados na literatura;
- Facilidade de programação: por ser programado na forma de um fluxograma de tarefas e por possuir telas prontas e menus já definidos, a programação do software é simples;
- Tratamento estatístico: o gerador de números aleatórios do Micro Saint foi testado por Menezes & Ribeiro(1995) e, segundo os autores, teve um bom resultado. O software não possui um tratamento estatístico dos dados de entrada, sendo que estes devem ser entrados já como uma expressão probabilística;
- Portabilidade: o software pode ser rodado em ambiente PC;
- Dados de saída: o software possui saídas gráficas, mas que poderiam ter uma visualização melhor. O tratamento dos dados de saída poderia ser melhorado, tendo-se a possibilidade de trabalhar mais os dados, ao invés de se obter somente a média e o desvio-padrão;
- Utilização de dados externos: o software não possui nenhuma opção de utilização de dados externos;
- Velocidade na execução do modelo: não se pode afirmar nada a respeito deste item, tendo em vista que não foi feita a comparação do Micro Saint com outros softwares;
- Animação gráfica: o software possui um módulo de animação chamado ActionView. A animação é bastante simples, bi-dimensional, mas fácil de ser executada;

- Preço: o Micro Saint é o software mais barato que está sendo comercializado no Brasil, sendo seu preço na ordem de US\$ 10.000,00.

Com estas características, o software serviu bem para o projeto que foi desenvolvido. Nos próximos capítulos serão apresentados os trabalhos práticos realizados neste estudo, iniciando com a abordagem desenvolvida para divulgar a simulação no setor calçadista gaúcho.

## **CAPÍTULO 3**

### **ABORDAGEM DESENVOLVIDA**

Torna-se cada vez mais importante a utilização de técnicas de estudo de sistemas em ambientes industriais com grande concorrência, devido às modificações rápidas que o mercado exige nos dias atuais. A simulação é uma destas técnicas e pode trazer resultados competitivos positivos. Por este motivo, decidiu-se divulgá-la e demonstrar os possíveis benefícios que ela pode trazer em tais ambientes. Para tanto, desenvolveu-se uma abordagem de divulgação da mesma, que foi aplicada em um setor industrial gaúcho.

Este capítulo descreve o método utilizado, explicando os passos que foram seguidos e os resultados que foram obtidos. Descreve também, o desenvolvimento de uma pesquisa realizada com as empresas do setor, o qual é parte do método de divulgação proposto.

### 3.1 MÉTODO DE DIVULGAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Para disseminar a simulação, realizou-se um trabalho de divulgação da técnica, buscando explicar o seu conceito, demonstrando os seus benefícios e suas possíveis utilizações.

Este trabalho de divulgação foi realizado de uma forma metódica, constituindo o objetivo principal do trabalho. A abordagem desenvolvida foi elaborada em 7 etapas (Figura 3.1), as quais serão explicadas a seguir.

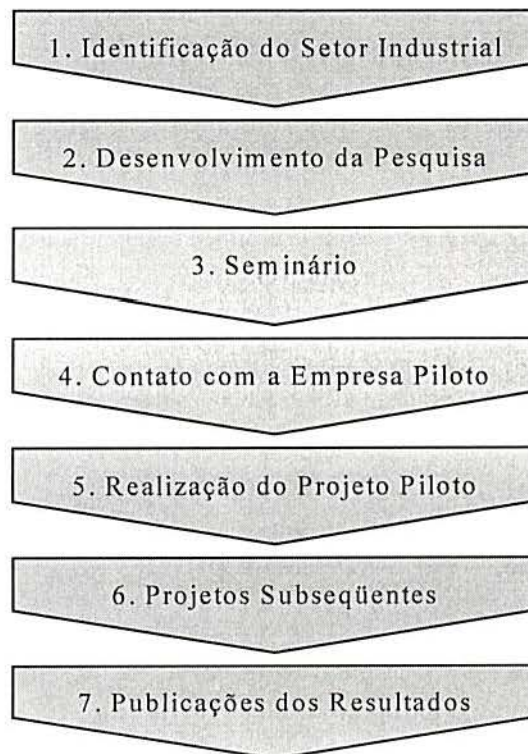


FIGURA 3.1: ETAPAS DA ABORDAGEM DESENVOLVIDA

### 3.1.1 Identificação do Setor Industrial

Por ser a simulação um assunto extenso e com possibilidade de várias aplicações, escolheu-se apenas o setor calçadista, mais especificamente as empresas calçadistas gaúchas, para se desenvolver o trabalho. Esta escolha foi feita em função de fatores geográfico, organizacional, de acesso, de importância econômica e de aspectos ligados à concorrência, como já mencionado na introdução do trabalho. Pode-se ter uma idéia da importância do setor através de seu histórico.

#### A) O Setor Calçadista

A indústria calçadista no Brasil desenvolveu-se a partir do início do século XIX com a imigração dos artesãos italianos para Franca, no estado de São Paulo, e dos alemães para o Vale do Rio dos Sinos, no estado do Rio Grande do Sul. Estes artesãos produziam principalmente selas, bainhas de faca e sapatos em couro, produtos que foram ganhando o mercado por sua qualidade.

Esta característica artesanal do trabalho destes industriais pioneiros se manteve praticamente durante todo o século. A partir do século XX, a industrialização existente na Europa, começa a chegar no país. Alguns fatos podem ser apontados como sendo os principais motivos desta busca de maior produtividade (ABAEX, 1995):

- Já na I Guerra Mundial, os produtos produzidos pelos calçadistas foram vendidos para as tropas militares da África do Sul, consistindo na primeira exportação do setor;
- Na II Guerra Mundial, foram fabricados coturnos e outros artefatos de uso dos soldados da Força Expedicionária Brasileira;
- O fato mais relevante ocorreu em 1959, quando uma missão comercial, reunindo calçadistas do Vale dos Sinos, foi aos Estados Unidos mostrar e tentar vender o seu produto. Apesar do sucesso que o calçado apresentado nesta missão teve, principalmente pela sua qualidade e preço baixo, nenhuma venda foi realizada, pois estes pioneiros da exportação esbarraram em um problema: sua baixa produção.

Estes fatos levaram os empresários do setor a repensar o seu modo de trabalhar e fizeram com que eles estruturassem melhor seu processo de produção e buscassem novas tecnologias para substituir o antigo trabalho artesanal.

Este processo de aprendizado e de modernização consumiu praticamente uma década. A partir de 1970, as exportações deixaram de ser uma alternativa à capacidade de produção, que se encontrava por vezes ociosa, para tornar-se fundamental aos produtores de calçados. Isto tornou a indústria calçadista um setor que se dedica única e exclusivamente ao mercado externo ou que mescla o fornecimento para os dois mercados, garantindo um perfeito equilíbrio e uma ocupação plena dos parques industriais (ABAEX, 1995).

Hoje em dia, o setor calçadista é um dos principais setores industriais do país. A indústria de calçados movimenta anualmente cerca de 2% do Produto Interno Bruto do Brasil, o equivalente a mais de US\$ 6 bilhões (ABAEX, 1995) comercializados nos mercados interno e externo.

Somente a indústria de calçados, com 4.000 empresas, sem agregar os seus setores de afins, gera 280.000 empregos, de onde pode-se estimar que cerca de 1 milhão de pessoas gravitam em torno deste setor, ou seja, aproximadamente 0,6% da população do país.

Como setor de capital genuinamente nacional, com raríssimas exceções, o calçado tem impacto vigoroso na geração de empregos, na arrecadação de impostos, na melhoria do padrão de renda familiar e na interiorização do desenvolvimento.

## B) A Produção de Calçados no Brasil

De 1974 a 1994, a produção brasileira de calçados para o mercado interno saltou de 185 milhões para 425 milhões de pares por ano, um crescimento de 229,72%, significando um aumento no consumo per capita de 1,95 pares/ano em 1975, para 2,3 pares/ano em 1994 (ABAEX, 1995). No entanto, a ABAEX considera este número ainda pequeno, demonstrando um grande potencial de crescimento a nível de mercado interno.

Já a nível de exportação, segundo a SATRA Technology Footwear Center (apud ABAEX, 1995), a perspectiva é que, até o ano 2000, a população mundial cresça em torno de 29,5% e que a produção mundial de sapatos cresça na ordem de 14,6%, significando a existência de um mercado potencial que pode ser explorado pelos calçadistas brasileiros. No entanto, é necessário que se esteja pronto para competir com os principais concorrentes, como Itália, China, Coreia, Taiwan e tantos outros.

Para vislumbrar a situação do Brasil em relação à exportação de sapatos, apresenta-se a Tabela 3.1. Nesta tabela, pode-se comparar a produção de calçados no Brasil e em seus principais concorrentes. Esta comparação permite visualizar a pequena parcela, com relação aos principais concorrentes, dos pares de calçados brasileiros que são exportados, parcela esta que equivale a 28% da produção total brasileira.

<b>Síntese da Produção de Calçados nos Principais Países Concorrentes do Brasil</b>			
<b>(dados de 1994 em milhões de pares)</b>			
<b>País</b>	<b>Produção</b>	<b>Exportação</b>	<b>% em Exportação</b>
Brasil	590	165	28,0
Coreia do Sul	470	300	63,8
Taiwan	223	212	95,1
Tailândia	320	180	56,3
Itália	407	326	80,1
Espanha	203	112	55,2
China	3.645	1474	40,4
Indonésia	393	259	65,9
Malásia	84	39	46,4
<b>TOTAL</b>	<b>5.745</b>	<b>2.902</b>	<b>50,5</b>

TABELA 3.1: SÍNTESE DA PRODUÇÃO DE CALÇADOS NOS PRINCIPAIS PAÍSES CONCORRENTES DO BRASIL (SATRA, 1994)

Outro fato marcante é a quantidade de pares que os principais compradores mundiais de sapato compram do Brasil. Ao se analisar os dados da Tabela 3.2, verifica-se que a participação do sapato brasileiro no mercado destes países é pequena, com exceção dos Estados Unidos, onde o sapato brasileiro representa 10,18 % das importações de sapatos feitas pelo país.

<b>Participação do Sapato Brasileiro nas Importações dos Principais Países Compradores</b> (dados de 1994 - em milhões de pares)			
<b>País</b>	<b>Total de Importações</b>	<b>Importações do Brasil</b>	<b>Participação em %</b>
Estados Unidos	1.350	137,494	10,18
Alemanha	407	6,321	1,55
Hong Kong	1.217	0,156	0,01
França	239	3,418	1,43
Reino Unido	203	9,346	4,60
Antiga União Soviética	199	-	0
Japão	216	0,293	0,13
Holanda	114	3,782	3,31
Canadá	84	5,310	6,32
Itália	129	0,456	0,35
<b>TOTAL</b>	<b>4.158</b>	<b>166,576</b>	<b>4,01</b>

TABELA 3.2: PARTICIPAÇÃO DO SAPATO BRASILEIRO NAS IMPORTAÇÕES DOS PRINCIPAIS PAÍSES COMPRADORES (ABAEX, 1995)



Percebe-se, então, a existência de um mercado potencial, tanto a nível interno quanto externo, e que um trabalho de modernização estrutural e tecnológica deveria ser realizado contemplando estes mercados.

Deve-se ter em conta, no entanto, que a participação de cada região do país na produção de sapatos é diferenciada. Na Tabela 3.3 são apresentados os percentuais da participação de cada região na produção total de calçados que foi de 590.438.783 de pares:

<b>Participação das Regiões Brasileiras na Produção de Calçados</b> (dados de 1994 em pares)	
<b>Regiões</b>	<b>Participação</b>
Norte	0,0001
Centro-Oeste	0,4653
Nordeste	19,9732
Sudeste	46,0327
Sul	33,5525

TABELA 3.3: PARTICIPAÇÃO DAS REGIÕES BRASILEIRAS  
NA PRODUÇÃO DE CALÇADOS (ABAEX/DECEX, 1994)

Para demonstrar a importância do Rio Grande do Sul na exportação de calçados, tem-se a seguir a Tabela 3.4 que mostra o percentual do valor total em dólares que foram exportados por cada região e por cada estado brasileiro no ano de 1994. Percebe-se que o Rio Grande do Sul é o estado que mais exporta calçados do país. O faturamento do estado em vendas externas foi de US\$ 1.297.748.865, correspondendo a 80,03% do valor total exportado pelo Brasil.

A Participação dos Estados na Exportação de Calçados		
(dados de 1994)		
Região	Estado	% em Dólar
Norte	Rondônia	-
	Amazonas	0,0001
	TOTAL	0,0001
Nordeste	Piauí	-
	Ceará	0,1159
	Rio Grande do Norte	-
	Paraíba	0,1772
	Pernambuco	0,0073
	Sergipe	0,0161
	Bahia	0,0001
TOTAL	0,3166	
Sudeste	Minas Gerais	0,3998
	Espírito Santo	0,0157
	Rio de Janeiro	0,1408
	São Paulo	15,2297
	TOTAL	15,7860
Sul	Paraná	1,2839
	Santa Catarina	2,4867
	<b>Rio Grande do Sul</b>	<b>80,0322</b>
	TOTAL	83,8028
Centro-Oeste	Goiás	0,0098
	Distrito Federal	0,0001
	Mato Grosso do Sul	0,0014
	TOTAL	0,0113

TABELA 3.4: A PARTICIPAÇÃO DOS ESTADOS NA EXPORTAÇÃO DE CALÇADOS (DECEX/CTIC/FGV, 1994)

Outros dados mostram a dimensão do setor calçadista gaúcho (ABAEX, 1995):

- O estado responde por 1/3 da produção nacional de calçados, sendo o maior produtor individual do país;

- 58,92% do total de divisas obtidas pelo Rio Grande do Sul em vendas ao exterior no ano de 1994 é representado pelo calçado;
- em 1994, 2,96% das exportações brasileiras tiveram origem na produção de calçados do Rio Grande do Sul.

Apesar de todos estes dados positivos, percebe-se que o setor vem enfrentando algumas dificuldades, principalmente pela concorrência no mercado externo. Isto pode ser percebido quando se analisa a queda no percentual de exportações de sapatos do Rio Grande do Sul no ano de 1994. Em 1993, apenas 19,6% da produção total de sapatos do estado era negociado no mercado interno, sendo os 80,4% restantes exportados. Já em 1994, o percentual da produção que foi exportado foi de 66,9%. Deve-se ter claro que o aumento do consumo ocorrido pela estabilidade da economia no ano de 1994, também influenciou estes números.

Uma possível explicação para o fato da perda de competitividade é o avanço tecnológico alcançado pelos principais concorrentes dos produtores brasileiros em relação à tecnologia convencional utilizada no país desde o período da substituição das importações promovido nos anos 70. O setor necessita sair deste estado de inércia, e incentivar e desenvolver pesquisas, buscando maior qualidade e menores preços, para que consiga competir no mercado externo.

Uma das tecnologias que poderia ser utilizada pelo setor é simulação. Esta ferramenta poderia auxiliar as empresas a reestruturar de uma maneira correta seus sistemas produtivos, procurando uma maior eficiência e produtividade. O avanço tecnológico não significa necessariamente o uso de novas máquinas, mais automatizadas e que necessitem de um número menor de operadores. Este avanço pode ser a nível de estrutura da empresa, de uma mudança do processo, de uma mudança na disposição do sistema produtivo. Portanto, é necessário se preocupar com a competitividade da empresa, procurando evitar gastos monetários desnecessários.

### 3.1.2 Desenvolvimento da Pesquisa

Esta pesquisa buscou obter algumas informações básicas sobre as empresas e sobre o conhecimento que estas poderiam ter sobre simulação.

#### A) Criação do Questionário

O questionário criado para ser aplicado às empresas (ANEXO I) foi dividido em três grupos de perguntas:

- caracterização da empresa;
- informações gerais sobre a empresa;
- informações sobre simulação.

As perguntas foram feitas para que suas respostas fossem simples e diretas. Para tanto, procurou-se fazer as perguntas de forma objetiva, e quando isto não era possível, elas foram feitas de forma que as suas respostas não ocupassem mais de uma linha.

Além das perguntas, foi criada uma folha de rosto onde se explicava o motivo do questionário e se dava uma pequena explanação sobre simulação.

#### B) Elaboração da Lista e Envio dos Questionários

A forma de aplicar o questionário às empresas foi definida como sendo via correio. Fez-se uma listagem das empresas do setor, complementando-a com a lista de empresas gaúchas associadas à Associação Brasileira das Indústrias de Calçados - ABICALÇADOS<sup>1</sup>.

Com esta listagem em mãos, enviou-se um questionário para cada empresa, aos cuidados do gerente de produção. Juntamente com o questionário, foi enviado um envelope de

---

<sup>1</sup> A listagem das empresas para as quais se mandou o questionário foi feita apenas com indústrias fabricantes de calçados, desconsiderando-se as empresas de componentes e representações, que também são associadas à ABICALÇADOS.

resposta já endereçado e selado, para facilitar a devolução das respostas. Contudo, mesmo tentando-se facilitar o processo de resposta e devolução do questionário, alguma mortandade das respostas já era esperada.

A listagem das empresas para as quais foram enviados os questionários continha 115 indústrias. Tinha-se uma expectativa de que pelo menos 25% destas indústrias responderia o questionário, tendo-se assim um número razoável de respostas, através das quais se poderia tirar conclusões da pesquisa. Porém, apenas 9 questionários foram devolvidos e 3 foram retornados ao remetente devido à falência das empresas.

#### C) Contato Telefônico e Novo Envio

Devido ao baixo número de questionários respondidos, decidiu-se contatar, via telefone, algumas empresas, no intuito de se conseguir mais respostas. Selecionou-se as 35 empresas mais conhecidas da listagem inicial que não haviam respondido o questionário. Ligou-se para cada uma delas e conversou-se com o gerente de produção, explicando-lhe a situação, o objetivo do trabalho e indagando-lhe se ele poderia responder um novo questionário que seria enviado. Obteve-se 32 respostas positivas e, então, enviou-se mais 32 questionários a estas empresas.

Porém, novamente, o número de questionários respondidos foi muito pequeno. Das 32 empresas que afirmaram que iriam responder o questionário, apenas 12 o fizeram. Assim, juntando estas 12 respostas com as 9 já existentes, obteve-se um total de 21 respostas que correspondiam a 18,3% do total dos questionários enviados.

#### D) Análise dos Resultados

A seguir, serão apresentados os resultados da análise dos questionários devolvidos. Os resultados estão divididos de acordo com os grupos de perguntas do questionário, ou seja, Caracterização da Empresa, Informações Gerais Sobre a Empresa, Informações Sobre Simulação.

## I - Caracterização da empresa

Esta primeira parte do questionário identifica a empresa, localiza-a no mercado e caracteriza-a quanto a seu tamanho.

Percebe-se que as empresas que responderam o questionário são de médio a grande porte, tendo apenas uma das empresas menos de 50 funcionários e as restantes mais de 200 funcionários.

A maioria das empresas tem a maior parte de sua produção vendida no mercado externo. Das empresas que responderam, 38,1% tem sua produção vendida no mercado interno e 61,9% no mercado externo.

Quanto ao número médio de pares produzidos por mês e ao faturamento médio mensal das empresas, obteve-se os resultados apresentados nas Tabelas 3.5 e 3.6.

Quantidade média de pares produzidos por mês	% das empresas respondentes
até 10.000	14,3
10.001 ---- 50.000	23,8
50.001 ---- 100.000	28,6
100.001 ---- 200.000	14,3
200.001 ---- 300.000	9,5
mais de 300.000	9,5
TOTAL	100

TABELA 3.5: PRODUÇÃO MÉDIA MENSAL

Faturamento médio mensal em US\$	% das empresas respondentes
menos de 100.000	4,8
100.001 -- 500.000	14,3
500.001 -- 1.000.000	19
1.000.001 -- 1.500.000	19
1.500.001 -- 2.000.000	14,3
2.000.001 -- 3.000.000	14,3
mais de 3.000.000	4,8
não respondeu	9,5
TOTAL	100

TABELA 3.6: FATURAMENTO MÉDIO MENSAL

Das 21 empresas respondentes, 33,2% produz apenas sapatos femininos. Já 4,8% das empresas produz somente tênis. A Tabela 3.7 mostra os tipos de produtos manufaturados.

Itens produzidos	% das empresas respondentes
sapato feminino	33,2
sapato feminino e sandália	28,5
sapato feminino, sandália, bolsa e cinto	9,5
sapato feminino, sapato masculino e sandália	4,8
sapato feminino e bota feminina	4,8
sapato feminino, sapato masculino e cinto	4,8
sapato feminino, sapato masculino, tênis e sandália	4,8
sapato feminino e tênis	4,8
tênis	4,8
TOTAL	100

TABELA 3.7: ITENS PRODUZIDOS PELAS EMPRESAS

## II - Informações gerais sobre a empresa

Estas perguntas se referem especificamente à parte de computação e de programação matemática da empresa. Elas servem para dar uma base de como estes dois assuntos são tratados e em que nível os mesmos se encontram no setor calçadista gaúcho.

No aspecto computacional, 19 das 21 empresas respondentes possuem um setor de processamento de dados e apenas duas empresas não possuem um setor específico para este fim. Cabe ressaltar que dentre estas duas, está a empresa com menos de 50 funcionários.

As 19 empresas que possuem um setor de processamento de dados, têm os tipos de computadores apresentados na Tabela 3.8:

Tipo de computador	% das empresas que possuem setor de processamento de dados
PC	36,8
Micro	26,3
PC e Micro	21
PC e Work Station	5,3
PC, Micro e Work Station	5,3
não respondeu	5,3
TOTAL	100

TABELA 3.8: TIPOS DE COMPUTADORES DAS EMPRESAS

Com relação à utilização de técnicas matemáticas para a resolução de problemas, 90,5% das empresas respondentes afirmam que não utilizam. De acordo com os 9,5 % das empresas que utilizam, os tipos de problemas resolvidos com estas técnicas são de programação da produção e análises de investimento.

Percebe-se que, em matéria de equipamentos computacionais, as empresas do setor estão bem equipadas, porém não estão utilizando estes recursos para resolverem seus problemas via técnicas matemáticas.



### III - Informações sobre simulação

Este último grupo de perguntas se refere ao conhecimento e a utilização da simulação pelas empresas. Por ser uma área mais técnica, alguns questionários foram devolvidos sem que algumas destas perguntas fossem respondidas.

De acordo com as respostas dadas no questionário, 50% dos entrevistados desconheciam a definição de simulação dada na folha de rosto do questionário, o que, a princípio, parece ser um número muito baixo. Porém, se a segunda questão deste grupo for analisada conjuntamente com a primeira, percebe-se que nenhum entrevistado conseguiu citar o nome de algum simulador de manufatura, o que leva a crer que possa haver alguma distorção nos números encontrados na primeira questão.

Pelo fato de nenhuma empresa conhecer o nome de algum simulador de manufatura, era de se esperar que nenhuma delas tivesse realizado um projeto de simulação, fato este comprovado por outra pergunta do questionário. Das empresas que responderam o questionário, 100% nunca teve um projeto de simulação desenvolvido ou utilizou algum tipo de software de simulação.

Cabe ressaltar que nas primeiras perguntas deste grupo, algumas respostas não condiziam com a definição de simulação dada na folha de rosto do questionário, por isso foram consideradas erradas, por exemplo: quando perguntou-se sobre o conhecimento de algum software de simulação e a resposta foi SIM citando como exemplo um sistema CAD/CAM, considerou-se a resposta como um NÃO.

Dos 21 questionários respondidos, 15 informavam que a simulação poderia trazer vantagens para a empresa e apenas 1 apontava que não poderia trazer vantagens. As vantagens citadas foram:

- redução no tempo de desenvolvimento de novos processos e produtos;
- rapidez nas tomadas de decisão;
- detecção de problemas na produção;
- estudo de leiaute;

- redução de gastos desnecessários;
- compra de equipamentos;
- redução do tempo gasto para a fabricação dos produtos.

Quando se pediu que fossem citadas as funções da empresa que poderiam ser simuladas, o resultado foi o apresentado na Tabela 3.9:

Função	Nº de citações
produção	9
compras	3
modelagem <sup>2</sup>	3

TABELA 3.9: FUNÇÕES DA EMPRESA A SEREM SIMULADAS

Mesmo acreditando que a simulação pode trazer vantagens para a empresa, quando se mencionou as palavras “preço de aquisição” as empresas preferiram não responder a questão. No questionário, fez-se a pergunta de quanto a empresa estaria disposta a desembolsar por um pacote de simulação tendo em vista que ele pode variar de US\$500 a US\$80.000. A maioria não respondeu, e alguns, inteligentemente, responderam que teriam que conhecer mais sobre o assunto para conseguirem visualizar os benefícios que a simulação poderia trazer. Porém alguns valores foram citados:

US\$800      US\$1000      US\$2000      US\$3000      US\$4000      US\$20000

<sup>2</sup> A modelagem, se mencionada como uma definição do leiaute, dimensionamento de linha ou outro aspecto referente à produção, pode ser considerada como uma função da empresa que poderia utilizar a simulação. No entanto, acredita-se que a modelagem mencionada nas respostas dadas pelas empresas, se refere a aspectos ligados a ferramentas do tipo CAD. Porém, sendo esta somente uma suposição, a resposta foi considerada na análise.

Em matéria de características de um software de simulação, percebe-se que a grande maioria prefere um software fácil de ser programado, mesmo que isto o torne mais rígido. As respostas a esta pergunta foram as seguintes:

- 4 entrevistados preferem um software mais rápido e com pouca animação visual enquanto 5 preferem um software mais lento e com uma boa animação visual;
- 1 entrevistado prefere um software flexível e difícil de ser programado enquanto 13 preferem um software fácil de ser programado e mais específico.

O grande resultado desta pesquisa foi a demonstração de interesse por parte daqueles que responderam o questionário em conhecer mais sobre simulação. Apenas uma empresa afirmou não estar interessada no assunto. Este interesse demonstrado, bem como as pré-condições já existentes no setor para a utilização da simulação, abriram uma grande perspectiva de estudo e aprendizado da técnica no setor calçadista gaúcho.

#### E) Envio dos Resultados e Convite para Seminário

Com a demonstração de interesse por parte das empresas em conhecer mais sobre simulação, abriu-se a perspectiva de realizar um seminário sobre o assunto. Assim sendo, criou-se um pequeno relatório descrevendo os resultados obtidos na pesquisa, sendo este enviado às empresas juntamente com um artigo descrevendo a utilização da simulação nos sistemas de manufatura e um convite para o seminário sobre Tópicos Básicos de Simulação Computacional Aplicados ao Setor Calçadista Gaúcho a ser realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

### **3.1.3 Seminário sobre Tópicos Básicos de Simulação Computacional Aplicados ao Setor Calçadista Gaúcho**

O seminário tinha como objetivo a breve demonstração do conceito e das aplicações da simulação, para que os participantes percebessem as possíveis utilizações desta técnica nas suas respectivas empresas. Mais ainda, o seminário serviu como o primeiro contato direto com as empresas, tendo em vista que os contatos anteriores haviam sido feitos pelo telefone ou por correspondência.

Assistiram o seminário cerca de 20 pessoas, sendo 10 destas representantes de empresas do setor calçadista e o restante alunos da universidade.

O seminário foi dividido em três fases distintas, cada uma com seu objetivo:

#### **A) Introdução à Simulação**

Esta parte do seminário tinha como objetivo esclarecer o conceito de simulação e fazer com que os participantes começassem a pensar em possíveis utilizações da simulação nas suas empresas.

Nesta fase, procurou-se desenvolver alguns conceitos básicos sobre simulação. Foi dada a oportunidade para que os participantes expusessem suas idéias, verificando assim, seu entendimento da técnica. A partir da exposição dos mesmos, foi explicada a definição de simulação.

Durante esta primeira fase do seminário, foi demonstrada a diferença entre linguagens de simulação e simuladores, e alguns conceitos e terminologias utilizadas na criação e programação de um modelo. Também foram analisados os resultados da pesquisa realizada com o setor calçadista. Enfim, foi dada a base para que os participantes pudessem entender e repassar o que é simulação, e os recursos e informações necessários para que se possa simular um sistema.

## B) Exercícios com Ferramentas Computacionais de Simulação

A segunda parte do seminário visou mostrar, na prática, a modelagem de sistemas, fazendo com que os participantes percebessem que a criação de modelos não é complexa. Também mostrou-se que as aplicações da simulação são infinitas, tendo em vista a flexibilidade de modelagem que os softwares modernos possuem.

Esta parte foi uma introdução à modelagem de sistemas em um simulador. Para tanto, dividiu-se a turma em grupos de 2 ou 3 participantes, sendo que cada grupo utilizou um computador com o software Micro Saint<sup>3</sup> já instalado. A partir daí, fez-se uma introdução dos comandos e funções do software, mostrou-se alguns exemplos de modelos de sistemas calçadistas já existentes e fez-se com que os participantes começassem a fazer alguns exercícios de modelagem propostos.

## C) Contato com as Empresas a Respeito de Possíveis Implantações

A última parte do seminário foi utilizada para verificar com os participantes quais as impressões que eles tiveram a respeito da técnica e quais as perspectivas de um futuro trabalho de implantação da simulação em suas respectivas empresas. Neste instante, começou o contato com a empresa na qual se faria o projeto de implantação.

A priori, houve uma resistência por parte dos participantes em aceitar discutir a possibilidade da realização de projetos em suas empresas. Alguns ficaram preocupados com a abertura que o projeto traria com respeito a segredos industriais da empresa. Outros, por não entenderem perfeitamente as explicações, afirmaram que a empresa possuía um software que realizava as mesmas funções de um simulador.

Explicou-se então, novamente, os objetivos da realização do projeto e as características de um simulador, para que as barreiras fossem eliminadas e se pudesse discutir a realização de uma implantação piloto da simulação.

---

<sup>3</sup> O Micro Saint foi utilizado durante todas as etapas do trabalho de divulgação e implantação da simulação.

### **3.1.4 Contato com a Empresa Piloto**

A partir do seminário sobre simulação realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, abriu-se o contato com as empresas do setor calçadista, possibilitando a negociação de projetos a serem realizados nestas empresas. Algumas empresas foram visitadas e propostas de trabalho foram entregues.

A maioria das empresas ficou receosa em ser a primeira empresa do setor a realizar um trabalho de simulação no Rio Grande do Sul. Por este motivo, elas se mostravam indecisas e davam uma resposta negativa à proposta, afirmando que se alguma outra empresa implantasse a simulação e esta desse certo, elas também iriam realizar um projeto no futuro. No entanto, uma empresa se mostrou muito interessada nesta nova técnica que lhe foi apresentada. Esta empresa foi a Grendene S.A..

Após o seminário realizado na UFRGS, os funcionários da Grendene que participaram do mesmo ficaram interessados na ferramenta e relataram o assunto para a diretoria da empresa. Esta resolveu realizar uma palestra interna sobre simulação, no qual se demonstrou a técnica de uma forma mais prática. Apresentou-se, principalmente, exemplos de sistemas que foram simulados e um modelo que foi construído no próprio seminário, para demonstrar a facilidade de modelagem e as possíveis decisões que podem ser tomadas com esta ferramenta.

Ao final da palestra, teve-se uma reunião com o diretor industrial da empresa e definiu-se um projeto de quatro meses de trabalho, onde seria dado um treinamento básico de simulação a dois funcionários da empresa, e seria realizada a implantação da simulação em uma das unidades da empresa.

### **3.1.5 Realização do Projeto Piloto**

A partir da definição da realização de um projeto de simulação na Grendene S.A., teve-se que decidir de que forma seria realizado este projeto. Para isso, fez-se uma reunião com os envolvidos na parte gerencial do projeto, dentre os quais estavam o gerente do CPD, o chefe da seção de programação do CPD e o gerente de PCP da fábrica na qual se realizaria o

projeto. Nesta reunião foram decididos o grupo de trabalho da Grendene que iria trabalhar no projeto, a forma de trabalho e o sistema que iria ser simulado.

O grupo de trabalho ficou definido com dois programadores do CPD, os quais acompanhariam todo o processo de simulação do sistema piloto, tirando suas dúvidas a respeito do método de trabalho e do simulador utilizado, e adquirindo todas as informações necessárias para a realização de projetos futuros pela própria empresa. Por ser o repasse de informação e de um método de trabalho o objetivo principal do projeto, fez-se necessário um acompanhamento constante do grupo Grendene, para que este entendesse todos os passos realizados no projeto.

Além dos dois programadores, mais envolvidos com a parte de modelagem do sistema, o grupo ainda era formado pelo gerente de CPD (que fornecia o suporte gerencial ao projeto), o gerente de PCP da fábrica em que se estava realizando o projeto (que fornecia todas as informações e dados necessários para a criação do modelo) e o chefe da seção do sistema que seria simulado (que fornecia todos os detalhes operacionais do sistema).

O sistema que serviu como piloto foi uma esteira utilizada na montagem final de chinelos a serem exportados. O objetivo da simulação era de dimensionar a linha procurando balanceá-la e buscando alternativas para a forma como ela era disposta.

Este sistema foi escolhido, pois, a priori, parecia ser um sistema simples de ser modelado, permitindo que o grupo Grendene acompanhasse o processo de modelagem com facilidade. No entanto, com o desenrolar do projeto, percebeu-se que o modelo não era de todo simples, contendo algumas minúcias que não haviam sido visualizadas. Isto fez com que o grupo Grendene tivesse que se esforçar mais que o imaginado, mas, em compensação, permitiu que ele aprendesse mais rapidamente alguns detalhes importantes do software utilizado.

Maiores detalhes e informações sobre o sistema modelado e sobre o método utilizado serão apresentados no capítulo sobre o estudo de caso.

### **3.1.6 Projetos Subseqüentes**

Com o fim do projeto piloto, a empresa decidiu realizar mais um projeto de simulação, para que seus funcionários pudessem aprender melhor a técnica. Este projeto seria realizado em outra fábrica da empresa, e o sistema a ser simulado seria uma linha de costura de um tênis.

No entanto, ao se iniciar o processo de estudo e de coleta de dados do sistema, percebeu-se que os indicadores de desempenho utilizados (eficiência - calculada com base na produtividade estimada e nos tempos-padrão, conforme explicado no anexo IV) permitiam a ocorrência de distorções na análise de seus resultados. Este fato fez com que se decidisse realizar um trabalho de esclarecimento das possíveis distorções ocorridas pelos indicadores utilizados e a procura de novos indicadores.

Este trabalho foi apresentado aos responsáveis pela fábrica e, só após o entendimento, por parte de todos, do material criado, iniciou-se o processo de modelagem do sistema já utilizando os novos indicadores (eficiência operacional - percentual do tempo total que cada operador fica ocupado, eficácia - razão entre o número de pares produzidos e o número previamente estimado de pares a serem produzidos, produtividade - número de pares produzidos por hora.homem).

Este trabalho sobre indicadores e a realização deste novo projeto também serão melhor apresentados no capítulo sobre o estudo de caso.

### **3.1.7 Publicações dos Resultados**

Os resultados obtidos em diferentes etapas deste processo de divulgação foram publicados em jornais, periódicos e anais de congressos.

- Os resultados do estudo exploratório do conhecimento da simulação no setor calçadista foram apresentados no XV Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção na Universidade Federal de São Carlos em São Carlos - SP, e no 7th European Simulation Symposium na Universität Erlangen-Nürnberg em Erlangen, Alemanha;



- Referências sobre o estudo foram dadas no jornal do Grupo Nacional da Organização da Produção do mês de outubro de 1995;
- Os resultados alcançados com a implantação da simulação na Grendene S.A. serão divulgados em jornais e periódicos do setor.

Durante todo o desenvolvimento do método, procurou-se divulgar o máximo possível o que estava sendo realizado, buscando o maior número de empresas interessadas no assunto. Este processo teve um afinilamento, como pode ser visto na Figura 3.2, no que diz respeito ao número de empresas envolvidas, chegando-se a uma empresa interessada em realizar um projeto piloto.

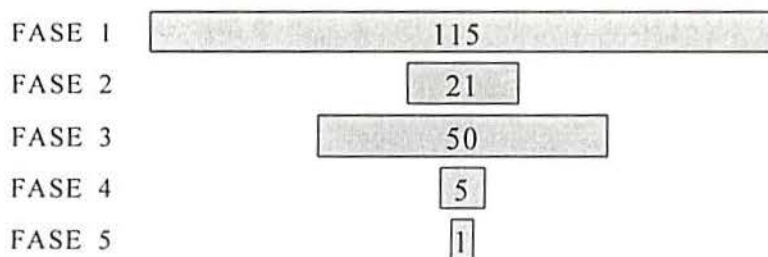


FIGURA 3.2: NÚMERO DE EMPRESAS ENVOLVIDAS NAS FASES DO PROCESSO

Na fase 1, os questionários foram distribuídos a 115 empresas do setor calçadista gaúcho. A fase 2 corresponde à análise das respostas de 21 questionários que foram devolvidos. Esta análise foi enviada a 50 empresas, correspondendo a fase 3. Juntamente com a análise, foi enviado um convite para um seminário sobre simulação a ser realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que representa a fase 4. Nesta fase, participaram 5 empresas das quais se conseguiu uma para a realização da fase 5, que era o projeto piloto.

No entanto, ao fim da fase 5, pelo menos 21 empresas (empresas que responderam o questionário) ficaram conhecendo o termo simulação e souberam que um trabalho sobre esta técnica foi realizado. Este número deve ser ainda maior, tendo em vista as publicações feitas sobre o assunto nos jornais e periódicos.

### 3.2 AVALIAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Os passos apresentados anteriormente permitiram que o processo de divulgação e de esclarecimento da simulação no setor calçadista tivesse sucesso. O método permitiu que muitas empresas conhecessem o conceito de simulação e descobrissem esta técnica de suporte à tomada de suas decisões.

Todavia, foram verificados problemas neste processo. Na etapa de realização da pesquisa, estes ocorreram, principalmente, em relação à elaboração do questionário e ao número de respostas obtidas. Quanto à elaboração do questionário, algumas questões ficaram vagas, dando margem à má interpretação por parte dos respondentes. Outras questões tornaram-se difíceis de serem compreendidas, causando um pequeno número de respostas. Este problema poderia ter sido amenizado utilizando-se algumas técnicas de pesquisa de mercado para validar a proposta de questionário, como as sugeridas por Mattar (1993), através, por exemplo, de uma pesquisa piloto e da obtenção de sugestões de pessoas alheias ao processo.

Também o número de respostas obtidas foi pequeno. Isto já era esperado, tendo em vista que a pesquisa foi realizada por meio de correspondência. No entanto, para ter-se uma mortandade menor das respostas, poder-se-ia ter realizado a pesquisa através de visitas às empresas ou fazendo a mesma via telefone.

Já durante a busca de uma empresa para a realização do projeto piloto, encontrou-se alguma resistência por parte das empresas. Algumas delas se mostraram interessadas, porém não deram retorno com relação a sua posição em realizar o projeto. Outras se interessaram pela simulação, mas não gostariam de ser as primeiras a realizar um projeto deste tipo. Elas gostariam de ter um exemplo que comprovasse os resultados da técnica.

Porém, os resultados obtidos foram satisfatórios. Descobriu-se que em matéria de equipamentos computacionais, as empresas do setor estão bem equipadas, porém não estão utilizando estes recursos para resolverem seus problemas via técnicas matemáticas. Isto demonstra que o setor está apto a utilizar ferramentas de apoio a tomada de decisão do tipo simulação computacional.

O estudo de caso permitiu comprovar empiricamente a validade de se realizar este trabalho com o setor calçadista. Esta fase serviu para verificar os resultados obtidos com a abordagem desenvolvida, bem como a perspectiva de realização de novos projetos no setor.

O número de empresas que foram envolvidas no processo também é um ponto positivo do trabalho. O processo de divulgação envolveu 21 empresas em questionários respondidos, 5 no seminário realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1 na realização do projeto piloto, e inúmeras outras que lerão a respeito do trabalho em jornais e periódicos.

### **3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O objetivo principal deste trabalho de dissertação foi de divulgar a técnica de simulação, usando para isto, uma abordagem que foi desenvolvida durante o estudo e explicada neste capítulo.

Esta abordagem permitiu que se lançasse a primeira “semente” para disseminar a técnica pelo setor calçadista e quiçá, por outros setores industriais gaúchos e brasileiros.

No intuito de disseminar o conhecimento da simulação, o método adotado permitiu que se obtivesse maiores informações sobre o setor com o qual se estava trabalhando, através da pesquisa realizada. Também permitiu que se entendesse melhor o sistema produtivo das empresas calçadistas, através do estudo de caso realizado na Grendene S.A, que será descrito no próximo capítulo.

## **CAPÍTULO 4**

### **ESTUDO DE CASO**

Neste capítulo, apresentar-se-á um resumo da história e da evolução da empresa na qual se realizou o projeto de simulação, bem como todo o desenvolvimento do estudo de caso.

#### **4.1 HISTÓRICO DA EMPRESA**

Com um capital de 120 mil cruzeiros, 2 máquinas injetoras de plásticos e 15 empregados foi constituída, em 1971, pelos irmãos Pedro e Alexandre Grendene Bartelle, a Plásticos Grendene Ltda., na cidade de Farroupilha, RS.

Na época, as atividades da pequena indústria orientavam-se para a fabricação de embalagens plásticas para garrações de vinho, uma inovação introduzida num mercado que até então só produzia tais embalagens em vime. Era o princípio da utilização do plástico.

Ainda em 1975, a empresa ampliou seu leque de atividades e iniciou a fabricação de peças em plástico para máquinas e implementos agrícolas, tornando-se a seguir fornecedora de componentes para calçados como saltos, solas e cepas de náilon. Novamente a Grendene foi pioneira lançando o náilon como matéria-prima para calçados.

Neste ponto, era natural que a empresa, que já fabricava 70% dos componentes de um calçado, tentasse um lançamento próprio. Contemplando o plástico mais uma vez, a Grendene lançou, em 1978, a primeira sandália plástica: Nuar.

Com o aperfeiçoamento do seu parque fabril e incorporando referências de grandes centros de moda como Paris e Nova Iorque, onde as sandálias plásticas faziam sucesso nas vitrines, em 1980 a Grendene chegou à Melissa e, com ela, ao seu grande sucesso.

Para divulgá-la, a empresa sofisticou estratégias e investiu maciçamente em comunicação, apostando, com determinação, em transformar a Melissa em um produto incorporado aos hábitos das consumidoras brasileiras. Resultado: mais de 5 milhões de pares vendidos de um só modelo.

Ao lançar modelos assinados por grandes estilistas internacionais como Teresa Gureg, Thierry Mugler, Georges Henri, Jean Paul Gaultier e Elisabeth Seneville, o calçado obteve repercussão internacional: ultrapassou fronteiras e foi parar nas prateleiras das famosas boutiques dos grandes centros da moda.

A estratégia de crescimento e evolução em tecnologia foi direcionando a atuação da empresa e diversificando seus ramos de atividades, até chegar, em 1986, a seu atual sucesso: as sandálias Rider.

As oportunidades de mercado levaram à expansão industrial e, conseqüentemente, ao redirecionamento dos segmentos - o público infantil ganhou maior prestígio - e a ampliação da sua linha de produtos, diversificando ainda mais os materiais: sandálias e chinelos de full-plastic, E.V.A. e P.V.C. expandido e tênis sintéticos.

A empresa possui hoje 10 unidades fabris, distribuídas da seguinte forma:

- 5 unidades em Farroupilha - RS

- 3 unidades em Carlos Barbosa - RS
- 1 unidade em Caxias do Sul - RS
- 1 unidade em Fortaleza - CE
- 1 unidade em Sobral - CE

Como a empresa exporta cerca de 15% de sua produção total, precisa sempre estar a par de novas tendências e estilos. Assim sendo, as linhas de produtos estão constantemente sendo modificadas, o que prejudica, principalmente, o setor de Planejamento e Controle da Produção. O PCP precisa planejar toda a produção de uma forma dinâmica buscando balancear as linhas de produção. Para conseguir executar esta tarefa de uma forma mais rápida e eficiente, a empresa resolveu realizar o projeto de simulação.

Não somente na Grendene estes problemas são encontrados. O setor calçadista como um todo, enfrenta alguns problemas principais na sua produção:

- As empresas constantemente alteram o leiaute de seus processos em função de novos produtos, sem terem a convicção de que tipo de leiaute deveriam utilizar (linha, células, funcional);
- O uso intensivo de mão-de-obra aumenta a variabilidade do processo;
- O ciclo de vida dos produtos é curto;
- Por utilizar intensivamente a mão-de-obra e por ter os produtos com um ciclo de vida curto, o sistema não chega à “maturidade”, pois a curva de aprendizagem leva mais tempo para chegar ao seu patamar que o tempo que dura o ciclo de vida do produto.

Estes problemas demonstram uma dificuldade para a elaboração do planejamento da produção, fato que poderia ser minimizado com a utilização da simulação.

## **4.2 PROJETO PILOTO**

O projeto piloto realizado na Grendene S.A. envolveu uma das unidades fabris instaladas na cidade de Farroupilha. Como já foi descrito anteriormente, após o seminário realizado na Grendene, decidiu-se realizar o projeto em uma linha de montagem de chinelos tipo exportação.

O processo de desenvolvimento do projeto seguiu algumas etapas que podem ser agrupadas formando o método de trabalho utilizado no projeto. Este método teve como base as etapas descritas no capítulo 2 (Revisão Bibliográfica) desta dissertação. Como já mencionado, o método é flexível, podendo ser adaptado de acordo com as situações encontradas e os sistemas a serem simulados. Neste caso, o método foi constituído das etapas apresentadas na Figura 4.1.

### **4.2.1 Formular o Problema**

Logo após a realização do seminário na Grendene, foi decidido que o projeto de simulação seria realizado na empresa. Neste mesma ocasião, já ficou definida a unidade fabril na qual se realizaria este projeto, a chamada fábrica 4.

Na primeira reunião realizada após a definição da realização do projeto, participaram os principais responsáveis pelo andamento do trabalho: o gerente de PCP da fábrica 4, o gerente do CPD, o chefe da seção de programação do CPD e os 2 programadores que acompanharam todo o processo de modelagem e de simulação do sistema. Nesta reunião, foram feitas todas as definições sobre o problema.

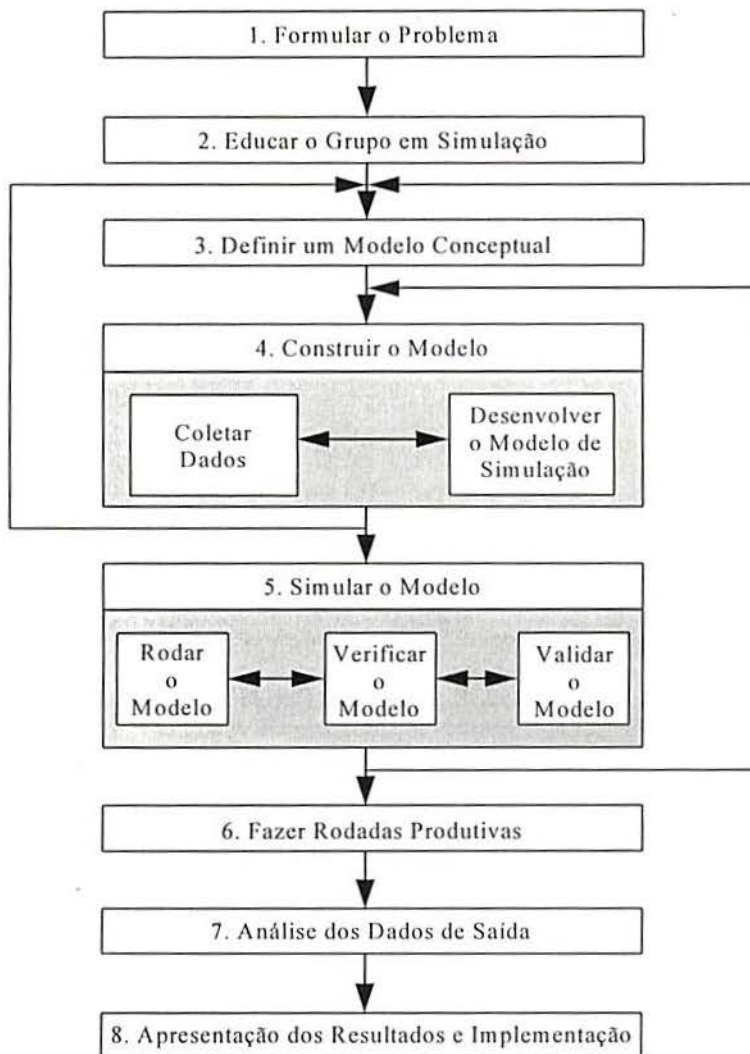


FIGURA 4.1: MÉTODO UTILIZADO NO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO PILOTO

Primeiramente, foi definido que o grupo que iria acompanhar todo o processo de modelagem e de simulação seria formado pelos dois programadores que estavam na reunião, tendo todo o respaldo necessário dos gerentes de PCP da fábrica 4 e do CPD. Este grupo seria treinado no uso da simulação e do software a ser utilizado, e acompanharia todo o projeto, desde a identificação e definição do problema, até a apresentação dos resultados.

Outra definição feita na reunião foi quanto aos parâmetros de performance do sistema modelado, estabelecendo-se, inicialmente, os seguintes medidores: tempo total da produção do lote, número de funcionários utilizados e produtividade. Estes parâmetros foram definidos pelo grupo da Grendene, tendo em vista que eles já conheciam o processo. Após um melhor



entendimento do sistema, novos parâmetros foram sugeridos e criados, como eficiência operacional (percentual do tempo total que cada operador ficou ocupado) e tamanho médio da fila em cada operação.

#### **4.2.2 Treinar o Grupo em Simulação**

Como já se havia realizado um seminário sobre o assunto onde todos os envolvidos no projeto estavam presentes, esta etapa não foi realizada no projeto piloto. No entanto, no projeto subsequente, que será apresentado mais adiante neste trabalho, utilizou-se esta etapa para o esclarecimento da simulação aos envolvidos no novo projeto.

No projeto subsequente, após definido o problema, reuniu-se os operadores da linha de costura a ser modelada e as pessoas que participariam da modelagem do sistema, e mostrou-se o conceito de simulação, quais as vantagens que esta iria trazer para o setor, e qual a participação e a importância de cada um para o sucesso do projeto.

#### **4.2.3 Definir um Modelo Conceptual**

O primeiro passo para a definição de um modelo conceptual foi conhecer o sistema a ser modelado. Assim, no segundo encontro do grupo de trabalho, fez-se uma visita à esteira. Enquanto esta funcionava, procurava-se entender o mecanismo de funcionamento daquela linha, que ao longo de sua extensão possuía em torno de 25 funcionários colando etiquetas, montando caixas e verificando a conformidade do chinelo.

Neste primeiro contato com o sistema, percebeu-se que o modelo a ser criado não seria tão simples como o esperado. Verificou-se que existiam alguns detalhes no sistema que iriam tornar a modelagem mais complexa que o esperado, exigindo que os dois programadores da Grendene se esforçassem mais para conseguir acompanhar o processo de construção do modelo.

Estes detalhes forçaram a realização de várias reuniões de verificação com o chefe da seção para se buscar um melhor entendimento do sistema e para esclarecer dúvidas que

surgiram. Estas reuniões, algumas vezes, criaram alterações no conceito que se tinha do sistema, fazendo com que se voltasse da etapa de simular o modelo para esta etapa de definição do modelo conceptual, o que representa a realimentação existente no método apresentado anteriormente.

A esteira modelada é utilizada na montagem final dos chinelos que são exportados. Nesta linha, os chinelos são, basicamente, inspecionados, identificados por meio de etiquetas, e encaixotados.

A esteira que serve de transporte para os chinelos possui velocidade variada e divisão em várias seções (numeradas de 1 a 12) que são chamadas de células. Cada operador, no início da montagem de um lote, é informado que operação irá realizar e qual(is) a(s) célula(s) da(s) qual(is) será responsável. A partir daí, o mesmo só poderá trabalhar os chinelos que estarão na(s) célula(s) a ele destinada(s). Além disso, o funcionário só poderá colocar um chinelo por vez em cada célula, para evitar o acúmulo de trabalho nas operações subseqüentes. No entanto, este operador não estará necessariamente trabalhando sozinho na operação a ele definida. Cada operação pode ser realizada por um ou mais operadores, sendo que estes podem utilizar as mesmas células ou células diferentes.

Assim, tem-se as seguintes variáveis que podem modificar a linha:

- Quantidade total de pessoas utilizadas;
- Quantidade de células a serem utilizadas;
- Quantidade de pessoas utilizadas em cada célula;
- Velocidade da esteira.

Como pode ser percebido pela quantidade de variáveis encontradas na linha, a função de balanceamento da mesma é complexa. A empresa vinha realizando este trabalho usando o método de tentativas e erros, utilizando a experiência de seus supervisores de linha para chegar o mais rápido possível na melhor solução. No entanto, por ser feito manualmente, este processo era lento, causando uma perda de produtividade.

Assim, resolveu-se utilizar a simulação para se realizar esta função de uma maneira mais rápida e menos desgastante.

#### **4.2.4 Construir o Modelo**

A etapa de construção do modelo consiste em duas partes: coletar dados e desenvolver o modelo de simulação. Elas estão fortemente interligadas, pois para que se possa modelar o sistema é preciso que se tenha várias informações do mesmo, surgindo a necessidade de se dispor de alguns dados para o início da modelagem. Também, em meio ao desenvolvimento do modelo, pode surgir a necessidade de se obter alguns dados complementares a modelagem.

##### **A) Coletar Dados**

Para se iniciar o desenvolvimento do modelo, foi necessário a obtenção de alguns dados sobre a esteira. Como os dados deveriam ser coerentes com o sistema a ser modelado para que o modelo fornecesse uma noção correta do mesmo, estes foram coletados diretamente na esteira. No entanto, por estes não serem utilizados na análise final dos resultados da simulação, não houve a preocupação de fazer uma análise estatística dos mesmos, nem um cuidado maior na sua coleta.

Um trabalho mais cuidadoso de coleta de dados deveria ser realizado no andamento do processo, tendo-se então, uma atenção maior nas informações obtidas e um estudo estatístico das mesmas. Porém, tendo em vista que o trabalho proposto era de caráter de divulgação e não da realização de um trabalho específico de melhoria utilizando a técnica de simulação, não realizou-se esta coleta de dados durante o período de desenvolvimento do projeto, sugerindo-se à empresa que realizasse a mesma, por sua conta, para que pudesse ter uma melhor utilização do modelo criado.

## B) Desenvolver o Modelo de Simulação

Com o melhor conhecimento do sistema, a definição conceptual de um modelo e alguns dados já coletados, pôde-se começar a desenvolver um modelo computacional da esteira. Esta etapa foi a mais longa de todas, pois teve-se que construir o modelo de forma lenta para que os programadores da Grendene conseguissem acompanhar o processo, tendo em vista que os mesmos não conheciam o software e nunca haviam realizado um trabalho de simulação.

As principais preocupações que se teve durante o processo de modelagem diziam respeito à fila a ser formada na frente de cada operação, à folga que cada operador teria entre o fim de sua operação em um chinelo e a chegada de sua célula, e aos operadores de cada operação que poderiam utilizar uma ou mais células. A seguir são apresentados alguns detalhes de cada um destes itens, mostrando quais as dificuldades encontradas e como elas foram consideradas no modelo.

### I) A Fila

Para se poder modelar o sistema proposto, foi necessário preocupar-se com a possível formação de filas, ou seja, o não acompanhamento da esteira por parte do operador. Isto pode ocorrer caso a velocidade da esteira não esteja convenientemente dimensionada para os tempos das operações a serem realizadas. Como a simulação é utilizada para criar diferentes cenários e verificar qual deles é o melhor, era provável que algum destes cenários viesse a ter problemas com o tempo da esteira, sendo portanto necessário que se desse atenção a este fato. Assim sendo, sentiu-se a necessidade de verificar como a formação de filas era tratada na linha de produção.

As informações necessárias foram conseguidas com conversas com os responsáveis pela linha e com algumas observações. Conclui-se que a fila não era formada na realidade. O que acontecia era que, caso algum operador perdesse o tempo da esteira, o par seguinte àquele que ele não conseguia trabalhar por falta de tempo era devolvido ao início da linha e todas operações eram realizadas novamente naquele par.

Isto levou a crer que o modelo, inicialmente imaginado como uma grande linha de montagem, se tornaria uma imensa malha de realimentações, pois cada uma das operações teria que ter um caminho de volta ao início da linha.

No entanto, ao se raciocinar sobre o que acontecia na realidade, percebeu-se que, para os objetivos do modelo, não era necessário modelar todas estas realimentações. Isto porque o tempo total de produção não seria alterado caso se fizesse o par seguinte àquele não acabado esperar na fila da operação ao invés de retornar ao início da linha. A única mudança que isto acarretaria era a não necessidade dos operadores do início da linha retrabalhar o par retornado, pois este ficaria com o operador que não conseguiu trabalhá-lo.

Um exemplo numérico demonstrando as duas formas de se tratar a fila e comprovando a afirmação feita no parágrafo anterior pode ser encontrado no Anexo II.

## II) A Folga

O problema principal na modelagem do sistema proposto consiste em conciliar as operações, que têm um tempo variável de execução, com a esteira, que tem um tempo fixo de passagem por cada posto. Isto ocorre devido ao fato de que o operador só pode colocar o chinelo na célula a ele determinada.

Com isso, teve-se que criar para cada operação duas tarefas, tendo uma o tempo de operação em si e seu desvio-padrão, e outra com uma folga para que o tempo da esteira ficasse fixo, como mostra a Figura 4.2. Assim, tem-se o seguinte:



FIGURA 4.2: REPRESENTAÇÃO DA OPERAÇÃO E DE SUA FOLGA

O tempo da folga da operação será função do tempo da esteira e do tempo da operação. Como o tempo da operação não é fixo devido a seu desvio-padrão, não se pode determinar um tempo fixo para a folga. Assim, criou-se uma função para determinar este tempo.

Porém, se a operação tiver um chinelo na fila, o tempo em que o chinelo permaneceu nesta também deve ser considerado no cálculo do tempo de folga, pois este é um tempo a mais que o chinelo permaneceu fora da esteira.

Também tem-se que ter cuidado com o fato de poder existir fila na folga da operação, o que, a princípio, faria com que mais de um chinelo fosse colocado na célula ao mesmo tempo.

Todas estas explicações do tratamento dado a folga podem ser melhor entendidas através de exemplos numéricos. Estes exemplos, juntamente com as funções criadas para se estabelecer o tempo de folga, estão anexadas ao fim deste trabalho (Anexo II).

### III) Os Operadores

Como já foi visto, a esteira do sistema modelado possui 12 células nas quais os operadores trabalham. Nem sempre todas as células são utilizadas na produção dos chinelos. A utilização destas varia de acordo com o modelo de chinelo a ser produzido, com a velocidade com que o lote precisa ser produzido e com o número de operadores disponíveis para aquela esteira.

Existe um grande número de variações possíveis na utilização das células. Como as funções a serem executadas no chinelo podem utilizar um número variável de células e podem ter um número variável de operadores realizando cada função, foi necessário considerar todas as alternativas possíveis na modelagem do sistema. Estas alternativas podem consistir em mais de um operador trabalhando na mesma função e em células diferentes, em mais de um operador trabalhando na mesma função e na mesma célula, e assim por diante.

Para se ter um controle sobre estas alternativas, foram criadas duas variáveis principais: *células* e *tempo de esteira*. Além destas duas, foram criadas as variáveis *operador* para cada uma das funções a serem realizadas no chinelo.

A variável *células* foi criada para indicar o número de células a serem utilizadas no processo de fabricação do chinelo. Este número de células é constante para todas as funções, tendo em vista que o chinelo será devolvido sempre à célula de onde ele foi retirado, conseqüentemente fazendo com que a função seguinte retire o chinelo da mesma célula da qual ele foi retirado na função anterior.

A variável *tempo de esteira* indica o tempo total para que a esteira complete um ciclo, ou seja, para que uma célula passe pela segunda vez em frente ao operador. Como a velocidade da esteira pode ser variada, esta variável teve que ser integrada ao modelo.

As variáveis *operador* são utilizadas para se definir o número de operadores existentes em cada operação ou função. Assim sendo, cada operação possui uma variável *operador* associada a ela, tendo-se portanto as variáveis *operador02*, *operador08*, *operador20*, e assim por diante.

A etapa de construção do modelo, de forma semelhante à etapa de definição do modelo conceptual, era realimentada pela etapa de verificação e de validação, tendo em vista as modificações que eram realizadas no mesmo pela má interpretação do sistema e por erros encontrados na verificação e na validação. Além desta, outra realimentação era realizada da etapa de construção para a etapa de definição do modelo conceptual, pois novos fatores eram encontrados durante a construção do modelo que haviam sido esquecidos durante sua definição.

Após modificar, verificar e validar, por algumas vezes, o modelo, obteve-se sua versão final apresentada na Figura 4.3:

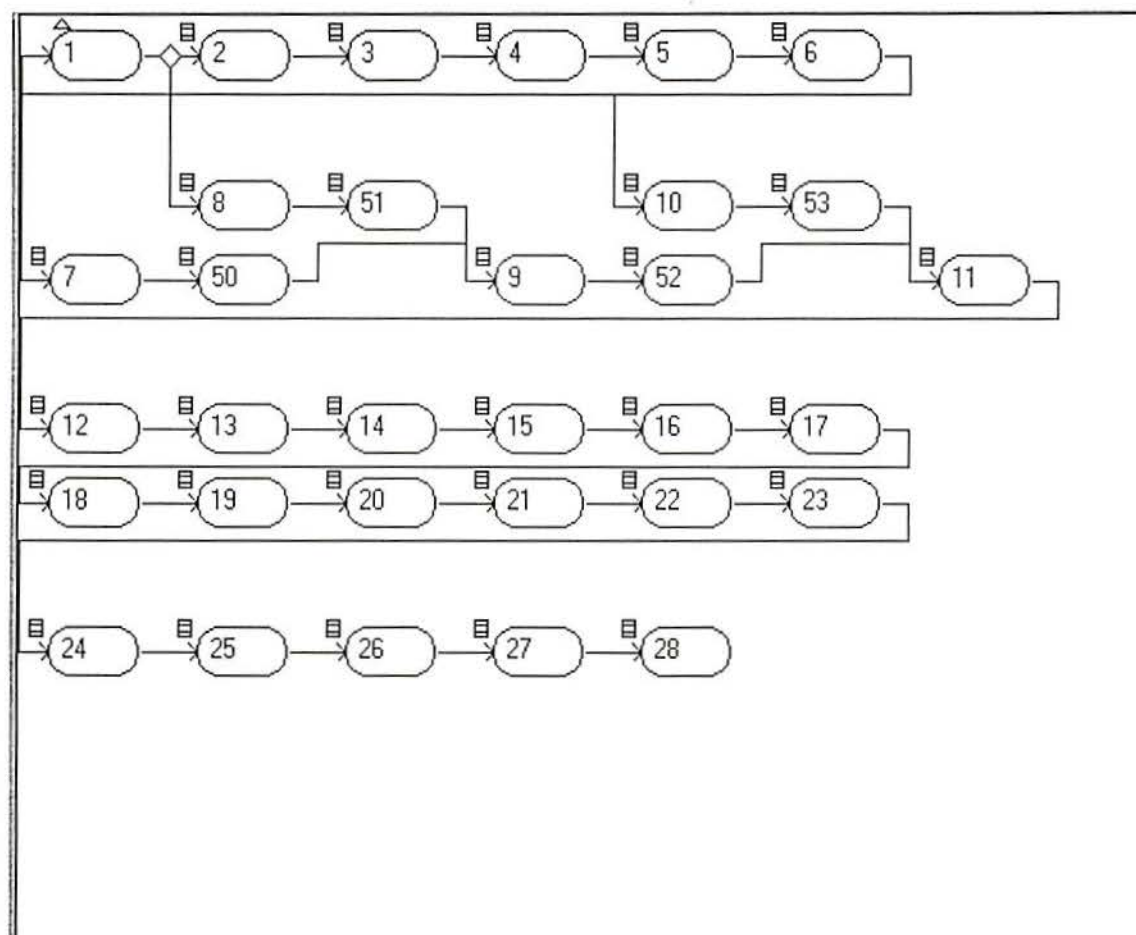


FIGURA 4.3: MODELO FINAL DO SISTEMA

Toda a listagem estruturada do modelo, segundo o formato Micro Saint, encontra-se no Anexo III, mostrando o relacionamento entre as tarefas, os nomes das mesmas, e as variáveis e funções utilizadas.

#### 4.2.5 Simular o Modelo

Esta etapa é dividida em três partes: rodar, verificar e validar o modelo. Estas partes são utilizadas para comprovar a acuracidade do modelo e verificar se este está pronto para ser utilizado na tomada de decisão.

Durante o projeto, cada vez que o modelo falhava em uma das três etapas, retornava-se à etapa de definição do modelo conceptual ou à etapa de construção do modelo, para que os



problemas fossem corrigidos. Isto é observado pela existência das realimentações no método utilizado.

#### Rodar o Modelo

Ao se rodar o modelo, verifica-se a continuidade do mesmo, analisando a existência de erros de sintaxe ou a existência de tarefas que nunca são realizadas, devido a problemas de lógica do programa.

#### Verificar o Modelo

A verificação do modelo é realizada para avaliar a sua coerência com o que foi especificado, analisando a relação entre as tarefas e a ordem de ocorrência dos eventos.

#### Validar o Modelo

Para se validar o modelo, é necessário que se analise sua veracidade, verificando se ele representa de forma correta o sistema a ser simulado. Esta etapa foi realizada pelo próprio usuário, rodando o modelo e comprovando os resultados com o sistema real.

Quando se passou pela etapa de simulação do modelo e nenhum problema foi detectado, considerou-se o modelo pronto para ser utilizado na tomada de decisões. A partir daí, foi necessária a utilização de dados fidedignos para uma representação correta do sistema. Como já foi dito anteriormente, este trabalho foi designado à empresa, tendo em vista que o trabalho tinha por objetivo a divulgação da simulação.

Assim sendo, as etapas seguintes do projeto (Fazer Rodadas Produtivas, Análise dos Dados de Saída, Apresentação dos Resultados e Implementação) não foram realizadas, porém foram explicadas ao grupo da Grendene e suas execuções foram delegadas à empresa.

#### **4.2.6 Fazer Rodadas Produtivas**

Para se fazer rodadas produtivas, é necessário que se tenham dados precisos, principalmente pelo fato da simulação trabalhar com dados estocásticos que precisam ser analisados e representados por funções estatísticas. Este fato também determina que seja necessário um planejamento do experimento, definindo:

- a duração do período de *warm up*;
- as condições iniciais do modelo;
- a duração de cada replicação;
- o número de replicações;
- cenários a serem simulados.

Tendo-se definido todas estas informações, faz-se as rodadas necessárias coletando-se os dados de saída.

#### **4.2.7 Análise dos Dados de Saída**

Os dados de saída que foram coletados precisam ser trabalhados para poderem ser utilizados na tomada de uma decisão. Isto se deve ao fato, citado anteriormente, de que a simulação tem uma natureza estocástica.

Como este trabalho não foi realizado na empresa, por motivos já citados anteriormente, fez-se algumas simulações do modelo com dados hipotéticos para demonstrar algumas possíveis utilizações do mesmo.

### Simulação 1:

Na Tabela 4.1 apresenta-se o tempo médio de cada operação utilizado na simulação:

Operação	Tempo Médio da Operação
2	3
4	8
6	6
8	25
10	29
12	0
14	12,3
16	3
18	4,5
20	0
22	2
24	2
26	2
28	2,5

TABELA 4.1: TEMPOS UTILIZADOS NA SIMULAÇÃO

Para a realização destas simulações, considerou-se o desvio-padrão do tempo de cada operação igual a 5% do tempo médio da mesma. Cada modelo foi replicado três vezes e os resultados apresentados representam a média das três replicações.

Nesta primeira simulação, utilizou-se apenas um operador em cada uma das operações. Com estes parâmetros, obteve-se os seguintes resultados, com a ocupação média de cada operador apresentada na Tabela 4.2:

Operador	Ocupação (tempo ocupado/tempo total)
2	0,10
4	0,26
6	0,20
8	0,82
10	0,95
12	0
14	0,40
16	0,10
18	0,15
20	0
22	0,07
24	0,06
26	0,07
28	0,08

TABELA 4.2: OCUPAÇÃO MÉDIA

Produção Total = 50 pares

Tempo Total Gasto Para Produzir = 1525,84

Produtividade ( produção total/(horas trabalhadas X número de operadores) ) = 9,83

Percebe-se que os operadores 8 e 10 são os mais ocupados, mas que não estão 100% do tempo ocupados. Isto se deve ao fato da esteira estar vazia no início e no fim da produção, o que ocorre também no sistema real.

Como estes operadores parecem estar sobrecarregados, na simulação seguinte alocou-se mais um operador em cada uma destas operações. Os tempos são os mesmos.

Os resultados obtidos foram os seguintes, com a ocupação média apresentada na Tabela 4.3:

Operador	Ocupação (tempo ocupado/tempo total)
2	0,18
4	0,50
6	0,37
8	0,77
10	0,89
12	0
14	0,77
16	0,19
18	0,28
20	0
22	0,12
24	0,12
26	0,12
28	0,16

TABELA 4.3: OCUPAÇÃO MÉDIA

Produção Total = 50 pares

Tempo Total Gasto Para Produzir = 805,84

Produtividade ( produção total/(horas trabalhadas X número de operadores) ) = 15,96

Pode-se perceber que a adição de um operador em cada uma das operações 8 e 10, proporcionou um aumento na ocupação dos demais operadores, tendo em vista que tais operações conseguiram liberar mais rapidamente os pares de chinelo que por elas passaram. Isto pode ser comprovado pelo tempo total gasto para produzir os 50 pares, que diminuiu de 1525,84 para 805,84 e, principalmente, pelo aumento da produtividade de 9,83 para 15,96 pares/hora.homem.

Este exemplo demonstra como pode ser realizado o balanceamento da linha, mesmo que não se tenha utilizado todas as variáveis que podem ser modificadas no modelo, como a velocidade da esteira e a utilização de mais de uma célula para cada operação.

## Simulação 2:

Utilizando os mesmos tempos médios e os mesmos desvios-padrão da simulação 1, simulou-se os efeitos da variação da velocidade da esteira na produtividade do sistema modelado e no tempo total necessário para produzir o lote definido. A Figura 4.4 apresenta o tempo total necessário para produzir o lote, em função do intervalo de tempo entre a passagem de duas células iguais. Já a Figura 4.5, apresenta a produtividade (pares/hora.homem) do sistema, em função do intervalo de tempo entre a passagem de duas células iguais.

As curvas 1 das Figuras 4.4 e 4.5 representam os resultados obtidos com apenas um operador em cada operação.

A partir dos dados de ocupação de cada operador, verificou-se que os operadores 8 e 10 estavam mais ocupados, e alocou-se um trabalhador a mais para cada uma destas operações. Os resultados da produtividade e do tempo total, então obtidos, são representados pelas curvas 2 das Figuras 4.4 e 4.5.

Novamente, verificou-se quais operadores estavam mais ocupados (operador 8, operador 10 e operador 14), e alocou-se um trabalhador a mais para cada uma destas operações. Simulou-se o modelo com esta nova configuração e os resultados obtidos estão representados pelas curvas 3 das Figuras 4.4 e 4.5.

A análise das Figuras 4.4 e 4.5 permite entender o que aconteceu com o sistema. A Figura 4.4 mostra que, enquanto a velocidade da esteira é pequena, o tempo necessário para produzir o lote independe do número de operadores alocados em cada operação, pois com estas velocidades, os trabalhadores conseguem realizar suas operações com folga, ficando, inclusive, ociosos. Com o aumento da velocidade, os cenários com um número maior de operadores começam a ter um tempo total de produção menor, pois as operações mais longas são realizadas por mais de um trabalhador, evitando que estas se tornem os gargalos do sistema.

Já a Figura 4.5, mostra que, com velocidades pequenas, os cenários com um número maior de operadores têm uma produtividade menor. Isto ocorre, pois, como o tempo total de produção do lote é praticamente o mesmo para todos os cenários, o que define a produtividade é o número de trabalhadores utilizados. Assim, como a produtividade é inversamente

proporcional ao número de operadores, os cenários que utilizam um número maior de pessoas têm uma produtividade menor.

Já quando a velocidade aumenta, o tempo total para produção do lote começa a ter uma maior diminuição para os cenários que têm um número maior de operadores, fazendo com que estes cenários apresentem uma melhor produtividade.

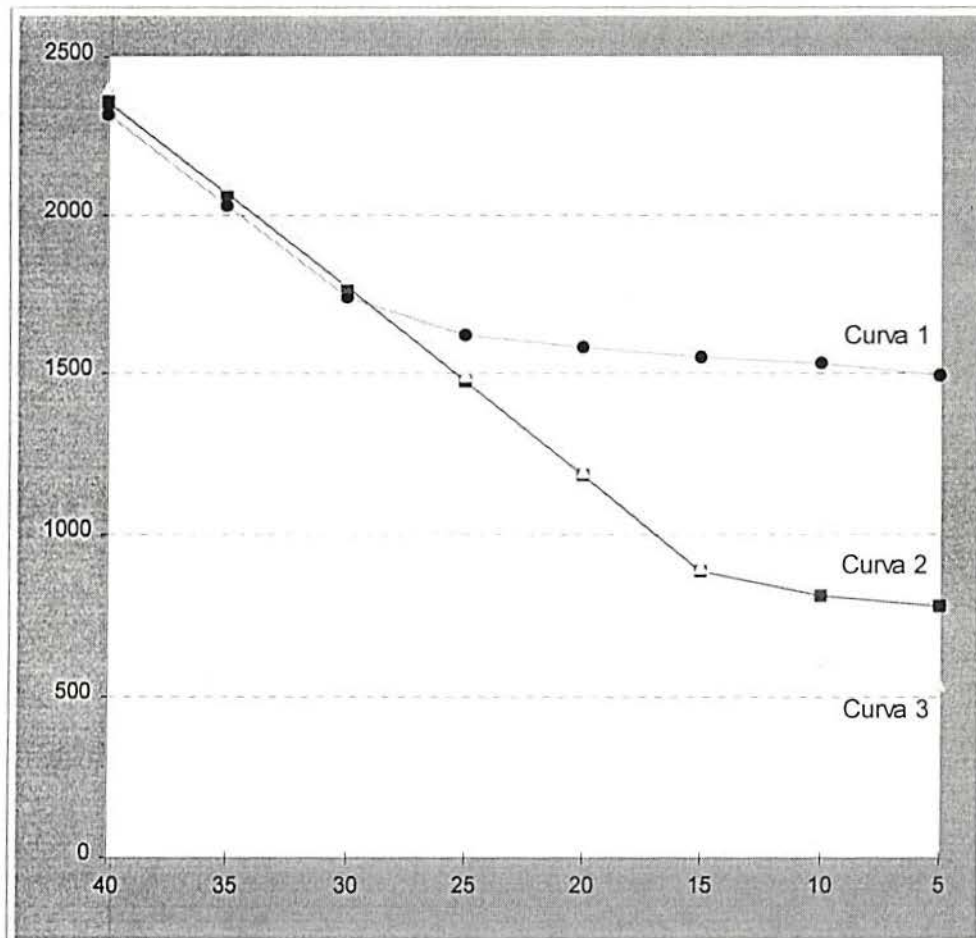


FIGURA 4.4: GRÁFICO DO TEMPO TOTAL PARA PRODUÇÃO DO LOTE EM FUNÇÃO DO INTERVALO DE TEMPO ENTRE A PASSAGEM DE DUAS CÉLULAS IGUAIS

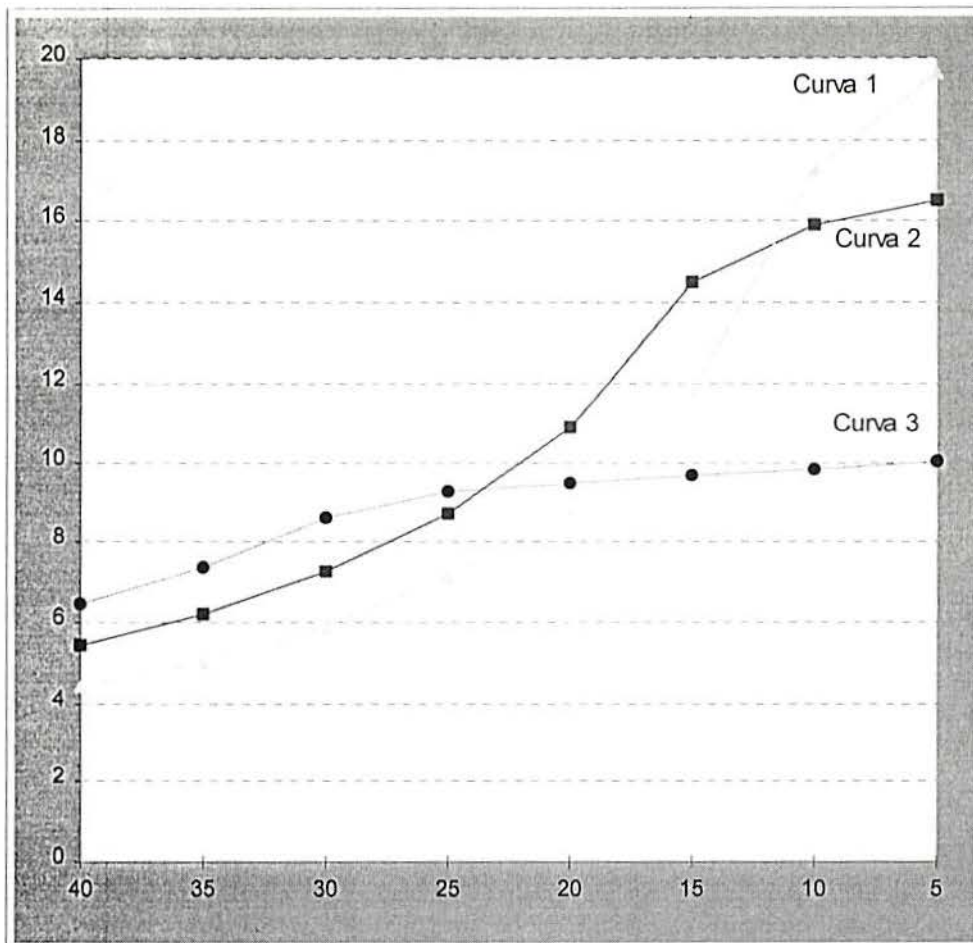


FIGURA 4.5: GRÁFICO DA PRODUTIVIDADE DO SISTEMA EM FUNÇÃO DO INTERVALO DE TEMPO ENTRE A PASSAGEM DE DUAS CÉLULAS IGUAIS

#### 4.2.8 Apresentação dos Resultados e Implementação

A apresentação dos resultados e a implementação das decisões tomadas com o projeto não podem ser descartadas.

A apresentação dos resultados deve ser bem preparada, de modo que todos que participam da reunião possam entender o que foi realizado e os resultados que foram obtidos.

A implementação deve refletir o que foi encontrado no estudo, e deve ter um acompanhamento contínuo, para que melhorias possam ser encontradas.



## 4.3 PROJETOS SUBSEQÜENTES

Durante a execução do projeto piloto, o grupo da Grendene começou a descobrir as possíveis aplicações da simulação na empresa, percebendo as vantagens que ela poderia trazer em vários setores. Com isso, ao se finalizar o projeto piloto, a empresa decidiu realizar um outro projeto, permitindo com que o grupo de trabalho tivesse um contato mais longo com a técnica.

### 4.3.1 A Situação Problemática

Este projeto subseqüente foi realizado em outra unidade fabril da empresa, também localizada em Farroupilha, chamada fábrica 5. O sistema modelado foi uma esteira de uma linha de costura de tênis.

Esta linha possui as seguintes características:

- as costureiras ficam dispostas ao longo da esteira juntamente com uma máquina de costura cada;
- a esteira transporta caixas com uma quantidade fixa de tênis de uma costureira para outra, sendo este lote de transferência de 20 pares;
- a esteira não tem um movimento contínuo; este é intermitente com intervalos estabelecidos em um controlador de tempo da esteira;
- existem outras funcionárias que não são costureiras trabalhando na esteira. Elas fazem alguns trabalhos de colagem e de perfuração que são exigidos no tênis.

Entretanto, este projeto não foi desenvolvido prontamente, pois enquanto se fazia um reconhecimento do sistema para se definir um modelo conceptual do mesmo, percebeu-se que existiam alguns problemas conceptuais em relação aos indicadores utilizados pela fábrica para

avaliar o desempenho do sistema. Estes problemas iriam interferir na simulação da esteira, tendo em vista que os dados de saída do modelo são utilizados para a tomada de uma decisão, e se estes dados, representados pelos indicadores utilizados, não refletirem exatamente o que acontece no sistema, as decisões a serem tomadas podem ser incorretas.

Além disso, percebeu-se uma resistência por parte dos responsáveis pela linha da costura em aceitar a eliminação da esteira transportadora. Entretanto, ao se fazer uma visita à linha, percebeu-se que muitas vezes as costureiras passavam os pares de tênis de mão em mão, pois haviam acabado os mesmos antes do novo ciclo da esteira.

Assim sendo, antes de se realizar todo o processo de desenvolvimento do projeto, decidiu-se fazer um trabalho sobre as possíveis distorções ocorridas pelos indicadores utilizados pela fábrica, e das possíveis vantagens de se eliminar a esteira como um meio de transporte dos pares de tênis. Para tanto, foram realizados alguns exemplos para demonstrar o que se pretendia. Estes exemplos, juntamente com as explicações da maneira como a Grendene realizava o cálculo de seus indicadores, e as possíveis distorções que estes causavam, estão no Anexo IV.

Os principais problemas encontrados com os indicadores utilizados pela Grendene foram os seguintes:

- Distorções da eficiência

A eficiência era calculada de forma que os resultados obtidos poderiam chegar a uma eficiência superior a 100%.

- Falta de atualização dos tempos

A melhoria nos tempos de produção, devido a curva de aprendizagem, não eram considerados nos cálculos de eficiência.

- Estimativa do volume produzido

Todos os cálculos de eficiência eram realizados com base em números estimados de produção total e de tempos-padrão, fazendo com que os resultados não refletissem o que estava ocorrendo na realidade.

Além dos problemas com os indicadores, tinha-se ainda a barreira com respeito a eliminação da esteira.

Para procurar resolver estes problemas, fez-se uma reunião com os envolvidos no sistema e apresentou-se algumas sugestões das alterações que poderiam ser realizadas. Esta proposta está descrita a seguir.

#### **4.3.2 Proposta de Melhoria**

Como pode ser percebido, os problemas que podem ocorrer advém do uso incorreto de indicadores e da utilização da esteira transportadora. Para cada um destes itens foram feitas as seguintes sugestões:

##### **A) Indicadores**

Do ponto de vista das melhoria de produtividade nos processos produtivos, propriamente ditos, os medidores de desempenho a nível gerencial devem conduzir ao aumento da produtividade do processo produtivo, ou seja, o aumento do volume produzido por unidade de tempo real ou a diminuição do número de operadoras produzindo o mesmo volume.

A utilização de apenas um indicador relativo não satisfaz a necessidade gerencial de avaliar a grandeza absoluta da produção.

Propôs-se, então, a adoção de três indicadores de desempenho:

- Um indicador de eficácia que calcule a relação entre o número de pares produzidos na realidade e o número de pares estimados.
- Um indicador de produtividade que determine o número de pares produzidos na realidade por hora.homem.

- Um indicador de ocupação do operador, que calcule a relação entre o tempo trabalhado pelo operador e o tempo total de trabalho da linha. Este indicador é calculado para cada operador.

## B) A Esteira

Um outro assunto que poderia ser considerado para a melhoria do processo é a utilização da esteira.

A esteira, a princípio, é utilizada para a movimentação dos materiais. Porém, algumas vezes ela é utilizada para dar o ritmo de produção de uma linha. Nestes casos, é necessário que se compreenda as possíveis desvantagens que esta esteira pode trazer, para que se possa tomar uma decisão acertada a respeito de sua utilização ou não.

Utilizando um exemplo em que a esteira é utilizada para dar o ritmo de produção da linha, procurar-se-á demonstrar os possíveis problemas a serem encontrados no uso deste recurso.

Suponha-se uma operação que produza 40 pares por hora, ou seja, leve em média 30 minutos para cada 20 pares. Esta operação, na verdade, não levará sempre 30 minutos para produzir o lote, mas sim, 30 minutos na primeira vez, 33 minutos na segunda, 27 minutos na terceira, e assim por diante. Portanto, se a esteira se movimentar a cada 30 minutos, na sua segunda movimentação, a operação acima não terá ainda terminado os 20 pares e a esteira andará vazia, ou seja, a operação terá que esperar a nova movimentação da esteira para liberar os 20 pares por ela feitos. Assim, a operação levou, na verdade, 60 minutos para produzir o lote, ao invés dos 30 previstos. Isto pode ser melhor visto nas Figuras 4.6 e 4.7:

## Com esteira

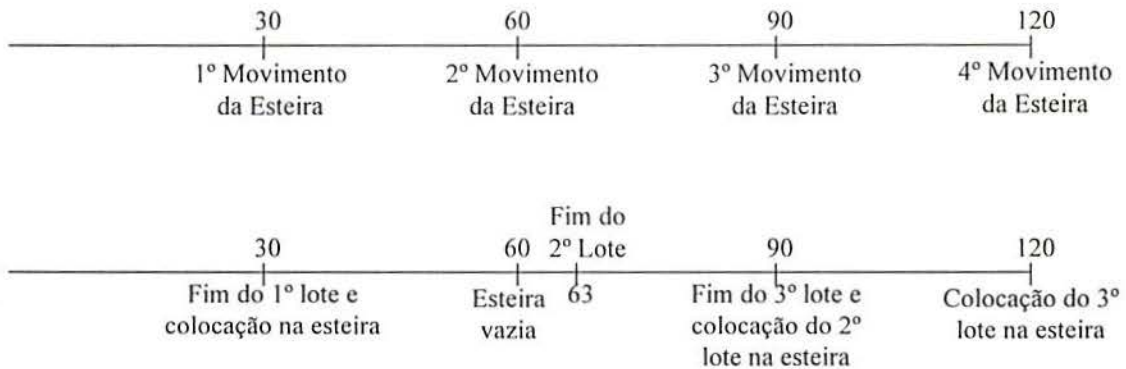


FIGURA 4.6: SISTEMA COM ESTEIRA

## Sem esteira

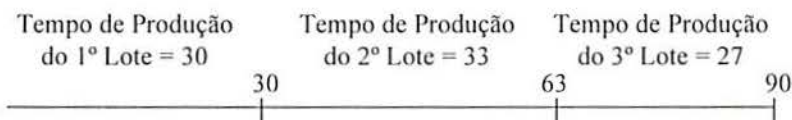


FIGURA 4.7: SISTEMA SEM ESTEIRA

A última linha mostra que se a esteira não fosse utilizada e simplesmente se passasse os pares de mão em mão, o tempo total seria de  $30+27+33 = 90$ , desconsiderando o tempo de transporte dos pares que pode ser considerado desprezível. Isto mostra que a não utilização da esteira tem como resultado 30 minutos a menos que o tempo levado com a esteira.

Para um melhor entendimento, por parte dos envolvidos no sistema, dos aspectos que foram discutidos, demonstrou-se, no simulador Micro Saint, os problemas que poderiam ser encontrados utilizando-se os indicadores que a empresa usava. Esta visualização do sistema e de seus resultados, permitiu a todos entender o que se pretendia demonstrar.

A partir do ponto em que todos concordaram que os indicadores que eram utilizados deveriam ser modificados, utilizou-se o simulador para demonstrar as sugestões propostas. A utilização do simulador permitiu que todos compreendessem rapidamente o que se pretendia discutir, possibilitando, também, a verificação de alternativas propostas pelo próprio grupo.

O simulador também foi utilizado para se conseguir vencer a resistência dos responsáveis pelo sistema de eliminar a esteira transportadora. Desenvolveu-se alguns modelos que demonstravam os resultados obtidos com a utilização da esteira e com a movimentação manual dos pares de tênis. A visualização destes resultados fez com que o grupo começasse a analisar as possíveis vantagens de se retirar a esteira.

Os cenários simulados e os resultados obtidos nestas simulações apresentadas ao grupo Grendene estão no Anexo IV.

Depois de todos os participantes do projeto entenderem as modificações que se pretendia realizar, e de todos aceitarem estas modificações, iniciou-se o projeto em si, seguindo as mesmas etapas seguidas no projeto piloto.

Também este projeto, até mesmo pelo seu tempo de duração (2 meses), teve a finalidade de demonstrar uma possível utilização da simulação no setor calçadista, e não de realizar um projeto de melhoria e de tomada de decisão. Portanto, como no projeto piloto, este projeto também não vislumbrou as últimas etapas do processo, deixando estas tarefas ao encargo da empresa.

O modelo final do sistema está apresentado na Figura 4.6. Toda a listagem estruturada do modelo, segundo o formato Micro Saint, encontra-se no Anexo III, mostrando o relacionamento entre as tarefas, os nomes das mesmas, e as variáveis e funções utilizadas.

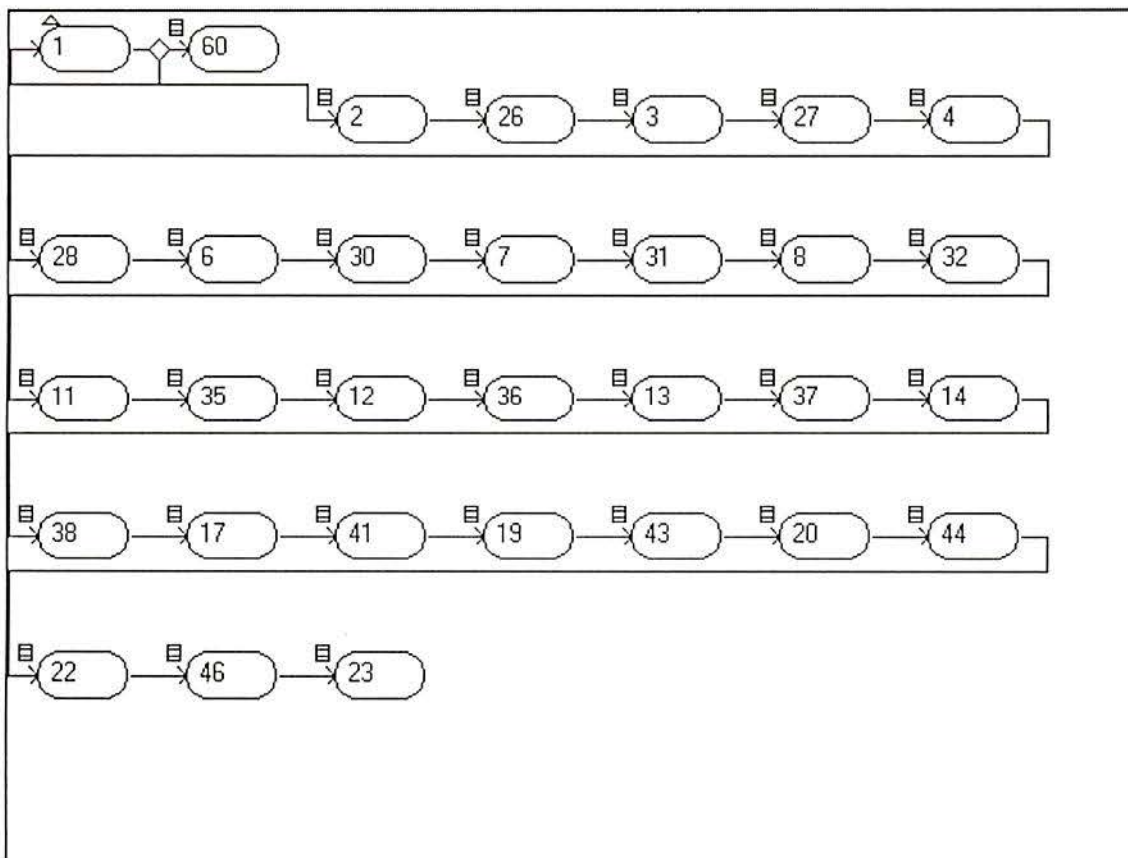


FIGURA 4.8: MODELO FINAL DO SISTEMA DO PROJETO SUBSEQÜENTE

#### 4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração e a execução destes projetos, mesmo que tivessem apenas o objetivo de divulgação sem se preocupar com a realização das últimas etapas do método, já trouxeram alguns benefícios à empresa:

- Na fábrica 5, é provável que os indicadores utilizados jamais seriam questionados, trazendo sempre distorções nos resultados obtidos. O trabalho realizado buscou conscientizar os responsáveis pela fábrica que tais medidas de desempenho poderiam causar resultados indesejáveis usando, para isso, exemplos criados no simulador para que estas distorções pudessem ser visualizadas por todos.

- Ainda na fábrica 5, a simulação ajudou a se verificar a utilidade do uso da esteira como meio de transporte dos tênis a serem costurados. Simulou-se a linha de costura com e sem a esteira, sendo os tênis passados de mão em mão na segunda situação. Demonstrou-se os resultados obtidos e pôde-se verificar a diminuição da resistência existente dos responsáveis pela linha em retirar a esteira de transporte.
- Os projetos ajudaram em aspectos conceituais, como por exemplo, o conceito de variabilidade. Ao se iniciar o projeto, foi difícil para os participantes do trabalho entenderem a variabilidade do sistema e seu efeito no balanceamento de uma linha. Com a visualização na tela do computador do que pode ocorrer na realidade, ficou mais claro o problema que esta variação pode trazer ao sistema.
- Um dos principais benefícios que estes projetos trouxeram foi a popularização da técnica. Com o andamento do trabalho, ficou claro para os participantes do grupo, que a simulação não é uma ferramenta complexa. Exige sim, que se siga um método de desenvolvimento, como deve acontecer com qualquer tipo de estudo. Esta participação dos funcionários da Grendene permitiu a eles perceber que projetos futuros podem ser desenvolvidos pela empresa sem a necessidade de apoio externo.

Com estes benefícios já alcançados e com os resultados a serem ainda obtidos pela execução das etapas de Realização de Rodadas Produtivas, Análise dos Dados de Saída, e Apresentação dos Resultados e Implementação, a empresa se sentiu motivada em utilizar a simulação em outros projetos e resolveu adquirir o software para poder realizá-los com seus próprios funcionários.

Assim, a situação da simulação na empresa é a seguinte:

- dados estão sendo coletados para se fazer as etapas finais do método nos projetos já iniciados;
- novos sistemas estão sendo estudados para serem simulados;
- um software de simulação está sendo adquirido.



A fase do estudo de caso teve muita importância no processo de divulgação da simulação, pois buscou comprovar empiricamente a validade de se realizar este trabalho com o setor calçadista. Esta fase serviu de verificação dos resultados obtidos com a abordagem desenvolvida, bem como de perspectiva à realização de novos projetos no setor. O trabalho realizado na Grendene S.A. e os resultados alcançados serão divulgados e publicados em jornais e periódicos, buscando a disseminação da técnica.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho mostrou o processo de divulgação da simulação desenvolvido no setor calçadista gaúcho. Os resultados obtidos foram positivos e o conhecimento do setor sobre a ferramenta teve uma melhora significativa, tendo em vista que uma empresa teve um projeto de simulação desenvolvido e outras 20 participaram de uma pesquisa sobre o assunto. Os seguintes objetivos foram alcançados:

- **Desenvolvimento de uma Abordagem para a Divulgação da Simulação**

A abordagem desenvolvida seguiu as seguintes etapas:

1. Identificação do Setor Industrial
2. Desenvolvimento da Pesquisa
3. Seminário sobre Simulação

4. Contato com a Empresa Piloto
5. Realização de um Projeto Piloto
6. Projetos Subseqüentes
7. Publicações dos Resultados

Cada etapa foi desenvolvida de forma a abranger o maior número possível de empresas, a fim de divulgar o máximo possível a simulação. Assim, a etapa de desenvolvimento da pesquisa foi iniciada com 115 empresas, das quais 21 responderam o questionário. A análise das respostas do questionário foram enviadas a estas 21 empresas e a mais 29 empresas que não o responderam, a fim de demonstrar a um número maior de empresas o resultado obtido. Destas 50 empresas, 5 compareceram ao seminário realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e uma destas aceitou realizar um projeto de simulação.

- **Estudo Exploratório**

No entanto, a etapa principal de divulgação da técnica foi a pesquisa realizada com o setor. Os principais objetivos desta pesquisa foram:

1. Divulgar ao máximo a técnica de simulação, fazendo com as empresas conhecessem o termo simulação de manufatura e tivessem uma primeira explicação do que se trata esta técnica;
2. Verificar o interesse que estas empresas pudessem ter com relação a uma nova técnica de tomada de decisão;
3. Verificar as condições computacionais das empresas calçadistas, tendo em vista a simulação computacional;
4. Encontrar uma empresa que estivesse interessada na realização de um projeto piloto de simulação.

Estes objetivos foram alcançados, tendo-se em vista que 21 empresas responderam o questionário, ou seja, pelo menos 21 empresas leram o questionário e a definição de simulação dada na folha de rosto do mesmo. Além disso, destas 21 empresas, 20 mostraram interesse em conhecer melhor a técnica, demonstrando o potencial de desenvolvimento da simulação no setor calçadista gaúcho.

Com respeito às condições computacionais das empresas, verificou-se que grande parte das indústrias já possui uma boa estrutura computacional, mas esta não é utilizada na solução de problemas via técnicas matemáticas.

- **Método Adaptado para o Desenvolvimento de um Projeto de Simulação**

O projeto piloto realizado foi desenvolvido utilizando-se um método que consistiu de oito etapas, e que foi adaptado das etapas apresentadas no capítulo 2 (Revisão Bibliográfica) como sendo a “espinha dorsal” para o desenvolvimento de um projeto de simulação. As etapas seguidas foram:

1. Formular o Problema
2. Educar o Grupo em Simulação
3. Definir um Modelo Conceptual
4. Construir o Modelo - Coletar Dados, Desenvolver o Modelo de Simulação
5. Simular o Modelo - Rodar o Modelo, Verificar o Modelo, Validar o Modelo
6. Fazer Rodadas Produtivas
7. Análise dos Dados de Saída
8. Apresentação dos Resultados e Implementação

- **Projeto Piloto**

Em termos de projeto piloto, a Grendene S.A. demonstrou interesse em realizar o projeto de simulação logo após a sua participação no seminário realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. No entanto, a identificação de uma empresa que aceitasse realizar o projeto não foi fácil, isto porque a maioria das empresas com as quais se mantinha contato não gostariam de ser a primeira empresa do setor a realizar um trabalho de simulação no Rio Grande do Sul. Por este motivo, mostravam-se indecisas e respondiam negativamente à proposta, afirmando que se alguma outra empresa implantasse a simulação, e esta desse certo, elas também iriam realizar um projeto no futuro.

O projeto piloto consistiu na simulação de uma esteira utilizada na montagem final de chinelos a serem exportados. Os objetivos da simulação eram de dimensionar a linha procurando balanceá-la, buscando alternativas para a forma como ela era disposta.

Além do projeto piloto, outro projeto foi desenvolvido na empresa após o término do primeiro, utilizando também o método apresentado acima. A elaboração e a execução destes projetos, mesmo que tivessem apenas o objetivo de divulgação sem se preocupar com a realização das últimas etapas do método, trouxeram benefícios à empresa. Um bom exemplo disto é o trabalho realizado com os indicadores da fábrica 5. É provável que estes indicadores jamais seriam questionados, trazendo sempre distorções nos resultados obtidos. O trabalho realizado buscou conscientizar os responsáveis pela fábrica que tais medidas de desempenho poderiam causar resultados indesejáveis, usando para isso exemplos criados no simulador para que estas distorções pudessem ser visualizadas por todos.

- **Avaliação da Potencialidade do Uso da Simulação**

Na fábrica 5 da Grendene, a simulação ajudou a verificar a utilidade do uso da esteira como meio de transporte dos tênis a serem costurados. Simulou-se a linha de costura com e sem a esteira, sendo os tênis passados de mão em mão na segunda situação. Demonstrou-se os resultados obtidos e pode-se concluir que a retirada da esteira transportadora poderia trazer melhoras significativas na produtividade da linha.

Os projetos desenvolvidos também ajudaram em aspectos conceituais, como por exemplo o conceito de variabilidade, e a diferença existente entre um processo de otimização e a simulação, bem como na revisão da própria idéia que a empresa tinha sobre o trabalho, isto é, rever os indicadores do processo, e algumas técnicas que são utilizadas durante anos e consideradas inalteráveis. Ao se iniciar o projeto, foi difícil para os participantes do trabalho entenderem a variabilidade do sistema e seu efeito no balanceamento de uma linha. Com a visualização na tela do computador do que pode ocorrer na realidade, ficou mais claro o problema que esta variação pode trazer ao sistema. Também a diferença da simulação e de uma técnica de otimização teve que ser discutida no início do projeto, tendo em vista que os participantes imaginavam que a simulação iria lhes dar o resultado ótimo para dimensionar suas linhas e ocupar seus funcionários. Quanto ao aspecto de revisão do trabalho, pôde-se demonstrar, com a ajuda da simulação, a necessidade da utilização de novos indicadores e a possível melhora da produtividade com a alteração de algumas técnicas utilizadas.

Um dos principais benefícios que estes projetos trouxeram foi a popularização da técnica. Com o andamento do trabalho, ficou claro para os participantes do grupo que a simulação não é uma ferramenta complexa que só alguns especialistas podem utilizar. Eles perceberam que eles próprios poderiam utilizá-la e trazer vantagens competitivas para sua empresa. Esta popularização pôde ser comprovada também, pelos pedidos de outros departamentos da empresa por projetos de simulação em seus sistemas produtivos.

Com estes benefícios já obtidos e com os resultados a serem ainda obtidos pela execução das etapas de Realização de Rodadas Produtivas, Análise dos Dados de Saída, e Apresentação dos Resultados e Implementação, a empresa resolveu adquirir o software para poder realizar outros projetos de simulação em sistemas que precisam de algum ajuste. Portanto, a situação atual da simulação na empresa é a seguinte: dados estão sendo coletados para se fazer as etapas finais do método, novos sistemas estão sendo estudados para serem simulados, e um software de simulação está sendo adquirido.

Como pôde ser demonstrado no projeto piloto; o potencial da utilização da simulação computacional em indústrias calçadistas é alto. A pesquisa exploratória, entretanto, apresentou um grande desconhecimento das empresas com respeito a esta técnica, comprovando portanto, a relevância da realização deste trabalho buscando desenvolver uma abordagem de divulgação da simulação no setor calçadista.

## **TRABALHOS FUTUROS**

Na seqüência do estudo, apresenta-se algumas idéias de trabalhos que poderiam ser desenvolvidos buscando complementá-lo:

- um trabalho completo de implantação de simulação no setor calçadista, procurando se fazer todas as etapas sugeridas no método de trabalho, já que neste trabalho algumas etapas do método não foram realizadas devido a seu caráter de divulgação;
- uma nova pesquisa para comprovar os resultados obtidos na pesquisa realizada neste trabalho, buscando seguir algumas técnicas de planejamento e avaliação de experimentos e de pesquisa de mercado, corrigindo alguns erros realizados durante sua execução. Esta mesma pesquisa pode ser utilizada para verificar o aumento do entendimento da técnica por parte das empresas após o trabalho de divulgação realizado no setor calçadista;
- uma pesquisa envolvendo outros setores industriais do Rio Grande do Sul e até de outros estados para verificar a utilização da simulação também nestes setores;
- um processo de divulgação dos resultados positivos alcançados na Grendene S.A., tendo em vista a preocupação das demais empresas contatadas para a realização do projeto piloto, de terem a comprovação dos benefícios que a simulação pode trazer.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAEX - Associação Brasileira dos Exportadores de Calçados e Afins. *Brazilian Footwear 94-95*, Novo Hamburgo, 1995.
- BOBLITZ, G. "Simulation eliminates need for an \$80,000 machine and conveyor investment." *Industrial Engineering*, mar. 1991, p. 26 - 28.
- CASSEL, R. A. "Utilização da simulação nos sistemas de manufatura." Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994.
- \_\_\_\_\_. "Simulation in the brazilian shoe making industries." *Anais do 7th European Simulation Symposium*, Erlangen, Alemanha, out. 1995, p. 85 - 88.
- \_\_\_\_\_. "Simulação no setor calçadista gaúcho." *Anais do XV Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção*, São Carlos - SP, set. 1995, vol. 3, p. 1310 - 1314.
- DIETZ, M. "Outline of a successful simulation project." *Industrial Engineering*, nov. 1992, p. 50 - 53.
- DWYER, J. & KORWIN, S. "Honeywell puts simulation to work in multiple arenas." *Industrial Engineering*, out. 1990, p. 33 - 36.
- FARRELL, P. S. E. "Micro Saint 1.2 Build D with ActionView - network simulation software package." *APICS - The Performance Advantage*, out. 1995.
- GOGG, T. J. & MOTT, J. R. A. *Improve quality and productivity with simulation*. Estados Unidos da América, JMI Consulting Group, 1992.



- GRAFF, G. "Simulating the factory - software helps avoid costly mistakes before equipment is installed." *High Technology*, set. 1986, p. 61 - 63.
- HOLLOCKS, B. "A well-kept secret? Simulation in manufacturing industry reviewed." *OR Insight*, out. - dez. 1992, p. 12 - 17.
- HURRION, R. D. "Visual interactive modelling." *European Journal of Operational Research*, 1986, p. 281 - 287.
- KELLER, L. & HARRELL, C. & LEAVY, J. "The three reasons why simulation fails." *Industrial Engineering*, abr. 1991, p. 27 - 31.
- LAW, A. M. "Simulation software for manufacturing applications: the next few years." *Industrial Engineering*, jun. 1990, p. 14 - 15.
- \_\_\_\_\_. "Simulation software for manufacturing applications (Part II)." *Industrial Engineering*, jul. 1990, p. 18 - 20 e 74.
- LAW, A. M. & HAIDER, S. W. "Selecting simulation software for manufacturing applications: practical guidelines & software survey." *Industrial Engineering*, mai. 1989, p. 33 - 46.
- LAW, A. M. & KELTON, W. D. *Simulation modeling & analysis*. Singapura, McGraw-Hill, 1991.
- LAW, A. M. & MCCOMAS, M. G. "How to select simulation software for manufacturing applications." *Industrial Engineering*, jul. 1992, p. 29 - 35.
- \_\_\_\_\_. "Secrets of successful simulation studies." *Industrial Engineering*, mai. 1990, p. 47 - 53 & 72 - 73.

- LAW, A. M. & MCCOMAS, M. G. & VINCENT, S. G. "The crucial role of input modeling in successful simulation studies." *Industrial Engineering*, jul. 1994, p. 55 - 57.
- LEE, Q. "Computer simulation improves production control for plastics firm", *Management Services*, May 1991.
- MATTAR, F. N. *Pesquisa de marketing: metodologia, planejamento, execução, análise*. São Paulo, Atlas, 1993.
- MENEZES, A. F. S. & RODRIGUES, L. H. "Breves considerações sobre a flexibilidade e o grau de especialização técnica das ferramentas de simulação computacional." Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.
- MENEZES, A. F. S. & RIBEIRO, J. L. D. "Simulação e geradores de números aleatórios: testando o Micro Saint." *Anais do XV Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção*, São Carlos - SP, set. 1995, vol. 3, p. 1305 - 1309.
- MOTT, J. & TUMAY, K. "Developing a strategy for justifying simulation." *Industrial Engineering*, jul. 1992, p. 38 - 42.
- NORMAN, V. B. "Asking 'What If?' - real answers from simulation software." *Manufacturing Systems*, jan. 1991, p. 6 - 8.
- \_\_\_\_\_. "Future directions in manufacturing simulation." *Industrial Engineering*, jul. 1992, p. 36 - 37.
- NWOKE, B. U. & NELSON, D. R. "An overview of computer simulation in manufacturing." *Industrial Engineering*, jul. 1993, p. 43 - 45.
- PIDD, M. *Computer simulation in management science*. Grã-Bretanha, John Wiley & Sons, 1992.

- PRITSKER, A.A.B. & SIGAL, C.E. & HAMMESFAHR, R.D.J. "Modeling and simulation process." *SLAM II Network Models for Decision Support*, Estados Unidos da América, Prentice Hall, 1989, p. 15 - 31.
- PULAT, M. & PULAT, S. "Exploring the dimensions of a 3-D competitive manufacturing model." *Industrial Engineering*, jul. 1991, p. 39 - 42.
- RODRIGUES, L. H. *Developing an approach to help companies synchronise manufacturing*, Dissertação de Doutorado, Lancaster University, Inglaterra, 1994.
- ROGERS, P. & FLANAGAN, M. T. "On-line simulation for real-time scheduling of manufacturing systems." *Industrial Engineering*, dez. 1991, p. 37 - 40.
- SHELASIN, R. E. A. & MAUER, J. L. "Creating flexible." *IIE Solutions*, mai. 1995, p. 50 - 67.
- SCHRUBEN, L. W. *SIGMA - graphical simulation modeling*. Estados Unidos da América, The Scientific Press, 1992.
- SWAIN, J. "World of choices." *OR/MS Today*, out. 1991, p. 81 - 102.
- SZYMANKIEWICZ, J. & MCDONALD, J. & TURNER, K. *Solving business problems by simulation*. Grã-Bretanha, McGraw-Hill Book Company, 1988.
- THESEN, A. & TRAVIS, L. E. *Simulation for decision making*. Estados Unidos da América, West Publishing Company, 1992.
- THOMPSON, M. B. "Don't just simulate, emulate!" *Manufacturing Systems*, mai. 1992, p. 52 - 56.

- WADSACK, K. & TOBIAS, A. "Stimulating good simulation - improved decision support systems are needed to help practitioners to ensure experimental validity." *OR Insight*, mar. 1994, vol. 7, p. 28 - 31.
- WALDE, E. "Computer simulation in manufacturing." *Production and Inventory Management Journal*, segundo trimestre 1991, p. 80 - 83.
- WATSON, H.J. & BLACKSTONE, J.H., Jr. *Computer simulation*. Singapura, John Wiley & Sons, 1989.
- WILBANKS, J. & STAFFORD, E. F. & SCHROER, B. J. "Simulation improves firm's competitive edge and increases productivity." *Industrial Engineering*, jan. 1990, p. 32 - 38.
- WILD, W. G., Jr. & PORT, O. "This video 'game' is saving manufacturers millions." *Business Week*, ago. 1987.

# **ANEXO I**

## **QUESTIONÁRIO DA PESQUISA SOBRE SIMULAÇÃO**

## Caro Senhor

Pertencemos ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e estamos realizando uma pesquisa sobre o conhecimento e a penetração da simulação nas empresas calçadistas gaúchas. A seguir apresentamos algumas informações sobre simulação e um questionário que gostaríamos que o senhor respondesse e remetesse de volta usando o envelope de resposta incluído nesta correspondência. O envelope de reposta já está selado e endereçado, sendo necessário somente lacrá-lo e enviá-lo pelo correio.

Este trabalho de pesquisa gerará dados que serão futuramente publicados, e estarão à disposição de quem estiver interessado.

Desde já agradecemos seu interesse e sua colaboração.

### *Simulação*

Todos já ouvimos falar em simulação ou em simuladores. Quem já não ouviu falar em simuladores de vôo, ou em programas de computador que jogam xadrez simulando as jogadas de um jogador famoso, ou até mesmo em simuladores de sistemas industriais. Todos eles têm uma coisa em comum: tentam representar uma parte da realidade.

Simulação é, portanto, uma técnica para representar uma parte da realidade através de programas computacionais e que tem as seguintes características:

- é dinâmica: ela se modifica com o passar do tempo de simulação;
- é estocástica: ela apresenta variáveis aleatórias, as quais são tratadas através de ferramentas estatísticas;
- é discreta: as variáveis internas que ela usa são inteiras, por exemplo: não se pode produzir meio sapato.

Neste trabalho estamos interessados nos softwares de simulação de sistemas de manufatura. Eles estão divididos em duas grandes classes: as linguagens de simulação e os simuladores de manufatura.

As linguagens de simulação são softwares que permitem que se modele quase todos os tipos de manufaturas, porém são softwares que necessitam de bons programadores e de um tempo maior de programação.

Já os simuladores de manufatura são softwares mais rígidos onde não se pode modelar todas as configurações de manufaturas. Mas eles são bem mais fáceis de serem programados, não necessitando de pessoal especializado e nem de muito tempo de programação.

As vantagens que a simulação pode trazer são enormes. A simulação pode testar, em pouco tempo, modificações no sistema de manufatura que levariam dias ou até meses para serem testados no chão-de-fábrica. A simulação pode prever se a compra de certo equipamento trará vantagens para a empresa, poupando assim, dinheiro na compra de equipamentos desnecessários. Com isso, pode-se perceber que a simulação evita gastos desnecessários e faz com que a empresa ganhe mais tempo, fator estratégico importantíssimo nos mercados atuais.

Para maiores esclarecimentos sobre simulação, sobre o questionário, sobre a pesquisa, e quaisquer outras dúvidas que possam ocorrer, favor ligar para o fone 228-1633 (UFRGS) ramal 3545, e falar com o Prof. Luís Henrique Rodrigues e/ou com Ricardo Augusto Cassel.

## Questionário da Pesquisa sobre o Conhecimento e a Penetração da Simulação no Ramo Calçadista Gaúcho

### 1. Caracterização da empresa:

1.1) Qual a razão social da empresa?

\_\_\_\_\_

1.2) Qual a data de fundação da empresa? \_\_\_\_\_

1.3) Qual o número de funcionários que a empresa possui:

menos de 50

51 a 100

mais de 200

1.4) A maioria da produção da empresa é para o mercado:

interno

externo

1.5) Qual a quantidade média de pares produzidos por mês pela empresa?

\_\_\_\_\_

1.6) Qual o faturamento médio mensal da empresa?

\_\_\_\_\_

1.7) Quais os itens que a empresa produz?

sapatos masculinos

bolsas

sapatos femininos

sacolas

tênis

cintos

sandálias

outros Quais? \_\_\_\_\_

### 2. Informações gerais sobre a empresa:

2.1) A empresa possui um setor de processamento de dados?

sim

não

## 2. Informações gerais sobre a empresa:

2.2) Se sua empresa possui um setor de processamento de dados, qual o tipo de computadores utilizados?

- PC
- Work Station
- Micro

2.3) A empresa utiliza técnicas matemáticas para a resolução de problemas?

- sim
- não

Caso sua resposta tenha sido *SIM*:

Que técnicas são utilizadas?

---

Quais os tipos de problemas são resolvidos?

---

---

## 3. Informações sobre simulação:

3.1) Você conhecia a definição de simulação dada na folha de rosto?

- sim
- não

3.2) Você conhece algum simulador de manufatura?

- sim
- não

Caso sua resposta tenha sido *SIM*, qual(is)?

---

3.3) Já houve algum projeto de simulação desenvolvido em sua empresa?

- sim
- não

Caso sua resposta tenha sido *SIM*, quais os problemas que se tentou resolver?

---



### 3. Informações sobre simulação:

3.4) A empresa utiliza ou utilizou algum tipo de software para simulação?

sim

não

Caso sua resposta tenha sido *SIM*, quais os softwares utilizados?

\_\_\_\_\_

3.5) Você acha que a simulação pode trazer vantagens para a empresa?

sim

não

Caso sua resposta tenha sido *SIM*, que tipo de vantagens você acha que a simulação poderia trazer?

\_\_\_\_\_

3.6) Quais as principais funções da empresa que você acha que poderiam ser simuladas?

\_\_\_\_\_

3.7) Tendo em vista que o preço de um pacote de simulação varia entre \$500 e \$80.000 dólares e que a qualidade do produto está diretamente relacionada ao preço do mesmo, qual o valor máximo que sua empresa pagaria por um destes pacotes?

\_\_\_\_\_

3.8) Quais as características que você desejaria de um simulador?

Assinale uma das alternativas de cada grupo de duas:

<input type="checkbox"/> rapidez e pouca animação visual	ou	<input type="checkbox"/> animação visual e lentidão
--	----	---

<input type="checkbox"/> flexível e difícil de programar	ou	<input type="checkbox"/> facilidade de programação e mais específico
--	----	--

3.9) Você e sua empresa estariam interessados em conhecer mais sobre simulação?

sim

não

## **ANEXO II**

### **EXPLICAÇÕES SOBRE A FILA E A FOLGA DO MODELO DO PROJETO PILOTO**

## Principais Variáveis de Entrada do Modelo

- **temp\_est**: tempo entre duas posições iguais (ex.: 1 e 1) da esteira;
- **celulas**: número de células (ou posições) a serem usadas no processo (de 1 a 12);
- **esteira**:  $\text{esteira} = \text{temp\_est} / \text{celulas}$ ; é o tempo entre duas células consecutivas que estão sendo utilizadas;
- **operador02 (04, 06, ..., 28)**: número de operadores nas operações 02 (04, 06, ..., 28);
- **lote**: número de chinelos a serem processados no lote.

## A Fila

Para se poder modelar o sistema proposto, foi necessário preocupar-se com a possível formação de filas, ou seja, o não acompanhamento da esteira por parte do operador. Isto pode ocorrer caso a velocidade da esteira não esteja convenientemente dimensionada para os tempos das operações a serem realizadas. Como a simulação cria cenários diferentes para verificar qual deles é o melhor, era provável que algum destes cenários viesse a ter problemas com o tempo da esteira, sendo portanto necessário que se desse atenção a este fato. Assim sendo, sentiu-se a necessidade de verificar como a formação de filas era tratada na linha de produção.

As informações necessárias foram conseguidas com conversas com os responsáveis pela linha e com algumas observações. Conclui-se que a fila não era formada na realidade. O que acontecia era que, caso algum operador perdesse o tempo da esteira, o par seguinte àquele que ele não conseguia trabalhar por falta de tempo era devolvido ao início da linha e todas operações eram realizadas novamente naquele par.

Isto levou a crer que o modelo, inicialmente imaginado como uma grande linha de montagem, tornar-se-ia uma imensa malha de realimentações, pois cada uma das operações teria que ter um caminho de volta ao início da linha.

No entanto, ao se raciocinar sobre o que acontecia na realidade, percebeu-se que, para os objetivos do modelo, não seria necessário modelar todas estas realimentações. Isto, porque o tempo total de produção não seria alterado caso se fizesse o par seguinte àquele não acabado esperar na fila da operação ao invés de retornar ao início da linha. A única mudança que isto acarretaria era a não necessidade dos operadores do início da linha retrabalhar o par retornado, pois este ficaria com o operador que não conseguiu trabalhá-lo.

Isto pode ser verificado no exemplo a seguir:

Tem-se quatro operações: operação A, operação B, operação C e operação D.

O tempo de esteira é de 10 segundos e que o lote a ser produzido é de 8 unidades.

Se o operador da operação C não conseguir acabar o par 4 dentro dos 10 segundos, o que acontecerá na realidade é o seguinte:

- ao tentar chegar à operação C, o par 5 será bloqueado, pois o par 4 ainda não está pronto. Assim, ele será devolvido pelo supervisor da linha à operação 1 e passará por todas as operações novamente, como pode ser visto no gráfico a seguir.

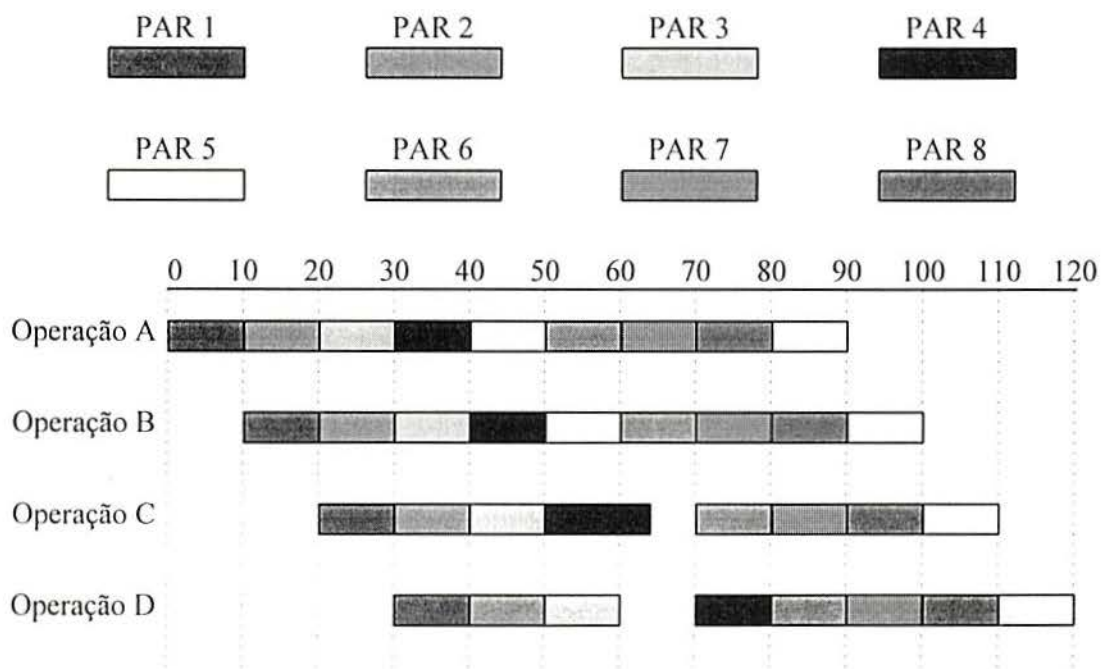


FIGURA II.1: GRÁFICO DE GANT DO SISTEMA REAL

Já no modelo criado, acontecerá o seguinte:

- foi criada uma fila em frente à operação C. Assim, quando o par 5 chega à operação C e esta está ocupada, ele vai para a fila e espera até que a operação esteja livre. O mesmo acontece com os demais pares, tendo em vista que todo o processo foi atrasado em 10 segundos.

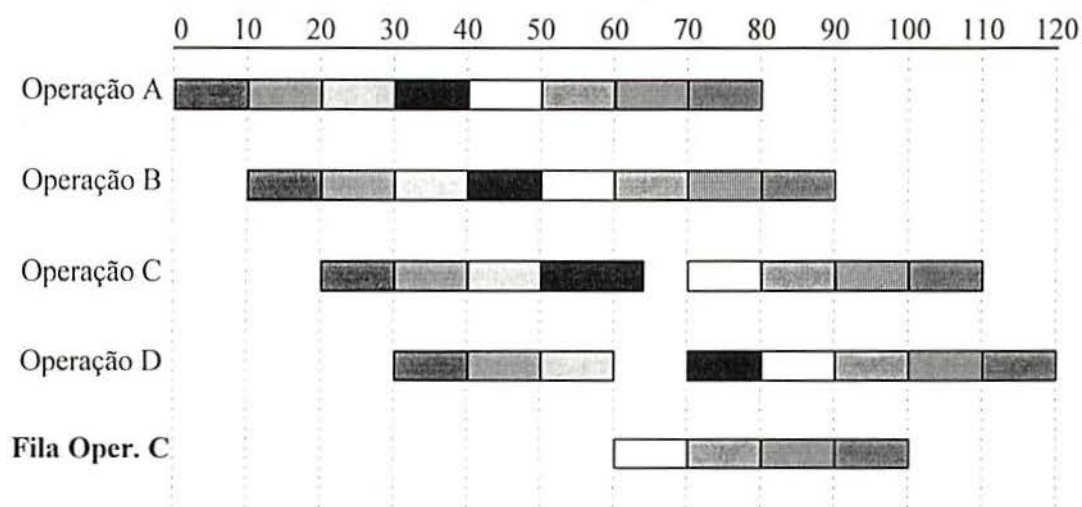


FIGURA II.2: GRÁFICO DE GANT DO MODELO CRIADO

Percebe-se que tanto no modelo quanto na realidade o tempo total de produção do lote foi de 120 segundos, mostrando que a simplificação feita no modelo de nada interferiu nos resultados da simulação.

### A Folga

O problema principal na modelagem do sistema proposto consiste em conciliar as operações, que têm um tempo variável, com a esteira, que tem um tempo fixo de passagem por cada posto, isto porque o operador só pode colocar o chinelo na célula a ele determinada. Com isso, teve-se que criar para cada operação duas “tasks”, sendo uma o tempo de operação em si, juntamente com seu desvio-padrão, e outra, com uma folga para que o tempo da esteira ficasse fixo. Assim, tem-se o seguinte:



FIGURA II.3: REPRESENTAÇÃO DA OPERAÇÃO E DE SUA FOLGA

O tempo da folga da operação será função do tempo da esteira e do tempo da operação. Como o tempo da operação não é fixo devido a seu desvio-padrão, não se pode determinar um tempo fixo para a folga. Assim, criou-se uma função para determinar o tempo da folga, que faz o seguinte:

- divide a espera pelo tempo de célula, para se saber quantos ciclos de esteira durou a tarefa;
- pega a parte inteira da divisão;
- adiciona-se uma unidade a parte inteira da divisão, tendo-se assim o valor do número de ciclos da esteira que durou a tarefa arredondado para cima;
- este valor é multiplicado pelo tempo de célula, para se saber o tempo total que o chinelo levou sofrer a operação mais o tempo que ele esperou pela esteira;
- do valor da multiplicação se subtrai o tempo que a operação durou, ou seja, a espera, para obter somente o tempo de folga.

A função obtida foi a seguinte:

$$\text{tempo de folga} = \left[ \text{truncate} \left( \frac{\text{espera}}{\text{tempo de célula}} \right) + 1 \right] \times \text{tempo de célula} - \text{espera}$$

$$\text{espera} = \text{duration}$$

onde *duration* é uma função do software que determina o tempo que durou a “task”.

Exemplo:

- se o tempo de célula é 10 segundos;

- se a operação durar 16 segundos, ou seja,  $\text{espera} = 16$  segundos;

tem-se então:

$$\text{tempo de folga} = \left[ \text{truncate}\left(\frac{16}{10}\right) + 1 \right] \times 10 - 16$$

$$\text{tempo de folga} = \left[ \text{truncate}(1,6) + 1 \right] \times 10 - 16$$

$$\text{tempo de folga} = [1 + 1] \times 10 - 16$$

$$\text{tempo de folga} = 20 - 16$$

$$\text{tempo de folga} = 4$$

Porém, se a operação tiver um chinelo na fila, o tempo de fila do chinelo também deve ser considerado no cálculo do tempo de folga, pois este tempo é um tempo a mais que o chinelo permaneceu fora da esteira. Assim, deve-se somar o tempo da operação com o tempo que o chinelo permaneceu na fila da operação:

$$\text{tempo de folga} = \left[ \text{truncate}\left(\frac{\text{espera}}{\text{tempo de cé lula}}\right) + 1 \right] \times \text{tempo de cé lula- espera}$$

$$\text{espera} = \text{duration}(\text{task}) + \text{filaesp}$$

$$\text{filaesp} = \text{duration}(\text{fila})$$

onde *duration* é uma função do software que determina o tempo que durou a “task” ou o tempo que o chinelo permaneceu na fila.

Exemplo:

- se o tempo de célula é 10 segundos;
- se a operação durar 16 segundos;



- se o chinelo permanecer 6 segundos na fila da operação, ou seja,  $fila_{esp} = 6$ ;

tem-se então:

$$espera = 16 + 6$$

$$espera = 22$$

$$\text{tempo de folga} = \left[ \text{truncate}\left(\frac{22}{10}\right) + 1 \right] \times 10 - 22$$

$$\text{tempo de folga} = \left[ \text{truncate}(2,2) + 1 \right] \times 10 - 22$$

$$\text{tempo de folga} = [2 + 1] \times 10 - 22$$

$$\text{tempo de folga} = 30 - 22$$

$$\text{tempo de folga} = 8$$

Também tem-se que ter cuidado com o fato de poder existir fila na folga da operação. Se isto ocorrer, pode-se considerar o tempo de folga do chinelo que está na fila como sendo igual ao tempo de célula, pois o instante em que este chinelo sair da fila e entrar na folga será também o instante em que o chinelo anterior a ele sairá da folga. Portanto, deve-se colocar uma restrição no tempo da folga que é:

tempo de folga:

if  $fila_{esp}(folga) \neq 0$  then tempo de célula

$$\text{else} \left[ \text{truncate}\left(\frac{espera}{\text{tempo de célula}}\right) + 1 \right] \times \text{tempo de célula} - espera$$

$$fila_{esp}(folga) = \text{duration}(fila)$$

onde  $fila_{esp}(folga)$  é o tempo que o chinelo permaneceu na fila da folga.

Como o modelo será um modelo genérico no qual se poderá criar vários cenários para os mais diferentes tipos de lotes de produção, e sabendo-se que para estes diferentes cenários o número de operações poderá mudar, decidiu-se que o modelo genérico possuiria todas as operações que poderiam ocorrer na linha de montagem. Assim, quando se quiser definir um modelo com um número menor de operações, as operações inexistentes terão seus tempos zerados. Porém, sempre que isto fosse feito, ter-se-ia que zerar também os tempos de folga correspondentes, o que geraria um trabalho a mais. Para isto, colocou-se mais uma restrição no tempo da folga dizendo que se o tempo da operação for zero o tempo da folga também o será.

tempo de folga:

```

if filaesp(folga) ≠ 0 then tempo de célula else
if espera > 0 then  $\left[ \text{truncate} \left( \frac{\text{espera}}{\text{tempo de célula}} \right) + 1 \right] \times \text{tempo de célula} - \text{espera}$  else 0

```

Exemplo da folga:

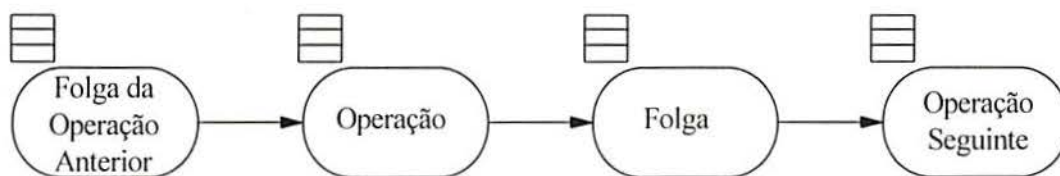


FIGURA II.4: EXEMPLO DA FOLGA

TEMPO DE CÉLULA = 10 segundos

Os tempos de operação e de chegada são os seguintes:

CHINELO	TEMPO DE PROCESSAMENTO	CLOCK DA CHEGADA DO CHINELO NA FILA DA OPERAÇÃO
1	7 segundos	10 segundos
2	11 segundos	20 segundos
3	6 segundos	30 segundos
4	13 segundos	40 segundos
5	12 segundos	50 segundos

TABELA II.1: TEMPOS DE OPERAÇÃO E DE CHEGADA DOS CHINELOS

Com estes tempos podemos calcular todas as informações necessárias de cada chinelo, como por exemplo do chinelo 1:

- tem-se a informação que o clock da chegada do chinelo 1 na operação é 10 s;
- como ele é o primeiro chinelo a chegar, ninguém estará na operação. Assim, ele não precisa ficar na fila esperando, portanto seu tempo de espera na fila da operação é zero;
- seu tempo de processamento é de 7 s, portanto o clock na saída do chinelo 1 da operação é 17 s;
- o chinelo 1 não precisa ficar esperando na fila da folga, pois ele é o primeiro chinelo a chegar;
- como a chinelo 1 não precisa esperar na fila da folga, deve-se calcular o tempo que ele precisa permanecer na folga:

$$\text{tempo de folga} = \left[ \text{truncate}\left(\frac{7}{10}\right) + 1 \right] \times 10 - 7$$

tempo de folga = 10 - 7

tempo de folga = 3 s

- assim, o chinelo sairá da folga no clock igual a 20 segundos.

Estes cálculos devem ser repetidos para todos os chinelos, prestando atenção na existência de filas. Com todos os dados calculados pode-se obter a seguinte tabela:

XXXXXXXXXXXX	Chinelo 1	Chinelo 2	Chinelo 3	Chinelo 4	Chinelo 5
Clock na Chegada da Operação	10	20	30	40	50
Tempo de Espera na Fila da Operação	-	-	1	-	3
Tempo de Processamento	7	11	6	13	12
Clock na Saída da Operação	17	31	37	53	65
Tempo de Espera na Fila da Folga	-	-	3	-	-
Tempo na Folga	3	9	10	7	5
Clock na Saída da Folga	20	40	50	60	70

TABELA II.2: TEMPOS DE CADA CHINELO

Com esta tabela, podemos traçar um Gráfico de Gant do que aconteceu na operação, na folga, na fila da operação e na fila da folga, com cada um dos chinelos:

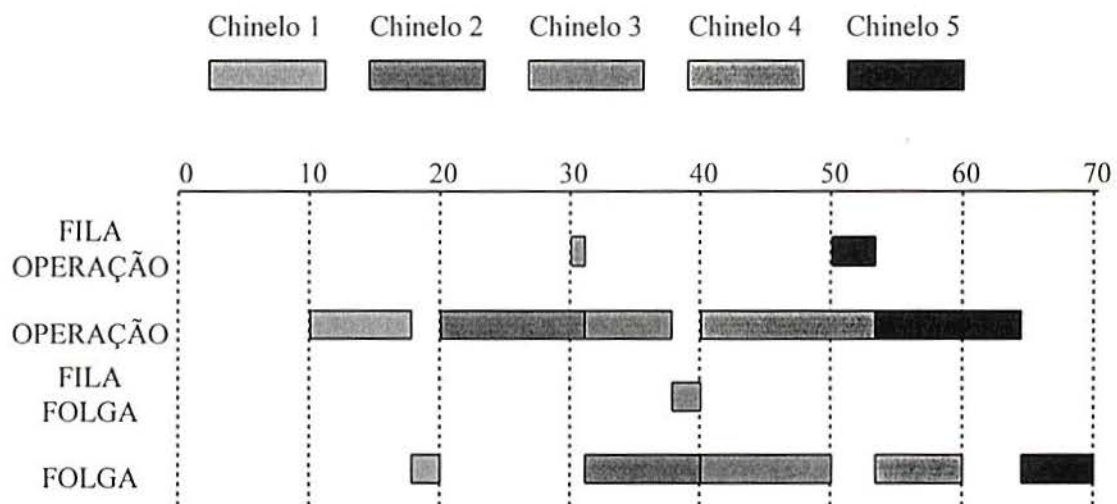


FIGURA II.5: GRÁFICO DE GANT DO EXEMPLO

## **ANEXO III**

**DISQUETE COM OS MODELOS CRIADOS  
DURANTE O ESTUDO DE CASO**

## **ANEXO IV**

**EXPLICAÇÕES SOBRE OS INDICADORES UTILIZADOS  
PELA GRENDENE, OS INDICADORES PROPOSTOS E  
SIMULAÇÕES COMPARATIVAS**

## I - Descrição do Método Grendene

A Grendene utilizava, em sua fábrica 5, um método baseado em tempos-padrão para dimensionar a linha buscando uma maior eficiência. Este método é explicado a seguir.

Suponha-se que se tenha a seguinte linha de montagem:

OPERAÇÃO	TEMPO-PADRÃO (pares/hora)
1	40
2	20
3	40
4	30
5	60
6	40

TABELA IV.1: TEMPOS-PADRÃO

Como os tempos-padrão estão indicados em pares por hora, para poder-se calcular o padrão do número de pares por hora por costureira, deve-se fazer o inverso deste número para se obter o tempo (em horas) para a produção de um par. Assim, tem-se:

$$\text{tempo operação1} = \frac{1}{40} = 0,025 \text{ horas/ par} \quad \text{tempo operação2} = \frac{1}{20} = 0,05 \text{ horas/ par}$$

$$\text{tempo operação3} = \frac{1}{40} = 0,025 \text{ horas/ par} \quad \text{tempo operação4} = \frac{1}{30} = 0,033 \text{ horas/ par}$$

$$\text{tempo operação5} = \frac{1}{60} = 0,016 \text{ horas/ par} \quad \text{tempo operação6} = \frac{1}{40} = 0,025 \text{ horas/ par}$$



Somando-se estes tempos, obtém-se o tempo total para que uma costureira produza um par, que é:

$$\text{tempo total} = 0,025+0,05+0,025+0,033+0,016+0,025 = 0,175 \text{ horas/par}$$

Porém, o que se deseja saber é o número de pares por hora por costureira. Para isso, deve-se inverter o valor acima, obtendo-se o padrão do número de pares produzidos por hora por costureira:

$$\text{padrão} = \frac{1}{0,175} = 5,7 \text{ pares/hora.costureira}$$

Necessita-se ainda, calcular o número necessário de costureiras em cada operação. Para isso, tem-se que estimar o número de pares a serem produzidos por dia. O valor que se estimará é de 300. Assim, pode-se calcular o número necessário de costureiras dividindo-se a produção diária estimada pelo número de horas trabalhadas por dia (8,5 horas) e pelo tempo-padrão (em pares por hora) da operação. Obtém-se o seguinte:

Operação 1

$$\text{costureiras} = \frac{300}{8,5 \times 40} = 0,88 \text{ cost.}$$

Operação 2

$$\text{costureiras} = \frac{300}{8,5 \times 20} = 1,76 \text{ cost.}$$

Operação 3

$$\text{costureiras} = \frac{300}{8,5 \times 40} = 0,88 \text{ cost.}$$

Operação 4

$$\text{costureiras} = \frac{300}{8,5 \times 30} = 1,18 \text{ cost.}$$

Operação 5

$$\text{costureiras} = \frac{300}{8,5 \times 60} = 0,59 \text{ cost.}$$

Operação 6

$$\text{costureiras} = \frac{300}{8,5 \times 40} = 0,88 \text{ cost.}$$

Com os dados calculados, pode-se montar a seguinte tabela:

Operação	Tempo-Padrão (pares/hora)	Costureiras Necessárias	Real (costureiras)
1	40	0,88	1
2	20	1,76	2
3	40	0,88	1
4	30	1,18	2
5	60	0,59	1
6	40	0,88	1

TABELA IV.2: NÚMERO DE COSTUREIRAS POR OPERAÇÃO

Padrão = 5,71 pares/hora.costureira

onde:

1ª coluna é o número da operação;

2ª coluna é o tempo-padrão da operação, em pares por hora;

3ª coluna é o número necessário de costureiras na operação.

A 4ª coluna é um arredondamento da 3ª coluna, pois não pode-se ter um número fracionário de costureiras. Este arredondamento é feito normalmente para cima, pelo fato de que um arredondamento para baixo causaria o engargalamento do processo naquela operação e, por conseguinte, uma não produção do número de pares pretendido.

Para que se consiga produzir o número de pares estimado, também é necessário que se calcule o tempo entre os movimentos da esteira. Para isso, deve-se considerar, além do

número de pares a serem produzidos em um dia, o tempo que se trabalha no dia e o lote de transferência utilizado (neste caso, 20 pares). Este valor é calculado da seguinte forma:

→ calcular o tempo em segundos que se trabalha por dia

$$\text{tempo} = 8,5 \text{ horas} \times 3600 \text{ segundos} = 30600 \text{ segundos}$$

→ calcular o número de lotes que devem ser produzidos em um dia

$$\text{n}^\circ \text{ de lotes} = \text{produção/tamanho do lote} = 300/20 = 15 \text{ lotes}$$

→ calcular o tempo da esteira

$$\text{tempo da esteira} = \text{tempo/n}^\circ \text{ de lotes} = 30600/15 = 2040 \text{ segundos}$$

Com os dados que se tem, pode-se calcular a eficiência do processo. Para tal, deve-se dividir o número estimado de pares a ser produzido por dia, pelo número de horas a serem trabalhadas e pelo número de costureiras utilizadas, a fim de se obter a produção por hora por costureira:

$$\text{produção estimada} = 300 \text{ pares/dia} \quad \text{número de costureiras} = 8$$

$$\text{número de horas a serem trabalhadas} = 8,5 \text{ horas/dia}$$

$$\text{produtividade} = \frac{300}{8,5 \times 8} = 4,41 \text{ pares / hora.costureira}$$

Este valor é então dividido pelo padrão e obtém-se a eficiência. Assim, temos:

$$\text{eficiência} = \frac{\text{produtividade}}{\text{padrão}} = \frac{4,41}{5,71} = 77,2\% \quad \text{(Simulação 1)}$$

## II - Análise do Método

### A) Problemas de Super-Eficiência

Percebe-se que a operação 4 tem a necessidade de 1,18 costureiras e que se havia arredondado este número para duas costureiras. Modificando-se este valor e colocando-se apenas uma costureira, fazendo com que ela trabalhe um pouco mais que 100%, ter-se-á a seguinte eficiência:

300 pares/dia

$$\text{costureiras} = 1+2+1+1+1+1 = 7$$

8,5 horas/dia

$$\text{produtividade} = \frac{300}{8,5 \times 7} = 5,04 \text{ pares / hora.costureira}$$

$$\text{eficiência} = \frac{\text{produtividade}}{\text{padrão}} = \frac{5,04}{5,71} = 88,3\% \quad (\text{Simulação 2})$$

Considerando-se ainda que, devido ao aprendizado da operação ao longo do tempo, as costureiras da operação 2 tenham melhorado seus tempos. Desta forma, necessita-se apenas de uma costureira para esta operação. Tem-se então, a seguinte eficiência:

300 pares/dia

$$\text{costureiras} = 1+1+1+1+1+1 = 6$$

8,5 horas/dia

$$\text{produtividade} = \frac{300}{8,5 \times 6} = 5,88 \text{ pares / hora.costureira}$$

$$\text{eficiência} = \frac{\text{produtividade}}{\text{padrão}} = \frac{5,88}{5,71} = 103\% \quad (\text{Simulação 3})$$

Verifica-se que algo está errado no resultado, pois conseguiu-se alcançar uma eficiência acima de 100%. Isto se deve ao fato de serem usados os valores antigos dos tempos para os cálculos, pois nos cálculos reais, o valor do padrão não é recalculado. Assim, encontramos mais um problema que é o de atualização dos tempos.

## B) Atualização dos Tempos

### 1ª Situação

Suponha-se que os tempos das operações tenham melhorado, devido ao aprendizado obtido ao longo do tempo. Estes tempos são agora:

OPERAÇÃO	TEMPO-PADRÃO (pares/hora)
1	50
2	40
3	45
4	40
5	60
6	50

TABELA IV.3: NOVOS TEMPOS-PADRÃO

Com base nos novos tempos, calcula-se o valor do padrão:

$$padr\tilde{a}o = \frac{1}{\frac{1}{50} + \frac{1}{40} + \frac{1}{45} + \frac{1}{40} + \frac{1}{60} + \frac{1}{50}} = 7,76 \text{ pares/hora.costureira}$$

O número de costureiras necessárias será o seguinte:

Operação	Tempo Padrão (pares/hora)	Costureiras Necessárias	Real (costureiras)
1	50	0,71	1
2	40	0,88	1
3	45	0,78	1
4	40	0,88	1
5	60	0,59	1
6	50	0,71	1

TABELA IV.4: NÚMERO DE COSTUREIRAS POR OPERAÇÃO

Calculando a eficiência, tem-se:

300 pares/dia

costureiras = 1+1+1+1+1+1 = 6

8,5 horas/dia

$$produtividade = \frac{300}{8,5 \times 6} = 5,88 \text{ pares / hora.costureira}$$

$$eficiência = \frac{produtividade}{padrão} = \frac{5,88}{7,76} = 75,8\% \quad (\text{Simulação 4})$$

Comparando-se este valor com o valor da eficiência obtido antes da melhoria dos tempos, verifica-se que mesmo melhorando o processo, a eficiência permaneceu praticamente a mesma (77,2% para 75,8%) enquanto que a produtividade aumentou de 4,41 para 5,88.

Porém, se os valores antigos forem mantidos para o cálculo da eficiência, teremos os 103% conseguidos anteriormente.

## 2ª Situação

Com estes tempos se poderia, usando as mesmas oito costureiras usadas com os tempos antigos, fazer 340 pares/dia sem qualquer problema. Porém, se a estimativa de produção continuar sendo de 300 pares/dia, o aumento de produção não se refletirá no valor da eficiência, pois esta continuará sendo calculada sobre o valor de 300 pares/dia. Assim, se teria a produção maior, mas a eficiência continuaria a mesma. **(Simulação 5)**

### **C) Problema ESTIMADO X REAL**

Além deste problema, percebe-se ainda outro. Todos os cálculos de eficiência são feitos com base em números estimados. Tanto o tempo padrão (neste caso 5,71), quanto a produção (neste caso 300), são números que não refletem o que está realmente acontecendo na linha de montagem. Portanto, caso se tenha algum problema na linha, este não se refletirá no índice de eficiência, pois os números utilizados no cálculo continuarão sendo 300 e 5,71.

Isso pode ser percebido caso se dimensione a linha para que uma ou mais costureiras trabalhem 100% do tempo, o que a princípio seria bom. Porém, deve-se ter cuidado, pois todos os processos têm alguma variabilidade, ou seja, algumas vezes as costureiras que deveriam trabalhar 100% do tempo vão levar um pouco mais de tempo para produzir os 20 pares e, então, perderão a esteira e deixarão a linha parada por 2040 segundos. Para explicar isto melhor, se fará um exemplo no simulador. Para tanto, considerar-se-á que a produção estimada seja de 340 pares por dia. Portanto, a esteira deverá ter o tempo de 1800 segundos, e as necessidades de costureira de cada operação serão de:

#### Operação 1

$$\text{costureiras} = \frac{340}{8,5 \times 40} =$$

#### Operação 2

$$\text{costureiras} = \frac{340}{8,5 \times 20} = 2$$

#### Operação 3

$$\text{costureiras} = \frac{340}{8,5 \times 40} =$$

#### Operação 4

$$\text{costureiras} = \frac{340}{8,5 \times 30} = 1,33$$

### Operação 5

$$\text{costureiras} = \frac{340}{8,5 \times 60} = 0,66$$

### Operação 6

$$\text{costureiras} = \frac{340}{8,5 \times 40} =$$

Com isso pode-se calcular a eficiência:

340 pares/dia

$$\text{costureiras} = 1+2+1+2+1+1 = 8$$

8,5 horas/dia

$$\text{produtividade} = \frac{340}{8,5 \times 8} = 5 \text{ pares / hora. costureira}$$

$$\text{eficiência} = \frac{\text{produtividade}}{\text{padrão}} = \frac{5}{5,71} = 87,6\% \quad \text{(Simulação 6)}$$

Esta eficiência foi calculada com base em uma produção estimada de 340 pares/dia. Porém, pode-se verificar no simulador que os 340 pares não foram feitos durante o dia, mas sim um valor menor que este, o que significa que a eficiência foi menor que a calculada.

Analisando-se este exemplo, verifica-se que a produção diminui pelo fato da(s) costureira(s) não conseguir acompanhar a esteira, pois, mesmo ela tendo o tempo de produção igual ao da esteira, ela possui uma variação no seu tempo que a esteira não tem.

Assim surgem duas novas situações:

- 1) Aumenta-se o tempo da esteira (diminuindo sua velocidade), dando uma folga para a costureira e conseqüentemente diminuindo a produção;
- 2) Deixa-se a esteira na velocidade que está e tem-se a produção diminuída pela variabilidade da costureira.



No entanto, pode-se resolver este problema sem usar qualquer uma das situações acima. Para isso, tem-se que mudar uma pequena idéia que já está na cultura do processo, que é a utilização da esteira.

Tem-se, portanto, os seguintes problemas:

- distorções da eficiência
- falta de atualização dos tempos
- estimativa do volume produzido
- uso da esteira

## **PROPOSTA**

Do ponto de vista das melhorias de produtividade nos processos produtivos, propriamente ditos, os medidores de desempenho a nível gerencial devem conduzir ao aumento da eficiência do processo produtivo, ou seja, o aumento do volume produzido por unidade de tempo real ou a diminuição do número de operadoras produzindo o mesmo volume.

A utilização de apenas um indicador relativo não satisfaz a necessidade gerencial de avaliar a grandeza absoluta da produção.

Propõe-se, então, a adoção de três indicadores de desempenho:

- Um indicador de eficácia que calcule a relação entre o número de pares produzidos na realidade e o número de pares estimados.
- Um indicador de produtividade que determine o número de pares produzidos na realidade por hora.homem.

- Um indicador de ocupação que calcule a relação entre o tempo trabalhado pelo operador e o tempo total de trabalho. Este indicador é calculado para cada operador.

## A ESTEIRA

Um outro assunto que poderia ser considerado para a melhoria do processo é a utilização da esteira.

A esteira a princípio, é utilizada para a movimentação dos materiais. Porém, algumas vezes ela é utilizada para dar o ritmo de produção de uma linha. Nestes casos, é necessário que se compreenda as possíveis desvantagens que esta esteira pode trazer, para que se possa tomar uma decisão acertada a respeito de sua utilização ou não.

Utilizando um exemplo que utiliza a esteira para dar o ritmo de produção da linha, se procurará demonstrar os possíveis problemas a serem encontrados no uso deste recurso.

Suponha-se uma operação que produza 40 pares por hora, ou seja, leve 30 minutos para cada 20 pares. Esta operação, na verdade, não vai levar sempre 30 minutos para produzir o lote, mas sim 30 minutos na primeira vez, 33 minutos na segunda, 27 minutos na terceira, e assim por diante. Portanto, se a esteira se movimentar a cada 30 minutos, na sua segunda movimentação, a operação acima não terá ainda terminado os 20 pares e a esteira andar­á vazia, ou seja, a operação terá que esperar a nova movimentação da esteira para largar os 20 pares por ela feitos. Assim, a operação levou, na verdade, 60 minutos para produzir o lote, ao invés dos 30 previstos. Vamos ver isso melhor:

## Com esteira

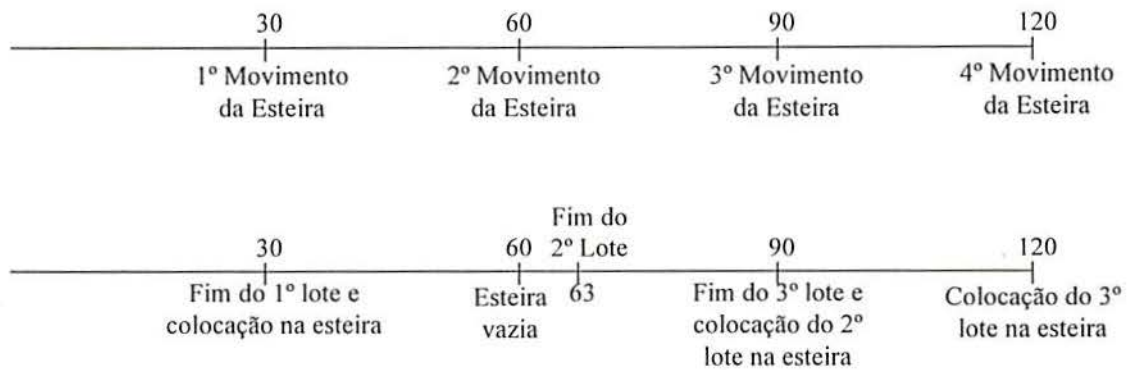


FIGURA IV.1: EXEMPLO COM ESTEIRA

## Sem esteira

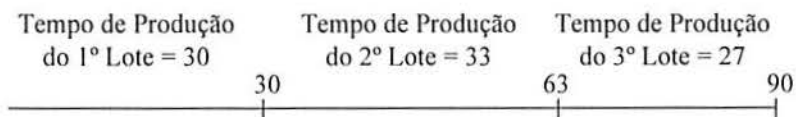


FIGURA IV.2: EXEMPLO SEM ESTEIRA

A última linha mostra que se não se tivesse usado a esteira e simplesmente se tivesse passado os pares de mão em mão, o tempo total seria de  $30+27+33 = 90$ , ou seja, 30 minutos a menos que o tempo levado com a esteira.

Portanto, é necessário que se pense um pouco mais a respeito da utilização da esteira, verificando se ela é um bom ou um mal recurso a ser utilizado no processo.

A título de ilustração dos indicadores propostos e do efeito da esteira, se fará um quadro comparativo com os resultados obtidos com a simulação de alguns cenários:

### **Simulação 1**

Tempos Antigos

Horas/dia	: 8,5
Número de costureiras	: 8
Padrão	: 5,71
Esteira	: 2040
Produção estimada	: 300
Produção real	: 300

### **Simulação 2**

Tempos Antigos

Horas/dia	: 8,5
Número de costureiras	: 7
Padrão	: 5,71
Esteira	: 2040
Produção estimada	: 300
Produção real	: 260

### **Simulação 3**

#### Tempos Antigos

Horas/dia	: 8,5
Número de costureiras	: 6
Padrão	: 5,71
Esteira	: 2040
Produção estimada	: 300
Produção real	: 180

### **Simulação 4**

#### Tempos Atualizados

Horas/dia	: 8,5
Número de costureiras	: 6
Padrão	: 7,76
Esteira	: 2040
Produção estimada	: 300
Produção real	: 300

### **Simulação 5**

Tempos Atualizados

Horas/dia	: 8,5
Número de costureiras	: 8
Padrão	: 7,76
Esteira	: 1800
Produção estimada	: 300
Produção real	: 340

### **Simulação 6**

Tempos Antigos

Horas/dia	: 8,5
Número de costureiras	: 8
Padrão	: 5,71
Esteira	: 1800
Produção estimada	: 340
Produção real	: 280

Simulação	Indicadores Grendene		Indicadores Propostos	
	Produtividade	Eficiência	Produtividade	Eficácia
1	4,41	77,2 %	4,41	100%
2	5,04	88,2 %	4,37	87%
3	5,88	103 %	3,53	60%
4	5,88	75,8%	5,88	100%
5	4,41	57%	5	113%
6	5	87,5%	4,12	82%

TABELA IV.5: RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES