

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR MARCELO MORETTI
FIORONI E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 19/12/2000


ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

Estudo e Análise Comparativa de Algumas Características de Arquitetura entre os Sistemas Holônicos de Manufatura e a Manufatura Ágil

Autor: **Marcelo Moretti Fioroni**

Orientador: **Prof. Dr. Antônio Batocchio**

93/2000

UNICAMP
 N.º CHAMADA :
 T/ UNICAMP
 F513e

V. _____ Ex. _____
 TOMBO BC/ 45128
 PROC. 16.392102

C D

PREÇ. R\$ 11,00
 DATA 05/07/02
 N.º CPD _____

CM00157823-3

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

F513e Fioroni, Marcelo Moretti
 Estudo e análise comparativa de algumas características de arquitetura entre os sistemas holônicos de manufatura e a manufatura ágil / Marcelo Moretti Fioroni.--Campinas, SP: [s.n.], 2000.

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

1. Sistemas de fabricação integrada por computador. 2. Sistemas flexíveis de fabricação. 3. Simulação (Computadores). 4. Layout. 5. Engenharia de produção. I. Batocchio, Antônio. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Estudo e Análise Comparativa de Algumas
Características de Arquitetura entre os
Sistemas Holônicos de Manufatura e a
Manufatura Ágil**

Autor: Marcelo Moretti Fioroni

Orientador: Prof. Dr. Antônio Batocchio

**Prof. Dr. Antônio Batocchio – Presidente
Universidade Estadual de Campinas**

**Prof. Dr. Geraldo Nonato Telles
Universidade Estadual de Campinas**

**Prof. Dr. Arthur José Vieira Porto
Universidade Estadual de São Paulo**

Campinas, 19 de dezembro de 2000

Resumo

FIORONI, Marcelo Moretti, *Estudo e Análise Comparativa de Algumas Características de Arquitetura entre os Sistemas Holônicos de Manufatura e o Sistema Ágil*, Campinas, 2000. 120 p. Dissertação (Mestrado)

O trabalho apresenta as características conceituais do Sistema de Manufatura Ágil e do Sistema de Manufatura Holônico, bem como aspectos importantes de simulação de eventos discretos. Neste trabalho fez-se a comparação das arquiteturas de dois tipos de sistemas de manufatura: Holônico e Ágil. A comparação foi realizada através de ferramenta computacional de Simulação de Processos (usando o software Arena), com a construção de modelos dos dois sistemas. O ponto de partida para os modelos foi uma empresa real da área de tecnologia, cujo nome foi omitido por motivos estratégicos. Os resultados mostraram que o Sistema Holônico é melhor capacitado para atender aos pedidos em um ambiente turbulento, sujeito a imprevistos, além de apresentar uma arquitetura que fortalece a empresa como um todo através da distribuição dinâmica de seus recursos.

Palavras Chave

- Sistema Holônico de Manufatura, Manufatura Ágil, Simulação de Processos, Layout

Abstract

FIORONI, Marcelo Moretti, *Study and Comparative Analysis of Some Architecture Features Between the Holonic Manufacturing System and the Agile Manufacturing*, Campinas, 2000. 120 p. Dissertação (Mestrado)

The study presents the characteristics of the Agile Manufacturing System and Holonic Manufacturing System, as well important concepts about discrete event simulation. This study compares the architecture of two kinds of manufacturing systems: Agile and Holonic. The comparison was made using the Process Simulation computing tool (with Arena software), with the construction of simulation models of both systems. The models were built based on a real technology company, whose name was omitted due to strategic purposes. The results have shown that the Holonic Manufacturing System are well enabled to produce the customer order inside a turbulent and unpredictable environment, and also has an architecture that make all the company stronger, distributing the resources on a flexible way.

Keywords

- Holonic Manufacturing System, Agile Manufacturing, Process Simulation, Layout

Índice

Índice	VI
Lista de Figuras	X
Lista de Tabelas	XIII
1. Introdução	1
1.1 A Nova Situação do Mercado	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Motivação	3
1.4 Conteúdo do Presente Estudo	4
2. O Sistema de Manufatura Ágil	6
2.1 Introdução	6
2.2 Definições e Conceitos de Manufatura Ágil	7
2.3 Características da Manufatura Ágil	9
2.4 Arquitetura Identificada para a Manufatura Ágil	11
2.5 Aplicações do Sistema de Manufatura Ágil	14
2.5.1. Empresas Virtuais	14

2.5.2. Cadeia de Suprimentos (Supply Chain)	15
2.5.3. Engenharia Concorrente	16
2.6 Tendências Futuras	17
3. O Sistema Holônico de Manufatura	20
3.1 Introdução	20
3.2 Sistemas Holônicos de Manufatura: Definição	21
3.3 Arquitetura dos Sistemas Holônicos de Manufatura	25
3.3.1. Os Holons Básicos	25
• Holon de Produto	26
• Holon de Recurso	26
• Holon de Pedido	26
3.3.2. Relacionamento entre os Holons Básicos	27
3.4 O Impacto dos Sistemas Holônicos no Mercado Atual	28
4. Simulação de Processos por Computador	30
4.1 Introdução	30
4.2 Definição de Simulação de Processos	31
4.3 Aplicações da Simulação de Processos	32
4.3.1 Estudo de Alteração em um Sistema Existente	32
4.3.2 Estudos Comparativos	32
4.3.3 Estudo de um Sistema não Existente	33
4.4 Modelos de Simulação: Definição e Construção	33
4.5 Coleta e Análise de Informações para o Modelo de Simulação	35
4.6 Definição de Cenários	37
4.7 Simulação de Sistemas Inexistentes	39
4.8 Análise dos Resultados Gerados pela Simulação	40
4.8.1 Estudo de Sistemas Terminais	41
4.8.2 Estudo de Sistemas Não Terminais	41
4.9 O Pacote de Simulação ARENA®	42
4.9.1 Modelagem Visual	42
4.9.2 Integração com Microsoft Office®	42

4.9.3 Templates: Lógica Escalonável	43
4.9.4 Recursos para Análise de Entrada e Saída de Dados	44
5. Arquitetura dos Sistemas de Manufatura e Metodologia de Comparação	46
5.1 Introdução	46
5.2 Arquitetura dos Sistemas de Manufatura	47
5.3 Evolução das Arquiteturas de Sistemas de Manufatura ao Longo do Tempo	48
5.4 Diretrizes para Escolha dos Índices de Desempenho	53
5.5 Índices de Desempenho Escolhidos	54
5.4 A Metodologia	55
5.5 Aplicação da Metodologia	57
5.6 Critérios para a Seleção da Empresa e da Linha Produtiva	58
5.6.1. Enriquecimento do Cliente:	59
5.6.2. Cooperação e Melhoria da Competitividade	60
5.6.3. Lidando com Mudanças e Incerteza	61
5.6.4. Alavancagem da Informação e do Pessoal	63
5.7 Critérios para a Modelagem do Sistema Holônico	65
6. Aplicação e Resultados Obtidos	67
6.1 Introdução	67
6.2 Seleção da Empresa Ágil	68
6.2.1 Avaliação da Empresa quanto ao Enriquecimento do Cliente:	68
6.2.2 Avaliação da Empresa segundo a Cooperação e Melhoria da Competitividade:	68
6.2.3 Capacidade de reação frente a Mudanças e Incertezas:	69
6.2.4 Avaliação segundo a Alavancagem da Informação e do Pessoal:	69
6.3 Seleção da Linha de Produção Adequada	69
6.4 Descrição do Funcionamento da Linha de Gravação de Hard Disks	70
6.5 Os Modelos de Simulação: O Sistema de Manufatura Ágil	74
6.6 Os Modelos de Simulação: O Sistema de Manufatura Holônico	83
6.7 Experimentos Programados	88
6.8 Resultados Obtidos	91

7. Conclusões e Trabalhos Futuros	97
7.1 Análise dos Resultados Obtidos e Conclusões	97
7.2 Propostas para Trabalhos Futuros	99
7.3 Agradecimentos	101
Referências Bibliográficas	102
Bibliografia Consultada	107
Anexo I	108
Anexo II	110
Anexo III	112
Anexo IV	114
Anexo V	116
Anexo VI	118
Anexo VII	120
Anexo VIII	122
Anexo IX	124
Anexo X	126

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Gráficos de performance com e sem a influência da Manufatura Ágil (Kidd, 1994)	7
Figura 2.2 – Empresa desbalanceada e sem coordenação entre seus componentes (Kidd, 1994)	9
Figura 2.3 - Empresa corretamente balanceada e atuando coordenadamente (Kidd, 1994)	10
Figura 2.4 – Estrutura da Manufatura Ágil (Kidd, 1994)	10
Figura 2.5 – Arquitetura do Sistema de Manufatura Ágil	13
Figura 2.6 – Níveis de cooperação entre as empresas	15
Figura 2.7 – Evolução do mercado de provimento de acesso à Internet no Brasil	18
Figura 3. 1 – Layout do protótipo usado para testar o sistema de controle holônico	24
Figura 3.2 – Protótipo de Montagem usando sistema de controle Holônico	25
Figura 3.3 – Relacionamento entre os holons básicos	27
Figura 4.1 – Representação de entidades interagindo com um recurso	35
Figura 4.2 – Curva de comportamento gerada a partir de tempos cronometrados	37
Figura 4.3 – Os Templates do Arena e suas características	45

Figura 5.1 - Representação de um Sistema Funcional	49
Figura 5.2 - Funcionamento de um Sistema em Linha	50
Figura 5.3 - Funcionamento de um Sistema Celular	50
Figura 5.4 - Funcionamento de um sistema FMS (Asai & Takashima, 1994)	52
Figura 5.5 - Funcionamento de um sistema CIM (Asai & Takashima, 1994)	53
Figura 5.6 - Representação de um Sistema de Manufatura	55
Figura 5.7 - Comparação entre os Sistemas de Manufatura	55
Figura 5.8 - Interferência provocada nos sistemas	56
Figura 6.1 - Lay-Out aproximado da linha de gravação de HDs	71
Figura 6.2 - Interface animada da simulação de Manufatura Ágil	74
Figura 6.3 - Representação dos estados das baias de gravação	75
Figura 6.4 - Representação dos diferentes tipos de HD na simulação	75
Figura 6.5 - Estado do lote durante a simulação	76
Figura 6.6 - Representações do relógio e da impressora	76
Figura 6.7 - Lógica de chegada dos pedidos e cálculo das baias	77
Figura 6.8 - Lógica de preparação dos HDs	78
Figura 6.9 - Lógica de geração de problemas	79
Figura 6.10 - Lógica tratamento do lote prioritário	80
Figura 6.11 - Toda a estrutura do modelo	82
Figura 6.12 - Holons compartilhando recursos (operador e impressora)	84
Figura 6.13 - Baias extras alocadas para suportar um excesso de trabalho na linha	85
Figura 6.14 - Baias excedentes realizando trabalho de outros holons	86

Figura 6.15 - Representação das tarefas externas	88
Figura 6.16 - Utilização das baias nos dois sistemas trabalhando com lote típico	91
Figura 6.17 - Utilização da impressora nos dois sistemas trabalhando em um lote típico	92
Figura 6.18 - Utilização dos operadores nos dois sistemas trabalhando em um lote típico	92
Figura 6.19 - Tempo de produção para os dois sistemas trabalhando com um lote típico	93
Figura 6.20 - Utilização das baias nos dois sistemas trabalhando com lote pequeno	93
Figura 6.21 - Tempo de produção para os dois sistemas trabalhando em um lote pequeno	94
Figura 6.22 - Utilização da impressora nos dois sistemas trabalhando em um lote pequeno	94
Figura 6.23 - Tempo de produção na ocorrência de lote defeituoso	95
Figura 6.24 - Tempo de produção na ocorrência de lote prioritário	96
Figura 6.25 - Tempo de produção na ocorrência de quebras de baias	96
Figura 7.1 - Corporação organizada em holons	100

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Tempos de gravação e Setup dos HDs	83
Tabela 2 – Cálculo do índice de estabilidade para o Sistema Ágil	98
Tabela 3 – Cálculo do índice de estabilidade para o Sistema Holônico	98

Capítulo 1

1. Introdução

1.1 A Nova Situação do Mercado

O mercado muda cada vez mais rapidamente e com maior intensidade. Este é um fato que tem sido observado com clareza nos últimos anos. A competição se intensificou de forma drástica ao longo das últimas décadas, em praticamente todas as partes do mundo (Porter, 1999). A medida que o mercado se torna cada vez mais exigente nos quesitos *qualidade, preço e personalização*, novos desafios são impostos aos sistemas de manufatura, que precisam ultrapassar continuamente seus próprios limites.

Analisando os sistemas de manufatura utilizados até então, nota-se que é crescente a centralização nos desejos do cliente (Fioroni & Batocchio, 2000). Décadas atrás, a competição entre as empresas era focada no preço dos produtos, ou seja, os produtos mais baratos eram os mais competitivos. Ao longo do tempo, a qualidade e a disponibilidade vieram a se somar ao preço como fatores de competitividade. Dentro deste cenário, as empresas alcançavam a lucratividade através da produção seriada em escala, de modo a reduzir os custos por unidade (Kidd, 1994).

Atualmente, a pressão sobre os sistemas de manufatura é enorme, pois

além dos fatores citados anteriormente, veio a se somar a personalização dos produtos. Portanto, além de desejar produtos baratos, de boa qualidade e sempre disponíveis, o mercado agora exige também variedade. Isso implica em mais opções de escolha e na redução do ciclo de vida dos produtos, que precisam inovar com frequência cada vez maior. A necessidade de atender aos desejos individuais dos clientes não pode ser atendida pelos sistemas de produção seriada, e a redução do ciclo de vida dos produtos não possibilita o uso da economia de escala como alternativa para que as empresas obtenham lucro significativo (Kidd, 1994). Assim, é necessário o desenvolvimento de um sistema de manufatura capaz de atender a esta nova situação do mercado.

Uma vez que o ambiente do mercado vem se tornando mais e mais competitivo, é necessário que a empresa busque continuamente obter recursos que a diferenciem de seus concorrentes e a coloquem em posição privilegiada. Anos atrás, quando uma empresa fazia uma descoberta tecnológica ou desenvolvia uma tecnologia inovadora, obtinha grande diferencial competitivo sobre as demais e se mantinha durante longo tempo na liderança do mercado, apenas aprimorando seu fator diferencial. O que se vê atualmente é que as descobertas e novos desenvolvimentos acontecem em velocidade crescente, alternando a posição de liderança do mercado e obrigando que as empresas permaneçam continuamente quebrando paradigmas e obtendo diferenciais competitivos significativos (Kidd, 1994).

1.2 Objetivos

Este estudo tem por objetivos:

- Identificar e analisar as características da Arquitetura do Sistema Holônico de Manufatura (HMS) e da Manufatura Ágil.
- Discutir e comparar o sistema Holônico de Manufatura com o Sistema de Manufatura Ágil, visando ressaltar as diferenças de arquitetura entre eles.
- Desenvolver um modelo virtual (modelagem) para análise comparativa entre um sistema Holônico de Manufatura e o sistema de manufatura ágil com o auxílio de ferramenta de simulação, que permita quantificar as diferenças entre ambos.

- Obter dados de literatura ou hipotéticos para alimentar os modelos, visando realizar experiências através da sua simulação.

1.3 Motivação

Diante deste cenário, as comunidades acadêmica e industrial se mobilizam de várias formas, buscando projetar o sistema de manufatura capaz de atender às exigências do mercado atual e adaptar-se com rapidez suficiente para atender às novas situações que possam se apresentar. Entre estas iniciativas, destaca-se a proposta do Sistema de Manufatura Ágil, inicialmente abordado no relatório *21st Century Manufacturing Enterprise Strategy* publicado pelo Iacocca Institute (1991). Este é um conceito que vem sendo ainda desenvolvido, mas que já encontra aplicação em muitas empresas da atualidade. A partir da proposta inicial do Iacocca Institute, o conceito foi adotado tanto pelo meio empresarial quanto acadêmico, de forma descentralizada, o que ocasionou um desenvolvimento disperso e as vezes conflitante da Manufatura Ágil. De acordo com Paul T. Kidd (1994), a Manufatura Ágil se baseia na integração entre a organização da empresa, pessoal altamente qualificado e tecnologias avançadas, de modo a capacitar a empresa a responder com rapidez suficiente a uma nova demanda do mercado e fornecer produtos personalizados para seus clientes.

Outra iniciativa, esta mais recente, é a do desenvolvimento do Sistema Holônico de Manufatura. Diferente da Manufatura Ágil, este desenvolvimento tem sido promovido pelo Intelligent Manufacturing Systems Group (IMS, 2000). Trata-se de um grupo de entidades de pesquisa e grandes empresas, contando com o apoio de seus governos, na busca pelos sistemas de manufatura que serão capazes de atender às necessidades de mercado do novo milênio. Por sua característica centralizada e fechada, o IMS concentra as principais informações sobre o Sistema Holônico. Os países não participantes do grupo não têm acesso às informações sobre seu desenvolvimento, exceto aquelas divulgadas em âmbito acadêmico. O Brasil, infelizmente, não participa do grupo formado pelo IMS. Sendo assim, este estudo se baseia nas informações divulgadas até o momento, consideradas suficientes para sua abrangência.

Diante da importância que este tema vem adquirindo e com o crescente interesse que os governos de várias nações dedicam a ele, é importante que iniciativas semelhantes sejam realizadas também no Brasil. Se tal não for feito, provavelmente o Brasil enfrentará maiores dificuldades para alcançar uma posição relevante no mercado global do próximo milênio.

1.4 Conteúdo do Presente Estudo

Este estudo é constituído das seguintes partes:

- No Capítulo 2, é feita uma explanação sobre o que é o Sistema de Manufatura Ágil e seu estágio atual de desenvolvimento. É apresentada também a sua arquitetura, conforme identificada através de literatura especializada;
- No Capítulo 3, apresenta-se o Sistema de Manufatura Holônico, suas principais características e conceitos, e a arquitetura proposta para o seu funcionamento. Esta arquitetura, designada PROSA, foi apresentada à comunidade acadêmica por Wyns (1999), membro de uma das universidades participantes do IMS.
- No Capítulo 4 é apresentada a ferramenta Simulação de Processos por Computador, a ferramenta utilizada (software ARENA) e os motivos pelos quais se considerou adequada a sua utilização neste estudo.
- No Capítulo 5 é descrita a metodologia empregada para comparar as arquiteturas, assim como os índices de desempenho escolhidos para a análise.
- No Capítulo 6, os modelos computacionais são apresentados e explicados, bem como os resultados obtidos pela simulação.
- O Capítulo 7 trata das conclusões obtidas pela análise dos resultados obtidos, propondo futuros trabalhos que possam ser realizados em complemento ao presente, dando continuidade ao estudo aqui apresentado.

A validade deste estudo cresceu significativamente pelo fato de se basear em uma

linha real de manufatura, que trabalha sob os conceitos da Manufatura Ágil. As informações sobre esta linha foram gentilmente cedidas por uma grande empresa da região de Campinas, permitindo a construção de modelos de simulação suficientemente confiáveis.

Espera-se, portanto, que este estudo venha a contribuir para o desenvolvimento de conhecimento e especialização na área específica do domínio.

Capítulo 2

2. O Sistema de Manufatura Ágil

2.1 Introdução

O termo “Manufatura Ágil” ganhou destaque a partir da publicação pelo Iacocca Institute (1991) do relatório “*21st Century Manufacturing Enterprise Strategy*”. Desde então, muito já se desenvolveu a partir desta idéia inicial pelas comunidades acadêmica e industrial.

Segundo Kidd (1994), é importante que se deixe de copiar as idéias e sistemas de produção criados pelos japoneses, uma vez que fazendo isso as indústrias de outros países permaneceriam sempre em posição de inferioridade. O criador do sistema, invariavelmente, parte com uma vantagem competitiva em relação às outras que o copiam. Sendo assim, a Manufatura Ágil é uma reação das comunidades industrial e acadêmica do ocidente ao avanço oriental na área de sistemas de manufatura.

A Manufatura Ágil tem por objetivo capacitar a empresa a gerar constantemente diferenciais competitivos expressivos, que a coloquem em posição de liderança no mercado em relação aos seus concorrentes. Em um ambiente de mercado altamente competitivo, as empresas concorrentes (também ágeis) estarão buscando o mesmo diferencial. Desta forma,

a liderança do mercado é constantemente alternada entre as empresas ágeis. Uma empresa que procure atuar dentro deste ambiente sem a capacidade de atingir expressivos diferenciais competitivos, estará fadada a extinguir-se. Os gráficos da Figura 2.1 (Kidd, 1994) ilustram esta situação. No primeiro (a) pode-se observar a situação atual, onde uma empresa que consegue obter um grande diferencial competitivo (uma descoberta ou o desenvolvimento de uma nova tecnologia) permanece longamente na liderança do mercado, apenas promovendo um desenvolvimento de seu diferencial. No segundo caso (b), a obtenção de grandes diferenciais deixa de ser uma exceção para se tornar a regra, alternando a liderança de mercado entre as empresas ágeis.

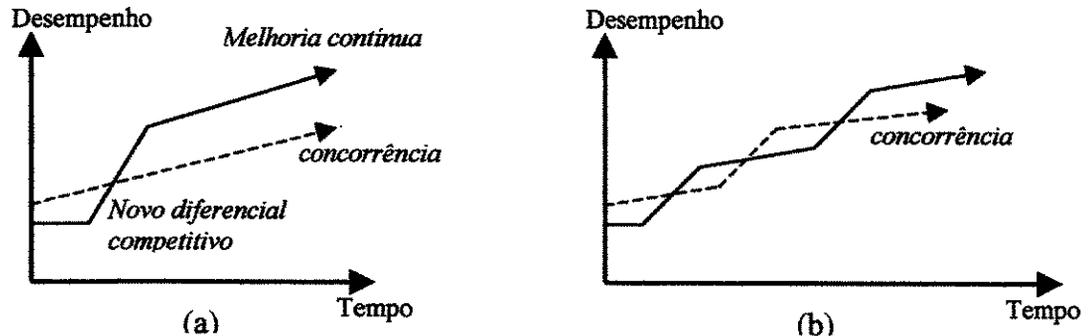


Figura 2.1 - Gráficos de performance com e sem a influência da Manufatura Ágil (Kidd, 1994)

Diante da necessidade de se desenvolver/descobrir novos diferenciais competitivos, a Manufatura Ágil busca criar um ambiente onde isso seja possível dentro da empresa. Mas apenas isso não é o suficiente. O ambiente empresarial precisa possibilitar também que o diferencial seja mantido e continuamente aprimorado até que um novo diferencial seja obtido.

2.2 Definições e Conceitos de Manufatura Ágil

Uma definição dominante de empresa ágil é aquela capaz de responder a (e colher benefícios de) mudanças inesperadas no seu ambiente. “Inesperadas” é a palavra-chave; a habilidade de trabalhar em resposta a mudanças inesperadas no domínio da manufatura tem sido tradicionalmente definido como manufatura *flexível*, mas podem existir empresas flexíveis que não são ágeis, e o mesmo pode-se dizer da manufatura enxuta (Goranson,

1999).

A Manufatura Ágil não deve ser confundida com a Manufatura Enxuta (Lean Manufacturing). Esta última, tem por objetivo reduzir perdas, melhorando a confiabilidade do processo (Womack, 1996). Segundo nos esclarece Goranson (1999), a Manufatura Enxuta busca uma melhoria do sistema para o *hoje*, enquanto a Manufatura Ágil busca uma melhoria do sistema para o *amanhã*, uma vez que o “amanhã” se torna “hoje” cada vez mais rapidamente, a aplicação solitária da Manufatura Enxuta não será capaz de dar à empresa a capacidade de inovação descrita anteriormente (Figura 2.1).

Também a Manufatura Flexível é diferente da Manufatura Ágil. A flexibilidade é um componente da agilidade. Mais especificamente, a flexibilidade é a agilidade da infraestrutura física, onde se considera modularidade, escalabilidade e capacidade de realocação. A flexibilidade envolve a otimização do uso dos recursos da *própria* empresa para capacitá-la a responder a uma *antecipação* do espectro de necessidades produtivas. A agilidade envolve a habilidade de otimizar os próprios recursos, e também integrar *recursos externos*, de modo a capacitar a empresa a responder a um espectro de necessidades produtivas *não antecipado* (Goranson, 1999). Segundo Kidd (1994), a agilidade é definida nos dicionários como algo capaz de “movimentos rápidos, ligeiro e ativo”. Isto claramente não é o mesmo que flexibilidade, que implica em adaptabilidade e versatilidade. Agilidade e Flexibilidade, portanto, são conceitos diferentes.

Durante muitos anos, grandes investimentos foram feitos no desenvolvimento do CIM (Computer Integrated Manufacturing – Manufatura Integrada por Computador). No entanto, grande parte da pesquisa em CIM é dominada por considerações tecnológicas. Mas o conceito de manufatura integrada não se restringe a computadores, troca de dados e softwares modulares. Isto é apenas parte da estória. Nos dicionários, o termo “*integrar*” é definido como “*combinar partes em um todo*”. Uma empresa de manufatura integrada não pode ser constituída apenas ligando computadores em rede, compartilhando dados e automatizando tarefas. A organização e as pessoas também fazem parte do sistema de manufatura, assim como a tecnologia (Kidd, 1994).

Um estudo realizado por Jackson (1994) mostra que mesmo em sistemas

com alto nível de automação, a presença do fator humano é importante, já que máquinas não são capazes de pensar e inovar, a despeito de serem programadas com inteligência suficiente para resolver os problemas inerentes ao processo. Como citado anteriormente, inovação é um requisito indispensável para se obter a agilidade.

2.3 Características da Manufatura Ágil

Atualmente, muita ênfase tem sido dada à tecnologia e sua aplicação dentro da empresa, o que provoca um “desbalanceamento” no sistema de manufatura. Ao se protelar a importância do pessoal e da organização no sistema, a empresa pode ser representada pelo diagrama da Figura 2.2, mostrando o desbalanceamento entre estes três componentes (tecnologia, pessoal e organização), assim como a separação entre eles, que agem de forma independente e descoordenada (Kidd, 1994).

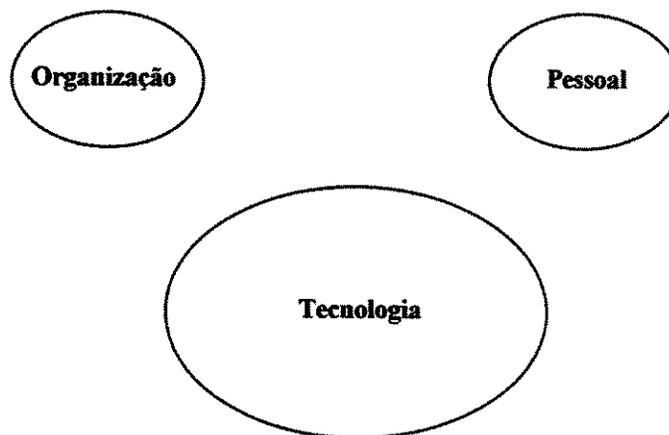


Figura 2.2 – Empresa desbalanceada e sem coordenação entre seus componentes (Kidd, 1994)

Para que a empresa se torne ágil, é necessário que haja um balanceamento entre estes três componentes, assim como grande integração entre eles. É necessário que os componentes da empresa ajam efetivamente como um time. Esta situação é representada no diagrama da Figura 2.3.

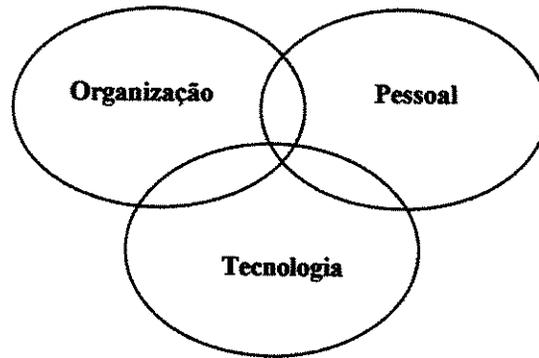


Figura 2.3 - Empresa corretamente balanceada e atuando coordenadamente (Kidd, 1994)

Assim, a Manufatura Ágil é alcançada através de uma integração inovadora entre: pessoal altamente capacitado e com poder de decisão; tecnologias avançadas e flexíveis; e organização com gerenciamento e estrutura inovadores (Kidd, 1994). A capacitação do pessoal é extremamente importante para possibilitar a inovação, primordial para dar agilidade à empresa, esse pessoal precisa estar munido das tecnologias mais avançadas à disposição da empresa para potencializar seu trabalho. A estes dois fatores, junta-se a organização, que deve proporcionar um ambiente de trabalho agradável e favorável à geração de novas idéias, além disso, deve permitir que estas novas idéias possam se propagar e efetivar mudanças na forma de atuação da empresa. Esta estrutura é ilustrada pela Figura 2.4 (Kidd, 1994), onde se observa a Manufatura Ágil baseada em uma metodologia interdisciplinar, que suporta os três “pilares”: Organização, Pessoal e Tecnologia

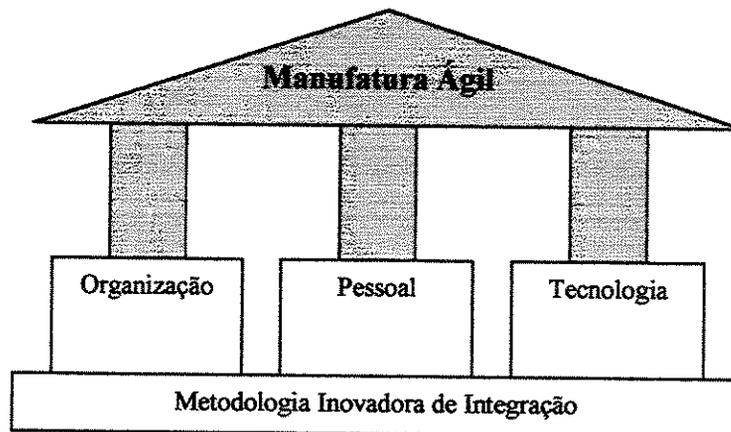


Figura 2.4 – Estrutura da Manufatura Ágil (Kidd, 1994)

Ainda segundo Kidd (1994), a tentativa de se atingir a empresa ágil é uma tarefa difícil, comparável à tentativa de disparar contra um alvo móvel, já que o estado da arte é um conceito em constante avanço. Para atingir a empresa ágil, são necessários novos métodos, processos e valores. É necessário ir além de simples correções rápidas ou receitas prontas, fazendo perguntas fundamentais sobre o que fazer e porquê, como fazer e quando.

2.4 Arquitetura Identificada para a Manufatura Ágil

Não há uma arquitetura oficial, ou amplamente aceita, da Manufatura Ágil. No entanto, uma análise da literatura existente possibilitou a sua identificação. De uma forma bastante abrangente, Kidd (1994) descreve que a Manufatura Ágil é sustentada por:

- Pessoal altamente qualificado, com liberdade e poder de decisão;
- Tecnologias avançadas, proporcionando à empresa todas as facilidades e vantagens possíveis que estejam à sua disposição;
- Organização com gerenciamento inovador, criando um ambiente que favoreça e incentive a criatividade e a inovação;
- Uma metodologia interdisciplinar que seja capaz de integrar os três fatores anteriores.

Estes conceitos foram ilustrados na Figura 2.4. Detalhando um pouco mais o funcionamento de uma empresa ágil, Sharifi & Zhang (1999) identificam três elementos como necessários para se atingir a Manufatura Ágil:

- *Direcionadores da Agilidade (Agility Drivers)*: São os fatores que impulsionam a empresa na busca da agilidade, bem como orientam onde a agilidade deve ser desenvolvida. Estes direcionadores tem origem no ambiente onde se situa a empresa. Fatores como tendências de mercado, atuação de concorrentes e anseios dos clientes figuram entre os influenciadores da estratégia da empresa (Certo & Peter, 1993).

- *Habilidades que Capacitam a Empresa a Atingir a Agilidade (Agility Capabilities)*: São as características que a empresa deve buscar para se tornar ágil, como: flexibilidade, velocidade de resposta, competência e etc.;
- *Provedores de Agilidade (Agility Providers)*: São os fatores à disposição da empresa, que podem prover agilidade a ela. Estes provedores da agilidade são os mesmos descritos por Kidd (1994): pessoal treinado e capacitado, organização e tecnologias avançadas, atuando de forma integrada e inovadora.

De acordo com Yusuf, Sarhadi & Gunasekaran (1999), os conceitos centrais da Manufatura Ágil são:

- *Gerenciamento das competências principais*: Trata do gerenciamento do conhecimento das pessoas que trabalham na empresa. Objetiva desenvolver as capacidades e habilidades da empresa como um todo, através de treinamento ou troca de experiências com outras empresas.
- *Empresa Virtual*: A Empresa Virtual, um conceito originado pela Manufatura Ágil (Kidd, 1994), define a possibilidade de ampliar o nível de cooperação entre as empresas, sendo estas concorrentes ou não. Esta cooperação não se restringe às tradicionalmente realizadas entre os altos escalões, mas também entre os setores operacionais, permitindo que atuem efetivamente como um único time na busca pelo objetivo comum.
- *Capacidade de Reconfiguração*: A empresa ágil deve ser capaz de facilmente alterar o seu foco de atuação, diversificar, realinhar e configurar seus negócios para atender a um determinado propósito ou oportunidade de mercado que possa se apresentar;
- *Empresa Direcionada pelo Conhecimento*: O conhecimento torna-se um bem cada vez mais valioso para as empresas. Além de manter um corpo de funcionários capacitado e motivado, é preciso “abastecer” essas pessoas com conhecimento frequentemente atualizado. Torna-se cada vez mais claro no

ambiente de mercado atual que o conhecimento é o bem mais valioso que uma empresa deve buscar. Um detalhamento maior sobre este aspecto é fornecido por Porter (1999), destacando a importância do conhecimento e da tecnologia em prol da competitividade das corporações.

Dos tópicos relacionados acima, é possível derivar uma arquitetura para o Sistema de Manufatura Ágil. Esta arquitetura reflete todos os conceitos citados anteriormente e foca os elementos centrais do sistema de manufatura: organização, pessoas e tecnologia. Como descreve Kidd (1994), é necessária uma integração interdisciplinar e inovadora entre estes três elementos, de forma a mantê-los corretamente balanceados.

Assim, a arquitetura praticamente descreve esta integração balanceada e interdisciplinar, ilustrada na Figura 2.5.

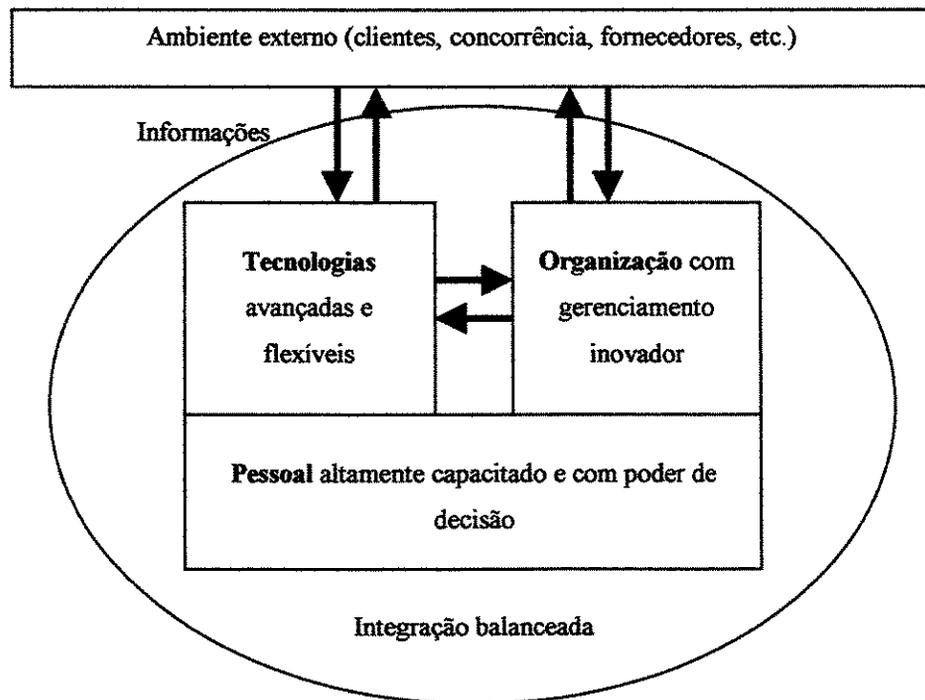


Figura 2.5 – Arquitetura do Sistema de Manufatura Ágil

Assim, o Sistema de Manufatura Ágil funciona com uma intensa e freqüente troca de informações entre o ambiente externo (mercado, clientes, outras empresas) e os elementos *Pessoal* e *Organização*, que são apoiados e potencializados pela *Tecnologia*. Da mesma forma, os elementos *Pessoal* e *Organização* trocam informações e interferem na estrutura

um do outro quando necessário. Estes mesmos elementos podem interferir no terceiro, *Tecnologia*, introduzindo elementos advindos de novas descobertas ou desenvolvimentos.

A troca de informações com o ambiente externo de forma independente entre os elementos *Pessoal* e *Organização* permite a atuação como empresa virtual, indo além dos acordos de cooperação tradicionais, onde mesmo com o acordo as empresas mantêm suas estruturas separadas. Aqui, ao contrário, todos os elementos podem atuar em cooperação, como descrito por Yusuf, Sarhadi & Gunasekaran (1999).

A integração entre os três elementos os direciona em conjunto para um objetivo comum: o aumento da competitividade.

2.5 Aplicações do Sistema de Manufatura Ágil

Sob o rótulo da manufatura ágil, foram identificadas algumas estratégias que visam ampliar a agilidade das empresas. Esta identificação foi feita por Gunasekaran (1999), baseado na literatura disponível, chegando a três estratégias principais:

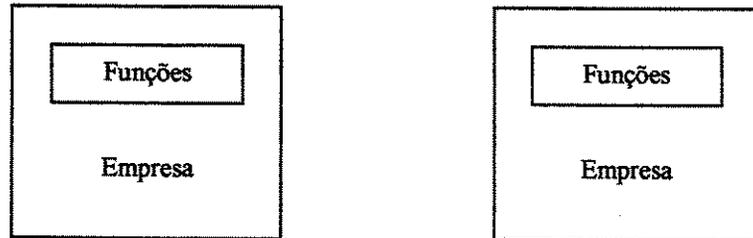
2.5.1. Empresas Virtuais

A Empresa Virtual é definida por Goranson (1999) como uma união oportunista entre pequenas unidades, constituindo-se e agindo como se fossem uma única grande empresa

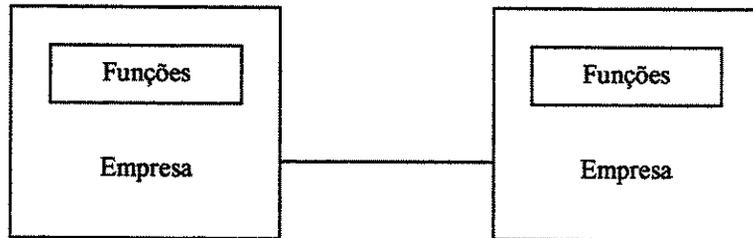
Trata-se de uma colaboração entre empresas diante da necessidade de superar um obstáculo comum ou atingir um objetivo que beneficiará a ambas. Esta colaboração é feita entre todos os níveis da empresa, e não apenas entre os altos escalões, como é a prática tradicional. A Figura 2.6 (Yusef, Sarhadi & Gunasekaran) ilustra a diferença entre as práticas tradicionais e a Empresa Virtual.

A necessidade de atender cada vez mais rapidamente às mudanças no mercado, que também vem ocorrendo com frequência cada vez maior, exige das empresas recursos ou capacidades que nem sempre estão disponíveis totalmente em sua estrutura interna. A solução é buscar estes recursos em outras empresas, mesmo que concorrentes. Nestas situações, é comum que o próprio concorrente esteja também na mesma

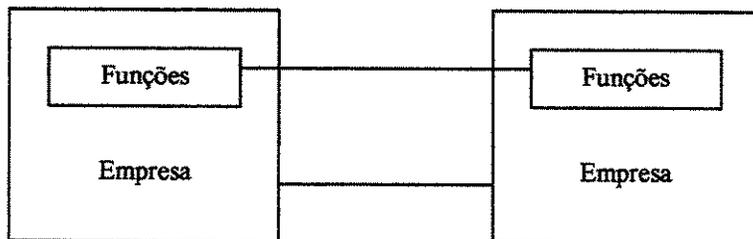
situação, caso em que será vantajoso para ambos unir esforços para pesquisar a solução de um problema ou desenvolver um novo produto. As empresas virtuais são temporárias. Uma vez atingido o objetivo ou resolvido o problema que foi o motivo da união, esta é desfeita e as empresas voltam a atuar separadamente.



Nível 1: Empresas como ilhas



Nível 2: Cooperação a nível de empresas



Nível 3: Cooperação a nível de empresa e de funções

Figura 2.6 – Níveis de cooperação entre as empresas

2.5.2. Cadeia de Suprimentos (Supply Chain)

A Cadeia de Suprimentos é uma estratégia de gerenciamento do fluxo de materiais ao longo do processo, até a chegada do produto final para o cliente. Segundo Gunasekaran (1999), os fabricantes e vendedores buscam novas formas de comercializar seus produtos, e devido isso, examinam constantemente a sua cadeia de suprimentos visando reduzir seus custos.

Esta redução de custos é conseguida diminuindo-se os estoques intermediários e flexibilizando o fornecimento das matérias primas.

O gerenciamento da Cadeia de Suprimentos faz uso dos sistemas ERP (Enterprise Resource Planner) e MRP II. A agilidade na cadeia de suprimentos pode ser atingida através de fornecedores que respondam rapidamente aos pedidos e façam uso eficiente dos recursos disponíveis, de modo a diminuir a necessidade dos estoques de segurança.

Apesar da semelhança com os conceitos da Manufatura Enxuta, a cadeia de suprimentos ágil vai além deste conceito. A Manufatura Enxuta visa atingir apenas a redução dos estoques intermediários, sem qualquer compromisso ou preocupação com o tempo de resposta. A Manufatura Ágil aplicada à Cadeia de Suprimentos, no entanto, exige que os estoques sejam reduzidos e o abastecimento seja rápido da mesma forma. Uma análise com este tema foi feita por Naylor, Naim & Berry (1999), recebendo o nome “Leagility”, uma mistura das palavras “Lean” (enxuto) e “Agility” (agilidade).

2.5.3. Engenharia Concorrente

A agilidade exige uma mudança na forma como são desenvolvidos os produtos. Os times envolvidos nos projetos devem agir de forma paralela, planejando simultaneamente o produto, seus processos de fabricação, estratégia de marketing, política de qualidade, etc. (Gunasekaran, 1999). Desta forma, uma mudança de rumo no mercado poderá ser rapidamente absorvida e influenciar o projeto do produto, sem grande perda na velocidade do desenvolvimento e reduzindo os custos de implementação.

Esta abordagem é chamada Engenharia Concorrente, e envolve a criação de um time de trabalhadores multidisciplinar atuando em conjunto com o apoio de sistemas computacionais como CAD (Computer Aided Design – Projeto Auxiliado por Computador) e CAE (Computer Aided Engineering – Engenharia Auxiliada por Computador).

Para atuar de forma ágil, a Engenharia Concorrente deve ser alimentada com informações sobre o ambiente de atuação da empresa, permitindo identificar situações que requeiram um redirecionamento do projeto, capacitando a empresa a responder rapidamente

às mudanças no mercado.

A Manufatura Ágil já é aplicada nos dias de hoje. Goranson (1999) nos oferece vários exemplos de aplicação da Manufatura Ágil, principalmente com o uso da estratégia de Empresa Virtual. Entre seus exemplos, figuram a indústria cinematográfica de Hollywood e o Departamento de Defesa Americano. Perry, Sohal & Rumpf (1999) descrevem a aplicação de uma cadeia de suprimentos ágil para atender às indústrias de calçados e tecidos na Austrália. Kanet, Faisst & Menders (1999) fazem o estudo de caso de um empreendedor americano: Bill Epstein, que foi bem sucedido na aplicação de estratégias para formação de Empresa Virtual para alcançar a agilidade.

Atualmente, a produtividade e capacidade de trabalho em grupos ou times sob gerenciamento interdisciplinar recebe cada vez mais atenção, na busca pelo ambiente de trabalho ideal. Esta busca pela eficiência e agilidade torna-se foco de estudos acadêmicos como o realizado por Camuri, Berardinelli & Maia (2000).

2.6 Tendências Futuras

Com o nível de competitividade se acirrando cada vez mais e as exigências do mercado crescendo de forma inexorável, é possível inferir que a agilidade será um dos requisitos básicos para a sobrevivência das empresas, juntamente com o que é hoje o bom nível de qualidade ou preços baixos dos produtos.

O ambiente de mercado não dará espaço para empresas que não sejam capazes de inovar com velocidade significativa. Sua participação no mercado será absorvida pelas empresas mais rápidas e inovadoras, forçando uma reação à altura.

A área de tecnologia, que avança mais rapidamente do que os outros mercados, antecipando tendências, pode ser um bom exemplo de como será o nível de competitividade em um futuro próximo. Aqui mesmo no Brasil, a análise do mercado de provimento de acesso à Internet é bastante representativo: Em meados de 1993, quando a Internet comercial foi liberada no Brasil, haviam poucos provedores. Era cobrado um valor alto como mensalidade, dando direito a certo número de horas de acesso, cujo excesso era

(bem) cobrado.

Um ou dois anos depois, quando a quantidade de provedores já era bastante numerosa, a competição forçou uma redução dos preços e agregou outros serviços como caixas postais extras de E-mail, ou hospedagem de home pages pessoais. Até este momento, houve uma evolução do modelo, mas este permaneceu basicamente o mesmo.

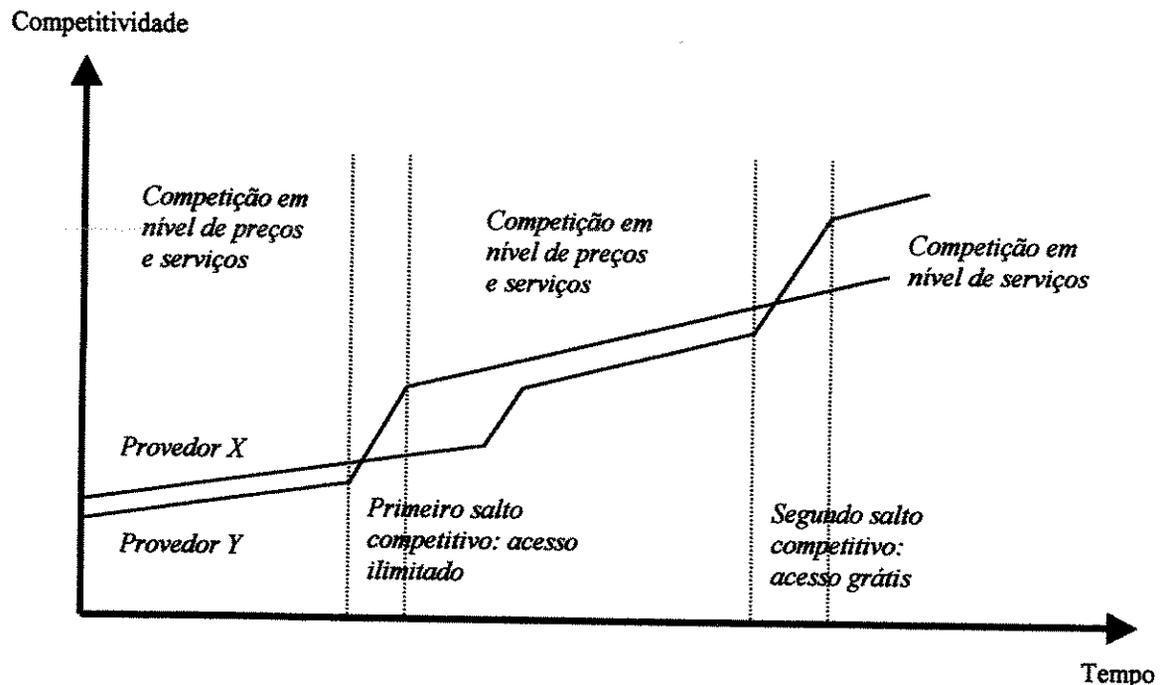


Figura 2.7 – Evolução do mercado de provimento de acesso à Internet no Brasil

Um salto de competitividade ocorreu quando alguns provedores decidiram adotar o chamado “Acesso Ilimitado”, onde o cliente paga uma mensalidade fixa e tem direito a acessar quantas horas desejar, sem cobranças extras. Esta atitude provocou protestos dos competidores, que se viram forçados a adotar a mesma estratégia para não perder o mercado, em um nítido exemplo de como os “Agility Drivers” (direcionadores da agilidade) interferem na estratégia de atuação das empresas. Em seguida a isso, houve mais redução de preços e foram agregados mais serviços, mas a estratégia permaneceu também basicamente a mesma.

O próximo salto de competitividade foi dado pela chamada “Internet Grátis”, que passou a não cobrar mais pelo acesso, sem limite de horas e agregando ainda mais serviços.

Assim, em um espaço de 5 anos, o mercado de provimento de acesso à Internet passou de uma cobrança com valor alto para o fornecimento totalmente gratuito. Algo certamente inédito na história da indústria. Todos estes eventos podem ser representados pelo gráfico de competitividade de Kidd (1994), anteriormente mostrado na Figura 2.1 e adaptados na Figura 2.7 para refletir a evolução deste mercado no Brasil.

É difícil prever qual será o próximo salto competitivo deste mercado, mas uma certeza é definitiva: a competição continuará acirrada. E este é o ambiente que espera as empresas de outras áreas em breve, uma vez que o avanço das tecnologias fornece mais flexibilidade e o mercado se torna cada vez mais exigente em todos os aspectos.

Capítulo 3

3. O Sistema Holônico de Manufatura

3.1 Introdução

Examinando o histórico dos sistemas de fabricação até a atualidade, podemos constatar que estes atendem sempre de maneira suficiente a sociedade e o mercado de sua época contemporânea. A medida que novas exigências foram surgindo, novos métodos foram sendo criados, até os dias de hoje, onde se observa que o mundo passa por uma grande mudança provocada pela Globalização.

Os sistemas de manufatura mais modernos existentes atualmente são extremamente flexíveis, beneficiados pela disponibilidade de tecnologias bastante avançadas, e que evoluem constantemente. No entanto, as tendências mostram que o mercado está se tornando ainda mais exigente, forçando ainda mais a evolução dos sistemas de manufatura (IMS, 2000).

Diante deste fato, um grupo de grandes empresas e instituições de ensino em vários países se reuniu em um consórcio dedicado a desenvolver os sistemas de manufatura para o próximo século. Este consórcio, chamado “Intelligent Manufacturing Systems” (IMS, 2000), gerou uma série de propostas, sendo uma delas os Sistemas Holônicos de

Manufatura, ou HMS.

Como explicado por Bongaerts (1998), os sistemas Holônicos tem por objetivo alcançar características inerentes a organismos vivos e organizações sociais, ou seja: estabilidade diante de situações imprevistas, adaptabilidade e flexibilidade diante das mudanças, e uso eficiente dos recursos disponíveis. Com estas características, o sistema de manufatura seria capaz de continuar funcionando diante da indisponibilidade de algum recurso, e atender a necessidades de demanda inesperadas.

A despeito da não participação do Brasil neste consórcio, fica claro que o domínio destes novos sistemas de fabricação irá favorecer a atuação de um país no mercado mundial a médio e longo prazos.

3.2 Sistemas Holônicos de Manufatura: Definição

A palavra Holon foi proposta pela primeira vez por Arthur Koestler (1989), em seu livro “Ghost in the Machine”. Ela vem do grego “holos” que significa “todo”, acrescido do sufixo -on, que indica “parte” ou “partícula” (por exemplo: elétron, próton). Duas observações levaram Koestler a propor o conceito de Holon:

- Sistemas complexos evoluem a partir de sistemas simples muito mais rapidamente se houverem formas intermediárias, do que se não o fosse. Neste último caso, a estrutura será hierárquica;
- Apesar da facilidade em identifica os “todos” e partes, estes não existem em um sentido absoluto em lugar algum. Sempre existe uma dependência entre eles.

Estas observações levaram Koestler a propor a palavra Holon para descrever esta natureza híbrida dos “todos” e partes nos sistemas da vida real. Holons são simultaneamente “todos” com suas respectivas partes subordinadas, e dependente, quando analisado do ponto de vista inverso. Esta estrutura pode ser observada nos organismos vivos e suas células, ou nos sistemas sociais, composto de famílias.

Koestler observa ainda que os holons são unidades autônomas, com um

certo grau de independência e são capazes de contornar certas situações sem pedir instruções para uma autoridade maior. Simultaneamente, os holons estão sujeitos ao controle de múltiplas autoridades em nível mais elevado. A primeira propriedade indica que os holons são formas estáveis, capazes de sobreviver às perturbações. A segunda significa que são formas intermediárias, que fornecem funcionalidade a um todo maior.

Finalmente, Koestler define holarquia como a hierarquia de holons auto reguladores com funcionalidade para:

- Constituírem “todos” autônomos, controlando suas próprias sub-partes;
- Serem, ao mesmo tempo, partes subordinadas ao controle de níveis superiores;
- Agir de acordo com o seu ambiente local.

O objetivo do HMS Consortium, consórcio criado pelo IMS para pesquisar os sistemas holônicos (Bongaerts, 1998), é atingir em um sistema de manufatura que possua todas as vantagens de um sistema orgânico ou social, ou seja, estabilidade para enfrentar imprevistos, adaptabilidade e flexibilidade diante das mudanças, e o uso eficiente de seus recursos.

Algumas definições foram estabelecidas pelo consórcio HMS para auxiliar no entendimento e guiar a transferência dos conceitos holônicos para o ambiente da manufatura (Valkenaers, 1997):

- **Holon:** um componente autônomo e cooperativo de um sistema de manufatura, para transformação, transporte, armazenamento e/ou validação de informações e objetos físicos. Um holon pode ser parte de um outro holon;
- **Autonomia:** A capacidade de uma entidade de criar e controlar a execução de seus próprios planos e/ou estratégias;
- **Cooperação:** O processo no qual um conjunto de entidades desenvolvem mutuamente planos aceitáveis e executam estes planos;

- **Holarquia:** Um sistema de holons que pode cooperar para atingir um objetivo. A holarquia define as regras básicas de cooperação dos holons e pode limitar sua autonomia.
- **Sistema Holônico de Manufatura:** Uma holarquia que integra todo o conjunto de atividades de manufatura, do recebimento dos pedidos, projeto, produção até o marketing para atingir a empresa de manufatura ágil.
- **Atributos holônicos:** atributos de uma entidade que a tornam um holon. O conjunto mínimo é autonomia e cooperatividade.

Baseando-se nestas definições, um conjunto de projetos de pesquisa foi elaborado pelo consórcio, buscando desenvolver os diversos aspectos do HMS, como mostrado a seguir (IMS, 2000):

- **SYS-ENG:** Uma pesquisa genérica, que busca desenvolver a metodologia de projeto e arquitetura dos sistemas holônicos;
- **SYS-OP:** Voltado para os problemas de operação e otimização do sistema;
- **HORMS:** Pesquisa a alocação de recursos em um HMS;
- **HMU:** Busca pesquisar os processos realizados pelas máquinas;
- **HFIX:** Pesquisa as instalações holônicas;
- **HANDS:** Dedicada-se ao estudo dos sistemas de manipulação holônicos, como sistemas de montagem;
- **HOLOMOBILE:** Investiga os transportes através de AGVs dentro dos sistemas holônicos de manufatura.

Alguns resultados promissores foram obtidos com protótipos exclusivamente construídos para experimentação. Como descreve Valkenaers (1994), foi construído um sistema de montagem na Universidade Católica de Leuven, na Bélgica, com o objetivo de

testar um sistema de controle holônico. O desempenho comparativo do controle hierárquico (controle totalmente centralizado) e heterárquico (controle totalmente distribuído entre os componentes do sistema) com o controle holônico mostrou que a principal vantagem deste último é a sua regularidade, a despeito de seu custo mais elevado. As Figuras 3.1 e 3.2 apresentam respectivamente o layout do protótipo e aspecto visual. Trata-se de uma célula flexível de manufatura operando com quatro robôs, uma estação de entrada/saída de matéria prima e produtos prontos, onde permanece um operador, e uma estação de armazenamento de pallets da esteira transportadora.

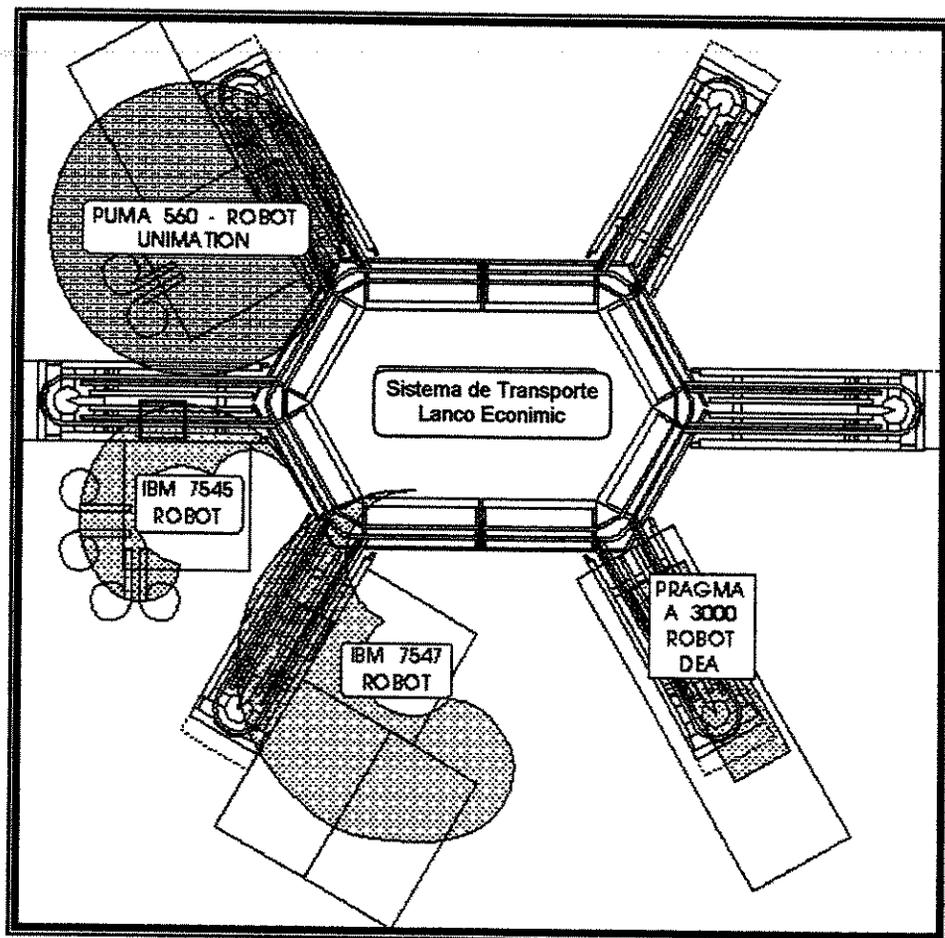
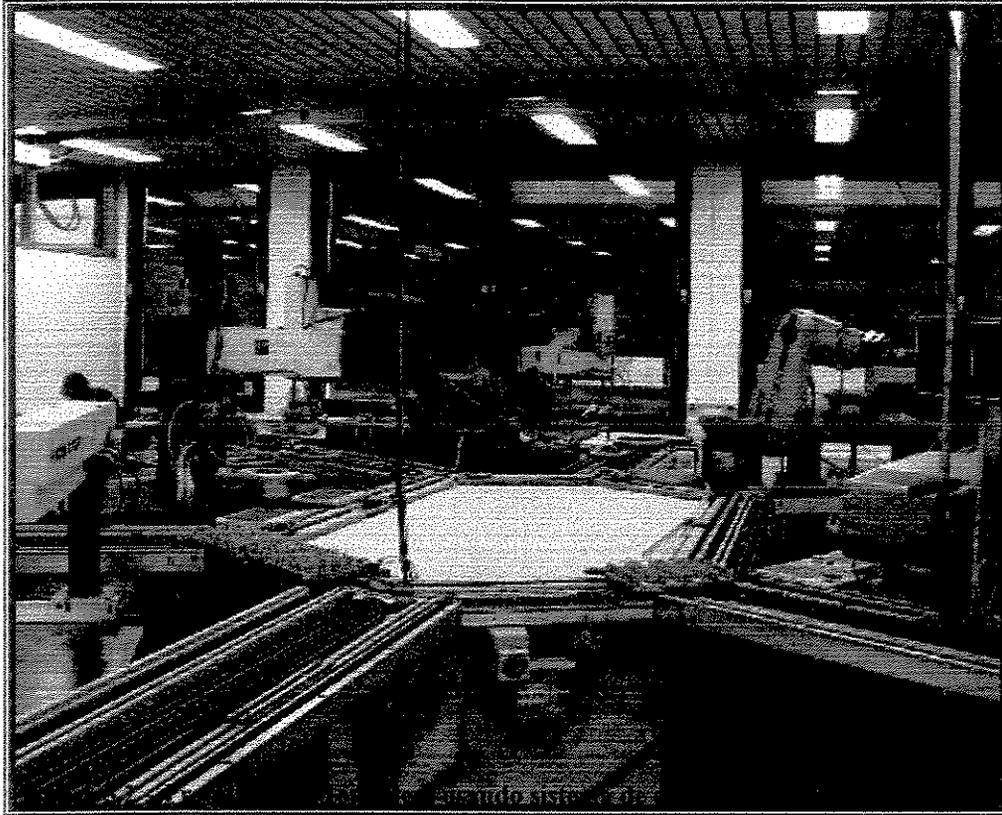


Figura 3.1 – Layout do protótipo usado para testar o sistema de controle holônico (IMS, 2000)



3.3 Arquitetura dos Sistemas Holônicos de Manufatura

Até o momento, a única arquitetura proposta para um sistema holônico de manufatura é o PROSA (Product-Resource-Order-Staff Architecture). Esta arquitetura foi elaborada por Van Brussel (1998) e é constituída basicamente por três holons: holon de pedido, holon de produto e holon de recurso. A arquitetura prevê que holons especializados podem ser agregados aos holons básicos, aumentando a capacidade de trabalho do sistema. Estes holons estão descritos a seguir.

3.3.1. Os Holons Básicos

Tanto na comunidade acadêmica como nas empresas, as três maiores preocupações acerca dos sistemas de manufatura são:

- Recursos: a busca da melhor maneira de operar e obter o máximo de sua capacidade;
- Produtos e processos: a busca pela melhor seqüência de processos para se obter um produto de boa qualidade;
- Logística: busca pela melhor forma de atender ao pedido do cliente dentro do prazo.

Baseado nestas premissas, foram identificados três holons básicos:

- *Holon de Produto*

É o holon que congrega o conhecimento sobre o produto e o seu processo de fabricação com qualidade suficiente. Serve como uma “central de informações” para os outros holons, guardando informações como projeto, planos de processo, materiais necessários, procedimentos de garantia da qualidade, tempo de vida do produto, e outras. O holon de produto guarda as informações mais atualizadas sobre o produto.

Este holon engloba as responsabilidades do que se conhece tradicionalmente como projeto de produto, planejamento de processos e controle de qualidade.

- *Holon de Recurso*

O holon de recurso contém a parte física, conhecida como recursos do sistema de manufatura, e todas as informações referentes à sua operação e controle. Ele oferece capacidade de produção para os outros holons. É uma abstração do que se conhece tradicionalmente como máquinas, esteiras transportadoras, pallets, componentes, ferramentas, armazenagem de materiais, pessoal, suprimento de energia, espaço físico, etc.

Este holon guarda as informações sobre os métodos de operação e alocação dos recursos de forma organizada para conduzir a produção.

- *Holon de Pedido*

Este holon representa uma tarefa dentro do sistema de manufatura. É responsável pelo cumprimento dos trabalhos atribuídos corretamente e em tempo suficiente. Ele gerencia o

tipo produto que está sendo fabricado, seu modelo e todas as informações logísticas relativas ao trabalho. O holon de pedido representa os pedidos dos clientes, pedidos de fabricação para estoque, pedidos de fabricação de protótipos, pedidos para manutenção ou reparo de máquinas, etc. Frequentemente, o holon de pedido é considerado para gerenciar o comportamento da peça dentro da fábrica.

Ele executa as tarefas tradicionalmente atribuídas ao monitoramento da produção e planejamento a curto prazo.

3.3.2. *Relacionamento entre os Holons Básicos*

Como se pode observar na Figura 3.3, os holons se relacionam trocando informações sobre o sistema de manufatura.

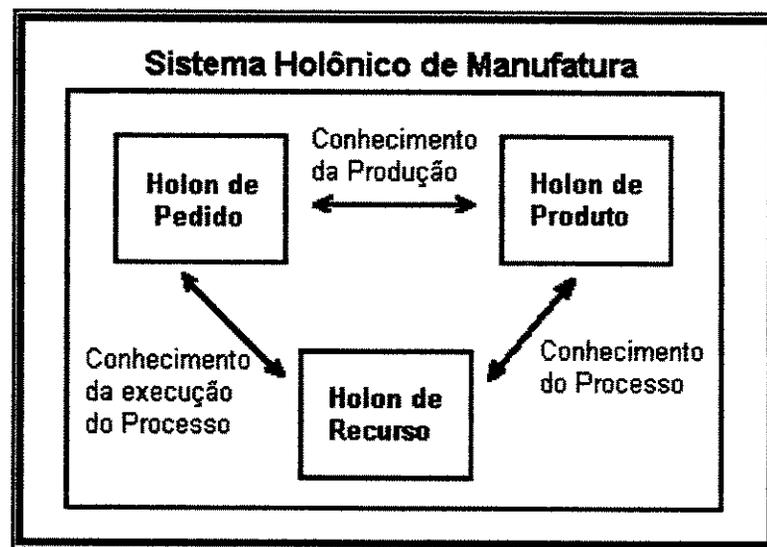


Figura 3.3 – Relacionamento entre os holons básicos

- **Conhecimento do Processo:** contém as informações e métodos sobre como executar um certo processo em um recurso. É o conhecimento sobre a capacidade do recurso, quais processos este pode executar e os parâmetros mais importantes.
- **Conhecimento da Produção:** representa a informação e os métodos sobre como fabricar um certo produto. Quais as possíveis seqüências de produção a serem realizadas em quais recursos, métodos de acesso às informações do planejamento da

produção, etc.

- **Conhecimento da Execução do Processo:** Contém as informações e métodos relativos ao progresso da execução dos processos nos recursos. Este é o conhecimento sobre como iniciar o processo nos recursos, como reservar recursos, monitorar o progresso da execução dos processos, como interromper processos, suas conseqüências, paradas e reativação de recursos, etc.

A estrutura heterárquica deste controle é bastante adequada para manter a estabilidade do sistema, no entanto, sua performance é superada pelos sistemas tradicionais hierárquicos em condições de estabilidade. Esta deficiência é suprida pela capacidade de especialização dos holons, através dos chamados “staff holons”.

Aos holons básicos, podem ser agregados “staff holons”, que cumprem tarefas específicas e acrescentam uma maior especialização ao processo (Bongaerts, 1998). Por exemplo, ao holon de produto poderiam ser agregados o staff holon de CAM (computer aided manufacturing) e staff holon de CAD (computer aided design). Neste caso, o holon de produto seria um “cliente” dos staff holons, que o suprem com informações especializadas, por exemplo, qual a decisão mais correta a tomar em uma determinada situação. Para evitar que o sistema se torne rígido com a presença dos staff holons, estes não podem forçar as decisões dos holons básicos de forma inflexível.

O conceito de holons básicos, acrescido dos staff holons, desacopla a agilidade e robustez do sistema, da sua otimização. Isto permite que o sistema tenha as vantagens dos sistemas hierárquicos e dos heterárquicos, sem sofrer com as desvantagens de ambos (Wyns & Langer, 1998).

O Sistema Holônico não chega a ser um sistema Multi-Agente, já que não é totalmente heterárquico. Os algoritmos usualmente aplicados em Sistemas Multi-Agente, como Redes Neurais, Algoritmos Genéticos e Aquecimento Simulado (Baker, 1998) não se enquadram no Sistema Holônico.

3.4 O Impacto dos Sistemas Holônicos no Mercado Atual

Os sistemas de produção mais modernos existentes atualmente possuem considerável flexibilidade. No entanto, possuem limitações óbvias, como a incapacidade de atender a demandas imprevistas ou contornar problemas como quebra de máquinas, etc. A estrutura de controle hierárquica é demasiadamente rígida para lidar com imprevistos e mudanças rápidas (Wyns, 1999).

Contornar estas limitações é exatamente o objetivo dos sistemas holônicos. Sua arquitetura híbrida é capaz de manter sua estabilidade mesmo em ambientes turbulentos.

Frente à competitividade crescente do mercado atual provocado pela Globalização, uma empresa que seja capaz de atender regularmente seus clientes, sempre dentro do prazo, com qualidade satisfatória e preços menores, a despeito de qualquer turbulência no mercado ou problemas internos da empresa, certamente eliminará em definitivo seus concorrentes. O emprego das tecnologias atualmente em desenvolvimento para os sistemas holônicos traria exatamente estes benefícios.

Trata-se portanto, de um trabalho que garantirá a sobrevivência da empresa no ambiente de mercado turbulento do próximo século, onde a competição muito mais acirrada irá exigir reações cada vez mais rápidas e efetivas das empresas, daí a grande importância com que se reveste a pesquisa dos sistemas holônicos.

Capítulo 4

4. Simulação de Processos por Computador

4.1 Introdução

Um grande avanço tecnológico teve lugar nas últimas décadas. Aparelhos que ha alguns anos pareciam inviáveis, hoje fazem parte do nosso dia a dia. E o desenvolvimento de novas tecnologias parece evoluir de forma exponencial, criando cada vez mais rapidamente, aparatos ainda mais revolucionários.

Estes avanços trouxeram à nossa sociedade um grande conforto e possibilitam realizar façanhas antes inimagináveis. Alguns exemplos disso são os telefones celulares, notebooks, fornos de microondas, acesso à Internet, entre outros, apenas para ficar entre exemplos do dia a dia doméstico.

Ocorre que avanços semelhantes ocorreram no campo industrial/empresarial, na forma de computadores cada vez mais avançados e softwares poderosos. Entre estes softwares, figuram os sistemas ERP e os simuladores de processos, entre muitos outros. Com a ajuda destas ferramentas, a tarefa de administrar e tomar decisões torna-se cada vez mais fácil.

Da mesma forma que o telefone celular veio facilitar a comunicação entre as pessoas e o forno de microondas aumenta a praticidade no preparo dos alimentos, os softwares de Simulação de Processos auxiliam de forma tremenda o processo de tomada de decisões nas empresas. Mais do que um mero acessório, torna-se cada vez mais uma ferramenta essencial incorporada ao processo de tomada de decisão, assim como o celular e o microondas fazem parte da rotina da maioria das pessoas.

O presente estudo se dedica a explicar sobre esta ferramenta tão importante à tomada de decisões nas empresas, abordando suas técnicas, recursos disponíveis, área de aplicação e limites, fornecendo uma visão geral sobre ela. Adicionalmente, o pacote comercial ARENA será abordado com mais ênfase, graças às suas características únicas que facilitam sua operação e permitem o sua aplicação nas mais diversas áreas.

4.2 Definição de Simulação de Processos

Segundo Kelton & Sadowsky (1998), a Simulação de Processos por computador já existe desde a década passada, mas somente nos últimos anos vem sendo difundida mais amplamente tanto no meio acadêmico quanto empresarial, graças ao avanço significativo nos sistemas computacionais e à popularização do computador.

A Simulação de Sistemas por Computador é uma ramificação da Simulação por Computador, que permite estudar o comportamento e o relacionamento entre diversos componentes de um sistema, considerando o fluxo de informações ou de elementos físicos dentro dele. Trata-se de uma ferramenta poderosa na análise de sistemas muito complexos, já que o computador monitora todas as variáveis, altera os estados e comportamentos conforme programado e gera estatísticas de todo o experimento. O seu uso é possível graças à disponibilidade de aplicativos computacionais voltados para a simulação, como por exemplo o software ARENA®.

Tais aplicativos computacionais permitem que se construa um modelo do processo, agregando a este uma parte gráfica que apresenta visualmente o comportamento da simulação. Deste modo, além de se obter estatísticas, é possível visualizar o seu

funcionamento e detectar possíveis erros ou problemas no sistema.

Apesar dos muitos tipos diferentes de sistemas possíveis de serem utilizados, com ou sem o uso do computador, este estudo irá se restringir à simulação de eventos discretos.

4.3 Aplicações da Simulação de Processos

Os sistemas computacionais de Simulação de Processos são bastante flexíveis, permitindo a modelagem e estudo de sistemas variados, como o fluxo de papéis em um escritório, atendimento clientes em uma agência bancária, o cronograma de manutenção de aeronaves, produção de aço em siderúrgicas e mesmo sistemas avançados de manufatura.

Sua aplicação tem enfoque diferente, dependendo do tipo de processo a ser analisado, e mesmo quais aspectos serão relevantes ao estudo. Os tipos de análise mais frequentes são:

4.3.1 Estudo de Alteração em um Sistema Existente

A aplicação mais tradicional da Simulação de Processos. Destina-se a estudar os efeitos de uma alteração em um sistema já existente e conhecido. Aplica-se na verificação de planos de melhoria do processo, estudo de compra de novas máquinas, alterações de LayOut, alteração no número de funcionários, etc. Basicamente, dispõe-se de um sistema já bem conhecido, operacional, e em funcionamento. Um modelo de simulação é criado sobre este sistema e ajustado até corresponder em detalhes ao sistema real. Sobre este modelo, são aplicadas as alterações desejadas, e seus efeitos observados.

4.3.2 Estudos Comparativos

Quando se pretende comparar dois sistemas segundo um mesmo aspecto, como escolha entre Layout de célula em U ou em L, diferente número de operadores, movimentação por esteiras ou por empilhadeira, são construídos dois modelos adotando-se os mesmos parâmetros, alterando-se apenas a característica a ser estudada. Os resultados obtidos pelos dois modelos serão comparados no sentido de se descobrir qual é a melhor situação (por exemplo: o transporte por esteiras é mais produtivo que por empilhadeiras).

Não há o compromisso específico de que qualquer dos modelos represente com exatidão todos os aspectos de uma situação real, pois a informação desejada é comparativa entre os dois (ou mais) modelos. Portanto, pode-se adotar várias simplificações nos modelos, tornando o trabalho de modelagem mais fácil. Atendo-se ao exemplo das esteiras e empilhadeira, não é necessário incluir no modelo o Setup das máquinas, uma vez que este teria conseqüências semelhantes nos dois sistemas de transporte, portanto não é relevante para o estudo.

4.3.3 Estudo de um Sistema não Existente

Diferente dos casos explanados anteriormente, existem situações em que um sistema é totalmente projetado com recursos ou características não presentes no sistema atualmente existente. Neste caso, pode-se coletar dados de situações semelhantes, ou estimar os dados de trabalho, considerando-se a correspondente margem de erro. Este assunto será abordado com mais detalhes no tópico 4.7, visto que a simulação é uma ferramenta excepcionalmente valiosa para este tipo de análise.

4.4 Modelos de Simulação: Definição e Construção

Conforme mencionado anteriormente, a simulação de processos trabalha sobre “abstrações” da realidade chamadas modelos. Um modelo de simulação é uma representação fiel do sistema real ou parte dele, em uma escala menor. O modelo deve possuir as mesmas propriedades e apresentar as mesmas reações do seu correspondente real, que precisa ser estudado.

Desta forma é possível estudar as reações futuras do sistema real baseado nas reações apresentadas pelo modelo. Desta forma, pode-se realizar experiências com o sistema que de outra forma seriam muito dispendiosas e, em alguns casos, perigosas.

Antes de construir o modelo, é necessário estudar atentamente o sistema real (caso este exista) e definir qual aspecto será estudado. A modelagem toma rumos diferentes dependendo da análise que se deseja fazer. Isto é necessário para evitar esforço de modelagem com aspectos não relevantes ao estudo.

Segundo afirma Carrie (1988), na simulação de eventos discretos podemos encontrar os seguintes elementos:

- Entidades: São os elementos do sistema, divididos em temporários ou permanentes. As entidades permanentes, ou recursos, são aquelas que permanecem no sistema do início ao fim da simulação (como máquinas, operadores, etc.). As temporárias são aquelas que entram no sistema a qualquer momento durante a simulação, “circulam” pelo sistema e saem também a qualquer momento (peças, clientes, etc.).
- Atividades: São as operações que as entidades fazem ou deveriam fazer dentro do sistema.
- Eventos: São os instantes do tempo em que ocorrem mudanças no estado do modelo, como início ou término de uma atividade.
- Filas: Quando uma ou mais entidades aguardam para realizar uma atividade, formam o elemento chamado fila.
- Atributos: São as características específicas de cada entidade, como cor, momento de entrada no modelo, tempo de espera na fila, etc.
- Estados: São as alterações que sofrem as entidades ao longo do modelo.

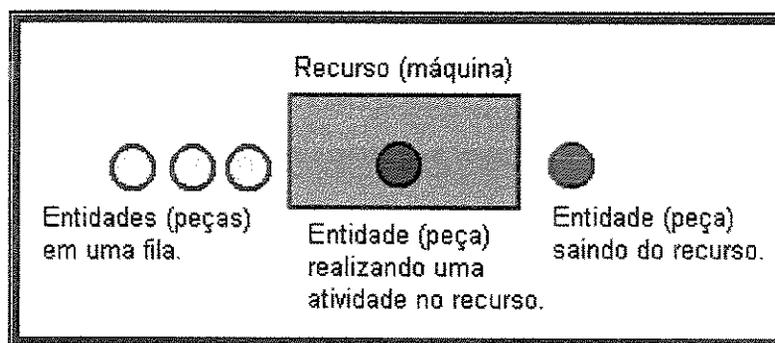


Figura 4.1 – Representação de entidades interagindo com um recurso

A Figura 4.1 apresenta um exemplo de entidades temporárias interagindo com um recurso (entidade permanente) dentro da simulação. Neste caso, o recurso representa

uma máquina que realiza sua atividade dentro de um determinado espaço de tempo e as entidades representam peças que sofrem processos. No lugar de uma máquina, poderia ser representado um médico (recurso) atendendo pacientes (entidades).

A construção do modelo é realizada combinando-se os vários processos existentes no sistema, bem como as suas regras de funcionamento. Uma vez construído, são inseridas as entidades, que o percorrem em um fluxo estabelecido pelas regras, passando pelos recursos, onde realizam atividades. O fluxo é controlado pelo chamado “calendário de eventos”, que controla os tempos de início e término das atividades, bem como os tempos de entrada e saída de entidades.

A representatividade do modelo em relação ao sistema real deve ser verificada através do processo chamado validação. Por validação, entende-se a comparação entre o funcionamento do modelo com o sistema real, considerando-se taxas de produção pelo mesmo período de tempo, comportamento idêntico dos processos, etc. Esta tarefa tem se tornado cada vez mais fácil, graças aos recursos de representação visual disponíveis atualmente nos pacotes de simulação mais modernos. Através deste recurso, é possível visualizar na tela do computador uma animação representativa do sistema, de modo a permitir a identificação imediata de qualquer comportamento errôneo. Em paralelo a isto, é feita também a comparação dos dados estatísticos (produção, percentuais de ocupação, etc.) entre o sistema real e a simulação. Uma vez validado, o modelo é considerado pronto para realizar os experimentos.

4.5 Coleta e Análise de Informações para o Modelo de Simulação

A construção do modelo depende das informações de funcionamento do sistema real, que deve ser estudado levando-se em conta o enfoque do modelo. Uma vez combinados os recursos e definidas as regras de fluxo, deve-se coletar as informações de tempo. Este trabalho é muito importante para a representatividade do modelo, pois aqui são inseridas as variações aleatórias inerentes a várias operações.

Usualmente, em operações automatizadas os tempos de processo são fixos ou sofrem

variações insignificantes, o que não é verdade para as operações realizadas, por exemplo, pelas pessoas. Estas estão sujeitas a muitas variações, que devem ser consideradas no modelo. Os pacotes de simulação possuem recursos poderosos para representar estas variações, através de curvas de comportamento. Basicamente, os softwares geram números aleatórios controlados por tais curvas, que são usadas para representar o tempo de operação de uma determinada tarefa, o tempo de deslocamento de uma entidade de um local para outro, ou mesmo o intervalo de tempo entre as entradas de entidade no modelo.

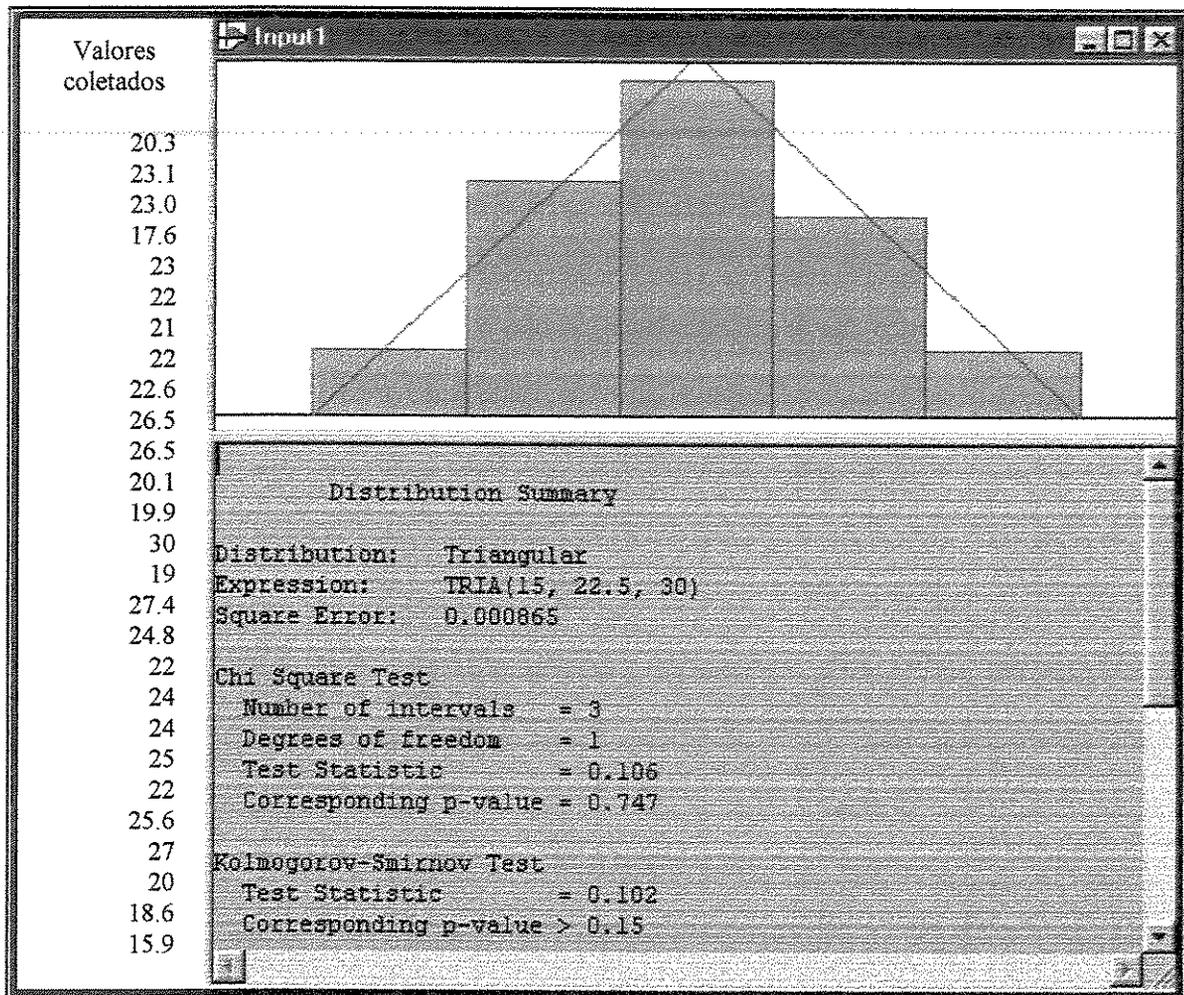


Figura 4.2 – Curva de comportamento gerada a partir de tempos cronometrados

Para se determinar a curva de comportamento de uma operação, é necessário estudá-la ao longo do tempo. Realizando-se várias tomadas de tempo da mesma operação em momentos distintos (diferentes horários do dia, e em diferentes dias da semana). Tais valores são reunidos graficamente em um histograma, que representa o seu

comportamento. A Figura 4.2 apresenta um exemplo de dados coletados e o histograma correspondente, gerados pelo software Input Analyzer, presente no pacote de simulação Arena.

Para cada operação realizada pelo sistema em que haja variabilidade, devem ser coletadas informações de tempo e geradas as respectivas curvas de comportamento. O modelo, assim construído, terá condições de representar fielmente o sistema real. Ocasionalmente, podem ocorrer eventos imprevistos ao longo da tomada de tempo (por exemplo, o operador se machuca ou deixa cair uma ferramenta) que acabam por prolongar o tempo da operação. Neste caso, este valor deve ser desconsiderado e uma anotação deve ser feita, registrando o ocorrido, que será modelado de outra forma. Isto é necessário pois caso este tempo seja inserido junto com os outros dados para a geração do histograma, este acabará por fornecer uma curva de comportamento imprecisa, sem uma boa aderência ao gráfico. Imprevistos como o citado podem ser modelados tomando-se por base os registros históricos destas ocorrências, que irão gerar uma curva de comportamento distinta.

As curvas de comportamento mais comuns são: Normal, Triangular, Exponencial, Uniforme, Gama e Weibull, entre outras. Uma frase comum no meio da simulação é “Trash in – Trash out”, ou seja, se forem colocadas informações incorretas no modelo, este responderá incorretamente também

4.6 Definição de Cenários

Os modelos de simulação que realizam testes de diferentes alternativas para um mesmo sistema são chamados de cenários. Os cenários são aplicados principalmente quando se deseja estudar as alterações em um sistema já existente. Portanto, é necessária a construção de um modelo que seja fiel ao sistema existente, devidamente validado. A partir dele, são aplicadas as melhorias pretendidas, ou modificações de qualquer ordem. O objetivo é comparar o desempenho de todos os cenários entre si e com a situação original, de modo a constatar qual é a melhor opção ou opções de melhoria.

Uma vez definido o melhor cenário, este passa a ser estudado em detalhes para

eliminar eventuais novos gargalos que podem ter surgido devido às mudanças. Fatores como custo de implementação e impacto social devem ser considerados na análise, evitando-se ultrapassar certos parâmetros, uma vez que o ambiente de simulação não impõe limites à criação de novas situações e o operador poderia facilmente gerar uma situação irreal. Devido a isso, é importante que a modelagem dos cenários seja realizado com base em um estudo ou projeto de melhoria do processo. A simulação é uma ferramenta, e não uma solução em si para os problemas da empresa.

O estudo através da análise de cenários é bastante proveitoso, pois ultrapassada uma fase inicial mais trabalhosa, que trata da análise do sistema e modelagem da situação original, passa-se a uma fase de experimentação onde vários cenários podem ser produzidos apenas alterando-se alguns aspectos do modelo original. Desta forma, muitas alternativas de melhoria podem ser realizadas em espaço de tempo bastante curto, com esforço relativamente pequeno. No entanto, um erro produzido no modelo original pode invalidar também todos os cenários criados a partir dele, o que implica em especial atenção na validação do modelo.

O desenvolvimento de cenários para a simulação é similar ao realizado na Administração Estratégica quando realiza a previsão ambiental (Certo & Peter, 1993) onde a equipe selecionada, baseada em informações já existentes, tenta criar situações de mercado hipotéticas e preparar a empresa para uma nova situação antes que esta ocorra. Tais cenários de mercado podem até mesmo ser simulados em um pacote comercial, uma vez definidos alguns parâmetros e guardadas certas limitações. Baseados neste fato, já temos notícia de “business games” que fazem uso de simulação, como o descrito por Cornélio, Freitas & Tubino (1998).

Uma vez decididas e implantadas as melhorias no sistema real, o cenário modelado é novamente validado com o novo sistema real, de modo a ajustar eventuais discrepâncias. Desta forma, mantêm-se sempre uma cópia do modelo atualizada, que irá proporcionar agilidade no processo de tomada de decisão, caso se pretenda realizar novas modificações no processo.

4.7 Simulação de Sistemas Inexistentes

Graças à grande liberdade de criação proporcionada pelas ferramentas de simulação existentes atualmente, é possível criar modelos de sistemas que ainda não foram completamente desenvolvidos, ou mesmo de sistemas completamente utópicos.

No estudo de tais sistemas, devem ser montados protótipos funcionais, que são aperfeiçoados gradativamente conforme o avanço dos estudos. No entanto, a montagem de um protótipo real é bastante dispendiosa, e a sua montagem no início do trabalho geralmente não apresenta resultados práticos, uma vez que pouco se sabe sobre o sistema. A medida que o estudo avança, novos investimentos são necessários para alterar o protótipo, e assim até o término do trabalho. Este fato pode inviabilizar a pesquisa, já que nem sempre é possível dispor de tais recursos. Sendo assim, a simulação desponta como uma alternativa bastante razoável para a criação de protótipos e o estudo destes, reservando os recursos para a montagem do protótipo real quando o estudo já estiver em bases mais sólidas.

A criação de um modelo de sistema não existente apresenta alguns obstáculos adicionais, a saber:

- Ausência de uma origem para os dados estatísticos, que deveriam gerar as curvas de comportamento;
- Ausência de sistema real para validar o comportamento do modelo;
- Dificuldade em parametrizar o comportamento de determinada parte do modelo, quando este requer uma máquina ou recurso que ainda não existe para cumprir a tarefa estabelecida.

Estas dificuldades são contornáveis em parte e, a despeito delas, o resultado final é compensador, se for considerada a economia que o modelo proporciona.

A ausência de dados estatísticos para o modelo pode ser suprida de várias formas. Uma é estudando-se um processo semelhante e extrapolando o comportamento para o

modelo. Alguns comportamentos são já bem conhecidos, como a distribuição de chegada de pessoas em um local, que geralmente segue uma distribuição exponencial. Caso não exista qualquer processo semelhante, o tempo deve ser estimado baseando-se no que já se conhece sobre o processo, aliado ao bom senso.

A impossibilidade de se validar o modelo comparando-o com um sistema real não é tão crítica em um protótipo, uma vez que geralmente seus objetivos já estão traçados. Quando se pesquisa um novo sistema de manufatura, espera-se que este seja melhor do que os já existentes. Quando isto não ocorre com o modelo, existe um erro. É tarefa do projetista descobrir se o erro está no modelo, ou se o sistema desenvolvido é que realmente não atende às expectativas.

Quando houver a necessidade de se inserir um recurso no modelo que ainda não exista, o projetista deve usar de bom senso para estabelecer limites e criar uma “caixa preta”, que cumpra sua função no modelo. O conteúdo da “caixa preta” deve ser objeto de novas pesquisas. Na realidade, esta é uma grande vantagem da simulação para o estudo de sistemas inexistentes, pois é possível incluir no modelo recursos que ainda não tiveram sua tecnologia totalmente desenvolvida, mas que serão necessários para o sistema como um todo. Portanto, é possível estudar a interação entre os dispositivos antes mesmo que todos eles tenham sido desenvolvidos

4.8 Análise dos Resultados Gerados pela Simulação

Sob o aspecto de coleta de dados, como detalhado por Kelton & Sadowsky (1998), os modelos de simulação podem ser classificados em “terminais” ou “não-terminais”.

Os modelos terminais são aqueles que tem início e fim bem definidos por determinadas condições. Por exemplo, um estabelecimento comercial abre suas portas às 8 horas da manhã e encerra seu expediente às 5 da tarde, no entanto, permanece funcionando até que todos os clientes tenham saído da loja. Portanto, as condições de término são o horário e a ausência de clientes na loja. O tempo de simulação, portanto, pode variar de acordo com o comportamento do modelo. Os modelos não-terminais são aqueles que

funcionam ininterruptamente, sem condições específicas para término. Por exemplo, uma ala de emergência em um hospital funciona 24 horas por dia. Neste caso, o projetista deve estabelecer um tempo razoável de simulação, suficiente para gerar a quantidade de dados adequada para a tomada de decisões.

Dependendo do tipo de simulação, são aplicadas técnicas diferentes de execução e coleta de dados:

4.8.1 Estudo de Sistemas Terminais

Para os sistemas terminais, a execução da simulação é feita em “replicações”. Cada replicação representa um período de tempo, no qual o sistema trabalha. Portanto, no caso do estabelecimento comercial citado anteriormente, uma replicação seria um dia de trabalho. Supondo que se deseje medir o número médio de clientes na fila do caixa ao longo do dia, a simulação executa várias replicações, cada qual fornecendo o valor médio de um dia. Estes valores são, então, usados para calcular o intervalo de confiança do modelo.

O número de replicações necessárias para a obtenção de um bom intervalo de confiança varia de acordo com o modelo. Devem ser feitas várias tentativas, aumentando-se o número de replicações, até a obtenção de um intervalo aceitável. Os pacotes comerciais de simulação mais modernos são capazes de gerar automaticamente tais intervalos, entre outras análises gráficas. Tal característica é, de fato, uma das mais importantes dentro de um pacote de simulação (Nikoukaran, 1998).

4.8.2 Estudo de Sistemas Não Terminais

Para os sistemas não-terminais, a execução da simulação é feita de modo contínuo. No entanto, um problema para o projetista é que a maioria dos sistemas não se inicia vazia, ou seja, sem peças ou sem pessoas. Para que as estatísticas sejam válidas, é necessário que sejam coletadas com o sistema em pleno funcionamento, ou “em regime”. Para contornar este problema, após iniciada a simulação, é estabelecido um tempo de “warm-up”, ou aquecimento, durante o qual o sistema entrará em regime. O tempo de warm-up também

varia conforme o modelo, e deve ser determinado por tentativas.

Uma vez determinado o tempo de warm-up, a simulação pode se processar da mesma forma que os sistemas terminais, através de replicações de determinados períodos de tempo. A única observação é que o tempo de warm-up só deve ser aplicado à primeira replicação, e o sistema não deve ser reinicializado, ou seja, esvaziado. Neste caso, no final de uma replicação, todas as peças e/ou pessoas permanecem no sistema e a replicação seguinte já se inicia com elas.

4.9 O Pacote de Simulação ARENA®

O pacote ARENA é comercializado pela Systems Modeling Corp.®, uma empresa pioneira em softwares de simulação. Ela foi a primeira a portar uma linguagem de simulação, o SIMAN, para IBM-PC e a primeira a incorporar uma interface gráfica de animação, o CINEMA, que trabalhava em conjunto com o SIMAN.

Seus softwares foram evoluindo até o estágio atual, chamado de ARENA®, para Windows 95/98/NT. Algumas características deste pacote merecem destaque:

4.9.1 Modelagem Visual

Diferente de uma linguagem de programação tradicional, o ARENA® trabalha com uma interface totalmente gráfica, onde o modelo é construído de forma semelhante à montagem de um fluxograma. Este recurso facilita o trabalho do projetista tanto no processo de modelagem como na verificação de erros. A lógica de modelagem compartilha o mesmo espaço usado para criar a parte visual do modelo, como animação e telas explicativas. Esta integração provê grande facilidade para documentação do modelo, onde todos os recursos de desenho podem ser usados para dar destaque ou esclarecer partes da lógica.

4.9.2 Integração com Microsoft Office®

As versões mais atualizadas do Arena possuem recursos avançados de integração com

outros aplicativos de uso comum, como o pacote Office® da Microsoft®. Tal facilidade é possível através da linguagem Visual Basic for Applications, que foi licenciada pela Systems Modeling e inserida no Arena®.

Através dela, é possível criar um modelo que leia informações de uma planilha do MS Excel®, simule com os novos dados, e grave os resultados também em uma planilha do MS Excel®, ou mesmo no MS Word®, completando dados em um relatório pré formatado, ou no MS Powerpoint®, enriquecendo uma apresentação sobre os resultados do projeto. Também é possível criar interfaces amigáveis com o usuário, de modo que o operador do modelo não necessite possuir conhecimentos sobre o Arena®. Uma janela padrão do Windows solicita as informações necessárias e aciona o modelo automaticamente.

Este recurso vem ampliar de forma significativa a flexibilidade do pacote, permitindo integrá-lo às outras ferramentas que já fazem parte da cultura da empresa. No entanto, caso esta não seja usuária dos produtos Microsoft, esta integração será bem mais limitada.

4.9.3 Templates: Lógica Escalonável

Com o Arena, o SIMAN, antes uma linguagem de linha de comando, passou a se constituir de "blocos" que podiam ser unidos como se fossem um fluxograma, descrevendo o processo a ser modelado (conforme descrito no tópico 4.9.1). No entanto, a linguagem SIMAN apresenta a complexidade inerente a toda linguagem de programação, tornando-se de difícil entendimento por profissionais não especializados. Este obstáculo foi removido justamente criando-se os Templates, que são constituídos de vários blocos SIMAN agrupados (pequenos programas de simulação) em um único bloco, apresentando interface mais amigável com o usuário. Esta primeira simplificação originou os templates chamados Support (para modelagem da lógica geral) e Transfer (para modelar o deslocamento de entidades dentro do sistema). Em um novo aprimoramento, os templates Support e Transfer foram usados para construir um template ainda mais amigável, no entanto menos flexível, chamado Common. Estes templates são parte integrante do pacote Arena®

Posteriormente, a Systems Modeling colocou no mercado o pacote chamado Arena Professional®, acrescentando a possibilidade de criação de templates específicos pelos

próprios usuários. A Figura 4.5 mostra graficamente como os templates do Arena podem atender tanto às necessidades de flexibilidade como de facilidade de uso.

4.9.4 Recursos para Análise de Entrada e Saída de Dados

Juntamente com o pacote do Arena, são fornecidos dois softwares adicionais, o Input Analyzer e o Output Analyzer, que permitem realizar todas as operações necessárias ao tratamento e análise de dados estatísticos para inserir no modelo, assim como os resultados fornecidos pelo Arena ao final da simulação. Entre seus recursos, estão:

- Geração de histograma de dados de entrada e ajuste de curva com várias distribuições estatísticas;
- Leitura de arquivos de dados gerados pelo Arena, e apresentação de intervalos de confiança (Figura 4.2) para avaliação do modelo. Vários outros gráficos também estão disponíveis;
- Tratamento de resultados gerados pela simulação, agrupando dados de várias replicações ou eliminando valores incompatíveis com o estudo.

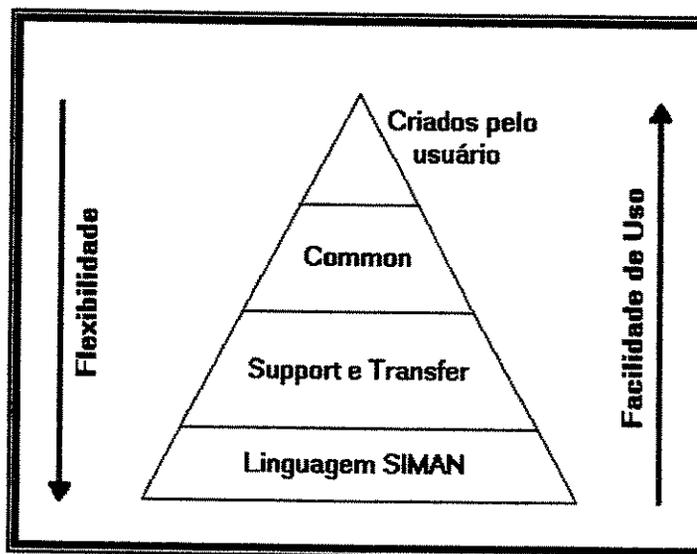


Figura 4.3 – Os Templates do Arena e suas características

Um exemplo de aplicação da simulação com Arena é apresentado por Drake *et.*

al.(1995), onde é abordada inclusive a técnica de simulação em tempo real, através da qual é possível simular usando dados coletados diretamente dos equipamentos na linha produtiva.

Capítulo 5

5. Arquitetura dos Sistemas de Manufatura e Metodologia de Comparação

5.1 Introdução

Quando se pretende realizar uma comparação entre conceitos, objetos ou sistemas, é fundamental que sejam estabelecidas as regras pelas quais os resultados da comparação serão analisados, e quais as características a serem levadas em consideração.

Esse conjunto de regras, aliado aos recursos usados para aplicá-las, forma uma metodologia de comparação. No caso do presente estudo, esta metodologia estará voltada para a comparação entre arquiteturas de sistemas de manufatura. A definição das regras de comparação e dos pontos a serem analisados estarão subordinados ao propósito fundamental do objeto em estudo, no caso dos sistemas de manufatura, a produção de bens manufaturados.

Assim, este capítulo se dedicará a apresentar a metodologia aplicada na comparação entre as arquiteturas de sistemas de manufatura Ágil e Holônico, bem como as ferramentas usadas para atingir este objetivo. Essa apresentação passará, também, pela própria definição

de arquitetura, de modo a fundamentar o estudo realizado.

5.2 Arquitetura dos Sistemas de Manufatura

Conforme explicado por Wyns (1996) a arquitetura de um sistema de manufatura é o resultado do projeto do sistema, onde são especificadas as funções dos componentes, suas interfaces, interações e restrições. Tem por objetivo descrever de forma resumida toda a complexidade dinâmica de um sistema através de modelos simples. Entre as vantagens da definição de uma arquitetura, pode-se enumerar (Wyns, 1996):

- Fornecendo uma abstração do sistema complexo de forma simples, a arquitetura auxilia o projetista a definir as interfaces e interações entre os diversos componentes;
- Quando é necessária uma alteração no processo, reduz-se o impacto das mudanças pela possibilidade de focalizar apenas as áreas que necessitam de maiores mudanças;
- A arquitetura indica os componentes vitais para o sistema, os quais não deverão ser alterados quando da adaptação deste sistema para novos usos, caso em que se estaria aplicando uma arquitetura diferente. Comparando com a arquitetura de edificações, seria como mudar os pilares de uma casa;
- A arquitetura é um meio de comunicação importante durante o processo de projetar ou reprojeter o sistema, fornecendo base para discussões entre as partes envolvidas.

À semelhança da arquitetura de edificações, a arquitetura de sistemas de manufatura também pode ser apresentada de várias maneiras. No caso de um prédio, sua arquitetura é apresentada aos clientes na forma de uma maquete, mas quando apresentada à construtora, são fornecidas várias outras informações, como materiais utilizados, locais de passagem de fios, etc. Assim, de uma arquitetura de sistema de manufatura, espera-se conseguir (Wyns, 1996):

- Uma terminologia unificada, sem ambigüidades e conhecida por todos os envolvidos;
- Simplicidade no projeto do sistema, permitindo um desenvolvimento fácil e rápido da sua arquitetura;
- Maior qualidade no desenvolvimento dos sistemas, por se basearem em conceitos confiáveis, já comprovados pela arquitetura;
- Interfaceamento e a possibilidade de reaproveitamento de módulos da arquitetura em diferentes projetos ou gerações de sistemas;
- Desenvolvimento ou implementação de tarefas que podem ser divididas entre diferentes times, permitindo que cada um aplique suas melhores especialidades ou equipamentos;
- Fácil identificação das soluções utilizadas. A arquitetura precisa indicar e justificar claramente quando e como cada estágio do desenvolvimento recebeu implementações de engenharia.

A arquitetura de um sistema pode ser formulada no estilo descritivo ou prescritivo. O estilo descritivo define uma codificação particular dos elementos de projeto e é usado durante as discussões entre o projetista e o cliente. O estilo prescritivo se limita a apresentar os elementos e suas configurações. Este estilo é aquele usado nos planos de construção de um edifício, nos quais o construtor se baseia para realizar seu trabalho.

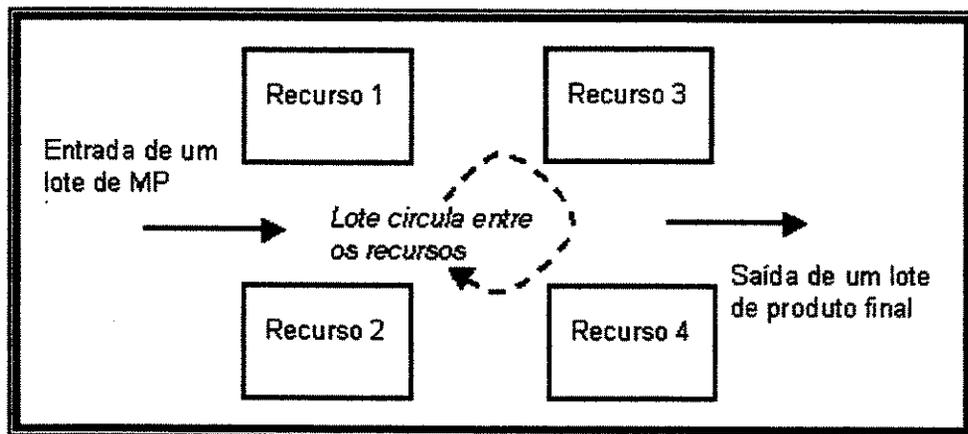
Neste estudo, as arquiteturas são apresentadas no estilo descritivo, de modo a permitir seu fácil entendimento e viabilizar sua abordagem.

5.3 Evolução das Arquiteturas de Sistemas de Manufatura ao Longo do Tempo

Uma análise realizada por Fioroni & Batocchio (2000) percorre a evolução dos sistemas de manufatura desde o início da produção industrial até os dias atuais:

- **Sistema Funcional de Manufatura**

Um dos primeiros sistemas de fabricação elaborados foi o chamado "Sistema Funcional", onde os recursos fabris da empresa com a mesma função são agrupados em setores. Desta forma, a matéria prima é transportada em lotes ao longo dos diferentes setores, onde sofre operações específicas em cada um deles. É caracterizado pela sua grande flexibilidade, já que qualquer operação pode ser feita em qualquer ordem. Também é pouco suscetível a paradas de produção devido a quebras de máquinas, e o seu agrupamento facilita o treinamento da mão de obra. O sistema funcional apresenta tempo de fabricação longo, dificuldade na manutenção da qualidade do produto e no gerenciamento do sistema, que se torna muito complexo. Uma grande quantidade de estoque intermediário é necessário para o seu funcionamento, o que exige um investimento



considerável (Batocchio, 1992).

Figura 5.1 - Representação de um Sistema Funcional

Trata-se do sistema adequado para a fabricação de lotes pequenos, e prazos de entrega curtos. É o sistema ideal quando os produtos a serem fabricados são muito diversificados, ou são alterados frequentemente. A Figura 5.1 apresenta esquematicamente o funcionamento deste sistema, onde os recursos representam uma ou mais máquinas de mesmo tipo ou pessoas, onde ocorre uma das etapas de fabricação

- **Sistema de Produção em Linha**

Quando os produtos a serem fabricados tem pequena variação e exigem muitas

operações, surgem empecilhos para a fabricação pelo sistema funcional. Para este caso, foi desenvolvido o sistema de fabricação em linha, no qual os diferentes equipamentos permanecem dispostos na seqüência das operações exigidas para a fabricação do produto. Desta forma, obtêm-se uma boa velocidade de fabricação, permitindo atender rapidamente aos pedidos para grandes quantidades (Batocchio, 1992).

Os pontos fracos deste sistema residem na sua grande sensibilidade a problemas na linha. Uma máquina quebrada pode interromper completamente a produção. Outro ponto negativo é a sua baixa flexibilidade e alto custo de implantação, que o tornam aplicável apenas quando a empresa possui vários produtos similares com tempo de vida alto. A representação esquemática deste sistema é apresentada na Figura 5.2.

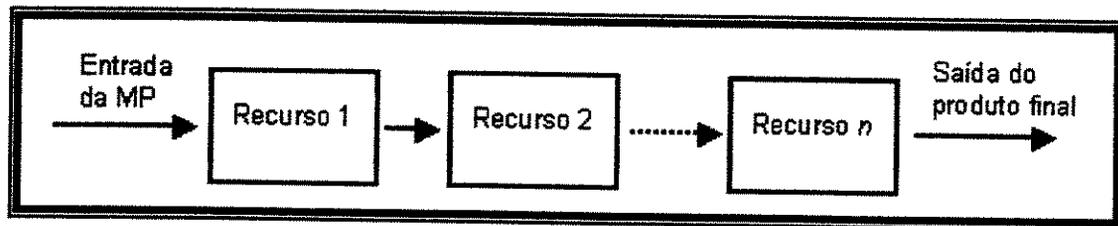


Figura 5.2 - Funcionamento de um Sistema em Linha

- **Sistema Celular**

O sistema celular destina-se à fabricação de peças que tenham certa similaridade, em lotes pequenos. Caracteriza-se pelo agrupamento de todas as máquinas usadas para a fabricação de um determinado "grupo" ou "família" de peças, as quais sofrem operações em todas ou algumas destas máquinas. O agrupamento de máquinas é chamado "célula" (Batocchio, 1992).

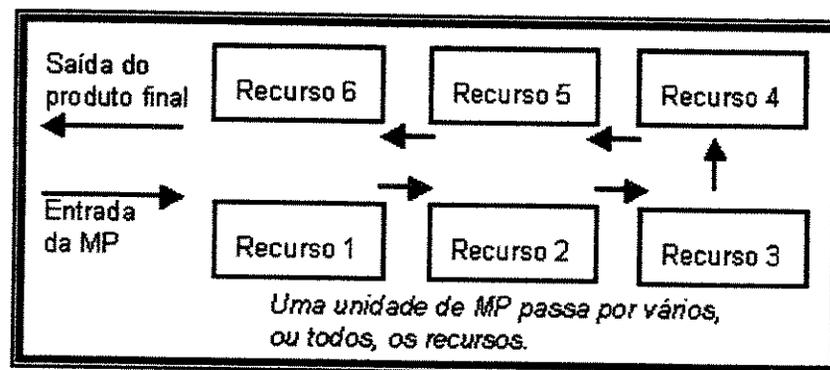


Figura 5.3 - Funcionamento de um Sistema Celular

O sistema celular apresenta as vantagens de reduzir os estoques intermediários, permitir a fabricação de lotes pequenos, aproveitamento ótimo da mão de obra e equipamentos, e permitir a manutenção de altos níveis de qualidade. Suas desvantagens ficam por conta de sua também grande sensibilidade a imprevistos como quebras de máquina, paradas para manutenção, ou acontecimentos semelhantes; flexibilidade relativamente baixa, pois se houver uma variação muito grande no desenho da peça a ser fabricada, a célula passa a não mais ser capaz de produzi-la, seja pela ausência de uma determinada máquina, ou um processo que passa a ser muito demorado, prejudicando a fabricação das outras peças do grupo. A Figura 5.3 ilustra o funcionamento de um sistema celular. A matéria-prima, em seu processo de fabricação, passa por várias ou todas as máquinas. Este sistema é aplicado atualmente na “manufatura enxuta” (Lean Manufacturing), principalmente quando o produto é pequeno e manipulável por operadores.

- **FMS – Sistemas de Manufatura Flexível**

O avanço da tecnologia, que proporcionou novos recursos fabris como robôs, centros de usinagem automatizados e etc. O conceito de FMS envolve um alto nível de automação, onde a fabricação é realizada por centros de usinagem multifuncionais e robôs dotados de ferramentas. A transferência entre as máquinas é feita por veículos robotizados (AGVs) e o posicionamento/setup das máquinas é realizado por robôs manipuladores ou similares. A matéria prima, produtos acabados, ferramentas a até produtos em estágio intermediário são armazenados em um armazém automatizado. Todos estes elementos são ligados a um computador central que coordena todas as ações e recebe ordens de fabricação diretamente do escritório central (Asai & Takashima, 1994).

Desta forma, a produção segue rigorosamente as tendências detectadas pela pesquisa de mercado e é capaz de mudar rapidamente, passando a fabricar um produto diferente. Isto caracteriza sua flexibilidade. A Figura 5.4 mostra um esquema do funcionamento de um sistema FMS.

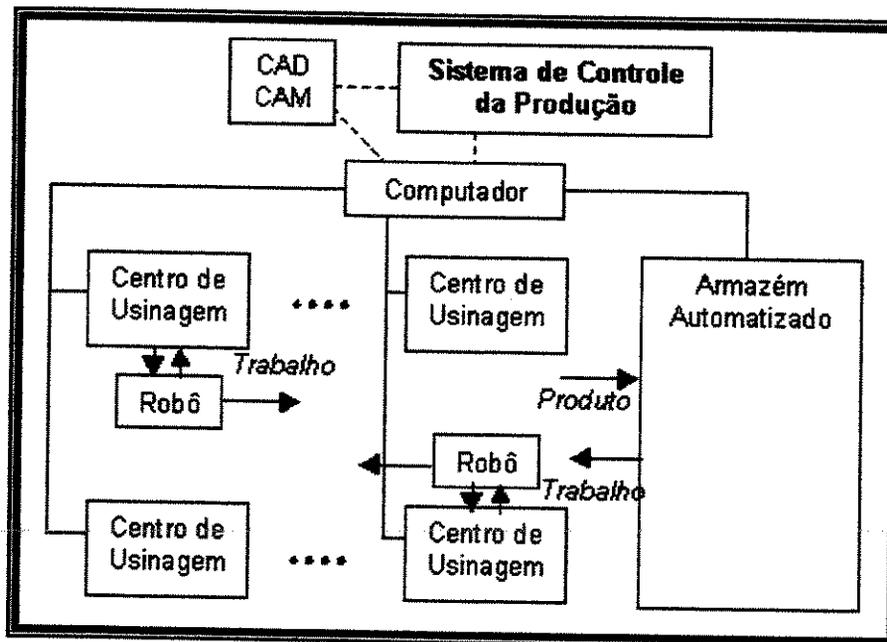


Figura 5.4 - Funcionamento de um sistema FMS (Asai & Takashima, 1994)

- **CIM – Manufatura Integrada por Computador**

Com o avanço em constante aceleração da informática e a disponibilidade cada vez maior dos computadores, estes começaram a encontrar aplicação nas empresas. O desenvolvimento de softwares para CAE, CAD/CAM acelerou ainda mais este processo.

O uso dos computadores permitiu uma maior integração entre os diversos departamentos das empresas através de redes informatizadas. Otimizou processos e permitiu um gerenciamento mais eficiente dos recursos da empresa. Segundo Asai & Takashima (1994), existem dois tipos de CIM:

- “CIM in series”, que descreve uma aplicação vertical dos computadores, cobrindo operações de pesquisa de mercado, planejamento de produto e projeto, planejamento da produção e controle, teste e distribuição;
- “Cross CIM”, que descreve uma aplicação horizontal dos computadores, que se constitui em ligações bidirecionais entre todas as fábricas e unidades da empresa com o escritório central automatizado, que centraliza as informações e decisões.

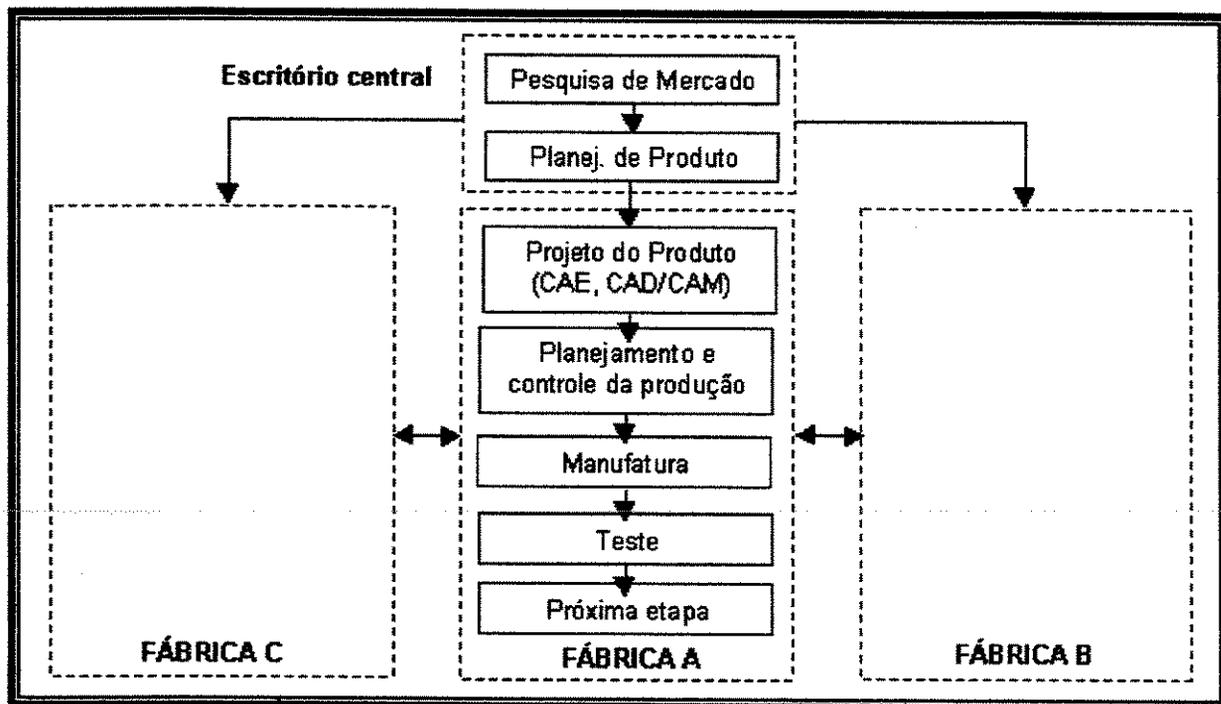


Figura 5.5 - Funcionamento de um sistema CIM (Asai & Takashima, 1994)

A Figura 5.5 apresenta um diagrama do funcionamento de uma empresa utilizando o CIM. O escritório central coordena as ações das fábricas, de acordo com as tendências detectadas pela pesquisa de mercado.

Este estudo, aliado à análise feita do Sistema de Manufatura Ágil, já aplicado atualmente, e do Sistema de Manufatura Holônico, uma proposta para aplicações futuras, revela uma tendência. Em cada etapa da evolução dos sistemas de manufatura, estes se aproximam mais e mais do cliente. Cada vez mais, é o cliente quem influencia as estratégias e o foco de atuação da empresa.

5.4 Diretrizes para Escolha dos Índices de Desempenho

No processo de comparação, determinadas características precisam ser escolhidas para servirem de referência. Segundo Saleh *et. al.*(1998), é importante selecionar um conjunto de atributos que sejam apropriados para avaliar os sistemas de manufatura. A comparação entre todas as características dos sistemas seria inviável, por implicar na

análise de informações não relevantes ao presente estudo. Assim, foram escolhidas as características que servirão de base para a análise a ser realizada. Tais características serão doravante denominadas “índices de desempenho”, por evidenciarem a performance de um dos sistemas em relação ao outro.

No âmbito dos sistemas de manufatura, o propósito de um sistema é a produção de bens manufaturados. A quantidade e qualidade da produção dependem do contexto em que se encontra o sistema. Na análise comparativa realizada por Fioroni & Batocchio (2000), citada anteriormente, depreende-se que o foco, o propósito maior do sistema de manufatura da atualidade, é atender ao pedido do cliente.

Portanto, a comparação será focada na capacidade de cada sistema em atender ao pedido do cliente. No entanto, deve ser levado em consideração o lado da empresa, ou seja, o investimento necessário para que esse objetivo seja alcançado. Assim, o conceito final no qual será baseada a escolha dos índices de desempenho será: *a capacidade de cada sistema em atender ao pedido do cliente mediante o menor investimento.*

Diante do turbulento ambiente de mercado dos tempos atuais, a capacidade de contornar problemas e imprevistos também é importante, mas esta característica será igualmente mensurada através do conceito elaborado acima, por refletir diretamente no resultado do sistema.

5.5 Índices de Desempenho Escolhidos

À luz do conceito anteriormente descrito, foram selecionados os índices de desempenho relacionados a seguir:

- **Tempo de atendimento do pedido:** Este índice mede a capacidade do sistema em atender o pedido do cliente no horário.
- **Percentual de utilização dos recursos:** a utilização dos recursos indica o aproveitamento do investimento feito quando de sua aquisição.

5.6 A Metodologia

Um sistema de manufatura pode ser considerado como uma “caixa preta”, que recebe entradas, processa essa “entrada” e fornece uma saída. No caso em estudo, a entrada seria um pedido de produção, e a saída seria o lote de produto pronto. A Figura 5.6 ilustra esse conceito.

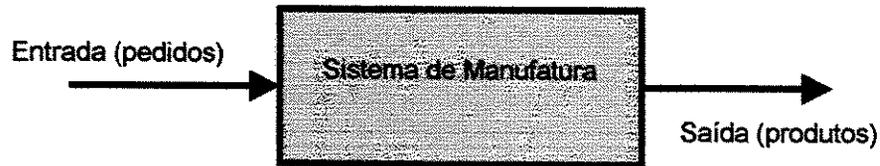


Figura 5.6 - Representação de um Sistema de Manufatura

Portanto, para realizar uma comparação isenta entre dois sistemas de manufatura, é necessário situá-los no mesmo ambiente, fornecer as mesmas entradas e medir seu desempenho na saída, mediante os índices de desempenho escolhidos. A Figura 5.7 ilustra este processo, onde um mesmo *Pedido X* será processado pelos dois sistemas em igualdade de condições, e posteriormente será feita a comparação entre as saídas *Desempenho Y1* e *Desempenho Y2*:

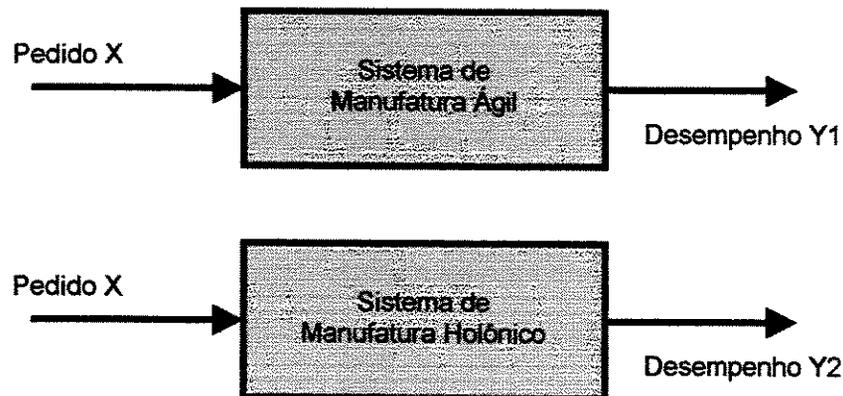


Figura 5.7 - Comparação entre os Sistemas de Manufatura

Para mensurar a capacidade de reação dos dois sistemas diante das adversidades, serão provocadas deliberadamente algumas interferências ao funcionamento normal dos sistemas. Tais interferências serão também rigorosamente iguais, de modo a não favorecer nenhum dos sistemas. A Figura 5.8 ilustra essa interferência provocada.

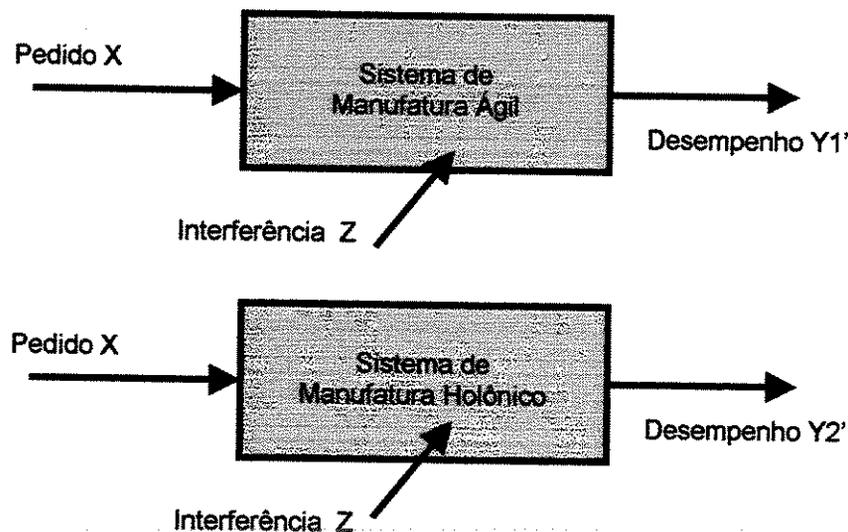


Figura 5.8 - Interferência provocada nos sistemas

Depois de submetidos à uma mesma *Interferência Z*, os resultados *Desempenho Y1'* e *Desempenho Y2'* serão comparados entre si e em relação aos obtidos diante da situação normal.

Para construir a “caixa preta” representativa de cada sistema de manufatura, escolheu-se a ferramenta Simulação, descrita no Capítulo 4, devido à flexibilidade que oferece para a representação de sistemas existentes, como é o caso do Sistema de Manufatura Ágil, e de sistemas ainda em estudo, como o Sistema de Manufatura Holônico. Adicionalmente, a simulação calcula e apresenta os índices de desempenho desejados de forma facilitada, agilizando e tornando mais eficiente o trabalho de análise. O uso desta ferramenta permitirá evitar experimentos realizados fisicamente na linha real, entre outros benefícios (Profozich, 1997).

No entanto, a flexibilidade apresentada pela Simulação de Processos é ao mesmo tempo uma vantagem e uma desvantagem, no sentido de que ela não impõe limites para a criação dos modelos, permitindo que elevadas abstrações sejam usadas para a sua construção, ultrapassando os limites das possibilidades reais oferecidas pela tecnologia atual. Assim, decidiu-se que os modelos de simulação seriam pautados pela análise de um sistema real já existente, de forma a oferecer subsídios concretos para o estudo.

Como ainda não se tem notícia de um Sistema de Manufatura Holônico em funcionamento na atualidade, optou-se por encontrar uma empresa que adota o Sistema de Manufatura Ágil, a qual fornecerá informações para a construção do primeiro modelo de simulação (Manufatura Ágil), e a partir do qual será construído o modelo de Sistema Holônico, aplicando-se os conceitos conhecidos até o momento sobre sua arquitetura. Desta forma, ficará garantida a igualdade de condições e de ambiente, uma vez que as entradas e os índices de desempenho serão os mesmos. Neste caso, os índices serão pautados pelos valores da empresa escolhida. A criação dos imprevistos também será pautado pelas situações reais da empresa.

Segundo Batocchio *et. al.* (1999), pode-se considerar o Sistema de Manufatura Holônico como em um nível mais elevado em relação ao Sistema de Manufatura Ágil. Assim, espera-se levar adiante estas reflexões acerca do posicionamento entre o Sistema Holônico e o Sistema Ágil.

5.7 Aplicação da Metodologia

A aplicação da metodologia descrita anteriormente será feita através das seguintes etapas:

- Identificação de uma empresa que se enquadre dentro dos conceitos de Manufatura Ágil;
- Seleção de uma linha de produção que seja representativa para o estudo;
- Identificação ou proposição das situações imprevistas passíveis de ocorrer com a linha produtiva escolhida;
- Construção de um modelo de simulação representativo da linha, considerando as medidas adotadas pela empresa quando ocorrem imprevistos. Este modelo representará o Sistema de Manufatura Ágil;
- Baseando-se no modelo anterior, aplicar os conceitos da arquitetura do Sistema de

Manufatura Holônica para a geração de um novo modelo, capaz de atuar mediante tais conceitos. Este modelo representará o Sistema de Manufatura Holônico;

- Visando testar os limites extremos de trabalho dos dois sistemas, propor um pedido de produção excessivo para os padrões da linha, e outro muito pequeno, permitindo atendimento com folga, coerente com as informações fornecidas pela empresa sobre o seu cotidiano;
- Simular os dois modelos atendendo aos mesmos pedidos definidos anteriormente, sob condições normais, sem imprevistos nem interferências, observando seu comportamento. Além das informações sobre o desempenho geral dos dois sistemas, este resultado servirá de referência para os próximos experimentos;
- Simular os modelos atendendo aos mesmos pedidos, mas sob condições adversas, observando seu comportamento e comparando com os resultados obtidos no experimento anterior;
- Análise comparativa entre todos os resultados obtidos.

Estes procedimentos irão garantir que os resultados serão representativos e que os modelos construídos estão próximos da realidade. Uma ressalva deve ser feita quanto ao modelo de Sistema Holônico, que eventualmente contará com recursos ainda não existentes, mas perfeitamente passíveis de implementação através da tecnologia atual.

5.8 Critérios para a Seleção da Empresa e da Linha Produtiva

Para se enquadrar no conceito de agilidade, a empresa a ser escolhida precisa possuir a estrutura proposta na arquitetura do Sistema de Manufatura Ágil descrito no Capítulo 2, ou seja, integração entre: pessoal altamente capacitado e com poder de decisão; tecnologias avançadas e flexíveis; e organização com gerenciamento e estrutura inovadores (Kidd, 1994). Uma forma de medir a agilidade das empresas foi proposta por Goldman *et al.*(1994). Trata-se de uma relação de perguntas e pontos a serem analisados na empresa

submetida à análise. Foram relacionados abaixo os pontos mais relevantes extraídas de Goldman *et al.*(1994) para o presente estudo:

5.8.1. Enriquecimento do Cliente:

A. Os clientes obtêm produtos ou soluções?

- A organização está focada na satisfação do cliente ou no envio do produto?
- A empresa mede quanto esforço é necessário para que os clientes sejam beneficiados pelo produto?
- Os clientes precisam adaptar-se ao produto?;

B. A empresa está organizada para oferecer soluções?

- Ela procura oportunidades para agregar serviços ou outros valores ao produto?
- Está otimizada para personalização em massa ou produção em massa?
- Está focada em oportunidades de produtos personalizados ou em produtos padronizados?
- O gerenciamento está focado em aquisição de competências chave ou em eficiência de fábrica?
- A qualidade é medida por taxas de defeito ou aproveitamento pelo cliente ao longo do tempo?
- A empresa procura soluções valiosas ou produtos com grande margem de lucro?

C. O que a organização vende?

- Ela vende habilidades, conhecimento e informação através de um relacionamento ao longo do tempo ou apenas produtos em transações comerciais?
- Seus clientes valorizam as informações fornecidas pela empresa, ou apenas pagam pelos produtos físicos;
- Os produtos ou serviços são reconfiguráveis ou inflexíveis?
- A empresa coloca um valor de propriedade na informação vendida ou a informação vendida não é considerada uma propriedade?
- Toda a propriedade intelectual e informações são secretas, ou parte delas são vendidas visando lucro?
- Os clientes procuram a empresa quando necessitam de atendimento rápido para solicitações especiais?
- Caso afirmativo, a empresa constantemente ultrapassa as expectativas?

5.8.2. Cooperação e Melhoria da Competitividade

D. Dentro da Organização

- Há cooperação oportunista entre as linhas organizacionais?
- São usados times inter-funcionais?
- Cada uma das unidades de perda e lucratividade estabelecem seus próprios objetivos específicos de acordo com a declaração de missão?
- Os trabalhadores acreditam que são encorajados a colaborar, cooperar e trabalhar em times, ou são focados em performance individual e recompensas?
- As informações são disponibilizadas para aqueles que necessitam delas

através de um sistema de informações que abrange toda a empresa? Ou a informação é difícil de ser encontrada e geralmente não é compartilhada?

- A estrutura organizacional facilita o trabalho concorrente na empresa? Ou é organizada em “silos” funcionais que agem independentemente com um mínimo de comunicação e pouca coordenação?
- As decisões ou ações alternativas são baseadas em medidas realizadas com o cliente final, ou em volume de vendas, margem e custo por unidade?

E. Fora da Organização

- A decisão de estabelecer uma parceria é a primeira alternativa ao invés de ser um último recurso?
- Ambos protegem e compartilham a propriedade intelectual?
- A empresa mantém um histórico de credibilidade e seria a preferida em detrimento do parceiro?
- A empresa está usando o modelo de companhia virtual para obter integração vertical?
- Os maiores fornecedores são tratados como parceiros confiáveis? Ou as transações comerciais com os fornecedores são hostis e frequentemente renegociadas?
- Os produtos são concebidos juntamente com os clientes e fornecedores? Ou são concebidos por grupos internos e mantidos secretos até a data de lançamento?

5.8.3. Lidando com Mudanças e Incerteza

F. Velocidade de Mudança da Organização

- A velocidade das tomadas de decisão na empresa são medidas em horas, dias, semanas, meses ou anos?
- A empresa está constantemente reinventando e fazendo uma reengenharia na organização?
- A empresa está retirando níveis hierárquicos do seu organograma?
- A empresa está organizada por departamentos funcionais ou por times de oportunidades de negócio frente aos clientes?
- A organização da empresa é dinâmica e efetiva ao enfrentar mudanças de objetivos e metas?

G. Agilidade da Organização

- As mudanças e o caos aparente são reconhecidos como oportunidades ?
- A organização é capaz de decidir cursos de ação apropriados frente às mudanças, e é capaz de implementar essas mudanças?
- Em qual nível hierárquico podem ser tomadas decisões arriscadas?
- Os que se arriscam e falham algumas vezes são recompensados pela iniciativa?
- Quão independentes são os centros de eficiência?
- A gerência aconselha, inspira ou direciona os empregados que trabalham com eles?
- A informação é escondida visando aumentar o poder individual ou distribuída para delegar?
- O mix dos processos de manufatura estão constantemente mudando?

H. Conceitos de Redução do Fluxo de Caixa

- E empresa é pró-ativa com os clientes ?
- A empresa está eliminando barreiras organizacionais que impedem seus esforços de atingir os anseios do cliente ?
- Os empregados são solicitados a pensar e tomar decisões ?
- Aqueles que cumprem tarefas são capazes de tomar decisões que afetem sua habilidade de realizar as tarefas melhor e mais rápido ?

5.8.4. Alavancagem da Informação e do Pessoal

I. Os Empreendedores Sobrevivem na Organização?

- As compensações são baseadas em habilidades ou em tarefas ?
- As compensações são baseadas em uma combinação de performance, tempo e estatísticas ou apenas em tempo e estatísticas ?
- A atuação em times de trabalho é reconhecida e recompensada, ou são usadas apenas medidas de performance individuais ?
- As pessoas são estimuladas a pensar ?
- A empresa acredita em delegar poderes aos empregados, ou em policiar e auditar seu trabalho ?
- Os empregados cooperam e trabalham em times, ou apenas focalizam em objetivos e tarefas do departamento ?

J. Reconhecendo o Impacto das Pessoas no Resultado Final

- As habilidades e conhecimento das pessoas são tratados como propriedades, ou o gerenciamento das propriedades é focado apenas em

equipamentos e maquinaria ?

- O aumento de capacitação do pessoal é encarado como um benefício para a companhia ou apenas como um benefício para o empregado ?
- A empresa gerencia conhecimentos chave e competências ou produtos e linhas produtivas ?
- As reivindicações de competitividade são baseadas em valores oferecidos ao cliente por competência e experiência ou por custo e qualidade de operações de fábrica ?
- A empresa investe e faz benchmark de suas competências chave ?

K. Reconhecendo o Valor de Produtos de Informação no Resultado Final

- A empresa vende, aluga ou arrenda o acesso às informações e ferramentas de engenharia ?
- O rendimento da informação e seu potencial de rendimento estão crescendo constantemente ?
- O conteúdo de informação dos produtos está crescendo ?
- A empresa mede o valor da informação contida nos seus produtos ?
- A informação automatizada é parte do produto?
- Os produtos oferecem instruções aos usuários sobre sua utilização e assistência para solução de problemas ?
- Os produtos podem facilmente ser personalizados por um cliente individual ?

As empresas candidatas serão analisadas através dos pontos listados acima e, à luz da arquitetura comentada no Capítulo 2, identificadas como ágeis ou não, bem como o seu

nível de agilidade.

Uma vez identificada a empresa, será escolhido um departamento ou área produtiva dentro desta que seja representativo para o presente estudo.

5.9 Critérios para a Modelagem do Sistema Holônico

Uma vez construído o modelo de simulação para o Sistema de Manufatura Ágil, este dará subsídios para a construção do modelo de Sistema de Manufatura Holônico. Sabendo-se que a arquitetura do Sistema Holônico PROSA (Wyns, 1999) prevê três holons básicos: holon de produto, holon de pedido e holon de recurso, as seguintes regras serão seguidas:

- A área escolhida será analisado de modo a identificar os elementos pertencentes a cada holon (pedido, produto e recurso) e será reorganizado segundo esta arquitetura;
- Serão considerados, quando necessário, estruturas previstas na arquitetura que não sejam parte integrante da linha, mas influenciem no seu funcionamento. O Sistema Holônico atinge o seu desempenho ótimo dentro de um ambiente também holônico, e este ambiente será considerado na elaboração do modelo;
- O modelo do Sistema Holônico será configurado para apresentar os mesmos imprevistos provocados no modelo do Sistema Ágil, será simulado durante o mesmo período de tempo, atendendo aos mesmos pedidos e coletando as mesmas estatísticas;
- O Sistema Holônico prevê um nível de flexibilidade dos recursos que pode não ter similar na linha produtiva usada como fonte de informações. Se for o caso, tal flexibilidade será implementada no modelo do Sistema Holônico, a despeito de sua ausência na linha. Isto é possível graças ao ambiente virtual proporcionado pelo software de simulação. Esta implementação será pautada na sua possibilidade tecnológica atual.

Com estas medidas, procurar-se-á montar um novo sistema que possua a mesma função e objetivos do elaborado para o Sistema Ágil, trabalhando sob as mesmas condições deste, no entanto, de acordo com a arquitetura do Sistema Holônico. Assim, usando a terminologia citada anteriormente, será trocada apenas a “caixa preta” do Sistema de Manufatura, que irá atuar com a mesma entrada e sofrerá as mesmas interferências.

Procedendo desta maneira, as saídas, ou resultados, serão influenciados única e exclusivamente pelas diferenças entre a arquitetura dos sistemas, fornecendo as informações necessárias à realização do presente estudo.

Capítulo 6

6. Aplicação e Resultados Obtidos

6.1 Introdução

A busca por uma empresa considerada ágil, disposta a fornecer informações para a realização do presente estudo, foi frutífera. Realizou-se uma pré seleção das empresas através de publicações de negócios (tais como: Exame 500 e Exame – 100 Melhores Empresas para Trabalhar no Brasil), permitindo checar vários dos pontos relacionados no capítulo anterior. Um total de três empresas foram contatadas, e uma resposta positiva foi obtida na terceira tentativa.

Assim, este capítulo apresentará as características da empresa escolhida, que solicitou a omissão de seu nome, uma vez que as informações fornecidas são consideradas estratégicas e confidenciais. Em seguida, serão explicados os modelos de simulação construídos com base na linha de produção existente na empresa, e também a sua equivalente sob arquitetura de Sistema Holônico de Manufatura. Os experimentos realizados serão descritos, bem como os seus resultados.

Desde o início, a busca recaiu sobre as empresas de tecnologia (Internet, informática, telecomunicações) por atuarem na parcela mais dinâmica do mercado atual. Os altos níveis

de competitividade e as grandes reviravoltas provocadas pelo avanço vertiginoso da tecnologia, criam um ambiente cheio de mudanças e imprevistos, ou seja, o ambiente ideal para verificar o desempenho dos sistemas de manufatura Ágil e Holônico, uma vez que foram projetados exatamente para esse tipo de situação.

6.2 Seleção da Empresa Ágil

Na busca por uma empresa adequada e disposta a fornecer informações para o presente estudo, foram feitas algumas tentativas sem sucesso. Felizmente, uma das empresas se mostrou favorável ao trabalho, levando adiante então, um processo de análise para atestar o seu enquadramento nas características esperadas para uma empresa ágil.

Trata-se de uma empresa multinacional americana, fabricante de microcomputadores, com aproximadamente 800 funcionários e faturamento anual superior a 1 bilhão de reais em 1999, segundo a publicação “Exame – As 200 maiores empresas de Tecnologia do Brasil”, edição de 2000.

Algumas das informações abaixo foram obtidas entrevistando os funcionários, e outras em publicações de negócios. Não serão apresentados detalhes que possam levar à identificação da empresa, pelo motivo anteriormente citado:

6.2.1 Avaliação da Empresa quanto ao Enriquecimento do Cliente:

A empresa selecionada saiu-se satisfatoriamente quando avaliada segundo este aspecto. Ela se mantém em estreito relacionamento com seus clientes, atendendo aos seus diversos anseios. Seus produtos são extremamente flexíveis e reconfiguráveis. O cliente não precisa adaptar-se aos produtos. De fato, seus produtos estão entre os mais flexíveis do mercado, senão os mais flexíveis.

6.2.2 Avaliação da Empresa segundo a Cooperação e Melhoria da Competitividade:

A empresa foi igualmente bem avaliada segundo este quesito. O sistema de informações dentro da empresa é bastante aberto. Seus funcionários tem acesso fácil aos

recursos e informações atuais da empresa, bem como seu desempenho no mercado, integrando e comprometendo o corpo funcional com os objetivos da empresa. A cooperação entre áreas e departamentos é eficiente. O próprio caso deste estudo pode ser usado como exemplo: uma vez explicada a sua temática e objetivos, diferentes áreas e pessoas colaboraram e se comprometeram com o fornecimento de informações, sem qualquer burocracia ou receio.

6.2.3 Capacidade de reação frente a Mudanças e Incertezas:

Indubitavelmente, neste aspecto, a empresa fica entre as de melhor desempenho no seu setor. Ela não só reage rapidamente frente às novas tendências, como fornece subsídios para que seus clientes façam o mesmo, através de novos produtos inovadores rapidamente colocados no mercado.

6.2.4 Avaliação segundo a Alavancagem da Informação e do Pessoal:

Não por acaso, esta empresa foi selecionada pelas publicações “Guia Exame: As 200 melhores empresas para se trabalhar” de 1999 (Ed. Abril, 1999) e “Guia Exame: As 100 melhores empresas para se trabalhar” de 2000 (Ed. Abril, 2000). O ambiente de trabalho é altamente estimulante, as pessoas são incentivadas a tomar decisões e recebem todos os recursos de informação e infra-estrutura para isto, além de treinamento. A aquisição de competências é valorizada. Os funcionários tem o poder de tomar decisões que podem melhorar seu desempenho funcional. Mais uma vez, o caso da aceitação na colaboração deste estudo pode ser usado como exemplo, uma vez que os principais funcionários envolvidos esperam que o resultado do estudo indique uma forma de aplicação da tecnologia de Simulação de Processos no dia a dia da empresa.

6.3 Seleção da Linha de Produção Adequada

Uma vez que a empresa se enquadrava nos critérios de agilidade, foi iniciada a busca de uma linha produtiva, setor ou departamento que se mostrasse representativo para o estudo em questão. Atendendo sugestão da própria empresa, foi escolhida uma linha de gravação de Hard Disks. Esta linha atendeu às características determinadas para a

arquitetura do Sistema de Manufatura Ágil, ou seja:

- Pessoal altamente qualificado, com liberdade e poder de decisão: a equipe responsável pelo trabalho nesta linha é multifuncional e capacitado a tomar quaisquer decisões necessárias ao bom andamento do seu trabalho;
- Tecnologias avançadas: neste caso, a tecnologia usada é a mais avançada possível, já que tecnologia é o produto da empresa;
- Organização com gerenciamento inovador: a equipe mostrou-se inovadora, sendo grande prova disso o incentivo à realização deste trabalho, por resultar em um sistema de simulação que permite prever os eventos da linha sob diferentes circunstâncias.

A disponibilidade de informações facilitada sobre esta linha produtiva e o interesse da própria empresa em obter um simulador da mesma foram incentivos adicionais para a sua escolha.

6.4 Descrição do Funcionamento da Linha de Gravação de Hard Disks

O objetivo da linha, ou seu produto final, são Hard Disks (doravante denominados apenas HD) formatados e gravados, que serão posteriormente montados no gabinete do microcomputador. A gravação feita inclui o sistema operacional e outros softwares adicionais, que variam conforme o tipo de HD e o microcomputador onde serão montados.

Os recursos disponíveis na linha são:

- 60 microcomputadores, equipados para a gravação de HDs. Tais computadores serão doravante denominados “baías de gravação”;
- 1 impressora, destinada a imprimir as etiquetas que serão coladas nos HDs, de modo a identificá-los;
- 5 operadores multifuncionais;

- Mesas e cadeiras para acomodar os equipamentos e as pessoas.

Os equipamentos são dispostos aproximadamente segundo o Lay-Out mostrado na Figura 6.1.

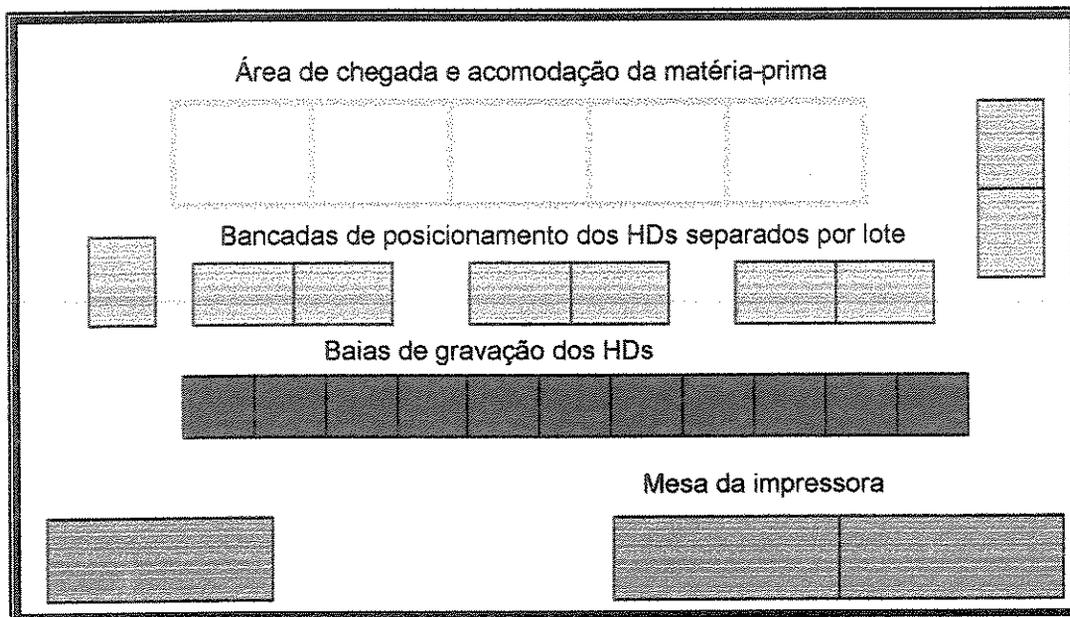


Figura 6.1 – Lay-Out aproximado da linha de gravação de HDs

O processo de gravação segue o fluxograma apresentado no Anexo I, fornecido pela empresa, e será explicado a seguir:

1. No início do turno de trabalho, a equipe da linha recebe o pedido de HDs a serem produzidos no período, bem como a matéria prima (HDs virgens) correspondente;
2. Neste momento, é feito um cálculo para determinar a quantidade de baias dedicada a cada um dos lotes. O objetivo é que todos terminem aproximadamente no mesmo momento, de modo a otimizar o processo de setup. Este cálculo é feito determinando-se o Lote Ideal, resultante da soma de todos os lotes e dividido pela quantidade de baias disponíveis (no caso 60). Em seguida, é calculada a quantidade de baias para cada lote, dividindo-se o tamanho do lote em questão pelo Lote Ideal determinado anteriormente. Pequenos ajustes são realizados pelos próprios operadores quando os resultados não são exatos, retirando uma baia de um dos

lotes e alocando-a para outro;

3. Enquanto um dos operadores confere o material recebido (matéria-prima), outro operador imprime as etiquetas;
4. O mesmo operador que conferiu o material separa os primeiros 60 HDs a serem colocados nas baias, enquanto que o operador que imprimiu as etiquetas, as separa de acordo com cada lote;
5. A seguir, os operadores iniciam a colocação dos HDs nas baias seguindo este procedimento: colar etiqueta, posicionar na baia, ativar processo de gravação;
6. O processo de gravação é iniciado. Este segue um processo de setup de duas etapas. A primeira etapa se cumpre durante a gravação do primeiro HD da baia, e consiste em fazer o download (leitura de dados) da “imagem” (informação a ser gravada) de um servidor central da empresa, localizado nos EUA para um servidor local da empresa. Esta imagem é gravada no HD e seu conteúdo é rigorosamente verificado. A segunda etapa é realizada durante a gravação do segundo HD, e consiste em fazer a gravação a partir do servidor local, seguido de uma nova verificação rigorosa. A partir do terceiro HD gravado na baia, os procedimentos de verificação são atenuados e o processo ocorre mais rapidamente. Se um erro for constatado em qualquer uma das verificações, ou se um HD diferente precisar ser gravado nesta baia, o setup deve ser reiniciado a partir da primeira etapa. Cada etapa do setup tem tempos diferentes, que variam também de acordo com o tipo de HD;
7. Aleatoriamente, uma gravação diferente é realizada, tomando um tempo maior, mas não implicando em reinício do setup;
8. Após o término da gravação de cada HD, um operador o retira da baia e coloca na mesa;
9. Quando o lote está completo, um operador o coloca na caixa e o trabalho é considerado encerrado.

Caso alguma situação anormal ocorra, os operadores tem liberdade para tomar medidas corretivas, de modo a restaurar total ou parcialmente o funcionamento da linha. Como a aplicação da metodologia deste estudo prevê a ocorrência de imprevistos, as medidas tomadas frente a alguns deles também foi investigada.

Entre as situações que já ocorreram ou que estão sujeitas a acontecerem com a linha, estão:

- **Lote de HDs (matéria-prima) defeituoso**

Caso um lote inteiro de HDs esteja defeituoso, este defeito só será constatado após a realização da primeira gravação, quando a taxa de erro será muito superior à normal. Neste caso, os operadores interrompem a gravação deste lote e solicitam um novo lote em boas condições. As baias ficam vazias, aguardando a chegada dos novos HDs. Enquanto isso, o trabalho de gravação prossegue normalmente com os outros lotes. Quando a matéria-prima chega, é repetido o cálculo de baias para esta situação, de modo a balancear novamente a quantidade de baias para cada lote.

- **Lote de HDs torna-se prioritário**

Caso um dos lotes, subitamente, se tornar mais importante que os outros e necessitar ser encerrado antes, os operadores alocam até 30 baias (50%) dedicadas à sua gravação. As baias são obtidas dos outros lotes, de forma proporcional. Quando o lote prioritário se encerra, é feito um novo cálculo de baias para balancear a linha novamente.

- **Quebra de baias de gravação**

Caso alguma das baias apresente defeito, seu trabalho é interrompido e a intervenção de técnicos é solicitada. De qualquer maneira, ela se tornará indisponível até o final do turno de trabalho. Um novo cálculo de baias é feito neste momento, para dimensionar a linha com o novo número de baias.

6.5 Os Modelos de Simulação: O Sistema de Manufatura Ágil

Escolhida a linha de produção, aplicou-se a metodologia descrita no Capítulo 5.

Segundo a metodologia, deveria ser escolhida uma linha produtiva que funcionasse segundo o Sistema de Manufatura Ágil. Também deveria ser feita uma análise das interferências e imprevistos a que ela estaria sujeita. Estas etapas foram atendidas pela descrição feita na Seção 6.4.

O passo seguinte, portanto, foi a construção do modelo de simulação da referida linha. Isto foi realizado através do software Arena, que possui entre suas características, a capacidade de representação animada do processo durante a execução da simulação. Para o modelo desta linha, a interface animada está apresentada na Figura 6.2.

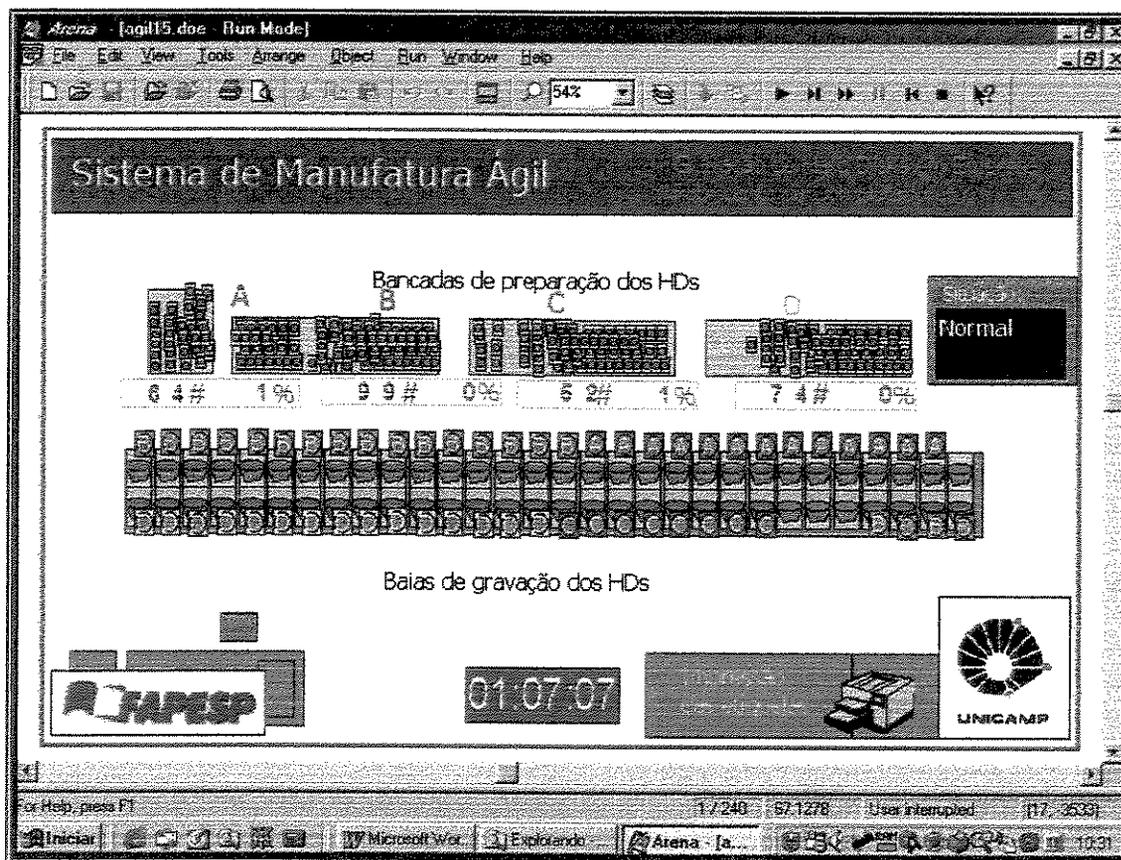


Figura 6.2 - Interface animada da simulação de Manufatura Ágil

Neste modelo, assim como nos outros que serão descritos mais adiante, foram

adotadas algumas representações que refletem uma determinada situação do sistema, como o estado das baias de gravação, detalhadas na Figura 6.3.

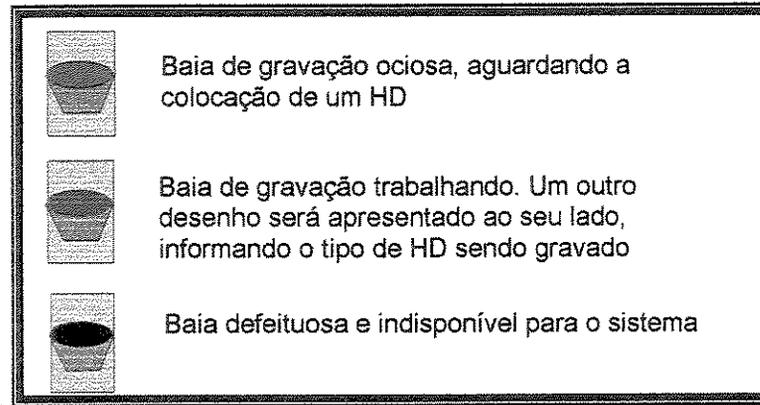


Figura 6.3 - Representação dos estados das baias de gravação

Para representar o tipo de HD sendo gravado pela baia, foram usados símbolos com uma letra indicativa. Apesar de esta linha suportar até 8 tipos diferentes de HDs, usualmente apenas 4 tipos são gravados simultaneamente. Assim, foram considerados para esta simulação apenas 4 possibilidades de lotes: A, B, C ou D, representados como mostrado na Figura 6.4.

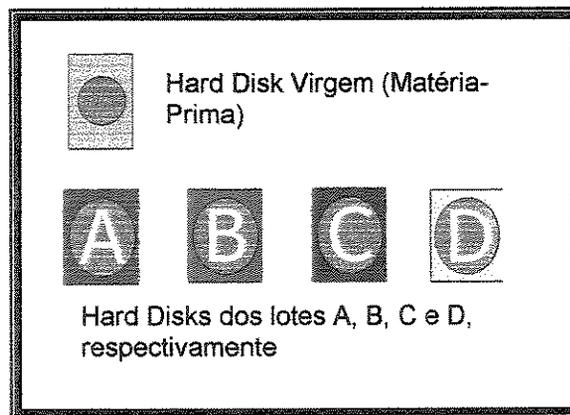


Figura 6.4 – Representação dos diferentes tipos de HD na simulação

Na parte superior da interface animada, é apresentado o estado atual de cada lote. A representação de uma mesa acomoda os HDs virgens, ou seja, a matéria-prima. Uma letra indicativa informa qual é o lote ali posicionado, e logo abaixo da mesa, situam-se dois contadores. O primeiro, que precede o símbolo “#”, informa quantos HDs deste lote ainda

precisam ser gravados. O segundo, seguindo do símbolo “%” apresenta, na forma de percentual, o quanto já foi produzido deste lote. A figura 6.5 ilustra esta parte da animação.

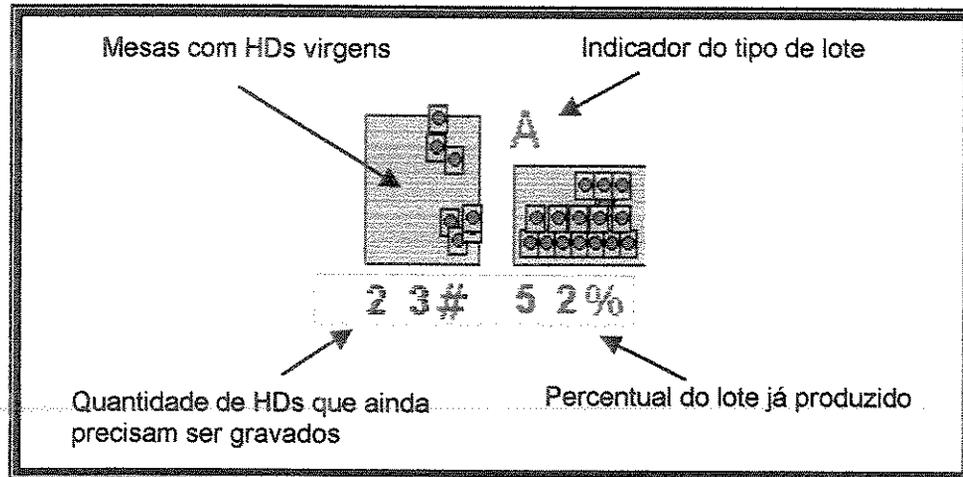


Figura 6.5 – Estado do lote durante a simulação

Na parte inferior da animação, podem ser encontrados uma representação da impressora, que se altera no momento em que ocorre seu processo, indicando de forma gráfica o seu trabalho. Ao seu lado, posicionado centralmente, está um mostrador azul que representa o relógio do sistema. Este relógio marca quanto tempo decorreu desde o início do trabalho (chegada do pedido na linha). Quando todos os lotes se encerram, o modelo registra o tempo decorrido e zera o relógio para que passe a registrar o próximo pedido. Estes dois elementos estão apresentados na Figura 6.6.



Figura 6.6 – Representações do relógio e da impressora

Finalmente, na parte superior direita da interface, encontra-se um indicador do tipo de simulação, ou experimento, sendo realizada. Este indicador assume quatro estados, dependendo da situação do modelo: “Normal”, caso o modelo esteja representando uma situação normal de funcionamento, “Lote C defeituoso”, caso o modelo represente uma situação onde o Lote C está defeituoso e precisa ser substituído, “Prioridade para Lote C”,

caso esteja sendo considerada a possibilidade de que o Lote C se torne prioritário depois de algum tempo, ou “Defeitos em Algumas Baias”, caso estejam previstos defeitos em algumas baias durante a simulação.

O pacote de simulação Arena, usado para desenvolver os modelos, possui como característica um estilo de programação visual, semelhante à montagem de um fluxograma. A interface animada é atualizada conforme o processamento realizado por essa programação, que também é responsável pela geração das estatísticas. Partes da lógica do modelo de Sistema de Manufatura Ágil serão explicadas parcialmente a seguir.

- **Geração do pedido e cálculo de baias necessárias**

Esta parte da lógica simula a entrada de um pedido a cada 12 horas. Em seguida, é feito o cálculo das baias necessárias para cada tipo de HD, conforme descrito anteriormente. Esta lógica está ilustrada na Figura 6.7.

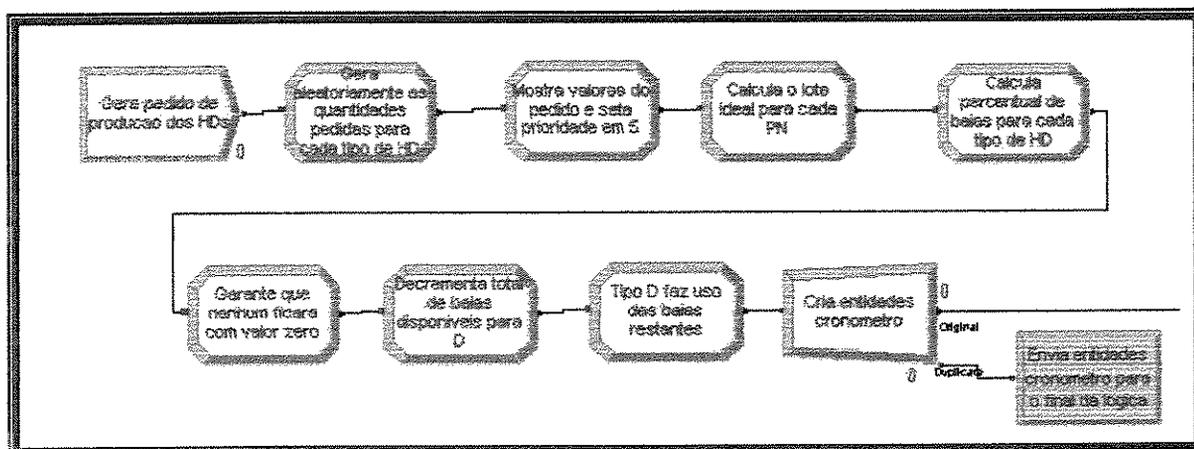


Figura 6.7 – Lógica de chegada dos pedidos e cálculo das baias

- **Atividades de preparação: impressão de etiquetas e separação dos HDs**

Esta lógica representa as atividades que antecedem o início da gravação dos HDs, ou seja, a separação dos HDs virgens, impressão de etiquetas e organização das peças. Está ilustrada na Figura 6.8. Durante a execução das tarefas, os recursos correspondentes vão sendo alocados. Neste caso: os operadores e a impressora.

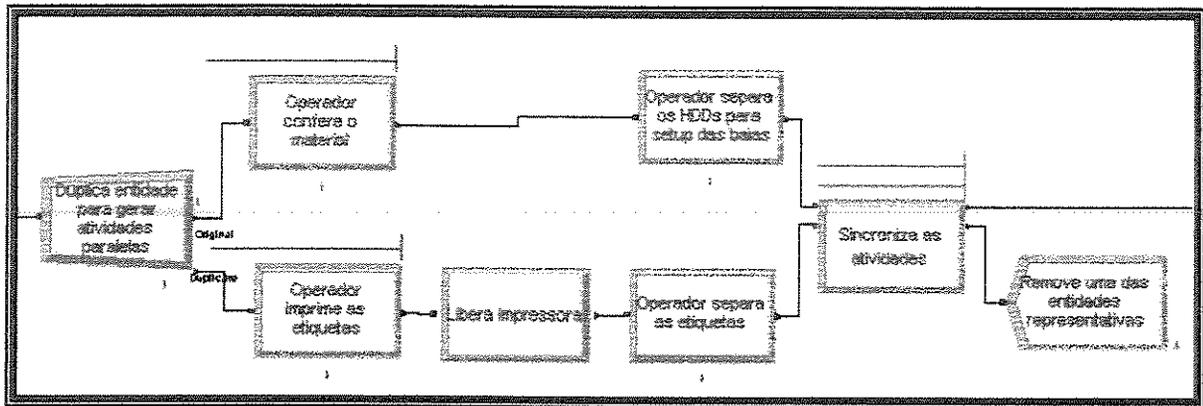


Figura 6.8 – Lógica de preparação dos HDs

- **Lógica de colocação dos HDs nas mesas e início da gravação**

Esta lógica é responsável por definir o lote inicial dos HDs a serem gravados inicialmente, e registrar quais as baias disponíveis para cada lote. Seu trabalho pode ser observado na animação, onde aparecem as figuras representativas dos HDs virgens sobre as mesas. Esta lógica é composta de quatro estruturas iguais, cada uma delas destinada a atender um tipo de HD. Uma destas partes, a responsável pelo lote de tipo A está ilustrada no Anexo II.

- **Lógica das baias: setup, gravação e retrabalho**

Nesta parte da lógica é representado todo o procedimento de setup das baias, cada uma delas atendendo de forma diferenciada o HD, de acordo com seu tipo ou estágio do setup. O recurso operador é requisitado para realizar as tarefas de colocação ou retirada dos HDs, e os recursos baias 1 a 60 são requisitados para realizar cada gravação. Esta lógica, em sua totalidade, está apresentada no Anexo III.

- **Lógica de criação de situações imprevistas**

Para que o modelo representasse as situações imprevistas, foi criada uma lógica que controla a ocorrência de problemas. Esta lógica funciona de acordo com a alteração de uma variável do sistema. Caso esta variável seja 0 (zero), nenhum problema ocorre, se o valor for igual a 1 (um), ocorre defeito no lote de HDs de tipo C, se o valor for igual a 2 (dois), este mesmo lote se torna prioritário, e finalmente, se o valor for igual a 3 (três), dez baias apresentarão defeito em momentos diferentes e aleatórios. A configuração desta variável é feita antes do início da simulação, ou seja, a situação é configurada com antecedência. Sua lógica está apresentada na Figura 6.9.

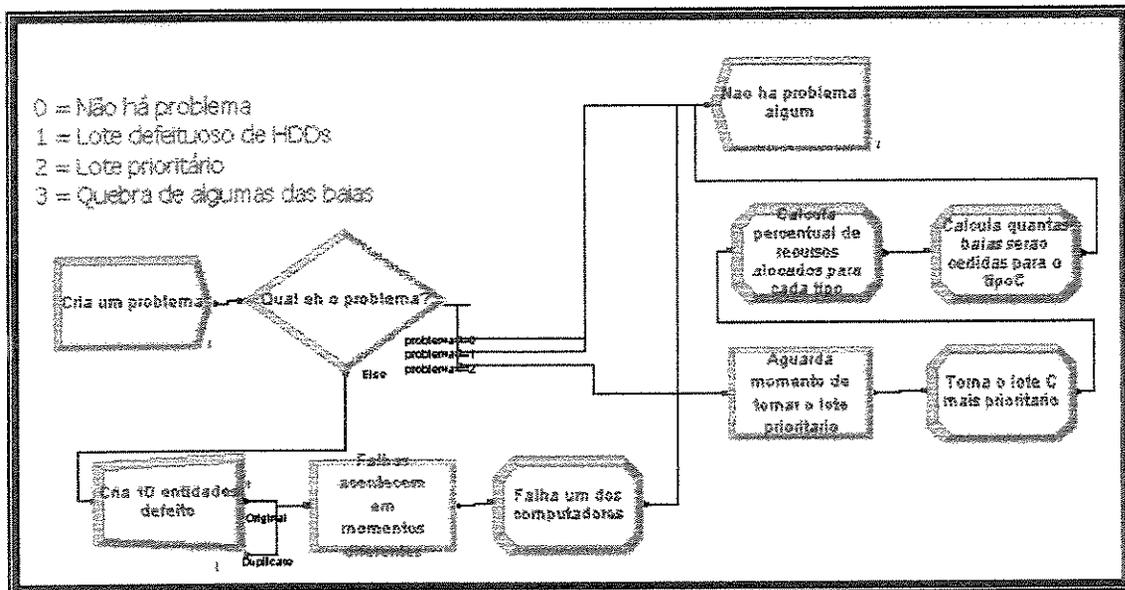


Figura 6.9 – Lógica de geração de problemas

- **Lógica de tratamento das baias defeituosas**

Conforme a descrição do funcionamento da linha feito na seção 6.4, cada problema ocorrido na linha provoca contramedidas visando contorná-lo. Juntamente com a introdução da lógica de geração de problemas, fez-se necessária a implementação também de uma lógica que reflita os procedimentos corretivos.

A lógica apresentada no Anexo IV é responsável pelo reescalonamento das baias, caso uma delas apresente defeito. Esta lógica não pode ser simplesmente uma repetição do

cálculo feito inicialmente no recebimento do pedido, porque naquela ocasião todas as baias estavam na fase inicial de setup, o que não acontece agora. Se todas as baias fossem reescaladas, uma quantidade indesejável de baias iniciaria novamente o setup, representando uma situação que na verdade não ocorre na linha real. Assim, é feita uma verificação do lote mais adiantado, que cede uma baia para o mais atrasado.

Esta lógica funciona em conjunto com aquela dedicada à atender um lote prioritário, que será apresentada no próximo tópico.

- **Lógica de atendimento ao lote prioritário**

Quando um lote se torna repentinamente prioritário, a lógica acionada é a que está apresentada na Figura 6.10. Através dela, todos os lotes transferem metade de suas baias para aquele que se tornou prioritário. Quando este termina de ser produzido, as baias novamente disponíveis são redistribuídas de acordo com a necessidade de produção de cada lote.

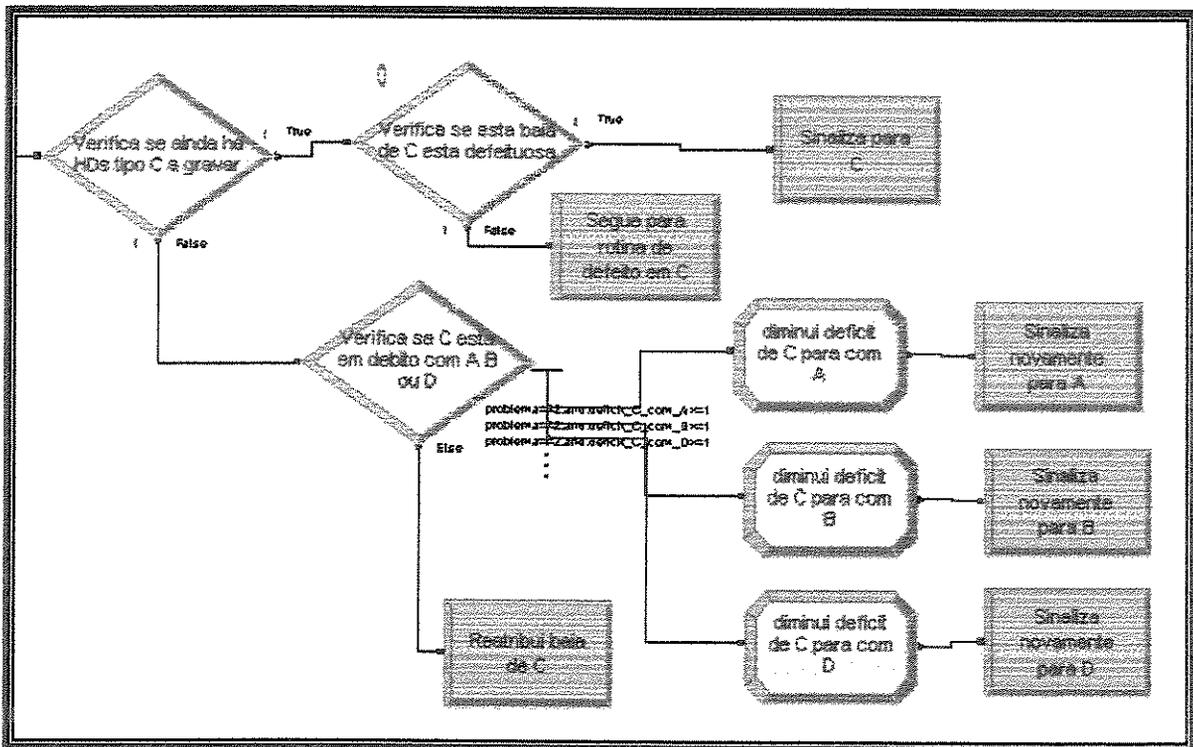


Figura 6.10 – Lógica tratamento do lote prioritário

- **Lógica para substituição do lote defeituoso**

Na ocorrência de um lote defeituoso, é necessário que todos os HDs do lote, gravados ou não, sejam removidos do sistema. Após algum tempo, o operador retorna com um novo lote e as baias são novamente realocadas mediante um novo cálculo, já que agora o lote que apresentou defeito está atrasado e necessita de número maior de baias. A lógica que realiza este procedimento está apresentada no Anexo V.

- **Lógica de contagem e fechamento dos lotes**

Finalmente, quando um lote encerra sua gravação, a lógica apresentada no Anexo VI registra o tempo decorrido até o seu término, além de requisitar o operador para executar a tarefa de colocar o lote na caixa. Esta lógica também registra o tempo total despendido para a produção de todos os lotes.

Finalmente, todas os segmentos de lógica acima descritos estão interligados, funcionando em conjunto. Uma cópia completa do ambiente de trabalho do Arena, que inclui a lógica do modelo e sua animação, está apresentada na Figura 6.11.

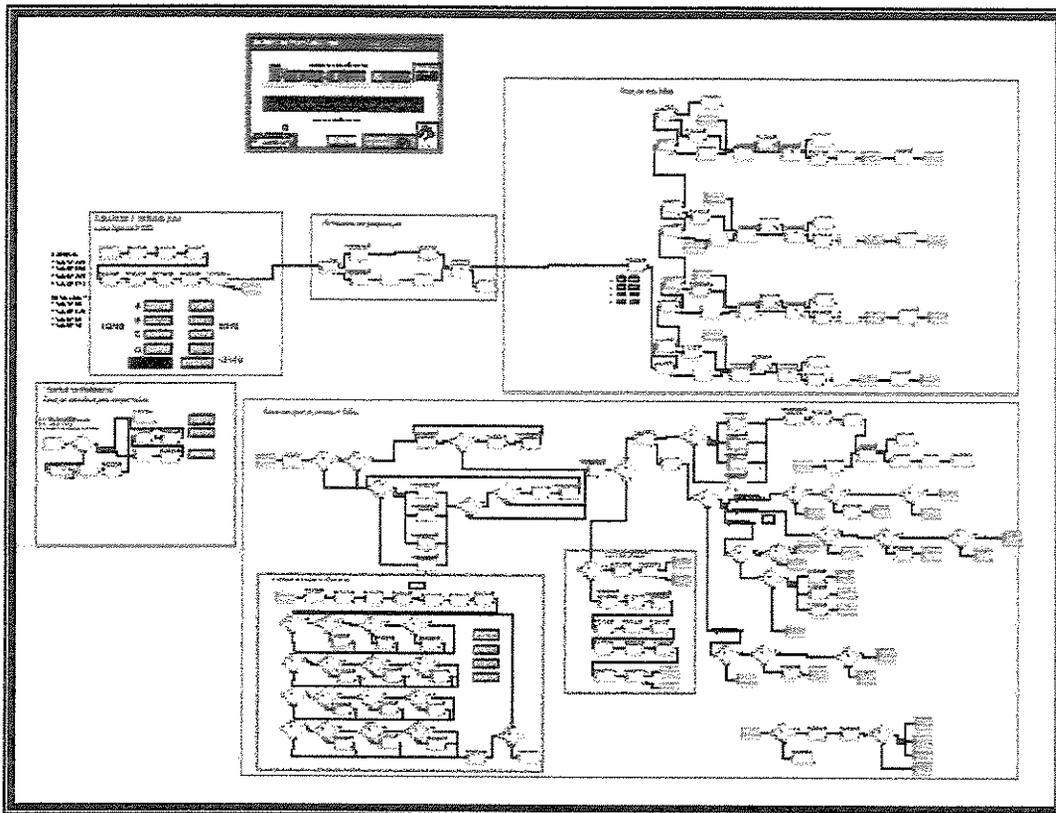


Figura 6.11 – Toda a estrutura do modelo

Os tempos de processo da linha fornecidos pela empresa estão relacionados a seguir. Todos os modelos fazem uso destes mesmos tempos. A maioria está representada por curvas estatísticas, de modo a oferecer uma variação de trabalho para a simulação, tornando-a mais próxima da realidade:

- Tempo de levar um HD para a baia: curva normal de média 4 minutos e desvio padrão de 0,2.
- Impressão de 20 etiquetas: 4 minutos
- Colocar um HD na baia: curva normal de média 12,5 minutos e desvio padrão de 0,2.
- Aplicar uma etiqueta: curva normal de média 12 minutos e desvio padrão de 0,2.
- Tempos de gravação X estágio do setup, em segundos, apresentados na Tabela 1,

no formato de curva Normal(média, desvio padrão).

Tabela 1 - Tempos de gravação e Setup dos HDs

Tipo	Setup 1	Setup 2	Setup 3	Gravação
A	Normal(2177,0.2)	Normal(1851,0.2)	Normal(656,0.2)	Normal(984,0.2)
B	Normal(2638,0.2)	Normal(1918,0.2)	Normal(724,0.2)	Normal(1072,0.2)
C	Normal(2177,0.2)	Normal(1851,0.2)	Normal(656,0.2)	Normal(984,0.2)
D	Normal(2638,0.2)	Normal(1918,0.2)	Normal(724,0.2)	Normal(1072,0.2)

- Tempo de buscar um novo lote de HDs, quando ocorre defeito no lote todo: curva normal com média 800 segundos, com desvio padrão de 120.
- Tempos de gravação MD5 aleatória (em segundos) : Tipo A: Normal de média 984 e desvio padrão de 0.2; Tipo B: Normal de média 1072 com desvio padrão de 0.2; Tipo C: Normal de média 984 e desvio padrão de 0.2, e Tipo D: curva Normal de média 1072 com desvio padrão de 0.2.
- Tempo de colocar o lote na caixa: curva Normal com média 738 segundos com desvio padrão de 0.2;
- Tempo de conferir todo o lote: curva Normal com média 1200 segundos com desvio padrão de 0.2;
- Tempo de reinício do processo, caso ocorra defeito na gravação retorno à fase de setup: curva Normal com média 20 segundos com desvio padrão de 0.5;
- Tempo de separar os HDs a serem gravados: curva Normal com média 600 segundos com desvio padrão de 0.2;
- Tempo de remover um HD da sua baía: curva Normal com média 3.75 segundos com desvio padrão de 0.2;

6.6 Os Modelos de Simulação: O Sistema de Manufatura Holônico

O modelo de Sistema Holônico foi construído tomando-se como base toda a estrutura do modelo descrito na seção anterior. Partes da lógica puderam ser integralmente aproveitadas, e outras precisaram ser totalmente reconstruídas para refletir o comportamento do Sistema Holônico.

Aplicando-se os conceitos da arquitetura PROSA (Wyns, 1999) na linha de gravação de HDs, foram identificados os seguintes comportamentos a serem implementados:

- Cada conjunto baia – operador – impressora pode ser considerado um Holon de Recurso. Os operadores e a impressora são recursos compartilhados entre os holons, já que esta é uma das propriedades dos holons (Wyns, 1999). Este conceito está ilustrado na Figura 6.12;
- No sistema holônico, o pedido passa a ser representado pelo Holon de Pedido, que pode ser considerado como um dos operadores atuando junto à linha e cuidando para que o pedido seja atendido em tempo e da forma correta;
- O Holon de Produto é representado pelos servidores que guardam o conteúdo a ser gravado nos HDs, juntamente com o sistema que controla o setup de cada baia.

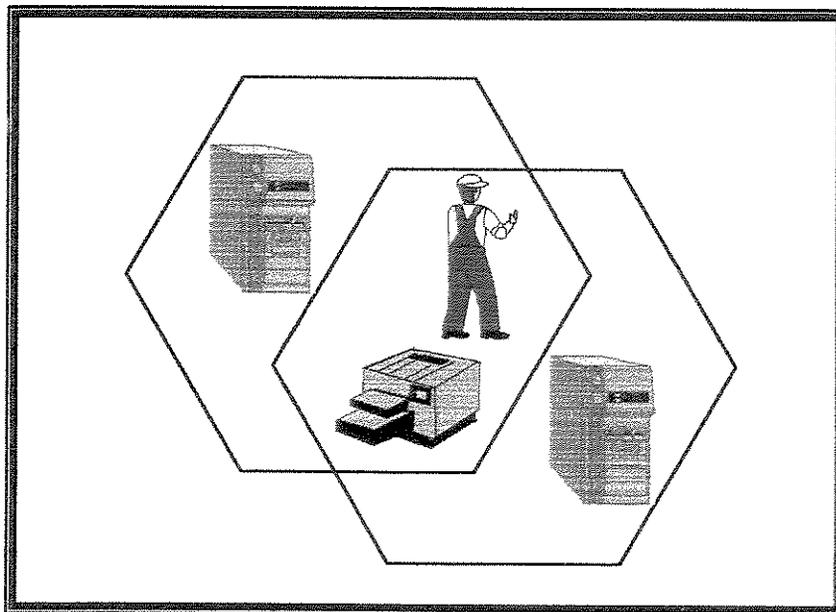


Figura 6.12 – Holons compartilhando recursos (operador e impressora)

- Todos os holons da linha pertencem a um holon maior, que representa a própria linha perante o resto da fábrica. A fábrica, por sua vez, é outro holon que representa esta unidade da empresa perante o resto da corporação. Assim, cada holon tem total autonomia para trabalhar da forma que melhor lhe aprouver. Quando ocorre uma situação impossível de ser resolvida pelo holon, este recorre ao holon que é seu superior hierárquico. Esta estrutura simultaneamente hierárquica e heterárquica é uma das características da arquitetura PROSA (Wyns, 1999);
- Um dos objetivos do Sistema Holônico é atingir o aproveitamento ótimo de seus recursos. Por este motivo, o excesso de recursos será considerado tão grave quanto a sua falta. O “holon – linha de gravação” irá interagir com o seu superior “holon – fábrica”, cedendo os seus recursos excedentes, ou solicitando recursos, quando estes estiverem em falta, reconfigurando-se de forma a possuir sempre a quantidade necessária e suficiente de recursos. Com esta habilidade, a linha atenderá aos outros objetivos do Sistema Holônico, que são: estabilidade frente aos imprevistos e adaptabilidade e flexibilidade diante das mudanças;

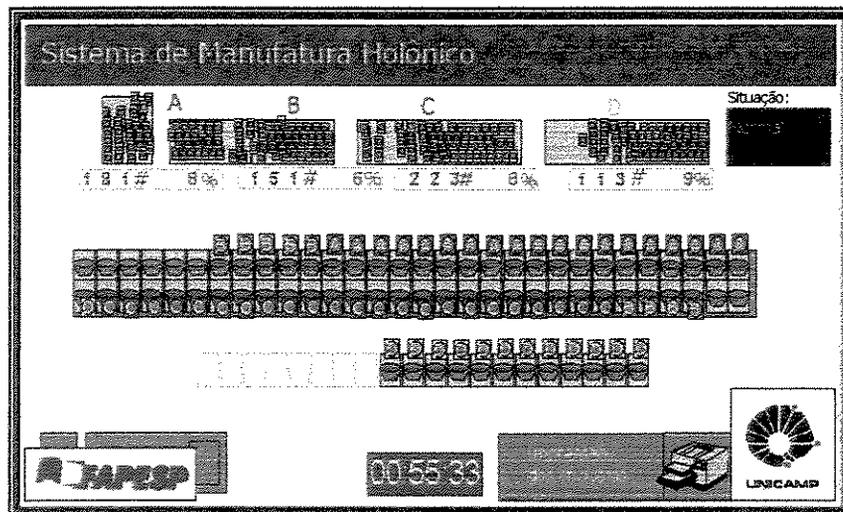


Figura 6.13 – Baias extras alocadas para suportar um excesso de trabalho na linha

Desta forma, o modelo da linha para o Sistema Holônico fará uso da mesma interface e também grande parte da lógica original. Na interface, a diferença será a presença de posições extras de baias, que serão preenchidas na necessidade de um aumento da

capacidade, esta situação está ilustrada na Figura 6.13.

Da mesma forma, quando houverem baias em excesso, estas passarão a atender novos tipos de tarefas, procedentes de outros holons, ou seja, estas baias passarão a ser compartilhadas com holons de outros pontos da fábrica. Esta situação está ilustrada na Figura 6.14.

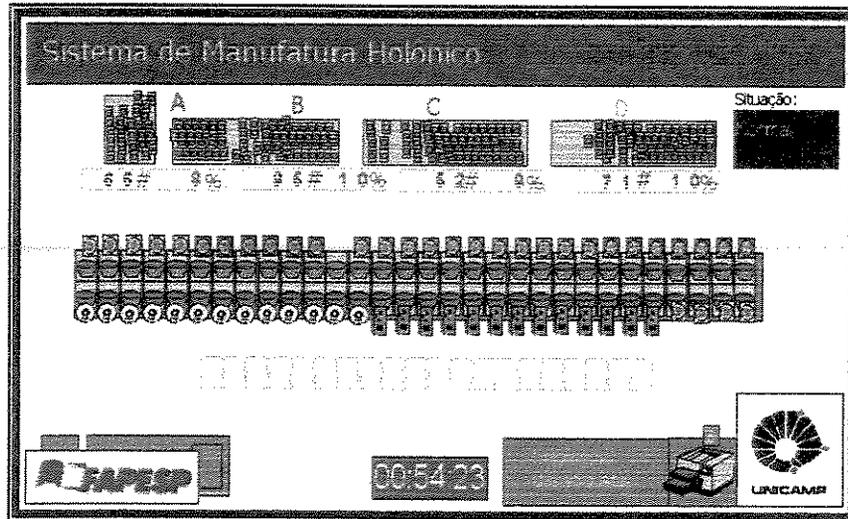


Figura 6.14 – Baias excedentes realizando trabalho de outros holons

A seguir serão apresentadas as partes da lógica alteradas para refletir o funcionamento do Sistema Holônico de Manufatura.

- **Lógica de criação e seleção dos holons de recurso**

Em paralelo com a criação do pedido, são criados também os holons de recurso. Originalmente, estes são em número de 60, e distribuem-se conforme o tamanho de cada lote, quanto maior o tamanho do lote, mais holons de recurso se agrupam para executá-lo. O resultado que se obtém são quatro holons com a capacidade exata para produzir cada lote. Caso mais baias se façam necessárias para aumentar a capacidade destes holons, o holon hierarquicamente superior será acionado, o qual irá alocar identificar baias excedentes em outros pontos da fábrica e alocar para esta linha. Como a simulação se restringe a esta linha, este procedimento foi programado de forma que haja disponibilidade de até 10 baias no restante da fábrica. Esta lógica está ilustrada no Anexo VII.

- **Lógica de preparação para a gravação**

No Sistema Holônico, cada holon de recurso responsável pelo seu lote trabalha em paralelo. Assim, limitados apenas pela disponibilidade da impressora, que está compartilhada entre todos eles, os holons realizam operações concorrentes (como separação de etiquetas e preparação do lote). Estas atividades concorrentes exigem uma estrutura de lógica também concorrente. Por este motivo, quatro estruturas lógicas semelhantes foram montadas, uma para cada lote. Esta lógica está ilustrada no Anexo VIII.

- **Lógica do Holon de Pedido**

No modelo do Sistema Holônico, as lógicas responsáveis pelo tratamento de imprevistos foram adaptadas para formar um “Holon de Pedido”. Esta lógica é responsável por monitorar o funcionamento do sistema e cuidar para que o pedido seja atendido em tempo, tomando medidas corretivas quando necessário. Esta lógica está apresentada no Anexo IX.

- **Representação simulada do restante da empresa**

Como o Sistema Holônico prevê o compartilhamento de baias com o restante da empresa, foi criada uma lógica para “emular” tarefas procedentes de outras linhas. Esta lógica cria dois tipos de “tarefas” que são realizadas nas mesmas baias que gravam os HDs:

- Teste de placas de rede;
- Gravação do CD-Rom que acompanha os micros vendidos pela empresa;

Tais tarefas só chegam na linha caso existam baias ociosas. Além destas, são criadas tarefas aleatórias para a impressora, pois ela só é usada na linha durante a fase de preparação, permanecendo ociosa durante a maior parte do tempo. Para evitar esta ociosidade, a impressora é compartilhada com o restante da fábrica e recebe tarefas classificadas como X, Y e Z, cada uma delas com duração diferente. O Anexo X ilustra a lógica que cria estas tarefas.

As tarefas procedentes dos holons externos, tanto para as baias como para a impressora, aparecem na animação representadas pelos desenhos mostrados na Figura 6.15.

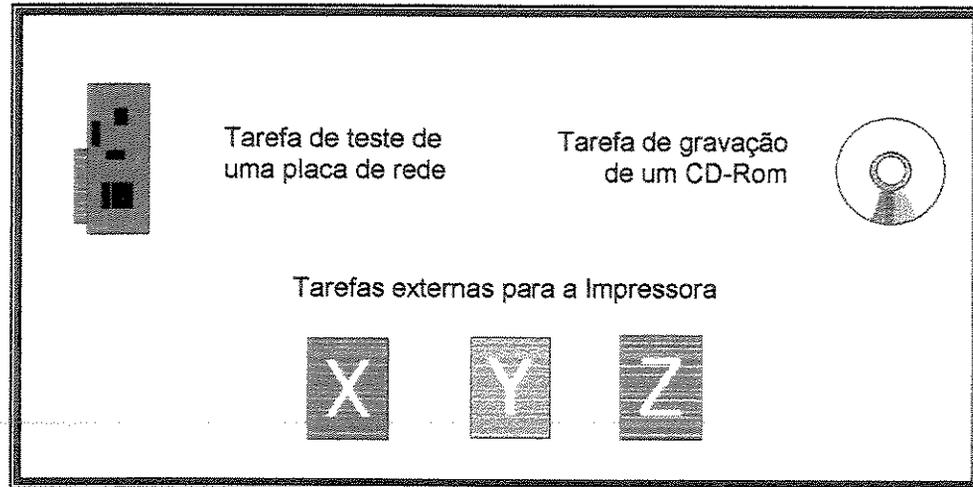


Figura 6.15 – Representação das tarefas externas

6.7 Experimentos Programados

Conforme estabelecido no Capítulo 5, Seção 5.4, onde se lê que o desempenho do sistema de manufatura é *a capacidade de cada sistema em atender ao pedido do cliente mediante o menor investimento*, a linha de gravação de HDs foi analisada à luz deste conceito, fornecendo os índices de desempenho relacionados a seguir:

- **Tempo de atendimento do pedido:** Este índice mede a capacidade do sistema em atender o pedido do cliente no horário. O cliente da linha são outros setores da fábrica que montam os HDs nos microcomputadores. Sabe-se que os lotes precisam ser produzidos dentro de um período de 12 horas. Como o turno tem 8 horas de duração, caso esse tempo seja ultrapassado os operadores entrarão em regime de hora extra, o que é indesejável pois aumenta o custo da produção;
- **Percentual de utilização dos recursos:** a utilização dos recursos indica o aproveitamento do investimento feito quando de sua aquisição. Neste caso, são os operadores, impressora e baias de gravação.

Os modelos foram configurados para gerar estatísticas sobre os índices acima. Sua

simulação sob diferentes condições de trabalho completam a análise. Assim, os experimentos realizados estão descritos a seguir:

- **Primeiro experimento: Análise de Desempenho dos Sistemas sob Condições Normais de Funcionamento:**

Este experimento visa mensurar a diferença de desempenho entre os dois sistemas sob condições normais de funcionamento, trabalhando com diferentes tamanhos de pedido. As etapas previstas estão apresentadas a seguir:

1. Simulação do Sistema de Manufatura Ágil sob condições normais de funcionamento, ou seja, sem a ocorrência de imprevistos, na fabricação do seguinte pedido: Lote de HDs do tipo A, 220 peças; Lote do tipo B, 180 peças, Lote do tipo C, 270 peças; e Lote do tipo D, 140 peças. Estas quantidades são hipotéticas, mas sua ordem de grandeza reflete um pedido típico para a linha;
2. Simulação do Sistema de Manufatura Holônico sob condições normais de funcionamento, ou seja, sem a ocorrência de imprevistos, na fabricação do mesmo pedido apresentado no passo anterior: Lote de HDs do tipo A, 220 peças; Lote do tipo B, 180 peças, Lote do tipo C, 270 peças; e Lote do tipo D, 140 peças;
3. Comparação entre os índices de desempenho obtidos para os dois sistemas nos passos 1 e 2;
4. Simulação do Sistema de Manufatura Ágil sob condições normais de funcionamento, na fabricação do seguinte pedido: Lote de HDs do tipo A, 80 peças; Lote do tipo B, 120 peças, Lote do tipo C, 65 peças; e Lote do tipo D, 90 peças. Estas quantidades hipotéticas representam um pedido pequeno, que certamente irá provocar ociosidade na linha;
5. Simulação do Sistema de Manufatura Holônico sob condições normais de funcionamento, ou seja, sem a ocorrência de imprevistos, na fabricação do mesmo pedido apresentado no passo anterior: Lote de HDs do tipo A, 80 peças; Lote do tipo B, 120 peças, Lote do tipo C, 65 peças; e Lote do tipo D, 90 peças;

6. Comparação entre os índices de desempenho obtidos para os dois sistemas nos passos 4 e 5 do experimento.

• **Segundo experimento: Análise de Desempenho dos Sistemas sob Condições Adversas:**

Este experimento visa mensurar a diferença de desempenho entre os dois sistemas sob condições adversas de funcionamento, enquanto ocorrem imprevistos e alterações no ambiente de trabalho. Para comparar apenas o impacto das adversidades, foi usado um pedido idêntico para todas as simulações, o mesmo usado no primeiro experimento: Lote de HDs do tipo A, 80 peças; Lote do tipo B, 120 peças, Lote do tipo C, 65 peças; e Lote do tipo D, 90 peças. As etapas previstas estão apresentadas a seguir:

1. Simulação do Sistema de Manufatura Ágil na ocorrência de lote defeituoso;
2. Simulação do Sistema de Manufatura Holônico na ocorrência de lote defeituoso;
3. Comparação entre os índices de desempenho obtidos para os dois sistemas nos passos 1 e 2;
4. Simulação do Sistema de Manufatura Ágil na ocorrência de um lote subitamente prioritário;
5. Simulação do Sistema de Manufatura Holônico na ocorrência de um lote subitamente prioritário;
6. Comparação entre os índices de desempenho obtidos para os dois sistemas nos passos 4 e 5 do experimento;
7. Simulação do Sistema de Manufatura Ágil na ocorrência de quebra de 10 baias;
8. Simulação do Sistema de Manufatura Holônico na ocorrência quebra de 10 baias;
9. Comparação entre os índices de desempenho obtidos para os dois sistemas nos

passos 7 e 8 do experimento;

6.8 Resultados Obtidos

Para se obter uma margem de confiabilidade desejável, todos os modelos rodaram 250 replicações de 24 horas, ou seja, o equivalente a 250 dias de trabalho. Este número de replicações foi determinado mediante testes realizados com vários valores. Os resultados das simulações produziram os intervalos de confiança apresentados a seguir.

- **Primeiro Experimento: Análise de Desempenho dos Sistemas sob Condições Normais de Funcionamento.**

Comparação entre os índices de desempenho para simulação com lote típico:

O primeiro índice de desempenho a ser comparado é o de utilização dos recursos. Os recursos do sistema avaliados são: os operadores, a impressora e as baias de gravação.

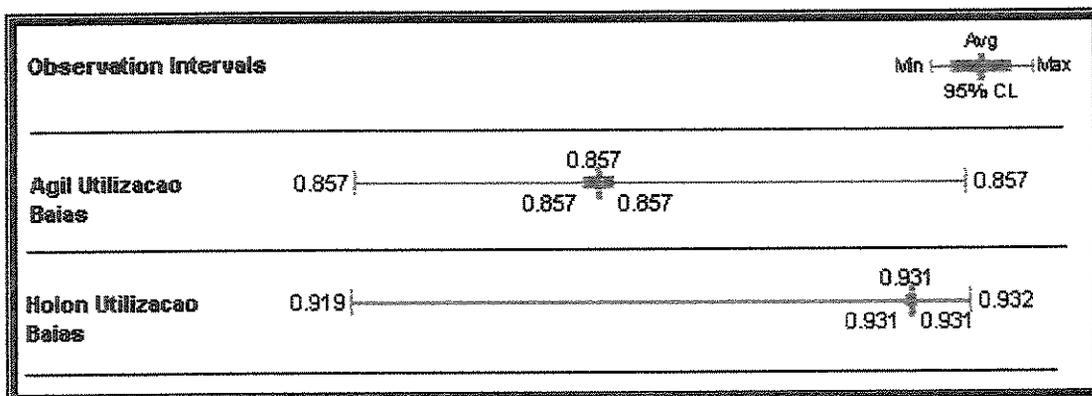


Figura 6.16 – Utilização das baias nos dois sistemas trabalhando com lote típico

A Figura 6.16 apresenta os intervalos de confiança comparativos entre a utilização das baias nos dois sistemas. Nota-se que o Sistema Holônico obteve média de 93,1% de utilização, enquanto o Sistema Ágil obteve 85,7% de utilização.

Na Figura 6.17 é feita a mesma comparação entre a utilização da impressora nos dois sistemas. Neste caso fica evidente o maior aproveitamento desta sob o Sistema Holônico. A razão para isto é evidente: no Sistema Ágil (0,4% de utilização), a impressora só trabalha no início do dia, para a preparação dos HDs, enquanto que no Sistema Holônico (56,1% de utilização), esta recebe tarefas de outras partes da fábrica.

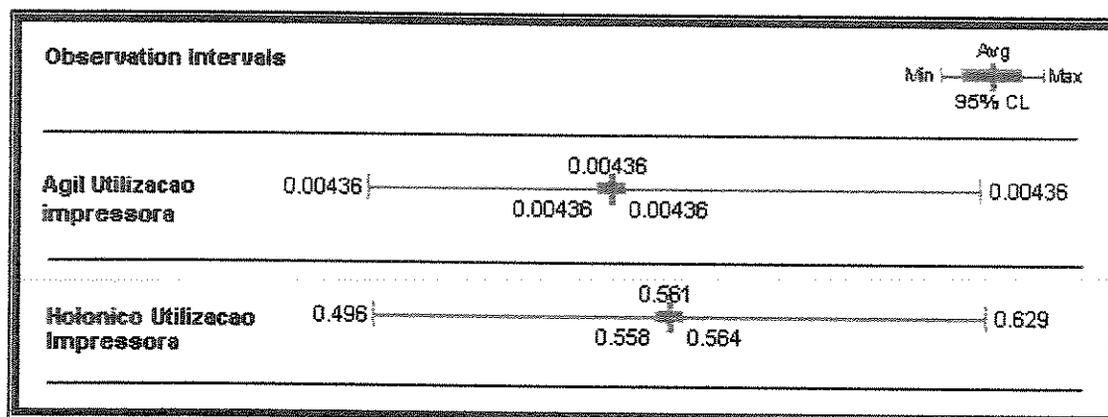


Figura 6.17 – Utilização da impressora nos dois sistemas trabalhando em um lote típico

No caso dos operadores, cuja utilização está apresentada na Figura 6.18, houve uma pequena diferença entre os dois sistemas. O Sistema Ágil apresentou utilização de 11,9% dos 5 operadores disponíveis para o trabalho, enquanto que o Sistema Holônico apresentou utilização de 13%. De qualquer forma, os operadores estão ociosos e são capazes de atender plenamente o trabalho da linha nos dois sistemas.

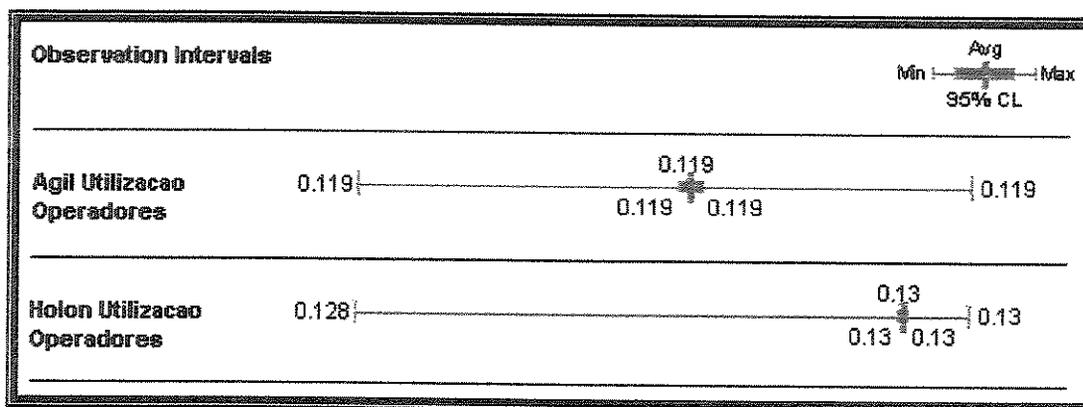


Figura 6.18 - Utilização dos operadores nos dois sistemas trabalhando em um lote típico

Finalmente, analisando o tempo de produção do pedido completo para os dois sistemas, nota-se que o Sistema Holônico obteve uma média de 481 minutos, sendo mais

rápido que o Sistema Ágil, com média de 584 minutos. Esta comparação está mostrada na Figura 6.19. Vale destacar que o limite de 8 horas, equivalente a 480 minutos, não deveria ser ultrapassado para evitar incidência de horas extras dos operadores.

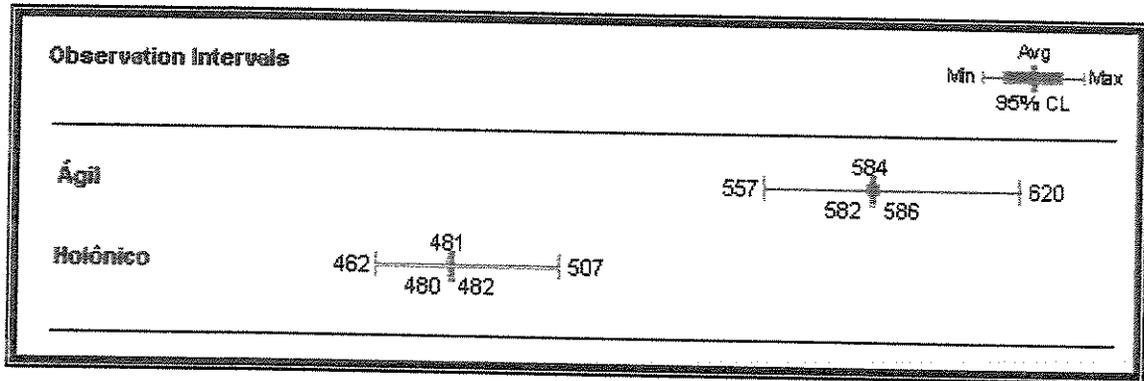


Figura 6.19 – Tempo de produção para os dois sistemas trabalhando com um lote típico

Comparação entre os índices de desempenho para simulação com lote reduzido:

Na segunda parte do experimento, a mesma simulação foi feita com um lote reduzido, com o propósito de provocar ociosidade na linha e observar seu comportamento. A Figura 6.20 mostra a comparação entre a utilização das baias nos dois sistemas.

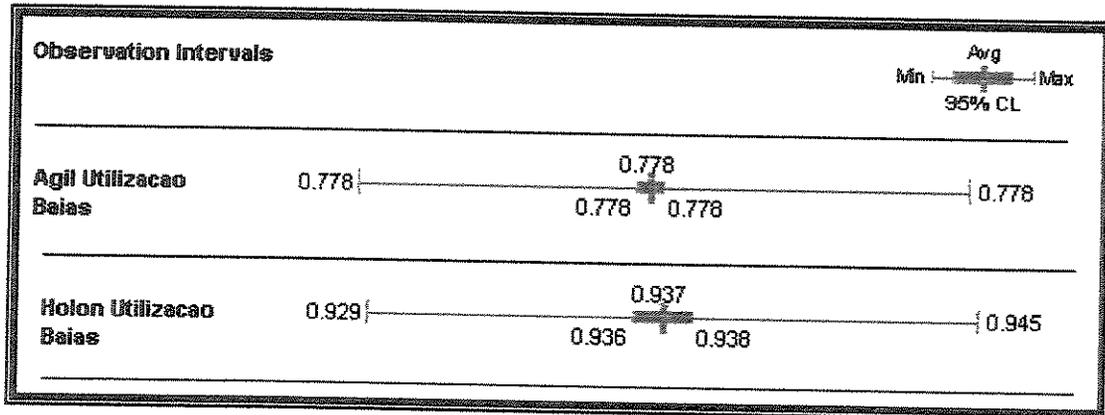


Figura 6.20 - Utilização das baias nos dois sistemas trabalhando com lote pequeno

Como no caso anterior, o Sistema Holônico apresentou utilização maior. Isto ocorre devido à atuação da estrutura holônica, mais exatamente dos Holons de Recurso e de Pedido. No momento da chegada do pedido, os holons de recurso ajustam sua capacidade para executar a tarefa proposta (o pedido) exatamente no tempo de 8 horas. Quando o pedido é pequeno e não necessita das 60 baias, estas são disponibilizadas para o holon

hierarquicamente superior (o Holon – Linha de Gravação) que por sua vez troca informações com os outros holons do seu nível e cede as baias para aqueles que têm necessidade.

No Sistema Ágil, o enfoque é diferente, voltado para as baias. Independente do tamanho do pedido, este é distribuído entre todas as baias disponíveis. O efeito resultante é que o pedido é completado antes do prazo, como se pode constatar pela Figura 6.21, que apresenta o tempo de produção para os dois sistemas. O Sistema Ágil termina, em média, muito antes das 8 horas (480 minutos) previstas, provocando ociosidade em toda a linha.

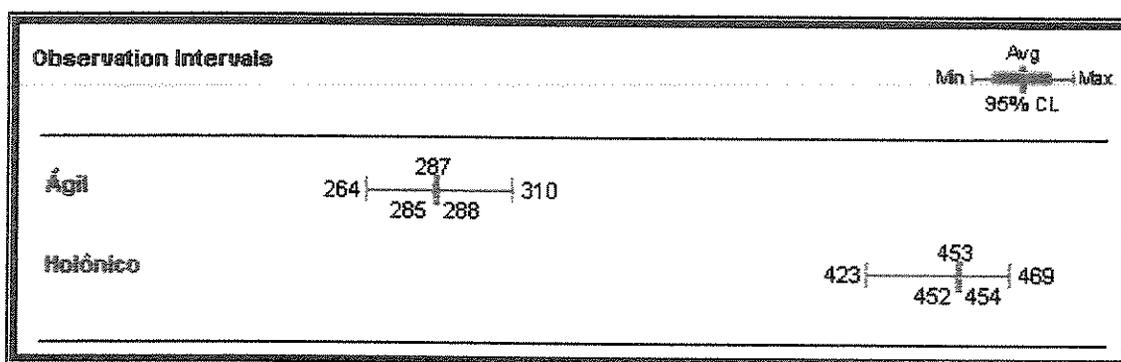


Figura 6.21 – Tempo de produção para os dois sistemas trabalhando em um lote pequeno

A utilização da impressora nos dois sistemas está mostrada na Figura 6.22, onde se pode notar novamente que no Sistema Holônico houve maior utilização, novamente devido ao fato de que esta permanece trabalhando com tarefas de outras partes da fábrica.

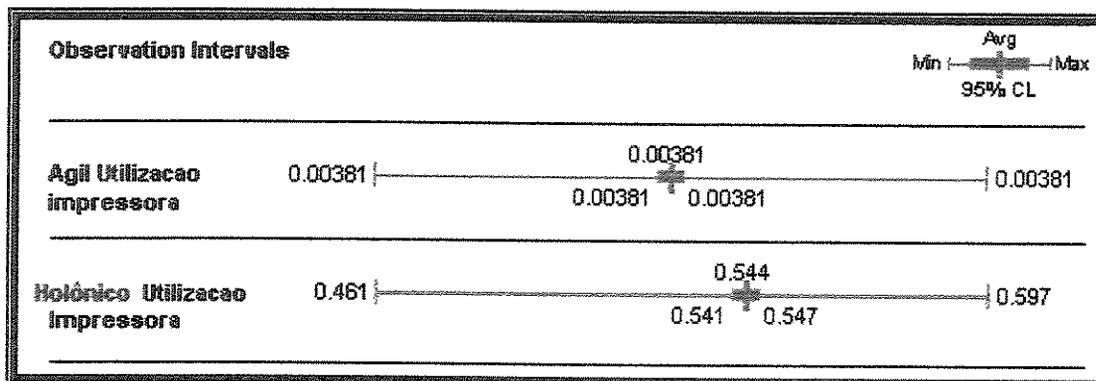


Figura 6.22 – Utilização da impressora nos dois sistemas trabalhando em um lote pequeno

- **Segundo Experimento: Análise de Desempenho dos Sistemas sob Condições Adversas.**

Como o objetivo deste experimento é verificar a capacidade do sistema em contornar situações imprevistas, será analisado apenas o índice de desempenho de tempo de produção.

Comparação entre os índices de desempenho na ocorrência de lote defeituoso:

Diante desta situação, os tempos de produção nos dois casos estão apresentados na Figura 6.23. Nota-se que o impacto é significativo, mas que em média, o Sistema Holônico permaneceu mais próximo do tempo limite de 480 minutos, sendo capaz de alcançá-lo em alguma replicação, já que seu tempo mínimo foi de 433 minutos. O Sistema Ágil, por outro lado, não chegou a 480 minutos nem mesmo na sua replicação mais rápida, de 558 minutos.

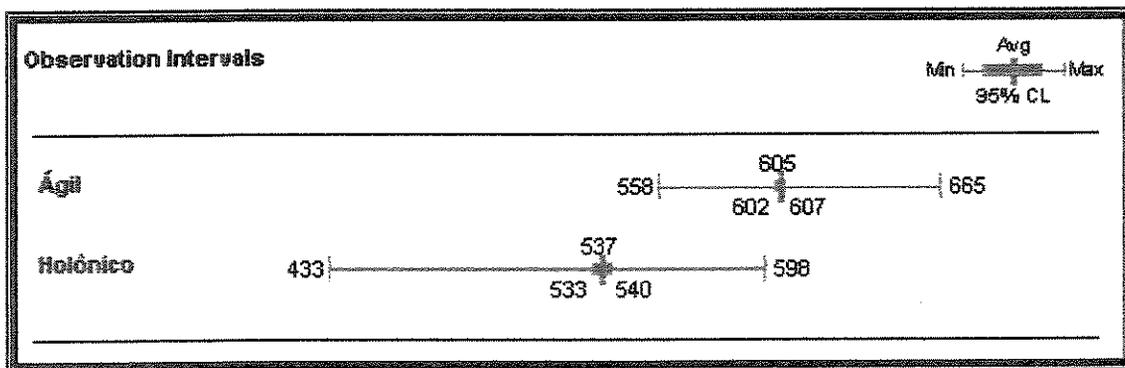


Figura 6.23 – Tempo de produção na ocorrência de lote defeituoso

Comparação entre os índices de desempenho na ocorrência de lote prioritário:

Neste experimento, o lote de HDs do tipo C torna-se repentinamente prioritário e precisa ser atendido em no máximo 200 minutos. Esta alteração força uma reconfiguração do sistema nos dois casos, buscando produzir todos os lotes em seus respectivos prazos de entrega, que são diferentes neste caso. O resultado da simulação é apresentado na Figura 6.24, onde se pode notar que nenhum dos dois sistemas teve um desempenho ideal, apesar de que, em média, o Sistema Holônico se aproxime mais do tempo desejável de 480 minutos. O Sistema Holônico apresentou um significativo adiantamento no término do trabalho, implicando em ociosidade da linha. O Sistema Ágil, por outro lado, terminou em média com atraso de mais de uma hora (74 minutos) em relação ao prazo de 8 horas, o que

forçou a permanência dos operadores na linha, implicando em pagamento de hora extra.

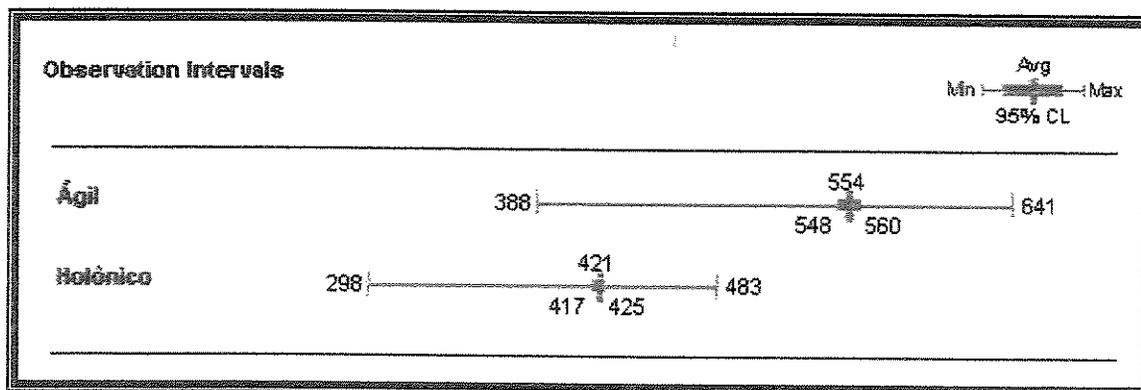


Figura 6.24 – Tempo de produção na ocorrência de lote prioritário

Comparação entre os índices de desempenho na ocorrência de quebras das baias:

Neste experimento, dez baias se quebram aleatoriamente, provocando atrasos imprevistos no trabalho da linha. Os resultados apresentados na Figura 6.25 evidenciam a maior habilidade do Sistema Holônico em lidar com este problema, já que sua média de tempo de produção permaneceu bem mais próxima da média de 480 minutos desejável. O Sistema Ágil, por outro lado, mostrou-se extremamente sensível às quebras de baias, já que sua média ficou bastante afastada dos 480 minutos, sendo que em determinado momento chegou a levar quase o dobro deste tempo (851 minutos).

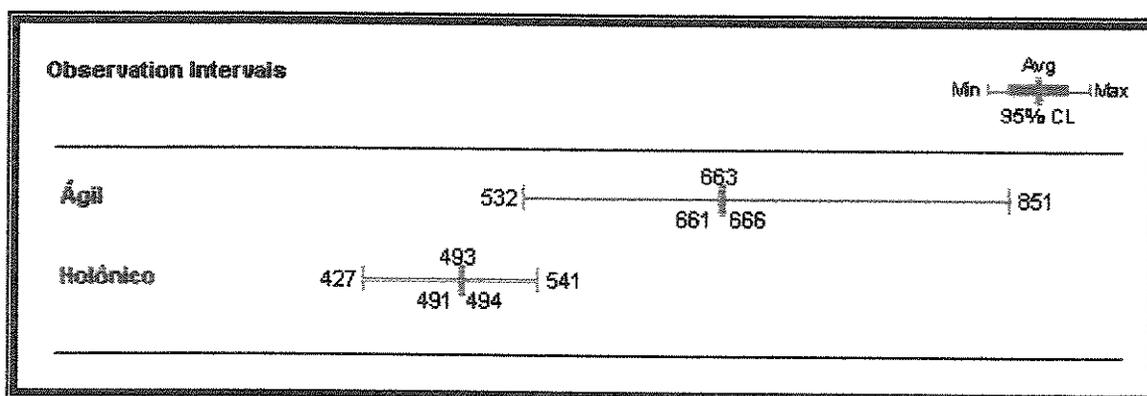


Figura 6.25 – Tempo de produção na ocorrência de quebras de baias

Capítulo 7

7. Conclusões e Trabalhos Futuros

7.1 Análise dos Resultados Obtidos e Conclusões

Uma análise dos resultados apresentados no Capítulo 6 deixa evidente que o Sistema Holônico é melhor capacitado para atender o pedido feito no horário desejado. Considerando que o objetivo é atender o pedido exatamente aos 480 minutos (com exceção da ocorrência de adiantamento de um dos lotes), pode-se calcular um índice que mostra a capacidade de cada sistema em atender ao pedido neste tempo.

Para obter este índice, calcula-se a diferença entre os tempos totais de produção obtidos sob condições normais e na ocorrência de adversidades, e o tempo desejado de 480 minutos. Esta diferença será em termos absolutos, ou seja, os atrasos e adiantamentos serão considerados da mesma forma, por serem ambos considerados prejudiciais para o desempenho da linha. Destes valores será calculada uma média aritmética. Um valor menor indicará menor variação e, conseqüentemente, maior estabilidade.

Assim, a Tabela 2 apresenta os valores de cada experimento realizado com o Sistema Ágil (considerando um lote típico), e os cálculos das diferenças e das médias.

Tabela 2 – Cálculo do índice de estabilidade para o Sistema Ágil

	Tempo Prod.	Diferença
Normal	584	104
Lote defeituoso	605	125
Lote prioritário	554	74
Defeito nas baias	663	183

A média aritmética das diferenças resulta em 121,5.

Na Tabela 3 são apresentados os mesmos valores para o Sistema Holônico.

Tabela 3 – Cálculo do índice de estabilidade para o Sistema Holônico

	Tempo Prod.	Diferença
Normal	481	1
Lote defeituoso	537	57
Lote prioritário	421	59
Defeito nas baias	493	13

A média aritmética das diferenças resulta em 32,5.

Fica assim confirmado que o Sistema Holônico teve melhor desempenho. Este resultado é evidente, já que tal sistema é capaz de se reconfigurar e aumentar sua capacidade quando precisa executar uma tarefa mais volumosa, e é capaz de ceder seus recursos excedentes, tornando-se mais “enxuto”, quando a tarefa a ser executada é pequena, ao mesmo tempo em que colabora com outras linhas, para as quais cedeu seus recursos.

Isto é possível porque a arquitetura PROSA prevê a interação entre os holons. No caso do Sistema Ágil, a linha atua sozinha para enfrentar as adversidades, esbarrando obviamente na sua limitação de recursos.

Evidentemente, a habilidade do Sistema Holônico em receber recursos de outros

holons da fábrica está restrito à sua disponibilidade. Caso ocorra uma situação anormal onde a empresa como um todo está sobrecarregada, nenhum holon poderá ceder recursos, e o desempenho da linha certamente será prejudicado. Mesmo assim, o conceito é válido, pois fortalece a empresa como um todo diante das adversidades. Pode-se comparar a empresa a uma corrente onde todos os elos tem exatamente a mesma resistência, como se o elo mais forte cedesse parte de sua força ao mais fraco. Desta forma, será muito mais difícil que a corrente se rompa.

7.2 Propostas para Trabalhos Futuros

O presente estudo restringiu-se à análise de uma linha de produção, sendo que sua interação com o restante da empresa foi “emulado” através uma lógica específica. Esta interação poderia ser objeto de um estudo mais detalhado, abrangendo a empresa como um todo e mesmo sendo considerada como corporação. A Figura 7.1 ilustra essa idéia.

Quanto maior for a estrutura holônica, maior a capacidade da empresa em absorver o impacto das adversidades. Como exemplo, usando a própria linha apresentada neste estudo, pode-se supor que ocorra a chegada de um pedido que exceda a capacidade da linha. Esta passa o problema para o holon que é seu superior hierárquico, ou seja, o holon – linha de gravação. Este holon consulta os outros holons – linhas de produção e constata que não há mais recursos disponíveis. O problema é então transferido para o seu holon superior hierárquico, que neste caso é o holon – fábrica (esta unidade da empresa). Este holon, então, atua junto aos outros holons do seu nível hierárquico, possibilitando a identificação de capacidade ociosa em alguma outra unidade fabril da corporação. Esta estrutura poderia ser aplicada com sucesso também em pequenas e médias empresas, como apresentado por Franco & Batocchio (1999).

Caso nem mesmo as outras unidades possuam capacidade ociosa que possa ser cedida, entraria em ação um nível hierárquico superior, que poderia abranger a cadeia de Supply-chain da empresa, seus fornecedores e até mesmo seus concorrentes, os quais poderiam vender um lote pronto, no caso, de HDs gravados.

Em um nível ainda mais alto, poderia estar o próprio governo representado como um holon, cumprindo seu papel de assegurar a estabilidade macroeconômica (Porter, 1999). Como ponto de partida, poderia ser utilizada a abordagem de mercado para o Sistema Holônico de Manufatura apresentado por Márkus (1996).

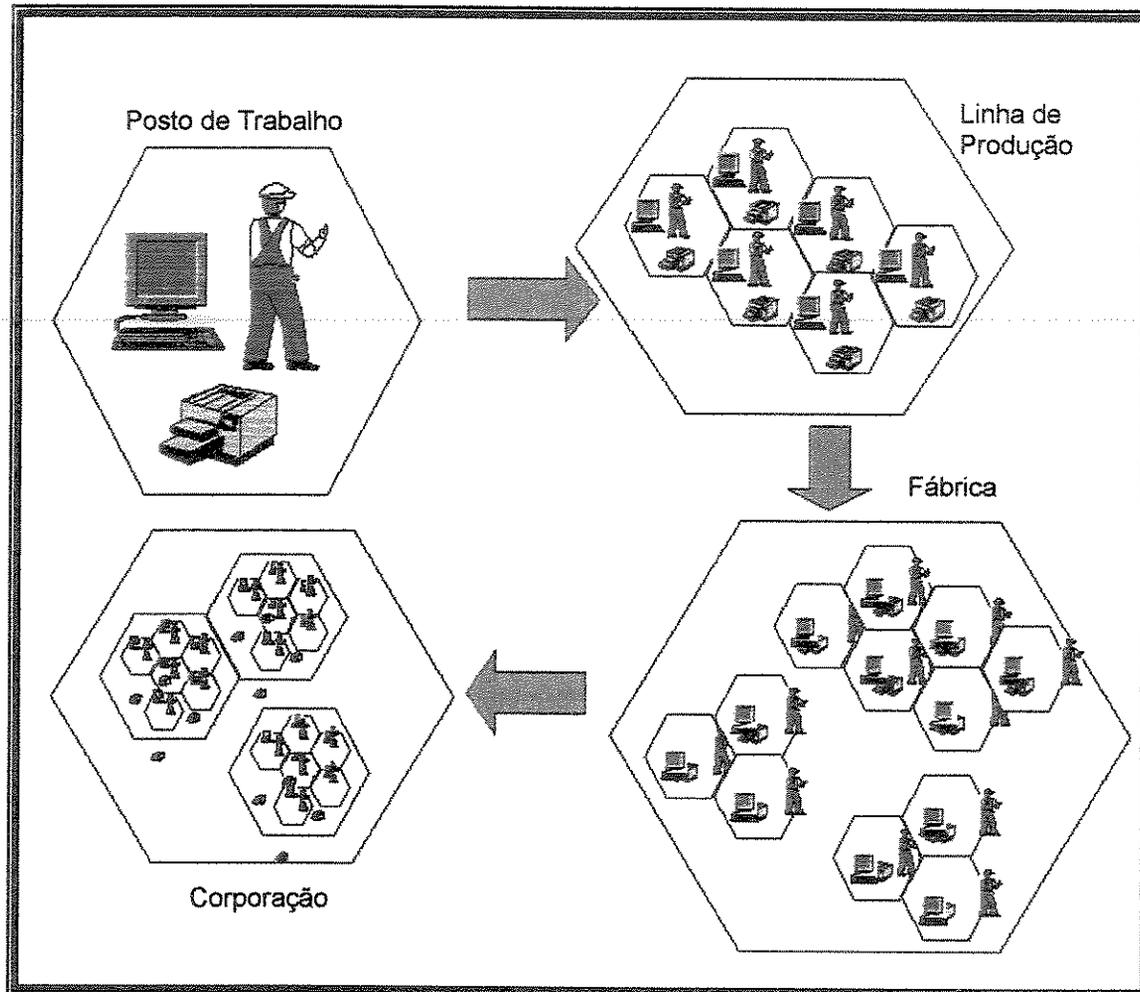


Figura 7.1 – Corporação organizada em holons

Outro ponto que poderia ser melhor detalhado é o sistema de informações necessário para que haja esta interação entre os diversos holons. Tal sistema seria, na verdade, o coração da arquitetura, já que a comunicação eficiente entre os holons é imprescindível para obter o desempenho do Sistema Holônico que foi exposto neste estudo. Os recursos tecnológicos existentes atualmente já permitem a construção de tal sistema, que precisaria ser melhor detalhado em um outro estudo.

O estudo e desenvolvimento de sistemas de manufatura mais eficientes é tema bastante relevante em nossos dias atuais, quando o mercado se mostra cada vez mais competitivo e exigente. Os paradigmas são quebrados com rapidez cada vez maior, e as empresas precisam estar baseadas em estruturas capazes de sobreviver à estas turbulências. No caso do Brasil, este aspecto é ainda mais relevante, já que se apresenta uma oportunidade ao mesmo tempo valiosa e perigosa. Valiosa, pois se o país souber aproveitar o avanço tecnológico atual e se posicionar juntamente com outros países neste campo, poderá dar um salto que recupere muitos anos de atraso em termos econômicos. Por outro lado, é uma oportunidade perigosa, pois se nada for feito, o Brasil poderá se tornar mais atrasado em relação aos outros, enfrentando maior dificuldade para obter relevantes participações no mercado internacional.

7.3 Agradecimentos

Os agradecimentos do autor à FAPESP pela manutenção de uma bolsa de mestrado, e ao RECOPE/FINEP/BID pelos recursos computacionais disponibilizados para a execução deste trabalho

Referências Bibliográficas

- Asai, K., Takashima, S., "Manufacturing, Automation Systems and CIM Factories", Chapman & Hall, Japan, 1994.
- Baker, A. D., A Survey of Factory Control Algorithms That Can Be Implemented in a Multi-Agent Heterarchy: Dispatching, Scheduling and Pull. *Journal of Manufacturing Systems*, v.14, n.4, p. 297-320, 1998.
- Batocchio, A. – "Tecnologia de Grupo", Apostila da disciplina IM190 - Sistemas de Fabricação e Tecnologia de Grupo, Universidade Estadual de Campinas - SP. 1992
- Batocchio, A., Fioroni, M. M., Georges, M. R. R., Souza, A. C., Rosa, A. B., Franco, G. N., *Manufatura Ágil X Sistema Holônico de Manufatura. Anais do IV Simpósio de Brasileiro de Automação Inteligente, São Paulo, 08-10, setembro, 1999.*
- Bongaerts, L - *Integration of Scheduling and Control in Holonic Manufacturing Systems – Phd dissertation, Katholieke Universiteit Leuven – Heverlee – Bélgica, 1998*
- Brussel, H. V., Wyns, J., Valkenaers P., Bongaerts, L., Peeters, P., *Reference Architecture for Holonic Manufacturing Systems, Computers in Industry, special issue on IMS, V. 37, N.3, pp.: 255-276, 1998.*

- Camuri, M., Berardinelli, C., Maia, F., Alternativas Estruturais para P&D, Enfocando uma Comparação entre Equipes de Desenvolvimento Heavyweight e Lightweight. Trabalho de Campo. Universidade Estadual de São Paulo, disciplina EAD 5837. Setembro, 2000.
- Carrie, A. – Simulation of Manufacturing Systems; John Wiley & Sons – United Kingdom – 1988.
- Certo, S. C., Peter, J. P. Administração Estratégica. Makron Books do Brasil, São Paulo, 1993.
- Cornélio, P. F.; Freitas, P. J.; Tubino, D. F. – O Uso do Software de Simulação Arena para o Desenvolvimento de Jogos de Empresas – O Protótipo GPCP-1. Encontro Nacional dos Estudantes de Engenharia de Produção, p.16, 1998 - Anais ; Rio de Janeiro-RJ.
- Drake, G. R., Smith, J. S., Peters, B. A., Simulation as a Planning and Scheduling Tool for Flexible Manufacturing Systems. Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference Washington, DC, dec., 1995.
- Georges, M. R. R., Batocchio, A., Considerações Sobre a Disponibilização de uma Ferramenta Computacional de Apoio ao Planejamento Estratégico Empresarial. Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 7-11, agosto, 2000 – Anais; Natal-RN.
- “Guia Exame: As 100 melhores empresas para se trabalhar”. Editora Abril, São Paulo, 2000
- “Guia Exame: As 200 melhores empresas para se trabalhar”. Editora Abril, São Paulo, 1999
- Fioroni, M. M., Batocchio, A. Arquitetura dos Sistemas de Manufatura. Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 7-11, agosto, 2000 – Anais; Natal-RN.
- Franco, G. N., Batocchio, A., Holonic Information System for SMES. XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 22-26, novembro, 1999 – Anais; Águas de Lindoia-SP.

- Goldman, S. L., Nagel, R. N., Kenneth, P. Agile Competitors and Virtual Organizations. Van Nostrand Reinhold Publishing, USA, 1994.
- Goranson, H.T. The Agile Virtual Enterprise – Cases, Metrics, Tools. Quorum Books, Westport, Connecticut, USA, 1999.
- Gunasekaran, A. Agile Manufacturing: A framework for research and development. At International Journal of Production Economics, v.62, p.87-105, Elsevier Science, Amsterdam, 1999.
- Iacocca Institute. 21st Century Manufacturing Enterprise Strategy. Industry-Led View. Volumes 1 & 2, *Iacocca Institute*, Bethlehem, PA, 1991.
- Jackson, P.R., Mullarkey, S., Parker, S.K., Wall, T.D. Advanced Manufacturing Systems and the Changing Nature of Work. Em Kidd, P.T., Karwowsky, W. Advances in Agile Manufacturing. IOS Press, 1994.
- IMS Group. Intelligent Manufacturing Systems Group Home Page. *Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.ims.org>*. Arquivo consultado em 11 de dezembro de 1999.
- Kanet, J.J., Faisst, W., Mertens, P. Application of information technology to a virtual enterprise broker: The case of Bill Epstein. At International Journal of Production Economics, v.62, p.23-32, Elsevier Science, Amsterdam, 1999.
- Kelton, W. D.; Sadowsky, R. P.; Sadowsky, D. A. – *Simulation With Arena*; McGraw Hill. Pittsburg, - U.S.A – 1998.
- Kidd, P.T. Agile Manufacturing – Forging New Frontiers. *Addison-Wesley Publishing Company*, New York, 1994.
- Koestler, A. The Ghost in the Machine. Arkana Books, London, 1989.
- Márkus, A., Váncza, T. K., Monostori, L., A Market Approach to Holonic Manufacturing.

Annals of the CIRP, v. 45, january, 1996.

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

Nikoucaran, J., Hlupic, V., Paul, R. J., Criteria for Simulation Software Evaluation. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference. 1998.

Perry, M., Sohal, A. S., Rumpf, P. Quick Response supply chain alliances in the Australian textiles clothing and footwear industry. At International Journal of Production Economics, v.62, p.117-132, Elsevier Science, Amsterdam, 1999.

Porter, M. E., Competição – On Competition – Estratégias Competitivas Essenciais. Editora Campus, Rio de Janeiro, Brasil, 1999.

Profozich, D., Managing Change With Business Process Simulation. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, USA, 1997.

Saleh, B., Randhawa, S., Hacker, M., A Decision Support Framework for Evaluating Manufacturing Alternatives. International Journal of Flexible Automation and Integrated Manufacturing, 6 (3&4), p. 311-327, 1998.

Sharifi, H., Zhang, Z. A methodology for achieving agility in manufacturing organizations: An introduction. At International Journal of Production Economics, v.62, p.7-22, Elsevier Science, Amsterdam, 1999.

Valkenaers, P.; Brussel, V. H.; Bongaerts, L.; Wyns J., Results of the Holonic Control System Benchmark at KULeuven, Leuven, Bélgica, 1994.

Valkenaers, P.; Brussel, V. H.; Bongaerts, L.; Wyns J., Holonic Manufacturing Systems. Integrated Computer-aided Engineering, Vol. 4, No. 3, pp.191-201, Wiley-Interscience, 1997.

- Womack, J.P., Jones, D.T. *Lean Thinking*, Simon & Shuster, 1996.
- Wyns, J. *Reference Architecture for Holonic Manufacturing Systems: PROSA*. Katholieke Universiteit Leuven, Mechanical Engineering Dept., Belgium, Doctoral Thesis, 1999.
- Wyns, J., Brussel, H. V., Valkenaers, P. and Bongaerts, L., *Workstation Architecture in Holonic Manufacturing Systems*, presented at 28th CIRP International Seminar in Manufacturing Systems, , Johannesburg, South Africa, p220-231. "Cirp Journal on Manufacturing Systems", Vol.26, No 4, 15-17 may, 1996
- Wyns, J., Langer, G., *Holonic Manufacturing Systems described in plain text, IDEF0 and Object-Oriented methods*. Proceedings of IMS-Europe, The First International Workshop on Intelligent Manufacturing Systems, Ed. Esprit Working Group on IMS & EPFL, Lausanne, p.13-28, april 15-17, 1998.
- Yusuf, Y. Y., Sarhadi, M., Gunasekaran, A. *Agile Manufacturing: The drivers, concepts and attributes*. At *International Journal of Production Economics*, v.62, p.33-43, Elsevier Science, Amsterdam, 1999.

Bibliografia Consultada

Exame, edições de junho/1998 a agosto/2000. Editora Abril, São Paulo.

“Guia Exame: As 100 maiores empresas de tecnologia do Brasil”. Editora Abril, São Paulo, 2000.

Info Exame, edições de junho/1998 a agosto/2000. Editora Abril, São Paulo.

Pidd, M., Modelagem Empresarial: ferramentas para tomada de decisão, Editora Artes Médicas Sul Ltda., Porto Alegre, 1998

Rother, M., Shook, J., Learning to See, Lean Institute, 1998.

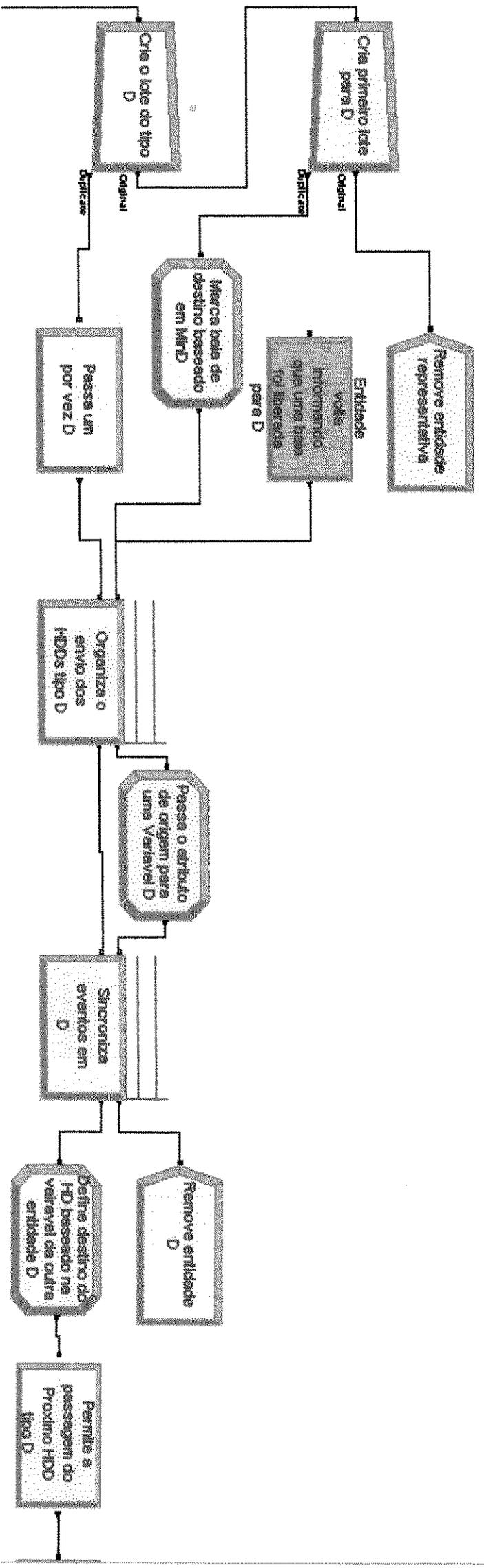
Schumacher, T., Wallin, S. E. J., - *Planning and Simulation of a New Production System for Electronic Equipment at Saab Ericsson Space AB* – Final course thesis, Chalmers University of Technology – Gothenburg, 1998

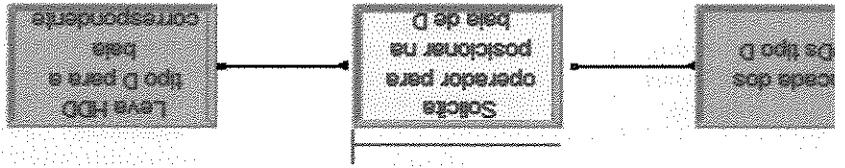
Anexo I

Fluxograma descritivo do funcionamento da linha, incluindo os procedimentos de setup e cálculos para a quantidade de baias ideal.

Anexo II

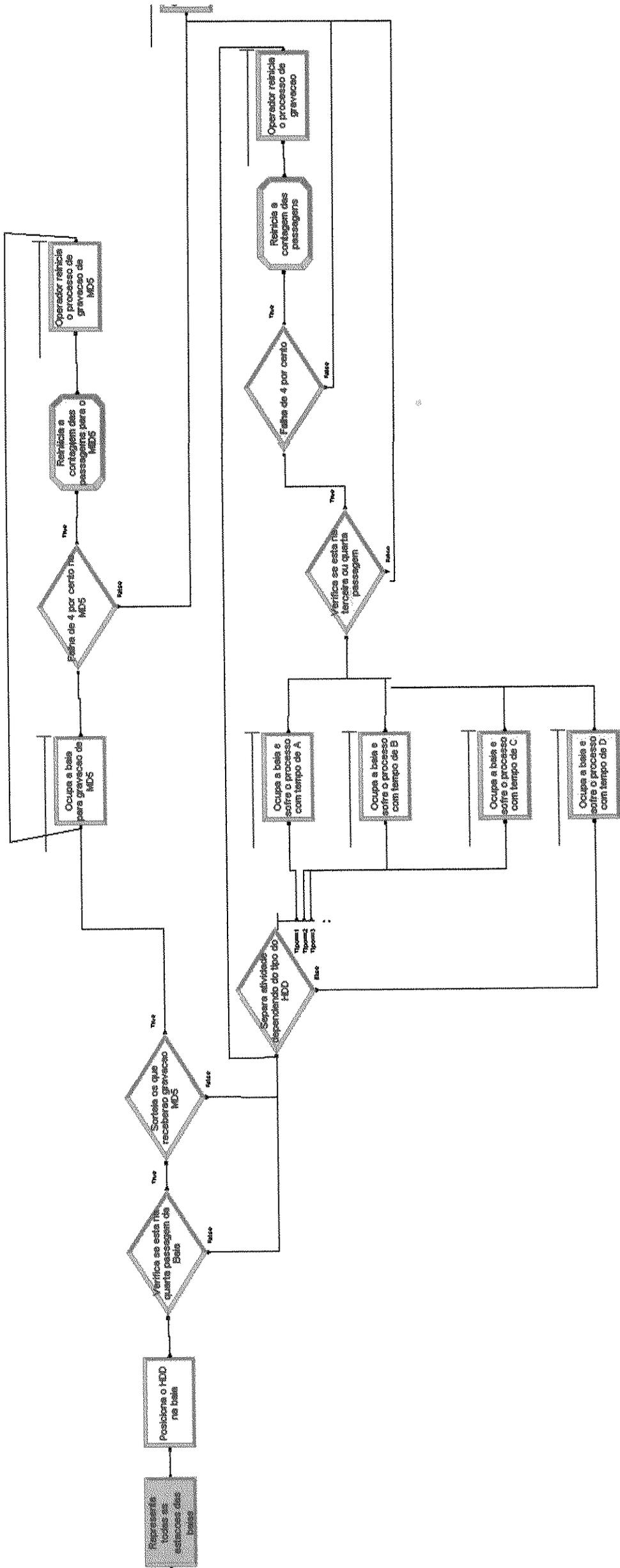
Lógica de colocação nas mesas do lote tipo A.

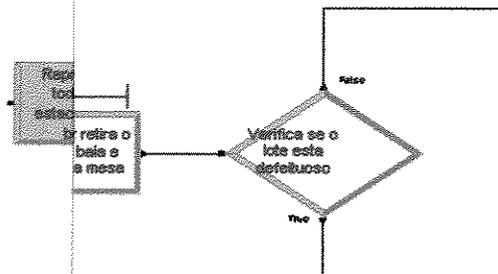




Anexo III

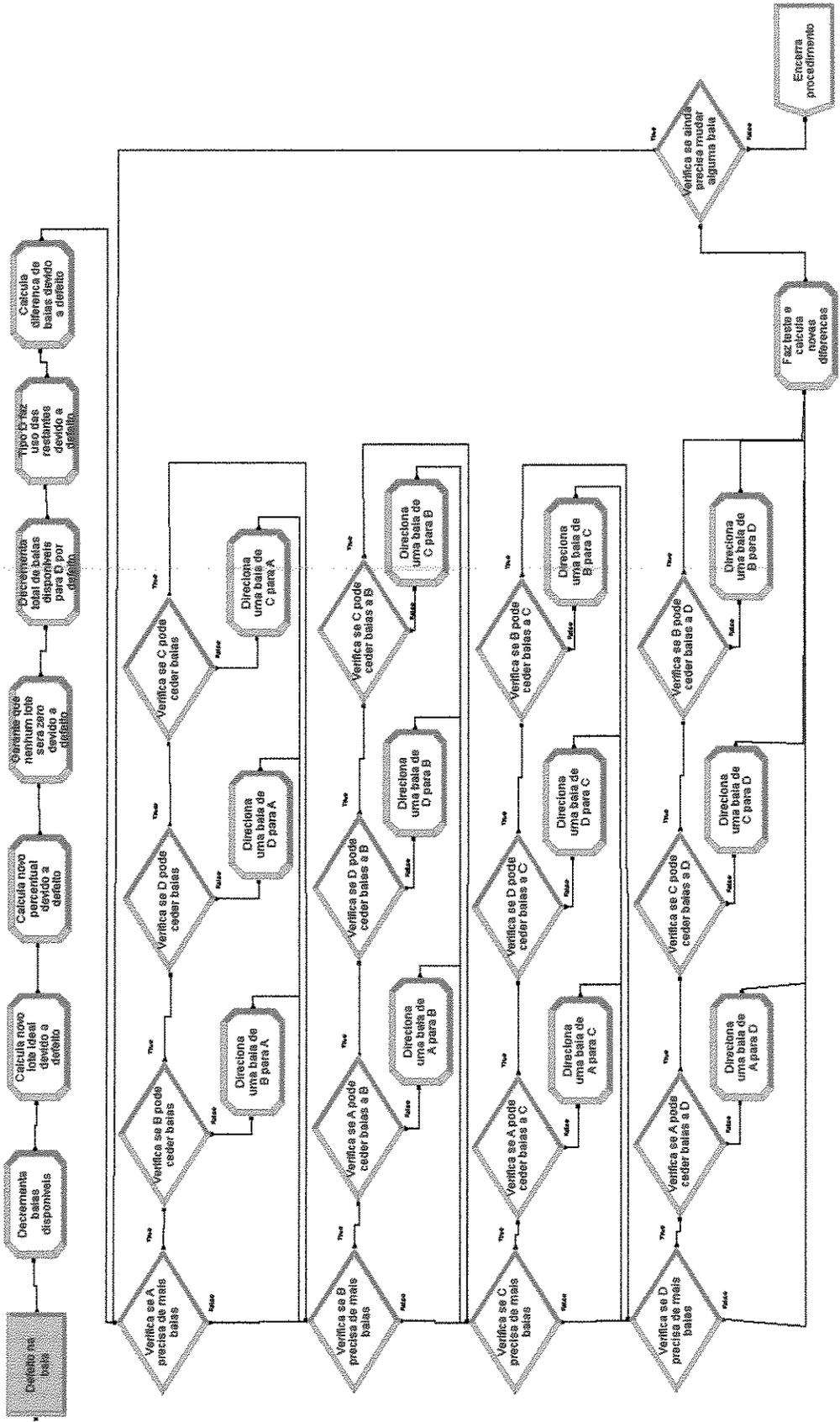
Lógica de gravação das baias.





Anexo IV

Lógica que trata os defeitos das baias.



Calcula diferença de balas devido a devolto

Tipo B faz uso das restantes balas e devolve a diferença

Diferencia total de balas disponiveis para C por devolto

Serão que nenhum balo sera zero devido a devolto

Calcula novo percentual devido a devolto

Calcula novo percentual devido a devolto

Decrementa balas disponiveis

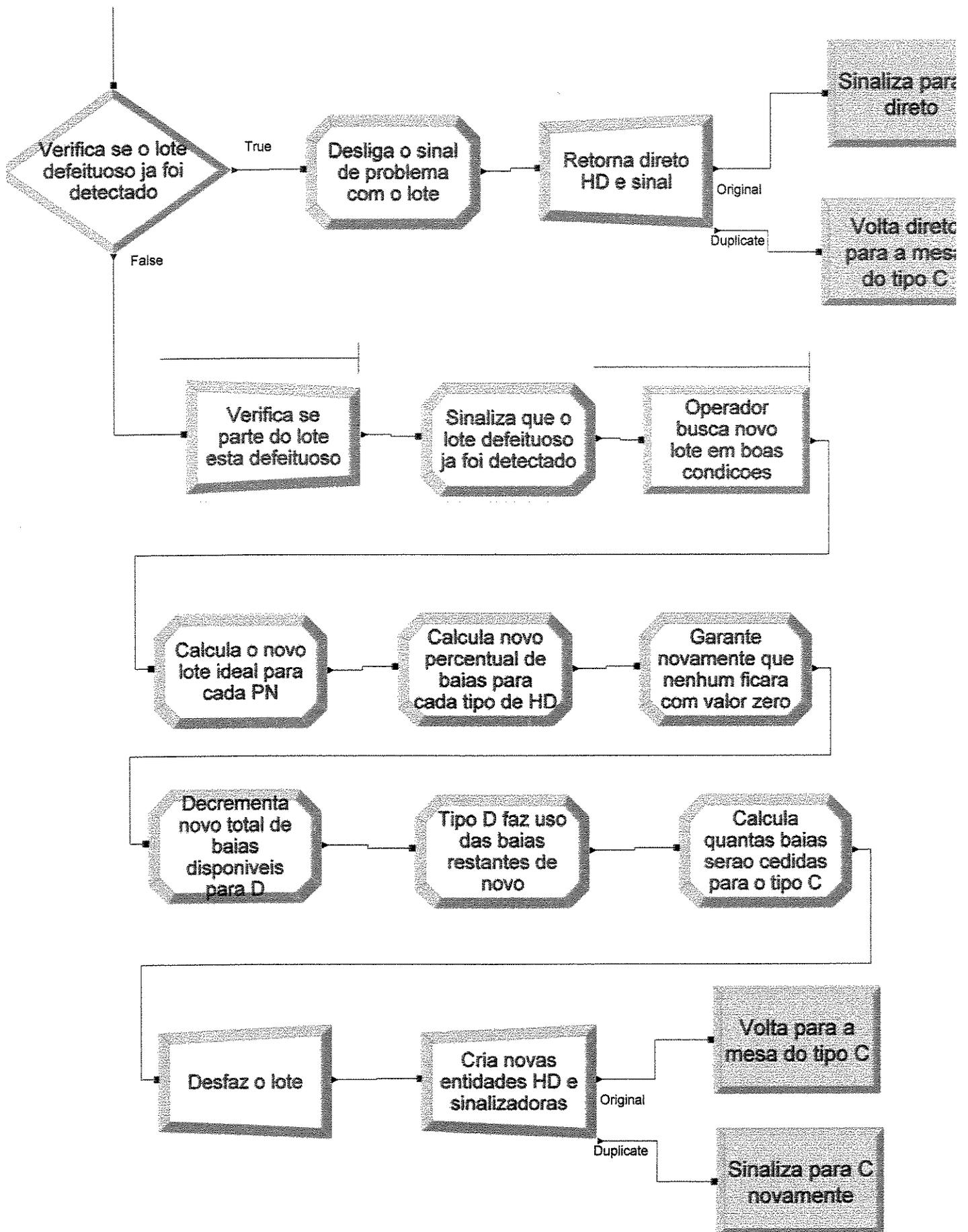
Devolto as balas

Encerra procedimento

Faz lista e calcula novas diferenças

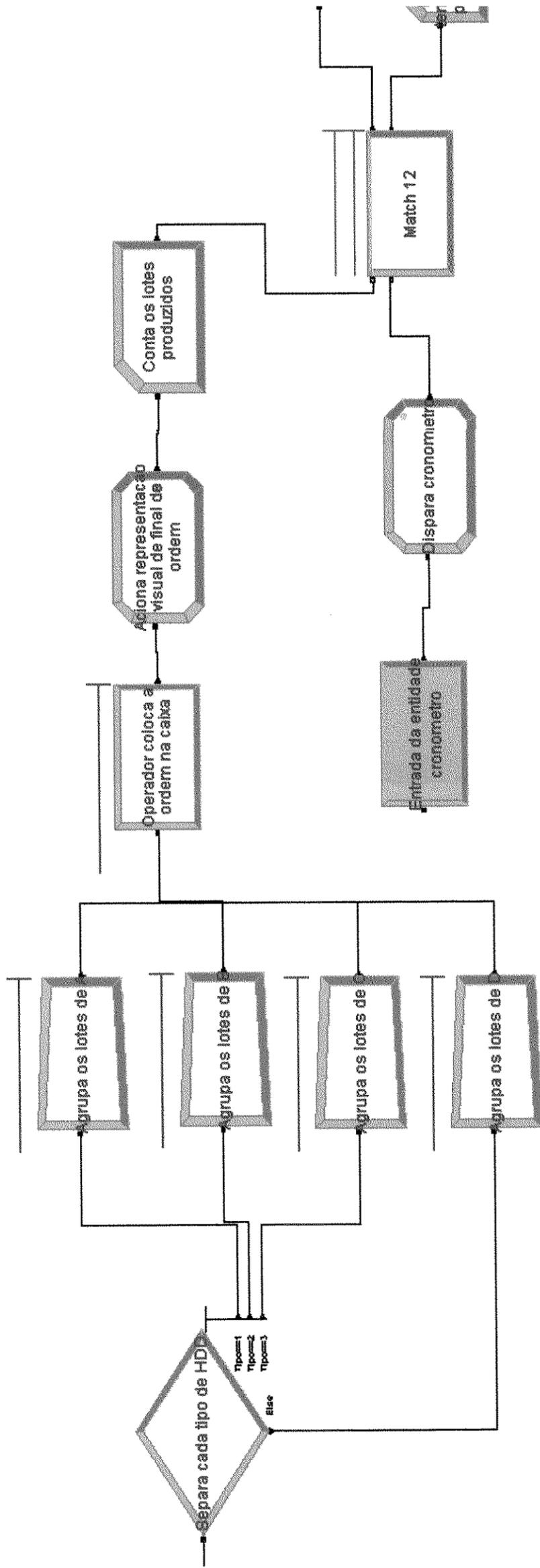
Anexo V

Lógica de substituição do lote defeituoso.



Anexo VI

Lógica de encerramento do processo.



erra o processo

tra quanto
il necessar
rmar o lote

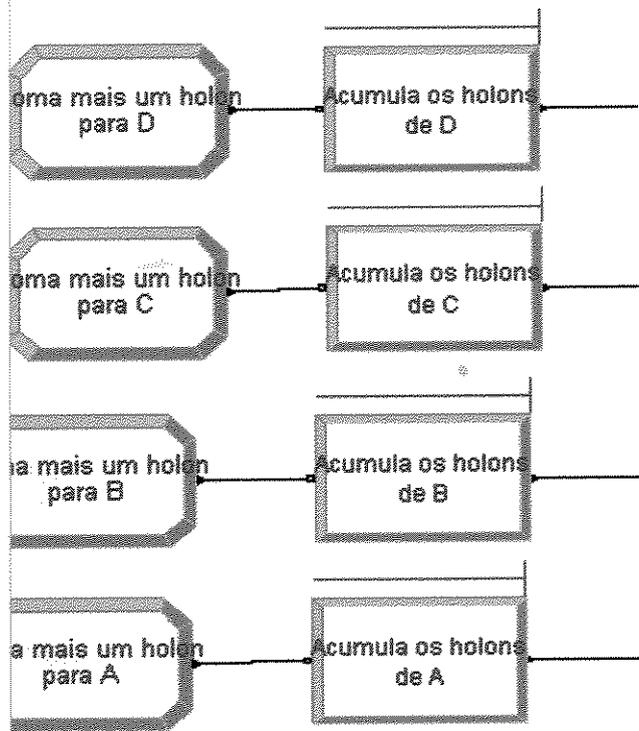
registra de quanto
em quanto tempo
um lote se forma

Remove cronometro

Anexo VII

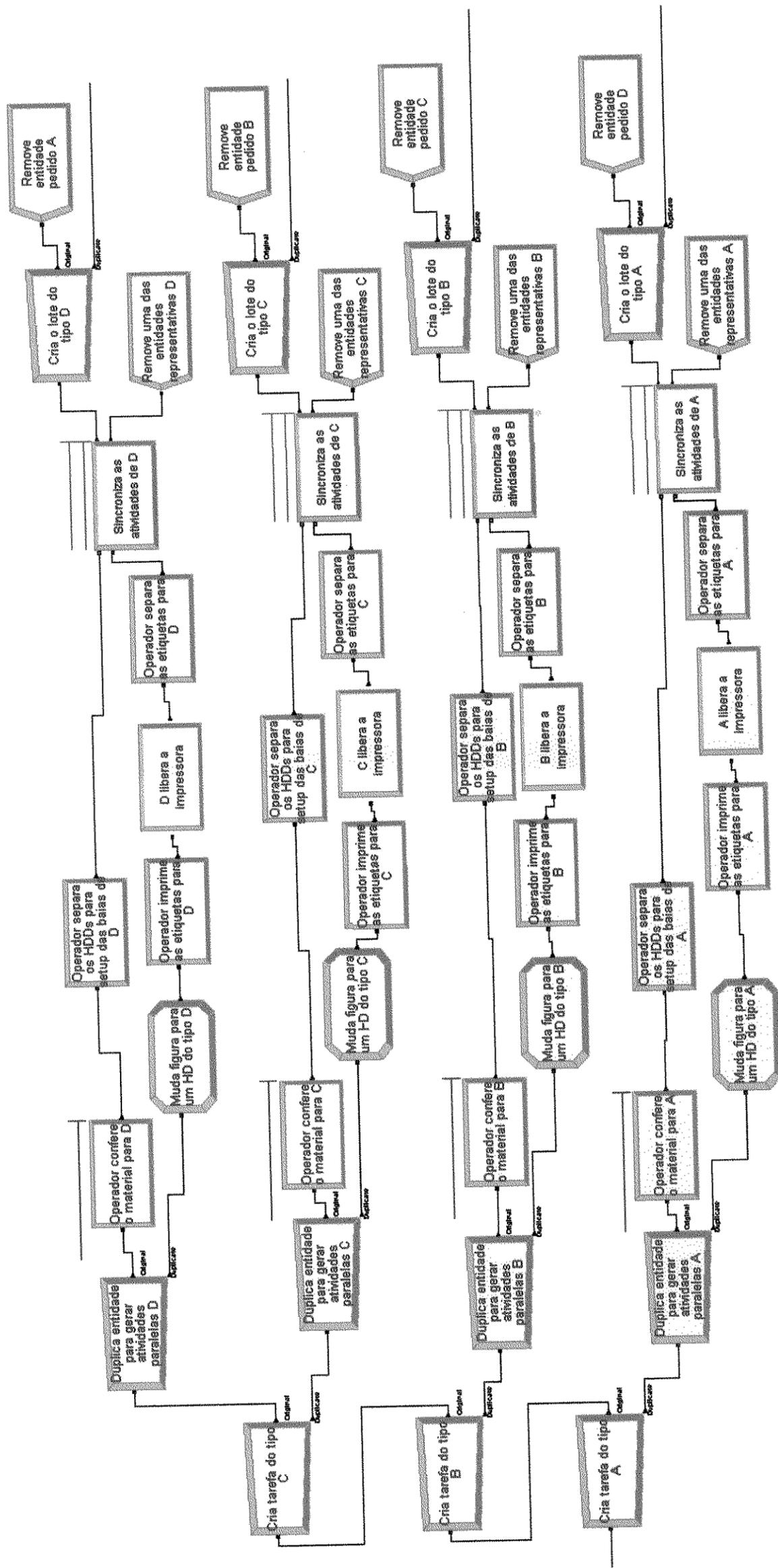
Lógica de criação e seleção dos holons de recurso.

Cri



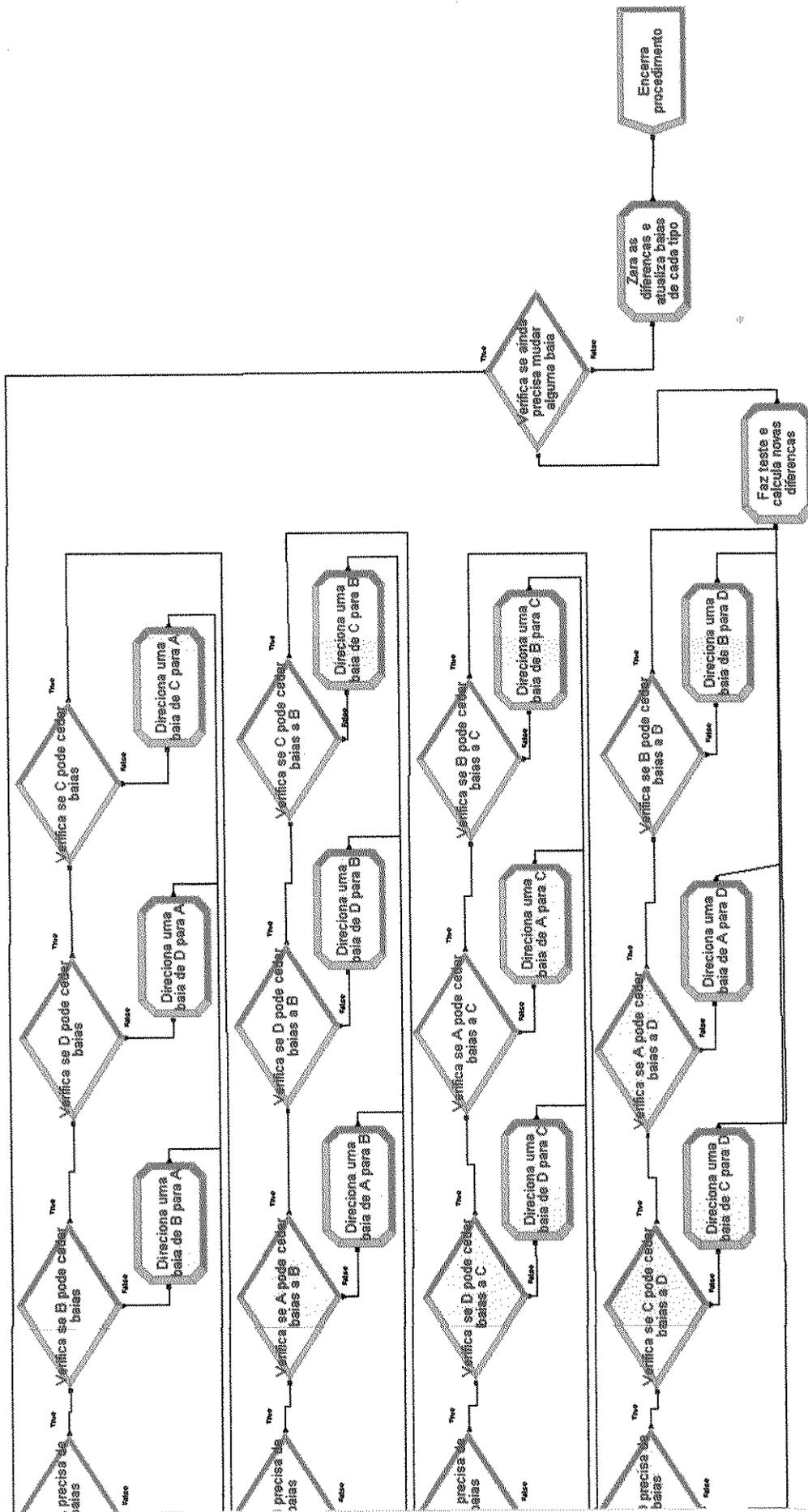
Anexo VIII

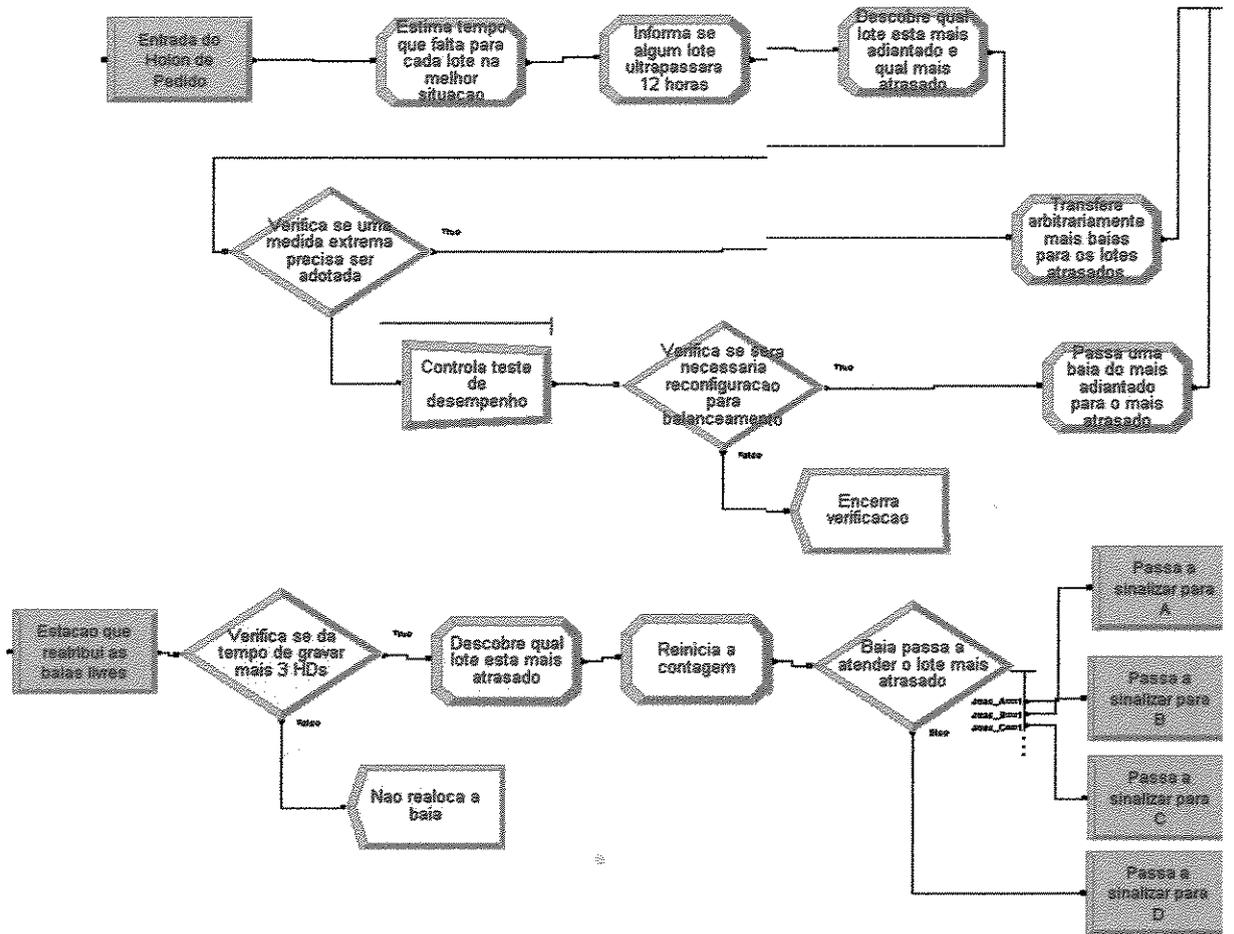
Lógica que simula as operações de preparação dos HDs.



Anexo IX

Lógica do Holon de Pedido.





Anexo X

Geração de tarefas externas à linha de gravação.

