

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL  
TESE DEFENDIDA POR CARLOS MACHADO DE  
OLIVEIRA E APROVADA PE  
COMISSÃO JULGADORA EM 20/09/2004

Marcus Fabius  
ORIENTADOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

# **Desenvolvimento de um sistema de simulação para Cadeias de Suprimentos**

**Autor: Carlos Machado de Oliveira**

**Orientador: Marcus Fabius Henriques de Carvalho**

21/04

UNICAMP  
BIBLIOTECA CENTRAL  
SEÇÃO CIRCULANTE

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO**

## **Desenvolvimento de um sistema de simulação para Cadeias de Suprimentos**

**Autor: Carlos Machado de Oliveira  
Orientador: Marcius Fabius Henriques de Carvalho**

**Curso: Engenharia Mecânica  
Área de Concentração: Projeto Mecânico**

**Tese de doutorado apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.**

**Campinas, 2004  
S.P. – Brasil**

UNIDADE	BC
Nº CHAMADA	T/UNICAMP
	OL4d
V	EX
TOMBO BCI	63456
PROC.	16-P-00086-05
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	05/05/05
Nº CPD	

BIBID - 348592

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

OL4d

Oliveira, Carlos Machado de

Desenvolvimento de um sistema de simulação para cadeias de suprimentos / Carlos Machado de Oliveira. -- Campinas, SP: [s.n.], 2004.

Orientador: Marcius Fabius Henriques de Carvalho.  
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Sistemas de informação gerencial. 2 Sistemas de fabricação integrada por computador. 3. Gestão de empresas. 4. Projeto de sistemas. 5. Administração da produção. 6. Simulação (Computadores). I. Carvalho, Marcius Fabius Henriques de. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

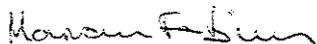
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO**

**TESE DE DOUTORADO**

**Desenvolvimento de um sistema de simulação  
para Cadeias de Suprimentos**

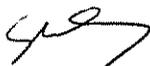
Autor: **Carlos Machado de Oliveira**

Orientador: **Marcus F. H. de Carvalho**



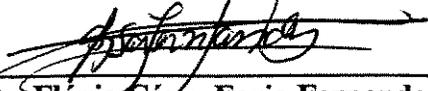
---

**Prof. Dr. Marcus F.H. Carvalho, Presidente  
Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP**



---

**Prof. Dr. Sílvio Roberto Ignácio Pires  
PPGEP – FEAU – UNIMEP**



---

**Prof. Dr. Flávio César Faria Fernandes  
Faculdade de Engenharia de Produção – UFSCar**

---

**Prof. Dr. Antônio Batocchio  
Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP**



---

**Prof. Dr. Paulo Corrêa Lima  
Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP**

Campinas, 20 de Setembro de 2004

**Dedicatória:**

Dedico este trabalho aos meus pais.

## **Agradecimentos**

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

Aos meus pais pelo incentivo em todos os momentos da minha vida.

Ao meu orientador que me mostrou os caminhos a serem seguidos.

A todos os professores e colegas do departamento, que ajudaram de forma direta e indireta na conclusão do trabalho.

*"Tente ser uma pessoa de sucesso, mas prioritariamente,  
tente ser uma pessoa de valor"*  
*Albert Einstein*

## Resumo

OLIVEIRA, Carlos Machado, *Desenvolvimento de um sistema de simulação para Cadeias de Suprimentos*, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2000. 111 p. Tese (Doutorado)

Em um mercado globalizado as empresas buscam vantagens competitivas pela desintegração vertical, terceirização de atividades e foco nas atividades essenciais. Aparece então a necessidade de formação de alianças estratégicas entre empresas baseadas nos interesses de mercado em comum. Sendo que os objetivos de negócio neste ambiente dinâmico devem ser alinhados, faz-se necessário avaliar as diferentes propostas de configuração e gestão da rede produtiva considerando *trade-offs* de custos, de estoque, de informação, de flexibilidade, de agilidade e de nível de serviço. Este trabalho propõe a especificação e implementação de uma ferramenta de simulação para avaliar a dinâmica dos diferentes cenários de negócios em Cadeias de Suprimentos.

### *Palavras Chave*

Negócios, Sistemas de informação gerencial, Sistemas de fabricação integrada por computador, Gestão de empresas, Projeto de sistemas

## **Abstract**

OLIVEIRA, Carlos Machado, *Development of a Supply Chain Simulation System*, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2000. 91 p. Tese (Doutorado)

In a global market, the companies search for competitive advantages through outsourcing and focus on core business. Strategic alliances among companies arise for common market interests. It demands alignment of business objectives among different companies in a dynamic environment. Many scenarios of production network configuration and management must be evaluated considering trade-offs of: costs, inventory, information sharing, flexibility, agility and service level. This thesis proposes to design and implement a simulation tool to evaluate the dynamics of different business scenarios in Supply Chain.

### *Key Words*

Business, Management information systems, Computer-integrated manufacturing systems, Enterprise Management, Systems Design

## Índice

Lista de Figuras	viii	
Lista de Tabelas	xi	
Acrônimos	xiii	
1	Introdução	1
2	Revisão Bibliográfica	8
2.1	A Integração Empresarial	8
2.2	Cooperação entre empresas	9
2.3	Planejamento Federativo	11
2.4	Planejamento Cooperativo	13
2.4.1	Decisão no nível cooperativo	15
2.4.2	Decisão no nível de empresa	16
2.5	Metodologias de modelagem de empresa	17
2.6	Ferramentas de análise – Otimização	19
2.7	Ferramentas de análise – Simulação de Sistemas	20
2.8	Revisão das ferramentas de simulação em CS	23
2.8.1	Lógica de coordenação	24
2.8.2	Escopo e objetivos	25
2.8.3	Paradigmas de simulação e tecnologia	25
2.8.4	Análise da pesquisa	27
2.8.5	Proposta da ferramenta de simulação distribuída para CS	28
3	Simulação em Cadeias de Suprimentos	33
3.1	Administrador de rede de simulação	34
3.2	Ambiente de Simulação de Cadeias de Suprimentos (ASCS)	36

3.2.1	Dinâmica de simulação em Tempo Discreto	36
3.2.2	Formas de coordenação dos modelos de simulação	38
3.3	Simulação de CS em 2 níveis	43
3.4	Formas de cooperação para simulação em 2 níveis	48
3.5	Planejamento Federativo	50
3.6	Planejamento Cooperativo	52
4	Simulador distribuído para Cadeias de Suprimentos	53
4.1	Sistemas Multi-Agentes	54
4.2	Estrutura do Agente	56
4.3	Agentes de produção, coordenação e transporte	58
4.4	Fluxo de mensagens	61
4.5	Políticas de gestão das empresas	64
4.5.1	Demanda	65
4.5.2	Histórico de pedido/demanda	65
4.5.3	Processamento de pedido	68
4.5.4	Políticas de estoque	69
4.5.5	Regras para planejamento e operação da produção	70
4.5.6	Política de Compra	73
4.6	Políticas de gestão da CS	75
4.6.1	Política de gestão Federativa	75
5	Experimentação dos modelos de Cadeia de Suprimentos	77
5.1	Modelando o sistema físico	80
5.2	Simulando um modelo de CS	84
5.3	Cenário 1: Troca tradicional de informação	86
5.4	Cenário 2: Compartilhamento da informação da demanda	87
5.5	Cenário 3: Decisão de produção e distribuição centralizadas na Fábrica	88
5.6	Cenário 4: Troca tradicional de informação com restrição de produção na Fábrica	88
5.7	Resultados dos cenários	89
5.8	Gráficos dos cenários	90
5.9	Análise dos resultados	99
5.9.1	Cenário 1: Troca tradicional de informação	99

5.9.2	Cenário 2: Compartilhamento da informação da demanda	99
5.9.3	Cenário 3: Decisão de produção e distribuição centralizadas na Fábrica	100
5.9.4	Cenário 4: Troca tradicional de informação com restrição de produção da Fábrica	100
6	Conclusões e sugestões para Trabalhos Futuros	102
	Referências Bibliográficas	106
	Publicações do autor	111

## Lista de Figuras

1.1	Gráfico que relaciona a porcentagem de compartilhamento da informação com a lucratividade (fonte: pesquisa Stanford University e Accenture Consulting)	3
1.2	Gráfico da relação entre categorias de colaboração das empresas com a lucratividade das mesmas (fonte: pesquisa Stanford University e Accenture Consulting)	4
2.1	Esquema de empresa cooperativa	10
2.2	Planejamento Federativo	12
2.3	Ambiente de decisão com 2 níveis hierárquicos	14
2.4	Fases do Planejamento Cooperativo	15
2.5	Modelo SCOR (fonte: Supply Chain Council)	18
2.6	Modelo de Simulação para processos de negócio	23
2.7	Lógica de Coordenação (a) descentralizada e (b) centralizada	24
2.8	Formas de compartilhamento de informação	31
3.1	Administrador de rede de simulação para CS	35
3.2	Subcadeia de montagem	37
3.3	Evolução no tempo de fluxos de pedidos e material	38
3.4	Troca de mensagens entre simulações	39
3.5	Lógica de coordenação descentralizada	39
3.6	Lógica de coordenação centralizada	40
3.7	Fluxos de mensagens na simulação	41

3.8	Fluxo de material e informação coordenados separadamente	42
3.9	Modelo em dois níveis para CS	44
3.10	Modelo para cadeia em dois níveis	45
3.11	Enfoques para coordenação	48
3.12	Exemplo de uma estrutura de CS para simulação	49
3.13	Exemplo de uma estrutura de CS para simulação	50
3.14	Exemplo de uma estrutura de CS para simulação de um Planejamento Federativo	51
3.15	Cooperação utilizando <i>Vendor-Managed Inventory</i>	51
3.16	Planejamento e suprimento cooperativo	52
4.1	Estrutura do agente	58
4.2	Modelo com fornecedor de fornecedor	60
4.3	Fluxo de mensagens entre os agentes	62
4.4	Evolução da simulação sob coordenação do agente coordenador	63
4.5	A reta que representa a regressão linear dos pontos do gráfico	65
4.6	Fluxo de pedidos entre fábrica e distribuidores	68
5.1	Ambiente de modelagem e simulação de Cadeias de Suprimentos	80
5.2	Edição dos parâmetros da empresa	81
5.3	Edição do comportamento da demanda	81
5.4	Edição da empresa VAREJISTA	82
5.5	Parâmetros de previsão, estoque e compras	83
5.6	Representação gráfica do modelo de CS utilizado nos experimentos	83
5.7	Janela de parâmetros da Fábrica	84
5.8	Janela de configuração do coordenador de simulação	85
5.9	Demanda utilizada na simulação	86
5.10	Estoque das empresas e a demanda (cenário 1)	90
5.11	Pedidos das empresas e a demanda (cenário 1)	91
5.12	Estoque das empresas e a demanda (cenário 2)	92
5.13	Pedidos das empresas e a demanda (cenário 2)	93
5.14	Estoque das empresas e a demanda (cenário 3)	94
5.15	Pedidos das empresas e a demanda (cenário 3)	95
5.16	Estoque das empresas e a demanda (cenário 4)	96
5.17	Pedidos das empresas e a demanda (cenário 4)	97



## Lista de Tabelas

2.1	Formas de gestão x Sistemas de informação e decisão	32
3.1	Gestão e lógica de simulação	43
4.1	Dados Passados	66
4.2	Dados Passados	67
4.3	Capacidade de produção de A,B e C	71
4.4	Unidade de manufatura com produção contra estoque	71
4.5	Evolução da produção	72
4.6	Unidade de manufatura com produção contra pedidos	72
4.7	Evolução da produção	73
4.8	Unidade de manufatura com produção contra pedidos – <i>leadtime</i> de compra = 1	74
5.1	Parâmetros do modelo e da simulação	86
5.2	Parâmetros do modelo e da simulação	87
5.3	Parâmetros do modelo e da simulação	88
5.4	Estatísticas de estoque e pedidos dos 4 cenários de simulação	89
5.5	Resultados do experimento no.2 – Estoque	81
5.6	Resultados do experimento no.2 – Pedidos	81
5.7	Parâmetros do modelo e da simulação	82
5.8	Resultados do experimento no.3 – Estoque	83
5.9	Resultados do experimento no.3 – Pedidos	83
5.10	Parâmetros do modelo e da simulação	84
5.11	Resultados do experimento no.4 – Estoque	85
5.12	Peso da informação e da demanda nas empresas	86
5.13	Resultados do experimento no.5 – Estoque	87



## **Acrônimos**

ERP (Enterprise Resource Planning) - são sistemas projetados para apoiar e automatizar os processos de negócio da empresa cobrindo as atividades de processamento de pedido, planejamento de produção, produção, logística, contabilidade, compras, etc. Esses sistemas integram (horizontalmente) todos os aspectos do negócio em um sistema uniforme e com uma base de dados em comum. Apresentam-se como soluções integradas para a organização como um todo, permitindo que as empresas entendam melhor seus processos. E, que através da padronização desses processos às melhores práticas, se tornem mais eficientes de forma que a empresa possa concentrar seus esforços na satisfação do cliente e na maximização do lucro.

ECR (Efficient Customer Response) – é um sistema de reposição automática de estoques consumidos no ponto de venda. Quando ocorre a venda, a informação é passada para o fornecedor que pode se planejar para melhor repor os produtos.

VMI (Vendor Managed Inventory) – é uma prática onde o Fornecedor tem responsabilidade na reposição e gestão do seu estoque no cliente.

CR (Continuous Replenishment) – é uma prática semelhante ao VMI, possui uma visualização maior dos estoques nas empresas jusantes na CS e utiliza políticas de estoque baseadas em previsões.

## Capítulo 1

### Introdução

A maior motivação para as empresas se integrarem verticalmente foi o desejo de controlar atividades críticas no sistema produtivo (Kogut, 1985; Kumpe & Bolwijn, 1988). Mas a integração vertical declinou por força da globalização, da necessidade de rápidas mudanças tecnológicas (Thackray, 1986) e como forma de repartir os riscos (Arbix, 2001). As empresas buscam vantagens competitivas promovendo a desintegração vertical, a terceirização de atividades não essenciais passando-as às subsidiárias multinacionais ou parcerias e focando suas operações internas nas atividades essenciais (*core business*). Desta forma, o ambiente produtivo requer a formação de alianças estratégicas entre companhias incluindo acordos cooperativos focados no interesse de mercado em comum. Com o surgimento desta “nova manufatura”, cresce a importância do conceito de Cadeia de Suprimentos que pode ser definida como uma rede de entidades de negócio parcialmente ou totalmente autônomas coletivamente responsáveis por atividades de suprimentos, manufatura, distribuição e marketing de produtos (Ballou, 1999).

Essas atividades, realizadas coletivamente, implicam em processos e relacionamentos entre empresas. As entidades de negócio podem ser fornecedoras, consumidoras ou fornecedoras/consumidoras, pertencendo a uma mesma empresa ou não, operando sujeitas a diferentes conjuntos de restrições e objetivos e se reportando a diferentes divisões. Embora haja individualidade das entidades aumenta a interdependência entre elas à medida que se caminha para uma economia globalizada na busca de melhor desempenho, qualidade e custos.

A gestão da Cadeia de Suprimentos (CS) busca integrar eficientemente os elementos de um negócio, ou seja, fornecedores, fabricantes, distribuidores tal que os bens sejam produzidos e distribuídos nas quantidades certas, nos locais certos e na hora certa, minimizando custos e, ao mesmo tempo, buscando satisfazer os requisitos dos clientes (Simchi-Levi, 2000).

A integração eficiente dos elementos de um negócio exige da gestão da CS, o desafio de alinhar os objetivos entre as organizações. Entretanto, cada organização na CS possui objetivos específicos que orientam seus processos de negócio estabelecidos segundo um conjunto de regras no sentido de satisfazer os propósitos da companhia e cumprir as exigências dos consumidores (Vernadat, 1997). Os processos de negócio materializam as políticas de gerenciamento, procedimentos administrativos e operacionais, processos de manufatura, regras de regulação, etc.

Isto resulta em uma rede complexa de organizações com objetivos diversos e conflitantes. A relação fornecedor-consumidor, por exemplo, possui objetivos conflitantes sobre preços, tamanho de lote de pedidos, prazos, frequência de entrega, níveis de serviço (porcentagem de pedidos atendidos no prazo), etc.

Além disso, desde a década de 60 (Forrester, 1961), foi verificado um comportamento indesejado no fluxo de pedidos e material entre unidades de negócio. Esse comportamento foi denominado efeito Chicote (*Bullwhip effect*) (Lee *et al*, 1997a; Lee *et al*, 1997b; Disney & Towill, 2003) e descreve como a informação da demanda é distorcida ao ser interpretada, processada e propagada ao longo das empresas montantes na CS. Essa distorção, causada por intervalos crescentes de planejamento à montante da cadeia e interferência do decisor, provoca, para cada empresa, uma variação de pedidos colocados ao fornecedor superior à variação dos pedidos recebidos pela empresa, ou seja, a variação dos pedidos no sentido montante da CS é sempre crescente mesmo que a demanda tenha baixa variação. Esse comportamento dificulta o equilíbrio entre fornecimento e demanda e faz com que as empresas tomem decisões, utilizando informação distorcida, sem conhecerem qual é a demanda real do consumidor final, por limitação causada pelas barreiras organizacionais. Com isso, as empresas aumentam seus estoques visando garantir melhores níveis de serviço, elevando o custo de suas operações. Embora esse problema seja conhecido desde a década de 60, ele persiste atualmente.

Um estudo conduzido em conjunto pela Universidade de Stanford e a empresa de consultoria Accenture (Lee e Whang, 2001) analisa um grupo de 100 indústrias e 100 varejistas no segmento da indústria alimentícia. Os resultados revelaram que as empresas que realizaram lucros acima da média foram aquelas que se engajaram em um maior compartilhamento de informação (Figura 1.1). Este estudo mostra a importância estratégica da informação e do seu compartilhamento no desempenho das empresas. Neste ponto, a tecnologia de informação nas empresas passa a ser um recurso essencial para melhoria de desempenho pela cooperação entre elas.

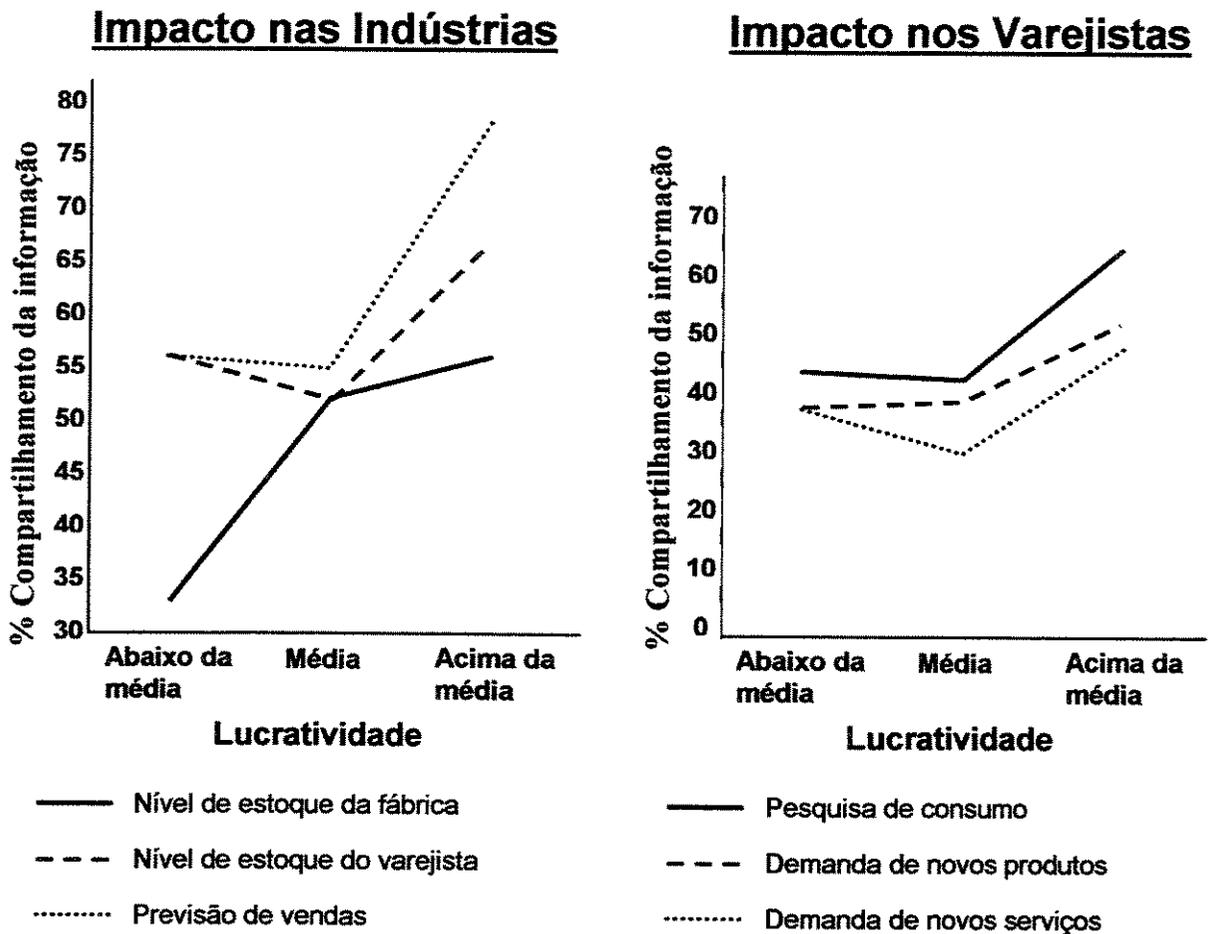


Figura 1.1 – Gráfico que relaciona a porcentagem de compartilhamento da informação com a lucratividade (fonte: pesquisa Stanford University e Accenture Consulting)

As empresas podem compartilhar informação sobre a demanda no ponto de venda, posição de estoque, previsão de demanda, pedidos atrasados (*backorder*), etc. Um passo adiante nesta cooperação é uma coordenação do planejamento e operação entre as empresas. Uma forma de

coordenação é a previsão, planejamento de produção e reposição colaborativa. Seguindo a mesma fonte de pesquisa, a Figura 1.2 mostra que as empresas com lucratividade acima da média são em geral as empresas com maior programas de colaboração entre as empresas parceiras.

A tecnologia de informação se torna um recurso crítico para o gerenciamento efetivo da CS. Inclusive, as atuais oportunidades de avanço nessa área se devem aos avanços das tecnologias de armazenamento, processamento e comunicação de dados e a interoperabilidade de sistemas de informação das empresas.

Os aspectos importantes que surgem então são quais dados devem ser compartilhados entre as empresas, com que freqüência e se isso pode ser feito com segurança. Outros aspectos são: como esses dados devem ser analisados pelas empresas, como se integrar à Internet e como utilizar comércio eletrônico em um ambiente que requer melhoria contínua nos processos relacionados aos serviços e produtos gerados pela cadeia. No aspecto de TI, deve-se determinar qual é a infra-estrutura necessária para viabilizar essa integração.

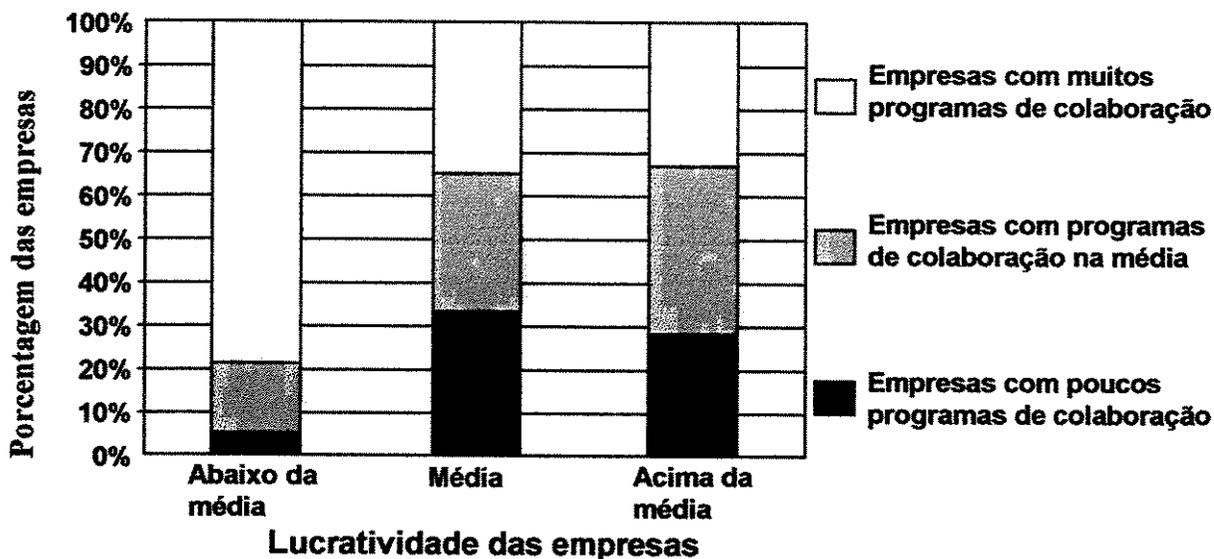


Figura 1.2 – Gráfico da relação entre categorias de colaboração das empresas com a lucratividade das mesmas (fonte: pesquisa Stanford University e Accenture Consulting)

O foco de estudo dos processos dentro da empresa expande-se para os processos de negócio e formalização de relacionamentos entre empresas. A questão que surge é como as empresas, em pares ou em grupos maiores, podem coordenar suas atividades individuais, de forma a trazer

benefícios para todos os participantes, por oferecer melhor desempenho e menor custo para o produto final. Para realizar essa coordenação é importante definir a forma da integração da informação e do negócio dos diferentes sistemas participantes da cadeia em um contexto empresarial, focando os elementos dentro de uma empresa bem como as relações entre várias empresas que participam da produção de um produto.

Uma empresa inserida no conceito global de produção necessita então analisar o seu papel na cooperação entre empresas considerando os seus objetivos e os objetivos da CS. Devido à dinâmica do mercado e das organizações, esses objetivos podem mudar e, portanto, tanto as empresas como a CS devem responder de forma rápida e dinâmica as estas mudanças. O processo de mudança envolve vários aspectos pertinentes às empresas (objetivos da organização, gestão, sistema de informação e *workflow*, tecnologia de produção e informação) e pertinentes às relações entre essas empresas no contexto da CS (objetivos da cooperação entre empresas, gestão da cooperação, sistema e tecnologia de informação envolvido).

O desafio é prover gerenciamento, em todas as partes envolvidas, com métodos e ferramentas adequadas que permitam as tarefas de projeto e reprojeto de negócios serem postas em prática com grande aproveitamento. Para projetar empresas e gerenciá-las em todo seu ciclo de vida, são estabelecidos princípios fundamentais de projeto, metodologias baseadas nesses princípios e ferramentas para suporte (Bernus and Nemes, 1996). A área de software de negócios tem usado ferramentas de projeto e análise por um longo tempo. Entretanto estas ferramentas são desenvolvidas com foco mais específico. O projeto de uma empresa deve considerar um universo mais amplo para implementar o seu ciclo de vida, desde o projeto do produto, planejamento, produção, distribuição, serviços pós-vendas e reciclagem.

As ferramentas necessárias para integração de empresa não são somente mais complexas, mas substancialmente diferentes de ferramentas utilizadas por outras áreas. Esta diferença aparece em dois pontos: a natureza do produto (neste caso a empresa) é mais heterogênea que qualquer outra área; e a interdisciplinaridade tem uma dimensão adicional. Na engenharia de empresa, os 'projetistas' possuem formações em diferentes áreas (administração, engenharia, computação, direito, etc.) e pertencem a diferentes níveis de hierarquia e, portanto, com

diferentes níveis de poder de influência nas decisões. Devido a esses fatores, a dinâmica de grupo no processo de projeto de empresa é muito mais complexa que em um projeto colaborativo usual.

As ferramentas de integração envolvem metodologias de modelagem de empresa que considera os sistemas de manufatura como sistemas compostos de recursos de produção, onde fluem material e informação de acordo com uma seqüência predefinida, e um conjunto de regras no sentido de satisfazer os propósitos da companhia e cumprir as exigências dos consumidores (Vernadat, 1997). Esse conjunto, denominado processo de negócio, materializa as políticas de gerenciamento, procedimentos administrativos e operacionais, processos de manufatura, regras de regulação, etc.

Os processos de negócio envolvem fluxos de informação, material e controle e necessitam ser modelados e analisados para: entender como a organização funciona; identificar oportunidades de melhorias, dimensionar capacidade produtiva e para apoiar o processo de mudança organizacional. Reunindo a modelagem dos processos de negócio da empresa, a modelagem do fluxo de informação, material e controle, a modelagem dos recursos da empresa e as metodologias de modelagem e da gestão das mudanças, têm-se as arquiteturas de empresa e de CS. A dinâmica dos processos de negócios em uma organização é um aspecto importante na análise descrita acima, encontrando na simulação (Law, 1986; Law, 2001; Law, 2003; Davis, 1998; Harrell e Tumay, 1997; Profzich, 1998) um dos métodos mais difundidos para analisar sistemas de manufatura, devido a sua flexibilidade e adaptabilidade aos passos do projeto. Entretanto as ferramentas de simulação tradicionais não foram projetadas para representar a dinâmica das empresas e relações entre empresas em um contexto de CS e em um ambiente distribuído.

O objetivo desta tese é **analisar políticas de gestão em Cadeias de Suprimentos frente a diferentes formas de cooperação**, com enfoque na dinâmica das relações entre as empresas. Para atingi-lo tornou-se necessário o desenvolvimento de um ambiente de simulação que fosse simples e ao mesmo tempo considerasse a representação da configuração física da cadeia de suprimentos, a representação das diferentes configurações para troca de informação e as possíveis formas de gestão.

As ferramentas existentes não são dedicadas à análise de políticas de gestão em CS e, portanto, foram realizadas a especificação e implementação de uma ferramenta de simulação para esse propósito. Para esta especificação, foram analisados os seguintes aspectos:

- Simplicidade na modelagem da CS;
- Simplicidade na coordenação dos modelos;
- Definição de uma dinâmica da simulação que visa simplicidade e tempo computacional;
- Concepção de um ambiente para modelagem, simulação e administração dos modelos de CS.

Após a implementação da ferramenta de simulação, as diferentes formas de gestão foram avaliadas. Essa avaliação considerou:

- diferentes regras de negócio entre as empresas como controle de estoque, processamento de pedido, produção, distribuição, compras, etc.
- diferentes regras de negócio entre empresas que traduzam no nível operacional as formas de gestão entre empresas como: previsão e planejamento de produção e reposição cooperativos, ECR, VMI, CR, formas de governança, etc.
- o efeito da demanda sazonal na Cadeia de Suprimentos.

Além disso, esse ambiente de simulação pode ser utilizado como elemento de apoio ao ensino e treinamento, promover idéias da importância da cooperação entre as empresas, entender a dinâmica complexa das empresas e a influência da disponibilização da informação no desempenho dos sistemas produtivos que trabalhem em rede.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica sobre CS, ferramentas e metodologias para modelagem de processos de negócio de empresas e da CS, ferramentas de simulação e suas aplicações, a necessidade de ferramentas específicas para simulação de empresas e alguns enfoques e ferramentas existentes para simulação de CS. O capítulo 3 apresenta uma proposta de uma estrutura de simulação para CS. O capítulo 4 apresenta um ambiente de simulação distribuído para CS desenvolvido nesta tese. O capítulo 5 apresenta ensaios de simulação realizados pelo ambiente. O capítulo 6 apresenta conclusões e propostas para trabalhos futuros.

## Capítulo 2

### Revisão Bibliográfica

Empresas geralmente buscam vantagens competitivas focando suas operações internas nas atividades essenciais (*core business*) e promovendo a desintegração vertical, terceirizando suas atividades não essenciais às subsidiárias ou parcerias. Neste novo ambiente de produção surge então a Cadeia de Suprimentos (CS) que pode ser definida por uma rede de entidades de negócio parcialmente ou totalmente autônomas coletivamente responsáveis por atividades de suprimentos, manufatura, distribuição e marketing de produtos (Ballou, 1999).

A dinâmica deste ambiente requer melhoria contínua nos processos relacionados aos serviços e produtos gerados pela CS. O papel da modelagem dentro da empresa expande para processos de negócios e formalização de relacionamentos entre empresas. A questão que surge é como as empresas em pares ou em grupos maiores, podem coordenar suas atividades individuais de forma a fazerem as coisas da melhor forma para todos. Para realizar essa coordenação é importante definir a integração dos diferentes sistemas participantes da cadeia, modelar suas inter-relações e geri-las.

#### 2.1 A Integração Empresarial

Atualmente poucas companhias projetam e manufaturam todos os componentes em seu próprio chão de fábrica. De fato, na busca de uma produção ágil uma empresa interage com um grande número de fornecedores e subcontratados. Componentes e semi-manufaturados provêm de fora do local do fabricante do produto. Mais recentemente produtos estão sendo projetados em

forte cooperação com parceiros na CS. Há, portanto, a necessidade de integração das partes objetivando formar o “todo” da produção.

Até o início da década de 80, com o conceito de manufatura integrada, a percepção de integração era entre áreas funcionais, da empresa, ligadas a produção, ou seja, a integração focada para dentro de empresa. Além disso, essa integração considerava apenas os níveis de aplicativos e físico, ou seja, integração de sistemas de comunicação (troca e conexão de dados por meio de redes de computadores e protocolos de comunicação) e a integração de aplicativos em plataformas heterogêneas com compartilhamento de dados em comum. Esta percepção de integração evoluiu para um contexto empresarial (integração e coordenação de negócios), focando os elementos dentro de uma empresa bem como as relações entre várias empresas que participam, em parceria, de um sistema de produção. A integração empresarial é crucial para o gerenciamento de uma CS (Manetti, 2002).

## **2.2 Cooperação entre empresas**

A integração empresarial em uma CS parte do reconhecimento das vantagens da cooperação entre empresas parceiras. Esta cooperação considera que as empresas parceiras são independentes entre si, mas com objetivos e estratégias em comum formalizadas por diferentes formas de cooperação. Parceiros que contribuem para o mesmo produto final devem trabalhar de modo acoplado, associativo e complementar. Para o sucesso do negócio deste conjunto de empresas deve haver uma efetiva integração e comunicação permitindo um fluxo de informações eficiente e seguro. Um conjunto global de empresas cooperativas é mostrado na Figura 2.1. A estrutura deste conjunto pode variar dinamicamente com o tempo pela entrada e saída de parceiros de acordo com as necessidades do mercado ou por decisão econômica. Uma empresa pertencente a um conjunto produtivo pode momentaneamente não estar cooperando para a produção enquanto que, negócios regionais podem criar grupos regionais dentro de um conjunto cooperativo.

Há dois principais aspectos envolvidos no processo de cooperação: Hierarquia para gestão cooperativa e requisitos para integração da informação. Para isto todos os membros de um

conjunto cooperativo necessitam de um suporte de infra-estrutura de comunicação para que possam repartir e trocar informações.

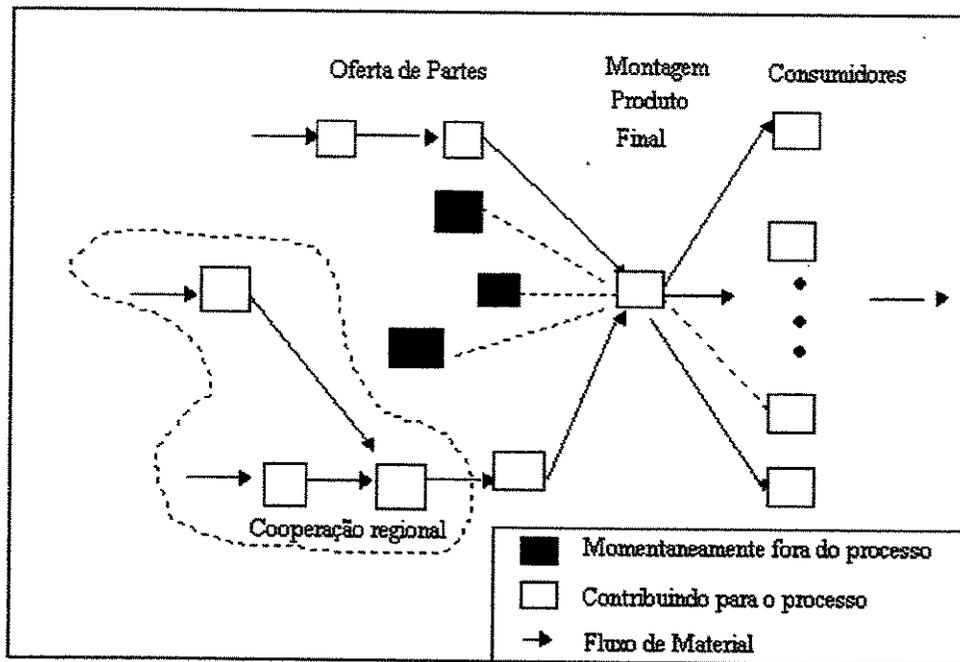


Figura 2.1 - Esquema de empresa cooperativa

Parceiros devem compartilhar informações que suportem as atividades de planejamento e operação, considerando particularidades e restrições de cada componente individualmente, preservando os interesses individuais, o que é possível através da tecnologia de informação hoje disponível. O projeto dos processos de negócio em uma empresa cooperativa, passa pela consideração de todas as atividades que adicionam valor através da CS independente se eles atravessam ou não as fronteiras organizacionais. Exemplo: uma determinada empresa 'A' pode ter processos de negócios sendo executados fora de suas fronteiras físicas. Na visão da empresa cooperativa, a fronteira entre a empresa 'A' e 'B' não existe para a cadeia de atividades que adicionam valor ao produto. A empresa cooperativa pode ter diferentes estruturas com empresas em um mesmo nível ou com uma relação hierárquica entre elas. Este aspecto depende das características do segmento de mercado em estudo.

Uma empresa inserida no conceito global de produção necessita então ser projetada para cumprir os objetivos do ambiente de cooperação. Durante sua operação, conforme os objetivos da cooperação mudam, a empresa também deve mudar de forma rápida e dinâmica. O processo de

mudança envolve vários aspectos de uma empresa, tais como seu gerenciamento, fluxo de controle e informação, organização e tecnologia de produção. O próprio processo de mudança necessita ser iniciado, gerenciado e executado de forma apropriada.

Estabelecido que um conjunto de empresas da CS irão cooperar entre si, deve-se definir a forma de cooperação e como esta cooperação será coordenada. A seguir, algumas formas de cooperação serão apresentadas (Lee & Billington, 1993; Lee *et al*, 1997; Simchi-Levi *et al*, 2000; Azevedo e Souza, 2000).

### **2.3 Planejamento Federativo**

A expansão do mercado, o maior foco nos clientes e crescentes pressões do mercado e de custo e a diminuição no ciclo de vida dos produtos estão forçando muitas companhias a reavaliarem a eficiências de suas CS. Para isso o foco tem sido nos parceiros da CS e no planejamento colaborativo entre os parceiros (Oliver, Chung e Samanich, 2001).

Em 1994, um consórcio de empresas e consultores de TI (Wal-Mart, Lucent Technologies, Sara Lee Corporation, Ernst & Young, SAP América e Sun Microsystems) lançou o CPFR - *Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment* (Seifert, 2003), um programa de colaboração que inclui atividades de previsão, planejamento e reposição e considera um protocolo para troca de dados entre os parceiros. Muitas empresas adotaram esse programa com sucesso promovendo redução de estoques e aumento no nível de serviço. Com o planejamento colaborativo, há um compartilhamento periódico de dados de planejamento e previsão por ferramentas integradas. Essas ferramentas permitem que companhias compartilhem dados detalhados ao longo do empreendimento estendido, acessando, em tempo real, dados de estoque nos pontos de venda e posição dos pedidos.

É importante considerar a complexidade dos diferentes objetivos e prioridades dos parceiros da CS. Além disso, as empresas podem não querer compartilhar informações estratégicas que podem ser utilizadas como vantagem competitiva. Outro aspecto a ser considerado é que uma empresa pode pertencer a diferentes CS e, portanto, pode participar de

diferentes formas de cooperação ao mesmo tempo. Isto traz uma dificuldade adicional ao planejamento cooperativo.

Oliver, Chung e Samanich (2001) propõem uma forma de colaboração chamada Planejamento Federativo que se baseia em três aspectos fundamentais:

- Não dita soluções para a CS, mas a gerencia pelas negociações entre os parceiros;
- Propõe uma cooperação por alinhamento dos objetivos de negócio;
- Não gera soluções “locais” no tempo, mas procura estabelecer tendências e padrões.

Essa abordagem fornece os meios para definir as relações explicitamente e para gerenciá-las entre os parceiros da rede de suprimentos baseadas em regras e políticas, para monitorar tendências e disparar revisões das decisões quando necessário.

Os parceiros podem então negociar nível de serviço, tempo de reposição dos produtos (*replenishment leadtime*), definição de preços, contrato de suprimento, lotes mínimos, etc. Eles podem negociar também quais informações serão compartilhadas, com quem e com que frequência. Dentre elas tem-se, demanda no ponto de venda, posição de estoque, pedidos e pedidos atrasados, previsões do mix de produtos, grau de incertezas, etc (Figura 2.2).

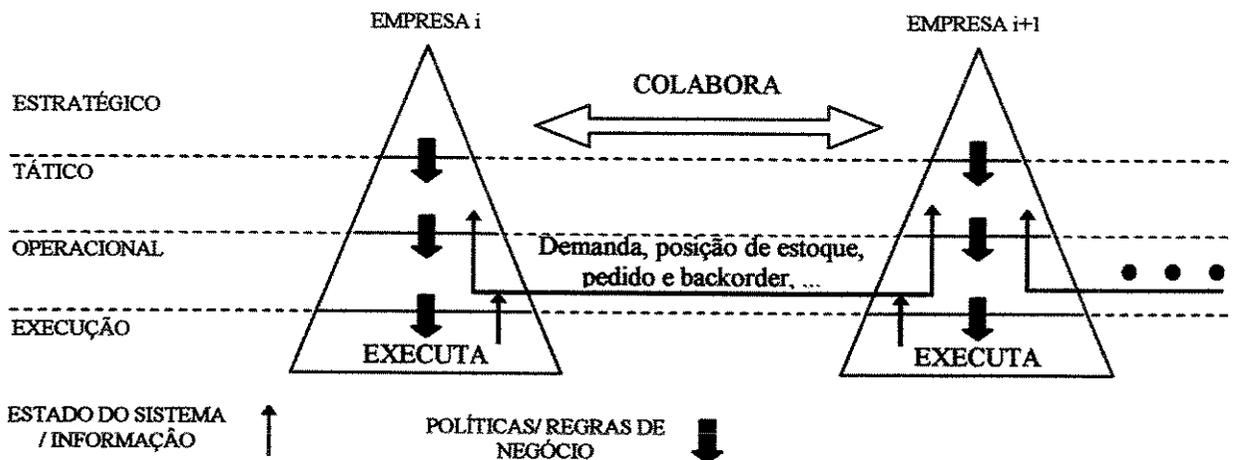


Figura 2.2 – Planejamento Federativo

Em uma negociação entre fornecedor e cliente, os mesmos analisam as implicações dos parâmetros do acordo na alocação de seus recursos e nos custos operacionais. As negociações podem e devem envolver mais empresas, pois provavelmente para um fornecedor atender determinados parâmetros, o fornecedor tem que ter um sistema produtivo que consiga reagir às implicações desse acordo. Se isto não for possível, pode-se considerar alternativas como incluir novos fornecedores, negociar com outros fornecedores ou o cliente pode relaxar suas restrições ao acordo. Tudo isso dependerá das opções do mercado, do poder de negociação dos parceiros e de seus objetivos.

O acordo de cooperação em uma CS deve também definir regras para regular as relações entre os parceiros, estabelecendo as condições onde os acordos são válidos e os critérios para revisão desses acordos. Por exemplo, a dinâmica do mercado pode causar a revisão de um acordo, preços que são revistos devido à flutuação de uma moeda estrangeira, disponibilidade de matéria-prima, quebras de safra, barreiras de importação, etc. Os acordos também podem ser revistos em prazos determinados (anual, semestral, etc.).

Um das grandes vantagens do Planejamento Federativo é a sua capacidade de se adaptar a diferentes estruturas e modelos de governança na CS, uma vez que as regras de negócio e os acordos são estabelecidos pelas negociações entre os parceiros que obedecem à estrutura e o modelo de governança. Outro aspecto importante é que o fluxo de informação não guia a estratégia, mas suporta regras operacionais que podem disparar a revisão dos acordos. O fluxo de informação permite também verificar se os acordos estão sendo respeitados. Por exemplo, verificar se o nível de serviço de um fornecedor tem sido igual ou superior ao nível de serviço estabelecido em um acordo.

## **2.4 Planejamento Cooperativo**

O Planejamento Cooperativo é sugerido por Carvalho e Campos, (1997). Este enfoque sugere integrar a rede produtiva por meio de um planejamento de produção cooperativo. Exemplos de planejamento centralizado são encontrados nas plantas de montagem modulares da indústria automotiva (Fredriksonn, 2002) e na indústria de componentes eletrônicos (Arntzen e Shumway, 2002). Outro campo de aplicação deste enfoque é em agrupamentos produtivos,

*clusters*, em que o elemento gestor pode ser assumido por uma associação ou pelo poder público. O desafio é prover novas ferramentas de planejamento que considerem a interdependência entre os parceiros em termos de eficiência, eficácia e requisitos no tempo. Isto requer um planejamento global da produção da CS, suportado por um sistema de comunicação entre as empresas parceiras, que envolve diferentes unidades organizacionais dispostas a compartilhar decisões em diferentes níveis hierárquicos. Cada empresa parceira, distribuída ao longo da rede cooperativa, recebe, deste planejamento, metas a serem perseguidas em um determinado horizonte de planejamento. O planejamento cooperativo considera a capacidade produtiva, o custo e as particularidades de cada parceiro.

As decisões de gestão do sistema produtivo são multi-empresa, multi-estágio e multi-produto e são consideradas por um ambiente de decisão com dois níveis hierárquicos (Figura 2.3). O primeiro nível, **nível cooperativo**, considera as decisões da cooperação levando em conta as restrições e os objetivos dos parceiros da rede produtiva representada por um sistema produtivo equivalente. Estas decisões orientam o planejamento local de cada empresa que pertence a rede cooperativa.

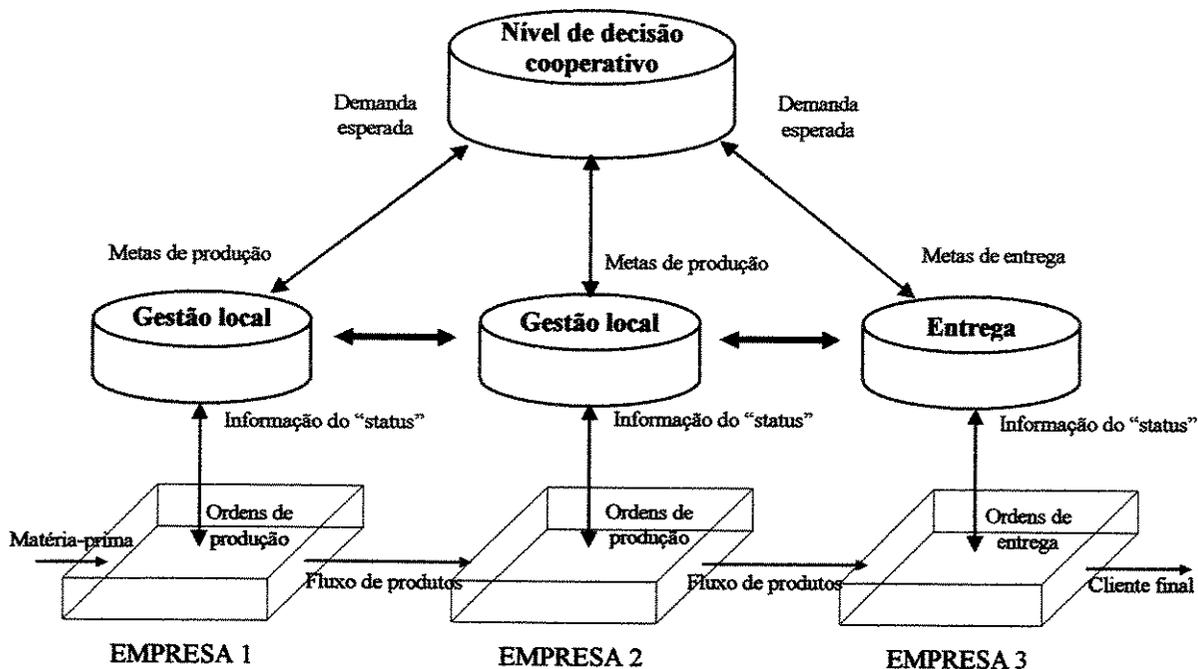


Figura 2.3 – Ambiente de decisão com 2 níveis hierárquicos

Em um segundo nível, chamado **nível de empresa**, cada empresa, gerencia seu sistema produtivo por uma abordagem ERP. A evolução das atividades operacionais da empresa, como estado corrente da produção, novos cenários de vendas, relatório de entregas e incertezas da produção, são comunicadas ao nível cooperativo. Isto permite corrigir os desvios das metas estabelecidas pelo planejamento cooperativo ou revê-las, melhorando a confiabilidade do sistema.

### 2.4.1 Decisão no nível cooperativo

Uma das funções mais importantes do planejamento cooperativo é a coordenação do fluxo de produção entre os parceiros, no sentido de evitar estoques desnecessários e produção desbalanceada. Esta coordenação considera três aspectos: tempo, espaço e capacidade. A coordenação no tempo procura programar as atividades dentro do horizonte de tempo. A coordenação espacial deve garantir a disponibilidade de itens ou componentes no tempo certo e no lugar certo para serem manufaturados ou montados. A coordenação da capacidade garante que a soma dos planos de produção de cada produto não excede a capacidade produtiva de cada recurso individual do sistema de produção cooperativa. Para assegurar a coordenação do fluxo de decisão, as metas são alocadas às empresas considerando a decomposição espacial e temporal. O objetivo do estágio de alocação é promover uma decomposição espacial e temporal das metas agregadas estabelecidas pelo planejamento estratégico (Figura 2.4).

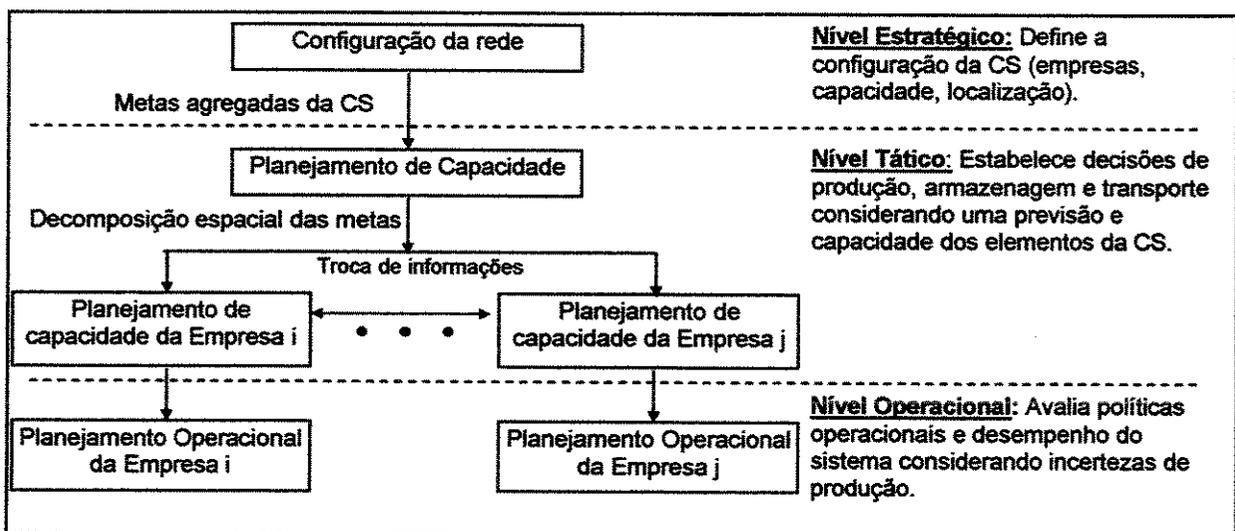


Figura 2.4 – Fases do planejamento cooperativo

A decomposição temporal divide o plano agregado do primeiro período mensal em planos semanais. A decomposição espacial decompõe a representação de um recurso de produção no nível agregado em uma representação recurso de produção no nível de empresa. Portanto, cada parceiro da cooperação será representado por um recurso de produção tendo associado a ele custo e taxa de produção. Decisões típicas neste estágio são: programas de produção e estoque por empresas para o intervalo semanal.

#### **2.4.2 Decisão no nível de empresa**

Com a decomposição espacial das metas da CS, cada empresa recebe suas metas específicas e neste nível, determina um planejamento de empresa para atingir as metas. Durante o processo de desagregação, é possível que algumas metas agregadas sejam inaceitáveis e ineficazes pelo sistema. Neste caso, novas restrições devem ser enviadas ao nível cooperativo.

Para viabilizar formas de cooperação entre empresas, os seguintes pontos devem ser definidos:

- Hierarquia de planejamento: estabelece como dividir as metas e restrições de planejamento das empresas e da CS.
- Metodologias de modelagem de empresa: para projetar empresas e gerenciá-las em todo seu ciclo de vida, são estabelecidos princípios fundamentais de projeto e metodologias para sua implementação. A metodologia guia os desenvolvedores no processo de modelagem que representa as atividades da empresa.
- Ferramentas de suporte: as ferramentas computacionais de suporte permitem ganho de produtividade na modelagem e implementação dos sistemas de informação que irão implementar as atividades que foram definidas no projeto.

## 2.5 Metodologias de modelagem de empresas

As metodologias necessárias para integração de empresa são mais complexas e abrangentes do que as metodologias utilizadas em outras áreas (Bernus and Lemes, 1996). Essas metodologias de modelagem consideram as empresas como sistemas compostos de recursos (de vendas, de produção, de materiais, de distribuição, etc.), onde fluem material e informação de acordo com os processos de negócio no sentido de satisfazer os propósitos da companhia e cumprir as exigências dos consumidores (Vernadat, 1997). Neste nível, os fluxos de informação, material e controle necessitam ser modelados e analisados para se definir metas corretas para a companhia. Tais fluxos representam processos de tomada de decisão, processos técnicos e administrativos. Através deles define-se a arquitetura operacional da empresa que permite cumprir as exigências dos consumidores e os objetivos da empresa.

As metodologias e ferramentas mais difundidas em modelagem de processos de negócio são: ARIS (Scheer, 1992), CIMOSA (AMICE, 1989), IEM (Mertins *et al*, 1995), PERA (Williams, 1994). Esses métodos têm enfoque na visão horizontal, no fluxo de material pela rede produtiva e enfatizando o conceito de processos de negócios e *workflow*, integrando várias vistas de modelagem. Estes métodos são sumarizados e comparados por Vernadat (1996) no contexto de Manufatura Integrada.

No contexto de Cadeia de Suprimentos, existe um modelo de referência de processos desenvolvido pelo Supply Chain Council (2003) chamado SCOR (Supply Chain Operations Reference-Model). Este modelo de referência de processos integra conceitos de reengenharia de processos de negócios, *benchmarking* e medição de desempenho de processos em um esquema que atravessa as barreiras funcionais da empresa. A reengenharia de processos captura o estado atual e procura derivá-lo para um estado futuro desejado. O *benchmarking* quantifica o desempenho operacional de empresas similares e estabelece metas internas baseadas nos melhores resultados do segmento de mercado em questão. Faz-se uma análise que caracterize as práticas de gestão e soluções de software que resultam nos melhores resultados obtidos no *benchmarking*, obtendo-se então as melhores práticas de gestão. Desenvolve-se então um modelo de processos que forneça uma padronização nas descrições dos processos de gestão, um esquema

para inter-relacioná-los (cruzar barreiras funcionais), uma padronização de medida de desempenho desses processos e as melhores práticas de gestão obtidas.

O SCOR se baseia em 5 distintos macro-processos de gestão: Planejar (*plan*), Abastecer (*source*), Produzir (*make*), Entregar (*deliver*) e Retornar (*return*) detalhados abaixo (Figura 2.5).

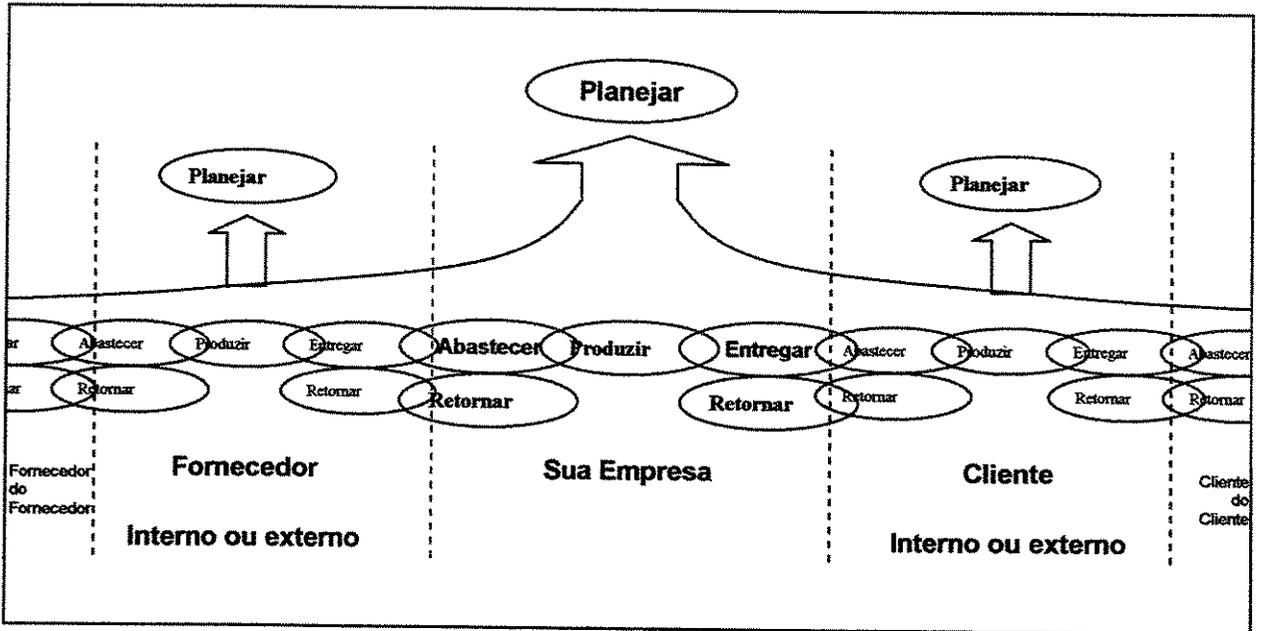


Figura 2.5 – Modelo SCOR (fonte: Supply Chain Council)

**Planejar.** consiste em identificar, priorizar e agregar requisitos de planejamento da CS (plan), dos produtos (source), da produção (make), da entrega (deliver) e da devolução (return), identificar, estimar e agregar recursos disponíveis para esses itens, fazer um balanço entre esses requisitos e os recursos disponíveis e estabelecer planos para atendê-los e meios para comunicá-los. O planejamento é dividido por macro-processo: planejar a CS, planejar produtos, planejar produção, planejar entrega e planejar devolução.

**Abastecer.** consiste em atividades de compra, entrega, recepção, verificação e transferência de matéria-prima, semi-manufaturados, componentes e produtos. Essas atividades podem envolver itens administrados para estoque, para pedidos específicos e inclusive projetados especificamente para um cliente.

**Produzir:** consiste em atividades de manufatura adicionando valor ao produto. As atividades podem ser considerar produção para estoque, produção contra pedido e produção considerando projetos customizados.

**Entregar:** consiste em atividades de processamento de pedido e atividades de entrega. As atividades de processamento do pedido envolvem: cotação, recebimento e validação do pedido, reserva de itens em estoque, determinação da data de entrega e consolidação do pedido. As atividades de entrega envolvem movimentação do material, preparação de documentos (notas fiscais, faturas e outros), preparação e envio dos produtos e sua instalação na localidade do cliente (quando for o caso).

**Retornar:** consiste em atividades de retorno e descarte de produtos definido por termos de garantia, não conformidade do produto, *recalls* ou outras política similares de substituição do produto sob condições de contrato fornecedor/cliente.

## **2.6 Ferramentas para análise – Otimização**

As ferramentas citadas na seção 2.5 envolvem modelos e metodologias com o foco na descrição de processos de negócios. Outros métodos utilizados com sucesso em sistemas de manufatura são os métodos matemáticos especialmente a otimização (Tayur, Ganeshan e Magazine, 1999). Dentre as aplicações tem-se: planejamento de capacidade, programação da produção, tamanho de lote, agrupamento de máquinas em células, layout e problemas relacionados à logística: problema de transporte, caixeiro viajante, roteamento de veículos. Os métodos matemáticos utilizam uma estrutura composta de uma função objetivo no qual se procura maximizar (exemplos: lucro, volume de produção, etc.) ou minimizar (custo de produção ou transporte, atraso na produção, tempo, etc.) e um conjunto de restrições que são equações que podem representar limitações de recursos (financeiro, de produção, de material, humano, etc.).

Os resultados obtidos pelos modelos de otimização trazem grande melhoria no desempenho dos processos e podem ser refinados ou realimentados conforme os resultados práticos da implementação. Os cuidados na implementação se devem ao fato que a solução gerada é “ótima” para o modelo, pois se utilizam simplificações do sistema real como a eliminação da

aleatoriedade; e dados de entrada do modelo obtidos por estimativas como é o caso de custos de produção e transporte, capacidade média dos recursos, previsão de demanda dos clientes e tempo médio das operações. Essas simplificações representam a maior desvantagem de sua utilização. Outra desvantagem é a dificuldade de reutilizar um modelo matemático para diferentes situações. Pequenas mudanças na concepção do sistema podem mudar a categoria do problema matemático exigindo todo um processo de remodelagem.

Para uma análise mais detalhada, a aleatoriedade e o aspecto temporal devem ser levados em consideração. Nesse sentido, a simulação é a ferramenta mais difundida para analisar sistemas de manufatura tendo como principais vantagens, a flexibilidade e adaptabilidade no estudo de sistemas (Law, 1986; Shannon, 1987; Law, 2001; Law, 2003; Davis, 1998; Harrell e Tumay, 1997; Profozich, 1998).

## **2.7 Ferramentas de análise - Simulação de Sistemas**

Simulação é um processo de modelagem e experimentação de um modelo com o propósito de compreender o comportamento do sistema real e avaliar várias estratégias de sua operação (Shannon, 1987).

A simulação é vista como uma ferramenta poderosa porque permite visualizar o comportamento de um sistema real por um modelo em computador. Pode-se pensar na simulação como uma metodologia aplicada e experimental que procura:

1. Descrever o comportamento de sistemas
2. Construir teorias e hipóteses que levam em consideração o comportamento observado
3. Usar o modelo para prever o futuro, ou seja, os efeitos que serão produzidos pelas mudanças no sistema ou em seus métodos de operação.

Todos os modelos de simulação são modelos de avaliação. Ou seja, os modelos de simulação são executados ao invés de resolvidos. Eles são incapazes de gerar uma solução ótima como um modelo de otimização, eles podem servir como uma ferramenta de análise do comportamento do sistema sob condições especificadas pelo experimentador.

Os principais benefícios no uso da simulação são permitir (Shannon, 1987):

- Explorar novas políticas, procedimentos operacionais, regras de decisão, estruturas organizacionais, fluxos de informação, etc. sem perturbar o sistema em estudo.
- Testar novos equipamentos, layouts, softwares, sistemas de transporte, etc. antes de adquiri-los e implementá-los.
- Levantar hipóteses sobre como ou porque certos fenômenos ocorrem e testá-los.
- Controlar o tempo. A evolução da simulação pode ser acelerada ou freada conforme a necessidade do experimentador.
- Entender quais são as variáveis mais importantes para o desempenho do sistema e como elas se interagem.
- Identificar gargalos nos fluxos de produtos, materiais e informação.
- Ganhar conhecimento sobre como sistema realmente funciona e derrubar falsas ideias sobre como ele operava.
- Experimentar novas situações nas quais se tem pouco conhecimento e experiência e desta forma preparar se melhor para o que vai acontecer. Os modelos que testam essas novas situações são conhecidos como modelos “what-if”.

Apesar de ser um método difundido, existem alguns fatores complicadores. O primeiro fator é a necessidade de especialistas em simulação e na linguagem de modelagem (simulacionistas). O papel do simulacionista ainda é necessário apesar da evolução das ferramentas computacionais de simulação. Ele deve interagir com as pessoas que conhecem e trabalham no sistema a ser modelado. Outro fator complicador é o processo de estimação dos parâmetros adequados ao modelo, ou seja, observações e medição de atividades do sistema em estudo e análise dos dados o que requer pessoal especializado.

O tempo para desenvolver os modelos também pode ser um problema. Esse tempo depende da complexidade do sistema a ser estudado, da interação entre os especialistas do sistema e os simulacionistas, das ferramentas computacionais de suporte, do tempo para estimar os parâmetros do modelo e também do objetivo da simulação. Em muitos casos esse tempo é crítico. As ferramentas computacionais estatísticas e para simulação evoluíram permitindo reduzir o tempo

de modelagem e estimação de parâmetros. Entretanto, o processo de modelagem ainda toma um tempo considerável.

Atualmente, as empresas têm duas opções: contratar os serviços de uma empresa de consultoria em simulação ou comprar os softwares estatísticos e de simulação e treinar uma equipe para desenvolver os modelos. Se a empresa utiliza a simulação freqüentemente, em geral é melhor comprar os softwares e formar uma equipe de simulacionistas. Isso irá depender muito do retorno esperado com a utilização da simulação.

Quando o domínio de aplicação da simulação é a modelagem de processos de negócio das empresas e da CS, surgem outros problemas nas ferramentas de simulação (Vernadat, 1999):

- Paradigmas de modelagem e linguagens do usuário: as ferramentas de modelagem em simulação são baseadas em eventos, processos e atividades. Os seus construtores são operações, filas, atividades, servidores, recursos, etc. Entretanto a modelagem de empresa envolve eventos, processos e objetos mais complexos, o que dificulta sua representação através dos construtores de simulação.
- Modelos monolíticos: a maioria das ferramentas de simulação trabalha com um modelo único que contém todos os aspectos da modelagem. Esta abordagem não funciona quando se considera a modelagem de empresas e CS.
- Fluxos de objetos: na simulação tradicional, os fluxos de material, informação e controle não são tratados de forma diferenciada.
- A maioria dos ambientes comerciais de simulação não é integrada as ferramentas de modelagem de empresa.

Há esforços para integrar alguns tipos de modelos funcionais e de informação aos modelos de simulação (Srinivasan e Jayaraman, 1999; Kellert *et al*, 1997; Weston, R.H. e Gilders, P.J., 1996). Entretanto eles empregam métodos orientados a entidade ou atividade como IDEF(ICAM, 1981) e SADT (Marca e McGowan, 1988), que não são suficientes para projetar integração de empresa e entre empresas. Com exceção da existência de tradutores de modelos IDEF/SADT para modelos de simulação, a simulação é geralmente realizada como uma atividade distinta, pouco integrada à modelagem/reengenharia dos processos de negócio do sistema estudado. Além

disso, como será visto mais tarde, as estruturas dos modelos de empresa diferem em muito dos modelos de simulação utilizados atualmente, tornando a tradução um processo praticamente impossível (Vernadat, 1999).

Os problemas citados anteriormente e o problema da necessidade de um especialista em simulação no projeto podem ser reduzidos construindo-se um ambiente de simulação que seja dedicado à aplicação em questão. No caso desenvolver ferramentas de simulação para processos de negócio e mais recentemente ferramentas de simulação para CS. Nesta abordagem os modelos de processos e o modelo de avaliação (modelo de simulação) se tornam apenas um modelo evitando traduções e a necessidade de se aprender duas linguagens de modelagem (Figura 2.6).

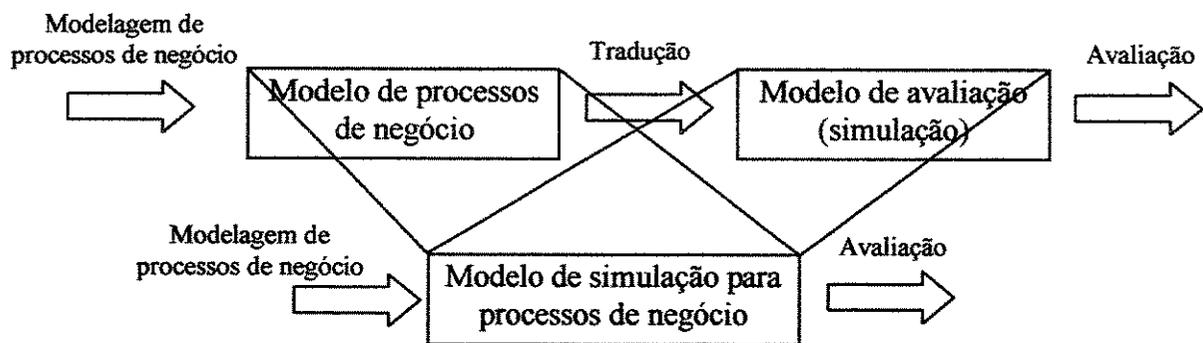


Figura 2.6 – Modelo de simulação para processos de negócio

A simulação se mostrou a ferramenta de análise que melhor se ajusta aos processos de negócio o que levou a conquistar um campo na simulação, a simulação de processos de negócio. A simulação de sistemas também pode ser utilizada para estudar a dinâmica de CS e com isso surgiram várias ferramentas de simulação para CS que será o assunto da próxima seção. O estudo da dinâmica da CS nesta tese utilizará abordagem de simulação.

## 2.8 Revisão das ferramentas de simulação em CS

Terzi e Cavalieri (2004) realizaram um estudo das ferramentas de simulação no contexto de CS. Os autores dividem o estudo em ferramentas de simulação locais e ferramentas de simulação distribuídas. Nesta seção o enfoque será na simulação distribuída de Cadeia de Suprimentos. Os

autores classificaram as ferramentas considerando a lógica de coordenação, o escopo e objetivos, paradigmas e tecnologia de simulação e estágio de desenvolvimento.

### 2.8.1 Lógica de coordenação

Um dos aspectos considerados pelos autores é a lógica de coordenação, representada por dois tipos básicos: descentralizada e centralizada (Figura 2.7). A descentralizada é baseada em um protocolo de distribuição que interconecta os modelos de simulação utilizando um mapeamento de mensagens que cada modelo participante envia continuamente para outros modelos atualizando seus estados de simulação. A lógica de coordenação centralizada estabelece um modelo central responsável pela interconexão dos modelos participantes. O modelo central é capaz de receber mensagens padronizadas dos outros modelos conectados a ele e envia as mensagens aos destinos permitindo conexão entre os modelos participantes.

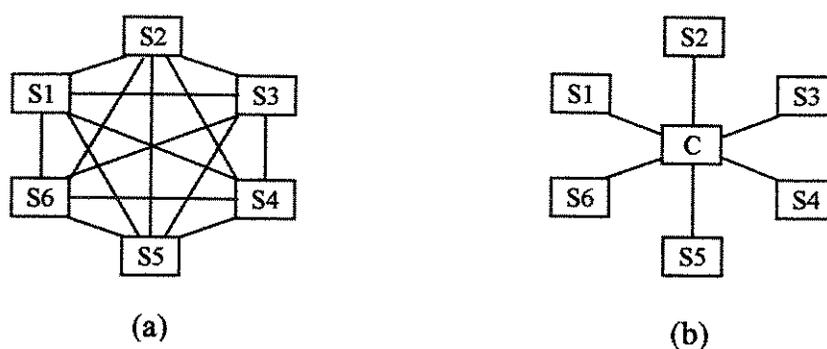


Figura 2.7 – Lógica de coordenação (a) descentralizada e (b) centralizada

Na pesquisa descrita no artigo conclui-se que a lógica de coordenação centralizada é a forma mais empregada na simulação distribuída. Há dois aspectos importantes para preferir a lógica centralizada: quando o número de módulos de simulação  $S_i$  cresce, e supondo que os módulos de simulação  $S_i$  conversam com todos os outros módulos  $S_j$  ( $i \neq j$ ), o número de conexões na coordenação descentralizada cresce de forma exponencial enquanto que na coordenação centralizada, esse número cresce linearmente. O outro aspecto é que a estrutura centralizada se adapta melhor a idéia de um elemento central de Gestão da CS com funções de coordenar as formas de cooperação entre as empresas (representadas por módulos de simulação  $S_i$ ).

### 2.8.2 Escopo e objetivos

Os autores consideram (Terzi e Cavalieri, 2004): objetivos principais, processos e morfologia. Dois objetivos principais são levados em consideração: projeto da rede da CS e suporte a decisão estratégica da CS. O projeto da rede da CS define as empresas participantes, as plantas e a configuração do fluxo de material. O projeto da rede pode ou não considerar aspectos geográficos como a localização das plantas, dos centros de distribuição e pontos de venda. O suporte a decisão estratégica da CS alternativas estratégicas como “Quick Response”, previsão e planejamento cooperativo, VMI, distribuição da informação, etc.

Em processos, os autores (Terzi e Cavalieri, 2004) investigaram quais processos são modelados e quais níveis de decisão são considerados na simulação (estratégico, tático e operacional). Dentre os processos tem-se: planejamento da demanda e de vendas, planejamento da produção, distribuição e capacidade no contexto da CS, planejamento de estoque, planejamento de distribuição e transporte e planejamento e programação da produção nas empresas de manufatura.

Em morfologia, investiga-se como a simulação considera a CS em termos de governança e o número de camadas (“tiers”). A governança estabelece as relações de poder entre as empresas: As empresas podem pertencer a uma única *holding*; a empresa que possui os ativos de produção pode estabelecer políticas de suprimentos e produção (exemplos: indústria automobilística e de aviação); a empresa que possui os ativos de distribuição estabelece as políticas de suprimento e distribuição (exemplo: redes de hipermercado); pequenas empresas podem se organizar em clusters aumentando seu poder com os fornecedores e canais de venda.

### 2.8.3 Paradigmas de simulação e tecnologia

Os paradigmas de simulação consideram (referências):

- A forma com que o relógio de simulação evolui. Essa forma pode ser: em **tempo discreto** ou em **tempo contínuo**.

- A forma com que o estado do sistema evolui. Essa forma pode ser: **evento discreto** ou **evento contínuo**.
- A estrutura do modelo de simulação. Pode ser: **monolítico** ou **distribuído**.
- A estrutura da simulação. Pode ser: **local** ou **distribuída**.

A evolução do relógio de simulação em tempo contínuo significa que os eventos que ocorrem no sistema durante a simulação podem se encontrar em qualquer posição na linha do tempo no intervalo entre o início da simulação e seu fim. A evolução em tempo discreto significa que os eventos devem ocorrer em intervalos específicos. Neste caso a simulação evolui em segundos, minutos, horas, dias, semanas, etc. A precisão do intervalo de tempo depende do sistema em questão. A maioria das ferramentas computacionais de simulação atuais evolui em tempo contínuo.

A evolução do estado do sistema em tempo contínuo significa que as variáveis que representam o estado do sistema podem ser descritas por funções contínuas. Em geral, essa forma é adotada em simuladores que modelam o sistema físico através de equações. Como exemplo, pode-se citar simuladores de vôos, de sistemas elétricos, de sistemas hidrográficos e de sistemas biológicos.

A evolução do estado do sistema em tempo discreto significa que as variáveis que representam o estado do sistema assumem valores discretos. Em geral, essa forma é adotada em simuladores de sistemas produtivos e serviços (hospitais, bancos, supermercados, etc.). Essa forma é adotada pela maioria das ferramentas comerciais atuais.

Um modelo de simulação monolítico contém toda a descrição do sistema em um único modelo de simulação. Neste caso, a simulação de todo o sistema é representada pela simulação de um único modelo. Um modelo de simulação distribuído é composto por vários modelos de simulação que interagem entre si. Essa composição de modelos e suas interações representam o sistema em estudo.

A estrutura da simulação local significa que o ambiente computacional que executa a simulação encontra-se em um único computador, não havendo interações com outros computadores. A estrutura de simulação distribuída significa que há vários ambientes computacionais em diferentes computadores que dão suporte a execução da simulação e portanto interagem entre si.

As principais ferramentas comerciais de simulação em tempo contínuo, orientadas por eventos discretos com modelos monolíticos são: Arena (<http://www.arenasimulation.com>), AUTOMOD (<http://www.autosim.com>), PROMODEL (<http://www.promodel.com>) e A-SIM (desenvolvido no CenPRA – Centro de Pesquisas Renato Archer). As ferramentas com as mesmas características citadas mas com enfoque em CS são: IBM Supply Chain Analyser (Bagchi *et al*, 1998), SCGuru (<http://www.promodel.com>), LOCOMOTIVE (Hirsch *et al*, 1998), Supply Solver (Schunk, 2000).

As principais ferramentas disponíveis para simulação distribuída com lógica de coordenação descentralizada são apresentadas por Gan *et al* (2000) e Sudra, Taylor e Janahan (2000). As propostas com lógica de coordenação centralizada são apresentadas por Strasburger *et al* (1998), Brun *et al*, (2002) e, Ziegler e Kim (1999).

#### **2.8.4 Análise da pesquisa**

A pesquisa realizada por Terzi e Cavalieri (2004) classificou as ferramentas em 4 estágios de desenvolvimento: nível conceitual, descrição do software, descrição da experiência e atividade de teste. No nível conceitual, as publicações propõem e descrevem novas metodologias de simulação em CS sem aparentemente ter implementação e testes do software. No estágio descrição do software, as publicações descrevem características de ambientes de desenvolvimento de simulação em CS. No estágio descrição da experiência, as publicações apresentam aplicações reais utilizando simulação de CS. No estágio de atividades de teste, as publicações verificam a portabilidade tecnológica das ferramentas de simulação.

A pesquisa realizada por Terzi e Cavalieri (2004) mostra que o uso de ferramentas de simulação distribuída ainda não se tornou uma abordagem comumente aplicada. Além disso, há

ainda uma necessidade de maior desenvolvimento dessas ferramentas para lidar com a complexidade da tecnologia de informação e na facilidade de uso por parte dos usuários.

A maioria das propostas estudadas não apresenta uma estrutura para definir o projeto da CS, não definem claramente quais seus papéis na decisão estratégica, não definem os processos de negócio que contemplam (planejamento de demanda e vendas, planejamento de estoque, planejamento de distribuição e transporte, planejamento e programação da produção e planejamento da CS). Dos paradigmas de simulação, as propostas estão divididas em lógica de coordenação centralizada e lógica de coordenação descentralizada com uma leve tendência para a lógica centralizada.

### **2.8.5 Proposta de ferramenta de simulação distribuída para CS**

Uma proposta interessante para apoio à modelagem da dinâmica da Cadeia de Suprimentos é apresentada em Swaminathan (1998). Por este enfoque os modelos da cadeia são compostos por componentes de software que representam agentes da cadeia (distribuidores, manufaturas e transporte) e elementos de controle destes agentes (como política de estoque e os protocolos de interação, tipos de mensagem), que ficam disponíveis em uma biblioteca. A partir desta biblioteca o modelo é construído. Este enfoque privilegia a relação de negócios entre empresas considerando de maneira superficial a possibilidade de análise de uma empresa como elemento independente em resposta à solicitação externa.

Fox *et al* (2000) apresenta uma proposta que vê a Cadeia de Suprimentos como uma composição de agentes de software inteligentes responsáveis por uma ou mais atividades interagindo entre si para o planejamento e execução de suas responsabilidades. O artigo propõe uma arquitetura de software orientada a agentes que permite acoplar componentes de software que modelem as atividades da cadeia e apoiem as atividades de gestão e execução.

Bagchi *et al* (1998) apresenta uma ferramenta de simulação de Cadeia de Suprimentos desenvolvida pela IBM (Supply Chain Analyzer). Esta ferramenta considera localização das empresas, políticas de reposição, produção e transporte. Entretanto é uma ferramenta que não tem

recursos para ambientes distribuídos e é baseada na ferramenta SIMPROCESS (Swegles, 1997) cujas especificações são proprietárias.

Zeigler e Kim (1999) apresentam um ambiente de modelagem e simulação para CS utilizando a ferramenta Supply Chain Analyzer (SCA) que oferece dois tipos de modelos de processos: os modelos que representam as empresas da CS (fábrica, distribuição, cliente, etc.) e os modelos que realizam os processos nas empresas (planejamento de estoque, previsão de demanda, suprimentos). Este ambiente é executado em uma infra-estrutura distribuída suportada pela arquitetura CORBA. Acoplada a essa arquitetura, há um ambiente de modelagem e simulação orientado a eventos discretos desenvolvido por Zeigler.

Em Gan *et al* (2000), compara duas abordagens tecnológicas para simulação distribuída. Uma é baseada na arquitetura HLA (Kuhl, Weatherly e Dahmann, 1999) e a outra é baseada em um protocolo de simulação implementada usando a interface MPI (Gropp, Lusk, Skjellum, 1994). O autor conclui que a arquitetura HLA permite maior interoperabilidade com mais facilidade no **encapsulamento** dos modelos comparado a interface MPI. O encapsulamento do modelo ocorre quando se utiliza um modelo de simulação rodando na sua própria ferramenta proprietária que deve possuir uma interface com o sistema de comunicação que troca mensagens entre simulações. Neste caso, a simulação distribuída conhece as mensagens entre simulações, mas desconhece a linguagem e a ferramenta utilizada por cada simulação (a ferramenta e o modelo estão encapsulados pela interface de comunicação).

Sudra, Taylor e Janahan (2000) apresentam uma infraestrutura de simulação distribuída chamada GRID (*Generic Runtime Infrastructure for Distributed Simulation*) que suporta vários tipos de simulação. Sua função principal é coordenar atividades de componentes distribuídos em diversas plataformas (computadores e sistemas operacionais) que encapsulam modelos de simulação. É uma implementação mais simples do que a plataforma HLA.

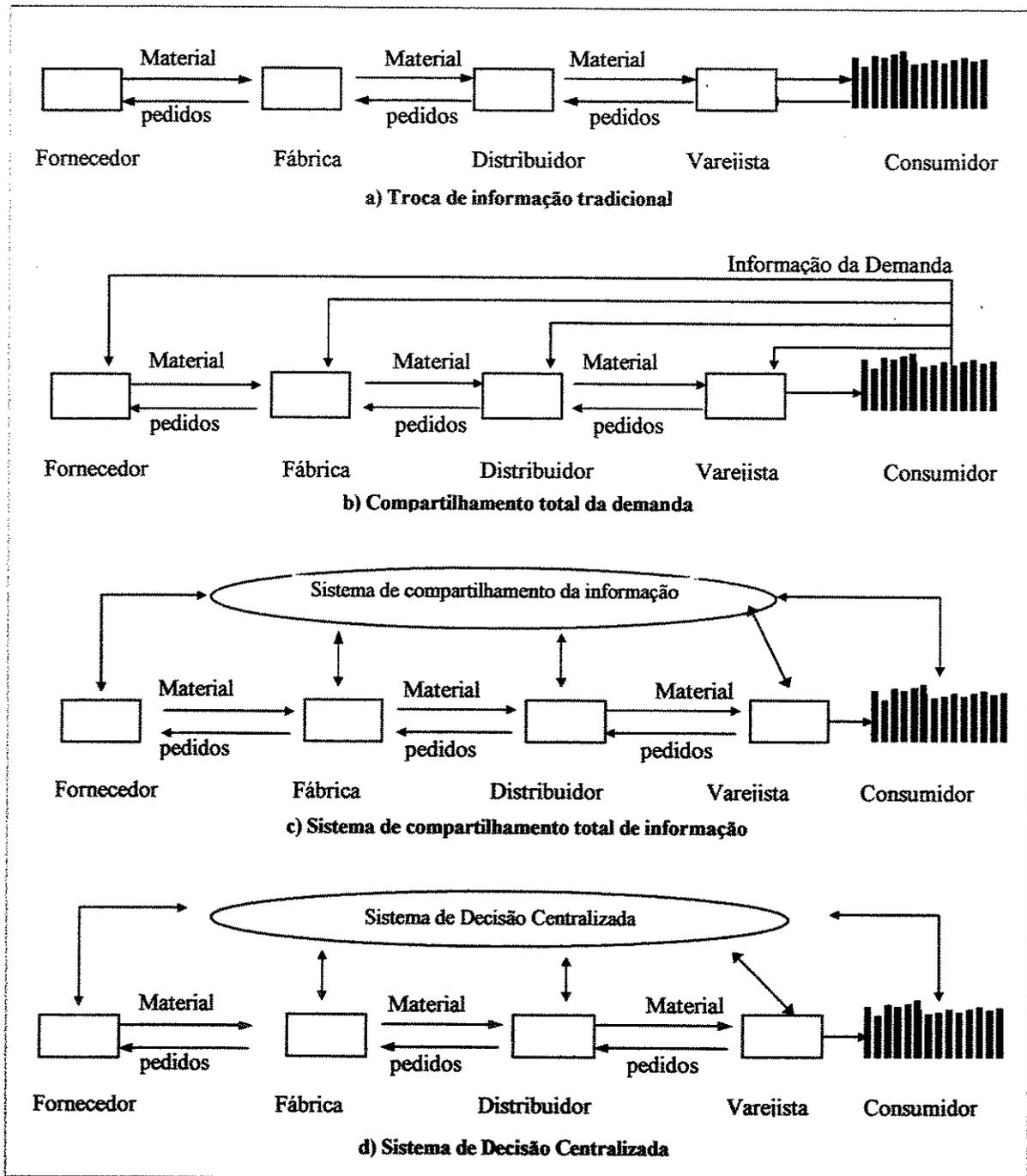
As propostas de simulação citadas acima, exceto Swaminathan, Fox e Bagchi, procuram criar recursos de comunicação para troca de mensagens entre simulações para CS e acoplar esses recursos às ferramentas proprietárias de simulação.

O enfoque para desenvolvimento do ambiente de simulação desta tese não pretende criar apenas uma plataforma para integrar vários tipos de simulações. Esta tese estende o trabalho de Swaminathan (1998) propondo um ambiente para modelagem e simulação utilizando o conceito de agentes de software e além disso uma estrutura em dois níveis, o nível de empresa e o nível de CS, com o propósito de que essa tecnologia permita um grupo de empresas parceiras construir um modelo de simulação e conduzir um processo de negócio. O primeiro nível permite a cada empresa criar e executar o seu próprio modelo, mantendo-o encapsulado dentro da corporação e trocar somente as informações necessárias com o nível de negócio. O segundo nível coordena a integração dos modelos das empresas de acordo com uma estrutura definida para a CS.

Com esta estrutura em dois níveis, pretende-se modelar a CS considerando diferentes níveis de compartilhamento da informação (Figura 2.8) necessários para implementar diferentes formas de gestão apresentadas neste capítulo.

A Figura 2.8.a) considera que somente o varejista tenha acesso à informação da demanda do consumidor. Pelo enfoque tradicional de troca de informação, Figura 2.8.a) a gestão da produção é realizada da seguinte forma: Cada empresa estabelece sua política de produção baseada na informação da demanda de seu cliente (Lee *et al*, 1997). Assim a informação da demanda passa de empresa a empresa até atingir o fornecedor de matéria prima. Neste processo de transferência de informação pequenas variações na demanda do consumidor final levam a grandes variações nas colocações de pedidos às empresas situadas à montante da cadeia. Esta variação, que pode ser suavizada pelo aumento do nível de estoque, com conseqüente aumento do custo operacional (Towill, 1992), é conhecida como efeito chicote e contribui para a diminuição da competitividade do produto final, por conseguinte, competitividade da CS (Forrester, 1961).

Na Figura 2.8.b) a informação da demanda do consumidor é distribuída para todos os elementos parceiros que utilizam esta informação e a informação dos pedidos de seu cliente imediato para implementar sua política de produção e pedidos.



**Figura 2.8. Formas de compartilhamento de informação**

Já na Figura 2.8.c) cada empresa recebe informações de todos os componentes do sistema, havendo, portanto, um alto grau de compartilhamento da informação. Para estabelecer sua produção e seus pedidos cada empresa, baseada em suas regras internas, processa as informações de clientes e fornecedores. Esta estrutura permite implementar o planejamento federativo

(OLIVER *et al*, 2001) onde a coordenação ocorre pela negociação entre empresas na busca o alinhamento dos objetivos do negócio que estabeleça tendências e padrões ao longo do tempo no lugar de soluções pontuais. Os parceiros podem negociar nível de serviço, *leadtime* de reposição, preços, contrato de suprimento, lotes mínimos, com quem e com que frequência compartilhar informações.

A Figura 2.8.d) apresenta o sistema centralizado de decisão, que adota uma hierarquia em dois níveis. O *nível cooperativo* das empresas, onde o parceiro, que exerce a governança, gerencia o processo de produção estabelecendo a seus parceiros o quanto produzir em cada período de tempo e, se for o caso, o quanto armazenar, ou seja, estabelecendo metas a serem atingidas por cada empresa parceira. O segundo nível de planejamento, o *nível de empresa*, cada empresa assume o objetivo de cumprir as metas estabelecidas pelo nível cooperativo.

A função mais importante do Sistema de Decisão Centralizada é a coordenação do fluxo de produção entre os parceiros, no sentido de evitar estoques desnecessários e produção desbalanceada. Ela considera três aspectos: espaço das empresas parceiras e capacidade produtiva que devem ser balanceados para satisfazer uma demanda variável no tempo. Este sistema se aplica o Planejamento Cooperativo proposto por Carvalho e Campos (1997).

A Tabela 2.1 mostra a relação entre as formas de gestão e os sistemas de informação e decisão do simulador.

Gestão isolada das empresas	Troca de informação tradicional
Um passo em direção ao Planejamento Federativo	Compartilhamento total da demanda
Planejamento Federativo	Sistema de compartilhamento total da informação
Planejamento Cooperativo	Sistema de Decisão Centralizada

## Capítulo 3

### **Simulação em Cadeias de Suprimentos**

No capítulo 2 foi apresentado um estudo sobre ferramentas de simulação distribuída para CS e discutidos vários aspectos que caracterizam uma estrutura de simulação. Este capítulo apresenta proposta de um ambiente de simulação para análise de CS.

Da mesma forma que uma CS é constituída de várias empresas, o modelo de simulação distribuído da CS é composto por vários modelos de simulação das empresas, onde cada um destes modelos é constituído de (Towill, 1996):

- Uma demanda percebida por produto: pode ser pedidos firmes ou previsão de vendas;
- Um processo de produção ou agregação de valor na CS;
- Informação do estado corrente das operações;
- Perturbação nas operações e recursos da empresa (pessoas, máquinas e materiais);
- Regras de decisão para processamento de pedido e priorização de pedidos, clientes ou produtos, planos de produção, gestão do estoque (produtos finais) e materiais (matéria-prima e componentes). Utilizam informação disponível que depende da forma de cooperação presente e do atraso de transmissão da informação;
- Atraso de transmissão de informação e material: pode ser interna à empresa ou entre empresas.

A demanda percebida pela CS resulta de modelos de demanda dos clientes finais e são constituídos de:

- Gerador de demanda: gera a demanda dos clientes com características determinadas na modelagem como variação, sazonalidade e composição de produtos.
- Avaliador do nível de atendimento: avalia o nível de serviço dos pedidos, ou seja, a taxa percentual dos pedidos atendidos no prazo.

Portanto, o modelo de simulação distribuído da CS é formado pelo conjunto dos modelos de simulação das empresas que participam da CS mais o modelo de como essas empresas se relacionam. A simulação da CS é formada pela composição das simulações individuais dos modelos de empresa e as suas interações que ocorrerem durante a simulação. Para dar suporte a essa simulação distribuída, são necessários um administrador de rede de simulação e um ambiente de simulação. Estes dois elementos serão discutidos nas seções a seguir.

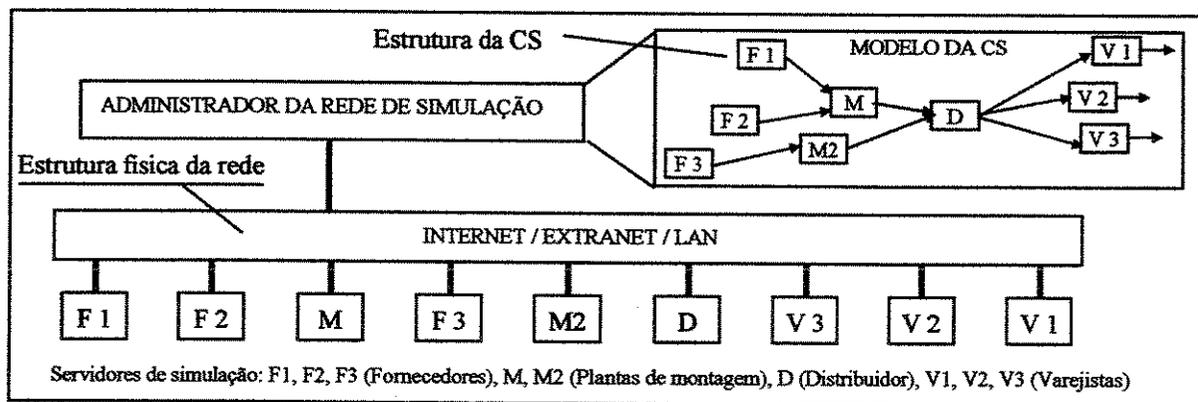
### **3.1 Administrador de rede de simulação**

Um dos objetivos da simulação distribuída para CS é permitir que cada empresa seja responsável pela construção de seu modelo de simulação, preservando assim a confidencialidade do modelo. Além da responsabilidade e confidencialidade, outro aspecto importante é o custo do desenvolvimento do modelo. Se uma empresa quer analisar cenários de simulação, ela não tem que arcar com os custos de desenvolvimento dos modelos do fornecedor e do cliente.

Após terminar seu modelo a empresa deve instalá-lo em um computador, chamado servidor da simulação, aberto a computadores de outras empresas. Este modelo deve ficar em modo de espera, ou seja, estar disponível para interagir com outros modelos de outras empresas quando houver uma solicitação de simulação. Essa solicitação pode partir de qualquer empresa da CS autorizada a tal. É considerado que cada empresa participante tenha seu servidor de simulação e que os vários servidores podem comunicar entre si, formando uma rede que será chamada rede de simulação. Para controle desta rede deve haver um administrador da rede com as seguintes funções:

- Cadastrar os participantes da simulação: empresas podem entrar e sair da rede de simulação.
- Controlar o acesso: pode-se restringir que as solicitações de simulação ocorram sempre de computadores destinados a essa atividade e por pessoas devidamente identificadas.
- Estabelecer a estrutura da CS (Figura 3.1): no cadastro, cada empresa define seu papel na CS, de quem compra, para quem vende e com quais materiais trabalha (matéria-prima, componente e produto).
- Estabelecer a estrutura física da rede: no cadastro, cada empresa especifica o endereço de rede do computador no qual disponibiliza o modelo.
- Manter integridade dos modelos e das simulações: os modelos de simulação não podem ser alterados enquanto houver uma simulação que utiliza aquele modelo.
- Estabelecer regras de negócio: essas regras definem como as empresas trocam material e informação e que tipo de informação, além de estabelecer medidas para avaliar o desempenho das empresas e da CS.

O administrador de rede de simulação é uma ferramenta que independe da forma de gestão utilizada pela CS. A responsabilidade do administrador pode ser da empresa que possui o papel preponderante na CS ou por uma empresa terceira responsável pelos serviços de “data center”. De fato a localização física do administrador de rede de simulação não é importante. O importante é o acesso seguro das informações administradas. Os servidores de simulação podem estar conectados ao administrador de rede de simulação por diferentes tipos de rede (Figura 3.1): (Extranet, Internet ou LAN).



**Figura 3.1** – Administrador de rede de simulação para CS

Como visto no capítulo 2, a otimização é também uma ferramenta de análise poderosa para suporte a decisão em CS. Desta forma, o administrador de rede de simulação pode ser utilizado para compartilhar informação e modelos de otimização adotados pelas empresas da CS. Neste caso, este ambiente distribuído se tornaria um administrador de modelos de suporte a decisão. Entretanto nesta tese o foco é em simulação e portanto o ambiente será sempre mencionado como administrador de rede de simulação.

O administrador de rede de simulação tem um papel estrutural na simulação da CS, mas o ambiente de simulação é o responsável pela modelagem e execução da simulação, assunto da próxima seção.

### **3.2 Ambiente de Simulação de Cadeias de Suprimento (ASCS)**

O ambiente ASCS considera a dinâmica da simulação a tempos discretos. Além disso, há dois outros aspectos importantes: a lógica de coordenação da simulação e a representação das regras de negócio das empresas e da CS.

#### **3.2.1 Dinâmica de simulação em Tempo Discreto**

A dinâmica de simulação deve considerar o fluxo de material e o fluxo de informação sob o ponto de vista de negócio entre empresas. Este é um ponto muito importante para estabelecer os requisitos do ambiente de simulação e definir sua implementação que será apresentada no próximo capítulo. A Figura 3.2 apresenta a subcadeia montagem tomada como referência para descrever como ocorre o processo de negócio entre empresas.

A troca de eventos em uma cadeia produtiva (envio de produtos, solicitação de um pedido, confirmação de atendimento a pedido, etc.) ocorre em intervalo de tempo *regular e discreto*, por exemplo, em base diária, e é gerenciada por regras de negócio estabelecidas a priori pelas empresas. No modelo de simulação da cadeia, as empresas fornecedoras enviam eventos *entrega de produtos* enquanto empresas compradoras enviam eventos *pedidos* e empresas situadas no meio da cadeia, assumem o papel, ao mesmo tempo, de *fornecedoras e compradoras*. Estes eventos, que podem ocorrer ao longo de um intervalo de tempo, são acumulados e armazenados

para se constituírem em dado de entrada para o planejamento das operações a serem realizadas nos próximos intervalos de tempo.

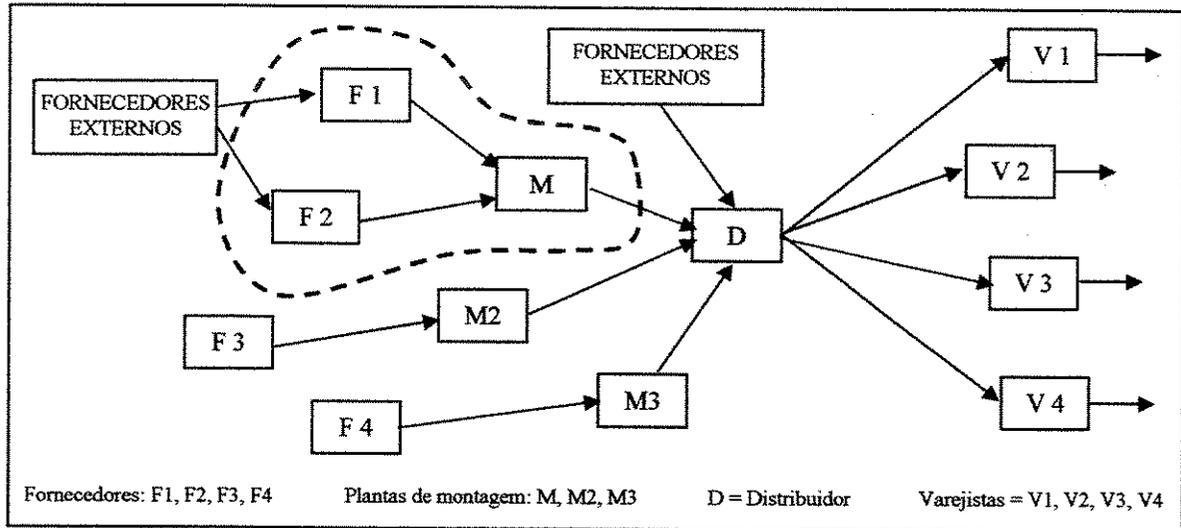


Figura 3.2 – Subcadeia de montagem

Estabelecida esta convenção, para a gestão de negócio ao nível de CS, os fluxos de informação e material, que ocorrem dentro de um intervalo de tempo no sistema real, são representados em tempo discreto pelo modelo de simulação, como mostrado na Figura 3.3. Por exemplo, as produções do fornecedor 1 e fornecedor 2, durante o intervalo de tempo  $T = 1$ , são enviadas, ao final do intervalo de tempo  $T = 1$ , à empresa de montagem para serem montadas no intervalo  $T=2$  ou posterior (tomando o tempo de transporte igual a zero). Durante o  $T = 1$  a empresa montadora planeja suas necessidades futuras, baseando-se nos pedidos de seus consumidores (distribuidores), e ao final do tempo  $T = 1$  envia pedidos às empresas fornecedoras F1 e F2. Ou seja, é considerado que a troca de informação e material em um dado intervalo de tempo de um sistema real, só produz efeito no intervalo seguinte.

Assim, o módulo de simulação pode considerar que as decisões sobre os fluxos de material e informação entre empresas ocorrem em intervalo regular de tempo, ou seja, o tempo de simulação entre empresas avança em números inteiros (1, 2, 3, 4, ...horas, dias, semanas, etc.). Este caso configura-se uma simulação a tempo discreto. Este entendimento da forma de negócio entre empresas se constitui grande avanço com relação aos modelos tradicionais de simulação.

Com isto a gestão da produção entre empresas pode ser representada por um modelo de simulação a tempo discreto, enquanto que as atividades de planejamento e produção que ocorrem dentro da empresa e podem ser representadas por eventos discretos.

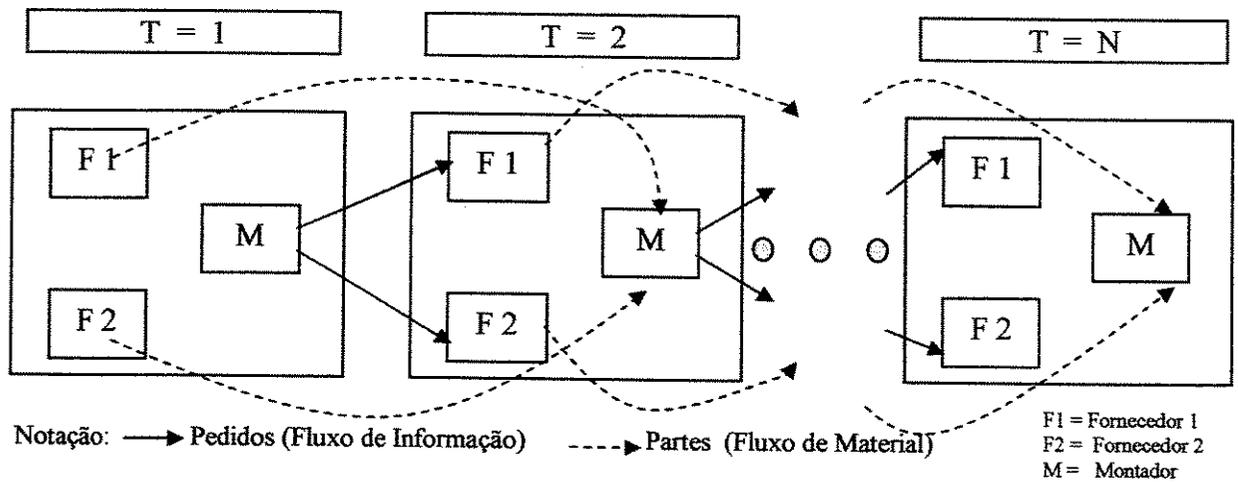


Figura 3.3 – Evolução no tempo de fluxos de pedidos e de material.

A seguir serão estudadas as vantagens introduzidas pela adoção de uma simulação a tempos discretos para modelos de cadeia produtiva.

### 3.2.2 Formas de coordenação dos modelos de simulação

Um dos aspectos fundamentais em simulação de sistemas é registrar os momentos de ocorrência dos eventos. O tempo da ocorrência de um evento é registrado por um relógio de simulação. Esse relógio não é um relógio que registra o tempo real, mas um relógio que registra o avanço do tempo na simulação. Na seção anterior foi discutida que o relógio de simulação da CS avança em intervalos discretos. Entretanto, como o modelo da CS é composto por vários modelos de simulação de empresas, há a necessidade de coordenar todos os relógios.

Quando um modelo de simulação envia uma mensagem para outro modelo de simulação, esta mensagem parte em um determinado tempo no relógio do modelo de simulação de origem. Quando esta mensagem chega na simulação de destino, devido ao tempo de transmissão, a mensagem pode chegar atrasada, ou seja, o relógio do modelo de simulação de destino pode estar à frente no tempo da mensagem recebida. Como a mensagem recebida pode afetar a simulação,

todos aqueles períodos que ocorreram entre o tempo de percurso da mensagem devem ser cancelados. Assim deve-se voltar no tempo de simulação e simular novamente os n períodos entre o tempo do envio e recebimento da mensagem (Figura 3.4). Além disso, todas as simulações que receberam mensagens da Simulação 2 nestes n períodos, também terão que ser refeitas.

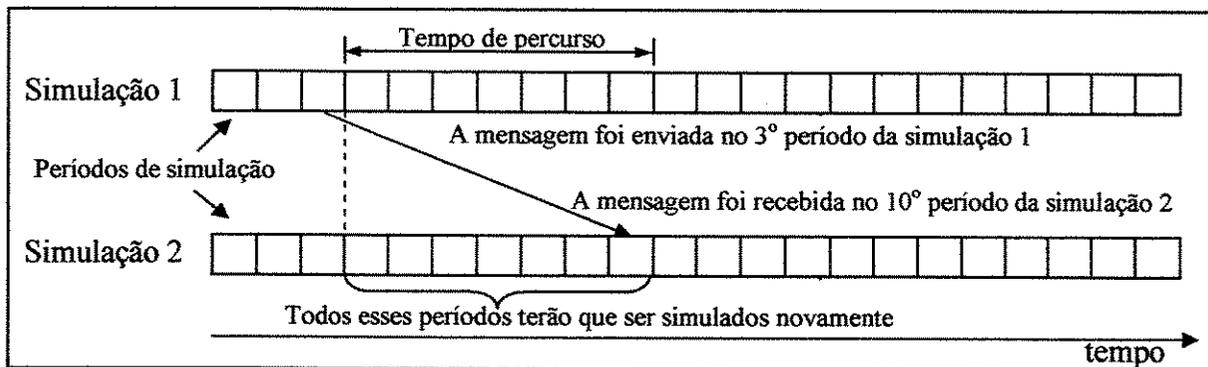


Figura 3.4– Troca de mensagens entre simulações

Existem várias estratégias de coordenação dos relógios de simulação para contornar esse problema. Elas podem ser divididas em descentralizada e centralizada.

Na **coordenação descentralizada do relógio de simulação** (Figura 3.5), as simulações dos modelos de empresa interagem entre si (nem todas as conexões da figura precisam existir) sem que haja um elemento principal com o papel de coordenar os relógios.

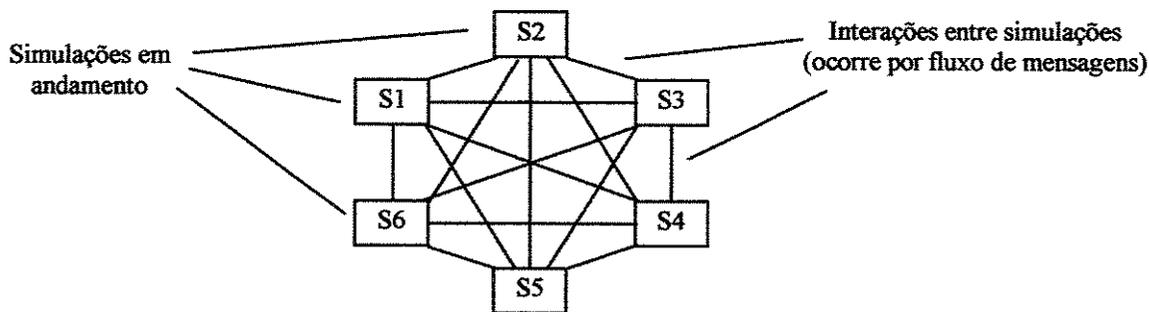


Figura 3.5 – Lógica de coordenação descentralizada

Nesse cenário, uma estratégia é necessária para coordenar os relógios de simulação. Vários autores (Lamport, 1978; Ceroni, 1999; Seliger, 1999; Chen *et al*, 1999) apresentam propostas para coordenar os relógios de simulação. Entretanto, a simulação distribuída de CS apresentada nesta tese simplifica enormemente a coordenação dos relógios. Primeiro porque a configuração da CS é rígida durante a simulação. Cada empresa tem seus clientes e fornecedores e portanto tem um número fixo de mensagens de pedido e de material que deve receber a cada período; segundo, os tempos de ocorrência dos eventos (que inclui recebimento e envio de mensagens) seguem números discretos. Portanto, cada empresa recebe as mensagens do período, executa seus processos e envia mensagens do período e somente depois dessas ocorrências é que avança o relógio de simulação.

Na **coordenação centralizada do relógio de simulação** (Figura 3.6), existe um *elemento central* que interage constantemente com as simulações dos modelos de empresa sincronizando o relógio de simulação.

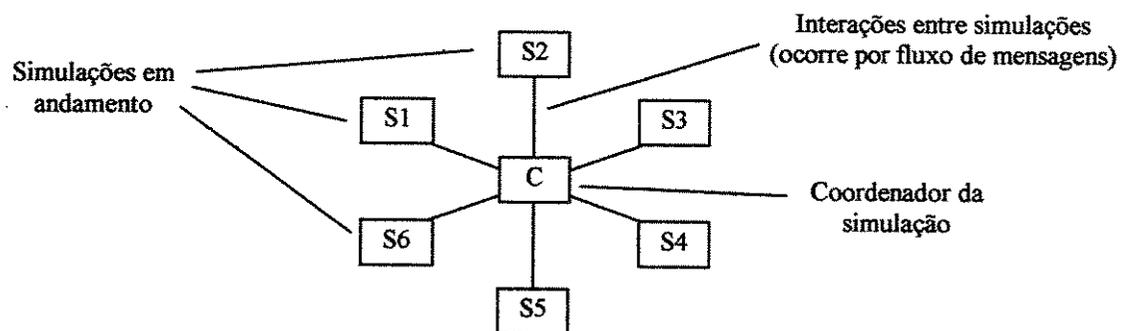


Figura 3.6 – Lógica de coordenação centralizada

Se a lógica de coordenação é centralizada, a sincronização dos relógios de simulação é realizada unicamente pelo elemento central, o coordenador da simulação, simplificando a coordenação. Em um primeiro instante, todas as mensagens fluem entre simulações dos modelos das empresas e o coordenador da simulação, exatamente como os arcos da Figura 3.6. Além disso, o coordenador tem acesso a informação da estrutura da CS e portanto controla quantas mensagens de material e informação deve receber de cada simulação de empresa em um determinado período de simulação. Usando o exemplo da Figura 3.3, o coordenador da simulação já tem determinado que deve receber, em cada período, duas mensagens de fluxo de material com destino a empresa M (Montadora) e que deve receber também, duas mensagens de fluxo de

pedido com origem na empresa M e destinos F1 e F2. Essas mensagens são enviadas mesmo que as quantidades contidas nelas sejam nulas. Desta forma, o coordenador da simulação verifica se as mensagens de todos os membros participantes chegaram e sob esta condição avança o relógio da simulação.

Como as decisões sobre os fluxos de material e informação ocorrem em tempo discreto, as mensagens que saem de uma simulação de empresa podem alcançar as outras simulações no mesmo período ou nos períodos seguintes. No caso existem duas situações para o coordenador:

- O coordenador recebe uma mensagem de simulação de uma empresa que deve chegar à outra simulação no mesmo período. Neste caso o coordenador da simulação direciona a mensagem ao seu destino antes de avançar o relógio das simulações. Na Figura 3.7(a), por exemplo, a empresa M envia um pedido a empresa F1 que chega no mesmo período de simulação, ou seja, o *leadtime* do pedido é igual a zero.
- O coordenador recebe uma mensagem de simulação de uma empresa que deve chegar à outra simulação em  $t$  unidades de tempo. Neste caso o coordenador da simulação, armazena a mensagem e a envia quando o relógio de simulação alcançar o tempo apropriado. Na Figura 3.7(b), por exemplo, empresa M envia um pedido à empresa F1 que chega ao destino  $j$  períodos seguintes ( $t = 1, 2, \dots, N$ ), ou seja, o *leadtime* do pedido é igual a  $t$ .

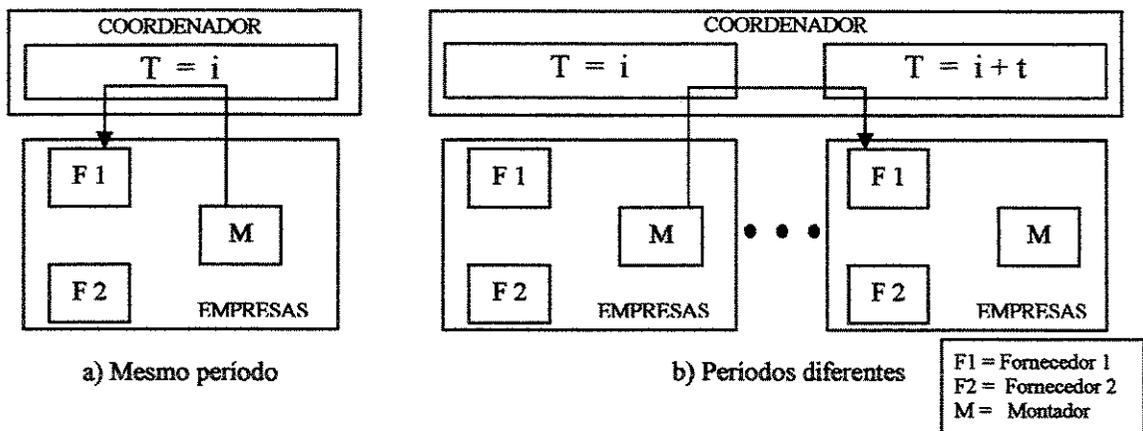
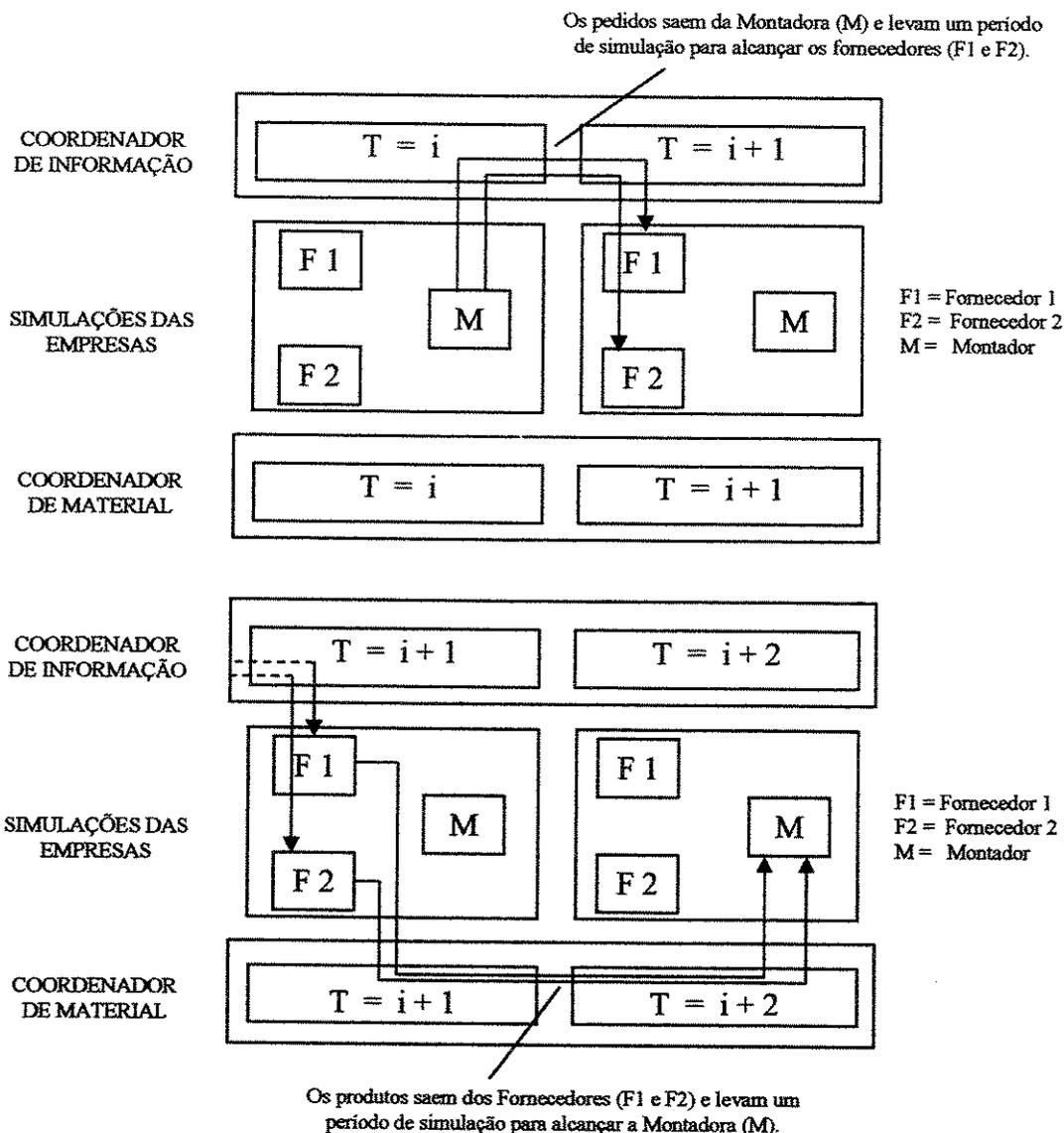


Figura 3.7 – Fluxo de mensagens na simulação.

No sistema real, o material e a informação fluem separadamente. Para melhor representar este aspecto, pode-se pensar em uma simulação com dois coordenadores: um de informação e outro de material. Neste caso, o fluxo de informação flui somente entre as simulações de empresa e o coordenador de informação. O fluxo de material flui entre as simulações de empresa e o coordenador de material. Desta forma, seguindo o exemplo da Figura 3.3, e supondo que o atraso do envio de pedidos seja de um período e o atraso de envio do material seja também de um período, tem-se na Figura 3.8, um exemplo de coordenação separada de material e informação:



**Figura 3.8** – Fluxo de material e informação coordenados separadamente

### 3.3 Simulação de CS em 2 níveis

As associações das lógicas de coordenação de simulação com os enfoques para gestão resultam nas possibilidades apresentadas na Tabela 3.1. Em (I) a lógica de simulação é descentralizada e a forma de gestão é descentralizada podendo ter troca de informação tradicional, compartilhamento total da informação da demanda ou o sistema de informação distribuída. Em (II) a lógica da simulação é centralizada podendo ser adotada qualquer das três primeiras formas. Finalmente em (III) é possível qualquer tipo de compartilhamento de informação e as formas de gestão discutidas no capítulo 2.

Esta tese assume a lógica de simulação centralizada como o enfoque mais adequado para projeto e planejamento de CS por possibilitar a experimentação de todas as formas de gestão. Além disso, a simulação da CS é dividida em 2 níveis hierárquicos (Figura 3.9). No nível superior da hierarquia, o nível da CS, os processos de negócio ocorrem entre as empresas representados por um modelo de simulação a tempo discreto que considera regras de negócio entre empresas e tem o papel central na coordenação da simulação distribuída.

Tabela 3.1 Gestão e lógica de simulação

Gestão	Lógica da Simulação	
	Descentralizada	Centralizada
Descentralizada	I	II
Centralizada		III

No segundo nível, o nível de empresa, cada empresa é representada por um modelo a eventos discretos. Este é o procedimento comum para análise do comportamento de uma empresa onde pode ser utilizado qualquer software comercial de simulação. Quando o foco principal está em estudar a dinâmica da CS, pode-se representar o comportamento dos macro-processos de cada empresa por uma regra de negócio que define a forma de processamento de pedido, produção e distribuição. O comportamento da empresa pode também estar associado a funções de probabilidade que gerem sua capacidade produtiva e seu tempo de processamento de pedidos. Nesta tese, a simulação de empresa ocorre em intervalo de tempo igual a um período. Ou seja, a simulação recebe mensagens de entrada no período  $i$ , executa regras de negócios e gera

mensagens de saída que saem no final do período  $i$  de simulação. A mudança do relógio para  $i+1$  é estabelecida pelo coordenador como já foi descrito.

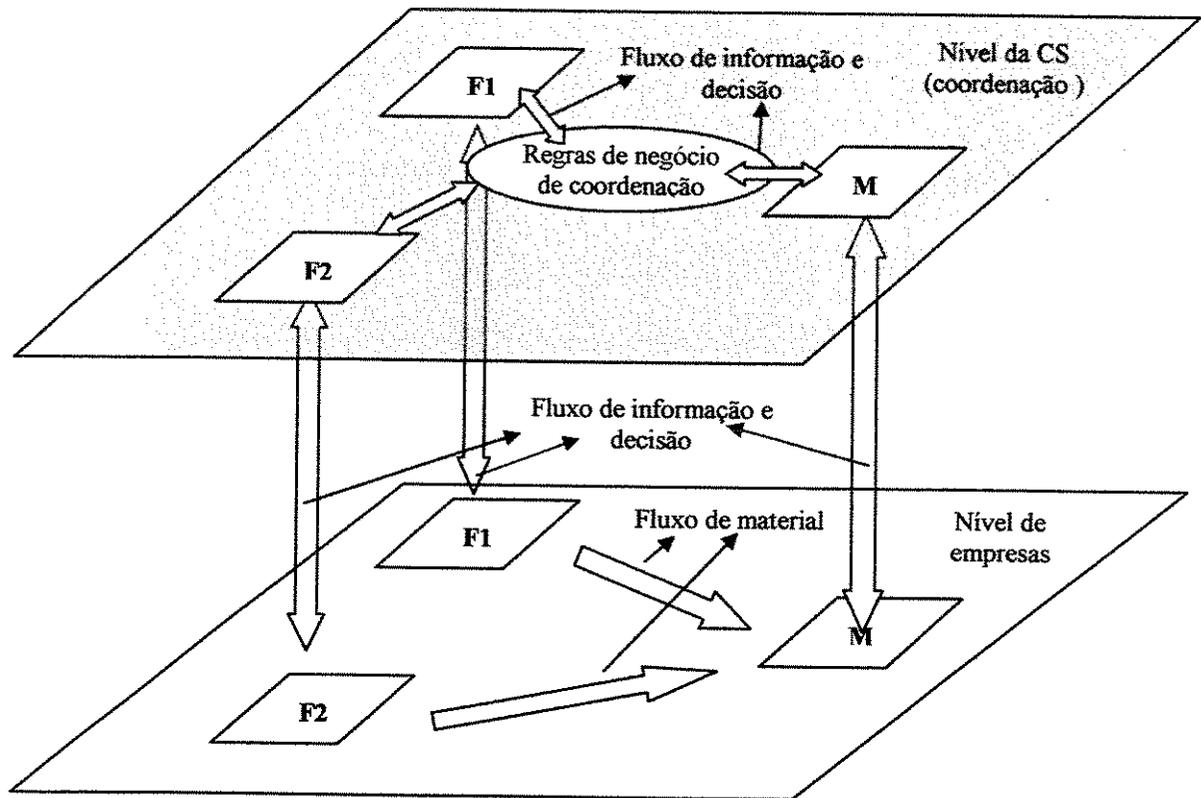


Figura 3.9 – Modelo em dois níveis para CS

A integração dos dois níveis ocorre da seguinte forma: cada empresa desenvolve seu modelo e processa sua simulação dentro do intervalo de tempo  $[t, (t+1))$ . Ao final deste intervalo envia seu estado final (mensagem de simulação da empresa) para o primeiro nível, o nível de negócio entre as empresas. O coordenador das relações de negócio entre empresas recebe estes dados das empresas parceiras, e os processa, segundo regras previamente acertadas pelos participantes, estabelecendo metas para o próximo período a serem cumpridas por cada uma das empresas (Figura 3.10).

Estas metas são o ponto de partida para a simulação da próxima janela de tempo  $[(t+1), (t+2))$  de simulação local, que, ao final, alimenta o nível de negócio da empresa e assim sucessivamente. Neste contexto, a simulação do processo de negócio entre empresas ocorre com

o relógio da simulação avançando em uma seqüência de valores discretos (0, 1, 2, ..t, ...T). Em resumo, é utilizada a simulação a tempo discreto no nível de CS.

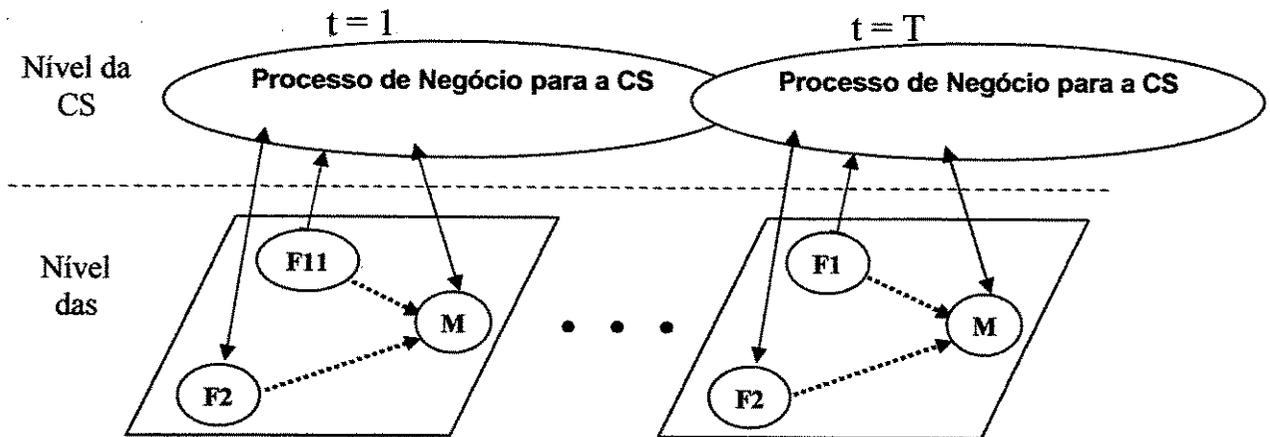


Figura 3.10 – Modelo para cadeia em dois níveis

Assumindo as conclusões acima, cada empresa é considerada um agente autônomo que interage por meio de mensagens com o nível de CS. Este nível, ao receber as mensagens de todos os outros parceiros, atua como o coordenador do fluxo de material e informação de toda a CS. A coordenação pode ser exercida como uma relação causa efeito ou por ações mais elaboradas, orientadas por regras de negócio, que representam formas de cooperação entre as empresas. Várias regras de negócio podem ser implementadas, permitindo que as empresas possam ter visão parcial ou total do que ocorre na CS.

A simulação acima sugerida é hierárquica e ocorre de forma distribuída, onde cada empresa disponibiliza, em seu ambiente computacional, a todos os parceiros, um modelo de simulação para representá-la. A decomposição espacial do modelo de simulação pelas empresas, corporações, departamentos, permite que cada empresa atue de forma independente e tenha autonomia para: modificar seu modelo, tomar decisões e finalmente enviar, ao final de cada período, mensagens ao nível da cadeia. Uma das vantagens da estrutura distribuída de simulação é manter o modelo de simulação de cada empresa encapsulado, preservando as informações e as confidencialidades na empresa e enviando somente os eventos de interesse para o processo de negócio entre empresas.

Cada empresa tem interesse em disponibilizar o melhor modelo para representar seu processo, pois é este que fará parte de uma relação de negócio com seus parceiros. Quando uma empresa disponibiliza um módulo adequado para representar seu comportamento, aumenta a sua confiabilidade e credibilidade com os parceiros e abre novas oportunidades de negócio, pois os planejamentos de seus parceiros, realizados com o auxílio do modelo disponibilizado, resultarão muito próximo ao realizado. Se o modelo de negócio da CS e os modelos das empresas são confiáveis, eles podem ser úteis na previsão de comportamento futuro da CS quando sujeita a demandas sazonais, cortes, modificação da estrutura de cooperação, etc.

A adoção de simulação distribuída com lógica de coordenação centralizada cujo elemento central, o coordenador da simulação, evolui em tempo discreto, representa adequadamente o processo de negócio entre empresas e cria grandes vantagens na implementação. A primeira vantagem, como já citado, é a sincronização dos relógios de simulação cuja responsabilidade é do coordenador da simulação. Como o coordenador evolui em tempos discretos, o mesmo aguarda o fluxo de mensagens de todas as empresas para processar a coordenação. Quando houver problemas de comunicação por parte de alguma empresa, sua mensagem poderá se atrasar ou não chegar ao coordenador. Este fica em espera até que a mensagem seja recebida, garantindo a sincronização e sem ter que adotar estratégias de correção das simulações das empresas. O aspecto negativo é que a velocidade da simulação será ditada pela conexão mais lenta.

O elemento central coordenador da simulação realiza três papéis: coordenador da simulação, coordenador da troca de mensagens com as empresas da CS e ambiente de suporte à decisão. Isto significa que, além de coordenar o fluxo de mensagens entre as empresas, o coordenador executa as regras de negócio que representam as relações entre as empresas. E por último, este coordenador interage com o usuário que solicitou a simulação e que está interessado em obter dados do desempenho das empresas e da CS.

Outras vantagens da adoção de uma coordenação central são (Machado e Carvalho, 2004):

- Fácil implementação e estrutura de dados simples;
- A execução da simulação pode ser distribuída;
- O paralelismo pode ser inteiramente explorado;
- O esforço de desenvolvimento do modelo é distribuído pelos participantes;
- As atualizações de modelos locais ficam a cargo de cada empresa o que possibilita maior fidelidade ao sistema real;
- A estrutura de simulação se assemelha às estruturas de planejamento cooperativo;
- A confidencialidade dos dados da empresa pode ser preservada.

### 3.4 Formas de cooperação para simulação em 2 níveis

As políticas de gestão da CS estabelecem como as empresas se relacionam e dependem das formas de cooperação vigentes. As formas de coordenação contempladas pelo ambiente são apresentadas na Figura 3.11.

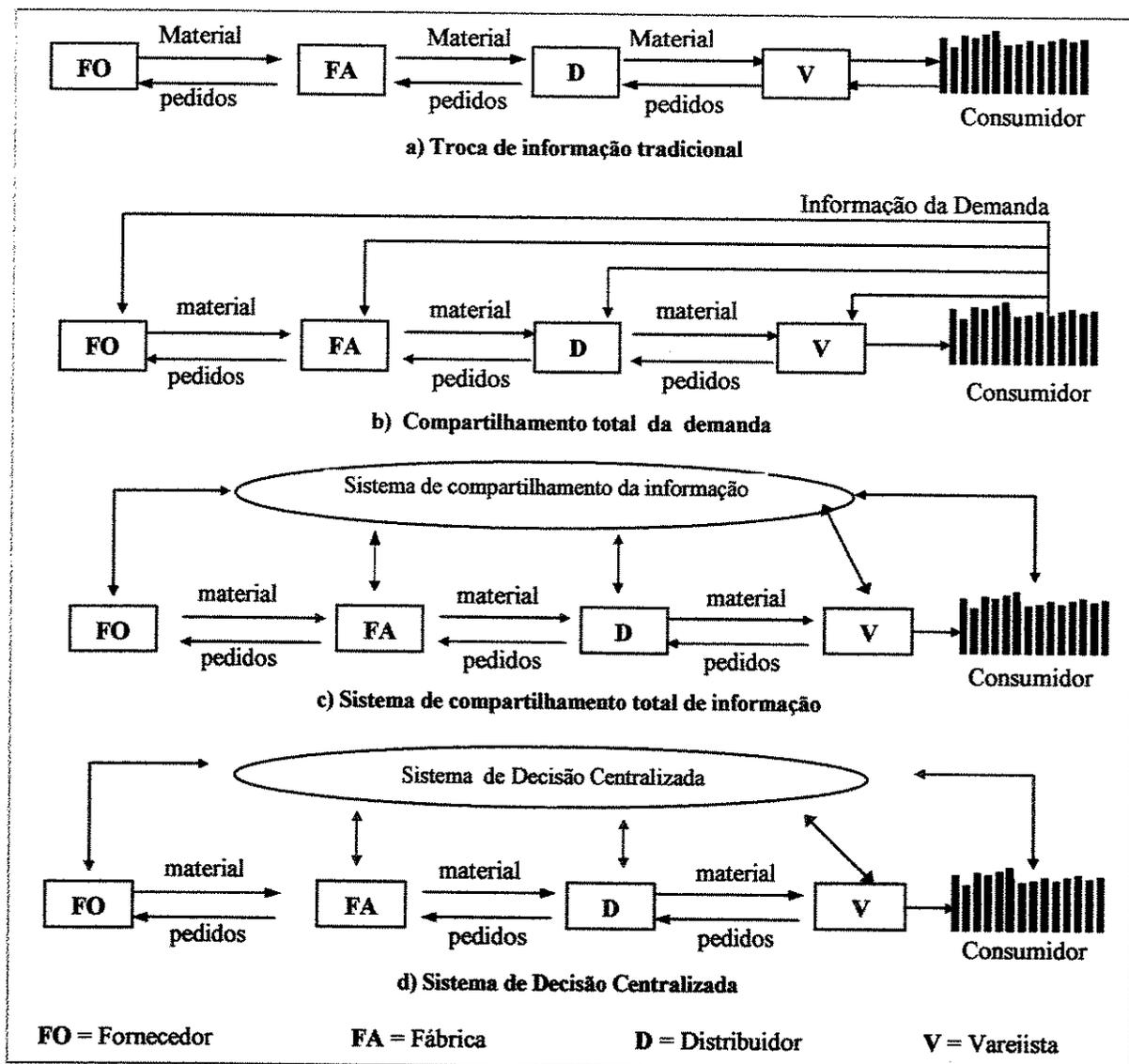


Figura 3.11 Enfoques para coordenação

No capítulo 2 foram vistas as formas de gestão com planejamento federativo e a gestão com planejamento cooperativo. Além destas formas, tem-se a formas de gestão isolada das empresas com troca de informação tradicional (Figura 3.11a) e com compartilhamento de informação da

demanda (Figura 3.11b). Esta seção apresenta algumas características da estrutura de simulação para o nível de coordenação da CS utilizando estas formas de gestão.

O coordenador distribui as mensagens de material e informação entre as empresas e é o local onde residem os processos de negócio que regem as cooperações. Na Figura 3.12 tem-se um exemplo da forma tradicional de troca de informação, onde o fluxo de pedidos ocorre dois a dois.

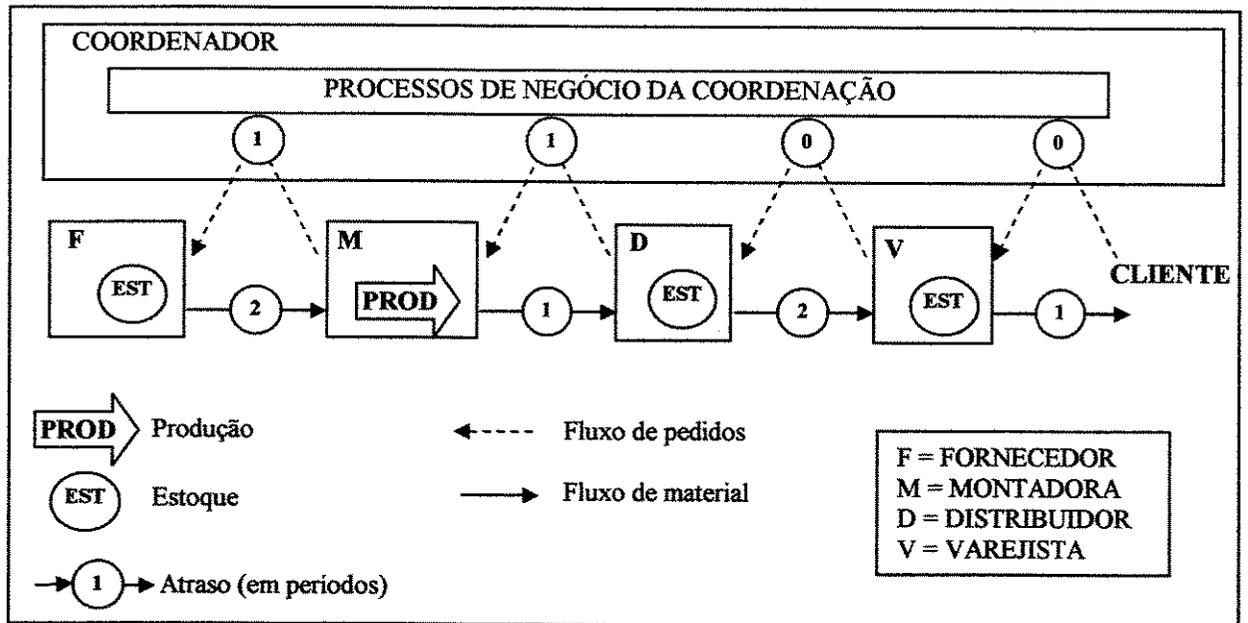


Figura 3.12 – Exemplo de uma estrutura de CS para simulação

A CS é composta de 4 empresas e 1 cliente: um fornecedor, uma montadora, um distribuidor e um varejista. Neste exemplo, o tempo de atraso da informação entre o cliente e o varejista é zero, ou seja, o tempo entre a colocação do pedido pelo cliente e o início do processamento desse pedido pelo varejista é zero. O tempo de atraso do material do varejista para o cliente é de 1 período (dia, semana, quinzena, etc.). O tempo de atraso do pedido para o distribuidor também é imediato. Entretanto a entrega demora 2 períodos. No caso da montadora, não há estoque local. Os produtos montados são enviados ao distribuidor e lá são mantidos à espera de pedidos do varejista. Não há fluxo de informação além dos pedidos.

Quando ocorre o compartilhamento da informação da demanda, essa informação é distribuída para todos os participantes da CS com tempo de atraso igual a zero. A Figura 3.13 mostra o mesmo exemplo com o compartilhamento da demanda realizado pelo coordenador. Não

há tratamento da informação, há simplesmente a comunicação da informação do ponto de venda. Cada empresa utiliza a informação de acordo com suas regras de negócio internas.

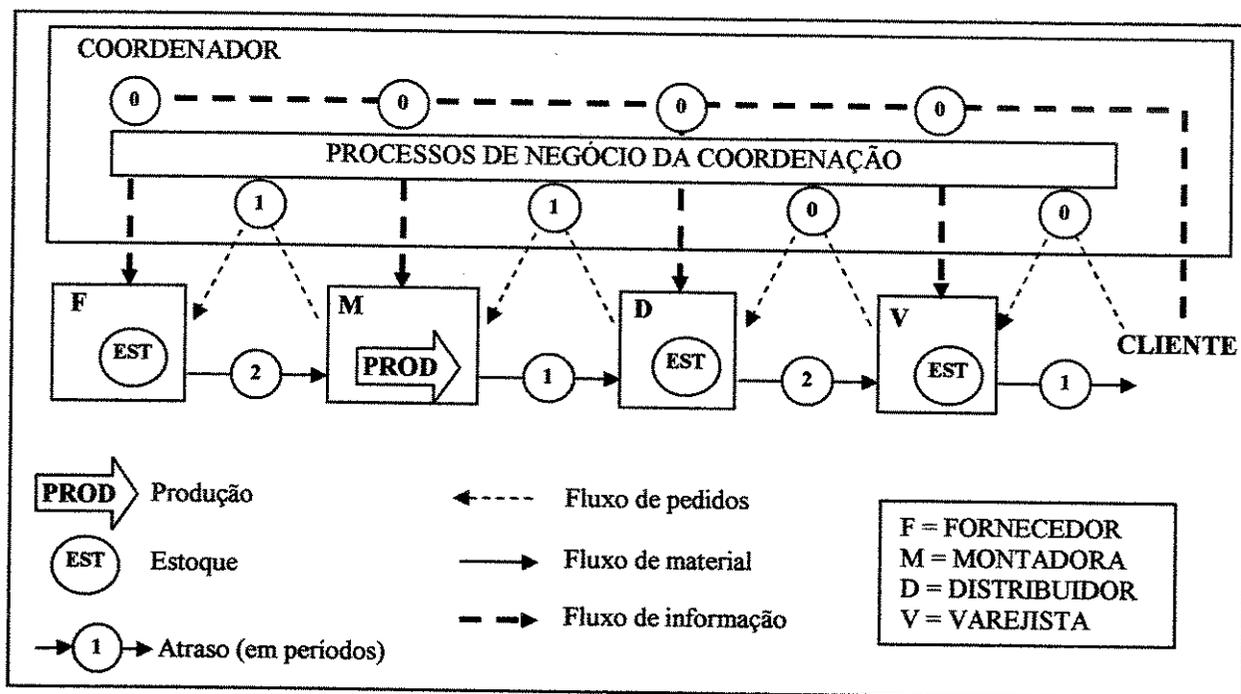


Figura 3.13 – Exemplo de uma estrutura de CS para simulação

O fluxo de informação entre as empresas e o coordenador tem tempo de atraso e frequência independente do fluxo de material e pedidos e está relacionado com a forma de cooperação vigente na simulação.

### 3.5 Planejamento Federativo

Esta forma de gestão considera a troca de informação entre as empresas, como fluxo de pedidos, demanda, posição de estoque, posição de ordens em atraso, plano de produção e previsão de vendas (Figura 3.14). O coordenador é responsável em enviar as mensagens contendo informações para as empresas que fazem parte da cooperação. A forma como cada um utiliza essa informação é uma decisão individual, porém buscando o alinhamento de objetivos da “federação”.

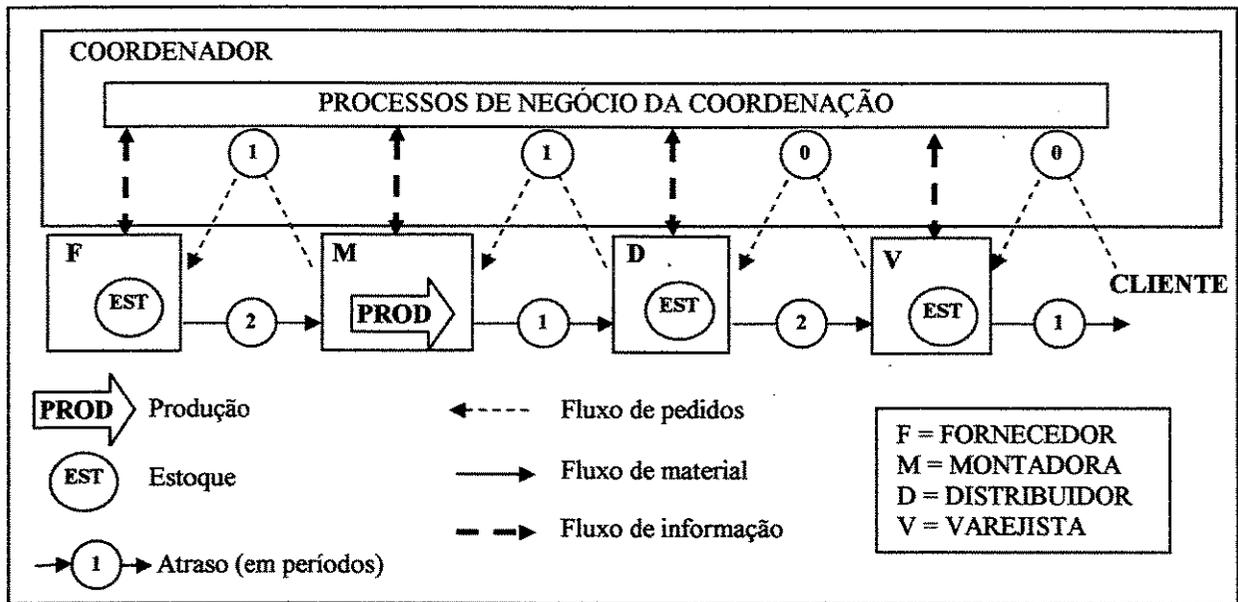


Figura 3.14 – Exemplo de uma estrutura de CS para simulação de um Planejamento Federativo

Um exemplo é a cooperação onde os estoques nos pontos de venda são repostos automaticamente pelo fornecedor. Na Figura 3.15, esta relação ocorre entre o Distribuidor e o Varejista. Isto permite simular cooperações como o *Efficient Customer Response* e o *Vendor-Managed Inventory* (Pires, 2004; Disney & Towill, 2003).

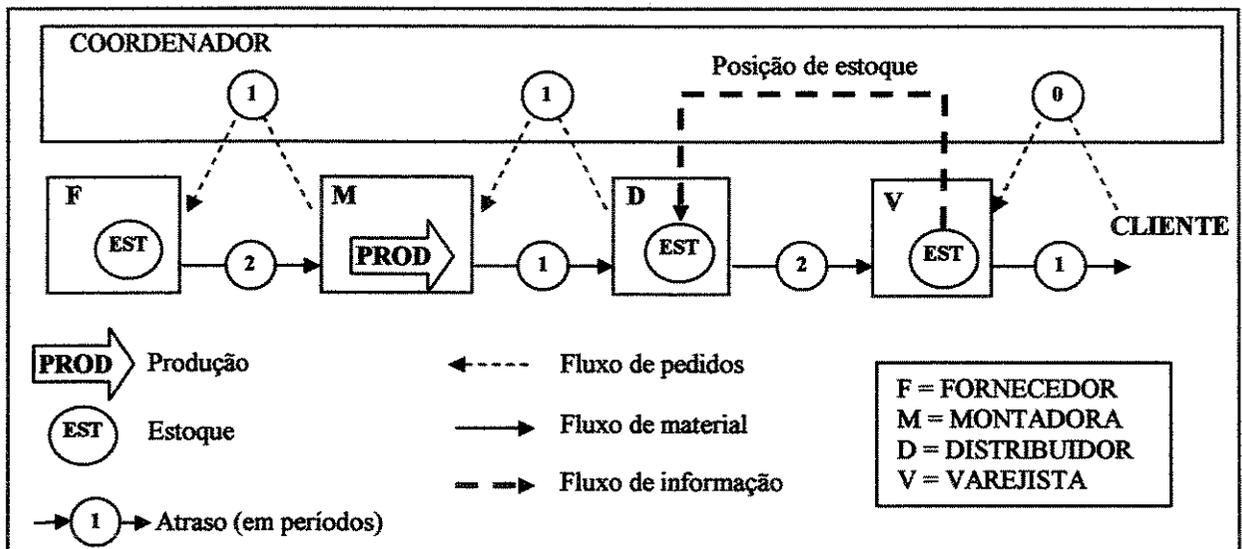


Figura 3.15 – Cooperação utilizando *Vendor-Managed Inventory*

### 3.6 Planejamento Cooperativo

Como apresentado no capítulo 2, o Planejamento Cooperativo envolve dois níveis de decisão: o nível de decisão cooperativo e o nível de decisão de empresa. As decisões são feitas em seqüência onde cada nível da hierarquia tem suas próprias características quanto ao horizonte de planejamento, nível de detalhes da informação requerida, previsão de demanda, disponibilidade de recursos e poder de decisão.

Um exemplo que mostra esta forma de cooperação envolve a produção na CS onde o plano de produção estabelecido pela montadora é comunicado aos seus fornecedores diretos e indiretos (Figura 3.16). De acordo com este modelo, não há fluxo de pedidos entre a montadora e os fornecedores diretos e indiretos. A montadora comunica seu plano de produção e suprimentos. Os fornecedores, sabendo quanto e quando estão programadas as montagens dos produtos, podem suprir material no tempo apropriado. Este esquema de cooperação é adequado à montagem modular, muito utilizada na cadeia automotiva (Fredriksson, 2002).

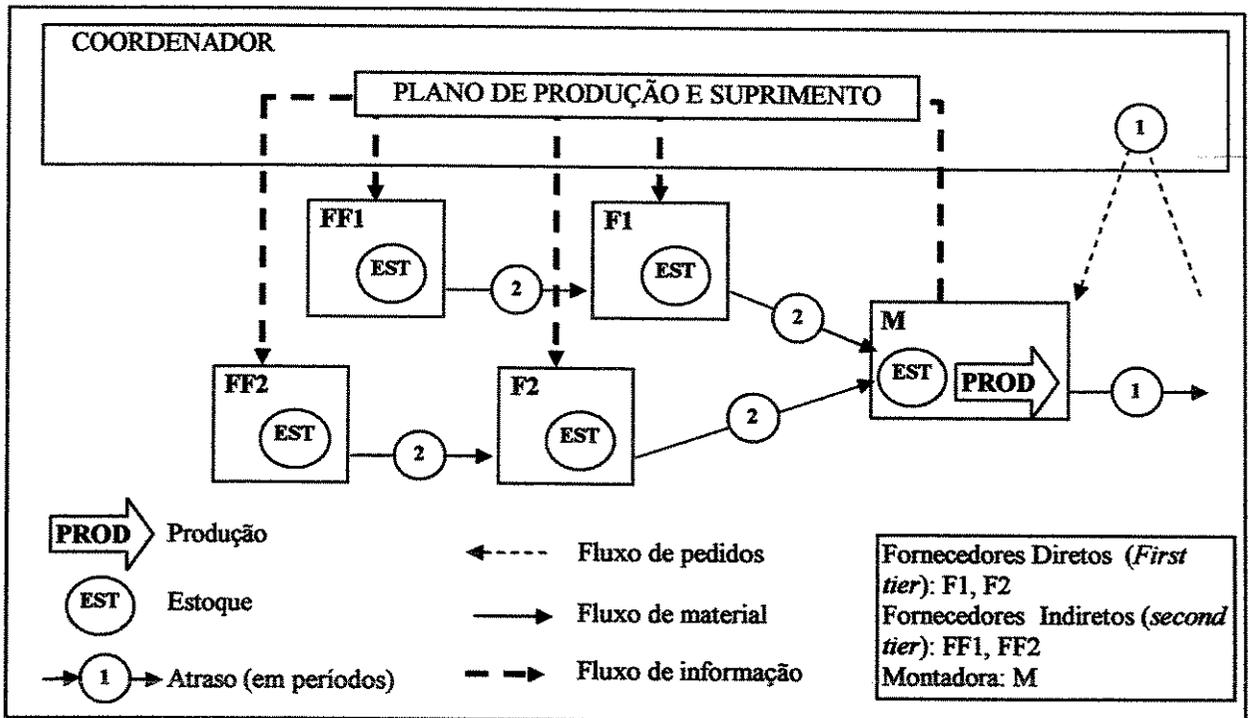


Figura 3.16 – Planejamento e suprimento cooperativo

## Capítulo 4

### **Simulador distribuído para Cadeias de Suprimentos**

No estudo realizado por Terzi e Cavalieri (2004), apresentado no capítulo 3, foram estudadas várias ferramentas de simulação no contexto de CS. Cada ferramenta de simulação de CS tem escopo e objetivo próprio que influenciam a modelagem do sistema físico e os diferentes aspectos considerados. A ferramenta proposta nesta tese considera como escopo e objetivos:

- **Projeto da rede da CS:** utilizar a simulação como sistema de suporte a decisão para avaliar alternativas de configuração da CS considerando os papéis das empresas envolvidas: os pontos de venda, os Centros de Distribuição, os nós de produção e os fornecedores. O projeto logístico não está no escopo e objetivo desta ferramenta, portanto a localização física e os meios de transporte na configuração da CS não são considerados, apenas o tempo de transporte de uma empresa a outra.
- **Estratégias da CS:** utilizar a simulação como suporte a decisão para avaliar estratégias como o ECR, VMI, CR, planejamento e previsão colaborativos, modularização do sistema produtivo e futuramente outros.
- **Definição de processos no nível das empresas:** utilizar a simulação para avaliar planejamento de demanda ou vendas, planejamento de estoque e planejamento da produção sem considerar a configuração interna das plantas produtivas.
- **Planejamento da CS:** utilizar a simulação para avaliar planejamento de produção e alocação de recursos nas empresas considerando restrições de fornecimento e capacidade. Neste caso, uma ferramenta de otimização é necessária para gerar as decisões de produção e alocação de recursos.

A configuração da CS é modelada considerando cada empresa como uma unidade de simulação que recebe pedidos de empresas clientes e material das empresas fornecedoras. A empresa processa os pedidos e envia material as empresas clientes e pedidos as empresas fornecedoras. Esse fluxo é mediado pelo coordenador de simulação e o coordenador transporte. As simulações das empresas e os coordenadores são concebidos e implementados em uma estrutura de agente de software. Cada simulação pode ser considerada um agente de software que se comunica como outros agentes de software. Da mesma forma, os coordenadores são também agentes de software que se comunicam com os agentes que representam as empresas que serão chamadas agentes de empresa.

As decisões nas empresas são realizadas nos agentes de empresa, as decisões que envolvem colaboração entre empresas são realizadas pela colaboração dos agentes de empresa mediados pelo agente de coordenação da simulação. Portanto, a simulação da CS é composta por um sistema de agentes de software chamada Sistema Multi-Agentes.

#### **4.1 Sistemas Multi-Agentes**

Ambientes computacionais multi-agentes se constituem em ferramentas adequadas para o estudo de problemas que envolvem coordenação e sincronização de atividades. Em Cadeias de Suprimento (CS) estes ambientes representam cada entidade de negócio (clientes, varejistas, distribuidores, montadoras e fornecedores) como um agente e associa a estes habilidades de atuar como consumidor, distribuidor, montador, fornecedor, comprador. O conjunto de habilidades depende do papel do agente na CS e representa diferentes políticas associadas à demanda, controle de estoque, a relação com fornecedor, produção e controle do fluxo de material e informação. O modelo da CS é definido pela integração de um conjunto de agentes que representam as empresas e por um conjunto de políticas de gestão e controle. Desenvolvido o modelo, pode-se processar a análise dos aspectos dinâmicos do sistema por simulação a tempo discreto e a evento discretos.

Como colocado acima, cada entidade de negócio possui um conjunto de habilidades e obrigações. Portanto, um agente deve possuir um conjunto de atributos e ações que permitam-no

representar o papel da entidade de negócio correspondente na CS. Como exemplo, um agente cliente tem a habilidade de gerar demanda seguindo um padrão estabelecido por uma função de probabilidade ou por um conjunto de dados históricos. Um agente montador tem a habilidade de estabelecer um plano de produção baseado em uma previsão, adquirir componentes, montar seus produtos e entregá-los à empresa compradora. Por fim, deve existir uma plataforma que possibilite a comunicação entre os diferentes agentes que integram o modelo da cadeia de suprimentos. Essa comunicação ocorre por meio de mensagens. As mensagens são recebidas pelo agente que as interpreta e ativa a política de controle correspondente.

Por exemplo, um agente do tipo varejista que recebe pedidos do cliente, atua da seguinte forma:

1. Recebe mensagens “pedidos de clientes”, extrai a informação contida em cada pedido do cliente (tipo do produto, quantidade, tempo de entrega).
2. Verifica se há “no estoque” produtos em quantidade suficiente para atender o pedido.
3. Se houver, gera uma mensagem, endereçada ao agente do pedido (cliente), confirmando o envio dos produtos. Atualiza o estoque da quantidade enviada.
4. Se não houver produto disponível em quantidade suficiente para atender o pedido, o pedido é registrado como pedido em atraso (*backorder*). Neste caso há 2 formas de atender o pedido: atender o pedido parcialmente ou não atender o pedido. No primeiro caso, a parte do pedido não atendido é registrada como pedido em atraso. No segundo caso, o pedido inteiro é registrado como pedido em atraso.
5. A cada atualização de estoque ou registro de *backorder* é aplicada a política de estoque. Ela determina o tamanho do pedido encapsulado em uma mensagem a ser enviada ao agente fornecedor.

A simulação evolui em intervalos de tempo discreto e isto define a forma como as mensagens fluem entre os agentes, aspecto discutido na seção 4.5.

## 4.2 Estrutura do Agente

A descrição do agente deve conter a especificação de suas habilidades no contexto da CS. Diferentes habilidades são necessárias para os agentes: cliente, varejista, distribuidor, fabrica/montadora, fornecedor de nível  $i$ . Assim, cada agente é especializado de acordo com seu papel na CS e, portanto, possui características distintas, descritas por um conjunto de vetores de parâmetros, a saber (Figura 4.1).

$A$  = Conjunto de atributos que caracterizam o estado do agente em um dado instante de tempo. Por exemplo, posição de seu estoque, nível de backorder, ordem de produção, produção realizada.

$I$  = Conjunto de dados que caracterizam o conhecimento que o agente tem de outros agentes e da CS. Por exemplo, este agente tem acesso à informação da demanda no ponto de venda, tem acesso à posição de estoque de empresas clientes e/ou fornecedoras, tem acesso à taxa de ocupação atual da produção dos seus fornecedores.

$P$  = Prioridades do agente. Por exemplo, em caso de *backorder*, qual (ou quais) cliente (s) o agente deve atender.

$M$  = Medidas de desempenho do agente como: média e desvio padrão do estoque, nível de serviço, giro do estoque, desvio padrão dos pedidos colocados ao fornecedor.

$ME$  = Mensagem de entrada do agente. Esta mensagem é recebida pelo agente e contém uma lista de pedidos dos agentes clientes deste agente, contém uma lista de material enviada pelos agentes fornecedores e contém informação atualizada de outros agentes. O conteúdo dessa informação depende do conjunto  $I$  do agente, ou seja, do conhecimento que este agente obtém de outros agentes.

$MS$  = Mensagem de saída do agente. Após o recebimento da mensagem de entrada e extraindo seu conteúdo, o agente processa os pedidos recebidos, atualiza seu estoque com o material recebido e atualiza o seu conhecimento sobre os outros agentes ( $I$ ) utilizando a

informação recebida. Em seguida o agente, por meio de sua política de produção ou estoque, coloca pedidos aos seus fornecedores, envia produtos para os compradores e disponibiliza informação de seu estado para outros agentes. Toda essa informação é encapsulada na mensagem de saída e então enviada para os outros agentes.

PO = conjunto de políticas do agente. Uma política é invocada quando uma decisão precisa ser feita. A política utiliza a informação contida na mensagem de entrada (ME), no conhecimento que o agente tem de outros agentes (I), nas suas prioridades (P) e no seu estado atual (A).

Cada agente, de acordo com seu papel na CS, possui suas metas e um conjunto de políticas para que essas metas sejam alcançadas. Por exemplo, o varejista recebe uma mensagem com vários pedidos e informação da CS, atualiza a sua base de informação, dispara sua política de estoque e atende os pedidos dos clientes seguindo as prioridades P. As prioridades podem ser em relação aos clientes ou aos produtos. O estado do agente (A) é então atualizado. No caso nível de estoque, posição de estoque e nível de backorder. As medidas de desempenho (M) são atualizadas, como por exemplo: estoque médio, nível de serviço, giro de estoque, variabilidade dos pedidos. O agente então gera mensagens de saída (ME) contendo informações para serem disponibilizadas a outros agentes, produtos e pedidos a serem enviados aos agentes pertinentes.

No caso de um agente de manufatura, a seqüência de eventos é diferente, devido ao papel do agente na CS. Além do processamento do pedido, há uma política de produção que estabelece ordens de produção, consome a matéria prima e gera produtos acabados atualizando os estoques pertinentes.

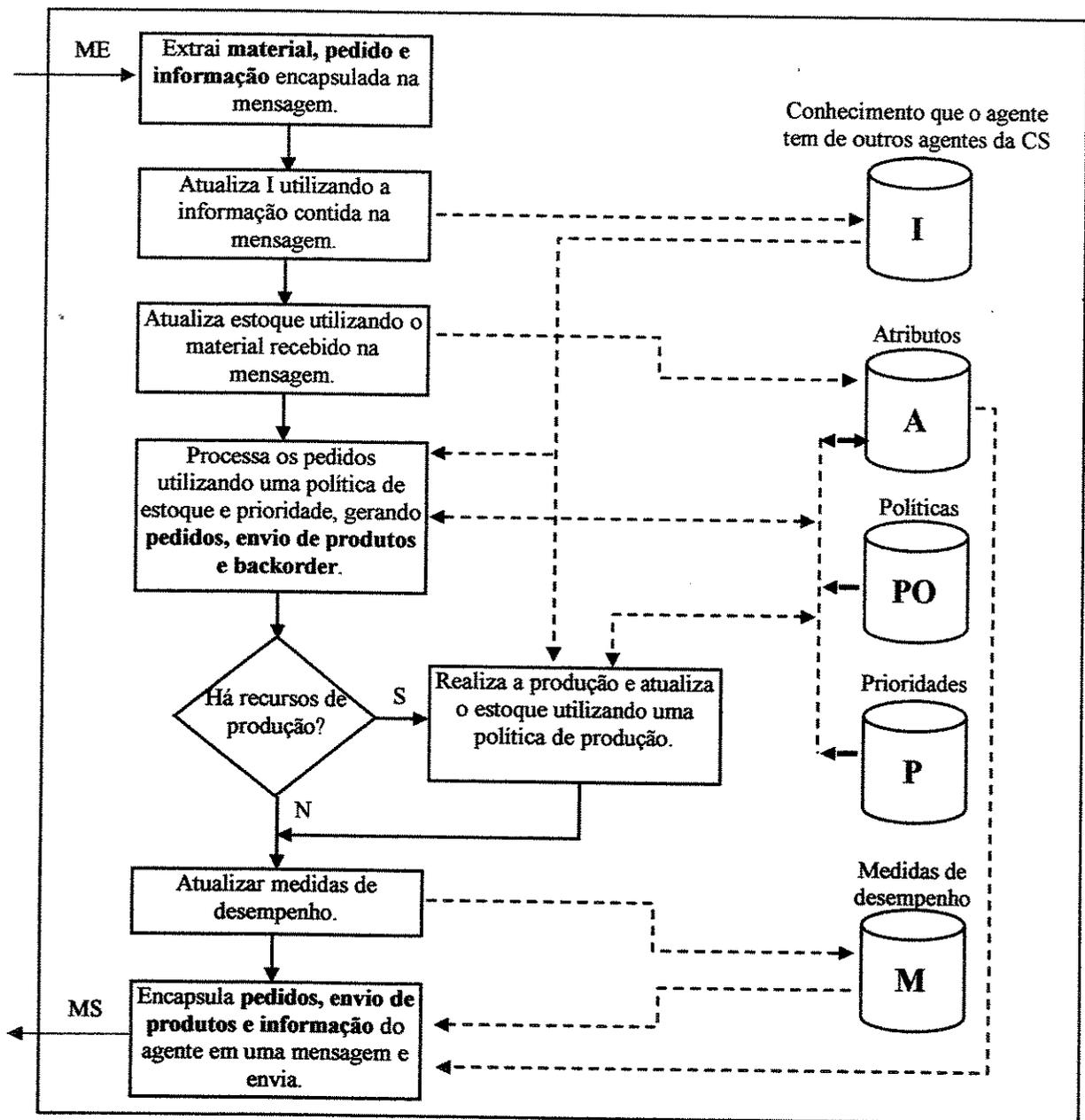


Figura 4.1 – Estrutura do agente

### 4.3 Agentes de produção, coordenação e transporte

Os agentes de produção são responsáveis por suprir, manufaturar, montar, estocar produtos e componentes e o mais importante atender a demanda. Eles irão definir a estrutura da CS, ou seja, quem participa e o papel de cada participante. Os agentes de produção são:

- **Varejista:** O varejista é o responsável em atender a demanda dos clientes. É no varejista que se percebe qual é o nível de serviço no atendimento dos clientes, ou seja, a porcentagem dos pedidos que são atendidos no prazo. O varejista recebe a cada período uma lista de pedidos de um ou mais clientes (depende do modelo) e envia os produtos caso estejam disponíveis. Através de uma política de estoque o varejista determina quanto é necessário solicitar ao distribuidor para repor seu estoque.
- **Distribuidor:** A sua responsabilidade é suprir os varejistas. Para isso, o distribuidor solicita produtos à fábrica e os armazena esperando atender os pedidos dos varejistas. O distribuidor também tem a sua política de estoque e pode ter uma política de prioridades em relação ao atendimento dos varejistas.
- **Fábrica:** A fábrica representa as operações onde os produtos são manufacturados. Cada produto pode ter uma combinação de componentes que devem ser supridos pelos fornecedores e, portanto tem associado um BOM (Bill of materials). A fábrica pode atender o distribuidor ou os varejistas diretamente, isso depende da modelagem da CS. A fábrica pode trabalhar de 2 formas: empurrando a produção ou puxando a produção. As etapas de produção e o material em processo não são modelados, ou seja, o agente retira os componentes do estoque e após um determinado tempo (depende da capacidade de produção) estes componentes se tornam produtos acabados. A política de estoque adotada irá depender de como a produção foi escolhida.
- **Fornecedores:** Os fornecedores são responsáveis pelo suprimento da matéria-prima e componentes a fábrica. Um fornecedor pode atuar apenas com um distribuidor que fornece para a fábrica ou como uma fábrica com o seu próprio sistema produtivo que produz componentes para suprir a fábrica. Um fornecedor pode suprir outro fornecedor (*first and second tiers*) e assim por diante. O último fornecedor do modelo é suprido por um fornecedor externo que não pertence ao modelo. Esse fornecedor externo tem capacidade ilimitada. Na Figura 4.1, os fornecedores do modelo são supridos por fornecedores externos com capacidade ilimitada. Se caso há interesse em limitar o fornecimento, pode-se criar um outro fornecedor como na Figura 4.2. Neste caso o fornecedor de A tem capacidade limitada, mas o fornecedor de B (fornecedor externo) tem capacidade ilimitada.

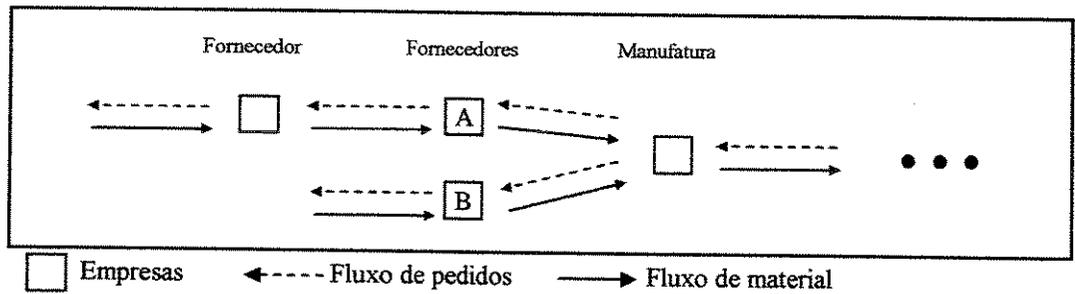


Figura 4.2 – Modelo com fornecedor de fornecedor

- **Cliente:** Os clientes definem as características dos pontos de venda, ou seja, o volume de pedidos, a sua variação e sazonalidade (se houver). Estas características são o comportamento da demanda. Os pontos de venda podem representar os clientes que entram em um varejista (loja, supermercado, etc.) ou pode representar uma rede de varejistas de uma região. Este aspecto da demanda agregada é uma interpretação que é de responsabilidade do analista que modela a CS.

Além dos agentes de produção que representam a CS, há um agente responsável pela coordenação e um agente responsável pelo transporte:

- **Agente Coordenador:** é responsável pela administração da simulação. Este agente prepara a simulação interagindo com os outros agentes, coordena e sincroniza a simulação através do controle do fluxo de mensagens entre os agentes, executa políticas de gestão da CS e disponibiliza os resultados após a simulação.
- **Agente de transporte:** este agente controla as mensagens que representam o fluxo de material. Ele permite simular o tempo de transporte, atrasos, capacidades, frequência dos embarques e desembarques de material.

Na próxima seção será visto como o agente coordenador e de transporte interage com os agentes de produção.

#### 4.4 Fluxo de Mensagens

Os agentes trocam diferentes mensagens entre si, antes da simulação, durante a simulação e após a simulação. As mensagens antes da simulação têm como objetivo preparar o ambiente para simulação. Os agentes podem estar distribuídos em diferentes computadores e, portanto, existe um processo de identificação dos agentes que estão participando da simulação. Para coordenar isto, existe um agente coordenador da simulação que é disparado pelo usuário em seu computador, este agente, baseado no modelo da CS, contata os agentes que devem participar da simulação (Figura 4.3).

Uma vez que todos os agentes confirmem sua participação, o agente coordenador está pronto para iniciar a simulação que depende no momento apenas da confirmação do usuário. As mensagens durante a simulação representam dois tipos de fluxos:

- **Fluxo de material:** mensagens que representam o fluxo de material estão relacionadas à entrega de componentes e produtos de um agente a outro. Quando esta mensagem chega ao agente destino, atualiza o seu estoque e pode disparar alguma política local. Todo o fluxo de material passa por um agente especial chamado agente de transporte que tem por objetivo sincronizar o fluxo de material e simular alguns aspectos do transporte como, por exemplo, tempo e atraso do sistema.
- **Fluxo de informação:** mensagens que representam o fluxo de informação estão relacionadas à troca de informação entre os agentes. Como informação pode-se citar: pedidos de produtos aos fornecedores, informação da taxa de ocupação da capacidade, informação da previsão de demanda, informação do nível de estoque, informação do planejamento da produção, etc.

As mensagens durante a simulação são coordenadas e sincronizadas pelo agente coordenador. Entre dois períodos de simulação, o agente coordenador espera pelas mensagens dos agentes que ocorrem no final do período anterior (Figura 4.4). As mensagens que os agentes recebem no início do período são chamadas mensagens de entrada e possuem a seguinte estrutura:

- **Mensagem de entrada do fluxo de material:** contém uma lista de itens que representam o material e são da forma ITEM=[identificação do agente fornecedor, identificação do produto recebido, quantidade do produto recebido]. Em geral a identificação do agente é um texto com o nome do agente que dever ser único no modelo da CS. A identificação do produto distingue um produto de outro e é representada por um valor numérico inteiro. Quando a simulação utiliza apenas um tipo de produto o seu valor padrão é 1. A quantidade é representada por um valor numérico inteiro positivo.
- **Mensagem de entrada do fluxo de informação:** contém uma lista de itens que representam os pedidos e são da forma ITEM=[identificação do agente comprador, identificação do produto, quantidade do produto]. Além disso, há um vetor numérico que contém informações de outros agentes. O conteúdo das posições do vetor depende das políticas adotadas no coordenador e no agente e serão descritas mais tarde.

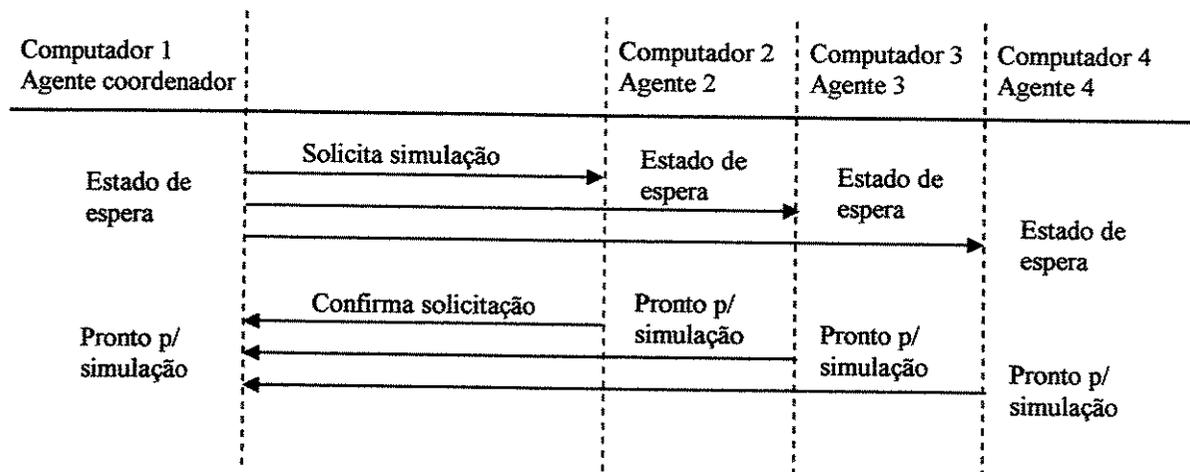


Figura 4.3 – Fluxo de mensagens entre os agentes

Após o recebimento de todas as mensagens, o coordenador retira a informação encapsulada nas mensagens e armazena as informações pertinentes de cada agente, cria mensagens de saída e encapsula as informações pertinentes a cada destino. Um fato importante é que o agente coordenador processa somente mensagens que representam fluxo de informação (pedidos e informação dos agentes). As mensagens que representam o fluxo de material são coordenadas pelo agente de transporte. O agente de transporte representa o recurso de transporte para deslocar os materiais entre as empresas e simula o tempo de transporte, atrasos e políticas de transporte.

As mensagens que os agentes enviam no final de cada período são chamadas mensagens de saída e possui a seguinte estrutura:

- **Mensagem de saída do fluxo de material:** contém uma lista de itens que representam o material e são da forma ITEM=[identificação do agente destino, identificação do produto enviado, quantidade do produto enviado].
- **Mensagem de saída do fluxo de informação:** contém uma lista de itens que representam os pedidos e são da forma ITEM=[identificação do agente destino, identificação do produto solicitado, quantidade do produto solicitado]. Além disso, há um vetor numérico que contém informações desse agente a serem disponibilizadas. O conteúdo das posições do vetor depende das políticas adotadas no coordenador e no agente e serão descritas mais tarde.

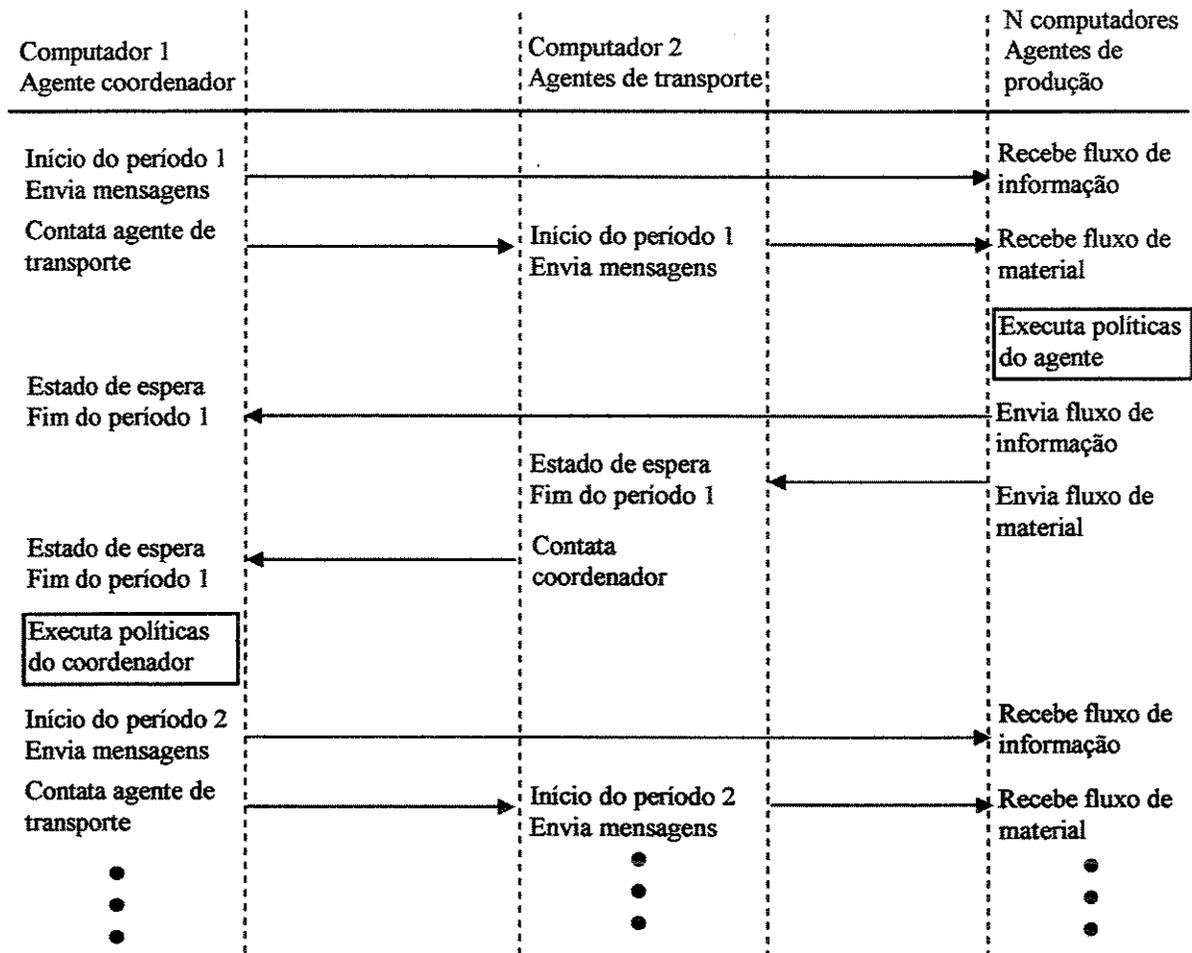


Figura 4.4 – Evolução da simulação sob coordenação do agente coordenador.

#### 4.5 Políticas de gestão das empresas

Para que diferentes formas de gestão da CS possam ser modeladas, é necessário que o modelo considere não somente a configuração da CS, mas as políticas adotadas pelas empresas e pela CS com um todo. Essas políticas são incorporadas nos agentes do modelo de simulação. O ambiente apresentado aqui modela as seguintes políticas:

- **Política de demanda:** Esta política é agregada aos agentes clientes somente. Esta política define o comportamento da demanda (volume da demanda, sua variação e sazonalidade).
- **Política de estoque:** Esta política está em todos os elementos da cadeia exceto os agentes clientes. Sua função é controlar o nível de estoque considerando um nível de atendimento do cliente e estabelecer pedidos aos fornecedores. As principais regras utilizadas nesta política são: (s,S), s atualizado, (s,Q), s atualizado com informação da demanda. Outras políticas envolvem diferentes graus de cooperação e serão descritas mais tarde.
- **Política de compra:** Esta política estabelece com um agente adquirir sua matéria-prima ou produtos. Caso haja mais de um fornecedor para o material, estabelece-se uma regra para suprimento que pode envolver contrato ou basear-se na taxa de ocupação do fornecedor ou seu nível de serviço.
- **Política de processamento do pedido:** Esta política define como os agentes priorizam os pedidos. A prioridade pode ser por produtos ou clientes. No caso de ocorrer backorder, a política também define os produtos e clientes prioritários. Além disso, a política define se o backorder é parcial ou total.
- **Política de produção:** Esta política define como a fábrica irá produzir. As duas formas principais são o *make-to-stock* e o *make-to-order*. Na política *make-to-stock*, um estoque desejado do produto final é estabelecido a cada período e a produção é realizada para que esse estoque seja alcançado. Na política *make-to-order*, a produção ocorre para satisfazer os pedidos da empresa cliente colocados a cada período. A capacidade de produção deve ser definida, entretanto, as características do chão de fábrica não são

modeladas. As políticas de produção podem envolver cooperação entre empresas e serão descritas mais tarde.

- **Política de transporte:** Esta política define as características da movimentação do material e é implementada no agente de transporte. As principais características são: tempo de transporte, variação desse tempo e capacidade.

#### 4.5.1 Demanda

A política de demanda define o comportamento dos pedidos gerados pelos clientes. O comportamento pode ser definido por funções de distribuição de probabilidade (normal, uniforme, exponencial, triangular, gama, etc.) ou por um arquivo de demanda externo.

#### 4.5.2 Histórico de pedido/demanda

A previsão de demanda, a política de estoque e as regras de contrato entre empresas podem utilizar dados sobre o comportamento da demanda, quando o comprador é o cliente final, e o comportamento de pedidos, quando o comprador é outra unidade de negócio da cadeia. As regras de histórico de pedido/demanda têm como objetivo estabelecer formas de manipulação desses dados. O primeiro aspecto é a fonte de dados que pode ser interna e/ou externa. A fonte interna utiliza dados de pedido da própria unidade de negócio enquanto a segunda utiliza dados de outras unidades de negócio que são compartilhados com parceiros da cadeia. O segundo aspecto é a forma de cálculo que estabelece o número de períodos a serem considerados e o tratamento estatístico dentre os quais tem-se a **análise de regressão linear** (Figura 4.5), a **média móvel** e a **média móvel com ponderação exponencial**.

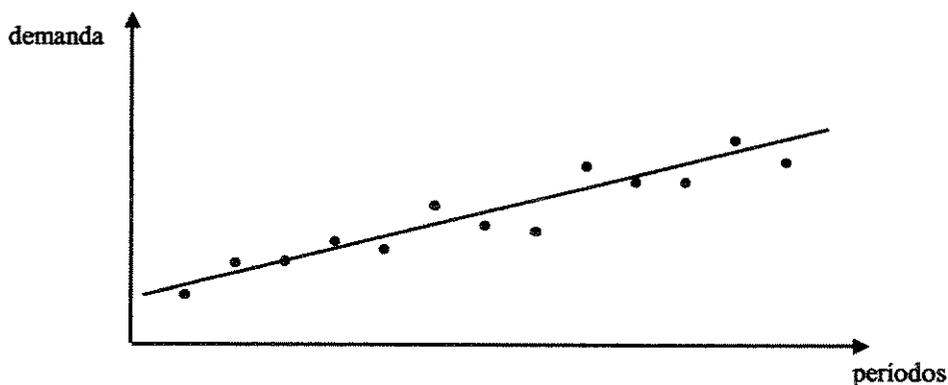


Figura 4.5 – A reta representa a regressão linear dos pontos do gráfico

Análise de regressão linear calcula a reta que melhor se ajuste aos pontos que representam a demanda ou pedidos passados dos últimos n períodos. Esta técnica considera uma função  $y(x) = ax + b$  cujos valores a e b são determinados de forma a minimizar o somatório dos quadrados das diferenças entre o valor da demanda e o valor da reta para cada período.

A média móvel calcula a média da demanda ou pedidos dos últimos n períodos. Esta é a técnica menos complexa que envolve pouco cálculo computacional. A expressão matemática para cálculo é (Gibson, Greenhalgh e Kerr, 1995):

$$\bar{X}_{n+1} = \sum_{i=n-a}^n \frac{X_i}{a}$$

Onde  $\bar{X}_n$  demanda prevista  
 $X_i$  demanda observada para o período i  
a número de períodos p/ cálculo da média.

A proposta deste enfoque é suavizar as flutuações aleatórias na demanda, e ao mesmo tempo dispor de uma estimativa de valor médio e alguma tendência naquele nível (ver Tabela 4.1).

Período	Demanda Real	Média Móvel (a = 3)	Média Móvel (a = 6)	Período	Demanda Real	Média Móvel (a = 3)	Média Móvel (a = 6)
1	8			9	9	7.0	7.50
2	6			10	6	7.7	7.50
3	9			11	8	6.3	7.70
4	5	7.7		12	12	7.7	7.30
5	10	6.7		13	15	8.7	9.00
6	7	8.0		14	13	11.7	9.00
7	10	7.3	7.50	15	20	13.3	10.50
8	4	9.0	7.80				

Tendências em médias móveis estarão atrasadas em relação às tendências em demandas reais. A média móvel com ponderação exponencial privilegia os dados mais recentes no cálculo

da média. O problema de suavização das tendências em modelos de média móvel pode ser parcialmente contornado pelo procedimento a seguir: A média móvel pode ponderar com maior valor as observações recentes. Se for definido como  $f$  o fator de ponderação a média móvel ponderada poderia ser escrita como (Gibson, Greenhalgh e Kerr, 1995):

$$\bar{X}_{n+1} = fX_n + f(1-f)X_{n-1} + f(1-f)^2 X_{n-2} + \dots + (1-f)^n X_0 \quad 0 \leq f \leq 1$$

A expressão acima pode ser transformada em:

$$\bar{X}_{n+1} = fX_n + (1-f)\bar{X}_n$$

Que pode ser escrita como: a previsão para o próximo período é igual à demanda deste período multiplicada pelo fator de ponderação somada à previsão deste período multiplicada pelo complemento do fator de ponderação. O parâmetro  $f$  é conhecido como constante de suavização. Quanto mais  $f$  se aproxima de 1, maior será o peso das observações mais recentes.

A Tabela 4.2 mostra o comportamento para diferentes valores de  $f$  ( $f=0.3$  e  $f=0.6$ ) onde fica evidente o efeito da ponderação no comportamento da previsão. Maior o fator para as observações mais recentes fazem com que a previsão fique mais próxima da demanda.

Tabela 4.2 - Dados Passados							
Período	Demanda Real	Média Móvel (f=3)	Média Móvel (f=6)	Período	Demanda Real	Média Móvel (f=3)	Média Móvel (f=6)
1	8			9	9	7.3	6.0
2	6	8.0	8.0	10	6	7.6	7.8
3	9	7.6	6.8	11	8	7.3	6.70
4	5	7.9	8.1	12	12	7.4	7.50
5	10	7.3	6.2	13	15	8.3	10.2
6	7	7.8	8.5	14	13	9.6	13.1
7	10	7.6	7.60	15	20	10.3	13.0
8	4	8.1	9.0				

### 4.5.3 Processamento de pedido

As regras de processamento de pedido permitem priorizar clientes e/ou produtos tanto em situações normais como em caso de *backorder*. Outro aspecto é limitar a capacidade de processamento do pedido total e por produtos que está relacionada à capacidade de separar os produtos, embalá-los e despachá-los. Por exemplo: uma unidade de manufatura fornece um único tipo de produto para 5 distribuidores (Figura 4.6) que colocam pedidos periodicamente (dia, semana etc.). Seja a capacidade total de 5.000 unidades por dia. Pode-se definir que o distribuidor 3 é prioritário em relação a outros e portanto seus pedidos serão processados primeiro. Se os pedidos dos distribuidores de 1 a 5 forem em um determinado período de 1500, 1400, 1600, 1000 e 800 respectivamente, o distribuidor 3 será atendido plenamente enquanto os outros distribuidores terão que se submeter à limitação do processamento.

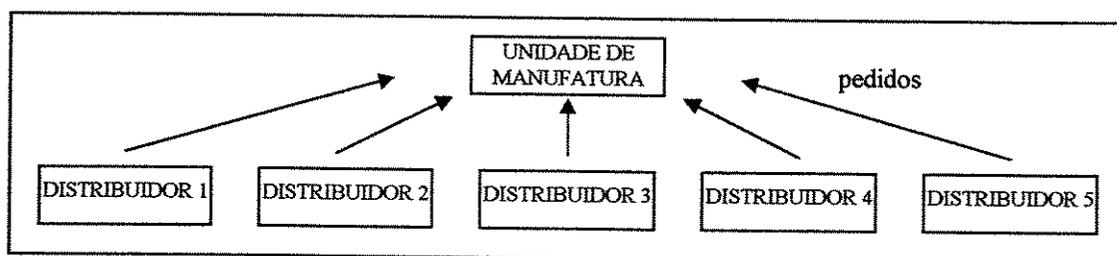


Figura 4.6 – Fluxo de pedidos entre fábrica e os distribuidores

Há regras para priorização nesse caso como também em caso de falta de estoque. Uma empresa pode ser vista como uma entidade de transformação que compra um produto, o transforma e vende. Portanto a empresa em uma circunstância atua como compradora e em outra como vendedora. Neste contexto as regras focam a relação vendedor-comprador e são definidas a seguir:

- **Atender pedidos na mesma proporção da média histórica:** a média histórica é estabelecida pela regra de histórico de demanda e pode ser utilizada aqui para beneficiar o comprador que colocar o pedido mais próximo dessa média.
- **Priorizar o comprador que está abaixo do limite estabelecido:** Seja admitido o limite de  $x\%$  acima da média histórica. O comprador que colocou pedido abaixo deste limite terá preferência.

Associado a regra de *backorder*, estabelece-se a quantidade mínima de produtos ou a porcentagem mínima para cada item do pedido que deve estar disponível para que parte do pedido seja enviada.

#### 4.5.4 Políticas de estoque

As regras de política de estoque permitem que o decisor configure a unidade de negócio na sua gestão de estoque. As políticas mais conhecidas de estoque são:

- **s, S.** Quando o estoque cai abaixo de  $s$ , a empresa coloca um pedido ao fornecedor para elevar o estoque a  $S$ .
- **s, Q.** Quando o estoque cai abaixo de  $s$ , a empresa coloca um pedido ao fornecedor de tamanho  $Q$ .
- **s,  $n \times Q$ .** Quando o estoque cai abaixo de  $s$ , a empresa coloca um pedido ao fornecedor de tamanho múltiplo de  $Q$ .
- **s, S com atualização.** Quando o estoque cai abaixo de  $s$ , a empresa coloca um pedido ao fornecedor para elevar o estoque a  $S$ , sendo  $S$  um valor atualizado em função de um histórico de pedidos.
- **S.** A cada período, a empresa coloca um pedido ao fornecedor para elevar o estoque a  $S$ .
- **Q.** A cada período, a empresa coloca um pedido ao fornecedor de tamanho  $Q$ .
- **Empurra.** A cada período, a empresa empurra seu estoque para a empresa cliente.
- **S atualizado.** A cada período, a empresa coloca um pedido ao fornecedor para elevar o estoque a  $S$ , sendo  $S$  um valor atualizado em função de um histórico de pedidos.

Seguindo o exemplo da figura 1, seja o estado atual da unidade de manufatura:

- ESTOQUE ATUAL DE PRODUTOS ACABADOS = 5.000 unidades
- PEDIDOS COLOCADOS PELOS DISTRIBUIDORES = 500, 400, 600, 1000 e 800
- POLÍTICA DE ESTOQUE =  $(s, S) = (3.000, 6.000)$

Após o processamento dos pedidos, o estoque atual cai para 1.700 unidades. Esse valor está abaixo do valor  $s$  e, portanto dispara uma ordem de produção que deve elevar o estoque de

produtos acabados para 6.000. Para este cenário, resulta uma ordem de produção de 4.300 unidades. Os valores  $s$ ,  $S$  e  $Q$  são definidos pelo usuário. No caso da política  $s$  atualizado, o valor de  $s$  pode ser baseado em uma política de histórico de demanda como por exemplo, média móvel (Schimi-Levi, 2000).

#### 4.5.5 Regras para planejamento e operação da produção

Esse conjunto de regras determina o modo como a unidade de manufatura produz ou monta seus produtos. O processo produtivo pode ser muito complexo, conter várias fases, compartilhar diferentes recursos com as mais variadas capacidades. O objetivo da modelagem é a análise de suprimentos, portanto o processo produtivo não precisa ser representado em detalhe.

O elemento principal na produção é o produto, composto por uma combinação de componentes supridos por diferentes fornecedores. Etapas intermediárias não são modeladas. Cada produto possui um lote mínimo de produção e uma produção máxima por período que pode ser constante ou depender do sortimento de produtos se houver compartilhamento de recurso. O recurso (homem, máquinas, energia, etc.) é representado por um único elemento de transformação cujo grau de utilização será discriminado em porcentagem (0% a 100%). Para cada produto que utiliza um recurso haverá associado uma taxa de produção por período. Este recurso pode também estar alocado para a produção de outros produtos na mesma unidade de tempo. Neste caso a taxa de produção equivalente depende da taxa de produção e da contribuição percentual deste produto para o sortimento de produção. A representação desta equivalência é através de uma função linear:

- $V(u) = p \cdot u$

onde  $V$  é o volume de produção em unidades,  $p$  é a taxa máxima de produção em unidades por período e  $u$  é o percentual de utilização do recurso.

Exemplo 2: Seja uma unidade de manufatura que produz 3 itens: A, B, C. Os produtos A e B compartilham o mesmo recurso de transformação enquanto o produto C não compartilha seus meios de produção. O lote mínimo e taxa de produção de cada produto é mostrada na tabela abaixo:

$$A: (s, S) = (200, 300)$$

$$B: (s, S) = (200, 300)$$

$$C: (s, S) = (200, 300)$$

Estoque inicial: 250A, 250B, 250C

$$V_A(u_A) = 600 \cdot u_A, \quad \text{onde } 0\% \leq u_A + u_B \leq 100\%$$

$$V_B(u_B) = 500 \cdot u_B, \quad \text{onde } 0\% \leq u_A + u_B \leq 100\%$$

$$V_C(u_C) = 300 \cdot u_C, \quad \text{onde } 0\% \leq u_C \leq 100\%$$

(capacidades constantes)

(200A, 100B, 200C), (250A, 280B, 300C), (100A, 200B, 230C)

Priorizar por ordem de chegada

Enviar no mínimo 80% de cada item do pedido

comportamento da unidade de manufatura ocorrerá de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 4.5 – Evolução da produção

Período	1			2			3		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Pedido	200	100	200	250	280	300	100	200	230
Meta	250	150	250	250	280	300	100	200	230
Estoque inicial	250	250	250	300	300	300	300	300	300
% Utilização recursos	41.6	30	83.3	41.6	56	100	16.7	40	76.7
Produção	250	150	250	250	280	300	100	200	230
Produtos enviados	200	100	200	250	280	300	100	200	230
Estoque final	300	300	300	300	300	300	300	300	300

A utilização do recurso para produção de A, B e C é ajustada para alcançar o nível de estoque determinado pela regra de estoque. Coincidentemente neste exemplo este nível é igual para os três produtos, mas os comportamentos de demanda dos produtos em geral diferem entre si e portanto diferentes políticas de estoque devem ser adotadas.

Exemplo 4: Uma unidade de manufatura com produção contra pedidos. A configuração do sistema se encontra na tabela abaixo.

Tabela 4.6 Unidade de manufatura com produção contra pedidos

Produtos	A, B e C
Meta	Mix de produção
Capacidade produtiva	$V_A(u_A) = 400 \cdot u_A, \quad \text{onde } 0\% \leq u_A + u_B \leq 100\%$ $V_B(u_B) = 320 \cdot u_B, \quad \text{onde } 0\% \leq u_A + u_B \leq 100\%$ $V_C(u_C) = 300 \cdot u_C, \quad \text{onde } 0\% \leq u_C \leq 100\%$

Produto	Lote mínimo (unidades)	Taxa de produção
A	100	400
B	100	320
C	100	300

A taxa de produção efetiva dos produtos

- $V_A(u_A) = 400 \cdot u_A$ , onde  $0\% \leq u_A + u_B \leq 100\%$
- $V_B(u_B) = 320 \cdot u_B$ , onde  $0\% \leq u_A + u_B \leq 100\%$
- $V_C(u_C) = 300 \cdot u_C$ , onde  $0\% \leq u_C \leq 100\%$

Onde :

$V_A$  = volume de produção do produto A.

$u_A$  = taxa de utilização do recurso na produção de A.

$V_B$  = volume de produção do produto B.

$u_B$  = taxa de utilização do recurso na produção de B.

$V_C$  = volume de produção do produto C.

$u_C$  = taxa de utilização do recurso na produção de C.

A taxa de produção máxima pode ser constante ou ter incertezas que podem ser adicionadas ao modelo (quebra de máquina, menor produtividade dos recursos humanos, etc.). A taxa de produção pode ser considerada com um nível de serviço representado por um percentual.

A produção pode ser orientada de duas formas: produzir contra estoque (*make-to-stock*) ou produzir contra pedidos (*make-to-order*). Produzindo contra estoque, a ordem de produção é gerada obedecendo aproximadamente o mix de produtos da meta estabelecida pelas políticas de estoque dos itens produzidos.

Exemplo 3: Uma unidade de manufatura com produção contra estoque. A configuração do sistema se encontra na tabela abaixo.

Produtos	A, B e C
Meta	Política de estoque

	( capacidades constantes)
Carteira de pedidos	(200A, 100B , 200C), (250A, 280B, 300C), (100A, 200B, 230C)
Backorder	Priorizar por ordem de chegada Enviar no mínimo 80% de cada item do pedido

O comportamento da unidade de manufatura ocorrerá de acordo com a tabela abaixo:

Período	1			2			3		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Pedido	200	100	200	250	280	300	100	200	230
Meta	200	160	300	212	150	300	136	211	130
Estoque inicial	0	0	0	0	60	100	212	210	100
% Utilização recursos	50	50	100	53	47	100	34	66	43
Produção	200	160	300	212	150	300	136	211	130
Produtos enviados	200	100	200	0	0	0	250	280	300
Estoque final	0	60	100	212	210	400	98	141	230

No período 1 a meta de produção considera o sortimento de produtos necessário para cumprir o primeiro pedido e utiliza 100% dos recursos pois outros pedidos estão em carteira. A meta no período 2 considera o estoque inicial e o sortimento de produtos do segundo pedido. O estoque disponível do produto B é inferior a 80% do requerido no pedido e portanto os itens deverão esperar o próximo período. No período 3 o segundo pedido é enviado. Supondo que nenhum outro pedido é colocado, a unidade de manufatura terá que realizar a produção do período 4 para satisfazer o terceiro pedido descrito acima.

#### 4.5.6 Política de Compra

A seção anterior descreve regras de produção que orientam a unidade de manufatura na alocação de seus recursos, no modo de produção e na política de estoque de seus produtos finais. Mas essas regras não incluem a gestão dos componentes e sua política de compras. Cada componente deve ter sua política de estoque. A quantidade a ser comprada pode ser uma função de custos associados ao processo de compra (lote econômico), histórico da demanda ou baseada em informações recebidas de outras unidades de negócio.

Exemplo 5: Produção contra pedidos. Supõe-se *leadtime* de compra = 1 período

Tabela 4.8 – Unidade de manufatura com produção contra pedidos – <i>leadtime</i> de compra = 1 período	
Produtos/ Componentes	A, B / C1, C2, C3
Árvore dos produtos	A = 2 C1 + C2 B = 3 C2 + C3
Regra de compra	Política de estoque <ul style="list-style-type: none"> <li>• C1: (s, Q) = (400, 500)</li> <li>• C2: (s, Q) = (500, 800)</li> <li>• C3: (s, Q) = (200, 300)</li> </ul> <p>Estoque inicial: 500C1, 900C2, 200C3</p>
Capacidade produtiva	$V_A(u_A) = 400 \cdot u_A$ , onde $0\% \leq u_A + u_B \leq 100\%$ $V_B(u_B) = 320 \cdot u_B$ , onde $0\% \leq u_A + u_B \leq 100\%$ (capacidades constantes)
Carteira de pedidos	(200A, 100B), (250A, 280B)

#### Produção do 1º período:

- Estoque inicial de componentes: 500C1, 900C2, 200C3
- Pedido colocado: 200A, 100B
- Produção de A:  $400A \times 50\% = 200 A$
- Produção de B:  $320B \times 50\% = 160 B$
- O 1º pedido é satisfeito integralmente e o estoque final é: 0A, 60B
- Estoque final de componentes: 100C1, 160C2, 40C3
- Pedido de compra: 500C1, 800C2, 300C3

#### Produção do 2º período:

- Material recebido: 500C1, 800C2, 300C3
- Estoque inicial de componentes: 600C1, 960C2, 340C3
- Pedido colocado: 250A, 280B
- Produção de A:  $400A \times 53\% = 212 A$
- Produção de B:  $320B \times 47\% = 150 B$
- O 2º pedido não é satisfeito totalmente e o estoque final é: 212A, 210B
- Estoque final de componentes: 176C1, 298C2, 190C3
- Pedido de compra: 500C1, 800C2, 300C3

## 4.6 Políticas de gestão da CS

As políticas citadas acima estão relacionadas aos agentes de produção. A seguir são apresentadas as políticas de gestão da CS que atuam nos agentes de produção e no agente coordenador.

### 4.6.1 Política de gestão Federativa

Esta política considera um sistema de informação distribuído no qual os agentes têm acesso. Além dos fluxos de pedido e material, há o fluxo de informação. O sistema de informação distribuído é responsabilidade do agente coordenador, e o uso da informação nos agentes ocorre por meio de novas políticas.

A **política de estoque** pode utilizar informações adicionais como a informação da demanda, posição de estoque das empresas clientes e pedidos recebidos pelas empresas clientes. Com o uso dessas informações adicionais, surgem novas políticas de estoque:

**1) s atualizado com informação da demanda** – Nesta política, o agente faz uma **média ponderada** da informação da demanda e dos pedidos enviados pelo agente coordenador. A informação da demanda é gerada pelos agentes clientes que representam os pontos de venda. Seja **L** o leadtime de reposição da empresa, **M<sub>p</sub>** a média móvel dos últimos pedidos recebidos pela empresa (o número de períodos é definido pelo usuário), **D<sub>p</sub>** o seu desvio padrão, **z** o fator de nível de serviço, **M<sub>d</sub>** a média móvel das últimas demandas, **D<sub>d</sub>** o seu desvio padrão e **α** o peso da informação. Tem-se então que:

$$s = \alpha(LM_p + \sqrt{L}D_p z) + (1 - \alpha)(LM_d + \sqrt{L}D_d z)$$

**2) s atualizado com informação da empresa cliente** – Nesta política o agente recebe a informação do pedido atual recebido pelo agente cliente e utiliza essa informação para calcular o valor de **s**. Seja **L** o leadtime de reposição da empresa, **M<sub>c</sub>** a média móvel dos últimos pedidos recebidos pela empresa cliente, **D<sub>c</sub>** o seu desvio padrão, **z** o fator de nível de serviço, tem-se então que:

$$s = LM_c + \sqrt{L} D_c z$$

3) **s atualizado com reposição automática** – Nesta política, o agente recebe a informação dos pedidos recebidos pelas empresas clientes e suas respectivas posições de backorder. O agente, baseado nessas informações, envia para cada empresa, uma quantidade de produtos que equivale a: **pedido atual da empresa cliente + Δbackorder** ou **demanda atual + Δbackorder**. O estoque de segurança pode ou não ser considerado. Caso sim, pode-se utilizar uma porcentagem fixa do pedido, um valor fixo ou uma função do desvio padrão dos pedidos da empresa cliente ou da demanda.

A política de **processamento do pedido** pode utilizar as informações das empresas clientes para estabelecer prioridades no atendimento. As prioridades podem estar relacionadas à posição de estoque, posição de backorder, média móvel dos pedidos. Dentre elas pode-se citar:

- **Priorizar o comprador que possui maior *backorder***: neste caso, a regra é disparada somente quando houver um ou mais compradores com pedidos em atraso.
- **Atender pedidos equacionando o estoque relativo dos compradores**: esta regra objetiva atender os compradores de forma que seus estoques relativos (percentual de estoque em relação a sua demanda média) sejam iguais no período seguinte.
- **Priorizar o comprador cuja flutuação dos pedidos é menor**: esta regra tem como objetivo premiar aqueles compradores que possuem um fluxo de pedidos mais estável.

No próximo capítulo serão apresentados exemplos de simulação de diferentes cenários de Cadeias de Suprimentos implementados no ambiente proposto nesta tese.

## Capítulo 5

### **Experimentação dos modelos de Cadeia de Suprimentos**

Este capítulo discute a aplicação de simulação para a análise de um sistema produtivo sob diferentes estratégias. Neste estudo, são analisados quatro cenários de gestão:

- Cenário 1: Troca de informação tradicional;
- Cenário 2: Compartilhamento da informação de demanda;
- Cenário 3: Decisão de produção e distribuição centralizada na Fábrica.
- Cenário 4: Troca de informação tradicional com restrição de capacidade da Fábrica

Os índices de desempenho considerados para comparação das três alternativas de cenário são:

- Nível de serviço;
- Nível de estoque mínimo, médio e máximo;
- Nível de pedidos mínimo, médio e máximo;
- Razão dos desvios padrões dos pedidos entre empresas consecutivas.

O nível de serviço é o percentual dos itens (que foram pedidos) entregues no prazo. Entretanto, este indicador isolado não indica eficiência de uma empresa uma vez que altos estoques podem contribuir para melhoria deste índice, contudo resultando em alto custo. O nível estoque é outro indicador importante que analisado juntamente com o nível de serviço pode indicar o desempenho de uma empresa. O nível de pedidos e a razão entre os desvios padrões dos

pedidos de empresas consecutivas indicam a taxa de crescimento da variação dos pedidos, o que representa uma forma de medir o efeito Chicote (Chen *et al*, 2000) ao longo de uma cadeia produtiva.

A política de estoque adotada para todas as empresas na simulação é a política S com atualização periódica (SIMCHI-LEVI, 2000). A cada período, as empresas colocam pedidos aos seus fornecedores para elevar seus estoques ao nível S que é atualizado periodicamente baseado no histórico da demanda ou em alguma previsão. Duas formas de previsão são utilizadas nos experimentos: a média móvel e a suavização exponencial. Na **média móvel**, a média  $\mu_t$  (Equação 1) e o desvio padrão  $\sigma_t$  (Equação 2) no período t são baseados nos “n” últimos pedidos ( $p_i$ ):

$$\mu_t = \frac{\sum_{i=t-n+1}^t p_i}{n} \quad (\text{Eq.1})$$

$$\sigma_t^2 = \frac{\sum_{i=t-n+1}^t (p_i - \mu_t)^2}{n-1} \quad (\text{Eq.2})$$

E o nível  $S_t$  de estoque (Equação 3), a ser atualizado no período t, é calculado utilizando esse valores.

$$S_t = L\mu_t + \sigma_t\sqrt{L} z \quad (\text{Eq. 3})$$

onde, L é o tempo de reposição (soma do tempo do fluxo de pedido com o tempo do fluxo de material). A componente  $L\mu_t$  corresponde ao estoque necessário para atender uma demanda por L períodos de simulação até a chegada do pedido. Como a demanda é aleatória faz-se necessário um estoque de segurança, calculado pela segunda parcela da Equação 3 utilizando o desvio padrão do período t ( $\sigma_t$ ) e o fator z relacionado ao nível de serviço (Por exemplo,  $z = 1,88$  corresponde a 98% de atendimento).

Na **suavização exponencial** (Equação 4), calcula-se uma previsão a cada período utilizado a seguinte expressão:

$$\bar{p}_{t+1} = f p_t + (1-f)\bar{p}_t \quad 0 \leq f \leq 1 \quad (\text{Eq. 4})$$

O parâmetro  $f$  é conhecido como constante de suavização. Quanto mais  $f$  se aproxima de 1, maior será o peso das observações mais recentes na previsão. O nível  $S_t$  (Equação 5) é obtido pela seguinte expressão:

$$S_t = L \bar{p}_{n+1} + E_t \quad (\text{Eq. 5})$$

A componente  $L \bar{p}_{n+1}$  corresponde ao estoque necessário para atender uma demanda por  $L$  períodos de simulação até a chegada do pedido. A segunda parcela da Equação 5 corresponde ao estoque de segurança (Equação 6) e é definido como um valor percentual da primeira parcela ou uma constante:

$$E_t = \alpha L \bar{p}_{n+1} \quad \text{ou} \quad E_t = \text{cte} \quad (\text{Eq. 6})$$

Simchi-Levi (2000) sugere uma inequação para medir o efeito Chicote. Essa inequação é a razão entre as variâncias dos pedidos gerados pelos pedidos recebidos em uma determinada empresa (Equação 7).

$$\frac{\text{VAR}(\text{pedidos gerados})}{\text{VAR}(\text{pedidos recebidos})} \geq 1 + \frac{2L}{p} + \frac{2L^2}{p^2} = 1,88 \quad (\text{para } L = 1 \text{ e } p = 3) \quad (\text{Eq. 7})$$

onde  $L$  é o tempo de reposição e  $p$  o número de pedidos analisados no cálculo da média. Para obter a razão entre os desvios padrões dos pedidos, calcula-se a raiz quadrada do número obtido acima, resultando em 1,37 ou 37 % de acréscimo no mínimo.

O pedido colocado na empresa fornecedora é o mesmo pedido gerado pela empresa cliente. Portanto, na Equação 7, pode-se utilizar pedidos gerados pelas empresas subseqüentes. Calculando essa razão, é obtida a estimativa do efeito Chicote de uma empresa para a sua fornecedora.

## 5.1 Modelando o sistema físico

Esta seção apresenta o processo de modelagem da CS utilizando o ambiente desenvolvido nesta tese. O ambiente pode ser visto na Figura 5.1. O ambiente possui um menu com opções de criar, abrir e salvar modelos, edição do modelo (será explicado mais tarde) e a opção para simular o modelo. Há uma barra com 5 botões com as seguintes funções respectivamente: selecionar empresa, inserir empresa, remover empresa, inserir relação entre empresas, remover relação entre empresas. Através dessa barra de botões, o modelo de simulação de CS será criado.

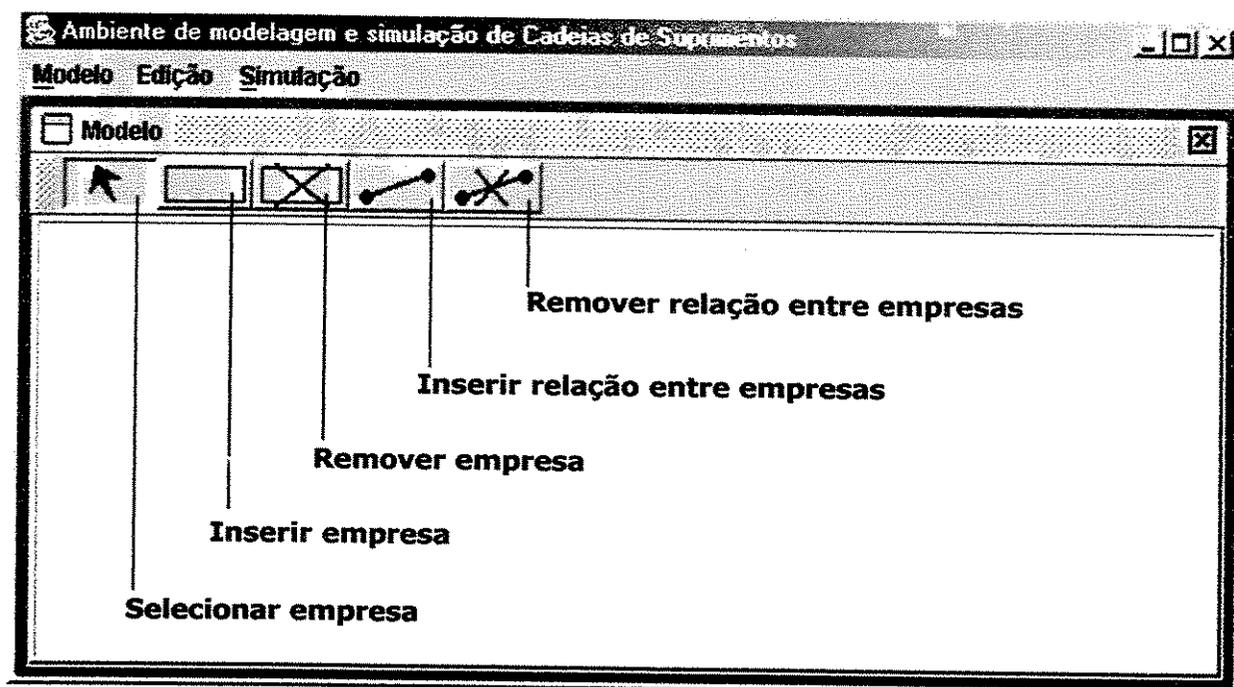


Figura 5.1 – Ambiente de modelagem e simulação de Cadeias de Suprimentos

Selecionando o botão “Inserir empresa” e posicionando em algum ponto da região branca, o ícone de uma empresa é inserido no diagrama. Selecionando esse ícone, um gabarito é aberto para que o usuário selecione o papel da empresa. A Figura 5.2 mostra as opções: Fornecedor (Supplier), Distribuidor (Distributor), Fábrica (Manufacturer), Varejista (Retailer) e o ponto de venda representado pelo Cliente (Client). Nesse caso, a opção Cliente foi selecionada e o nome do ícone digitado pelo usuário foi CLIENTE.

Editando o ícone Cliente (Figura 5.3), pode-se escolher o comportamento da demanda gerada por ele. A opção escolhida, como exemplo, foi a distribuição Normal com média 100 e

desvio padrão 15. Portanto a cada período de simulação, o agente de software criado para representar o Cliente irá gerar uma demanda com este comportamento. A opção “Demand file” permite importar a demanda de um arquivo. Esta opção será utilizada nos experimentos apresentados neste capítulo.

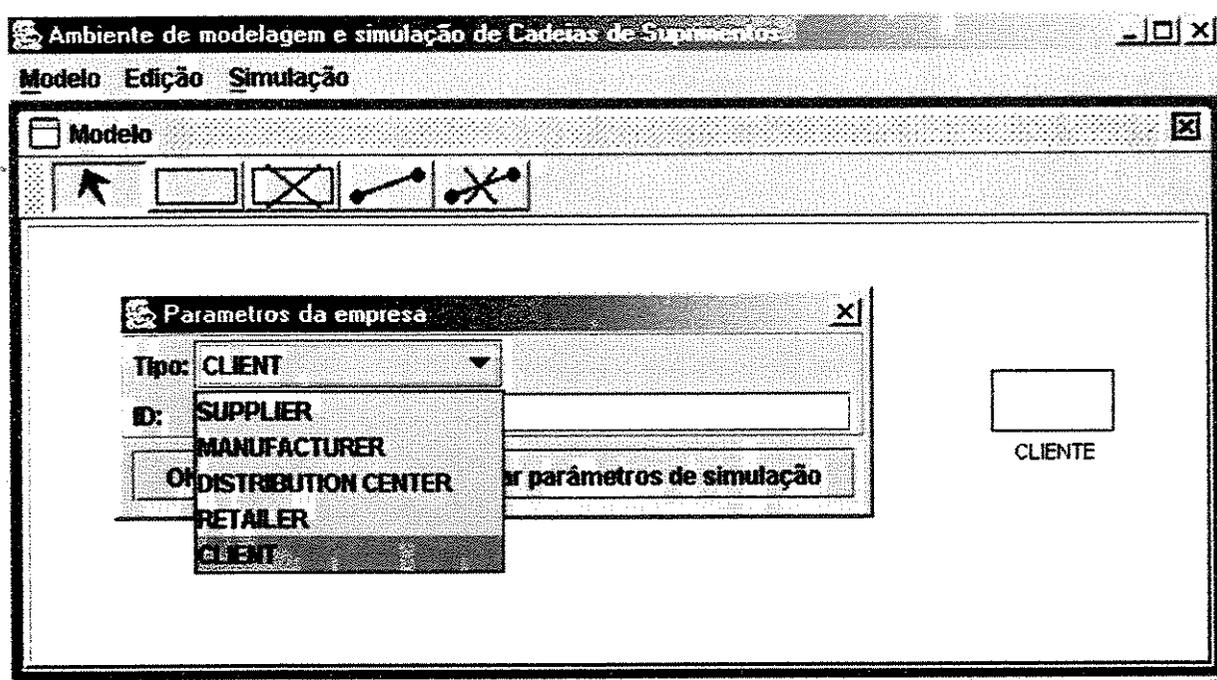


Figura 5.2 – Edição dos parâmetros da empresa.

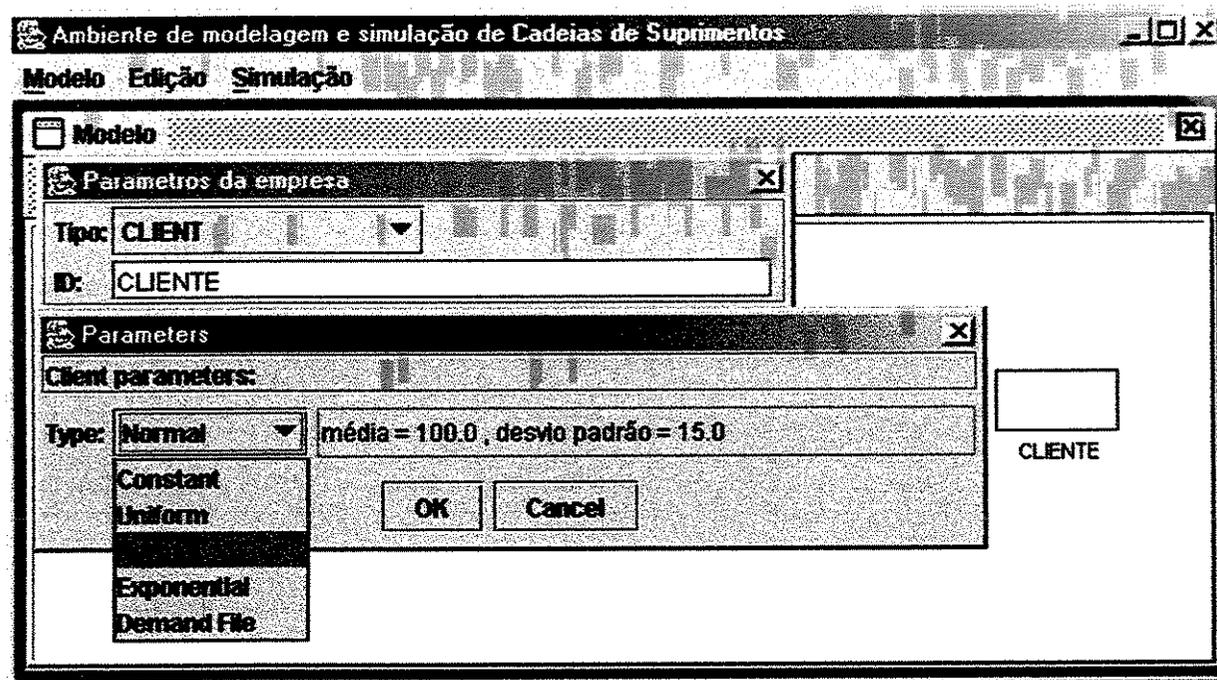


Figura 5.3 – Edição do comportamento da demanda.

O próximo passo será inserir a empresa Varejista e editar seus parâmetros (Figura 5.4). A seta que liga o ícone Varejista ao ícone Cliente define o fluxo de material. Essa seta deve ser inserida pelo usuário.

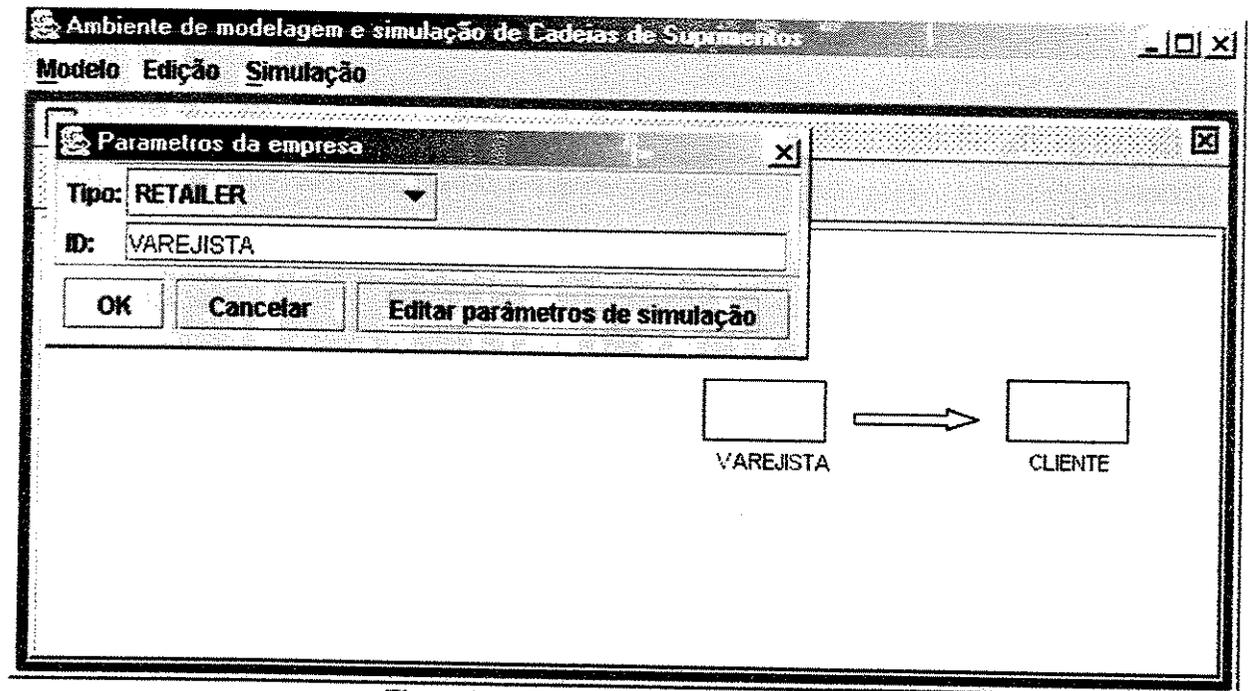


Figura 5.4 – Edição da empresa VAREJISTA.

No caso do Varejista, uma janela de parâmetros diferente é aberta. Essa janela permite editar (Figura 5.5):

- **Leadtime do material e da informação:** esses campos configuram quanto tempo (em períodos de simulação) o pedido leva para chegar ao fornecedor e quanto tempo o material leva para ser entregue ao cliente.
- **Frequência de pedidos e entrega:** esses campos configuram qual a frequência com que os pedidos são colocados ao fornecedor e a frequência com que os materiais (componentes e produtos) são entregues a empresa cliente.
- **Previsão:** a previsão de demanda é baseada em 3 elementos. Ela pode ser baseada nos pedidos recebidos pela empresa, pela demanda gerada no ponto de venda e por informação externa gerada por alguma forma de colaboração entre empresas. Essas previsões utilizam as duas formas de cálculo apresentadas no capítulo 4: a média móvel e a média móvel com ponderação exponencial.

- **Estoque:** esse campo configura a regra de estoque que será utilizada pela empresa. As opções implementadas foram apresentadas no capítulo 4.
- **Compras:** define as regras de como a empresa coloca pedidos ao fornecedor.

Figura 5.5 – Parâmetros de previsão, estoque e compras

Repetindo essas operações, define-se uma CS conforme a Figura 5.6.

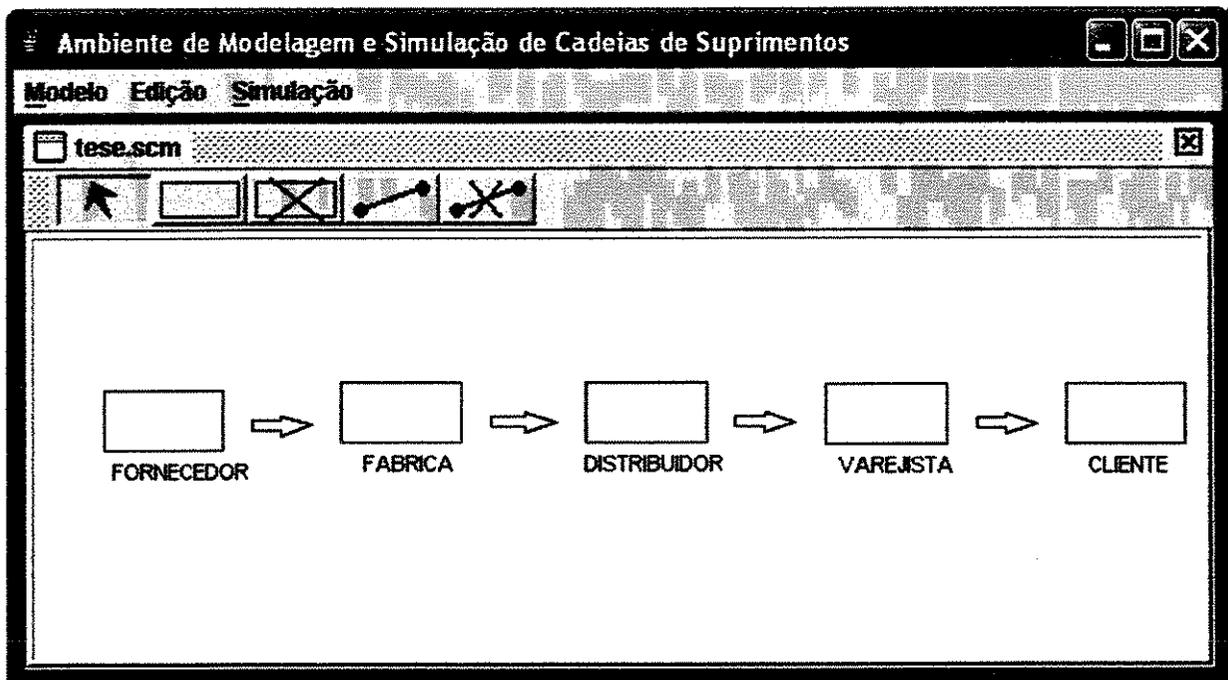


Figura 5.6 – Representação gráfica do modelo de CS utilizado nos experimentos

O ícone Fábrica, além do ícone Cliente, possui um gabarito de parâmetros diferente dos demais. A Fábrica possui um sistema de manufatura cuja regra de operação deve ser definida no gabarito (Figura 5.7). O sistema produtivo pode produzir para estoque ou produzir por pedidos.

**Parâmetros de simulação**

Leadtime da informação (empresa-fornecedor):	<input type="text" value="0"/>	Leadtime do material (empresa-cliente):	<input type="text" value="1"/>
Frequência de pedidos (empresa-fornecedor):	<input type="text" value="1"/>	Frequência de entrega (empresa-cliente):	<input type="text" value="1"/>
Previsão:	<input type="text" value="Baseado nos pedidos"/>	Pedidos - Média móvel (periodos = 0) Demanda - Média móvel (periodos = 0) Informação - Média móvel (periodos = 0)	
Estoque:	<input type="text" value="(s,S)"/>	estoque inicial = 0 s = 0 , S = 0	
Produção:	<input type="text" value="produzir para estoque"/>	lote mínimo= 1 , capacidade= 1 , X.componentes= 1 Política de estoque: (s,S) (s= 0.0 S= 0.0)	
Compra:	<input type="text" value="-"/>		

Ok Cancelar

Figura 5.7 – Janela de parâmetros da Fábrica

Os experimentos descritos neste capítulo consideram a estrutura de CS linear da Figura 5.6 composta por: um Cliente, um Varejista, um Distribuidor, uma Fábrica e um Fornecedor.

## 5.2 Simulando um modelo de CS

Após o processo de modelagem, o usuário pode iniciar a simulação do modelo de CS escolhendo a opção Simulação no menu principal do ambiente. O ambiente irá disparar o coordenador da simulação (Figura 5.8) que irá convidar os agentes de software, que representam as empresas, para a simulação. Não importa se os agentes de software estão no mesmo computador, na mesma rede local, ou conectados na Internet. O que importa é que os agentes de software possam ser encontrados pelo coordenador e que estejam esperando um convite para simulação.

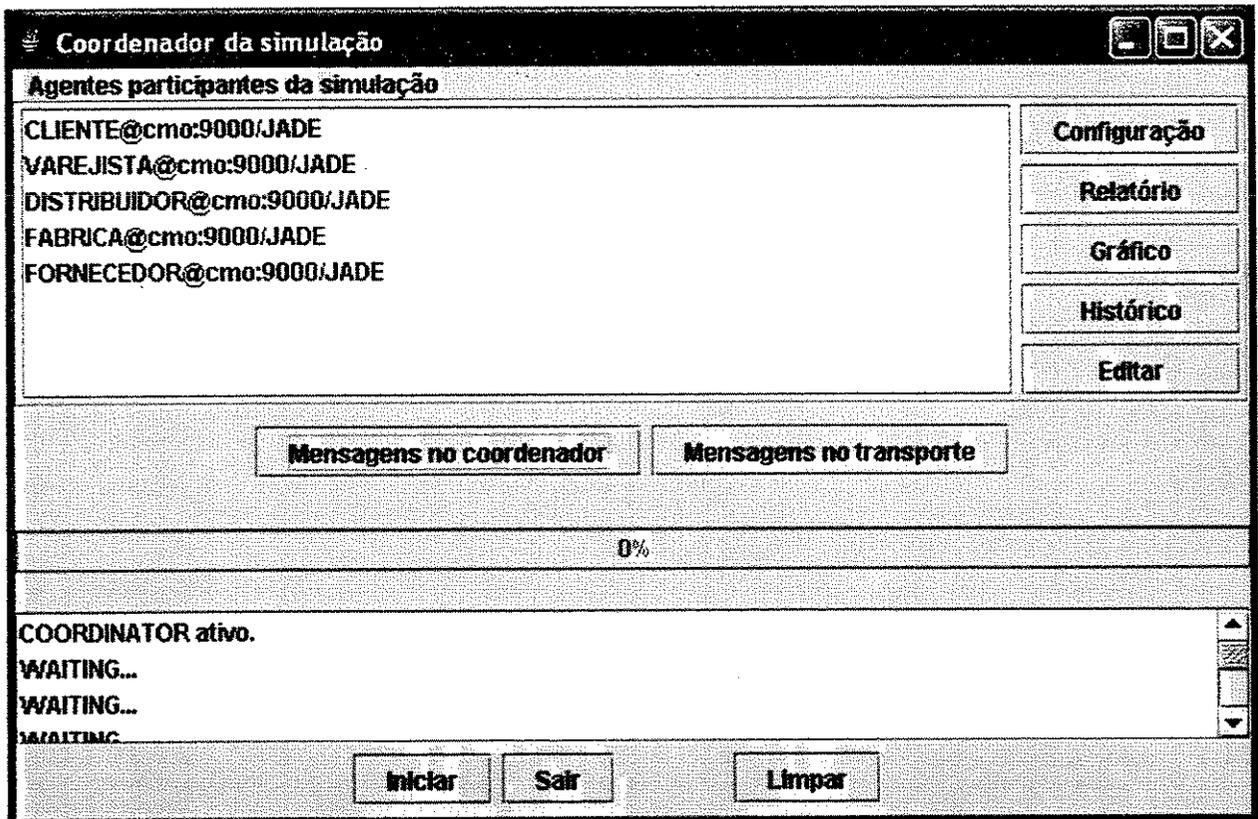


Figura 5.8 – Janela de configuração do coordenador de simulação

A lista de participantes na Figura 5.8 mostra que os agentes responderam ao convite para simulação. O coordenador fica em estado de espera até que o usuário selecione Iniciar (a simulação). Existe um botão no canto superior direito da Figura 5.8 chamado “Configuração”. Esta opção permite configurar o número de períodos de simulação e o número de períodos de aquecimento da simulação. O período de aquecimento é utilizado para simular o modelo durante um tempo até que o mesmo entre em estado de equilíbrio. Nesse período, não há coleta estatística do que ocorre na simulação de forma que as condições iniciais não interfiram nos resultados da simulação.

Após a simulação, o usuário pode gerar relatórios estatísticos, gráficos e olhar o histórico de cada empresa participante. O histórico armazena todas as decisões tomadas pela empresa ao longo da simulação. Na análise dos resultados, serão utilizadas as ferramentas de relatórios e gráficos.

### 5.3 Cenário 1: Troca tradicional de informação

As características do modelo são apresentadas na Tabela 5.1. Neste experimento, o tempo do fluxo de informação é igual a zero e o tempo do fluxo de material é igual a 2 períodos de simulação. A demanda, gerada externamente, apresenta dois picos que se repetem em intervalos de aproximadamente 50 períodos, Figura 5.9. A demanda média é de 90,1 e seu desvio padrão é de 11,6.

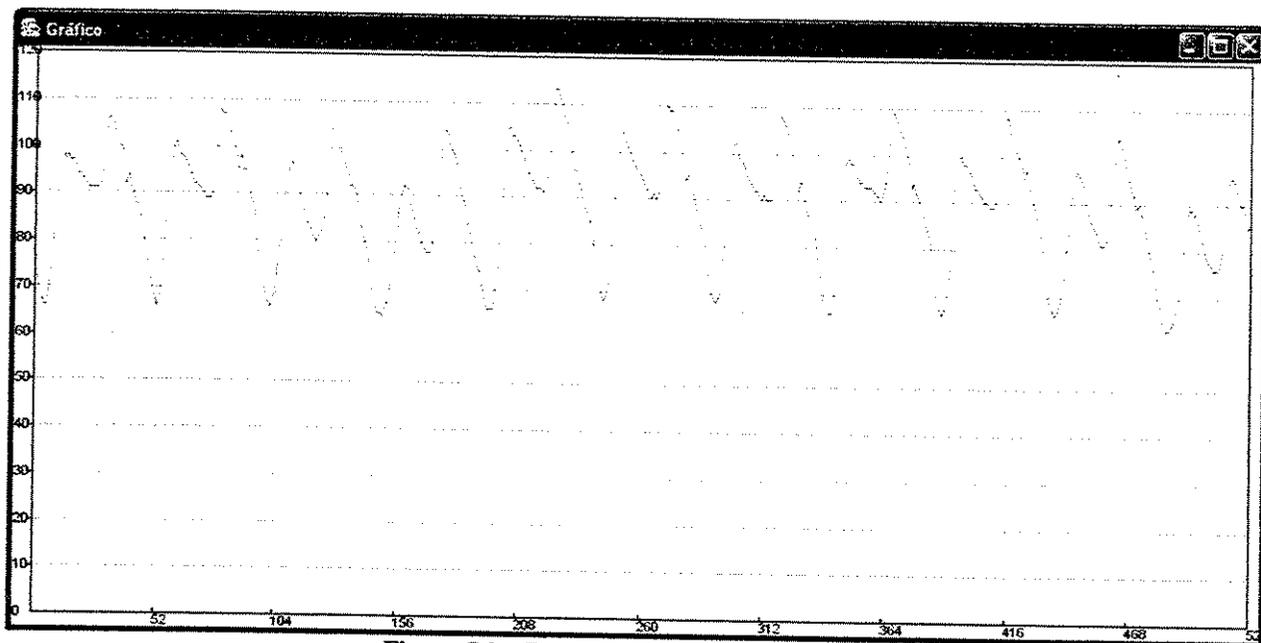


Figura 5.9 – Demanda utilizada na simulação.

Todos os cenários utilizam essa demanda abrangendo 520 períodos de simulação com 50 períodos de aquecimento.

Tabela 5.1 – Parâmetros do modelo e da simulação	
Demanda	Sazonal
Tempo do fluxo de informação	Nenhum
Tempo do fluxo de material	2 períodos
Política de estoque adotada pelos elementos da CS	Média móvel (3 períodos, $z = 1,88$ )
Política de produção	Produz para estoque ( <i>Make-to-Stock</i> ) sem restrição de capacidade
Número de períodos de aquecimento	50
Número de períodos por simulação	520

Os 50 primeiros períodos de simulação são usados para que o sistema entre em um estado de equilíbrio e para que as condições iniciais não interfiram nos resultados. Os resultados estão na Tabela 5.4. A Figura 5.10 mostra os níveis de estoque e a Figura 5.11 mostra os pedidos das empresas respectivamente.

#### 5.4 Cenário 2: Compartilhamento da informação da demanda

Neste cenário, a informação da demanda é passada a todos os participantes da CS em tempo real. Cada empresa calcula o valor S considerando a média ponderada entre o pedido do cliente imediato e a informação da demanda (cliente final). No Varejista o pedido é a própria demanda. As regras para este cenário foram configuradas da seguinte forma (Tabela 5.2):

- Varejista – utiliza suavização exponencial baseada na demanda (constante de suavização igual a 0,9) mais 10% de estoque de segurança;
- Distribuidor – utiliza média móvel baseada nos pedidos com n igual a 3 e z igual 1,88;
- Fábrica – utiliza média móvel com n igual a 3 e z igual 1,88 baseando-se na demanda e nos pedidos do distribuidor com pesos 70% e 30% respectivamente;
- Fornecedor – utiliza média móvel baseada na demanda com n igual a 3 e z igual a 1,88.

Os resultados deste cenário estão na Tabela 5.4. As Figuras 5.12 e 5.13 mostram os níveis de estoque e pedidos das empresas respectivamente.

**Tabela 5.2 – Parâmetros do modelo e da simulação**

Demanda	Sazonal
Tempo do fluxo de informação	Nenhum
Tempo do fluxo de material	2 períodos
Política de estoque: Varejista	Suavização exponencial com fator igual 0.9
Política de estoque: Distribuidor	Média móvel baseada nos pedidos ( $n = 3, z = 1,88$ )
Política de estoque: Fábrica	Média móvel ( $n = 3, z = 1,88$ ) baseada em 30% nos pedidos e 70% na demanda
Política de estoque: Fornecedor	Média móvel baseada na demanda ( $n = 3, z = 1,88$ )
Política de produção	Produz para estoque ( <i>Make-to-Stock</i> ) sem restrição de capacidade
Número de períodos de aquecimento	50
Número de períodos por simulação	520
Obs: n = número de períodos considerados na média móvel, z = fator de nível de serviço	

### 5.5 Cenário 3: Decisão de produção e distribuição centralizadas na Fábrica

Neste cenário, a Fábrica, baseada nas informações de demanda, assume a gestão da CS e estabelece o ritmo de produção visando suprir as empresas à jusante (Distribuidor e Varejista) que terão seus pedidos e seus estoques gerenciados pela Fábrica (DISNEY & TOWILL, 2003). A configuração do modelo se encontra na Tabela 5.3 e os resultados estão na Tabela 5.4. Os gráficos 5.14 e 5.15 mostram os níveis de estoque e pedidos das empresas respectivamente.

Demanda	Sazonal
Tempo do fluxo de informação	Nenhum
Tempo do fluxo de material	2 períodos
Política de estoque: Varejista	Nenhuma
Política de estoque: Distribuidor	Empurra o estoque para o Varejista
Política de estoque: Fábrica	Média móvel ( $n = 3, z = 1,88$ ) baseada em 30% nos pedidos e 70% na demanda, empurra o estoque para o Distribuidor
Política de estoque: Fornecedor	Média móvel baseada na demanda ( $n = 3, z = 1,88$ )
Política de produção	Produz para estoque ( <i>Make-to-Stock</i> ) sem restrição de capacidade
Número de períodos de aquecimento	50
Número de períodos por simulação	520
Obs: $n$ = número de períodos considerados na média móvel, $z$ = fator de nível de serviço	

### 5.6 Cenário 4: Troca tradicional de informação com restrição de produção na Fábrica

Este cenário possui as mesmas configurações do cenário 1, exceto que a capacidade máxima de produção da Fábrica por período é de 180 produtos. Os resultados estão na Tabela 5.4. Os gráficos 5.16 e 5.17 mostram os níveis de estoque e pedidos das empresas respectivamente.

## 5.7 Resultados dos cenários

Tabela 5.4 – Estatísticas de estoque e pedidos dos 4 cenários de simulação

### Cenário 1 - Troca tradicional de informação

Empresas	Estoque					Pedidos				
	Média	D.P.	Min	Max	Nível de serviço	Média	D.P.	Min	Max	Acrésc. D.P.
-										
FORNECEDOR	227,3	107,8	26	607	78,8 %	90,8	73,7	0	226	39,7 %
FABRICA	166	39,1	13	269	86,8 %	90,3	52,7	0	226	153,8 %
DISTRIBUIDOR	101,8	22,3	13	174	85 %	90,1	20,8	37	153	43,5 %
VAREJISTA	97,8	20	13	167	82,9 %	90	14,5	57	129	24,3 %

### Cenário 2 - Compartilhamento da informação da demanda

Empresas	Estoque					Pedidos				
	Média	D.P.	Min	Max	Nível de serviço	Média	D.P.	Min	Max	Acrésc. D.P.
-										
FORNECEDOR	193,7	38,3	60	280	85,9 %	90,3	43,6	0	208	23,1 %
FABRICA	162,8	37,9	60	230	84,7 %	90,2	35,4	13	195	75,2 %
DISTRIBUIDOR	100,9	19,5	59	178	84,7 %	90	20,2	42	150	42,6 %
VAREJISTA	104,2	18	60	178	88,5 %	90	14,2	60	128	21,8 %

### Cenário 3 - Decisão de produção e distribuição centralizadas na Fábrica

Empresas	Estoque					Pedidos				
	Média	D.P.	Min	Max	Nível de serviço	Média	D.P.	Min	Max	Acrésc. D.P.
-										
FORNECEDOR	187,8	30,7	105	266	98,8 %	90,3	31,4	26	176	33,3 %
FABRICA	169,5	27,2	100	219	100 %	90,2	23,6	42	154	62,3 %
DISTRIBUIDOR	89,9	14,4	64	132	-	0	0	0	0	-
VAREJISTA	119,4	23,7	83	179	90,9 %	90	14,2	60	128	21,8 %

### Cenário 4 - Troca tradicional de informação com restrição de produção na Fábrica

Empresas	Estoque					Pedidos				
	Média	D.P.	Min	Max	Nível de serviço	Média	D.P.	Min	Max	Acrésc. D.P.
-										
FORNECEDOR	241,6	111,1	51	654	82,1 %	90,6	74,9	0	226	37,9 %
FABRICA	107,8	36,7	0	194	73,1 %	90,2	54,3	0	220	161,5 %
DISTRIBUIDOR	100	28,1	0	180	73,4 %	90,1	20,8	37	153	43,5 %
VAREJISTA	97,3	25,9	0	180	71,7 %	90	14,5	57	129	24,3 %

## 5.8 Gráficos dos cenários

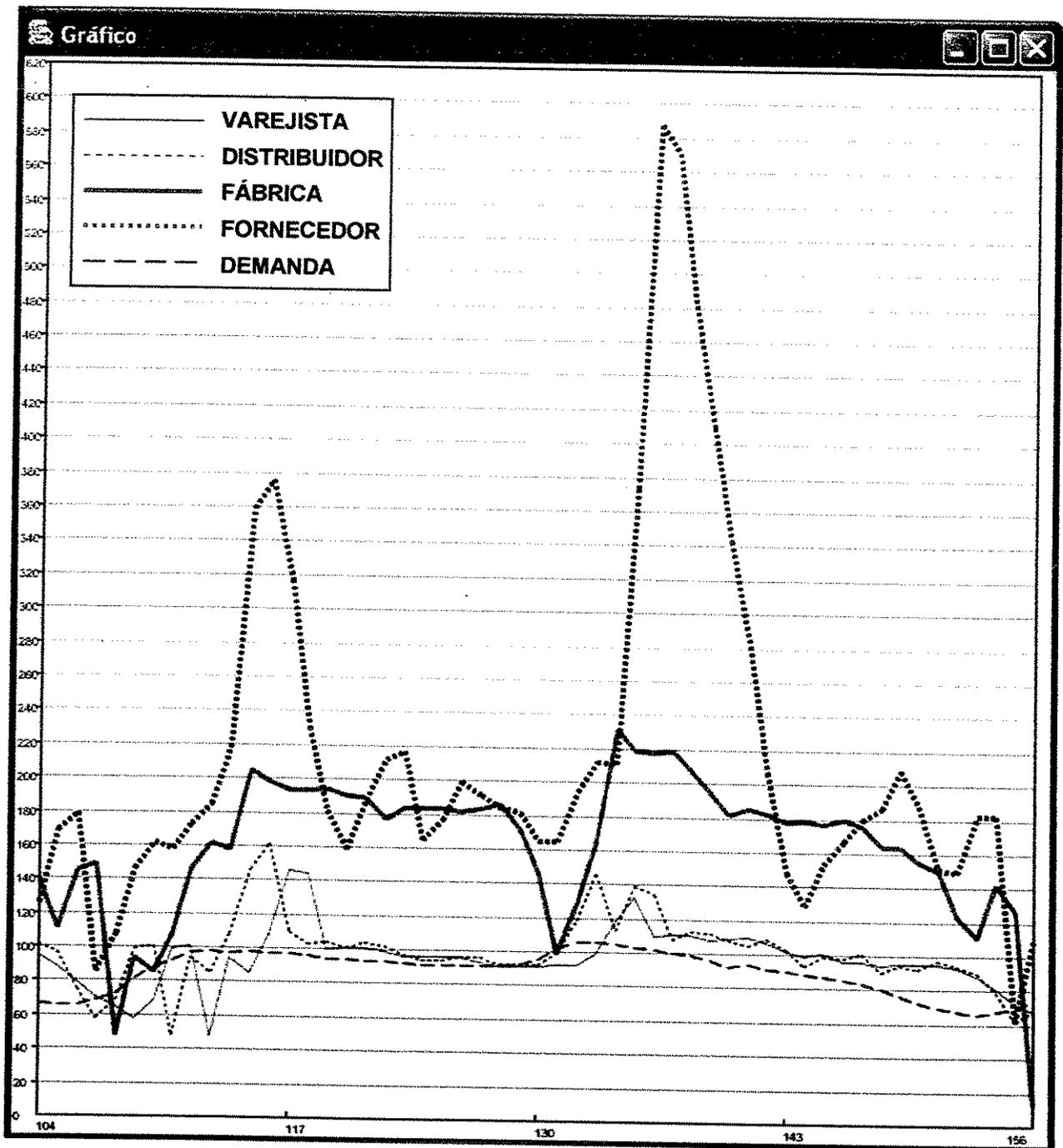


Figura 5.10 – Estoque das empresas e a demanda (cenário 1)

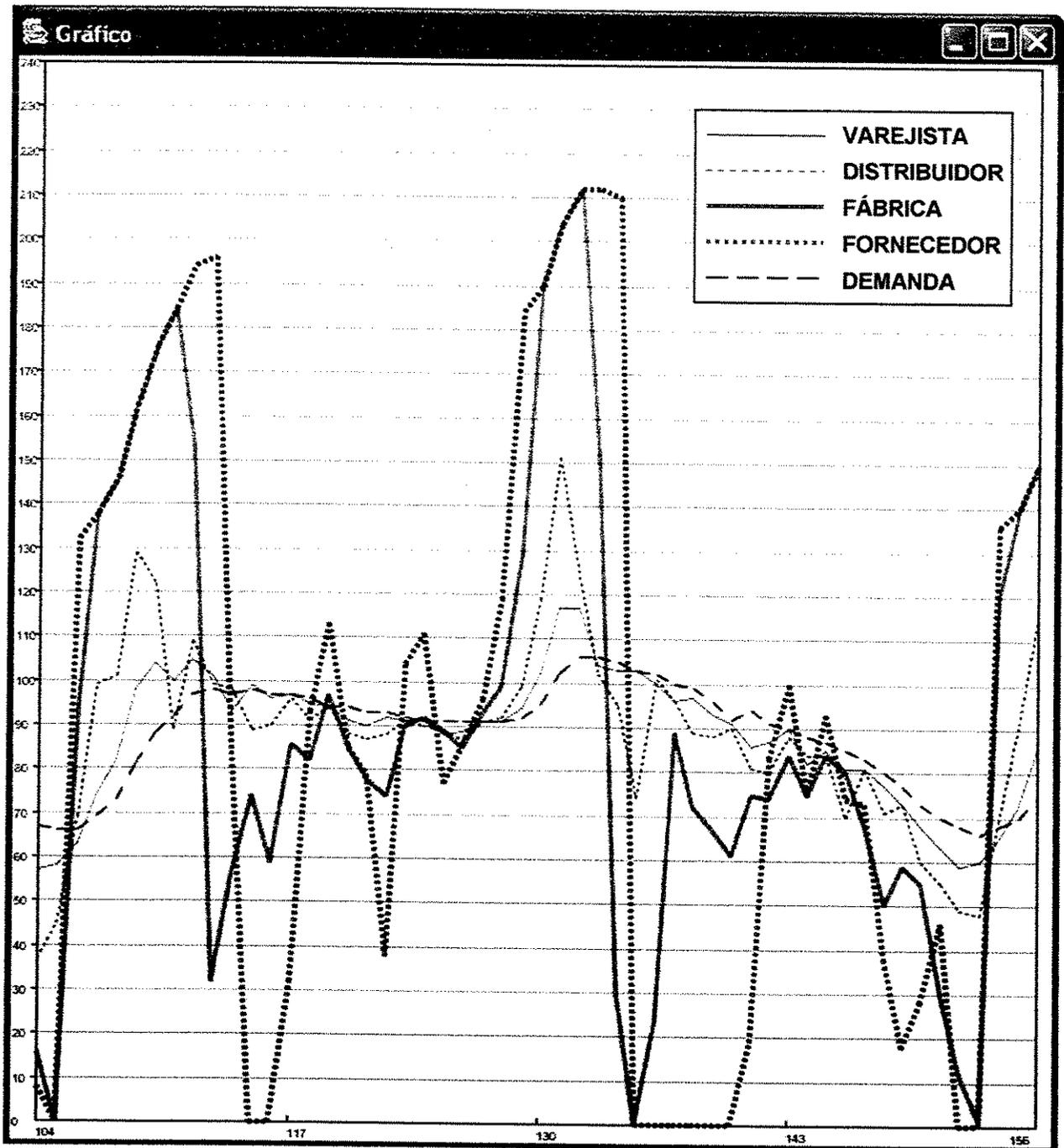


Figura 5.11 – Pedidos das empresas e a demanda (cenário 1)

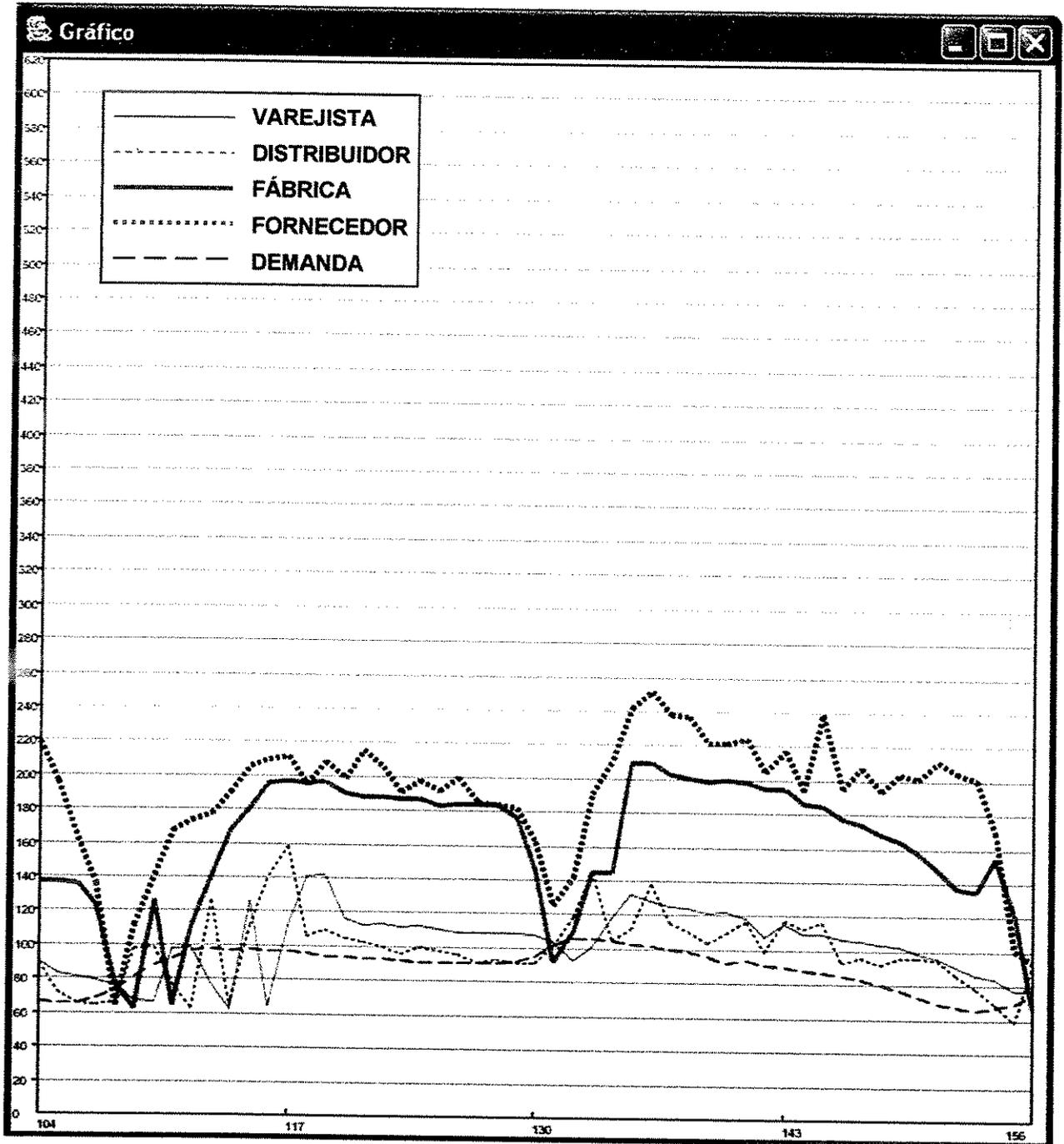


Figura 5.12 – Estoque das empresas e a demanda (cenário 2)

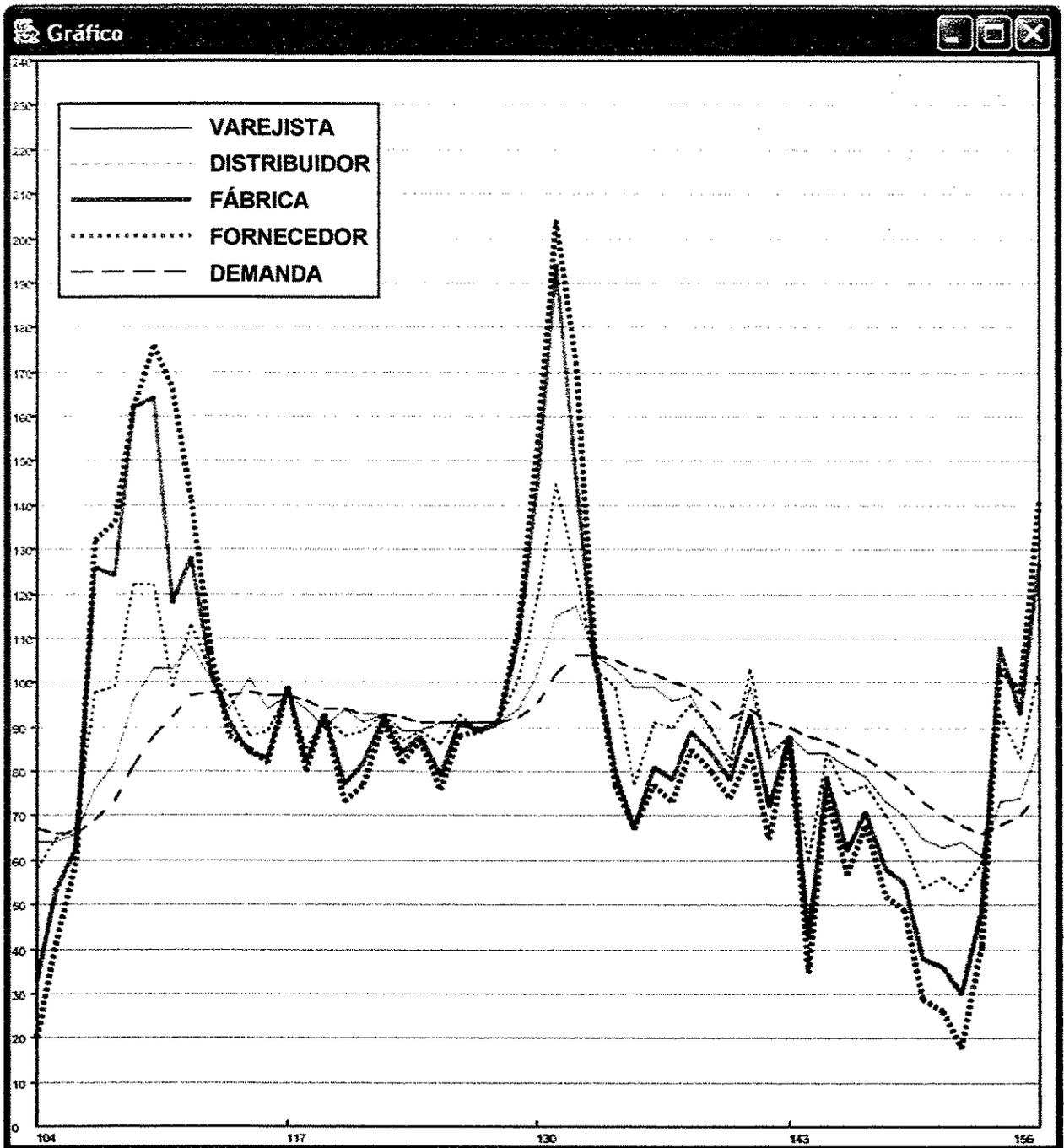


Figura 5.13 – Pedidos das empresas e a demanda (cenário 2)

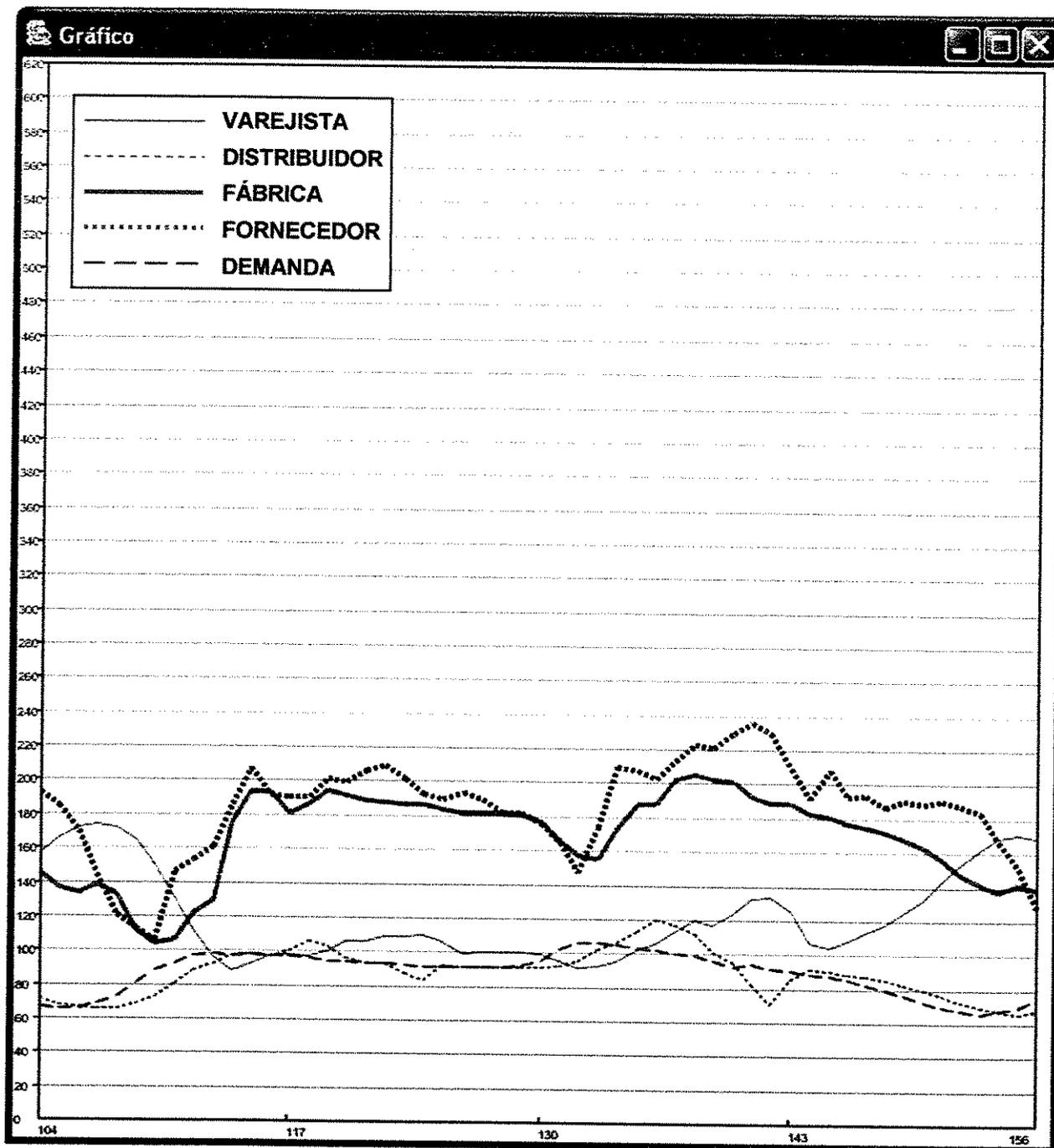


Figura 5.14 – Estoque das empresas e a demanda (cenário 3)

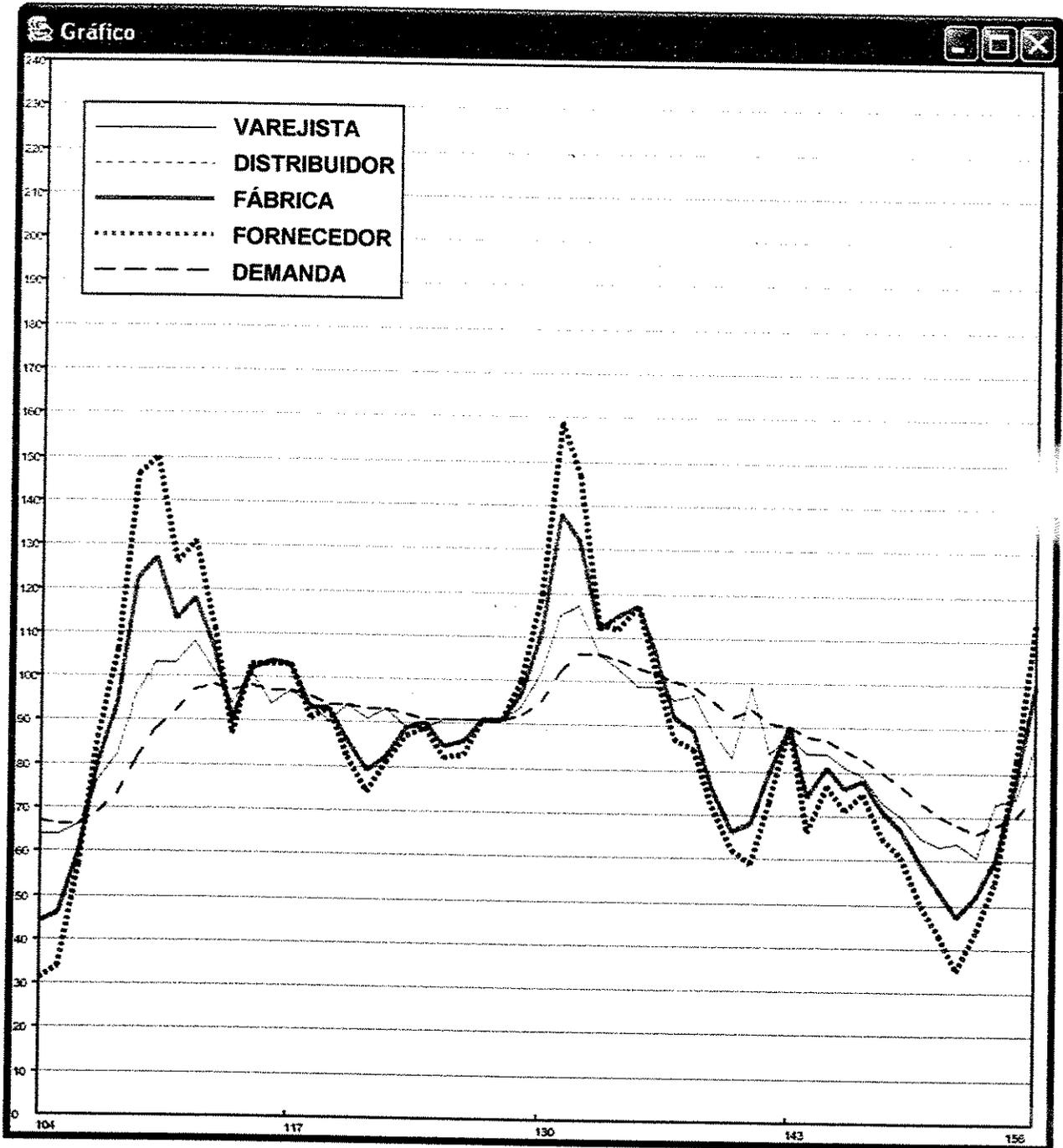


Figura 5.15 – Pedidos das empresas e a demanda (cenário 3)

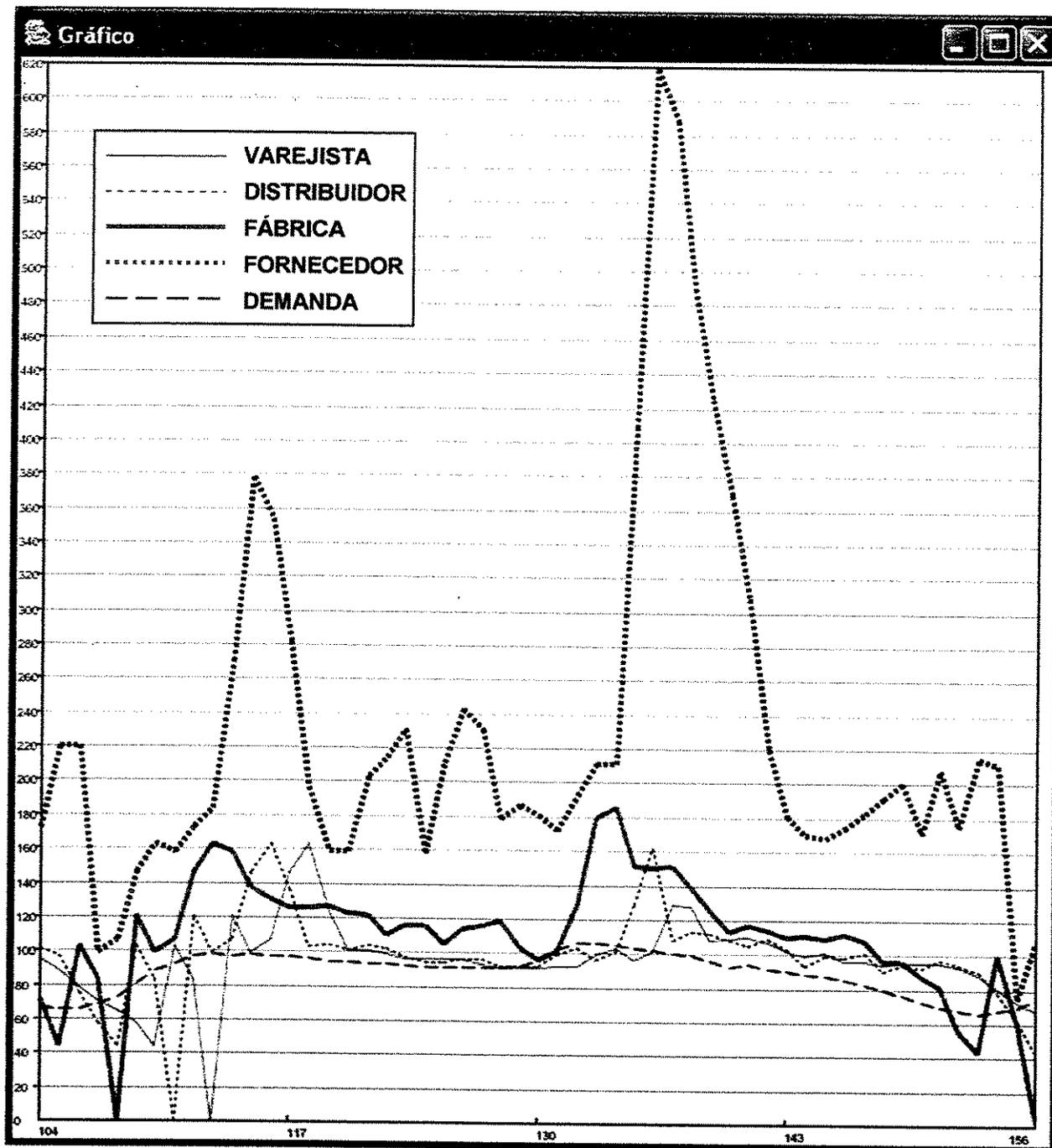


Figura 5.16 – Estoque das empresas e a demanda (cenário 4)

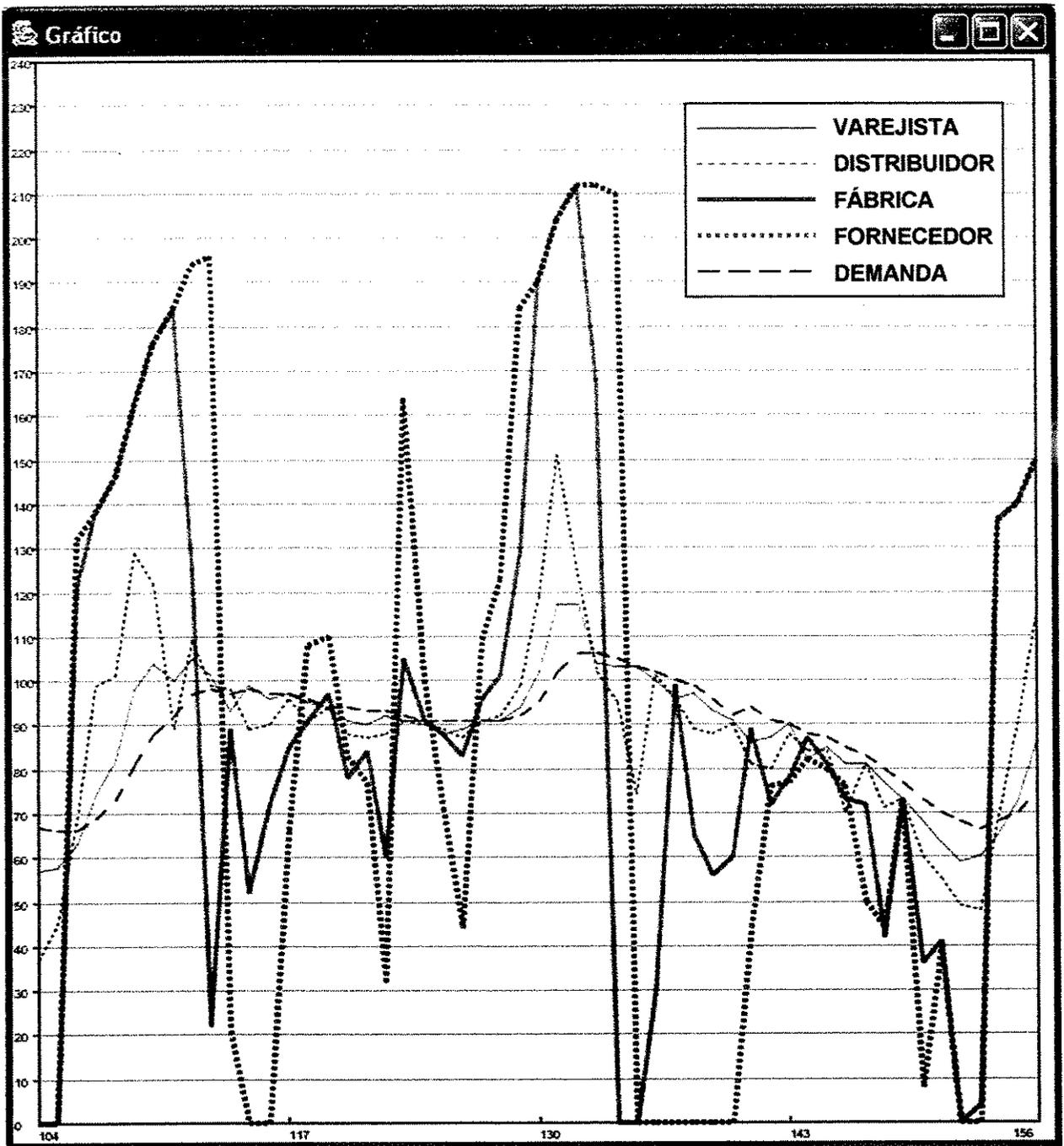
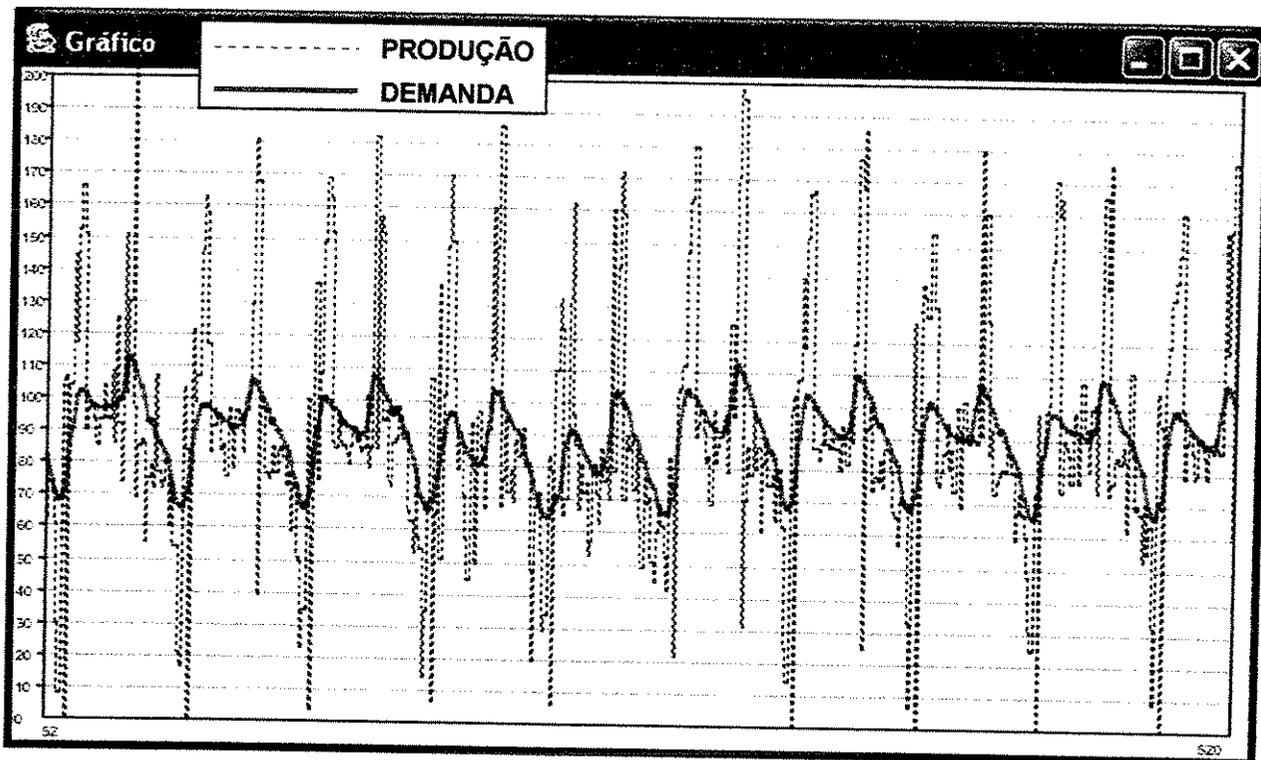
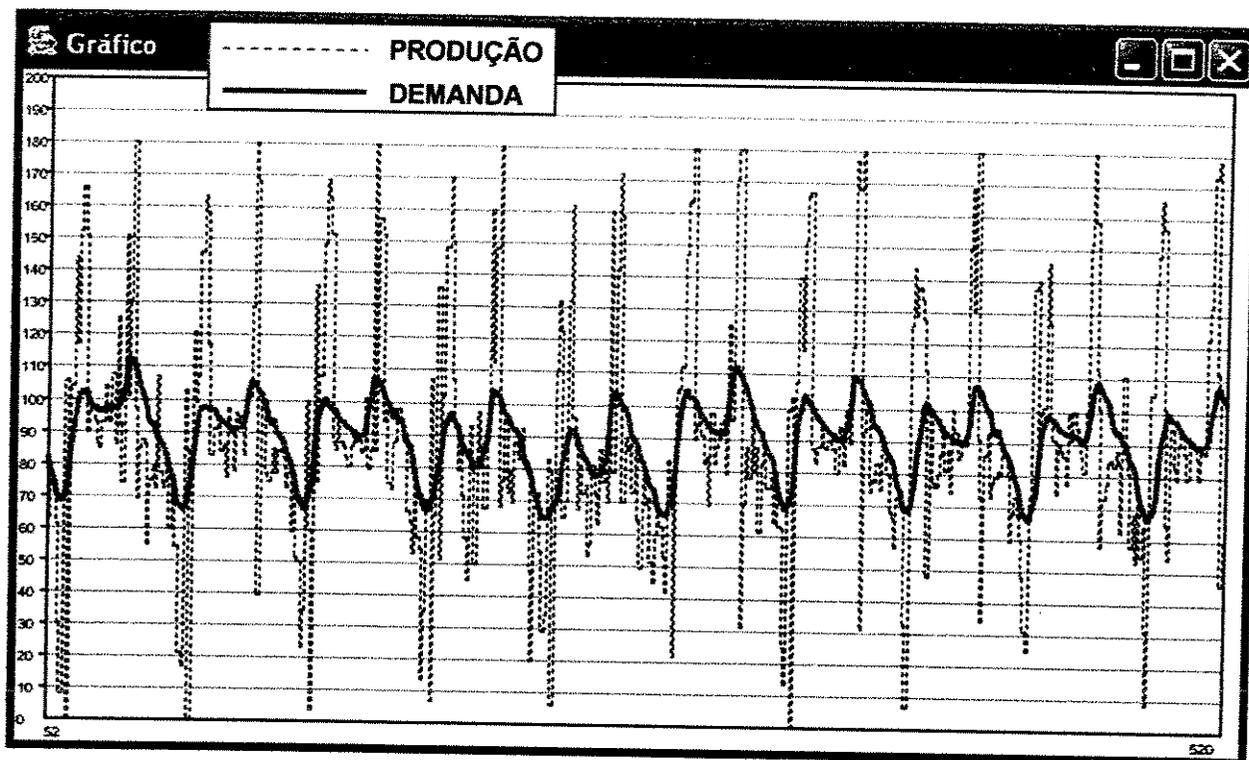


Figura 5.17 - Pedidos das empresas e a demanda (cenário 4)



(a) Nível de produção sem restrição de capacidade frente às oscilações da demanda



(b) Nível de produção com restrição de capacidade frente às oscilações da demanda

Figura 5.18 – (a) Níveis de produção sem restrição de capacidade (b) com restrição de capacidade

## **5.9 Análise dos resultados**

A seguir os resultados dos quatro cenários serão analisados e comparados quanto ao desempenho segundo os quatro indicadores estabelecidos.

### **5.9.1 Cenário 1: Troca tradicional de informação**

Os níveis de serviço das 4 empresas estão abaixo da meta da política de estoque (98%). Isto ocorre porque a deficiência no suprimento do fornecedor influi na queda do nível de serviço da empresa compradora. Ou seja, o atraso na entrega de uma empresa influi para que a empresa à jusante também tenha problemas de entrega no prazo. Essa influência se soma no sentido jusante da CS. Os desvios padrões dos pedidos crescem no sentido montante da CS evidenciando o efeito Chicote. Os pedidos mínimos e máximos se distanciam mostrando coerência em relação ao desvio padrão crescente. Os estoques médios crescem na direção montante da CS. É uma consequência do efeito Chicote porque com a maior variação dos pedidos, maior deve ser o estoque de segurança para atendê-los. Naturalmente o estoque máximo é crescente no sentido montante da CS.

A Figura 5.10 mostra a elevação dos estoques e sua crescente oscilação no sentido montante. A Figura 5.11 mostra como as oscilações de demanda são amplificadas nos pedidos. Pode ser verificado que há uma queda mais acentuada no nível de serviço entre a Fábrica e o Fornecedor. Isso ocorre porque há 2 estoques para gerir e um leadtime maior. Dois estoques porque há o estoque de produtos acabados e o estoque de matéria-prima que supre a produção. O leadtime é maior porque soma-se o leadtime de reposição mais o leadtime de produção.

### **5.9.2 Cenário 2: Compartilhamento da informação de demanda**

Neste cenário, houve melhora no nível de serviço do Fornecedor e no Varejista. A Fábrica e o Distribuidor tiveram uma pequena queda. O Fornecedor obteve melhor nível de serviço e queda no nível de estoque. O Varejista obteve melhora no nível de serviço, mas seu estoque médio também se elevou. A Fábrica e o Distribuidor obtiveram uma pequena queda nos níveis de serviço e foi acompanhada de uma pequena queda nos estoques médios. Houve melhora não

acentuada no efeito Chicote uma vez que todos os desvios padrão dos pedidos deste cenário são menores que o do cenário 1. E isto refletiu no desvios padrão dos estoques.

Se o estoque médio do Varejista no Cenário 1 fosse elevado, provavelmente traria melhor nível de serviço equiparando-se ao Cenário 2, entretanto, isso representa elevar o desvio padrão dos pedidos colocados ao Distribuidor e conseqüentemente elevar o efeito Chicote. A grande vantagem desse cenário é diminuir as oscilações de pedidos e estoques mantendo ou elevando os níveis de serviço.

### **5.9.3 Cenário 3: Decisão de produção e distribuição centralizadas na Fábrica**

A Fábrica, tendo acesso a informação da demanda, percebe a sazonalidade e aumenta ou diminui a produção para sincronizar-se as necessidades do consumidor. A maior visibilidade da demanda permite que as oscilações, tanto do estoque quanto do pedido, sejam baixas na Fábrica e no Fornecedor. Comparando com o cenário anterior, tem-se uma variação menor, permitindo que os estoques de segurança possam ser menores o que leva a um estoque médio menor no caso do Fornecedor. A Fábrica elevou seu estoque médio em 4% mas elevou seu nível de serviço em 18% obtendo no total 100%. A menor variação do estoque pode ser percebida analisando-se os estoques mínimos e máximos das empresas. O Varejista é a exceção porque recebe o estoque empurrado da CS e enfrenta a variação da demanda, apresentando maior estoque médio e desvio padrão. Este enfoque de gestão privilegia os níveis de serviços, principalmente no Varejista, além de gerar um estoque total no sistema menor que nos casos anteriores. A Figura 5.15 mostra como os pedidos da Fábrica e do Fornecedor acompanham melhor as oscilações da demanda.

### **5.9.4 Cenário 4: Troca tradicional de informação com restrição de produção na Fábrica**

Este cenário corresponde à mesma configuração do cenário 1 exceto que a Fábrica possui restrição de capacidade correspondente a 180 produtos por período. Comparando-se os 2 cenários, percebe-se a queda do nível de serviço da Fábrica em diante (sentido jusante). Isto ocorre porque a restrição de produção diminui a responsividade da Fábrica e conseqüentemente das empresas jusantes. O Fornecedor, entretanto, é menos exigido e portanto seu nível de serviço sobe. As oscilações de estoque do Distribuidor e do Varejista sobem devido a essa restrição. Os

pedidos não se alteram, uma vez que as posições de estoques não são afetadas. O que é afetado é a capacidade de entregar os produtos no prazo. A Figura 5.18(a) mostra os níveis de produção sem restrição de capacidade acompanhando as oscilações da demanda. A Figura 5.18(b) mostram os níveis de produção são afetados pela restrição de 180 produtos por período em apenas alguns pontos.

FIGURA 5.18

## Capítulo 6

### Conclusões e Sugestões para Próximos Trabalhos

O estudo da formação de alianças estratégicas entre empresas para o aproveitamento das oportunidades de negócio e com elas a necessidade de alinhar os objetivos de negócio em um ambiente dinâmico, multiatores com possibilidade de implantação de diferentes propostas de gestão e configuração da rede produtiva, *trade-offs* de custos, de estoque, de informação, de flexibilidade, de agilidade e de nível de serviço foi a proposta deste trabalho.

A simulação mostrou-se a ferramenta mais adequada para avaliar a dinâmica dos diferentes cenários de negócios neste ambiente complexo e mal estruturado. Entretanto as ferramentas tradicionais de simulação não foram projetadas para este propósito e, portanto, não são adequadas para a construção de redes produtivas com a representação do fluxo de material e informação de maneira distinta, e a implementação de regras de decisão e avaliação de medidas de desempenho próprias ao ambiente multiempresa. Com isto foi necessário o desenvolvimento de um ambiente de simulação a eventos e tempos discretos que pode ser distribuído entre as empresas parceiras. A possibilidade de distribuição permite a cada empresa desenvolver seu próprio modelo e conserva a privacidade de suas informações e parâmetros internos. Ao mesmo tempo estes modelos devem representar adequadamente o comportamento da empresa para aquele negócio propósito do estudo, uma vez que com isto a empresa ganha credibilidade com seus parceiros incentivando-os a considera-las em novas oportunidades.

Outros requisitos de modelagem considerados pelo ambiente desenvolvido são:

- permite definir rapidamente a configuração de diferentes Cadeias de Suprimentos;
- permite configurar diferentes regras de negócio capazes de utilizar a informação disponível sobre a empresa e sobre a cadeia e gerar decisões que possam ser executadas por ela e/ou comunicadas às outras empresas; essas regras podem estar relacionadas às regras comuns das empresas (processamento de pedido, controle de estoque, planejamento de produção, etc.) ou podem ser novas regras definidas pelo analista;
- permite modelar o fluxo de informação e decisão e sua integração nas empresas e também entre empresas. Essa modelagem deve ser flexível para contemplar diferentes formas de gestão existentes ou aquelas que ainda estão por ser criadas;
- permite configurar a estrutura do fluxo de informação entre as empresas, como pedidos, informação da demanda e planos de previsão e produção;

A simulação da Cadeia de Suprimentos é formada por várias simulações de empresas e, portanto, exige que a ferramenta de simulação seja capaz de coordená-las. Essa coordenação pode se basear em uma lógica centralizada ou descentralizada. Após a análise de diferentes formas de gestão com características descentralizadas e centralizadas, a lógica centralizada se mostrou a forma de coordenação mais adequada. Outro aspecto importante possível de ser considerada no ambiente desenvolvido é a simulação em 2 níveis: nível de coordenação da Cadeia de Suprimentos e o nível das empresas. Essa divisão permite desacoplar as simulações das empresas e entre empresas. Logicamente deve haver uma integração dos níveis como foi sugerido no Capítulo 3 que é feita pela aplicação de regras de negócio previamente desenhadas. Essa estrutura permite que diferentes simuladores possam ser utilizados para representar as empresas. As duas únicas restrições são: a troca de mensagens deve ser textual no formato (“nome da empresa fornecedora”, código do produto, quantidade) e o simulador deve ser coordenado pelo nível de coordenação da Cadeia de Suprimentos seguindo a dinâmica de avanço de tempo em intervalos discretos.

A dinâmica do sistema com relação aos fluxos de material e decisão foi representada por um modelo de simulação a eventos e tempos discretos. O fluxo de informação pode ocorrer de forma contínua, mas na simulação foi representado por fluxos em intervalos discretos uma vez que o processo de decisão em sistemas reais acumula as informações de um intervalo de tempo para a tomada de decisão. Essa representação não compromete a modelagem porque

primeiramente o fluxo de informação é subordinado ao fluxo de decisão. Em segundo lugar, o fluxo contínuo de informação proveniente de resultados das oscilações do sistema produz efeitos que anulam-se parcialmente e geram uma resultante após um intervalo de tempo que pode ser utilizada no processo de decisão. Além disso, os dados individuais do fluxo de informação não são representativos e, portanto, não devem ser utilizados nas decisões. A adoção da representação de fluxos discretos de material, informação e decisão facilitam enormemente a coordenação da simulação evitando o uso de lógicas complexas de coordenação da simulação.

Além da ferramenta de simulação, um ambiente administrativo é necessário para controlar a inscrição e acesso dos participantes da simulação distribuída. Além disso, os participantes devem configurar a localização dos servidores de simulação na rede (Internet) de forma que coordenador de simulação possa se comunicar com eles.

Com relação às formas de gestão, concluiu-se que não há uma forma de gestão que seja a melhor em absoluto, porque a forma de gestão depende muito das características do mercado em questão e da forma de governança aplicada na Cadeia de Suprimentos. Entretanto a maior cooperação entre os parceiros, pelo compartilhamento da informação, aumenta a visibilidade de todos os elementos da cadeia sobre comportamentos futuros do consumidor e da cadeia, e possibilita que cada empresa se prepare para atender possíveis variações de demanda com melhor nível de serviço. O compartilhamento da informação melhorou o desempenho das empresas independentemente das políticas de estoque e previsão aplicadas e das formas de gestão. O desempenho refere-se a melhores níveis de serviço atrelados a menores desvios padrão dos pedidos no sistema.

Os cenários consideraram a previsão de demanda baseada na média móvel e na média móvel com ponderação exponencial. A média móvel, quando utiliza um número maior de períodos no seu cálculo (por exemplo: 10 períodos), produz previsões mais estáveis (menor desvio padrão), o que funciona muito bem para demandas estacionárias e também é bom para a dinâmica dos pedidos e estoques da CS. Porém ela reage muito lentamente às demandas sazonais. Neste caso, para obter melhores resultados em cadeias que exigem respostas mais rápidas, é mais adequado utilizar poucos períodos no cálculo da média (por exemplo: 3 períodos) ou utilizar a média móvel com ponderação exponencial. Entretanto, neste caso, as médias geradas oscilam

mais provocando maiores oscilações nos pedidos e estoques das empresas. O preço da agilidade é a maior oscilação dos pedidos e estoques ao longo da CS (efeito Chicote). Portanto uma política que permite maior agilidade de resposta à oscilações conduz a maior custo de estoque e operacional.

No cenário em que ocorre o compartilhamento da informação da demanda, as empresas à montante na CS podem antecipar seus fluxos de pedidos e produtos e alcançar maior agilidade sem ter que pagar o custo das grandes oscilações, reduzindo o efeito Chicote.

No modelo simulado com gestão centralizada pela Fábrica, esta parte da informação da demanda é produzida para alcançar o estoque desejado no Varejista, ou seja, a Fábrica é responsável em gerir o estoque do Varejista. Os produtos são fabricados de acordo com as metas estabelecidas para o estoque do Varejista e são empurrados para o Distribuidor que empurra para o Varejista. Neste cenário, o estoque médio do Varejista é maior, entretanto, o Distribuidor, a Fábrica e o Fornecedor trabalham com estoques médios abaixo de outras configurações da CS compensando a elevação de estoque do Varejista. Outro benefício é a baixa oscilação dos estoques neste cenário, uma vez que a demanda é informada diretamente na Fábrica, sem intermediários.

É sugerido como trabalho futuro, estudar a relação custo-benefício entre a agregação de valores aos componentes e as políticas de estoque desses componentes ao longo da CS. Além disso, esse estudo deve considerar ramificações na CS incluindo vários Fornecedores e Varejistas. É também objetivo futuro estudar a influência do número de giros de estoque ao longo da Cadeia de Suprimentos no custo do produto.

## Referências Bibliográficas

- AMICE. Vol.1 **Open System Architecture for CIM**. 1ed. Berlin:Springer-Verlag, 1989.
- ARBIX, G.; VEIGA, J.P.C. A Distribuição de Veículos sob Fogo Cruzado - Em Busca de um Novo Equilíbrio de Poder no Setor Automotivo 2001. Disponível em: <[www.dealeronline.com.br/](http://www.dealeronline.com.br/)>. Acesso em 20 Junho 2004.
- AENZEN, B.; SHUMWAY, H. Driven by Demand: A Case Study. **Supply Chain Management Review**, New York, January/February, p.12-23, 2002. Disponível em: <<http://www.manufacturing.net/scm/index.asp?layout=articleWebzine&articleid=CA197691>>. Acesso: em 5 Janeiro 2004.
- AZEVEDO, A.; SOUSA, J.P. Agile Supply Chain Management: Challenges, Requirements and Solutions. In: SECOND CONFERENCE ON MANAGEMENT AND CONTROL OF PRODUCTION AND LOGISTICS, 2, 2000, Grenoble, França. **Proceedings of MCPL'2000**. Oxford, UK:Editora Elsevier Science Ltd, 2000. p.1-6.
- BAGCHI, S., BUCKLEY, S.J., Ettl, M., LIN, G.Y. Experience using the IBM Supply Chain Simulator in: D.J. MEDEIROS, E.F. WATSON, J.S. CARSON AND M.S. MANIVANNAN **Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference**. 1998. p. 1387-1394.
- BALLOU, R. H. **Business Logistics management: planning, organizing, and controlling the supply chain**. 4th edition ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999.
- BERNUS, P., NEMES, L. Enterprise integration - engineering tools for designing enterprises in: BERNUS,P., NEMES,L. **Modelling and Methodologies for Enterprise Integration**. London, UK: Chapman & Hall., 1996.
- BRUN, A., CAVALIERI, S., MACCHI, M., PORTIOLI-STAUDACHER, A., TERZI, S. Distributed simulation for supply chain co-ordination. In: PROCEEDINGS OF THE 12TH INTERNATIONAL WORKING SEMINAR ON PRODUCTION ECONOMICS, Igs/Innsbruck, Austria, 2002, p.1-10.

- CARVALHO, M.F., CAMPOS, R. A Hierarchy for Cooperative Management and Control of Production and Logistics. In: MCPL' 1997, Campinas. 1997. p. 420-425.
- CERONI, J.A., MATSUI, M., NOF, S.Y. Communication-based coordination modeling in distributed manufacturing systems. **Int. J. Production Economics.**, v. 60-61, p. 281-287, 1999.
- CHEN, H.B., BIMBER, O., CHHATRE, C., POOLE, E., BUCKLEY, S.J. **eSCA: A THIN-CLIENT/SERVER/WEB-ENABLED SYSTEM FOR DISTRIBUTED SUPPLY CHAIN SIMULATION** in: P. A. FARRINGTON, H. B. NEMBARD, D. T. STURROCK, AND G. W. EVANS. **Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference.** 1999. p. 1371-1377.
- DAVIS, W.J. Looking into the Future of Simulation. **IEEE Solutions.**, v. May, 1998.
- DISNEY, S.M., TOWILL, D.R. Vendor-managed inventory and bullwhip reduction in a two-level supply chain. **International Journal of Operations & Production Management.**, v. 23, n. 6, p. 625-651, 2003.
- FORRESTER, J. **Industrial Dynamics** Boston: MIT Press, 1961.
- FOX, M.S., BARBUCEANU, M., TEIGEN, R. Agent-Oriented Supply-Chain Management. **The International Journal of Flexible Manufacturing Systems.**, v. 12, p. 165-188, 2000.
- FREDRIKSSON, P. Modular assembly in the car industry - an analysis of organizational forms influence on performance. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, v. 8, p. 221-233, 2002.
- GAN, B.P., LIU, L., J.S. Turner, CAI, W., JAIN, S., HSU, W.J. Distributed supply chain simulation across enterprise boundaries. In: PROCEEDINGS OF THE 2000 WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2000.
- GIBSON, P., GREENHALGH, G. and KERR, R. (1995) **Manufacturing Management – Principles and Concepts.** Chapman & Hall, London, UK, 323p.
- GROPP, W., LUSK, E., SKJELLUM, A. 1994. **Using MPI: Portable parallel programming with the message passing interface.** MIT Press.
- HARLAND, C. The dynamics of customer dissatisfaction in supply chains. **Production Planning & Control.**, v. 6(3), p. 209-217., 1995.
- HARRELL, C., TUMAY, K. Simulation Made Easy. **IEEE Solutions.**, v. July, 1997.
- HIRSCH, B.E., KUHLMANN, T., SCHUMACHER, T.J. Logistics simulation of recycling networks. **Computers in Industry.**, v. 24, p. 31-38, 1998.
- KELLERT, P., TCHERNEV, N., FORCE, C. Object-oriented methodology for FMS modeling and simulation. **Int. J. Computer Integrated Manufacturing.**, v. 10(6), p. 405-434., 1997.

- KOGUT, B. Designing Global Strategies: Comparative and Competitive Value-Added Chains. **Sloan Management Review.**, v. 26, n. 4, p. 15-28, 1985.
- KUMPE, T. K., BOLWIJN, P.T. Manufacturing: the new case for vertical integration. **Harvard Business Review.**, v. 66, p. 75-81, March/April, 1988.
- KUHL, F., WEATHERLY, R., DAHLMANN, J. 1999. Creating computer simulation systems: An introduction to the high level architecture. Prentice Hall PTR.
- LAMPORT, L. Time, Clocks, and the Ordering of Events in a Distributed System. **Communications of the ACM**, v. 21, n. 7, p. 558-565, 1978.
- LAW, A.M. Introduction to Simulation : A Powerful Tool for Analyzing Complex Manufacturing Systems. **Industrial Engineering**, v. May, p. 46-63, 1986.
- LAW, A.V., WILCOMAS, M.G. How to build valid and credible simulation models in: PETERS, B.A., SMITH, J.S., MEDEIROS, D.J., ROHRER, M.W. **Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference.** , 2001. p. 22-29.
- LAW, A.M. How to conduct a successful simulation study. In: CHICK, S., SÁNCHEZ, P.J., FERRIN, D., MORRICE, D.J. **Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference.** , 2003. p. 66-70.
- LEE, H.L., BILLINGTON, C. Material management in decentralized supply chains. **Operations Research.**, v. 41(5), p. 835-847., 1993.
- LEE, H.L., PADMANABHAN, V., WHANG, S. Information distortion in a supply chain: The Bullwhip Effect **Management Science.**, v. 43(4), p. 546-558., 1997a.
- LEE, H.L., PADMANABHAN, V., WHANG, S. The bullwhip effect in supply chains **Sloan Management Review.**, v. 38(3), p. 93-102., 1997b.
- LEE, H.L. & WHANG, S. E-Business and Supply Chain Integration. **Stanford Global Supply Chain Management Forum**, v. SGSCMF-W2, p. 1-20, November 2001.
- MANETTI, J. How technology is transforming manufacturing. **Production & Inventory Management Journal**, January, 2001.
- MARCA, D. A. AND MCGOWAN, C.L. **SADT: Structured Analysis and Design Technique** New York: McGraw-Hill., 1988.
- MERTINS, K. EDELER, H., JOCJEM, R. H. **Object-Oriented modeling and analysis for business process in Integrated Manufacturing Systems Engineering.** London, UK: Chapman & Hall., 1995. 113-126 p.

- OLIVER, K., CHUNG, A., SAMANICH, N. Beyond Utopia: The Realist's Guide to Internet-Enabled Supply Chain Management. **Strategy+Business**, Booz-Allen's, v. special report, 2001.
- PIRES, S. R. I. (2004) *Gestão da Cadeia de Suprimentos – Conceitos, Estratégias, Práticas e Casos*. Editora Atlas, 1ª edição, São Paulo, 310 p.
- PROFOZICH, D. M. **Managing Change with Business Process Simulation** . 1ed. Prentice Hall PTR, 1998.
- SCHEER, A-W. **Architecture for Integrated Information Systems**. Berlin: Springer-Verlag., 1992.
- SCHUNK, D., PLOTT, B. Using simulation to analyze supply chain in: JOINES, J.A., BARTON, K.K., FISHWICK, P.A. **Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference** ., 2000. p. 1095-1100.
- SELIGER, G. LORENZ, P., KRÜTZFELD, D., STRASSBURGER, S. On the HLA- and Internet-based coupling of commercial simulation tools for production networks. in: A.G. BRUZZONE, A. UHRMACHER, E.H. PAGE. **Proceedings of the 1999 International Conference on Web-based Modeling and Simulation**. San Diego, 1999.
- SHANNON, R.E. Simulation Modeling in Manufacturing In: CONFERENCE SIMULATION'87, 1987, Long Beach, California. **Conference Simulation'87** ., 1987.
- SIMCHI-LEVI, D., KAMINSKY, P., SIMCHI-LEVI, E. **Designing and Managing the Supply Chain** : McGraw-Hill., 2000.
- SRINIVASAN, K., JAYARAMAN, S. (1999). The changing role of information technology in manufacturing. In: *Computer in Industry*, **32**(3) ,42-48.
- STEVENS, G. Integrating the Supply Chain. **Journal of Physical Distribution and Material Management**., n. 8, p. 3-8, 1989.
- STRASBURGUER, S., SCHULZE, T., SCHUMMANN, M., MENZLER, H. Distributed traffic simulation based on the HLA, in: *Proceedings of the 1998 Simulation Interoperability Workshop*, Fall, 1998.
- SUDRA, R., TAYLOR, S.J., JANAHAN, T. Distributed supply chain simulation in GRIDS, in: *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, 2000.
- SWAMINATHAN, J.M., SMITH, S.F., SADEH, N.M. Modeling Supply Chain Dynamics: A Multiagent Approach. **Decision Sciences**., v. 29, n. 3, p. 607-632., 1998.
- TAYUR, S.; GANESHAN, R.; MAGAZINE, M.J. **Quantitative Models for Supply Chain Management** 1a ed. : Kluwer Academic Publishers., 1998. 885 p. (International Series in Operations Research & Management Science.) v. 17.

- THACKRAY, J. America's Vertical Cutback. **Global Operations Perspective**, 1986.
- TERZI, S., CAVALIERI, S. Simulation in the supply chain context: a survey. **Computers in Industry.**, v. 53, p. 3-16, 2004.
- TOWILL, D.R. Time compression and supply chain management - a guided tour. **Logistics Information Management.**, v. 9, n. 6, p. 41-53, 1996.
- TOWILL, D.R.; NAIN, M.M.; WIKNER, N.J. Industrial Dynamics Simulation Models in the design of Supply Chain. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management.**, v. 22, n. 5, p. 3-13, 1992.
- VERNADAT, F.B. (1996). *Enterprise Modeling and Integration. Principles and Applications*. Chapman & Hall, London, UK.
- VERNADAT, F.B. A process/ agent/ operation paradigm for manufacturing systems modeling September 3, MCPL'97. Campinas, Brazil, 1997. p. 412-419..
- VERNADAT, F.B. Requirements for Simulation Tools in Enterprise Engineering 18-20 August, CARS&FOF - 15th ISPE/IEE International Conference on CAD/CAM, Robotics, and Factories of the Future. Águas de Lindóia - SP, 1999. p. MT5 19-23..
- WESTON, R.H. and GILDERS, P.J. Enterprise engineering methods and tools which facilitate simulation, emulation and enactment via formal models. In: PETER BERNUS e LAZLO NEMES. **Modelling and Methodologies for Enterprise Integration**. London, UK : Chapman & Hall, 1996. p.218.
- WILLIAMS, T.J. The Purdue Enterprise Reference Architecture. **Computers in Industry.**, v. 24, p. 141-158., 1994.
- ZEIGLER, B.P., KIM, D. Distributed supply chain simulation in a DEVS/CORBA execution environment December, 5-8, **Winter Simulation Conference**. Phoenix, Arizona, US, 1999. p. 1333-1340.
- SEIFERT, D. Collaborative Planning, Forecasting, and Replenishment: How to create a Supply Chain Advantage. American Management Association, 2003.

## **Publicações do aluno com o orientador**

**Artigo aceito:** Análise De Políticas De Gestão Em Cadeias De Suprimentos, Gestão & Produção.

"A-SIM: Uma ferramenta de simulação para aplicações profissionais e de ensino", XIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE 2003, UFRJ, 12 a 14 de novembro de 2003

"Two-level environment for Supply Chain Management", 4<sup>th</sup> IFIP Working Conference on Virtual Enterprises, Lugano – Suíça, 2003

"A coordination level in a supply chain simulator", BASYS - 5th IFIP International Conference on Information technology for Balanced Automation Systems in Manufacturing and Services, Cancun - México, 2002

"A two-level supply chain simulator", The 2001 International Conference of the Production and Operations Management Society, Guarujá, 2001

"The bullwhip effect and the co-operative supply chain: Improving performance and competitiveness", The 2001 International Conference of the Production and Operations Management Society, Guarujá, 2001

"Modelagem, Simulação e o Software A-Sim: motivando a aprendizagem de disciplinas matemáticas através do entendimento da dinâmica de sistemas", III Simposio de Educacion Matematica, Chivilcoy (Argentina), 2001

"Modelling in the Real World: teaching students cost estimation methodologies", International Conference on New Ideas in Mathematics Education, Palm Cove (Austrália), 2001

"Environment for design and analysis of system integration", IFIP – E-Business and Virtual Enterprises, 2000





UNICAMP  
BIBLIOTECA CENTRAL  
SEÇÃO CIRCULANTE