

Universidade Federal De Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação Em Engenharia De Produção e
Sistemas

MODELAGEM DE PROBLEMAS LOGÍSTICOS SOB O ENFOQUE
DE SISTEMAS DINÂMICOS: O CASO DO JOGO DA CERVEJA.

DANIELA CHECCHINATO

Orientador: Antônio Galvão
Naclério Novaes
Dissertação apresentada ao
curso de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção e
Sistemas para a obtenção do
título de Mestre em Engenharia

Florianópolis - 2002

**MODELAGEM DE PROBLEMAS LOGÍSTICOS SOB O ENFOQUE DE
SISTEMAS DINÂMICOS: O CASO DO JOGO DA CERVEJA.**

DANIELA CHECCHINATO

**MODELAGEM DE PROBLEMAS LOGÍSTICOS SOB O ENFOQUE DE
SISTEMAS DINÂMICOS: O CASO DO JOGO DA CERVEJA.**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas

Especialidade Logística e Transporte, e aprovada em sua forma final pelo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da
Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr.

**Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Produção**

Banca Examinadora:

**Prof. Antônio Galvão Naclério Novaes, Dr.
Orientador**

Prof. Mirian Buss Gonçalves, Dr.

Antonio Sérgio Coelho, Dr.

**Florianópolis
Setembro - 2002**

“Anular a capacidade de trabalho de um indivíduo é roubar-lhe a própria essência de viver, eliminar as dificuldades e os problemas que lhe cercam a sobrevivência é privar o seu raciocínio e inibir a sua criatividade, alienando-o no comodismo e jogando-o o tédio, pois somente se compreende a vida como uma luta constante, onde a esperança do amanhã e a vontade de participar e realizar estejam presentes em cada gesto e atitude. Porque é o desafio que nos difere das demais espécies: a capacidade de pensar, produzir, realizar, guiar nosso futuro pelas nossas mãos.”

*Aos meus pais e minha irmã que,
independentemente das circunstâncias,
participam da minha vida e me ensinam
detalhes da vida que não se aprende lendo
livros ou assistindo aulas.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

Ao meu orientador, Prof. Dr. Antônio Galvão Naclério Novaes, por todo seu incentivo, pela orientação e sugestão do tema da dissertação de mestrado e pelo apoio proporcionado.

Aos membros da banca examinadora por participarem da etapa de avaliação deste trabalho. E também por oportunizarem uma nova forma de ver os fatos.

À Universidade Federal de Santa Catarina que possibilitou a realização deste trabalho.

Ao Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, em especial à coordenadoria de pós-graduação pela oportunidade de realização desta dissertação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq, instituição oficial que outorgou a bolsa que permitiu o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus verdadeiros amigos pelo apoio nas horas difíceis e por me ensinarem a ter paciência e que uma longa viagem se inicia com um único passo.

Aos meus pais, Clóvis e Márcia e a minha irmã Fernanda, um agradecimento especial de coração, pelo carinho, companhia, incentivo, paciência e apoio durante todos os anos de minha vida e por lembrarem que estavam sempre ao meu lado.

Em especial agradeço, a minha irmã, Fernanda Checchinato, pelas críticas e sugestões fornecidas a este trabalho, bem como seu apoio.

Enfim, a todos que de uma maneira ou de outra, contribuíram para a plena realização deste trabalho.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	xv
LISTA DE SÍMBOLOS	xvi
LISTA DE PALAVRAS ESTRANGEIRAS	xviii
NOMENCLATURA	xxi
RESUMO	xxii
ABSTRACT	xxiii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1- Objetivos	2
1.2- Apresentação	3
1.3- Limitações do Trabalho	4
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1- Simulação	6
2.1.1- Definições de Simulação	7
2.1.2- Vantagens da Utilização de Simulação	8
2.1.3- Desvantagens da Utilização de Simulação	9
2.1.4- Processo de uma Simulação	9
2.1.5- Linguagem de Simulação	11
2.2- Sistemas e Modelos	12
2.2.1- Características do sistema	12
2.2.2- Modelos	13
2.2.2.1- Criação de um Modelo	16
2.2.2.2- Tipos de Modelos	19

2.3- Sistemas Dinâmicos	20
2.3.1- Origem de Sistemas Dinâmicos	22
2.3.2- Algumas Aplicações de Sistemas Dinâmicos	24
2.3.3- Projeto de Sistemas Dinâmicos	27
2.3.4- Vantagens na Utilização de Sistemas Dinâmicos	31
2.4- Feedback (Realimentação)	32
2.4.1- Classificação do Feedback	33
2.4.2- Representação da Estrutura de Feedback	35
2.5- Jogos	36
2.5.1- Jogos Simulados	37
2.5.2- Jogos de Empresas	38
CAPÍTULO 3 – JOGO DA CERVEJA E SOFTWARE ITHINK	41
<hr/>	
3.1- Jogo da Cerveja (Beer Game)	42
3.1.1- Descrição Geral do Jogo da Cerveja	43
3.1.2- Jogo da Cerveja no Tabuleiro	47
3.1.2.1- Como Funciona o Jogo no Tabuleiro	47
3.1.2.2- Iniciando uma Rodada	49
3.1.3- Versão computadorizada do Jogo da Cerveja	54
3.1.3.1- Versão Desenvolvida por P. Kaminsky e D. S. Levi	54
3.2- Software iThink	67
3.2.1- Descrição da Linguagem iThink	68
3.2.2- Blocos de construção na linguagem iThink	70
CAPÍTULO 4 – DESENVOLVIMENTO DO JOGO	73
<hr/>	
4.1- Jogo da Cerveja no Software Ithink	74
4.2- Explicação das Opções do Jogo	75
4.2.1- Estrutura do Modelo	75
4.2.2- Ícone: Explicação das Opções	76
4.2.3- Explicação do Jogo	77

4.2.4- Escolha da Facilidade e Opção: Simular	77
4.2.5- Escolha da Demanda	79
4.2.5.1- Tipos de Demanda	79
4.2.5.2- Determinação dos números aleatórios (Demanda Aleatória)	80
4.2.5.3- Demanda no Modelo (segunda camada)	87
4.2.5.3.1- Demanda Determinística	87
4.2.5.3.2- Demanda Aleatória	89
4.2.6- Escolha do Nível de Serviço	90
4.2.7- Políticas de Estoque	93
4.2.7.1- Estoques	96
4.2.7.1.1- Estoque de Segurança (QS)	98
4.2.7.1.2- Estoque Máximo	100
4.2.7.1.3- Quantidade Q: Lote de reposição	101
4.2.7.2- Política de Estoques Utilizadas neste Jogo	106
4.2.8- Custos	109
4.2.9- Dados de saída	113
CAPÍTULO 5 – ANÁLISE E RESULTADOS	116
<hr/>	
5.1- Análise de uma Simulação	117
5.2- Resultados e Lições Obtidos com o Jogo da Cerveja	125
5.3- A Deficiência na Aprendizagem e a Maneira de Pensar	129
5.4- Efeito Chicote (Bullwhip Effect)	132
5.4.1- Principais Fatores que Causam o Efeito Chicote	136
5.4.1.1- Causas Comportamentais	137
5.4.1.1.1- Decisões Individuais	137
5.4.1.1.2- Tipos de Incentivos	138
5.4.1.2- Causas não comportamentais	139
5.4.1.2.1- Previsão da Demanda	139
5.4.1.2.2- Pedidos em lote	140
5.4.1.2.3- Flutuação do Preço	141
5.4.1.2.4- Jogo de Racionamento e Falta	141
5.4.2- Conseqüências Negativas do efeito chicote	142

5.4.3- Como Evitar o Efeito Chicote	143
5.4.3.1- Incerteza, variabilidade e previsão da demanda	143
5.4.3.2- Redução do Lead Time	145
5.4.3.3- Pedidos em Lote	145
5.4.3.4- Flutuações no Preço	146
5.4.3.5- Jogo de Racionamento e Falta	147
5.4.3.6- Alianças Estratégicas	147
5.5- Como Melhorar o Desempenho no Jogo da Cerveja	148
5.6- Dificuldades do Tradicional Jogo da Cerveja	151
5.7- Vantagens do Jogo na Versão deste Trabalho	152
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	154
<hr/>	
6.1- Conclusões	154
6.2- Recomendações	156
CAPÍTULO 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	159
<hr/>	
ANEXO	172
<hr/>	
A.1- Equações do Setor Consumidor	172
A.2- Equações do Setor Varejista	175
A.3- Equações do Setor Atacadista	181
A.4- Equações do Setor Distribuidor	188
A.5- Equações do Setor Fábrica	195
A.6- Equações que não pertencem a nenhum setor	202

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas no processo de simulação	11
Figura 2: Passos na criação de um modelo	18
Figura 3: Passos na construção de um projeto de sistemas dinâmicos	31
Figura 4: Forma unidirecional e estática de ver um problema	33
Figura 5: Forma dinâmica de ver um problema	33
Figura 6: Fluxos de informações e produtos no jogo da cerveja [Dornier et al, 2000]	46
Figura 7: Layout do tabuleiro do jogo da cerveja	50
Figura 8: Tela inicial do jogo da cerveja desenvolvida por P. Kaminsky e D. S. Levi	55
Figura 9: Opção escolher a facilidade	56
Figura 10: Todas as informações disponíveis na opção: nenhuma facilidade	57
Figura 11: Entrada dos dados de pedido (Order Entry)	58
Figura 12: Representação de cada facilidade	59
Figura 13: Política de Estoques das facilidades	60
Figura 14: Exemplo ilustrativo dos valores de s e S	61
Figura 15: Opção globalizada, curto lead time e não centralizada	64
Figura 16: Opção escolha da demanda	65
Figura 17: Gráfico da função interativa (distribuidor)	66
Figura 18: Gráfico Pedidos X Tempo de todas as facilidades	66
Figura 19: Relatório sobre os pedidos feitos pela função interativa (Distribuidor) e pelo sistema todo	67
Figura 20: Primeira camada (interface) do software iThink	68
Figura 21: Segunda camada (modelo) do software iThink	69
Figura 22: Bloco de construção que representa o fluxo na linguagem iThink	70

Figura 23: Tela inicial do jogo na primeira camada	74
Figura 24: Estrutura do modelo	75
Figura 25: Tela: explicação das Opções	76
Figura 26: Explicação do jogo	77
Figura 27: Escolha da facilidade e simulação	78
Figura 28: Opções de escolha	79
Figura 29: Dispositivos que funcionam como chave combinados	79
Figura 30: Escolha da demanda	80
Figura 31: Curva da Distribuição Normal, determinada por valores particulares de μ e σ^2	82
Figura 32: Fluxograma da geração de valores normais, [Naylor et al, p.115, 1971]	86
Figura 33: Cálculo da média e desvio padrão da demanda determinista	88
Figura 34: Geração dos números aleatórios da demanda aleatória	90
Figura 35: Nível de estoque no modelo	92
Figura 36: Escolha do nível de serviço	93
Figura 37: Política de estoques	95
Figura 38: Opções da política de estoques varejista	96
Figura 39: Estoque de segurança no modelo	99
Figura 40: Estoque máximo no modelo	100
Figura 41: Custos relacionados com o estoque [TUBINO, 2000]	103
Figura 42: Variações na curva de custo total [TUBINO, 2000]	104
Figura 43: Quantidade de reposição (Q) no modelo	105
Figura 44: Política de estoques do varejista no modelo	107
Figura 45: Modelo dos estoques de todas as facilidades	107
Figura 46: Custos na interface	110
Figura 47: Custos do varejista	111
Figura 48: Custos da fábrica	111
Figura 49: Custos da fábrica no modelo	113
Figura 50: Simulação da facilidade Varejista	114
Figura 51: Tabela dos valores de uma simulação feita	114
Figura 52: Gráfico de Comparação dos Pedidos de todas as facilidades versus Tempo	117

Figura 53: Gráfico de Comparação dos Estoques de todas as facilidades versus Tempo	119
Figura 54: Gráfico de Comparação dos Pedidos não atendidos de todas as facilidades versus Tempo	121
Figura 55: Gráfico de Comparação dos Custos de todas as facilidades versus Tempo	123
Figura 56: Padrões típicos no jogo de distribuição da cerveja, [Dornier, p. 376, 2000]	127
Figura 57: O efeito chicote: pedidos versus vendas [Dornier, p. 373, 2000]	133
Figura 58: O aumento da invariabilidade na cadeia de abastecimento [Levi, p. 84, 2000]	135
Figura 59: Setor Consumidor	175
Figura 60: Setor Varejista	180
Figura 61: Setor Atacadista	187
Figura 62: Setor Distribuidor	194
Figura 63: Setor Fábrica	201
Figura 64: Elementos que não pertencem a nenhum Setor	202

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela de registros no jogo do tabuleiro	52
Tabela 2: Tabela para cálculo dos custos	53
Tabela 3: Número de desvios padrões (valor de k) a considerar conforme o nível de serviço desejado [Tubino, 2000]	91
Tabela 4: Tabela com os valores dos Pedidos de todas as facilidades	118
Tabela 5: Tabela com os valores dos Estoques de todas as facilidades	120
Tabela 6: Tabela com os valores dos Pedidos não atendidos de todas as facilidades	122
Tabela 7: Tabela com os valores dos Custos Finais de todas as facilidades	124

ÍNDICE DE SÍMBOLOS

μ	Média
σ	Desvio padrão
Σ	Somatório
∞	Infinito
π	pi
σ^2	Variância
A	Custo unitário de preparação
AVG	média (average)
c	Custo unitário do item
C	Custo unitário de compra ou fabricação do item
CE	Custo anual de estocagem
D	Demanda
dif_i	diferença: $dif_i = D_i - Me$,
$E(r_i)$	Média
$f(x)$	função de densidade de probabilidade
i	índice do período
I	Taxa de estocagem
K	Número de desvios padrões
L	Lead Time
M	Constante referente ao nível de serviço desejado, cujo valor é obtido através da tabela normal
Me	M = média aritmética
n	período
Q	Quantidade do lote de reposição de estoque
Q*	Lote econômico
Q_{max}	Estoque máximo
Q_s	Estoque de segurança
r_i	Variáveis randômicas independentes
s	Estoque de segurança
S	Estoque máximo

SQRT	Raiz quadrada de um valor
STD	Desvio médio
Var(r_i)	Variância de r_i
x	Variável randômica
z	Valor normal padrão.

ÍNDICE DE PALAVRAS ESTRANGEIRAS

Backlog	Pedidos não atendidos
Backorder	
Beer Game	Jogo da Cerveja
Bullwhip effect	Efeito Chicote
Carrying Cost	Custo de se manter um produto em estoque
Centralized	Centralizado (se refere ao sistema centralizado)
Cost	Custos
Delay	Atraso, se refere ao atraso na entrega dos produtos
Default	Padrão
Demand	Demanda
Dynamic	Dinâmico
Echelon	Política padrão de estoque escalão
Feedback	Realimentação
Flow	Fluxo
Ghost	Se refere ao um bloco da Linguagem iThink, que copia um elemento já existente e o coloca em outro local
Global Information	Informação globalizada
Graph	Gráfico
High Performance Systems	Empresa que desenvolveu o software iThink
Holding Cost	Custo de se manter um produto em estoque
Industrial Dynamic	Dinâmica Industrial, nome de um livro escrito por Forrester
Inventory	Estoque
Lead Time	Tempo de ressuprimento: tempo estimado entre a data do envio do pedido e a data de chegada da matéria-prima a empresa.
Learner-Centered-Learning	Um novo método de ensino com a utilização de sistemas dinâmicos

Level	Nível, se refere a um bloco de construção da linguagem iThink
Massachusetts Institute of Technology	Instituto de Tecnologia de Massachusetts
National Model Project	Modelo nacional de sistemas dinâmicos
Next Round	Próxima rodada
None	Nenhuma
On	Ligado
Off	Desligado
Options	Opções
Order Delay	Atraso no pedido
Order	Pedido
Order Entry	Entrada dos dados de pedido
Others	Outros
Papers	Papéis, se refere a artigos
Play	Jogar
Player	Jogador
Policy	Política
Rate	Taxa o mesmo que fluxo
Report	Relatório
Road Maps	Um guia de auto estudo sobre sistemas dinâmicos
SDEP	Projeto de Educação em Sistemas Dinâmicos
Short Lead Time	Um curto Lead Time
Sloan School of Management	Escola de gerenciamento chamada Sloan, do MIT
Start	Início
Status quo	Estado atual, situação atual
Stock	Estoque
Supply chain	Cadeia de abastecimento ou suprimento
System dynamics	Sistemas Dinâmicos

System Dynamics Group	Grupo de Sistemas Dinâmicos
System Dynamics National Model	Modelo nacional de sistemas dinâmicos
Switch	Chave: dispositivo binário (assume valores 0 ou 1)
Tradeoff	Comércio de trocas
Updated	Atualizado
Urban Dynamics	Dinâmica Urbana, se refere ao título de um livro de Forrester
World Dynamics	Dinâmica Mundial, se refere ao título de um livro de Forrester

NOMENCLATURA

BASIC	Linguagem computacional: BASIC
DYNAMO	Linguagem de simulação de sistemas dinâmicos (Dynamic Model: modelos dinâmicos)
EDI	Intercâmbio de Dados Eletronicamente
FORTRAN	Linguagem computacional: FORTRAN
GE	General Electric, empresa
GPSS	Linguagem computacional
IThINK	Software de Sistemas Dinâmicos
MBA	Master in Business Administration
MIT	Massachusetts Institute of Technology
PASCAL	Linguagem computacional
Phd	Pós doutorado
SDEP	System Dynamic in Education Project: Projeto de Educação em Sistemas Dinâmicos
SIMAN	Linguagem computacional
SIMPLE	Linguagem computacional de sistemas dinâmicos (Simulation of Industrial Management Problems with Lots of Equations: simulação de problemas de gerenciamento industrial com muitas equações)
SIMSCRIPT	Linguagem computacional
SLAM	Linguagem computacional
STELLA	Linguagem computacional
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de sistemas dinâmicos, adaptando-se um jogo existente, jogo da produção e distribuição, conhecido popularmente como jogo da cerveja, num software especialmente desenvolvido para sistemas dinâmicos e atualmente o mais utilizado, chamado iThink, cujas vantagens são atrativas pois não requer conhecimento prévio de programação, é de fácil utilização, e possibilita a modificação dos parâmetros do modelo nele simulado.

A metodologia é direcionada para a modelagem de sistemas dinâmicos para uma simples cadeia de abastecimento (supply chain), o gerenciamento dos recursos, informações e dos processos logísticos com o objetivo de verificar o comportamento da cadeia como um todo, a propagação das atitudes tomadas por apenas um dos setores em toda a cadeia.

O jogo envolve apenas quatro setores: o varejista, atacadista, distribuidor e a fábrica, cada um deles sendo interconectado através de fluxos de informações e fluxos de mercadorias. O modelo utiliza as relações do mundo real, dados hipotéticos que podem ser modificados, e inclui parâmetros, como tempo de transmissão e de processamento dos pedidos e prazos de entrega da mercadoria.

As gerências poderiam, portanto, examinar os efeitos provocados no sistema como um todo através de, por exemplo, uma variação nas vendas do varejo, o impacto das mudanças nas questões de produção, ou qualquer outra alteração da política de estoques de cada facilidade, ou a uma combinação de mudanças, além de evidenciar o efeito conhecido como efeito chicote.

Para a aplicação da metodologia proposta, apresenta-se uma simulação do jogo e, através desta, fica aparente que uma pequena perturbação em qualquer uma das partes pode amplificar-se muito rapidamente, à medida que o efeito se espalha através do canal de suprimentos.

Os resultados obtidos através do processo de simulação permitiram validar a aplicação da metodologia proposta como instrumento de modelagem de sistemas dinâmicos para o gerenciamento de cadeias de suprimento, assim como para qualquer outro sistema.

ABSTRACT

This work presents a study of system dynamics adjusting an existent game, a production and distribution game, popular known as beer game, in a software specially developed to system dynamics called iThink, which advantages are attractive by not requiring previous programming knowledge, it is easy to use and it is possible to modify any parameter on it's model.

The methodology is focus to modeling of system dynamics to a simplified supply chain, the management of resources, information and logistics processes with the objective to verify the entire supply chain's behavior, the spread of the attitudes taken only from one sector in the whole chain.

The game has four positions: retailer, wholesaler, distributor and factory, each one is interconnect through information and products flow. The model uses the real world relationships, hypothetic data that can be modified, and also includes parameters like, transmission time, order requests and delivery period of the final products.

The manager could examine the caused effects in the entire system, for example, through a variation of retail's sells, the changes impact in production questions or any other alteration of inventory control of each position, or a combining of changes besides to emphasize the bullwhip effect.

To apply this proposed methodology, a simulation game is presented and through this, it gets clear that one insignificant disturb at any part can be larger very quickly, as soon as the effect spreads itself through the supply chain.

The results gotten through the simulation process allowed to validate the application of this proposed methodology as a tool of modeling of system dynamics to management of supply chain, just like any other system.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Esta década é marcada por um acelerado ritmo de mudanças no ambiente de negócios e um extraordinário desenvolvimento da tecnologia, de novos conceitos e técnicas gerenciais e é esse um dos fatores que caracterizam as empresas que conseguiram enfrentar as dificuldades econômicas do período e prosperar.

Essas empresas buscaram desenvolver caminhos ou processos de melhoria de qualidade, produtividade, custo, e satisfação do consumidor, que devido ao aumento da velocidade de mudanças e da complexidade dos negócios, tornou-se cada vez mais crítica e difícil, pois as respostas têm que ser rápidas e estarem de acordo com uma estratégia definida, levando-se em consideração que não há margem de tempo para correções.

Com isso, as indústrias e empresas buscam incessantemente novas estratégias e ferramentas de gestão para proporcionarem vantagens competitivas e sobrevivência neste novo mercado. Entretanto, isso exige técnicas de treinamento, que requer, às vezes, um custo elevado e bastante tempo.

Muitas empresas questionavam quanto ao aproveitamento desses programas intensivos de treinamento devido ao seu custo elevado, e é nesse contexto que se situam os jogos de empresas, voltados à educação e ao treinamento de habilidades para gestão estratégica de negócios.

Nos jogos de empresas, informatizados, aprende-se fazendo. O jogo é uma das mais poderosas técnicas de ensino disponível e constitui um passo metodológico no processo de evolução dessas técnicas, que começaram com aulas expositivas e leituras, eventualmente estimuladas por exercícios e discussões. Mas com as aulas expositivas, tinha-se a desvantagem do papel passivo adotado pelos alunos.

Através dos jogos, os alunos começaram a adotar um papel mais ativo para aprender. Começou a haver trocas de conhecimento entre o professor e os alunos e entre os próprios alunos, neste contexto está a utilização de sistemas dinâmicos no aprendizado (learner-centered-learning). O resultado é

mais realismo na sala de aula, pois fazem com que os alunos tomem decisões diante de determinadas situações, verificando suas conseqüências ao longo do tempo, e com isso, praticam antes que vire a realidade na empresa.

Neste trabalho, o jogo se baseia numa cadeia de abastecimento (supply chain) simplificada, pois na realidade ela é compreendida por facilidades geograficamente dispersas, tais como fábrica, centros de distribuição, fontes de suprimento, pontos de venda de atacadistas e varejistas interligados. A administração eficaz desta rede não é fruto exclusivo do gerenciamento de seus custos, mas estão relacionados fatores como a qualidade, nível de serviço, lead time entre outros.

Esta pesquisa propõe uma metodologia para a análise estratégica dessa cadeia de abastecimento industrial simplificada através do existente jogo da cerveja, mas numa linguagem de sistemas dinâmicos, que visa mostrar a importância dessa nova ferramenta para a verificação dos acontecimentos ao longo do tempo e, através do jogo, mostrar a deficiência na forma de aprendizagem e na maneira de pensar. Além de analisar as estratégias utilizadas pela maioria dos jogadores e fornecer conceito sobre o efeito chicote, realidade encontrada nas empresas hoje em dia, que resumidamente é a variação da demanda e a propagação dessa variação ao longo de toda a cadeia de abastecimento.

1.1- OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral estudar sistemas dinâmicos e aplicar o software iThink em problemas logísticos, principalmente com o intuito de divulgar essa nova linguagem de sistemas dinâmicos, que permite analisar o comportamento dos sistemas visto como um todo, além de verificar como os elementos ou variáveis que compõem o sistema variam ao longo do tempo.

O problema logístico utilizado foi o jogo da cerveja, um simulador gerencial para tomada de decisões, criado em 1960 e já existente em outras versões, mas que neste trabalho possui vantagens como permitir mudar parâmetros como custos, política de estoques, entre outros, além de inserir novas variáveis.

A importância da utilização dessa nova ferramenta de sistemas dinâmicos é que não serve somente para a área de gerenciamento, mas para diversas áreas, como medicina, economia, na educação, entre outras.

Como objetivos específicos podem ser citados:

- ✓ Compreender os fundamentos de Sistemas Dinâmicos;
- ✓ Estudar o software iThink como nova linguagem de programação;
- ✓ Estudar o conceito de Feedback aplicado a problemas logísticos;
- ✓ Estudar o jogo original da Cerveja (o jogo de tabuleiro);
- ✓ Estudar o jogo da Cerveja na versão de David Simch-Levi e Philip Kaminsky;
- ✓ Implementar o jogo da cerveja no software iThink;
- ✓ Estudar modelos de estoques;
- ✓ Estudar as lições obtidas com o jogo;
- ✓ Estudar o Efeito Chicote;

1.2- APRESENTAÇÃO

Em relação a estrutura deste trabalho este documento foi dividido em 7 capítulos.

O capítulo 1 dedica-se a uma breve introdução sobre o tema desenvolvido, descrição dos objetivos, apresentação e limitações do trabalho.

O capítulo 2 ressalva uma revisão bibliográfica da literatura especializada que serviu de base para o presente trabalho, relacionando os principais conceitos referentes a esta área de interesse. Nele estão conceitos de simulações, modelos, sistemas dinâmicos, conceitos de feedback, conceitos de jogos, jogos de empresa e os jogos da cerveja já existentes.

O capítulo 3 é a base de todo o desenvolvimento deste trabalho, descreve o jogo da cerveja, duas versões já existentes (do tabuleiro e de David Simchi-Levi e Philip Kaminsky) e o software iThink, utilizado neste trabalho para implementação da nova versão do jogo da cerveja.

O capítulo 4 é o desenvolvimento do jogo da cerveja na linguagem de sistemas dinâmicos, iThink. Mostra suas três camadas, a interface (interação com o usuário) e o modelo, sendo que as equações são mostradas em anexo.

No capítulo 5, apresenta-se a análise e os resultados obtidos com a simulação do jogo, e conceito do efeito chicote, assim como suas causas, conseqüências e formas para evitá-lo.

No capítulo 6 estão as conclusões e recomendações para trabalhos futuros e, no capítulo 7 encontram-se as referências bibliográficas.

1.3- LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Destaca-se como fator de limitação desta pesquisa, o fato da versão do jogo da cerveja realizado neste trabalho, não ter tido um aprofundamento nas possibilidades de variações das variáveis, assim como um maior número de dados obtidos através da simulação, em função das restrições existentes de prazo e complexidade.

Evidencia-se a necessidade de reformulação do problema para sistemas mais complexos e para a inclusão de novas variáveis.

O trabalho está limitado a:

- Apenas uma fábrica, um distribuidor, um atacadista e um varejista;
- Apenas um produto;
- Os custos são hipotéticos, não refletindo dados reais específicos;

Apesar dessas restrições, observa-se que a análise dos resultados obtidos com o jogo pôde ser realizada e também, pôde ser mostrada uma nova ferramenta que exprime o comportamento das variáveis ao longo do tempo e capaz de ser utilizada em qualquer área, a linguagem de sistemas dinâmicos.

Através dos resultados do jogo, conceitos como do efeito chicote, que acontece nas empresas, pôde ser comprovado e explicado.

Assim, o sistema está montado do conceito à aplicação, pretendendo ser mais um sistema piloto que trate da concepção ao uso, do que um sistema complexo que aborde todas as variáveis, sendo uma construção que pode evoluir em função do interesse que possa vir a despertar futuramente.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados os fundamentos indispensáveis para a compreensão deste trabalho, dentre os quais apresenta-se a simulação como uma ferramenta de análise, sistemas dinâmicos como um novo método para analisar o comportamento dos sistemas do mundo ao nosso redor, visto como um todo e conceitos de realimentação (feedback).

Primeiramente, apresenta-se uma definição dos conceitos básicos de simulação, seu campo de aplicação, importância, vantagens e desvantagens, definiu-se sistemas e modelos, tipos de modelos e os passos para sua construção.

Posteriormente, faz-se uma fundamentação teórica e uma revisão bibliográfica referente aos trabalhos desenvolvidos nesta área que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, incluindo sistemas dinâmicos (sua origem e aplicações), conceito de feedback (relação de causa e efeito), e conceitos e tipos de jogos, entre eles jogos de simulação e os jogos de empresa, mostrando suas vantagens, conceitos e suas limitações. A descrição do jogo da cerveja, assim como sua versão original e a de David Simchi Levi e Philip Kaminsky estão no próximo capítulo.

2.1- SIMULAÇÃO

Atualmente, o volume de informações é muito grande, e são produzidas através da integração de dados, imagens e sons, em tempo real e à distância, isto facilitou e ampliou a possibilidade da implementação de novas tecnologias em diversas áreas.

Essa evolução vem sendo acompanhada pelas empresas na busca de sobrevivência e competição; têm-se implementado modificações importantes em seus sistemas, que estão cada vez mais complexos, e gerenciar torna-se uma função cada vez mais difícil.

Nossa sociedade depende de um sistema de enorme complexidade, desde plantas nucleares a aviões a jato. Existe uma comparação popular entre gerentes e pilotos de avião: gerentes devem pilotar suas empresas em céus desconhecidos e com tempo ruim, constantemente monitorando as informações do sistema sobre sinais de problema ou oportunidade, lutando contra a concorrência, impedindo o ataque dos inimigos, proporcionando sempre aos acionistas um passeio sem problemas.

Mas existe uma diferença entre gerentes e pilotos. Nenhuma companhia aérea sequer sonharia em mandar um piloto a um jato real sem um extensivo treino num simulador. Enquanto que, espera-se que os gerentes “pilotem” suas empresas contando com apenas os ensinamentos da escola gerencial ou algumas vezes contando com alguma experiência como estagiários.

Para encarar esses desafios é necessário desenvolver simuladores para gerenciar, para que se possa aprender em ambientes que motivem, providenciem experiências e lições, que comprimam o tempo e espaço podendo assim, experimentar as conseqüências em longo prazo de nossas ações.

Já bastante utilizado no ensino acadêmico, a utilização da informática através dos softwares de simulação, passou a ser utilizada não só para estudantes, como para gerentes e outros funcionários das empresas, pois a simulação permite o planejamento e a tomada de decisões de situações similares à situação real, evitando riscos e custos desnecessários.

A simulação é uma técnica matemática conhecida desde o século passado, e com a atual competitividade mundial, tornou-se uma das

ferramentas de análise mais eficaz disponível para aquelas atividades de planejamento, projeto e operação de processos ou sistemas complexos, que pode ser usada para experiências com novas situações sobre as quais se tem pouca ou mesmo nenhuma informação a fim de se preparar para o que possa acontecer. Pode servir como um “primeiro teste” para se delinear novas políticas e regras de decisão para a operação de um sistema, antes de se correr o perigo de experimentá-las no sistema real.

No passado ela era considerada como “o último recurso”, hoje, é vista como um método indispensável de solução de problemas para engenheiros, desenhistas e gerentes. Fornece os meios para representar um sistema complexo em termos manejáveis.

2.1.1- DEFINIÇÕES DE SIMULAÇÃO

Segundo Cornélio Filho (1998), as definições de simulação variam conforme os diferentes enfoques dos autores:

Segundo Cassel (1996) “a simulação permite que se verifique o funcionamento de um sistema real em um ambiente virtual, gerando modelos que se comportem como aquele, considerando a variabilidade do sistema e demonstrando o que acontecerá na realidade de forma dinâmica. Isto permite que se tenha uma melhor visualização e um melhor entendimento do sistema real, compreendendo as inter-relações existentes no mesmo, evitando assim que se gaste dinheiro, energia e até o moral do pessoal em mudanças que não tragam resultados positivos”.

Naylor (1971) já dizia que “simulação é uma técnica numérica para realizar experiências em um computador digital, as quais certos tipos de modelos lógicos que descrevem o comportamento de um sistema econômico ou de negócios (ou um aspecto parcial de um deles) sobre extensos intervalos de tempo”.

Martinelli (1987) também afirma que “a simulação é um meio de se experimentar idéias e conceitos sob condições que estariam além das possibilidades de se testar na prática, devido ao custo, demora ou risco envolvidos”.

Pedgen (1990) afirma que “a simulação pode ser definida como um processo de modelagem de um sistema real e a condução de experimentos com este modelo, com o propósito de entender o comportamento do sistema”.

De acordo a Schriber (1974): “A simulação envolve a modelagem de um processo ou sistema de modo que o modelo imite a resposta do sistema real para uma sucessão de eventos que acontecem com o passar do tempo”.

E segundo Craig (1996): “um simulador é uma coleção de hardware e sistemas de software que são usados para imitar o comportamento de alguma entidade ou fenômeno. Tipicamente, a entidade ou fenômeno que são simulados são do domínio do tangível, variando completamente da operação de circuitos integrados a comportamentos de uma aeronave em pleno vôo. Também podem ser usados simuladores para analisar e verificar modelos teóricos, quando se tornar dificultoso tratar o modelo em um nível puramente conceitual. Como tal, simuladores provêm um papel crucial em indústria e nos meios acadêmicos”.

O dicionário da língua portuguesa, Aurélio, diz que simular é “fingir, imitar, reproduzir de forma simplificada, imperfeita, mas guardando semelhanças com o elemento original”.

2.1.2- VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE SIMULAÇÃO

Uma das principais vantagens da simulação é que através dela, pode-se projetar um sistema, modificar parâmetros e verificar suas conseqüências antes do sistema ser construído ou implementado na vida real. Conseqüentemente todas alternativas podem ser testadas e exploradas apenas no papel, verificando o comportamento do sistema de diferentes maneiras evitando custos desnecessários.

Várias hipóteses podem ser verificadas se estão corretas sobre certos fenômenos, porque acontecem e quando; testar novas políticas; regras de decisão; fluxo de materiais e informações; melhorar layout; identificar gargalos de forma facilitada, entre outras.

As simulações mostram dinamicamente o comportamento e as relações entre todas as partes de um sistema ao longo do tempo, provendo uma compreensão da natureza do sistema como um todo.

É uma maneira mais econômica que testar o sistema real, evitando tempo, gastos com pessoas, materiais, etc.

2.1.3- DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE SIMULAÇÃO

Um intensivo processo computacional é necessário por alguns simuladores. Como consequência, o resultado de uma simulação pode não estar pronta logo após ter iniciado tal simulação, um evento que pode ocorrer instantaneamente no mundo real pode levar horas para ser reproduzido no mundo simulado. Os atrasos podem se tornar maiores dependendo da complexidade do sistema, devido ao elevado número de entidades ou interações complexas entre as partes do sistema que está sendo simulado.

Os resultados da simulação são, às vezes, difíceis de interpretar. A elaboração de um modelo é fatigante para capturar a aleatoriedade do sistema real, e ela é muitas vezes muito trabalhosa para determinar se uma observação feita durante uma rodada é devido a um significativo relacionamento no sistema ou devido à aleatoriedade do modelo.

A construção de modelos requer treinamento especializado que se dá em longo prazo, conforme vai se adquirindo experiência. A qualidade de uma análise depende da qualidade do modelo e da habilidade do modelador. A construção de um modelo é uma arte, e como tal, a habilidade dos profissionais varia amplamente.

A análise da simulação pode ser de alto custo em tempo e dinheiro, e muitas vezes não se dispõe nem de tempo e nem de recursos suficientes.

2.1.4- PROCESSO DE UMA SIMULAÇÃO

A essência da modelagem na simulação é auxiliar na decisão final da solução do problema. Entretanto, para aprender a ser um bom analista de

simulação é preciso fusionar as boas técnicas de resolução de problemas com a experiência na área de engenharia de software.

Todo estudo de simulação inicia com a formulação do problema, definindo claramente os propósitos e objetivos do estudo, isto é, o porque se está estudando o problema e o tipo de questões que se espera responder.

Em seguida, faz-se o planejamento do projeto verificando os recursos necessários, como pessoal, hardware e software para a execução do trabalho. Define-se o sistema, as variáveis que são elementares e indispensáveis, os limites e as restrições a serem usadas, para finalmente passar para a formulação do modelo, no qual se faz um modelo preliminar através do diagrama de blocos.

Através do diagrama de blocos é possível verificar se os padrões de comportamento estão se repetindo continuamente, melhorando ou piorando as situações, isto porque são traçados círculos de influência para que a realidade possa ser bem interpretada sob o ponto de vista de sistemas.

Com o modelo pronto, faz-se o projeto experimental preliminar, selecionam-se as medidas de desempenho a serem usadas, os fatores a serem variados e o nível em que estes fatores devem ser investigados, isto é, quais dados devem ser adquiridos do modelo, sob que forma e em que extensão.

Em seguida, preparam-se os dados de entrada do modelo e depois se faz a tradução do modelo para a linguagem de simulação apropriada.

Após estes passos, faz-se a verificação e a validação do modelo, ou seja, a confirmação de que o modelo opera de acordo com a intenção do analista (depuração) e que os resultados do modelo são válidos e representativos dos resultados do modelo real.

Se tudo estiver correto, projeta-se um experimento que produza as informações desejadas e deve-se determinar como cada teste especificado deve ser executado.

Com o projeto experimental final, faz-se a execução da simulação para a geração dos dados desejados e para executar a análise de sensibilidade.

As etapas finais são: a análise e interpretação e finalmente a implementação e documentação (dispor dos resultados para uso, registrar recomendações e documentar o modelo e seu uso).

A figura 1 mostra resumidamente as etapas num processo de simulação.

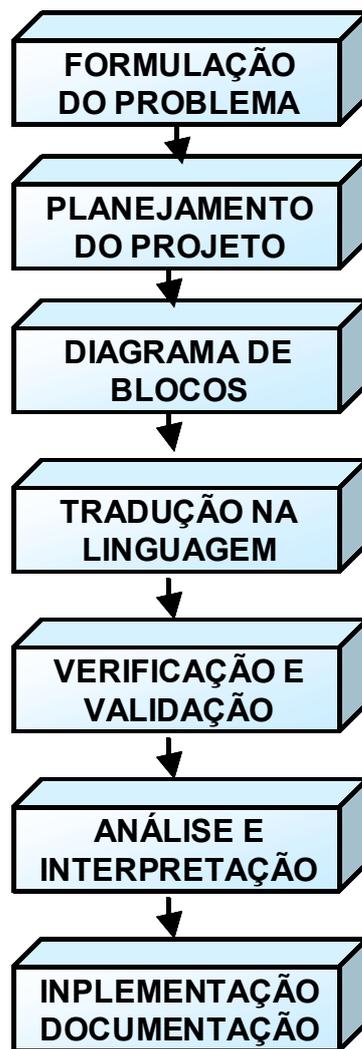


Figura 1: Etapas no processo de simulação.

2.1.5- LINGUAGEM DE SIMULAÇÃO

A princípio, as linguagens utilizadas para simulação eram de programação de propósito geral, tais como FORTRAN, BASIC, PASCAL, etc. Mas como essas linguagens exigiam um grande esforço para a construção de modelos, além de profissionais com conhecimentos profundos de programação computacional, começaram a surgir linguagens de programação dedicadas especialmente à simulação, como por exemplo: GPSS, SIMAN, SLAM, que eram na verdade, bibliotecas formadas por um conjunto de macro comandos

das linguagens de propósito geral. Alguns simuladores da geração seguinte, foram desenvolvidos sobre a plataforma dessas linguagens, como por exemplo, a ARENA (que foi construída sobre a linguagem SIMAN). A linguagem utilizada neste trabalho é uma ferramenta que encontra as necessidades de um ambiente cada vez mais complexo e de rápidas mudanças, chamado iThink.

Para a interpretação dos resultados da simulação utiliza-se a estatística e métodos gráficos. Os gráficos fornecem uma visualização do sistema durante a análise da simulação.

2.2- SISTEMAS E MODELOS

Os termos modelos e sistemas são componentes chaves da definição de simulação. Por *modelo* se entende a representação de um grupo de objetos e idéias. Por outro lado, *sistema* é um grupo ou coleção de elementos inter-relacionados que cooperam para executar algum objetivo pré-estabelecido (Pegden, 1990).

2.2.1- CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

1) O sistema é formado por componentes que interagem entre si, formando subsistemas.

2) Quando o sistema está otimizado, os seus componentes também o estão, pois não se pode otimizar cada subsistema separadamente como se os demais componentes não existissem.

3) Todo sistema tem, pelo menos, um objetivo, que deve ser claramente definido.

4) A avaliação do desempenho exige medidas de rendimento. É necessário que se definam parâmetros para avaliar o desempenho do sistema (nível de serviço, produtividade, qualidade, eficiência, lucro, etc). Parâmetros que permitam a quantificação ou, pelo menos, qualificação.

5) A manutenção do nível de desempenho requer controle permanente, de forma que o sistema continue exercendo suas funções adequadamente.

6) O sistema interage com o ambiente, o qual limita o desenvolvimento livre do sistema por meio de restrições, normas, diretrizes, etc. O planejador deve estar atento para diferenciar as restrições reais das fictícias.

7) Sistemas criados pelo homem requerem planejamento. Por isso, os componentes devem ser identificados da maneira mais clara possível, assim como o objetivo do sistema. Deve-se considerar cada componente um subsistema e tentar alcançar o ótimo de cada um deles, para depois otimizar de forma integrada. Alternativas viáveis podem ser criadas a fim de analisar as implicações de cada uma delas em cada um dos subsistemas, verificando o rendimento e o custo.

2.2.2- MODELOS

Com o avanço da tecnologia, os computadores se tornaram mais velozes, mais acessíveis e baratos e utilizados em previsões e análises políticas, especialmente em economia, energia e recursos, demografia e outras áreas cruciais, sejam setores privados ou governamentais. Entretanto nem todos se tornam criadores de modelos, mas todos se tornam usuários ou consumidores de modelos.

Isto porque, para tentar resolver qualquer problema, um dos mais importantes elementos é a construção e uso de um modelo. Para começar, todas as decisões, incluindo as do dia-a-dia, são feitas através de modelos mentais.

As decisões são baseadas em hipóteses sobre partes separadas do sistema real, e é através da intuição que se tenta encaixar esses fragmentos de conhecimento para estimar como as coisas mudam e quais vão ser as conseqüências de uma ação proposta.

Modelos mentais, portanto nada mais são que idéias profundamente arraigadas, generalizações ou mesmo imagens que influenciam o modo de encarar o mundo e as atitudes tomadas.

Uma das principais vantagens dos modelos mentais é que eles são flexíveis, ricos, contêm uma grande quantidade de informações, não somente dados numéricos, mas muitas vezes dados suficientemente precisos sobre as

peças do sistema, como por exemplo: qual informação está disponível, quem está conectado com quem, o que diferentes pessoas estão tentando alcançar, etc. Modelos mentais são como filtros que interpretam nossas experiências, avaliam planos e escolhem entre possíveis ações.

Por outro lado, os modelos mentais não são facilmente compreendidos por outras pessoas e, geralmente, são interpretados de uma maneira diferente. Além do mais, a mente humana não é confiável em compreender o significado de todas as informações disponíveis em termos de seus comportamentos e, muitas vezes, um modelo mental pode estar correto na sua estrutura e nas suas suposições, mas pode ser interpretado de uma maneira errada sobre todas as implicações no futuro.

Uma simulação computacional capta muito bem os modelos mentais obtendo as informações guardadas mentalmente e exibindo as conseqüências dinâmicas.

Criando e simulando modelos usando linguagens como iThink ou qualquer outro tipo de software, força o programador a solidificar os modelos mentais e permite observar o comportamento de sistemas complexos no qual os modelos mentais são inapropriados.

Os modelos devem ser construídos com todas as informações disponíveis, incluindo a volumosa base de dados mentais. Dados numéricos constituem uma pequena parte de toda a informação disponível.

A tradução de um modelo mental para o modelo de simulação de sistemas dinâmicos deve seguir alguns cuidados:

1) O modelo deve ser criado com nenhuma inconsistência lógica, todas as variáveis devem ser definidas uma única vez. As equações não devem ser ambíguas e as unidades de medida devem ser as mesmas em ambos os lados da equação. Muitas aplicações de softwares de sistemas dinâmicos checam este tipo de erro lógico.

2) Quando um modelo é simulado pela primeira vez, os resultados podem parecer absurdos. O comportamento simulado pode ser impossível (por exemplo: inventários ou custos podem ser valores negativos e que não tem significado real, mas se interpretado corretamente pode significar uma falta de inventário e no caso de custos uma dívida). Mas mesmo assim, deve-se

redefinir o modelo para se ter certeza de que a estrutura seja mais realista e robusta.

3) Quando um modelo é melhorado, o comportamento surpresa às vezes não revela os erros do modelo, mas diz algo sobre a vida real que não tinha sido realizada previamente.

A grande e principal vantagem da simulação de um modelo computacional sobre o modelo mental está no fato do computador ter a capacidade de determinar as conseqüências dinâmicas no futuro de como as variáveis dentro do modelo interagem uma com a outra. Entretanto, modelos mentais e computacionais não devem ser considerados como pólos extremos, mas sim como uma transição e um modo de reforço para entender a realidade.

Um modelo científico pode ser definido como uma abstração de um sistema real. A finalidade de um modelo científico é permitir ao analista determinar em que proporções uma ou mais mudanças em determinados aspectos de um sistema (do qual se fez o modelo) poderão afetar outros aspectos do sistema ou o próprio sistema como um todo. O modelo deve servir como uma aproximação razoavelmente precisa do sistema real e conter a maior parte dos aspectos importantes do mesmo. Por outro lado, o modelo não deve ser tão complexo que se torne impossível compreendê-lo e manipulá-lo.

Modelos possuem uma linguagem clara, simples, precisa e comum, com a qual une diversos estilos de aprendizado e interesses, ajudam a converter coisas abstratas em realidades concretas.

Uma cuidadosa concepção do modelo pode diminuir a complexidade, deixando somente que o analista descubra o importante. Parte dos sistemas são testados para considerar o desempenho do sistema total, isto é, baseado no fato que se cada elemento ou subsistema é otimizado desde o projeto ou do ponto de vista operacional, geralmente o desempenho de um sistema pode ser “sub-ótimo” por causa das interações entre as partes.

Os elementos do sistema são os componentes, partes e subsistemas que desempenham uma função ou processo. Os relacionamentos entre esses elementos e a maneira que eles interagem determinam como o sistema todo se comporta e como pode cumprir bem todo seu objetivo.

Um modelo é utilizado também quando se deseja aprender alguma coisa sobre um sistema real que não se pode observar ou experimentar diretamente, por que o sistema até agora não existe ou por ser difícil de manipular.

2.2.2.1- CRIAÇÃO DE UM MODELO

O primeiro passo na criação de um modelo é definir claramente o problema e seu propósito. Este propósito vai guiar as decisões a serem tomadas, os limites e outros aspectos do modelo. Deve-se ter um alvo para decidir quão complexo fazer o modelo. Não existe um único modelo de sistema, ele pode ser modelado por vários métodos e de várias maneiras, dependendo de que grau de complexidade se deseja analisá-lo.

Como segundo passo, deve-se definir o sistema que se deseja modelar, decidir exatamente o que vai pertencer ao modelo e o que não vai. Não se pode incluir o mundo todo no modelo, mas também há certas variáveis que não podem ser excluídas, deve-se encontrar o equilíbrio.

Em terceiro, deve-se identificar as variáveis chaves do sistema, aqueles fatores que mais o afetam. Ao nomear as variáveis, deve-se tomar cuidado para não dar margem a confusão, usar nomes que associam com a quantidade real e não usar nomes vagos como atitude mental ou estilo de vida.

Em quarto lugar, deve-se descrever o comportamento das variáveis chaves, ou seja, como elas se comportam no mundo real. Desenvolve-se, assim, uma referência do padrão de comportamento, ou seja, conhecer aproximadamente o comportamento de saída que o modelo deve ter com certos valores de entrada. Pode não se saber exatamente a resposta, mas pode-se pelo menos conhecer algumas restrições, por exemplo: que população não pode ser um valor negativo ou infinito. Este é um passo importante que vai ajudar a melhorar o modelo.

O quinto passo consiste em desenvolver e representar as hipóteses, e em seguida, dar início à construção do modelo na linguagem desejada (que seria o sexto passo).

Neste trabalho, como a linguagem utilizada é o iThink, no quinto passo, deve-se identificar os fluxos e os estoques (ou reservatórios) do sistema.

Verificar se existe uma cadeia principal, no qual o material transportado por uma seqüência de reservatórios é conectado por fluxos conservadores. Se não existir uma cadeia principal, deve-se verificar setores isolados. Em seguida, começa-se a construir o modelo no iThink, na segunda camada (também chamada de modelo) com os estoques e fluxos e, em seguida, entra-se com as equações para os elementos do modelo. Todas as informações sobre a construção do modelo no iThink e os ícones de construção (estoques, fluxos, conversores e conectores) serão descritos no capítulo 3 deste trabalho.

Como sétimo passo deve-se dar início ao teste e à verificação do modelo, ou seja, verificar se o comportamento foi o esperado ou se há a necessidade de refazer algum passo; verificar possíveis erros e causas do comportamento anômalo, modificando o modelo para que produza o comportamento apropriado. Este processo não assegura que indefectivamente o modelo represente o sistema real, ele apenas assegura que o modelo está livre de erros.

Nesta fase de verificação do modelo são detectados muitos tipos diferentes de erros lógicos que foram introduzidos equivocadamente no desenvolvimento do modelo. Alguns dos mais comuns equívocos incluem omissões no começo, variáveis sub-escritas e falhas na liberação de recursos depois de completar uma operação. A eliminação e isolamento destes erros consomem tempo, e muitas vezes passam despercebidos no modelo levando a conclusões errôneas sobre o desempenho do sistema. Neste caso, a simulação nos conduz a uma decisão ineficiente e custosa (GAONA, 1995).

A validação do modelo, o oitavo passo, é o processo de determinar se um modelo reflete adequadamente a realidade do sistema real de maneira que ele possa responder adequadamente a um tipo específico de questões a respeito da operação do sistema. Ele está sempre ligado aos objetivos do estudo de simulação. Deve-se, então, desafiar os limites, variar as condições impostas a princípio e verificar o que ocorre com o sistema, podendo também acrescentar algumas equações. E, se possível, melhorar o modelo.

Por último, o nono passo, deve-se tornar o aprendizado disponível, documentando e registrando a utilidade do modelo e possíveis implementações e alterações em suas restrições, por isso é importante fazer o modelo claro para que outras pessoas possam compreender sua estrutura.

A figura 2 mostra resumidamente os passos que devem ser seguidos para a criação de um modelo.

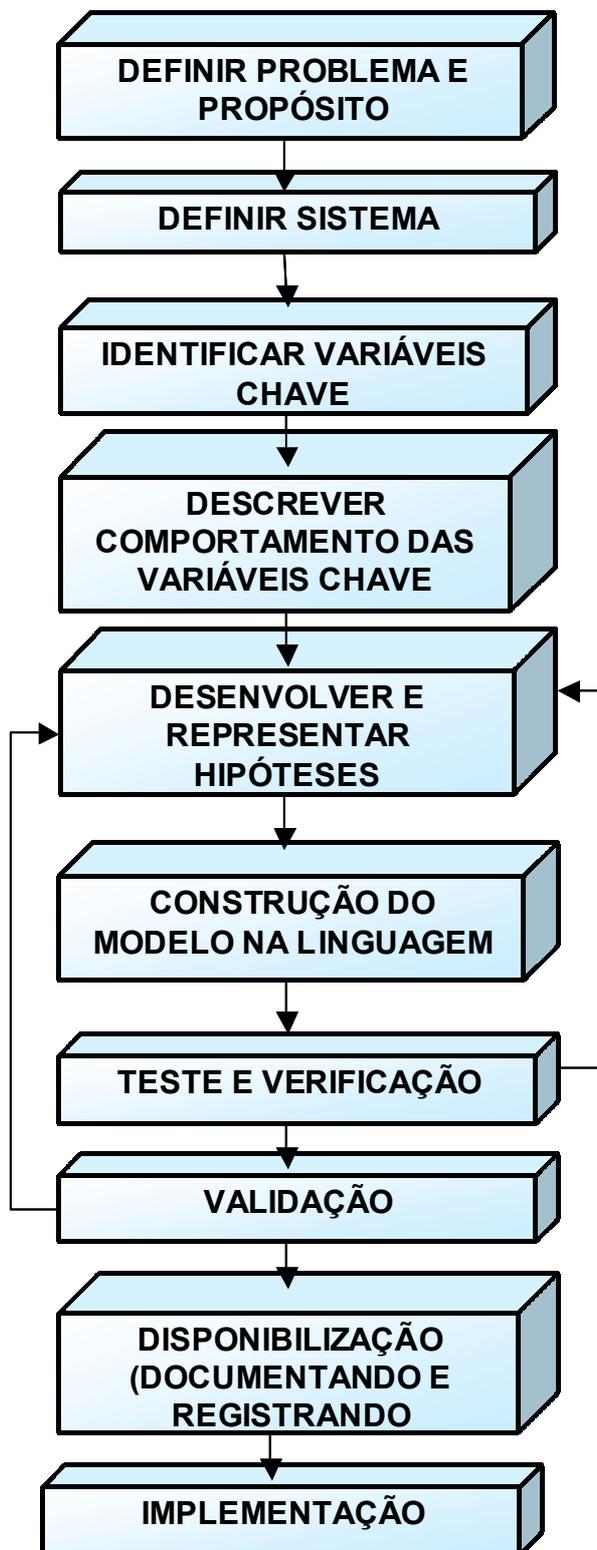


Figura 2: Passos na criação de um modelo.

2.2.2.2- TIPOS DE MODELOS

Os modelos podem ser classificados por vários métodos diferentes, que servem para diferenciá-los e não os sistemas reais que eles representam. Podem ser estáticos ou dinâmicos, matemáticos ou físicos, estocásticos ou determinísticos. Mas a classificação mais utilizada é a que divide os modelos conforme sua função: de otimizar e de simular.

Segundo o dicionário Oxford de inglês, otimização é definida como “fazer o melhor dentre todos, desenvolver o máximo”. Os modelos de otimização não dizem o que vai acontecer numa determinada situação, mas ensinam os passos que devem ser tomados para se conseguir a melhor dentre todas as possíveis situações. São utilizados quando se deseja escolher a melhor alternativa entre várias opções bem definidas, para melhorar a qualidade de algumas decisões em muitas áreas, incluindo design de computadores, móveis, programação dos horários de vôos, entre outros.

Os modelos de simulação são aqueles que “imitam”, seu propósito é imitar um sistema real para estudar seu comportamento. O modelo é uma réplica de laboratório do sistema real. São utilizados para simular vôos sob diferentes condições do tempo e com diferentes quantidades de combustíveis. Economistas e cientistas sociais também utilizam modelos de simulação para entender o preço da energia e como isto afeta a economia, como a população reage a novas políticas urbanas, e como o crescimento populacional interage com o fornecimento de alimentos, recursos e com o meio ambiente. Há muitas e diferentes técnicas de simulação, incluindo modelos estocásticos, determinísticos e dinâmicos.

Modelos dinâmicos são aqueles que descrevem o comportamento de um sistema através do tempo.

Os modelos determinísticos são modelos que não permitem às variáveis de entrada do modelo (também chamadas de exógenas, que geralmente são previamente determinadas e fornecidas, atuam sobre o sistema, mas não são influenciadas pelo mesmo) e as variáveis de saída do sistema (ou endógenas, que são dependentes e geradas de acordo com as características operacionais do sistema) serem variáveis randômicas (aleatórias), e as características

operacionais devem ser relações exatas e não uma função densidade de probabilidade.

Já os modelos estocásticos são assim chamados quando pelo menos uma das características operacionais é dada por uma função de probabilidade. O uso da técnica analítica é muito limitada para a solução destes modelos porque eles são mais complexos que os determinísticos. Por isso a simulação é muito mais adequada como métodos de análise e solução para modelos estocásticos que para os determinísticos.

Os modelos determinísticos são menos computacionalmente exigentes que os estocásticos e geralmente podem ser resolvidos por técnicas de cálculo de máximos e mínimos.

Neste trabalho os modelos são de simulação, dinâmicos, alguns modelos são determinísticos e outros estocásticos. Como será visto mais adiante, as opções de demanda são exemplo de modelo determinístico e o modelo que envolve o nível de serviço é estocástico, pois é dado segundo uma função de probabilidade, seguindo uma distribuição normal.

2.3- SISTEMAS DINÂMICOS

Sistemas dinâmicos (do inglês: System Dynamics) é um grupo de técnicas de pensamento e modelagem computacional, uma metodologia que combina teorias, métodos e filosofia para analisar o comportamento dos sistemas do mundo ao nosso redor, visto como um todo, e não dividido em partes separadas. Como comportamento do sistema, sistemas dinâmicos se referem ao modo pelo qual os elementos ou variáveis que compõem o sistema variam ao longo do tempo.

Sistema, no campo de sistemas dinâmicos, é definido como uma coleção de elementos que interagem continuamente pelo tempo e de uma forma unificada como um todo. As relações e conexões entre os componentes do sistema são chamadas de estrutura do sistema.

O termo dinâmico se refere à mudança ao longo do tempo. Se alguma coisa é dinâmica ela está constantemente mudando. Um sistema dinâmico é

um sistema no qual as variáveis interagem para simular mudanças ao longo do tempo.

O conceito principal de sistemas dinâmicos é entender como todos os objetos num sistema interagem uns com os outros de uma forma dinâmica, em função do tempo.

Sistemas dinâmicos podem ser utilizados para observar e analisar qualquer organização complexa, como por exemplo: o corpo humano, economia nacional, o clima do planeta Terra, sistemas físicos, químicos, biológicos ou até mesmo literário, de uma maneira compreensiva, ou seja, procurando entender sua estrutura, as interconexões entre todos os componentes, e como mudanças em qualquer área vai afetar o sistema todo e suas partes constituintes ao longo do tempo.

Podem mostrar significados dinâmicos dos detalhes, como estão relacionados, como eles influenciam uns com os outros, e como os resultados de comportamentos passados e futuros são influenciados pela tomada de decisões e suas interconexões.

Um modelo de sistemas dinâmicos é a representação da estrutura de um sistema. Uma vez que o modelo de sistemas dinâmicos é construído e suas condições iniciais são especificadas, um computador pode simular o comportamento de diferentes variáveis do modelo sobre o tempo, testar hipóteses sobre modelos mentais e diferentes escolhas de políticas, e através de perturbações, pode-se verificar como o sistema vai responder sob a variação de um grupo de condições.

Sistemas dinâmicos usam conceitos descritos no campo de controles realimentados (feedback) para organizar as informações num modelo de simulação computacional. Um processo de realimentação existe quando uma ação afeta a condição de um sistema e esta mudança nas condições afeta futuras ações, em outras palavras, feedback é um processo circular onde uma mudança em uma variável afeta outras variáveis através do tempo, no qual afeta de volta a variável original, e assim por diante.

Interações humanas, vida em casa, política, processos gerenciais, mudanças ambientais e atividades biológicas todas operam com base na realimentação que conecta uma ação para resultar em futuras ações.

Processos realimentados determinam estabilidade, alcançar objetivos, estagnação, declínio e crescimento.

Processos de feedback governam todos os crescimentos, flutuações e declínios e é a base fundamental para todas as mudanças. O ponto de vista do feedback revela novas percepções nos sistemas gerenciais e econômicos que tenham escapado de uma análise descritiva e estatística. Mais tarde será descrito tipos de feedback usados em modelos de sistemas dinâmicos, no item 2.4.

Sistemas dinâmicos não são restritos a sistemas lineares, podem ser utilizados nas características de sistemas não lineares. A maioria dos comportamentos dinâmicos da vida real depende da não linearidade dos sistemas.

2.3.1- ORIGEM DE SISTEMAS DINÂMICOS

Essa metodologia de sistemas dinâmicos foi desenvolvida em 1956, por Jay W. Forrester, que era professor da escola Sloan School of Management (escola de gerenciamento) do MIT (Massachusetts Institute of Technology) e que, nesta época, também trabalhava na General Electric, nos Estados Unidos da América.

Inicialmente sistema dinâmico foi desenvolvido como uma disciplina de gerenciamento a fim de compreender como políticas de corporações produziam fracasso ou sucesso. O que havia nas tomadas de decisões que produziam o crescimento ou o declínio; quais políticas produziam enormes flutuações no número de empregados, entre outros.

A origem de sistemas dinâmicos ocorreu quando a General Electric, empresa na qual Jay Forrester trabalhava na época, enfrentava problemas numa de suas fábricas de aparelhos domésticos, em Kentucky.

O problema consistia no fato de muitas vezes a fábrica ter a necessidade de um grande número de empregados trabalhar em três turnos e pouco tempo depois dispensar metade desse pessoal. Isso vinha se repetindo num mesmo ciclo, de dois a três anos. A explicação que se dava para esse fato era que devido ao ciclo dos negócios causado pelas flutuações da demanda se

contratavam mais pessoas em determinados períodos e depois os demitiam, mas essa não era uma explicação suficiente.

Foi por isso, que Forrester começou a fazer uma simulação no papel, contendo colunas com o número de estoques, de empregados e de pedidos e então, começou a analisar as políticas que a empresa seguia (inclui as existentes tomadas de decisões para contratar e demitir pessoal).

Forrester foi capaz de mostrar que a instabilidade dos empregados na GE era devido à estrutura interna da firma e não a forças externas como o ciclo dos negócios. A partir disso, o encarregado poderia, então, decidir quantas pessoas seriam contratadas nas próximas semanas. Isto deu uma nova condição de emprego, níveis de estoque e produção. Tornou-se evidente que o problema desse sistema instável e oscilatório era por fatores internos da própria empresa. Esta primeira simulação de um sistema de controle de estoques, feita no papel foi a origem do sistema dinâmico.

Após esta análise simples, surgiu o primeiro compilador nesta área, em 1958, chamado de "SIMPLE" (Simulation of Industrial Management Problems with Lots of Equations), que significa: simulação de problemas de gerenciamento industrial com muitas equações, criado por Richard Bennett. Uma versão melhorada desse compilador foi desenvolvida em 1959 por Phyllis Fox e Alexander Pugh, chamado de DYNAMO (DYNamic MOdels, que em português: modelos dinâmicos) e a partir de então, o conceito de sistemas dinâmicos, originalmente criado para as ciências de engenharia e gerenciamento, se expandiu em outras áreas como sistemas sociais, econômicos, físicos, químicos, biológicos e ecológicos, e em outros países, formando grupos de trabalhos neste campo. O primeiro grupo (System Dynamics Group) foi formado por Forrester em 1956, na Sloan School do MIT.

Mais tarde surgiu o mais recente programa de modelagem em sistemas dinâmicos, utilizado neste trabalho e que será descrito mais tarde, o software iThink, criado em 1989 por Barry Richmond, PhD em sistemas dinâmicos pelo MIT, através da sua empresa: High Performance Systems.

2.3.2- ALGUMAS APLICAÇÕES DE SISTEMAS DINÂMICOS

Desde que foi criado e durante os anos 60, sistemas dinâmicos eram aplicados quase que exclusivamente em problemas gerenciais nas empresas, o primeiro livro nesta área escrito por Forrester foi *Industrial Dynamics*, em 1961. Para ele, dinâmica industrial era definido como: “O estudo das características da realimentação de informações nas atividades industriais que mostra como a estrutura organizacional, amplificação (das políticas) e os atrasos (nas decisões e retornos) interagem para influenciar o sucesso do negócio. Ela trata das interações entre os fluxos de informações, dinheiro, pedidos, materiais, pessoas e equipamentos, numa companhia, num segmento ou na economia nacional, além de proporcionar uma estrutura única para a integração das áreas de gerenciamento funcional – marketing, produção, contabilidade, pesquisa e desenvolvimento e investimento capital”.

Em 1968, Forrester fez seu primeiro trabalho fora da área gerencial, que foi o *Urban Dynamics*, que tratava das políticas urbanas seguidas pelos Estados Unidos na época, analisando suas conseqüências ao longo dos anos, e que resultou em grandes controvérsias, pois mostrava a ineficiência de políticas urbanas bem conhecidas que acabavam tornando a situação dos problemas urbanos ainda piores. Além disso, o modelo mostra que é contra políticas intuitivas, ou seja, políticas que parecem num primeiro momento serem incorretas, mas que podem trazer, após certo período, resultados efetivos.

Outros trabalhos foram feitos fora da área de gerenciamento, como *World Dynamics*, em 1971, também por Forrester. O modelo mostra o colapso do sistema mundial sócio econômico durante o século vinte, através da simulação é possível verificar diferentes alternativas para o futuro dependendo das políticas sociais adotadas para limitar o crescimento populacional, pois mostra como um aumento exponencial da população e consumo de recursos naturais poderia levar a crises de poluição, superpopulação e fome, ao menos que houvesse grandes mudanças na política econômica.

Forrester se dedicou em três principais interesses baseados em sistemas dinâmicos: o projeto do modelo nacional de sistemas dinâmicos (System Dynamics National Model ou National Model Project), que gera o

comportamento dos maiores meios econômicos; uma nova educação gerencial baseada na complexidade dinâmica de todas as partes relacionadas de uma corporação as levando a um sistema unificado; e sistemas dinâmicos como uma metodologia que traz coesão, significado e motivação à educação pré-faculdade, ou seja, do jardim de infância até o colegial.

O National Model Project se esforça para um melhor entendimento de como a economia americana funciona. O grupo usa o modelo nacional de sistemas dinâmicos o qual gera o comportamento observado na economia atual pelas interações das estruturas locais e as políticas de tomadas de decisões, construindo uma ponte que une a micro estrutura com o macro comportamento.

O projeto de educação de sistemas dinâmicos (SDEP: System Dynamic in Education Project), fundado em 1990, faz parte de um programa de trabalho de estudo de um grupo supervisionado por Jay Forrester do Instituto de Tecnologia de Massachusetts e o seu primeiro foco foi o uso de sistemas dinâmicos e o learner-centered-learning (aprendizado focalizado), que será abordado mais adiante.

Este grupo está escrevendo os Road Maps, que é um guia de auto estudo que utiliza exercícios de modelagem e literatura selecionada para fornecer um aprendizado sobre os princípios e práticas do sistema dinâmico. É um projeto que ainda continua, organizado numa série de capítulos, nos quais os nove primeiros capítulos estão disponíveis na página da internet. Ensina ao leitor como identificar diferentes tipos de sistemas ao nosso redor e como modelar esses sistemas usando computador. Pode ser a fonte tanto para iniciantes como para avançados modeladores, e não requer conhecimento prévio de sistemas dinâmicos, somente habilidades matemáticas básicas.

Resumidamente, os Road Maps introduzem o conceito de feedback em sistemas (de primeira ordem, feedback positivo e negativo, mostra alguns comportamentos inesperados que ocorrem em feedbacks de ordens elevadas), conceito de estoques ou níveis (stock ou level) e fluxos ou taxas (flow ou rate), apresenta os primeiros modelos de sistemas dinâmicos, introduzindo a simulação computacional e conceito e métodos de integração gráfica (o processo de estimar o comportamento ou o valor de um estoque estudando os gráficos dos fluxos de entrada e o de saída do estoque), o software iThink (que

será abordado no próximo capítulo), introduz-se estruturas genéricas sobre alguns jogos de simulação computacional, testes para validar o contexto de sistemas dinâmicos, sistemas oscilatórios, como transferir estruturas, mostra os erros comuns encontrados nos modelos de sistemas dinâmicos, exemplos, aplicações e exercícios.

A introdução de sistemas dinâmicos na educação pré-faculdade foi um projeto pioneiro que teve início há pouco tempo. A educação até hoje se mostrou de uma maneira estática e separada em departamentos de diferentes matérias que, na vida real interagem umas com as outras e os problemas do mundo real são dinâmicos. Entretanto, dois desenvolvimentos mutuamente reforçam a promessa de que o processo de aprendizagem pode ser melhorado, que são: sistemas dinâmicos e learner-centered-learning.

Learner-centered-learning (aprendizado focalizado), termo utilizado pela primeira vez por Mrs. Kenneth Hayden numa fundação nos Estados Unidos, é uma reorganização do método de ensino utilizando sistemas dinâmicos que altera substancialmente a regra de professor. O professor deixa de ser a fonte de todo o conhecimento e os estudantes receptores passivos, se tornam treinadores e conselheiros para que, estudantes reunidos em pequenos grupos, explorem e trabalhem juntos, um ajudando o outro e o professor se torna um colega e participante, atuando como guia e como fonte de recursos para quaisquer dúvidas, não como figuras autoritárias ditando cada passo do processo educacional.

Os alunos aprendem mais dessa forma, podem verificar o que acontece na vida real, juntando as matérias que eram dadas separadamente, acabam guardando mais o conteúdo, aprendem a trabalhar em equipes, a identificar melhor as questões, como chegar nas raízes de uma situação problemática e ter melhores e criativas ferramentas de solução.

O ensino através do uso de sistemas dinâmicos mostra a vantagem de reverter a seqüência de ensino tradicional para o progresso geralmente através de cinco passos: aprender os fatos; compreender o significado; aplicar os fatos a generalização; analisar o material separado em partes e juntar as partes num todo.

Portanto, sistemas dinâmicos oferecem a base para um novo tipo de educação que leva a uma melhor compreensão das mudanças sociais e das

condições ambientais. Mas o ponto de vista dinâmico leva tempo para ser absorvido. Alguns anos são necessários para organizar o pensamento de um estudante a uma estrutura dinâmica como referência. Somente quando considerações dinâmicas são introduzidas através do processo educacional, é que estudantes terão tempo para melhorar o desenvolvimento de modelos mentais como guia pessoal e para ações públicas.

Sistemas dinâmicos se espalharam não somente no ensino básico como também foi introduzida em todas as séries. Matérias como Shakespeare, economia, e física são ensinadas, hoje, parte ou totalmente com o uso de sistemas dinâmicos, consegue-se reverter a tradicional seqüência de ensino, que ensina as matérias separadamente, juntando os fatos da escola elementar com as experiências da vida.

Outras aplicações de sistemas dinâmicos têm sido para formular novas políticas (seja para a sociedade ou para a empresa), observar comportamentos em corporações, medicina interna como o comportamento da diabetes, o crescimento e a estagnação de áreas urbanas, psiquiatria, fornecimento de energia, comportamento econômico, treinando gerentes, na educação primária e secundária e as forças mundiais representando interações da população, poluição, industrialização, recursos naturais e comida.

Essa nova metodologia de sistemas dinâmicos está se desenvolvendo muito rapidamente, já se espalhou pela Noruega, Colorado, Espanha, China, Califórnia, Alemanha e Tailândia. Livros sobre sistemas dinâmicos e artigos (papers) já foram traduzidos para muitas línguas incluindo o russo, japonês e o chinês.

2.3.3- PROJETO DE SISTEMAS DINÂMICOS

Um projeto de sistemas dinâmicos começa com um problema a ser resolvido, uma situação que precisa ser melhorada ou um comportamento não desejado para ser corrigido ou evitado e pode ser desenvolvido em seis passos.

O primeiro passo consiste na obtenção de informações, dados mentais, políticas e guia de decisões, identificar com clareza um propósito importante e

gerar hipóteses de como o sistema está criando o comportamento problemático.

Decidir o propósito do problema significa focar no problema, escolher os componentes e as estruturas viáveis. Um modelo de sistemas dinâmicos é construído para se entender um sistema de forças que criaram o problema e continuam sustentando isso.

O objetivo desta fase é alcançar um modelo conceitual capaz de representar o problema real e relevante do sistema. Depois de escolher qual área do problema o modelo vai focar, deve-se recolher dados que consistem não somente de dados estatísticos, mas também de conhecimento operacional das pessoas que estão familiarizadas com o sistema a ser analisado. O modelo deve ser compreendido pelos interessados no sistema em questão, caso contrário, o modelo pode ser considerado inútil.

Geralmente o propósito do problema cai numa dessas categorias: esclarecer o conhecimento e compreender o sistema; descobrir políticas que irão melhorar o comportamento do sistema e/ou capturar modelos mentais que servirão como meio de comunicação e unificação.

Bons modelos de sistemas dinâmicos contribuem para relatar o legado das decisões passadas e ações do presente e suas implicações para os anos que virão.

Ainda nesta etapa, deve-se definir o limite que inclui o sistema de interesse e identificar as variáveis chaves. O limite implica que nenhuma influência externa da fronteira é necessária para gerar o comportamento particular a ser investigado. O comportamento de interesse deve ser identificado antes do limite ser determinado.

Não se começa construindo o modelo do sistema, mas identificando o problema, um grupo de sintomas, e o seu comportamento, que é o objetivo do estudo. Sem um propósito é impossível se determinar os limites do sistema.

O limite deve incluir o menor número possível de componentes, para isso, deve-se verificar quais influenciam ou não no comportamento indesejável do sistema, excluindo aqueles que podem ser omitidos sem destruir o objetivo de estudo do sistema.

Os componentes que permaneceram são aqueles necessários para gerar e representar o comportamento de interesse do propósito do modelo,

eles podem ser agregados (se tiverem conceitos similares) desde que não modifiquem a natureza do problema que está sendo modelado. Deve-se separar os componentes em: endógenos e exógenos.

Os componentes exógenos são aqueles cujos valores não afetam diretamente o sistema, são variáveis independentes ou de entrada do modelo, geralmente são previamente determinados ou fornecidos, independentemente do sistema de que se está construindo o modelo. Estas variáveis podem ser vistas como atuantes sobre o sistema, mas não sendo influenciadas pelo mesmo. A direção causa-efeito é admitida como sendo apenas no sentido das variáveis exógenas para o sistema. Essas variáveis exógenas podem ser classificadas como controláveis ou não controláveis. Variáveis controláveis são as variáveis ou parâmetros que podem ser manipuladas ou controladas por elementos encarregados da decisão ou de estabelecer o programa de ação em relação ao sistema. Variáveis não controláveis são geradas pelas circunstâncias nas quais o sistema modelado existe e não pelo próprio sistema ou pelos elementos encarregados das decisões a ele relativas.

Componentes endógenos são aquelas variáveis dinâmicas que estão envolvidas na realimentação (no feedback) do sistema. As variáveis endógenas são as variáveis dependentes ou de saída do sistema e são geradas pela interação das variáveis exógenas, de acordo com as características operacionais do sistema.

No segundo passo, inicia-se a formulação do modelo de simulação. A descrição do sistema é traduzida em equações de níveis e fluxos, que representam a estrutura de realimentação (feedback) e serão explicados no item 2.4.2. Nesta etapa, muitas vezes, ao escrever as equações, inconsistências são reveladas e devem ser remediadas pela descrição no primeiro passo.

No terceiro passo, as equações escritas no passo anterior passam por critérios lógicos de um modelo operável, como por exemplo: todas as variáveis devem ser definidas uma única vez, não se pode ter equações ambíguas, e as unidades de medida devem ser consistentes. Alguns pacotes de software de sistemas dinâmicos já fazem esta lógica checagem e então, começa-se a simulação.

A simulação pode a princípio apresentar comportamentos não reais, muitas vezes sistemas dinâmicos revelam como estruturas e políticas conhecidas produzem um comportamento inesperado e preocupante. Os resultados da simulação conduzem de volta à descrição do problema e ao refinamento das equações, ou seja, ao primeiro e segundo passos até o modelo se tornar adequado para o propósito em questão. Esta adequação não significa que ele estará válido, mas que terá um grau de confiança no modelo que é o compromisso entre a adequação, tempo e custos para futuras melhorias.

No quarto passo, identificam-se várias alternativas de políticas para serem testadas e então, consegue-se determinar qual delas mostra o melhor resultado. As alternativas podem vir a partir de percepções intuitivas geradas durante os três primeiros passos, através de experiências do analista, de propostas de pessoas do sistema operacional, ou pelo exaustivo e automático teste mudando os parâmetros.

O quinto passo se prepara para a implementação. O modelo vai mostrar como o sistema está causando os problemas que foram encontrados. A maioria das vezes, os problemas estão nas políticas adotadas e seguidas pelas pessoas que acham ser a solução correta para resolvê-los.

A implementação das novas políticas ocorre no sexto e último passo e leva um tempo, pois políticas antigas devem ser retiradas e as novas requerem criação de novas fontes de informações e treinamento. As dificuldades neste passo irão aparecer devido à deficiência num dos primeiros passos, e então, deve-se voltar e verificar possíveis erros.

A figura 3 mostra os passos a serem seguidos para a construção de um projeto de sistemas dinâmicos.

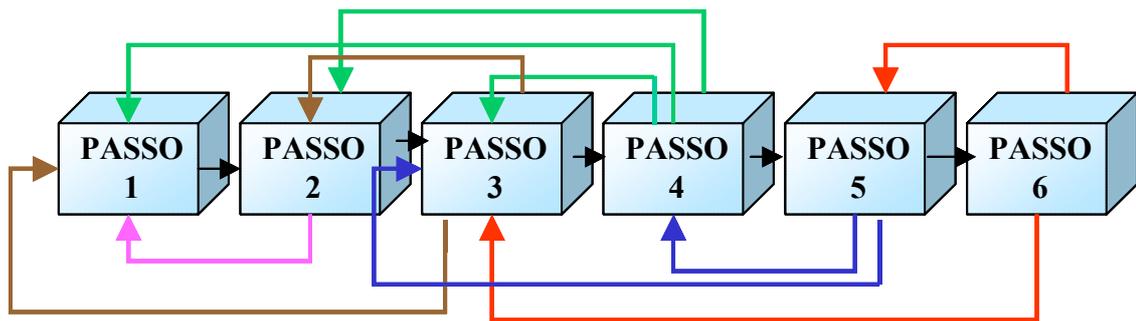


Figura 3: Passos na construção de um projeto de sistemas dinâmicos.

Legenda:

Passo1: descrever o sistema

Passo2: converter a descrição em equações de níveis e fluxos

Passo3: simular o modelo

Passo4: projetar políticas e estruturas alternativas

Passo5: Educar e debater

Passo6: implementar as mudanças nas políticas e estruturas

2.3.4- VANTAGENS NA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DINÂMICOS

A seguir são relacionadas algumas vantagens na utilização de sistemas dinâmicos em sistemas complexos:

1) Relações de Causa e efeito: para sistemas simples causa e efeito estão proximamente ligados, mas para um sistema complexo, o que acontece num ponto do sistema pode surtir efeito num ponto bem distante e depois de muito tempo.

2) Longo prazo e curto prazo: a curto prazo um sistema pode encontrar seu objetivo, mas a longo prazo pode ter conseqüências indesejadas, como por exemplo: fazer um empréstimo, a curto prazo o problema da falta de dinheiro está resolvido, mas se nada acontecer, a longo prazo com juros, a dívida e portanto a situação será pior.

3) Ações ineficazes: em sistemas simples é fácil e claro saber o que deve ser feito para encontrar o objetivo, mas em sistemas complexos, muitas ações podem levar a nada ou ainda piorar a situação. As decisões óbvias num sistema complexo geralmente são ineficientes.

4) Direções erradas para ações eficazes.

5) Culpar outros: num sistema complexo as causas são obscuras. Não é evidente às vezes que a crise tenha sido criada por nós mesmos, então há uma grande tendência a culpar outros. A prática de culpar os outros diverge a atenção para a causa real do problema, que geralmente são nossas próprias ações.

6) Colapso de objetivos: em sistemas simples, objetivos são reforçados e mantidos, o mesmo não ocorre em sistemas complexos.

2.4- FEEDBACK (REALIMENTAÇÃO)

Como já foi brevemente descrito no item 2.3.1, feedback implica num círculo de causa e efeito, onde uma decisão, baseada na observação do sistema, produz uma ação que altera a situação do mesmo, e a nova situação gerada acrescenta novas informações como entradas para futuras decisões.

Feedback é o processo através do qual um sinal atravessa uma cadeia de relações causais que se afetam novamente, em outras palavras, feedback é um processo circular onde uma mudança em uma variável afeta outras variáveis através do tempo, no qual afeta de volta a variável original, e assim por diante. Assim, feedback ocorre quando uma saída do sistema é alimentada de volta (realimentada) no sistema como entrada.

Não importa qual a natureza do processo de decisão (qualquer caso onde uma mudança é feita baseada em informações reunidas num sistema).— humano, subconsciente, biológico, químico, mecânico, elétrico, entre outros — todos estão envolvidos dentro de pelo menos um feedback.

Sistemas mais complexos são construídos com muitos feedbacks, e uma mudança, em qualquer um deles, vai afetar todos os outros de maneira dinâmica.



Figura 4: Forma unidirecional e estática de ver um problema.

A figura 4 sugere que o mundo é unidirecional, que o problema é estático e só o que precisamos é encontrar a ação que leva ao resultado desejado.

Mas ao contrário, vivemos num meio ambiente circular, como mostra a figura 5, onde cada ação está baseada em condições atuais, que afetam e mudam essas condições, e estas novas condições se tornam a base para uma futura ação.



Figura 5: Forma dinâmica de ver um problema.

2.4.1- CLASSIFICAÇÃO DO FEEDBACK

Feedback é classificado em positivo e negativo, mas essas designações simplesmente se referem à mudança no sistema realimentado se mover na mesma direção de forma a produzir sempre um acréscimo, reforçando o comportamento (feedback positivo), ou se mover na direção oposta produzindo um equilíbrio, um balanço, um comportamento estável (feedback negativo).

No feedback positivo um aumento numa variável leva, após um tempo, a um aumento na mesma variável, o que leva a um crescimento e à mudança. Geralmente apresenta um crescimento exponencial (composição e reforço), pois a saída é somada à entrada gerando uma nova saída, que vai se juntar à entrada e assim por diante, isto ocorre quando só há fluxo de entrada, ou o fluxo de entrada é maior que o de saída.

Num comportamento exponencial crescente, todas as condições iniciais irão reforçar o estado atual, e levá-lo para o infinito. Exponencial crescente é um comportamento estável. Mas um feedback positivo ainda pode exibir um comportamento de equilíbrio instável e de oscilação. É encontrado em sistemas de amplificação, composição ou reforço e em sistemas que produzem um comportamento exponencial.

Um exemplo clássico de realimentação positiva é o sistema que verifica o número de habitantes de um determinado local com o passar do tempo, composto por um fluxo de entrada (fluxo de natalidade), um estoque que representa a população e um fluxo de saída (fluxo de mortandade). Se o fluxo de saída for menor que o da entrada, quanto maior a população, maior será a taxa de natalidade e conseqüentemente maior a população. O gráfico exibido por esse sistema é uma exponencial crescente.

Por outro lado, feedback é negativo quando um aumento numa variável, após certo intervalo de tempo, leva a uma diminuição da mesma variável, ou seja, ocorre quando uma mudança no sistema produz menos e menos mudanças na mesma direção até o objetivo ser alcançado. Feedback negativo leva ao equilíbrio ou à estabilização do sistema.

Geralmente apresentam um comportamento assintótico decrescente até atingir o equilíbrio ou assintótico crescente até o equilíbrio. Entretanto, em sistemas complexos pode apresentar um comportamento oscilatório.

Um exemplo de realimentação negativa é uma sala com ar condicionado, onde ocorre um distúrbio na temperatura causando um esfriamento da sala. O termostato do aparelho faz com que a temperatura volte à desejada, aquecendo a sala até a temperatura adequada, para então se desligar. A temperatura foi a causa do acionamento do termostato e do seu desligamento. Este é um exemplo de realimentação fechada, que são mais

comumente chamados de sistemas de feedback, no qual cada variável é ao mesmo tempo a causa e o efeito. Não há um processo de início ou fim.

Sistema fechado é aquele no qual a causa que cria o comportamento de interesse esta dentro do próprio sistema. Um sistema fechado ainda é aberto no sentido de receber material, energia, distúrbios aleatórios, e entradas para testes vindos de fora dos limites.

A realimentação é negativa quando só existe o fluxo de saída cujo valor é especificado como um valor positivo de saída do modelo, ou só existe o fluxo de entrada, cujo valor é negativo ou ainda, o fluxo de saída é maior que o de entrada. No exemplo da população, se o fluxo de saída (mortalidade) fosse maior que o da natalidade, levando o sistema para o infinito, considerando que não chegariam novas pessoas nessa cidade, a população iria diminuir cada vez mais até atingir seu equilíbrio no valor zero.

Em sistemas complexos os dois tipos de feedback são combinados, mas os processos de balanceamento (feedback negativo) são mais difíceis de detectar que os processos de reforço (feedback positivo), pois na maioria das vezes parece que nada está acontecendo: o processo de balanceamento simplesmente mantém seu *status quo*, mesmo quando todos os participantes querem mudanças. A resistência é uma resposta do sistema tentando manter um objetivo implícito. Sempre que houver resistência à mudança existe um ou mais processos de balanceamento “ocultos”.

2.4.2- REPRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA DE FEEDBACK

Para representar a estrutura de realimentação estão as variáveis de nível (ou estoque) e a taxa (ou fluxo) ou ainda, em inglês respectivamente: stock – flow ou level – rate.

Os níveis representam a condição do sistema em qualquer ponto no tempo, são as acumulações, não modificam instantaneamente, mas gradualmente durante um certo intervalo de tempo, podem ser medidos e visualizados. Na engenharia seriam referidas à situação das variáveis no sistema, em economia, seriam os estoques, na matemática seriam as integrações.

As variáveis de taxa representam a atividade do sistema e não são mensuráveis instantaneamente, é uma mudança no tempo sem uma observação sobre o intervalo de tempo. As equações de taxa são as políticas, onde é definido como condições existentes do sistema produzem uma corrente de decisões que controlam ações. A política descreve como e porque as decisões são feitas, incorpora quatro componentes: o objetivo do ponto de decisão, as condições observadas como base para a decisão, a discrepância entre o objetivo e as condições observadas e a ação desejada baseada na discrepância.

A decisão é feita para se alcançar um propósito, o enunciado da política que determina a variável de taxa está na tentativa de levar o sistema em direção ao objetivo. A política compara o objetivo e as condições aparentes para detectar a discrepância, que pode ser na forma de diferença, razão ou qualquer indicador da falta de concordância.

A separação do conceito de sistemas em duas classes de variáveis, níveis e taxas, tem uma útil consequência: as variáveis de níveis são as integrações das taxas de fluxo que causam uma mudança particular no nível. As taxas de fluxo não são instantaneamente observadas, nenhuma taxa pode depender de um valor simultâneo de uma outra taxa. Os níveis dependem somente das taxas e taxas dependem somente das variáveis de níveis, então, qualquer caminho através da estrutura do sistema será encontrado por variáveis de níveis e taxas alternativamente.

Níveis e fluxos ajudam a descrever como um sistema está conectado pela realimentação, o qual cria a não linearidade encontrada freqüentemente nos problemas modernos de hoje em dia, e softwares em computadores são usados para simular um modelo de sistema dinâmico da situação estudada.

2.5- JOGOS

O jogo é o resultado da imaginação, a facilidade de algumas pessoas em arquitetar regras, situações, fazer réplicas simplificadas de casos reais e/ou participar delas.

Para Gramigna (1993), jogo é uma atividade espontânea realizada por mais de uma pessoa, regida por regras que determinam que o vencerá. Nestas regras estão: o tempo de duração, o que é permitido e proibido, valores das jogadas e indicadores sobre como terminar a partida.

Durante os jogos as pessoas revelam facetas de seu caráter que normalmente não exibem por recear sanções (Gramigna, 1993). Devido ao ambiente permissivo, as vivências são espontâneas e surgem comportamentos afirmativos e não afirmativos, trabalhos realizados por meio de análise posterior ao jogo. As conclusões servem de base para reformulações ou reforço de atitudes e comportamentos. O jogo nos devolve uma fascinante energia que nos possibilita ir e vir, tocar e transformar, promove descobertas, como o encontro do homem consigo mesmo e com os outros.

Além da distração que ele proporciona, o jogo é útil para disciplinar, sociabilizar, construir valores morais, aperfeiçoar o bom senso, oportunizar a formação de espírito de equipe, além de ensinar que é preciso saber ganhar, mas também saber perder. Prazer, liberdade, imaginação, espontaneidade e competição caracterizam essa atividade e fazem com que os participantes atinjam objetivos específicos, pertinentes às regras do jogo, mas também alcancem objetivos ainda maiores, que provavelmente, passam por despercebidos, mas agem de maneira significativa na fixação de valores a nível pessoal. Eles permitem que as pessoas exercitem habilidades necessárias ao seu desenvolvimento integral.

2.5.1- JOGOS SIMULADOS

Jogos simulados são aqueles que unem as características de um jogo – prazer, liberdade, espontaneidade, competição – à técnica de ensino através da simulação. Gramigna (1993) define jogos simulados como “uma atividade previamente planejada, na qual os jogadores são convidados a enfrentar desafios que reproduzem a realidade do seu dia a dia”.

No jogo simulado, pode-se identificar todas as características do jogo real: regras definidas, presença de espírito competitivo, possibilidades de identificar vencedores e perdedores, fascinação e tensão. O que diferencia um

jogo simulado de um caso real é que, neste último, pode ocorrer a perda de cargos, confiança, prestígio e emprego enquanto que na situação simulada, as pessoas que erram são encorajadas a tentar novamente. É com o erro e na vivência que as chances de aprendizados são maiores.

O desafio, a curiosidade, o ambiente, o som e as mudanças de níveis de dificuldade fazem com que os jogadores queiram continuar jogando, e se um erro é cometido, parece maior o desejo do jogador em voltar na situação que provocou tal erro e insistir até ultrapassá-la.

2.5.2- JOGOS DE EMPRESAS

Uma versão de jogos simulados é aquela direcionada a situações específicas da área empresarial, chamado de jogo de empresa.

Estes jogos de empresas são ferramentas de treinamento que simulam a realidade empresarial de uma maneira simplificada, apresentam um cenário que oferece oportunidades de identificar, de maneira dinâmica, os problemas existentes, e induzem os participantes a darem respostas similares às do mundo real.

A maioria dos jogos consiste num processo dinâmico no qual é apresentada uma série de problemas para serem resolvidos, exigindo decisões que precisam ser tomadas. São utilizados como uma forma de aprimoramento das habilidades gerenciais, como as tomadas de decisões e a lidar com conflitos e situações que envolvem decisões interdependentes. Os resultados de cada decisão tomada originam uma nova situação com novos problemas a serem resolvidos e decisões a serem tomadas. Podem ser definidos como um exercício seqüencial dinâmico e simulado de tomada de decisões.

Conforme Elgood (1987), neste tipo de jogo de treinamento, o participante, seja individualmente ou como membro de uma equipe, é confrontado com uma situação, a qual exige que ele tome decisões, e aja de acordo. Como resultado, ele sofre as conseqüências, positivas ou negativas de seus atos. Em seguida enfrenta uma situação que é, ao menos em parte, resultante de suas próprias decisões. Neste ciclo decisão-resultado, ele tem a oportunidade de aprender.

Apesar da estrutura dos jogos serem baseados num modelo que se propõe a reproduzir alguns aspectos da vida real, existe um conjunto de regras que devem ser seguidas, visando descrever o mecanismo pelo qual as decisões tomadas pelos participantes serão transformadas em resultados.

Geralmente, existe um facilitador para o processo, que pode dar as instruções antes do jogo começar e fazer alguns comentários no final de modo a ajudar os participantes a refletir sobre suas ações durante a experiência e como tirar o máximo proveito disso.

Há um grande envolvimento dos participantes no treinamento desses jogos, que podem ser realizados manualmente, com auxílio de quadros, tabelas e máquinas de calcular ou via computador, onde os participantes enfrentam o computador como nos jogos comuns (videogames), ou os participantes formam equipes que disputam entre si.

Portanto o jogo é um exercício seqüencial de tomada de decisões, estruturado em torno de um modelo simulado de uma situação empresarial. Assim, possui como aspecto vital a colocação de quem está sendo treinado, diante de uma situação na qual deve tomar decisões sem colocar em risco a eficiência da empresa.

Pelo fato do jogo reproduzir a realidade, torna-se mais fácil encontrar os problemas e as dificuldades encontradas pelas empresas, mostrando que os problemas se originam mais na maneira de pensar e interagir do que nas peculiaridades da estrutura e da política da organização, além de poder verificar os efeitos das decisões tomadas hoje no futuro.

Os jogos fornecem “aprendizado por experiência” que é uma abordagem bem sucedida no treinamento empresarial. A utilização dos jogos deriva da noção de que um aprendizado efetivo se apóia em três fatores:

- divulgação do conteúdo (novas idéias, princípios e conceitos);
- oportunidade de experiência (para aplicar o conteúdo no ambiente de trabalho); e
- o feedback (dos resultados das ações tomadas na experiência).

Em muitas situações empresariais da vida real, cria-se uma causa, mas é difícil de enxergar seu efeito. O efeito pode ocorrer do outro lado do mundo,

ou pode ocorrer algum tempo depois. Através dos jogos, os participantes podem entender a relação causa-efeito das decisões tomadas em poucas horas, o que na vida real este treinamento poderia levar meses ou anos sem que o usuário percebesse as conseqüências diretas de suas decisões.

Consegue-se, com os jogos, medir a forma com que os participantes fixam seus objetivos e políticas viáveis, assim como um meio para analisar a gestão que realizam visando o alcance de objetivos e políticas.

Um outro aspecto importante dos jogos de empresa é o fato dele permitir superar a visão fragmentada da dinâmica empresarial ensinada aos alunos através de matérias funcionais separadas, tratadas de maneira estática como se fossem independentes entre si. O objetivo dos jogos é superar esta limitação e proporcionar aos alunos uma visão global e interdependente da empresa.

Os jogos de empresas também têm suas limitações: existe a possibilidade de que os participantes de um jogo de empresas o considerem apenas como brincadeira, porque falta o elemento “medo” para que as decisões tomadas no jogo sejam as mesmas do que numa situação real; as pessoas que se dão bem no jogo não necessariamente se darão bem na realidade, o ambiente e as condições são comparáveis apenas parcialmente; o custo do jogo pode ser uma desvantagem de peso na escolha do método de ensino.

CAPÍTULO 3 – JOGO DA CERVEJA E SOFTWARE ITHINK

Este capítulo mostra a descrição do jogo da produção-distribuição, mais conhecido como jogo da cerveja, sua origem e regras de funcionamento da sua versão original (do tabuleiro) e, ainda mostra a versão computadorizada desenvolvida por David Levi e Philip Kaminsky.

No final deste capítulo há a descrição da linguagem de sistemas dinâmicos, o software iThink, utilizado no desenvolvimento deste trabalho .

Apesar desses dois temas (jogo da cerveja e o software iThink) pertencerem à revisão bibliográfica, foram separados num capítulo à parte, devido à sua enorme contribuição para o desenvolvimento do tema deste trabalho. O software iThink por ter sido a linguagem utilizada, e o jogo da cerveja original e a versão de D. Levi e P. Kaminsky pelas regras e valores de alguns parâmetros tomados como base.

O capítulo seguinte apresenta detalhadamente o desenvolvimento do jogo da cerveja na nova versão, na linguagem de sistemas dinâmicos.

3.1- JOGO DA CERVEJA (BEER GAME)

O jogo da cerveja é um simulador gerencial de tomada de decisões, designado para ensinar princípios da ciência gerencial, conceitos e ferramentas de pensamento sistêmico.

Inicialmente desenvolvido em 1960 pela escola de gerenciamento (Sloan School of Management) do Massachusetts Institute of Technology (MIT), fazendo parte da pesquisa de Jay Forrester sobre dinâmica industrial (industrial dynamics), é um exercício que simula o fluxo de materiais e informações numa cadeia simplificada de produção e distribuição.

Não se trata de bebidas, originalmente o jogo da produção – distribuição foi testado por estudantes, que se sentiam mais motivados sobre produção de cerveja mais do que qualquer outro produto, e o nome do jogo acabou ficando jogo da cerveja. Mais tarde, o jogo começou a ser aplicado em escolas de negócios e departamentos de engenharia industrial como parte de módulos de gestão da cadeia de suprimentos para mostrar as vantagens de se ter uma cadeia de suprimento aproximadamente integrada, o valor de se compartilhar informações através dos integrantes de toda a cadeia, além de introduzir e mostrar alguns conceitos como o efeito chicote (Bullwhip effect).

Por ser uma réplica de laboratório, torna-se mais fácil isolar as deficiências do funcionamento de uma organização e identificar suas causas que nas situações reais. Mostra que os problemas se originam mais da maneira de pensar e interagir do que nas peculiaridades da estrutura e da política da organização.

Este jogo mostra um tipo de organização existente em todos os países industrializados, ou seja, um sistema de produção e distribuição de um produto, e tem como foco as ligações entre uma fábrica de cerveja, um de seus distribuidores, um atacadista e um varejista. Uma simplificação da vida real, pois na verdade, uma fábrica de cervejas possui vários distribuidores, centenas de atacadistas e milhares de varejistas.

Os jogadores em cada posição têm toda liberdade de tomar qualquer atitude que lhes pareça prudente com o objetivo de administrar sua posição da melhor maneira possível com o objetivo de maximizar seus lucros. Entretanto, o resultado da ação de cada indivíduo depende da ação dos demais

participantes, isto é, deve-se levar em consideração as decisões das demais posições, visto que, o conjunto das decisões tomadas afetará a todos de modo interdependente.

Enfim, o jogo restaura a idéia de que o mundo é interdependente, permitindo formar as “organizações de aprendizagem”, onde as pessoas expandem continuamente sua capacidade de produzir resultados desejados, desenvolvendo novos padrões de raciocínio, liberando as aspirações coletivas e a capacidade de aprender em grupo.

3.1.1- DESCRIÇÃO GERAL DO JOGO DA CERVEJA

Nas versões do jogo aqui apresentadas, seja o primeiro jogo (manual) como a sua implementação em software, as regras básicas são as mesmas, diferindo apenas em algumas opções.

Neste trabalho será descrito o mecanismo básico que serve para todas as versões do jogo da cerveja, o primeiro jogo realizado (o jogo do tabuleiro), a versão computadorizada desenvolvida por David Simchi Levi e Philip Kaminsky e o jogo implementado na linguagem de simulação iThink.

Como já foi dito, o jogo descreve uma cadeia de suprimentos simplificada, composta de quatro posições, estágios, níveis ou ainda chamados de facilidades: uma fábrica de cerveja, um de seus distribuidores, um atacadista e um varejista. Sendo que a fábrica supre o distribuidor que supre o atacadista, que supre o varejista, e que, finalmente, supre o consumidor. Cada rodada do jogo representa uma semana onde os pedidos de cada setor são feitos, e a unidade do produto é dada em caixas de cervejas.

As posições são idênticas quanto à capacidade de armazenamento dos produtos, que é considerada ilimitada ou infinita, e quanto ao o lead time (tempo de ressurgimento) e o atraso para efetuar o pedido (order delay) que são fixos.

Há um total de três semanas de atraso entre o momento em que o setor faz o pedido e o recebe em seu estoque: o atraso (delay) para o processamento dos pedidos é de uma semana (devido à correspondência, burocracia, etc.) e, para o recebimento (devido ao transporte da mercadoria) é

de duas semanas. Mesmo assim, não há garantias de que essa quantidade será entregue dentro desse prazo, pois pode haver mais atrasos ao longo da cadeia, gerando pedidos acumulados para vários setores. A exceção para isso é a fábrica, pois se considera que ela possui uma capacidade de produção e fornecimento de matéria-prima infinita, então sempre seus pedidos serão atendidos em duas semanas, seja na quantidade que for.

Ao gerente de cada setor cabe decidir a quantidade mínima de estoque de caixas de cervejas (estoque de segurança) e os pedidos para sua reposição, que são feitos ao setor respectivamente acima dele na cadeia de abastecimento. Sua demanda é igual à quantidade de produtos pedida pelo setor logo abaixo dele, para o qual entrega a mercadoria, por exemplo: o distribuidor faz pedidos à fábrica, recebe pedidos e entrega as caixas de cervejas para o atacadista, o mesmo do atacadista para o varejista, e este para o consumidor final. A figura 6 é uma descrição gráfica do fluxo de materiais e informações no jogo da cerveja.

A única comunicação entre os setores é na passagem de pedidos e no recebimento das caixas de cerveja, a razão está no fato de que na vida real, podem existir poucas fábricas de uma mesma atividade, mas existem dúzias de distribuidores, centenas de atacadistas e milhões de varejistas, e cada um não é capaz de descobrir qual a atividade total que cada componente da cadeia exerce.

A demanda do consumidor final só é conhecida pelos varejistas e apenas para a semana na qual devem tomar decisões, não tendo o conhecimento do que acontecerá com a demanda nas próximas semanas, com exceção de algumas versões no qual há a opção para se escolher uma demanda fixa.

Os pedidos em carteira (pedidos não atendidos, backlog ou ainda backorders) representam os pedidos que foram recebidos, mas não foram atendidos devido a uma falta do produto em estoque e que devem ser atendidos o mais rápido possível no futuro, ou seja, os pedidos não atendidos não são perdidos, eles permanecem para serem atendidos com prioridade, assim que houver produtos no estoque juntamente com os pedidos atuais. No caso de ocorrer novamente faltas do produto (backlog), a quantidade não

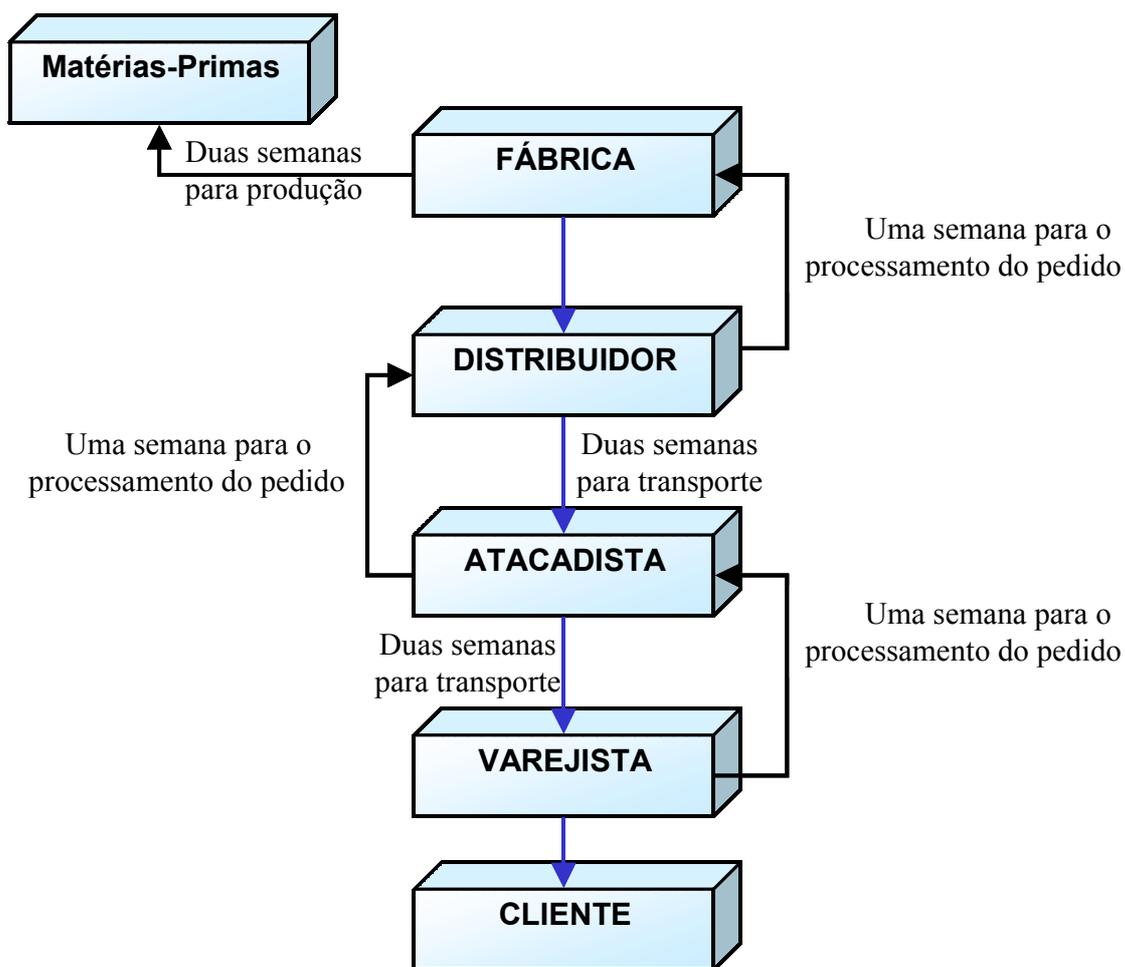
atendida é acrescida no backlog que o setor já possuía, para ser atendida futuramente.

Resumindo, o setor terá que atender os pedidos atuais que foram feitos mais aqueles que ficaram da(s) semana(s) passada(s):

$$\text{Pedidos a atender} = \text{novos pedidos} + \text{pedidos em carteira que não foram atendidos na(s) semana(s) passada(s)}$$

(Equação 1)

Os produtos que estão em trânsito (aqueles que chegarão dentro de uma e duas semanas) e que serão recebidos por um determinado setor pertencem ao setor acima dele, ou seja, aquele que está enviando o produto. O produto só passa a pertencer ao setor abaixo depois que a mercadoria chega aos seus estoques. Por exemplo, o atacadista é dono dos produtos em trânsito para o varejista mais os produtos que estão no seu estoque; o distribuidor é proprietário dos produtos que estão nos seus armazéns mais aqueles que estão sendo transportados para o atacadista, e a fábrica é dona dos produtos que estão sendo manufaturados, os que estão em estoque e os que estão sendo transportados para o distribuidor.



LEGENDA:

- FLUXO DE PRODUTOS (MATÉRIA)
- FLUXO DE INFORMAÇÕES

Figura 6: Fluxos de informações e produtos no jogo da cerveja [Dornier et al, p.375, 2000].

A cada semana o custo é determinado para cada setor somando-se o custo dos produtos mantidos em estoque (também chamado de carrying cost ou holding cost), o custo dos produtos em trânsito, o custo da falta do produto (pedidos não atendidos) e, em algumas versões o custo do pedido. O custo total no final do período (quantidade de semanas rodadas) é a soma dos custos acumulados de cada semana, isto para cada setor.

O custo total pode ser resumido:

$$\text{Custo Total} = (\text{produtos em estoque} + \text{produtos em trânsito}) * \text{custo de manter em estoque} + (\text{pedidos não atendidos}) * \text{custo da falta} + \text{custo do pedido}$$

(Equação 2)

O objetivo de cada participante é administrar sua posição (a quantidade de cerveja em estoque, seus pedidos e os pedidos pendentes) de forma que no final do período simulado, obtenha o menor custo total.

3.1.2- JOGO DA CERVEJA NO TABULEIRO

O primeiro jogo da cerveja foi feito para ser disputado num grande tabuleiro, no qual existiam locais apropriados representando os quatro estágios da cadeia de suprimentos da cerveja (o varejista, atacadista, distribuidor e a fábrica), assim como locais que representam: o estoque atual, os pedidos feitos para a facilidade superior e os recebidos da facilidade inferior, os produtos em trânsito, que chegarão dentro de uma e duas semanas e, para o caso da fábrica a produção e a matéria-prima, que eram representados por marcadores e dinheiro também colocados no tabuleiro. A demanda externa era representada por um maço de cartas.

3.1.2.1- COMO FUNCIONA O JOGO NO TABULEIRO

Para iniciar o jogo é preciso ter no mínimo quatro participantes, cada um representando um estágio: varejista, atacadista, distribuidor e a fábrica. Caso haja um número maior de pessoas, deve-se formar quatro equipes, cada uma representando os estágios acima referidos.

Após dividir o grupo em equipes e definir o responsável por cada estágio dentro de cada equipe, deve-se escolher um nome para a cerveja (por exemplo, um nome real de cerveja), coloca-se, então, numa folha de registro o

nome da cerveja e a sua posição, exemplo varejista, atacadista, distribuidor ou fábrica.

A cada rodada (que representa uma semana), o gerente do varejo observa a demanda externa (retirando a próxima carta de demanda), supre o máximo possível dessa demanda, marca os pedidos em atraso a serem preenchidos e coloca um pedido para o atacadista. O atacadista, por sua vez, observa a demanda do varejista, supre o máximo possível dessa demanda, marca os pedidos em atraso e coloca um pedido ao distribuidor. O distribuidor repete esse processo, pedindo à fábrica. E, finalmente, o gerente da fábrica, após observar a demanda e os pedidos em atraso começa a produção.

A demanda consumidora é representada por uma pilha de cartas, mas ao invés de se utilizar uma demanda arbitrária, com a utilização das cartas, a demanda pode ser determinística, ou seja, normalmente o instrutor determina que nas quatro primeiras semanas a demanda seja igual a quatro unidades e da quinta semana em diante seja igual a oito unidades, mas essa informação não deve ser avisada antecipadamente e deve ser notificada apenas aos varejistas, que não revelarão a ninguém. Neste caso, deve-se revelar para todas as equipes que no início para manter o sistema em equilíbrio, todos devem pedir quatro caixas de cerveja (pois nas primeiras quatro semanas a demanda é constante e igual a quatro), isto serve para que todas as equipes aprendam o mecanismo do sistema de início, para depois verificar o que acontece quando o valor da demanda muda.

Os custos são computados da seguinte maneira: o custo de manter os produtos em estoque é de \$0,50 por caixa de cerveja por semana. O custo da falta do produto é de \$1,00 por caixa de cerveja por semana. O custo dos produtos em trânsito vão para o setor que está enviando os mesmos, e são calculados com o mesmo valor do produto em estoque (ou seja, \$0,50 por caixa por semana). O custo total para cada estágio ou setor é determinado somando-se os custos dos produtos mantidos em estoque (incluindo os produtos em trânsito) mais os produtos que não foram entregues por falta de produto (backlog) em cada semana.

O objetivo do jogo é que cada equipe consiga minimizar seu custo total, vencendo aquela que obtiver o menor valor.

Deve-se dizer que a previsão para o jogo será de cinquenta semanas, para que dessa maneira, os participantes planejem o futuro, evitando a tomada de decisão, por exemplo, de não pedir nenhum produto por saber que o jogo vai terminar, tentando assim, reduzir seu custo total. Pois são suficientes, na verdade, de trinta a trinta e cinco semanas para ver o padrão de flutuação nos pedidos.

Os jogadores em cada posição têm toda a liberdade de tomar qualquer atitude que lhes parecer prudente. Seu único objetivo é administrar sua posição da melhor maneira possível a fim de minimizar os custos.

3.1.2.2- INICIANDO UMA RODADA

No começo o sistema está em equilíbrio, e quatro passos devem ser seguidos: os três primeiros envolvem somente a movimentação do estoque de cerveja ou o envio de pedidos e é puramente mecânico, no quarto passo é que os pedidos são feitos e é onde envolve a tomada de decisões.

Inicialmente, existem doze caixas de cerveja no estoque atual de cada setor, cabe ao gerente de cada setor decidir nas futuras semanas a quantidade de caixas de cerveja que se deseja manter em estoque, como estoque de segurança e os pedidos a serem feitos.

O atraso de três semanas é igual para toda a cadeia, no caso da fábrica a demora é devido à produção. Cada estágio deve iniciar o jogo contendo quatro caixas de cerveja para receber daqui a duas semanas (quatro caixas no local designado por entrega atrasada²) e mais quatro caixas para receber na semana seguinte (também no local apropriado no tabuleiro: entrega atrasada), que são os estoques em trânsito. E no caso da fábrica, deve ter quatro caixas que estão sendo produzidas e ficarão prontas dentro de duas semanas e mais quatro caixas que estarão prontas na semana seguinte.

A figura 7 mostra o layout do tabuleiro do jogo da cerveja, como os locais que representam: o estoque atual, o atraso da entrega (que mostra a quantidade de produtos que chegarão em uma semana), o atraso da entrega2 (que mostra a quantidade de produtos que chegarão em duas semanas), os pedidos feitos e os pedidos recebidos. Para o caso da fábrica: a produção atrasada e a matéria-prima. E ainda, a quantidade de produtos que o varejista entrega para o consumidor.

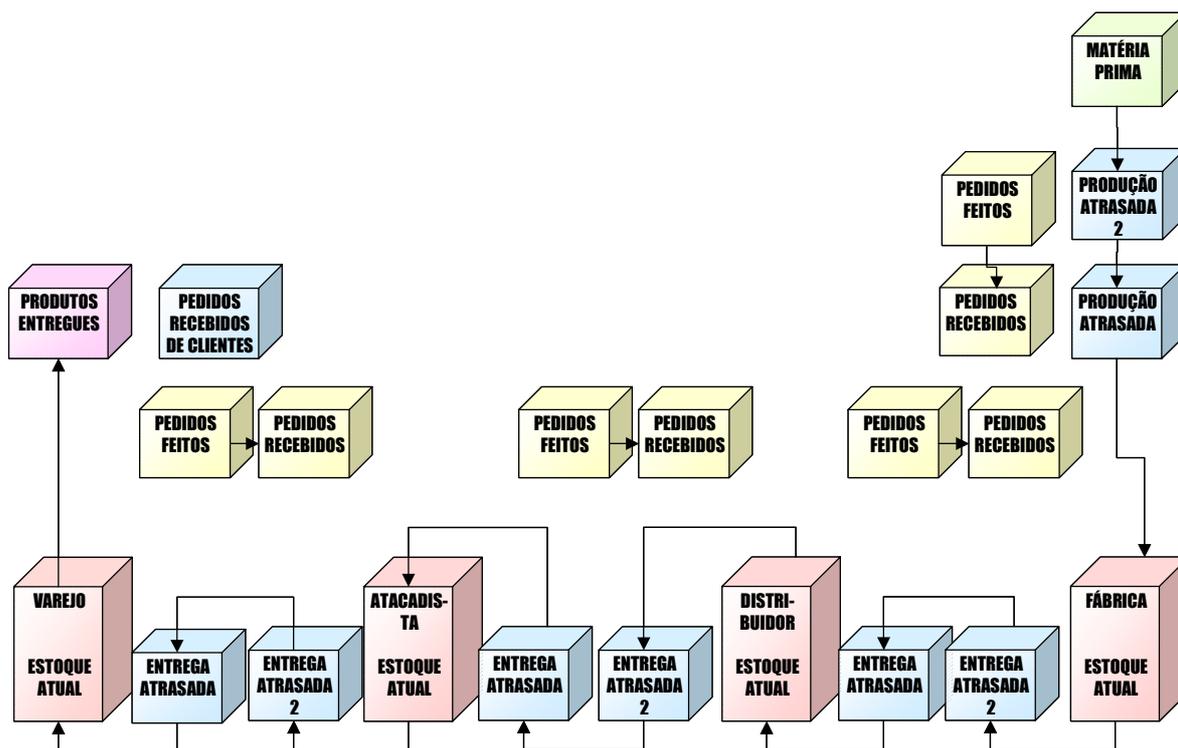


Figura 7: Layout do tabuleiro do jogo da cerveja.

A cada semana começa mais uma rodada, e os seguintes passos devem ser seguidos por cada setor:

Passo 1 - a quantidade contida no bloco entrega atrasada 2 (ou atraso na entrega mais distante do estoque do setor) é movida para o bloco entrega atrasada, e todo o conteúdo deste é movido para o estoque. A quantidade restante na entrega atrasada 2 neste momento inicial é zero.

Passo 2 – os pedidos recebidos do setor imediatamente abaixo (no caso do varejista é o próprio consumidor final) são preenchidos na quantidade máxima possível. Lembrando que um pedido recebido consiste no pedido atual mais todos os pedidos acumulados que não foram atendidos anteriormente. Os pedidos que ainda não conseguiram ser preenchidos ficarão acumulados para serem atendidos o mais rápido possível nas próximas semanas. Ao preencher os pedidos, a quantidade é colocada no bloco entrega atrasada 2 no setor imediatamente abaixo, com exceção do varejista, cuja entrega de pedidos é externo ao sistema. Este é o começo do atraso de duas semanas na entrega.

Passo 3 – os custos de pedidos não atendidos e produtos em estoque (mais os produtos em trânsito) são calculados e acumulados ao custo total dos períodos anteriores.

Passo 4 - os pedidos são feitos, cada setor indica a quantidade de produtos que deseja receber. E o jogo continua, sendo que, no final de cada rodada, pede-se aos participantes para anotar na tabela de registros: o número da semana, a previsão da demanda, a quantidade de pedidos feitos, a quantidade de produtos que vão ser recebidas em uma e em duas semanas, a quantidade de pedidos não atendidos e atendidos, a quantidade disponível no estoque e o custo total.

As tabelas a seguir (tabela 1 e tabela 2) se referem a um tipo de tabela utilizada no jogo para registro e cálculo dos custos respectivamente.

Tabela 1: Tabela de registros no jogo do tabuleiro

Tabela de registros				
Equipe:				
Posição:				
Semana	1	2	3	4
Quantidade pedida pelo setor abaixo (demanda) (A)				
Estoque atual				
Quantidade fornecida ao setor abaixo (pedido atendido) (B)				
Quantidade faltante (pedidos não atendidos) (C=A-B)				
Quantidade recebida na próxima semana pelo setor acima				
Quantidade a ser recebida em 2 semanas				
Pedido feito ao setor acima				

Tabela 2: Tabela para cálculo dos custos

Tabela para cálculo dos Custos				
Semana	1	2	3	4
Estoque Atual				
Produtos em trânsito 1				
Produtos em trânsito 2				
Soma da quantidade (estoque atual + em trânsito)				
Soma*custo de manter em estoque (A)				
Pedidos não atendidos				
Backlog*custo falta (B)				
Custo Total (A+B)				

Esta seqüência de eventos implica em muitas coisas, a primeira delas é o atraso que ocorre devido a fatores burocráticos e na distribuição dos produtos ou na produção faz com que, muitas vezes, os setores façam pedidos sem levar em consideração os pedidos que ainda estão por vir, aumentando, desnecessariamente a quantidade pedida, e por conseqüência, a quantidade de produtos em estoques elevando os custos; e isto acaba se propagando por toda a cadeia. A segunda é que a fábrica vai produzir mais do que deveria para atender esse excesso de pedidos, e a conseqüência é além da elevação da quantidade de produtos em estoque de toda a cadeia (somente o varejista é que será diferente, pois ele possui o conhecimento da demanda final), permite a entrada de concorrentes no mercado, principalmente aqueles que possuem uma cadeia integrada, onde todos conhecem a demanda final, dessa forma, esta fábrica produz somente o necessário, consegue um custo menor (no mínimo não vai gastar com a manutenção de um estoque excessivo) e vende seu produto por um preço menor.

3.1.3- VERSÃO COMPUTADORIZADA DO JOGO DA CERVEJA

O jogo computadorizado substitui o jogo com tabuleiro e faz todas as tarefas burocráticas (cálculos, gráficos, tabelas) mostrando claramente as vantagens de se utilizar EDI (Eletronic Data Exchange: troca de dados eletronicamente) para enviar documentos comerciais e disseminar o sistema de telecomunicação. O jogo tem provado ser uma ferramenta extremamente efetiva na comunicação de sistemas logísticos de cadeias de abastecimento (supply chain) e de ciclos de negócios para estudantes de MBA (Master in Business Administration).

Aqui será feita uma breve descrição da versão do jogo desenvolvida por Philips Kaminsky e David Simchi Levi em 1999, e no capítulo seguinte será explicado o programa desenvolvido através do software o iThink.

3.1.3.1- VERSÃO DESENVOLVIDA POR P. KAMINSKY E D. S. LEVI

Esta versão computadorizada do jogo da cerveja, desenvolvida por Philip Kaminsky e David Simchi Levi em 1999, é similar ao jogo tradicional, o ambiente é o mesmo e segue as mesmas regras e passos, no entanto possui algumas opções e características que permitem explorar conceitos avançados sobre a cadeia de suprimentos que antes não era possível.

O jogo possui opções que modelam várias situações. Estas diferentes opções permitem ilustrar e comparar conceitos como redução no lead time, total compartilhamento das informações dentro da cadeia de suprimentos, e um gerenciamento centralizado.

Num cenário com informações globalizadas, todos os membros da cadeia podem ter total acesso às informações da demanda externa, dos pedidos e da quantidade de produtos em estoque de cada membro. Já num outro cenário possível, o lead time pode ser reduzido de duas semanas para uma semana.

Outra possível mudança é para um cenário centralizado, onde o gerente da fábrica controla toda a cadeia de suprimentos e tem acesso a informações sobre todos os níveis de estoques de toda a cadeia, assim como sobre a demanda externa. Num sistema centralizado, somente a fábrica faz os pedidos,

todos os estoques são movidos do modo mais rápido possível. Além do mais, pelo fato de não haver pedidos não atendidos (backorder) em cada estágio, com exceção do primeiro estágio, o custo para o varejista de cada pedido não atendido é de \$4,00, ao invés de \$1,00 como no cenário não centralizado. Isto permite uma comparação justa entre um cenário centralizado e um descentralizado, pois como três estágios foram eliminados, os produtos movem por uma cadeia que é três vezes mais rápida que a cadeia num sistema descentralizado.

Estes são os principais cenários modelados pelo jogo da cerveja computadorizado por estes autores. Os valores dos custos para o cenário descentralizado são os mesmos do jogo da cerveja no tabuleiro. A seguir será descrito especificamente como o software modela essas situações.

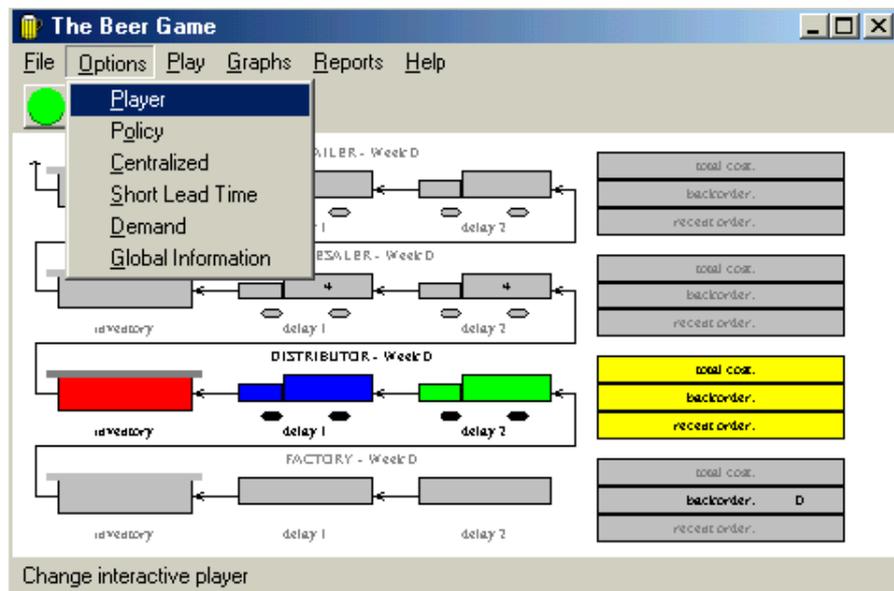


Figura 8: Tela inicial do jogo da cerveja desenvolvida por P. Kaminsky e D. S. Levi.

Quando se inicia o jogo da cerveja a tela que aparece é mostrada na figura 8. Selecionando-se o comando *Options* aparecem as seguintes opções: *Player*, *Centralized*, *Short Lead Time*, *Demand* e *Global Information*, que serão explicadas no decorrer do texto.

Nesta simulação somente um participante pode jogar (não é possível a participação de mais de um jogador ao mesmo tempo), a primeira opção a ser escolhida é a função interativa que se deseja comandar. Esta opção se chama

Player, como pode ser visto na figura 8, no qual o participante escolhe ser o gerente de um dos estágios componentes da cadeia de suprimentos da cerveja: o varejista, atacadista, distribuidor ou a fábrica. O computador comanda as demais facilidades. Tem ainda a opção de apenas observar o que acontece com a cadeia, deixando que todas as facilidades sejam comandadas pelo computador, basta o jogador escolher que não quer ser gerente de nenhuma facilidade (opção *none*).

A tela que aparece ao selecionar o *Player* é a mostrada na figura 9:



Figura 9: Opção escolher a facilidade.

Como pode ser observada na figura 8, a função interativa escolhida pelo jogador está colorida (no exemplo, o jogador escolheu ser o distribuidor, figura 9), as demais funções ou facilidades estão em cinza. As informações para a função interativa escolhida também estão mostradas e coloridas, como seu custo total, os pedidos recebidos pela facilidade abaixo (no caso, do atacadista), os pedidos não atendidos (no exemplo: pedidos feitos pelo atacadista e que ainda não foram entregues), seus pedidos, feitos à facilidade acima, que ainda não foram atendidos (no exemplo, são os backorders da fábrica) e seu estoque em trânsito, ou seja, os produtos que chegarão respectivamente em duas e em uma semana à facilidade abaixo, (no caso, para o atacadista).

Se o participante quiser apenas observar o jogo, ou seja, se o jogador escolher ser nenhuma facilidade (opção: *none*), todas elas serão comandadas pelo computador e todas as informações ficam disponíveis, como pode ser observado na figura 10.

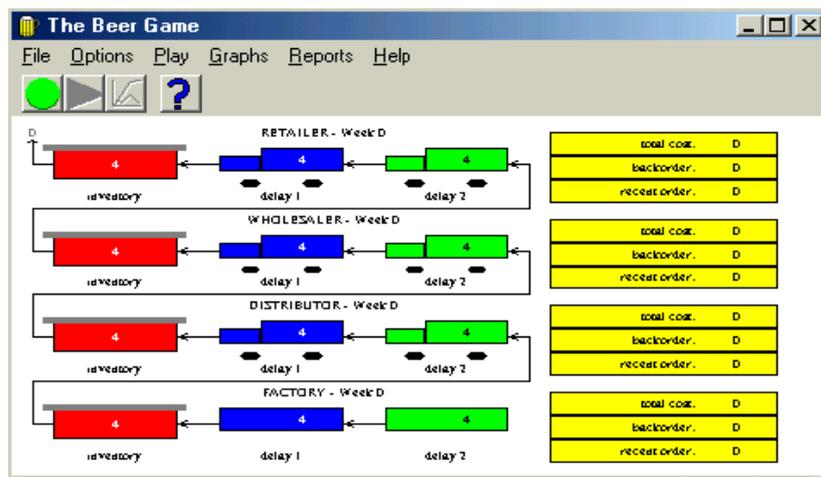


Figura 10: Todas as informações disponíveis na opção: nenhuma facilidade.

O período da simulação é em semanas, dentro do qual primeiro o varejista, depois o atacadista, o distribuidor e finalmente a fábrica executam a mesma série de eventos descrita para o jogo tradicional e na mesma ordem, a simulação se procede no sentido para cima da cadeia.

Para iniciar o jogo basta selecionar a tecla *Start* do menu *Play* da tela ou clicar no botão  na barra de ferramentas, o computador vai automaticamente jogar a primeira rodada para as facilidades abaixo da facilidade interativa. Por exemplo, se a função interativa for o distribuidor, o computador vai jogar para o varejista e o atacadista, nesta ordem. Depois é a vez da facilidade interativa jogar, os passos um e dois são executados, ou seja, avançar os estoques e preencher os pedidos como descrito para o jogo tradicional.

Neste momento, a quantidade de produtos em estoque é atualizada, e a caixa de diálogo chamado *Order Entry* (entrada dos dados de pedido) aparece na tela, conforme a figura 11.

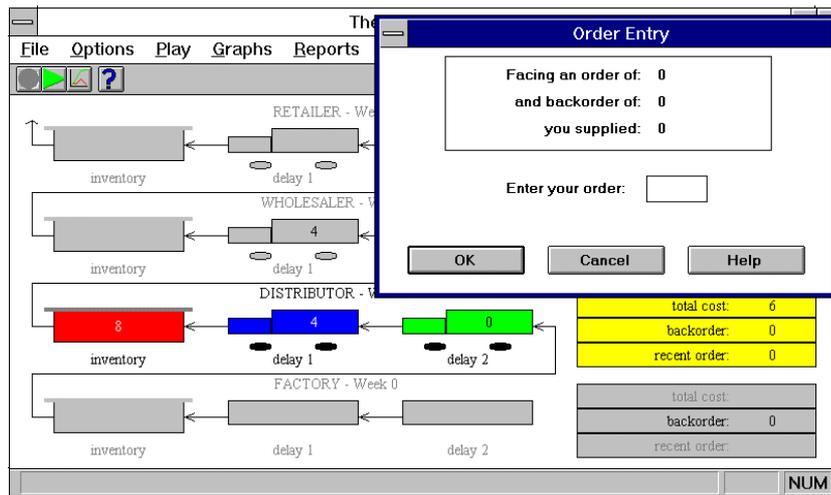


Figura 11: Entrada dos dados de pedido (Order Entry).

Após executar os dois primeiros passos, pode-se observar na caixa de entrada de pedidos (figura 11) que o jogo inicia com nenhum pedido feito para a facilidade acima e nenhum pedido não atendido, o estoque fica com oito unidades (quatro unidades iniciais mais quatro que estavam no *Delay1*) e as quatro unidades que estavam no *Delay2* são transferidos para o *Delay1*, restando zero unidades no *Delay2*.

A caixa de diálogo da entrada de pedidos (figura 11) indica a quantidade total de pedidos que foram feitos pela facilidade abaixo na cadeia de suprimentos, de pedidos não atendidos (backorders) e de pedidos que foram preenchidos. Neste momento o jogador deve fazer o seu pedido à facilidade acima (por exemplo, se a facilidade interativa for o distribuidor, deverá fazer pedido para a fábrica), que pode ser zero ou um outro número inteiro qualquer, de forma a equilibrar os custos de manter em estoque com os custos da falta de produto, não se esquecendo de verificar os pedidos que foram feitos, mas que ainda não chegaram.

Uma vez feito os pedidos, as demais facilidades comandadas pelo computador vão jogar automaticamente, e a tela é atualizada.

Para a próxima rodada basta clicar no botão  ou selecionar no menu *Play* a opção *Next round*, automaticamente, o computador joga a próxima rodada para as facilidades abaixo da interativa e a caixa de diálogo de entrada de pedidos aparece novamente. Neste ponto, tanto *Delay1* e *Delay2* mostram

uma quantidade igual a zero (a quantidade que estava no *Delay2* já tinha avançado para *Delay1* e a que estava neste foi para o estoque da facilidade). Após o jogador fazer seu pedido, o membro acima da cadeia (neste caso a fábrica) vai tentar atender o seu último pedido.

A representação de cada facilidade da cadeia de suprimentos é idêntica à da figura 12 para o distribuidor.

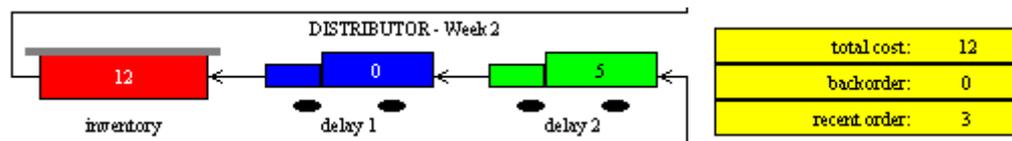


Figura 12: Representação de cada facilidade.

No lado esquerdo da figura 12, no primeiro bloco, mostra-se o número de itens que a facilidade (neste caso o distribuidor e igual a doze unidades) possui em estoque. Os outros dois elementos (da esquerda para a direita) representam os itens em trânsito que irão para o estoque; isto é, a quantidade de itens que ainda pertencem à facilidade acima (no caso a fábrica) e que chegarão em uma semana (neste caso zero unidades: conteúdo do bloco Delay1) e dentro de duas semanas (cinco unidades: conteúdo do bloco Delay2).

A tabela do lado direito (em amarelo) da figura 12, lista na primeira linha, o custo total (as doze unidades em estoque mais zero unidades em trânsito multiplicadas por \$1,00, e como não há backorder não há custo pela falta do produto, sendo que o custo total fica igual a \$12,00), na segunda linha, mostra-se a quantidade de pedidos que não foram atendidos pela falta de produtos em estoque (no caso os pedidos feitos pelo atacadista que não foram atendidos pelo distribuidor, que neste exemplo é igual a zero, ou seja, todos os pedidos foram atendidos), e na terceira e última linha, mostra-se a quantidade de pedidos que a facilidade em questão (distribuidor) fez à facilidade superior da cadeia (no caso à fábrica). Lembrando-se que há um atraso de uma semana para que este pedido feito pela facilidade chegue até à facilidade superior.

O próximo item no comando *Options* que aparece é *Policy*, que é a política de estoques adotada por todas as facilidades da cadeia. A tela que aparece é mostrada na figura 13.

Figura 13: Política de Estoques das facilidades.

Neste comando (*Policy*), as políticas de estoques e os parâmetros (descritos mais adiante) tanto para o jogador como para as demais facilidades (que serão comandadas pelo computador) podem ser selecionadas. Seis políticas de estoque estão disponíveis.

Parâmetros:

s: estoque de segurança;

S: estoque máximo;

Q: lote de reposição de estoque, ou quantidade de pedidos feitos;

M: constante referente ao nível de serviço desejado, cujo valor é obtido através da tabela normal (M=1,96 corresponde a um nível de serviço de 97.5%).

Para cada porcentagem de nível de serviço há um número de desvios padrões a considerar, alguns autores chamam essa constante de k

(TUBINO,2000), e o estoque de segurança é calculado multiplicando-se essa constante k pelo desvio padrão.

Estes parâmetros (s, S, Q e M) podem ser escolhidos independentemente para cada facilidade. Estas regras não têm efeito para a função interativa, essas políticas são escolhidas somente para as funções que serão comandadas pelo computador.

As políticas de estoque mostradas na figura 13 são descritas a seguir:

1) **s-S**: quando a posição do estoque chega a um determinado valor que é um valor igual ou abaixo de s (estoque de segurança), o sistema faz um pedido para elevar a posição de estoque para a posição S (nível de estoque máximo). No exemplo da figura 14, s é igual a 12 e S igual a 26.

A posição de estoque referida acima é a somatória do estoque atual, dos pedidos feitos ainda não recebidos (os pedidos não atendidos pela facilidade superior), dos itens em trânsito desta facilidade para a inferior e dos pedidos que esta facilidade em questão não atendeu.

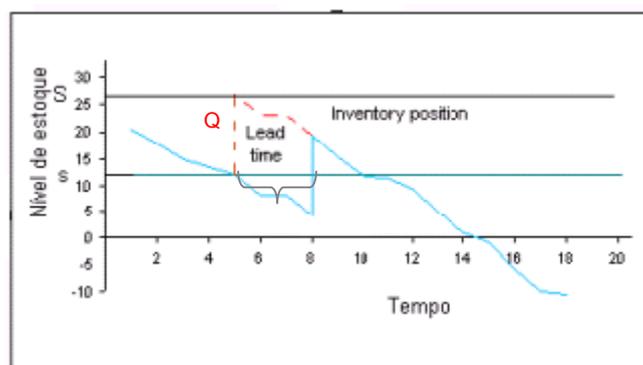


Figura 14: Exemplo ilustrativo dos valores de s e S .

2) **s-Q**: quando a posição do estoque fica igual ou abaixo do valor s (estoque de segurança), o sistema faz um pedido cuja quantidade é igual a Q .

3) **Order to S**: a cada semana o sistema faz pedidos para levar a posição de estoque para S , ou seja, para a posição máxima.

4) **Order Q**: a cada semana o sistema pede a quantidade Q .

5) **Updated s**: a quantidade s (ponto no qual se deve fazer pedidos) é continuamente atualizada, com o seguinte valor: a média móvel da demanda recebida pelo jogador durante as últimas 10 semanas (ou menos, se ainda não foram jogados 10 semanas) vezes o lead time de um pedido feito pelo jogador, mais M vezes o desvio padrão estimado durante o lead time (baseado no mesmo período de 10 semanas). Quando o nível de estoque cai para um valor abaixo ou igual a s , o sistema faz um pedido que alcance o valor de s , entretanto, a máxima quantidade que pode ser pedida é S . O sistema está ajustado para não fazer pedidos (ou incluir na média móvel) durante a primeira semana para o atacadista, as duas primeiras semanas para o distribuidor e as três primeiras semanas para a fábrica.

$$S_{\text{atualizado}} = \text{AVG}(D) * L + M * \text{STD}(D) \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

AVG(D): é a média móvel da demanda do consumidor final num período de 10 semanas;

STD(D): desvio padrão estimado durante o lead time, baseado num período de 10 semanas

L: Lead time (tempo de ressurgimento) que é igual a 3 no jogo regular, e 2 para o jogo com lead time curto;

M: constante referente ao nível de serviço desejado.

6) **Echelon**: esta é a versão modificada da política padrão de estoque escalão. O valor de s para cada uma das facilidades a cada período é calculado da seguinte maneira:

Varejista: $s = L * \text{AVG}(D) + M * \text{STD}(D) * \text{sqrt}(L) \quad (\text{Equação 4})$

Atacadista: $s = (L-1+L) * \text{AVG}(D) + M * \text{STD}(D) * \text{sqrt}(L-1+L)$

(Equação 5)

Distribuidor: $s = (2*(L-1)+L) * \text{AVG}(D) + M * \text{STD}(D) * \text{sqrt}(2*(L-1)+L)$

(Equação 6)

Fábrica:

$$s = (3*(L-1)+L) * \text{AVG}(D) + M*\text{STD}(D)*\text{sqrt}(3*(L-1)+L)$$

(Equação 7)

Onde:

AVG(D): é a média móvel da demanda do consumidor final num período de 10 semanas;

STD(D): desvio padrão estimado durante o lead time, baseado num período de 10 semanas

Sqrt(a): é a raiz quadrada de a;

L: Lead time (tempo de ressuprimento) que é igual a 3 no jogo regular, e 2 para o jogo com lead time curto;

M: constante referente ao nível de serviço desejado.

Quando a posição de estoque cai para um valor igual ou abaixo de s , o sistema faz um pedido que alcance o valor de s , entretanto, a máxima quantidade que pode ser pedida é S .

A próxima opção do comando *Options* é Centralized, que modifica o jogo padrão para um sistema centralizado. Num sistema centralizado, a única função interativa que o jogador pode gerenciar é a fábrica, ou seja, é a única função disponível para ser gerenciada num sistema centralizado. Sendo que a demanda externa pode ser observada e é conhecida.

Quando o estoque atinge um certo nível, sua quantidade é imediatamente enviada para a facilidade logo abaixo, sendo assim, somente o varejista armazena os produtos acabados (isto é, somente o varejista possui estoque). Isto implica que mais informações estão disponíveis para o jogador e o lead time fica reduzido, pois não há nenhum atraso ao se fazer um pedido a não ser na fábrica.

Toda vez que o jogador opta por um sistema centralizado, automaticamente está selecionando a opção *Global Information* (informação globalizada). Esta opção faz com que o jogador tenha acesso a todas as

informações no sistema e não somente da função interativa escolhida, ou seja, tem conhecimento das quantidades de produtos pedidos, em estoque, pedidos não atendidos e os custos das demais facilidades. A demanda externa também é mostrada na tela.

Vale ressaltar que toda vez que se opta por um sistema centralizado automaticamente ele é um sistema com informações globalizadas, mas o contrário não é verdadeiro, ou seja, o sistema pode ter suas informações globalizadas e não ser centralizado (isto significa que apenas com as informações globalizadas o jogador tem o conhecimento dos estoques e dos custos de todas as facilidades, mas pode ser a facilidade que desejar, ao contrário de um sistema centralizado, onde a fábrica que comanda todo o sistema).

A opção *Short Lead Time* reduz o lead time do sistema eliminando o *Delay 2* em cada estágio, ou seja, o lead time é reduzido em uma semana. A figura 15 mostra como o sistema fica com o lead time reduzido, com informações globalizadas e a função interativa sendo o distribuidor, portanto o sistema não está centralizado.

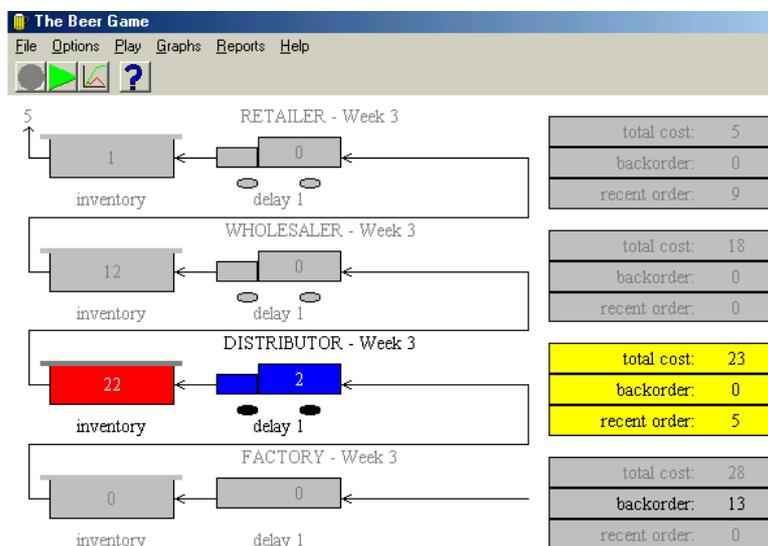


Figura 15: Opção globalizada, curto lead time e não centralizada.

Figura 16: Opção escolha da demanda.

A última opção é a escolha do tipo de demanda consumidora. O jogador pode escolher entre a demanda ser determinística ou aleatória, como pode ser observado na figura 16.

Para a opção determinística, duas diferentes constantes podem ser escolhidas, uma para a primeira semana até uma determinada semana, que também será escolhida, e a segunda constante será a demanda até o final do jogo. Para a demanda aleatória, o jogador escolhe a média inicial e o desvio padrão para a primeira semana até a semana desejada (também a ser escolhida) e a média e desvio padrão para o final do jogo. Por exemplo, na figura 16, na opção de demanda determinística, a demanda inicial será de quatro unidades até a quarta semana, para a partir daí aumentar para oito unidades; e para a demanda aleatória, da primeira até a quinta semana, a média é igual a seis e o desvio padrão igual a dois, a partir da sexta semana até o final do jogo a média é igual a oito e o desvio padrão igual a quatro unidades.

O comando dos *Graph* mostra num mesmo gráfico: a quantidade de pedidos feitos (*orders*), de pedidos não atendidos (*backorder*), de estoque (*inventory*) e dos custos (*cost*). Se a opção feita for *Graphs – Player*, o gráfico será da função interativa, que desde o início como exemplo é o distribuidor, como pode ser observado na figura 17.

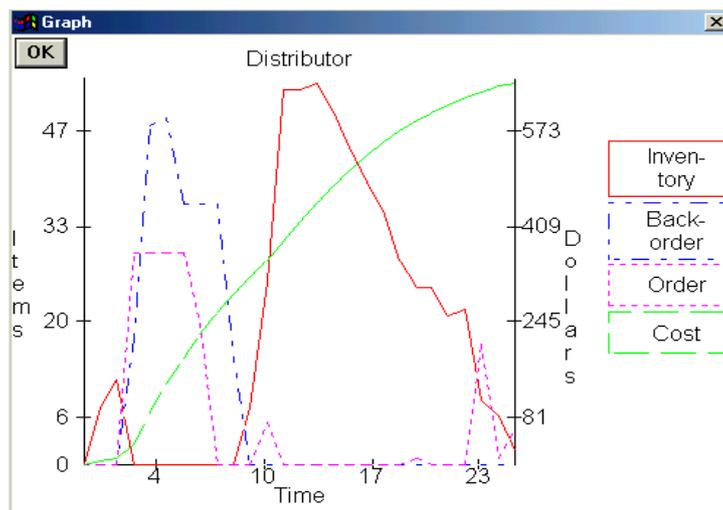


Figura 17: Gráfico da função interativa (distribuidor).

Se for *Graphs – Others*, o jogador pode escolher o gráfico de qualquer facilidade e a tela que vai aparecer para fazer esta escolha é mostrada na figura 18.

Ainda há a opção de escolha do gráfico do sistema, onde todas as facilidades estão no mesmo gráfico, como mostra a figura 18.

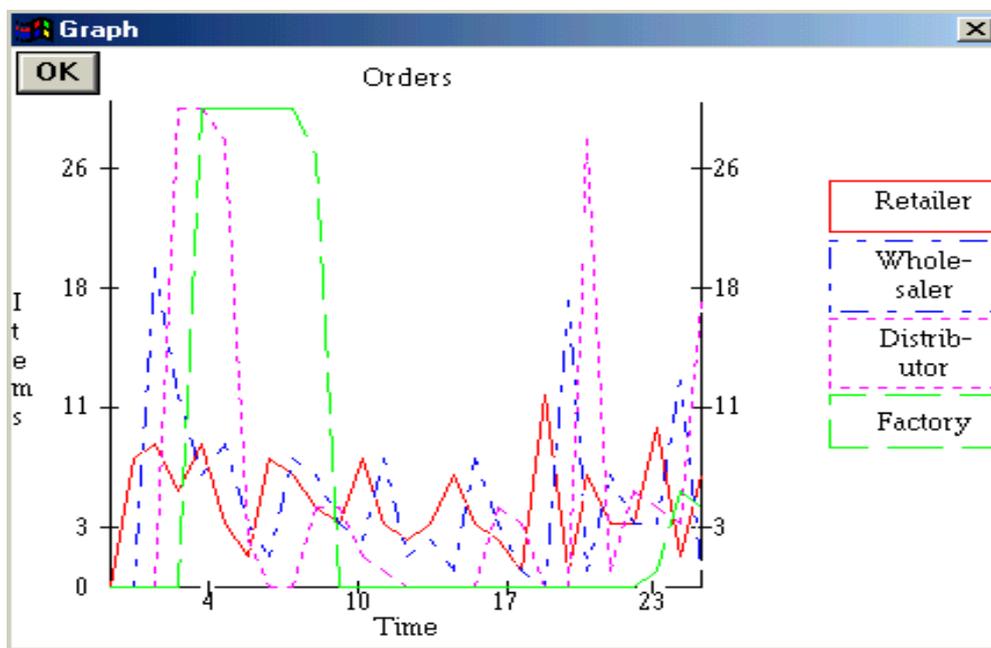


Figura 18: Gráfico Pedidos X Tempo de todas as facilidades.

A próxima e última opção é *Reports*, este comando apresenta uma série de relatórios sobre a quantidade de pedidos feitos por cada facilidade do sistema (no exemplo do Distribuidor: lado esquerdo da figura 19) ou do sistema todo (lado direito da figura 19).

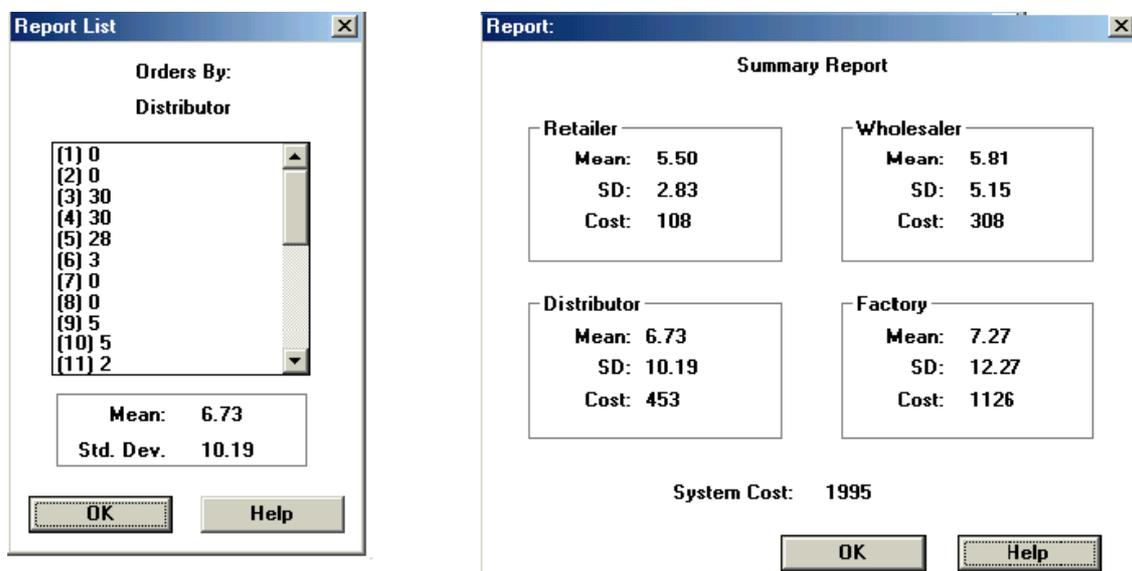


Figura 19: Relatório sobre os pedidos feitos pela função interativa (Distribuidor) e pelo sistema todo.

3.2- SOFTWARE ITHINK

O iThink é um pacote de software de modelagem para simulação computacional de sistemas dinâmicos mais utilizado atualmente, sua primeira versão foi o STELLA (Systems Thinking Educational Learning Laboratory with Animation), criado em 1989 por Barry Richmond, PhD em sistemas dinâmicos pelo MIT, através da sua empresa: High Performance Systems em Hanover, nos Estados Unidos da América. As versões mais atualizadas foram feitas pelo grupo: Laurie Hulbert, Jeremy Wallis, Steve Peterson e inclusive, Barry Richmond.

Fornecer uma estrutura de fácil compreensão gráfica para observação de interações quantitativas de variáveis dentro do sistema. A interface gráfica

pode ser usada para descrever e analisar muitos sistemas complexos físicos, químicos, biológicos e sociais.

O software iThink literalmente vira o conceito de planilha às avessas. Ao invés de deixar as relações do modelo sob um oceano de números, o software coloca os números embaixo de uma rede de relações, ou seja, são as relações e não os números que merecem a atenção em primeiro lugar. O software mostra o processo, permite visualizar as inter-relações que constituem um processo, uma estratégia ou uma questão. Permite também, que a estrutura de um processo ou de uma estratégia seja rigorosamente conectada às suas associações de uma forma dinâmica.

3.2.1- DESCRIÇÃO DA LINGUAGEM ITHINK.

Há três camadas que definem o meio operacional do software: a interface, o modelo (ou mapa) e as equações.

A primeira camada é a interface, mostrada na figura 20, que é uma apresentação elegante do modelo acabado, onde há a interação com o usuário, também mostra os dados de saída, através de gráficos e tabelas.



Figura 20: Primeira camada (interface) do software iThink.

Possui três blocos de construção (os três primeiros ícones da figura 20, da esquerda para a direita) que permitem mostrar os setores do modelo, seus fluxos e conexões; treze objetos, que podem mostrar os feedbacks, botões que podem servir para explicações ou para modificarem parâmetros, dispositivos de aviso e de alerta e, gráficos e tabelas mostrando a simulação sendo realizada

em função do tempo; e três ferramentas que também aparecem nas demais camadas: para selecionar (cujo símbolo é uma mão), apagar objetos feitos no modelo (símbolo: dinamite) e modificar a cor de qualquer coisa: textos, objetos, botões, e papel de fundo (símbolo: pincel).

A segunda camada, mostrada na figura 21, é o local onde se constrói o modelo. Há quatro ícones básicos para a construção de um modelo na linguagem iThink, que foram cuidadosamente escolhidos para permitir às pessoas capturarem a essência de como processos organizacionais e algumas estratégias funcionam, ao invés de permitir simplesmente fazer “figuras bonitas”. Esses ícones procuram representar os elementos comuns mesmo em diferentes processos. As ferramentas e objetos vão permitir posicionar, definir, reproduzir e apagar os blocos de construção no diagrama.

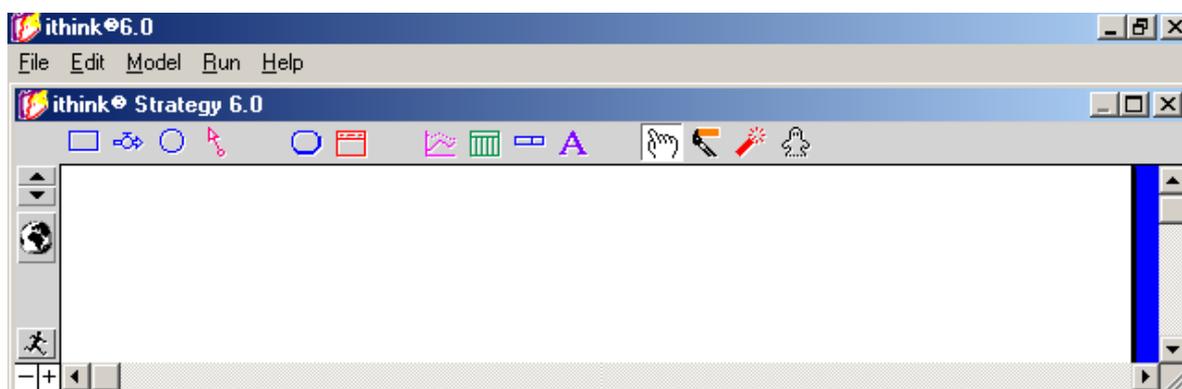


Figura 21: Segunda camada (modelo) do software iThink.

Na terceira camada, a base, encontram-se as equações matemáticas que regem todo o modelo, e que vão sendo criadas a partir do momento que se constrói o modelo com os blocos no segundo nível (o próprio programa escreve as equações, baseado nas relações feitas com os blocos construtores no segundo nível).

Esta linguagem oferece uma série de opções para mostrar a saída da simulação, ou seja, os resultados: como gráficos e tabelas, de várias variáveis em escalas iguais ou diferentes. Dá para armazenar os valores de um gráfico ou tabela e simular outro para comparar, basta fechar um cadeado que aparece na tela. Estes dispositivos de saída podem ser colocados tanto na interface (primeira camada) quanto no modelo (segunda camada).

O software Ithink é projetado para aumentar a efetividade de um grupo de processos no qual nos servimos, simulamos, analisamos e comunicamos nossos modelos mentais. O objetivo do software é acelerar e enriquecer esse processo de aprendizado, tornar capaz de construir modelos (com base nos modelos mentais) que melhor refletem a realidade dentro do qual operamos, e aprender a simular com melhor confiança, que são vitais para tornar nosso mundo mais efetivo.

3.2.2- BLOCOS DE CONSTRUÇÃO NA LINGUAGEM ITHINK.

Os quatro blocos de construção, como já foi dito anteriormente, estão na segunda camada do software, que é o local onde se constroem os modelos.

O primeiro bloco de construção, cujo símbolo é um retângulo, é chamado de stock ou estoque, são os níveis que foram descritos no item 2.4.2 (sobre feedback). Portanto, é usado para representar qualquer acumulação e/ou esgotamento – seja físico, ou não físico. Por exemplo: água na banheira, dinheiro no banco, população, raiva, compromisso entre outros.

O segundo bloco é o flow (ou fluxo) que como já foi descrito no item 2.4.2, representam a atividade do sistema e podem ser de entrada ou de saída do sistema. São caminhos de informações ou quantidade de materiais entrando ou saindo dos estoques.



Figura 22: Bloco de construção que representa o fluxo na linguagem iThink.

O ícone do fluxo consiste num cano com uma flecha numa ponta e uma nuvem a outra (conforme a figura 22). A flecha indica a direção para onde as coisas estão fluindo dentro ou para fora do estoque. Todos os fluxos devem vir de algum lugar e ir para algum lugar. Às vezes é importante saber para onde elas vão, mas às vezes não é necessário. A nuvem é um símbolo no iThink que

indica que não tem importância de onde vem o fluxo ou para onde está indo. Se for importante a nuvem será substituída por um estoque. Um fluxo de entrada para um estoque pode ser o fluxo de saída para outro. As nuvens definem limites no modelo, definem o que é relevante considerar e o que não é.

Para definir as relações algébricas no modelo deve-se clicar no globo que aparece no canto superior esquerdo. Somente se conseguirá simular o modelo se todas as variáveis estiverem definidas, portanto não deve mais aparecer interrogações (?) no modelo.

O fluxo pode ser de uma única direção (unidirecional), pois só assumem valores positivos ou de duas direções (bidirecional), que pode assumir tanto valores negativos como positivos; podem ser conservadores, ou seja, quando um fluxo diminui a quantidade de um estoque, automaticamente está aumentando a quantidade de um outro estoque, em outras palavras: há somente a mudança de local dentro do sistema, o conteúdo é conservado; e quando o fluxo não é conservador automaticamente uma nuvem é colocada na sua extremidade.

Os fluxos são definidos por equações, enquanto que os estoques são definidos com valores iniciais que podem ser modificados somente por fluxos de entrada e/ou de saída.

Os estoques representam condições “como as coisas são” e os fluxos representam ações “como as coisas estão indo”. Se todas as ações parassem, os fluxos seriam iguais a zero, mas as quantidades nos estoques permaneceriam as mesmas.

Os outros dois blocos de construção são os conversores e os conectores. Os conversores, cujo símbolo é um círculo, são usados para pegar os dados de entrada e manipular ou converter em algum sinal de saída (converte entradas em saídas tanto de informações quanto de quantidades de materiais), mantém valores constantes de certas variáveis, define entradas externas do modelo e calcula algebricamente as relações entre elementos do modelo. E os conectores (as flechas), conectam os elementos do modelo, permitem passar informações entre os conversores e conversores, estoques e conversores, estoques e fluxos e conversores e fluxos, descrevem as hipóteses sobre o que causa ou depende de que no modelo. A flecha mostra a direção

para onde a informação está sendo levada, e aquele que recebe a flecha é função do que está enviando. O primeiro afeta o segundo.

Há um elemento chamado de fantasma (ghost), que permite copiar um elemento já existente e colocá-lo em outro local, evitando que conectores percorram trechos longos e deixem o modelo confuso. A intenção é deixar sempre o modelo de fácil compreensão para qualquer pessoa, se possível não permitir que haja o cruzamento de nenhum conector ou sobreposição de conversores, fluxos e estoques.

CAPÍTULO 4 – DESENVOLVIMENTO DO JOGO

Neste trabalho, realizou-se a junção do jogo da cerveja, considerado um importante simulador gerencial de tomada de decisões, com a ferramenta de sistemas dinâmicos.

O objetivo dessa nova versão para o jogo é mostrar a facilidade em criar modelos e simuladores numa linguagem de sistemas dinâmicos para uma cadeia de abastecimento simplificada. Além de mostrar as vantagens existentes nesse tipo de linguagem, pois permite ao usuário modificar qualquer parâmetro e implementar o simulador, tornando-o mais próximo da realidade.

Dessa forma, as empresas podem modificar parâmetros como custos, quantidade inicial de estoque, lead time, entre outros, que relatem a sua realidade e, verificar os novos comportamentos do sistema ao longo do tempo.

Assim, através deste trabalho, pode-se mostrar a importância do jogo da cerveja (designado para ensinar princípios da ciência gerencial, conceitos e ferramentas de pensamento sistêmico) com a de sistemas dinâmicos (analisar o comportamento dos sistemas visto como um todo, e verificar como os elementos ou variáveis que compõem o sistema variam ao longo do tempo).

Neste capítulo será mostrado detalhes e apresentações de figuras do jogo desenvolvido nesta nova linguagem, desde a sua interação com o jogador (primeira camada do software), como o modelo (segunda camada), sendo que suas equações (terceira camada) serão mostradas em anexo. Os resultados obtidos e análises ficam para o próximo capítulo (capítulo 5).

Tanto o software como as regras básicas de funcionamento do jogo já foram explicadas no capítulo anterior.

4.1- JOGO DA CERVEJA NO SOFTWARE ITHINK

Neste trabalho, fez-se o simulador jogo da cerveja na linguagem de sistemas dinâmicos: iThink, que já foi descrito anteriormente (item 3.2).

A primeira camada, a interface, é o local onde ocorre a interação com o usuário, nele estão todos os parâmetros relacionados à simulação e que podem ser modificados. Todas as opções nesta camada estão relacionadas com a segunda e terceira camada.

A figura 23 mostra a tela inicial do jogo, como pode ser observado, possui botões que servem para explicar o modelo, mostrar as relações entre os setores (cada setor engloba uma das facilidades e suas conexões com outros elementos do modelo), escolher a facilidade que o jogador deseja ser, escolher a demanda, o nível de serviço, a política de estoques para cada facilidade (incluindo o estoque mínimo, máximo e lote de reposição) e os custos também para cada facilidade. Ainda é nesta camada que se simula e observa os resultados através de gráficos e tabelas.

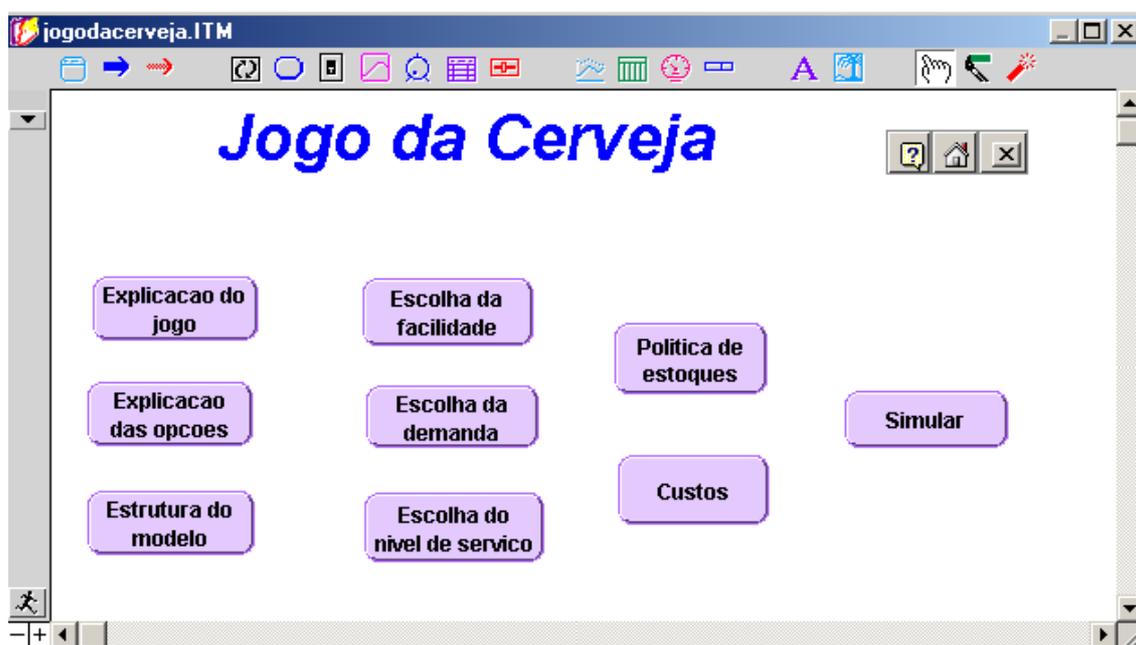


Figura 23: Tela inicial do jogo na primeira camada.

Para acessar cada uma das opções, representadas pelos botões que aparecem na tela inicial (figura 23), basta clicar na opção desejada. Os ícones que aparecem no canto superior direito da tela, um com o desenho de uma casa e o outro com um “x” dentro, estão em todas as telas e servem,

respectivamente, para voltar à tela inicial (onde estão as opções) e para sair do programa.

A seguir, as opções mostradas na figura 23, todas situadas na primeira camada, serão descritas juntamente com as suas conexões com a segunda camada (o modelo), ficando por último as equações, que se encontram na terceira camada e serão mostradas em anexo.

4.2- EXPLICAÇÃO DAS OPÇÕES DO JOGO

4.2.1- ESTRUTURA DO MODELO

A estrutura do modelo serve para mostrar as conexões entre seus setores, ou seja, entre todas as facilidades (varejista, atacadista, distribuidor e fábrica) e o consumidor.

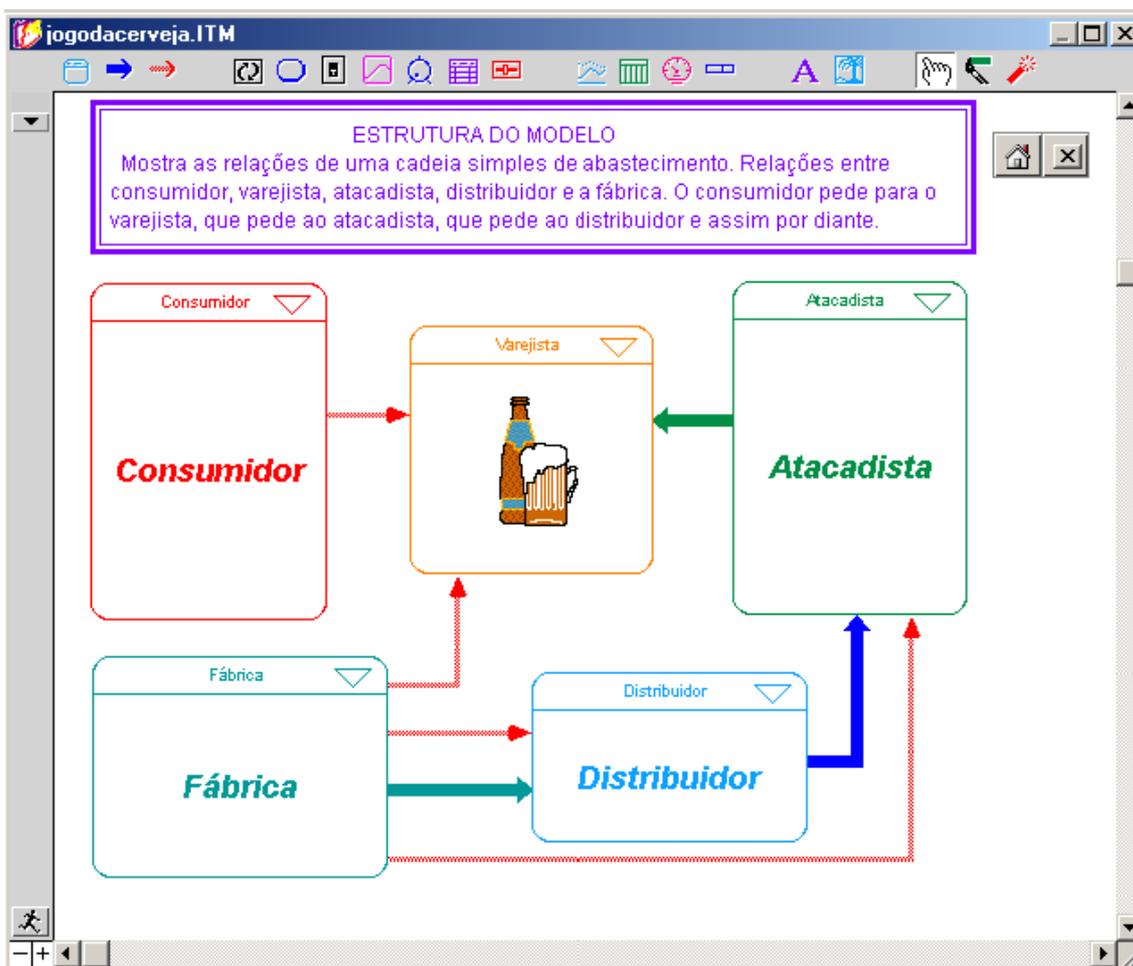


Figura 24: Estrutura do modelo.

Dentro de cada setor estão todos os cálculos utilizados, níveis e fluxos existentes. É possível ir para a parte do modelo (na segunda camada) que se refere ao respectivo setor, clicando na seta existente dentro dele, como pode ser observado na figura 24.

O setor fábrica conecta todos os setores (com exceção do consumidor) como pode ser observado na figura 24, pois o custo de fabricação entra no cálculo do lote econômico para todos os setores.

4.2.2- ÍCONE: EXPLICAÇÃO DAS OPÇÕES

A explicação das opções mostra um resumo de todas as opções que aparecem na tela para o jogador, como pode ser observado na figura 25.

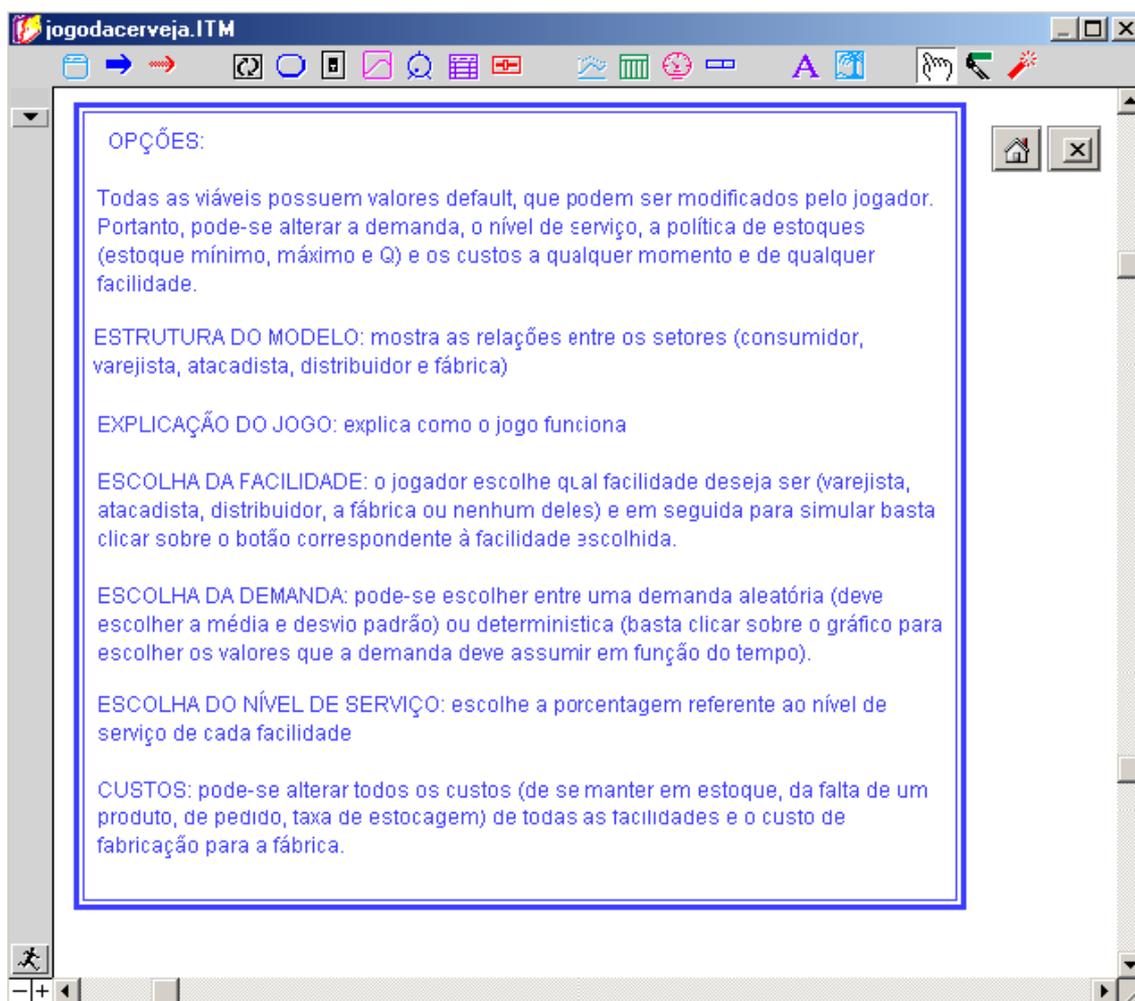


Figura 25: Tela: explicação das opções

4.2.3- EXPLICAÇÃO DO JOGO

A explicação do jogo mostra um resumo sobre o jogo da cerveja, conceito, data de criação e autor, além de fazer um resumo do funcionamento do jogo.

A tela que aparece é mostrada na figura 26.

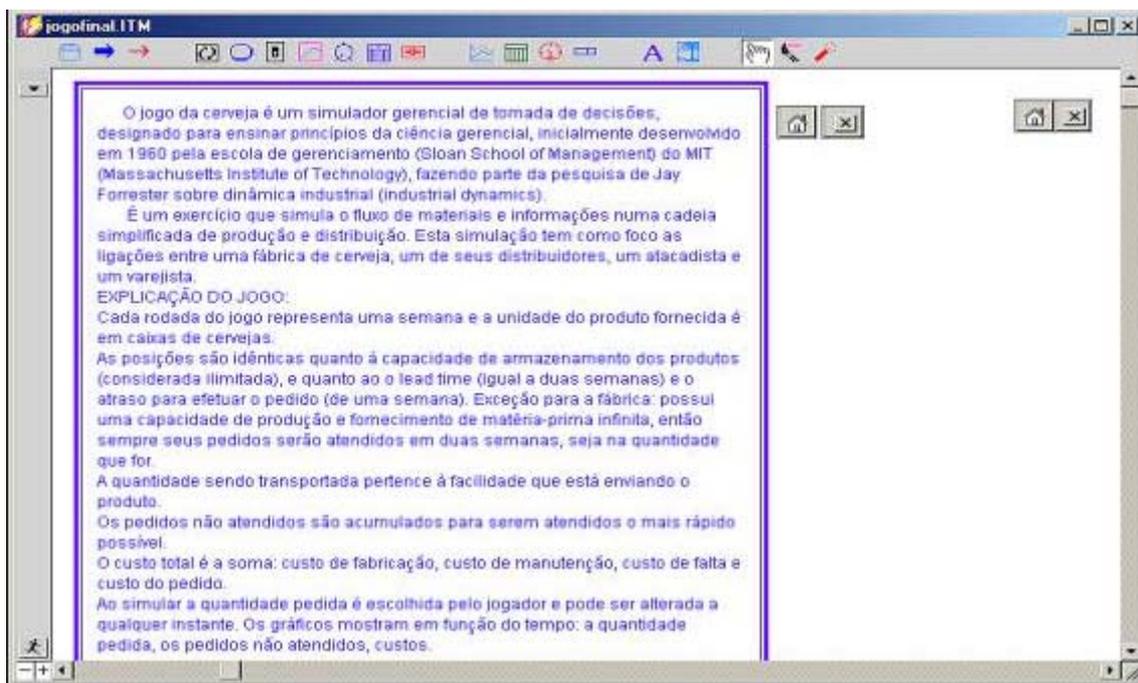


Figura 26: Explicação do jogo.

4.2.4- ESCOLHA DA FACILIDADE E OPÇÃO: SIMULAR

Na escolha da facilidade, o jogador decide qual a facilidade que deseja administrar e, portanto, tomar decisões quanto à quantidade de produtos pedidos (no caso caixas de cervejas) que são feitas à facilidade superior, a quantidade de produtos que deve permanecer em estoque (estoque mínimo) e a máxima quantidade permitida (estoque máximo).

Depois de escolher a facilidade, para simular basta clicar sobre o ícone com o mesmo nome que está situado na parte inferior da tela que aparece na figura 27, e então, pode-se observar o que acontece em função do tempo, através de gráficos e tabelas.

As demais facilidades são comandadas pelo computador, cujas quantidades pedidas são calculadas em função de parâmetros que podem ser modificados pelo jogador, que será explicado mais adiante.

Escolhendo a opção “nenhum”, o jogador apenas observa o sistema, ou seja, todas as facilidades são comandadas pelo computador. Mesmo assim, o jogador pode modificar qualquer parâmetro (demanda, nível de serviço, política de estoques e custos).

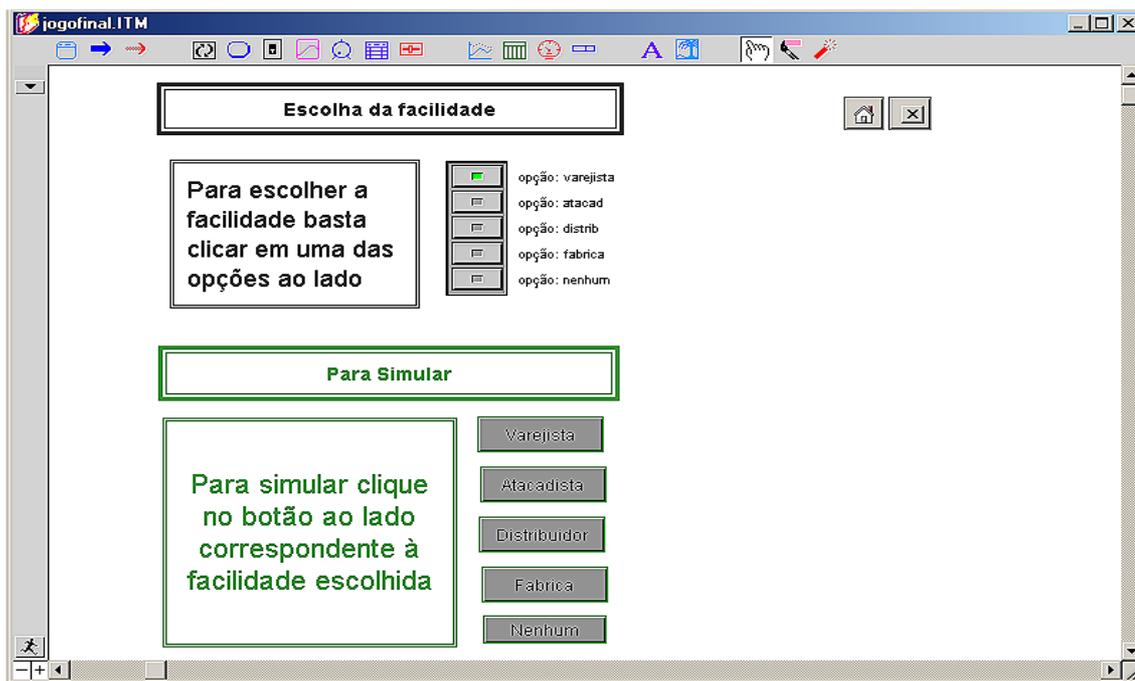


Figura 27: Escolha da facilidade e simulação.

O dispositivo que representa a escolha da facilidade na interface, figura 28, é uma chave binária combinada chamada de switch, que apresenta um comportamento mutuamente exclusivo, ou seja, assume apenas dois valores (zero ou um) e somente uma das opções pode ser escolhida. A opção escolhida apresentará uma cor verde em seu interior (figura28) e assumirá valor um, significando que está ligada (on) e as demais desligadas (off)

A parte relacionada na segunda camada (no modelo) a essa chave é mostrada na figura 29 e, como pode ser observado, os blocos construtores, chamados de conversores (representados por círculos), aparecem com uma chave em seu interior.



Figura 28: Opções de escolha.



Figura 29: Dispositivos que funcionam como chave combinados.

4.2.5- ESCOLHA DA DEMANDA

A escolha da demanda é feita pelo jogador, independente da facilidade escolhida pelo mesmo para ser comandada e corresponderá à demanda do consumidor final, que é atendida pelo varejista. Ao contrário do jogo tradicional (o do tabuleiro), a demanda será conhecida pelo jogador, mesmo que ele não seja o varejista.

Para as demais facilidades (atacadista, distribuidor e fábrica) a demanda é a quantidade pedida pela facilidade abaixo, cujo valor será calculado de acordo com a política de estoque seguida por cada facilidade (assim como os valores escolhidos para estoque mínimo, máximo e o lote de reposição), se comandadas pelo computador, ou decidido pelo próprio jogador. Esses e outros cálculos serão abordados mais tarde.

4.2.5.1- TIPOS DE DEMANDA

A demanda pode ser determinística ou aleatória. O valor da demanda determinística padrão (default) é constante e igual a quatro caixas de cerveja da primeira semana até a quarta semana e de oito caixas de cerveja da quinta

semana em diante. Esses valores podem ser modificados, bastando clicar sobre o gráfico que aparece na tela (conforme a figura 30) e escolher os valores desejados para cada semana. A demanda aleatória, por sua vez, tem seus valores gerados aleatoriamente a partir da média (cujo valor padrão é igual a seis) e um desvio padrão (igual a dois), valores esses que também podem ser modificados pelo jogador, arrastando para o valor desejado no ícone referente à média e ao desvio padrão, respectivamente (figura 30).

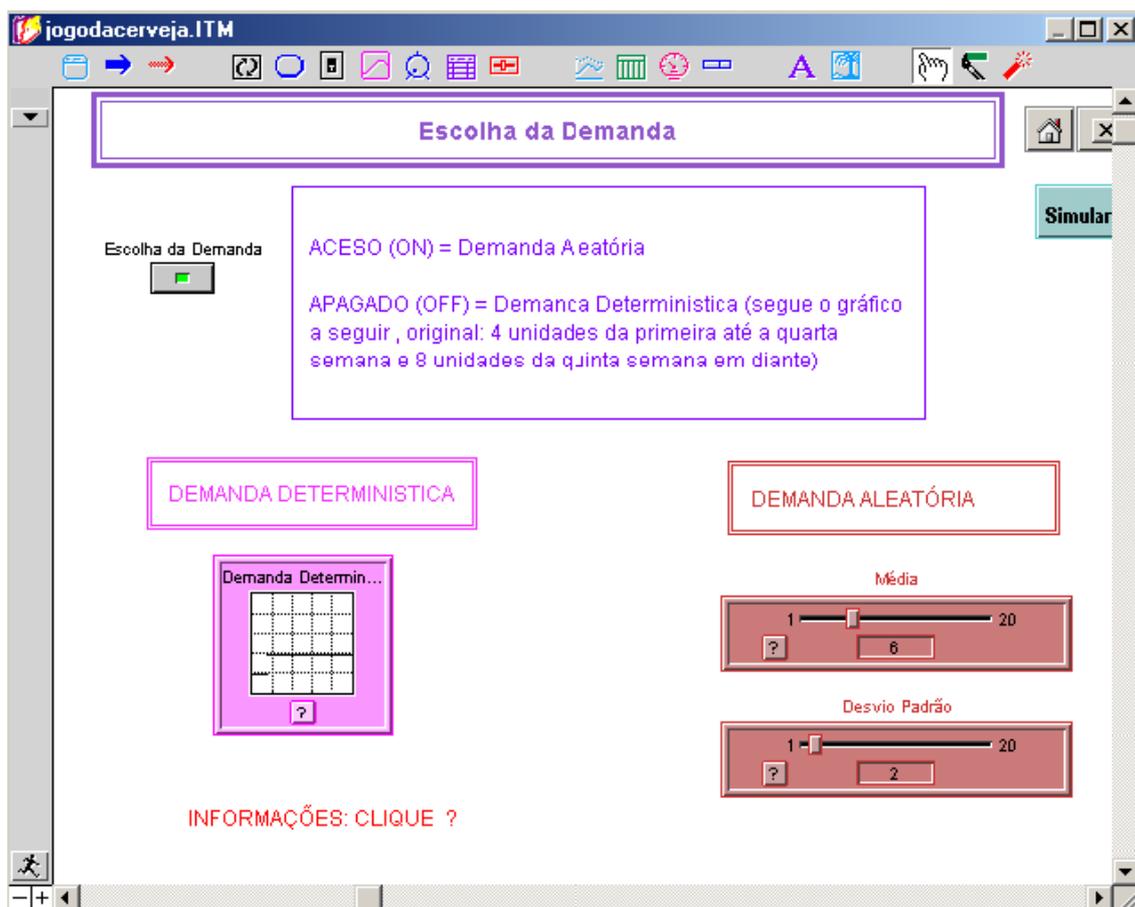


Figura 30: Escolha da demanda.

4.2.5.2- DETERMINAÇÃO DOS NÚMEROS ALEATÓRIOS (DEMANDA ALEATÓRIA)

A demanda aleatória tem seus números gerados a partir de valores randômicos normalmente distribuídos, utilizando-se do teorema do limite central, no qual diz que a distribuição da soma de N variáveis aleatórias

independentes, identicamente distribuídas (isto é, todas têm a mesma função de probabilidade no caso discreto ou a mesma função de densidade no caso contínuo), cada uma delas com média μ e variância σ^2 finitas, quando N (o número de variáveis) se torna muito grande tendendo ao infinito, aproxima-se assintoticamente da distribuição normal.

A afirmação de que as variáveis aleatórias devem ser identicamente distribuídas não é essencial enquanto uma porção particular de variáveis aleatórias não dominar a soma. Isso implica que a soma de um grande número de variáveis aleatórias será aproximadamente normal, independentemente da distribuição das variáveis aleatórias.

A média é calculada a partir da equação 8:

$$\mu = \sum_{i=1}^N \mu_i \quad (\text{Equação 8})$$

E variância (equação 9):

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N \sigma_i^2 \quad (\text{Equação 9})$$

Por isso, segundo [Naylor et al, 1971], o teorema do limite central permite o uso de uma distribuição normal para representar medições globais de efeitos de causas (erros) aditivas, independentemente distribuídas, sem se levar em conta a distribuição de probabilidades das mesmas medidas de causas particulares.

A distribuição é considerada normal se uma variável randômica X tem uma função de densidade $f(x)$ dada por (equação 10):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu_x}{\sigma_x}\right)^2} \quad \text{com } -\infty < x < \infty \quad (\text{Equação 10})$$

Onde σ_x é positivo.

Possui um gráfico na forma de sino conforme pode ser visto na figura 31, determinado por valores particulares de μ e σ^2 :

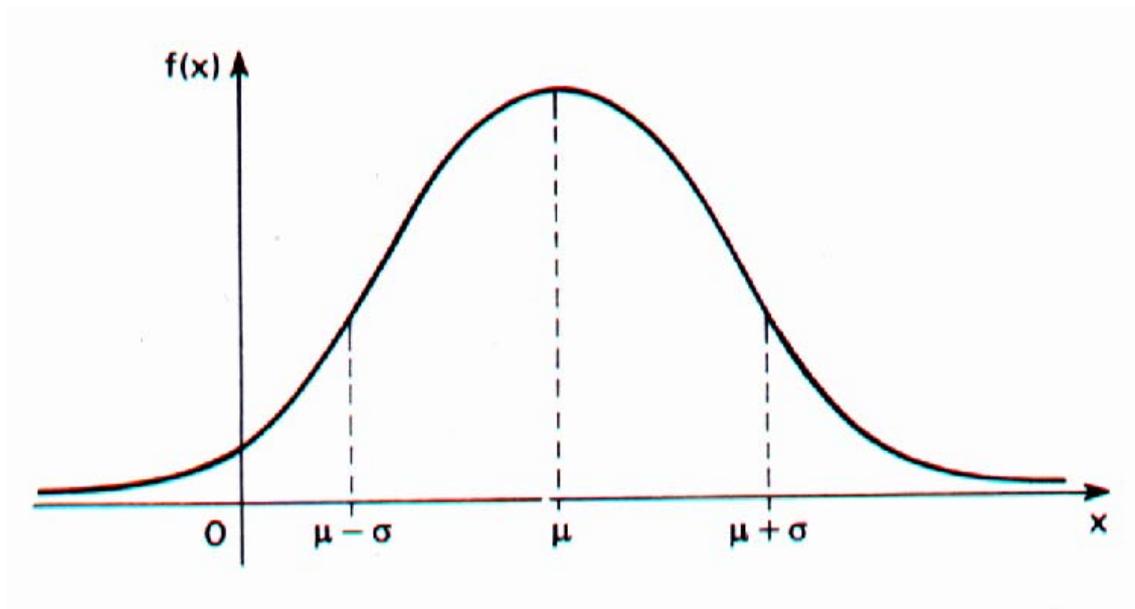


Figura 31: Curva da Distribuição Normal, determinada por valores particulares de μ e σ^2 .

Se os parâmetros da distribuição normal têm valor $\mu_x=0$ e $\sigma_x=1$ a distribuição é conhecida como “distribuição normal padrão”, sendo sua função de densidade dada por:

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}z^2} \quad -\infty < z < \infty \quad (\text{Equação 11})$$

Qualquer distribuição normal pode ser convertida na forma padrão pela substituição, conforme a equação 12:

$$z = \frac{x - \mu_x}{\sigma_x} \quad (\text{Equação 12})$$

A seguinte interpretação do teorema do limite central foi feita, a fim de simular uma distribuição normal com um dado valor esperado μ_x e um certo desvio padrão σ_x :

Se r_1, r_2, \dots, r_N são variáveis randômicas independentes cada uma com a mesma distribuição de probabilidades, com média $E(r_i) = \theta$ e variância $\text{Var}(r_i) = \sigma^2$, então:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} P \left[a < \frac{\sum_{i=1}^N r_i - N\theta}{\sqrt{N}\sigma} < b \right] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_a^b e^{-\frac{1}{2}z^2} dz \quad (\text{Equação 13})$$

$$E\left(\sum_{i=1}^N r_i\right) = N\theta \quad (\text{Equação 14})$$

$$\text{Var}\left(\sum_{i=1}^N r_i\right) = N\sigma^2 \quad (\text{Equação 15})$$

$$z = \frac{\sum_{i=1}^N r_i - N\theta}{\sigma\sqrt{N}} \quad (\text{Equação 16})$$

Onde z é um valor normal padrão.

O processo para a simulação de valores normais em um computador inclui a soma de K valores randômicos uniformemente distribuídos r_1, r_2, \dots, r_k , onde r_i é definido no intervalo $1 \geq r_i \geq 0$. Aplicando então a notação matemática do teorema do limite central e o conhecimento prévio da distribuição uniforme tem-se:

$$\theta = \frac{a+b}{2} = \frac{0+1}{2} = \frac{1}{2} \quad (\text{Equação 17})$$

$$\sigma = \frac{b-a}{\sqrt{12}} = \frac{1}{\sqrt{12}} \quad (\text{Equação 18})$$

$$z = \frac{\sum_{i=1}^N r_i - K/2}{\sqrt{K/12}}$$

(Equação 19)

Por definição, z é um valor normal padrão e pode ser escrito sob a forma da equação 12, onde x é um valor randômico que segue a distribuição normal, a qual se quer simular, com média μ_x e desvio padrão σ_x . Associando a equação 19 com a equação 12, obtém-se:

$$\frac{x - \mu_x}{\sigma_x} = \frac{\sum_{i=1}^N r_i - K/2}{\sqrt{K/12}}$$

(Equação 20)

Resolvendo a equação 20 em relação a x , tem-se:

$$x = \sigma_x \left(\frac{12}{K} \right)^{1/2} \left(\sum_{i=1}^K r_i - \frac{K}{2} \right) + \mu_x$$

(Equação 21)

A equação 21 fornece uma fórmula simples para a geração de valores randômicos de distribuição normal (com média μ_x e desvio padrão σ_x). Para gerar um único valor de x (valor randômico de distribuição normal), simplesmente soma-se K números randômicos definidos no intervalo $[0, 1]$. Substituindo o valor desse somatório na equação 21, bem como os valores de μ_x e de σ_x para a distribuição desejada, determina-se um valor particular de x . Este processo pode ser repetido tantas vezes quantos forem os valores de distribuição normal requeridos.

O valor de K que deve ser aplicado às fórmulas é usualmente determinado através de um compromisso entre a eficiência de computação e precisão.

Considerando-se a convergência assintótica prevista pelo processo do limite central, seria desejável um K elevado. Levando-se em conta o tempo necessário à geração de K valores uniformes para cada valor normal, seria

desejável um valor pequeno para K , sendo o menor valor deles igual a 10. Para se obter maior precisão se usa valores maiores de K (até $K=24$), porém em ambos os casos a eficiência da aplicação do processo do limite central é menor que nos outros.

Seguindo o processo do limite central, para a geração de valores de distribuição normal, deve-se seguir o processo descrito na figura 32, utilizando o valor de $K=12$, devido a uma vantagem computacional, pois se evita uma multiplicação pela constante 12.

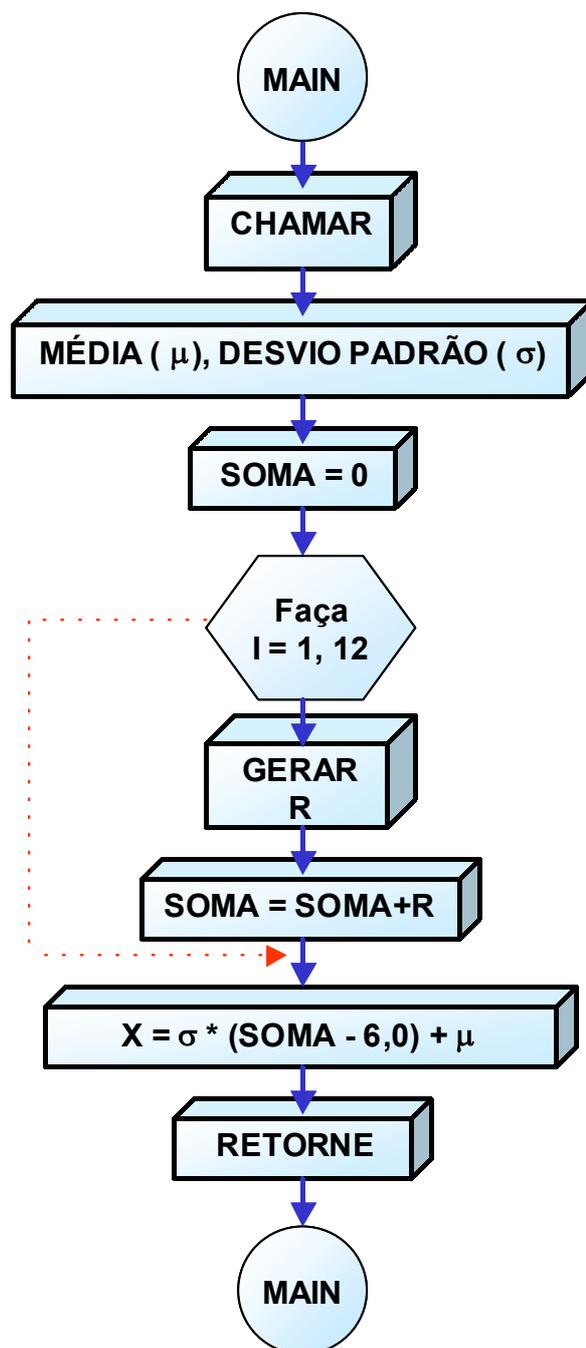


Figura 32: Fluxograma da geração de valores normais, [Naylor et al, p.115, 1971].

4.2.5.3- DEMANDA NO MODELO (SEGUNDA CAMADA)

4.2.5.3.1- DEMANDA DETERMINÍSTICA

Como foi dito anteriormente, o valor da demanda determinística é determinado pelo gráfico e não possui o mesmo valor durante toda a simulação (varia de quatro para oito caixas de cerveja).

Foi calculado, então, a média e sua variância (conseqüentemente seu desvio padrão) que serão utilizados nos cálculos de estoque de segurança e do lote econômico, que mais tarde serão descritos.

A média foi calculada através da média aritmética dada pela equação 22, que é igual à soma de todos os valores da demanda do consumidor final, dividido pelo número de elementos no conjunto (número de semanas já simuladas). Esta média vai sendo modificada à medida que a simulação vai acontecendo, pois novos valores da demanda serão acrescentados na soma, alterando assim, o valor da soma total, que será dividida por um número de semanas maior que o anterior (no caso um período a mais) e, portanto, a média está sempre sendo modificada à medida que o tempo passa.

$$Me = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$$

(Equação 22)

Onde:

Me= média aritmética de n períodos;

D_i = demanda ocorrida no período i ;

n = número de períodos;

i =índice do período ($i = 1,2,3,\dots$)

Para obter o desvio padrão, primeiro foi calculado a diferença de cada valor individual (a demanda) em relação à média de todos os valores da amostra referentes àquela semana (equação 23), pegando-se os módulos dos valores. Os cálculos são feitos simultaneamente, ou seja, a média e sua diferença com o novo valor da demanda (que foi acrescentado à média).

$$dif_i = |D_i - Me|$$

(Equação 23)

Onde:

dif_i = módulo da diferença entre D_i e Me para o período i ;

D_i = demanda consumidora no período i ;

Me = média aritmética;

i = índice do período ($i = 1, 2, 3, \dots$).

Em seguida, somam-se os quadrados de todos os desvios e o resultado é dividido por $(n - 1)$. O resultado dessas operações é a variância, cujo símbolo é igual a σ^2 , dada pela equação 24:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_i dif_i^2}{n - 1} = \frac{\sum_i (D_i - Me)^2}{n - 1}$$

(Equação 24)

O desvio padrão é a raiz quadrada da variância.

A parte que corresponde a esses cálculos no modelo (na segunda camada) é mostrado na figura 33.

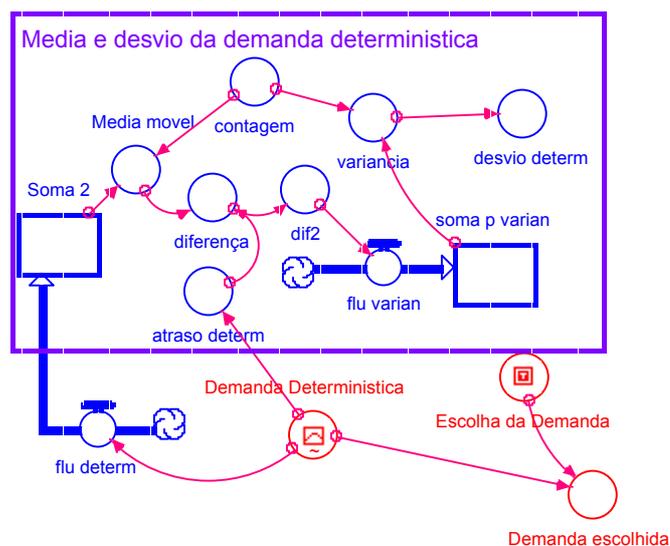


Figura 33: Cálculo da média e desvio padrão da demanda determinística.

Também são feitos os cálculos da média e desvio padrão dos pedidos feitos pelo varejista, que é a demanda vista pelo atacadista; dos pedidos feitos pelo atacadista, que é a demanda vista pelo distribuidor e, dos pedidos feitos pelo distribuidor, que é a demanda vista pela fábrica. Nos casos citados acima, no lugar dos valores da demanda determinística entram os valores da quantidade pedida por cada setor. Os valores calculados do desvio padrão serão utilizados no cálculo do estoque de segurança, que será explicado no item 4.2.7.1.1.

4.2.5.3.2- DEMANDA ALEATÓRIA

Para a demanda aleatória, como foi dito anteriormente, os valores da média e desvio padrão são fornecidos e podem ser modificados pelo jogador, caso contrário o computador assumirá os valores de média igual a seis e desvio padrão igual a dois.

A parte referente à demanda aleatória no modelo é mostrada na figura 34 e faz parte do setor chamado de consumidor. Os doze números aleatórios gerados (para $K=12$, como já foi explicado anteriormente), seguindo uma distribuição normal, são as variáveis r_1 até r_{12} , pois esta linguagem não permite fazer uma repetição, isto é, a simulação ocorre de modo que todos os cálculos são feitos ao mesmo tempo.

Como os valores gerados aleatoriamente seguindo uma distribuição normal podem ser negativos, pegou-se o módulo desses valores para serem somados e colocados na equação 21 (item 4.2.5.3.2) para depois arredondar esse valor gerado, pois a demanda só pode ser um número inteiro.

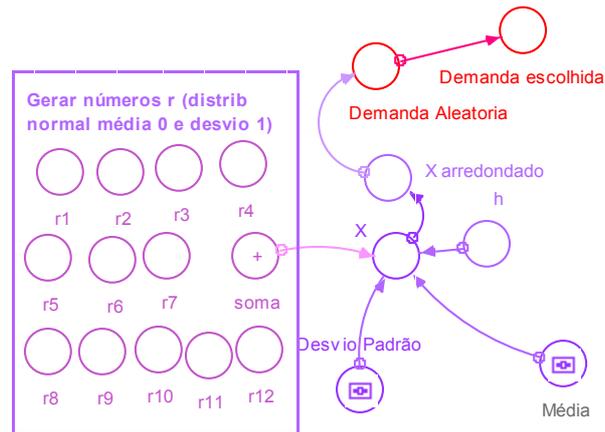


Figura 34: Geração dos números aleatórios da demanda aleatória.

4.2.6- ESCOLHA DO NÍVEL DE SERVIÇO

Nível de serviço é, em outras palavras, a determinação do risco que determinada empresa deseja assumir referente à falta de um determinado produto para atender a demanda. Portanto, é função de quantas faltas se admite durante o período de planejamento como suportável para este produto.

Por exemplo, se for admitido que um item com frequência de reposição semanal (52 reposições num ano) pode ter quatro faltas, o nível de serviço é de 92%, ou seja:

$$\text{Nível de serviço} = 1 - 4/52 = 0,92 = 92\%$$

Considerando que a demanda segue uma distribuição normal durante o tempo de ressuprimento (lead time), pode-se relacionar os níveis de serviço com o número de desvios padrões a serem cobertos pelo estoque de segurança. Em outras palavras, o estoque de segurança (Q_s) é a parcela adicional (k), expressa em termos de desvios padrões (σ) associado a determinado risco, que se deve manter de itens em estoque para suportar uma demanda máxima (d_{\max}) superior à demanda média. Logo expresso pela equação 25:

$$Q_s = k \cdot \sigma$$

(Equação 25)

Onde:

Q_s = estoque de segurança

K = número de desvios padrões

σ = desvio padrão

Conforme o nível de serviço desejado para o item, tem-se um número de desvios padrões a considerar, como pode ser visto na tabela 3:

Tabela 3: Número de desvios padrões (valor de k) a considerar conforme o nível de serviço desejado.

<u>Nível de serviço</u>	k
80%	0,84
85%	1,03
90%	1,28
95%	1,64
97%	1.88
98%	2.05
99%	2,32
99,99%	3,09

Fonte: TUBINO, p.140, 2000.

Estes valores (alguns deles mostrados na tabela 3) podem ser obtidos através da tabela da distribuição normal padronizada, ou seja, com média igual a zero e desvio padrão igual a um. Por exemplo: para a probabilidade igual a 1% de ocorrer a falta do produto (ou valor na tabela de 0,01) o valor correspondente de z é igual a 2,32, isto significa que para um nível de serviço de 99% (100%-1%) o valor da constante k é igual a 2,32.

Para um nível de serviço de 80%, a probabilidade de ocorrer a falta do produto é de 20% (na tabela 0,20), cujo valor correspondente de z é igual a 0,84, que é o valor da constante k .

A parte do modelo na segunda camada que se refere à a escolha do nível de serviço para o varejista é mostrado na figura 35, para as demais facilidades é semelhante.

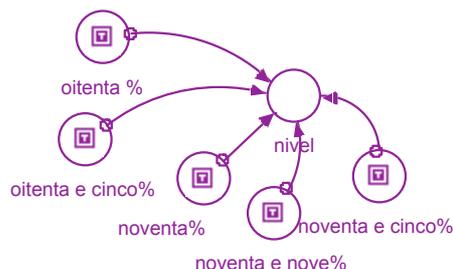


Figura 35: Nível de estoque no modelo.

Os símbolos que aparecem dentro dos conversores das porcentagens para o nível de serviço fazem parte de uma chave binária em cadeia, que como foi explicado anteriormente, força o comportamento mutuamente exclusivo, ou seja, quando uma das opções possui valor um, as demais são iguais a zero, o que significa que apenas um desses valores será utilizado, no caso, como nível de serviço. Na interface, a luz verde indica qual variável está ativada, conforme é mostrado na figura 36, tela que aparece na interface.

O jogador escolhe o nível de serviço para todas as facilidades, ou seja, as facilidades podem ter níveis de serviço diferentes como pode ser observado na figura 36.

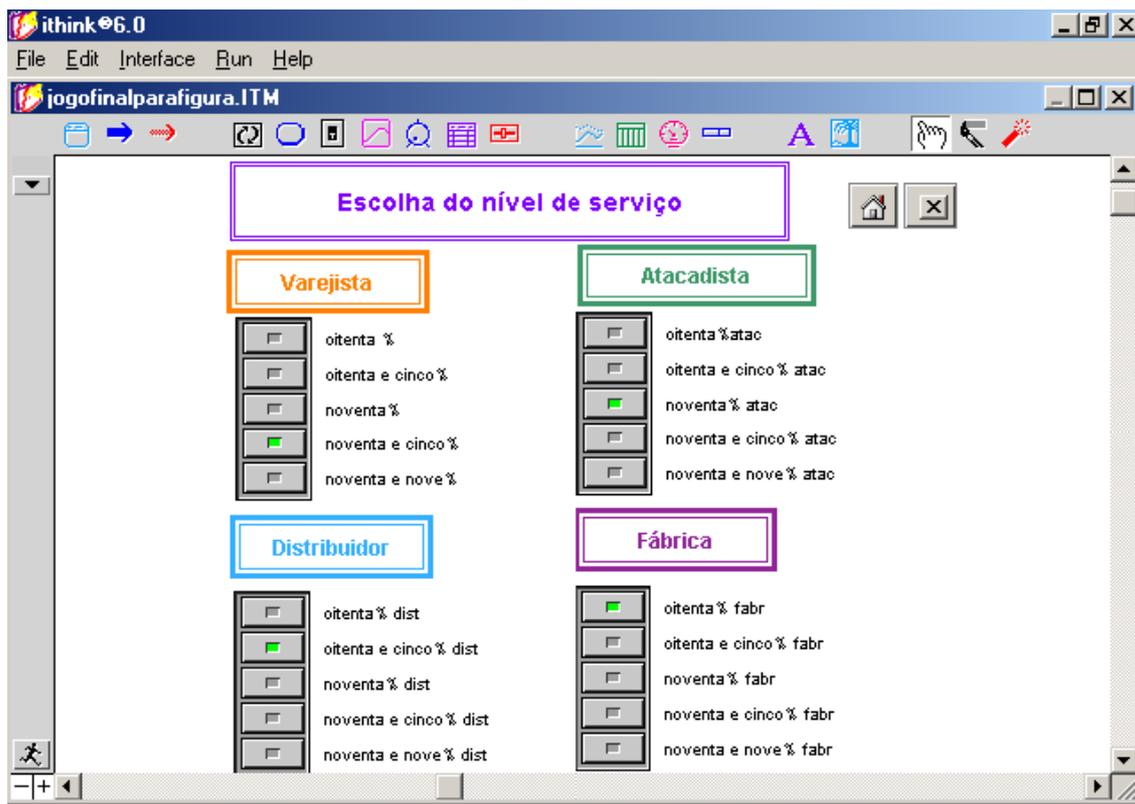


Figura 36: Escolha do nível de serviço.

4.2.7- POLÍTICAS DE ESTOQUE

Cada empresa segue sua própria política de estoque, determinando os objetivos a serem atingidos e critérios para medir seu desempenho. Entre outros fatores estão: a meta que se deseja atingir em relação ao tempo de entrega dos produtos ao cliente; o nível máximo de estoques para atender uma alta ou baixa das vendas ou uma alteração de consumo; o espaço físico necessário para o armazenamento e, a quantidade máxima permitida para se comprar antecipadamente ou em grandes quantidades a fim de obter descontos.

No entanto, há duas questões básicas para serem resolvidas: a primeira se refere à frequência que se deve fazer o reabastecimento do estoque e a segunda, à quantidade a ser pedida.

No jogo, os pedidos são feitos a cada semana, entretanto, pode-se não fazer pedido algum, basta pedir uma quantidade igual a zero.

Problemas nas decisões quanto à política de estoque deve levar em consideração o ambiente ao redor nas quais as decisões devem ser feitas, assim como os custos relacionados à aquisição do produto, devido à sua falta e da sua manutenção (custo de manter um estoque). A parte relacionada aos custos será comentada no item 4.2.8.

Cada condição representa um problema diferente a ser analisado, entretanto, muito sobre cada problema é o mesmo e relata de volta ao básico custo do comércio de troca (tradeoff).

Não é possível examinar cada problema diferente quanto às políticas de estoque, mas o que se tenta fazer é discutir diferentes situações a fim de encontrar soluções possíveis que levem ao desenvolvimento de uma política de estoque adequada. A análise deve ser flexível e imaginativa para que a aplicação no estoque teórico sirva para situações reais.

Na verdade, modelos teóricos sobre políticas de estoque não refletem a realidade, mas alguns conceitos básicos são muito bem ensinados.

As opções de políticas de estoque foram baseadas nas políticas do jogo feito por David Simchi Levi e Philip Kaminsky (explicados no item 3.1.3.1), sendo que o jogador pode escolher a política de estoque que serão seguidas por todas as facilidades que o computador irá comandar, assim como modificar os valores do estoque mínimo (Q_S), estoque máximo (Q_{MAX}) e da quantidade Q (lote de reposição) de todas as facilidades.

A figura 37 é a tela que aparece na interface, ou seja, na primeira camada, e que tem interação com o jogador.

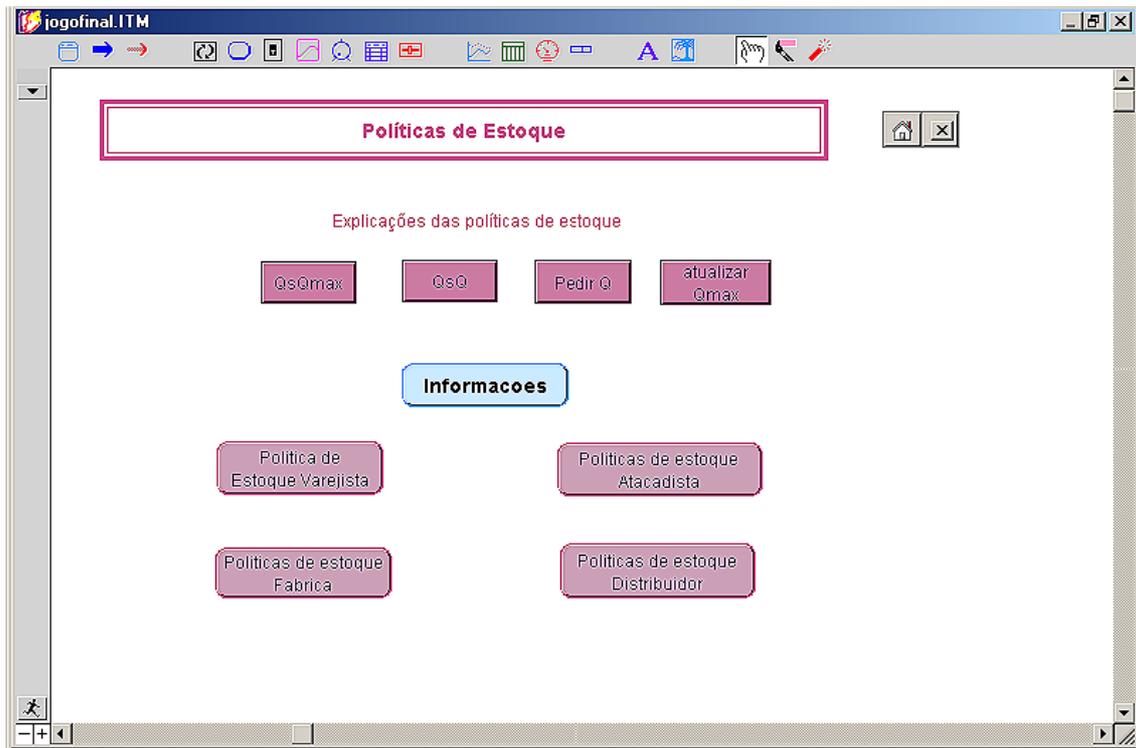


Figura 37: Política de estoques.

Para se modificar algum parâmetro dentro da política de estoques (estoque de segurança, estoque máximo ou a quantidade Q), deve-se clicar primeiramente sobre a facilidade que se deseja modificar (figura 37), depois clicar no parâmetro desejado tornando o elemento chave aceso (que significa que está ligado, ou com a cor verde em seu interior), e depois, colocar o valor desejado na caixa que aparece ao lado (figura38).

A figura 38 se refere à política de estoque do varejista, opção escolhida no jogo, clicando sobre o botão de mesmo nome na figura 37. Para as demais facilidades, a aparência é a mesma, entretanto os valores de Q_s , Q_{MAX} e a quantidade Q correspondem às suas respectivas facilidades.

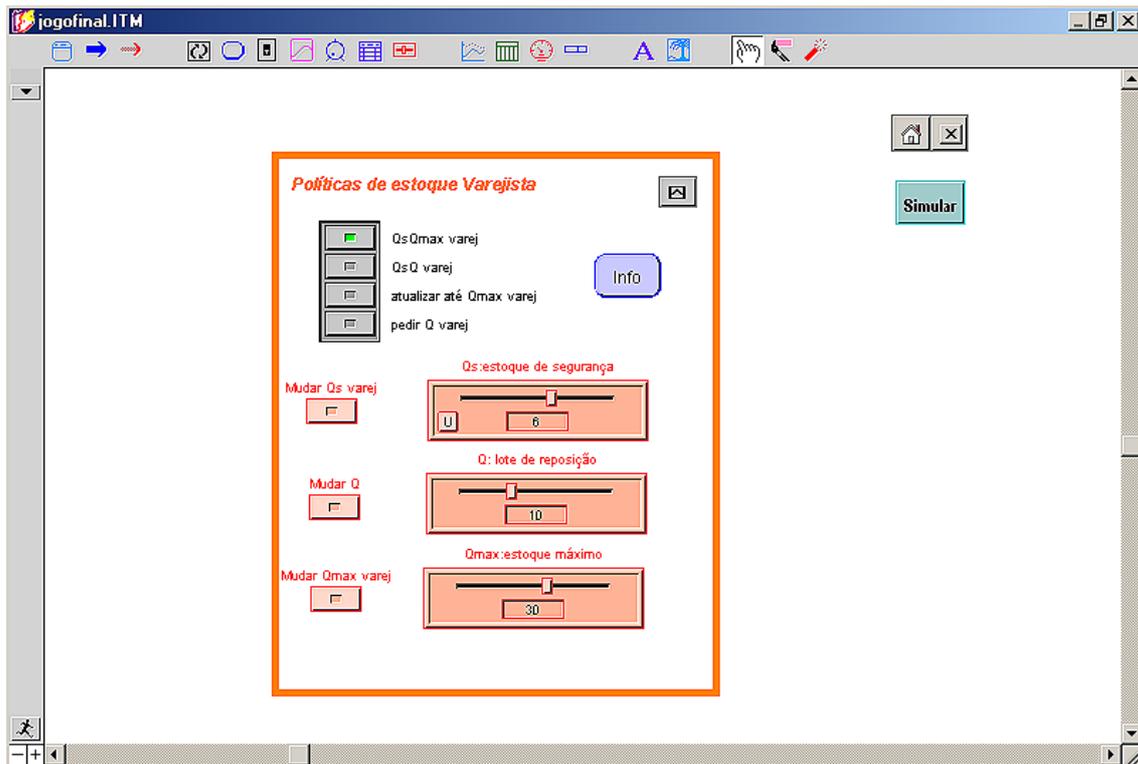


Figura 38: Opções da política de estoques varejista.

Antes de explicar as quatro opções para política de estoques ($Q_s Q_{max}$, $Q_s Q$, Pedir Q e atualizar Q_{max}), conceitos sobre estoques e o lote econômico serão explicados nos próximos itens.

4.2.7.1- ESTOQUES

Estoque é definido como armazenar algo que será utilizado posteriormente. Há vários tipos de estoques dentro de uma mesma empresa: estoque das matérias primas (itens, componentes comprados ou produzidos internamente) que são armazenadas geralmente no almoxarifado; dos produtos acabados armazenados no depósito final; dos produtos em processo ou semi-acabados no subsistema de produção, e próximo às máquinas, estão os estoques das ferramentas e peças para manutenção. Há também o estoque de materiais indiretos, ou seja, aqueles materiais que não são utilizados diretamente na produção, como material de limpeza, escritório, etc.

Tubino (2000), fornece algumas finalidades para a criação de estoques:

- Garantir a independência entre as etapas produtivas: estoques amortecedores fazem com que problemas numa destas etapas não sejam transferidos para as demais, como, por exemplo, uma interrupção na produção não afetaria as vendas se houvessem estoques de produtos acabados;
- Permitir uma produção constante: quando um sistema produtivo possui variações sazonais da demanda, pode-se optar por uma produção para estoque quando a demanda estiver em baixa, e vender material estocado quando estiver em alta, mantendo o ritmo de produção;
- Possibilidade do uso do lote econômico: para algumas etapas do sistema produtivo que só permitem a produção ou a movimentação econômica de lotes maiores do que a necessidade de consumo imediato, gerando um excedente que precisa ser administrado;
- Reduzir os lead-times produtivos: os prazos de entrega dos produtos podem ser reduzidos com a manutenção de estoques intermediários dentro dos sistemas produtivos, pois ao invés de esperar pela produção ou compra de um item, pode-se retirá-lo do estoque e usá-lo imediatamente;
- Como fator de Segurança: os estoques de segurança servem para absorver as variações aleatórias da demanda (baseadas no erro de previsão) durante o tempo de ressuprimento, quebras de máquinas, entrega de fornecedores fora do prazo, etc;
- Para obter vantagens de preço: mantém-se um estoque para prevenir possíveis aumentos de preços dos materiais comprados, ou ainda, compram em quantidades superiores às necessárias visando obter desconto no preço unitário.

Resumindo, a importância da criação de diferentes tipos de estoques dentro de uma empresa está no fato de tentar resolver problemas do sistema de produção. Alguns deles sendo insolúveis, como a sazonalidade, mas muitos podem ser resolvidos, como o atraso na entrega de matérias-primas.

Algumas desvantagens de se ter estoques são: capital empatado que poderia estar sendo investido de outras maneiras; custos de manutenção de estoques, custos relacionados ao espaço físico ocupado pelos estoques, risco de obsolescência do material armazenado, depreciação, perdas por roubos ou extravios e, a falta de tempo na resposta ao mercado.

4.2.7.1.1- ESTOQUE DE SEGURANÇA (Q_s)

Estoque mínimo ou de segurança é a quantidade mínima de estoque projetada para absorver as variações na demanda durante o tempo de ressuprimento, ou variações no próprio tempo de ressuprimento. Age como amortecedor para os erros associados ao lead time interno ou externo dos itens.

A determinação do estoque de segurança leva em consideração dois fatores que devem ser equilibrados: os custos decorrentes da falta do item e os custos de manutenção do estoque. Quanto maiores forem os custos de falta, maiores serão os níveis de estoques de segurança que se deve manter, e vice-versa.

Neste trabalho, o estoque de segurança é calculado conforme foi mostrado no item 4.2.6 referente ao nível de serviço, ou seja, pela equação 25:

$$Q_s = k \cdot \sigma$$

(Equação 25)

Onde:

Q_s = estoque de segurança;

K= número de desvios padrões conforme o nível de serviço desejado;

σ = desvio padrão.

Existem outras formas mais simples de se calcular o estoque de segurança, entre eles, considerar como uma porcentagem da demanda durante o tempo de ressuprimento, ou então, ao invés de considerar a segurança em unidades, considerá-la em tempo, ou seja, planeja-se o recebimento do item com um tempo de segurança como forma de garantir que o item chegará em tempo para o seu consumo.

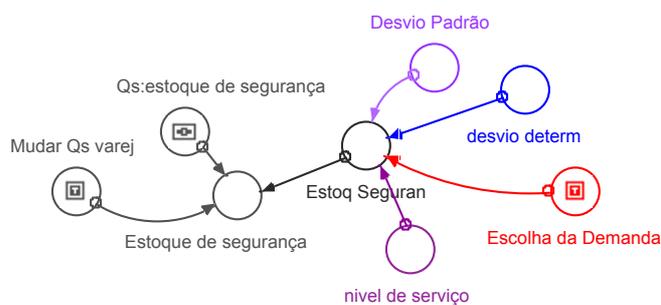


Figura 39: Estoque de segurança no modelo.

A figura 39 mostra a parte referente ao valor do estoque de segurança no modelo para o varejista, cuja demanda é o consumidor final (podendo ser determinística ou aleatória), sendo que seu valor final é determinado no conversor de nome “Estoque de segurança”, sendo igual ao valor calculado pelo computador ou ao valor colocado pelo jogador.

Sem a alteração do jogador, o valor padrão para o estoque de segurança, para todas as facilidades, é o valor calculado pelo computador através da equação 25, que leva em consideração, o nível de serviço desejado (valor de k) e a demanda vista pela respectiva cada facilidade (isto é, para o atacadista, o valor do desvio padrão utilizado é o referente à demanda vista por ele, ou seja, os pedidos feitos pelo varejista; e assim por diante).

Para modificar o valor do estoque de segurança de qualquer facilidade, o jogador deve entrar na opção de política de estoque da facilidade em questão, (por exemplo, ao clicar na opção: política de estoques varejista da figura 37, aparece a tela mostrada na figura 38), depois, deve-se clicar no botão “Mudar Q_S varej” (aqui o varejista foi escolhido, mas para as demais facilidades funciona do mesmo modo), que ficará aceso na interface (com a cor verde em seu interior), e colocar o valor desejado na barra situada ao lado deste botão com o nome “ Q_S : estoque de segurança”.

Os símbolos que aparecem dentro dos conversores “Mudar Q_S varej” e “ Q_S : estoque de segurança”, figura 39, significam que, o primeiro possui na interface uma chave binária (que, portanto, estará ligada ou desligada) e o segundo que possui uma barra para se escolher um determinado valor para a variável em questão, no caso, somente se a chave estiver ligada é que esse valor passará a ser utilizado pela variável.

4.2.7.1.2- ESTOQUE MÁXIMO

Estoque máximo (Q_{MAX}) é a quantidade máxima ou o limite superior aceito pela empresa para as necessidades de estoque, corresponde à soma do material existente com aquele a ser recebido, ou em outras palavras, a soma do estoque de segurança (Q_S) com o lote de reposição (Q).

A parte correspondente na segunda camada, ou seja, no modelo, é mostrado na figura 40.

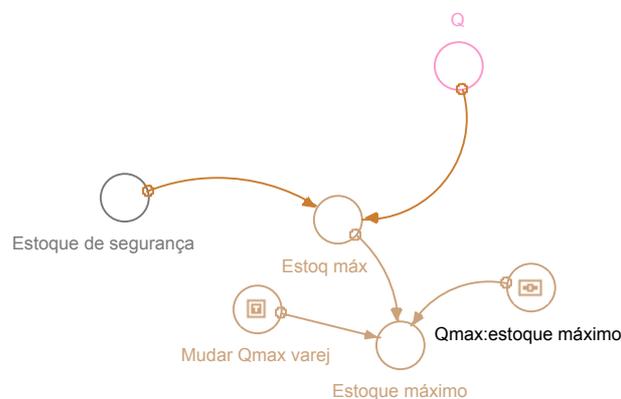


Figura 40: Estoque máximo no modelo.

O valor final para o estoque máximo, que se encontra no conversor de mesmo nome, de cada facilidade é o valor calculado pelo computador através da equação 26, ou o valor escolhido pelo jogador.

$$Q_{MAX} = Q_S + Q$$

(Equação 26)

Onde:

Q_{MAX} = estoque máximo;

Q_S = estoque de segurança;

Q = lote de reposição.

O valor do estoque de segurança utilizado na equação 26 vai ser igual ao calculado pelo computador, conforme já foi mostrado no item anterior (item 4.2.7.1.1), ou o valor escolhido pelo jogador. O mesmo para o lote de reposição (que será descrito mais tarde, item 4.2.7.1.3), ou seja, será igual ao lote econômico (que é o lote calculado pelo computador) ou o valor definido pelo jogador, isto para cada facilidade.

Para modificar o valor do estoque máximo, o jogador deve seguir o mesmo procedimento do estoque de segurança, ou seja, primeiro deve-se entrar na política de estoques da facilidade que se deseja modificar (figura 37), e clicar no botão “Mudar Q_{MAX} ” (figura 38, neste caso para o varejista) e em seguida colocar o valor desejado na barra que se encontra ao lado, cujo nome é: “ Q_{MAX} : estoque máximo”.

4.2.7.1.3- QUANTIDADE Q: LOTE DE REPOSIÇÃO

A quantidade Q , chamada de lote de reposição ou lote de ressuprimento é a quantidade produzida pela empresa ou a quantidade pedida de um determinado produto para seu fornecedor. Neste jogo, a quantidade Q é determinada toda semana para cada facilidade, isto porque os pedidos são feitos toda semana (mesmo que sejam iguais a zero) e, seu valor é calculado pelo computador através do lote econômico ou é escolhido pelo jogador.

Para o jogador escolher a quantidade de reposição, basta entrar na política de estoques da facilidade desejada (figura 37), clicar no botão “Mudar Q ” e colocar o valor desejado na barra ao lado, como pode ser observado no exemplo para o varejista na figura 38.

Como padrão, ou seja, sem modificações pelo jogador, o lote de reposição é calculado pelo computador. A determinação do tamanho dos lotes de compra ou fabricação é obtida através da análise dos custos que estão envolvidos no sistema de reposição e de armazenagem dos itens. O melhor lote de reposição, conhecido como "lote econômico", é aquele que consegue minimizar os custos totais.

Os custos relacionados com a determinação do lote de reposição são os custos de estocagem, custos de aquisição, de compra ou de pedido, e o custo unitário do item ou de fabricação.

Aqui será feita uma breve descrição desses custos, pois mais detalhes serão dados no item referente a custos do jogo (item 4.2.8), incluindo os demais custos envolvidos.

Os custos de estocagem são todos os custos relacionados com a manutenção de materiais em estoque, por isso, são também chamados de custos de manutenção. Para a determinação do lote econômico, emprega-se uma taxa de estocagem (I) ou ainda chamada de taxa de encargos financeiros, que é uma relação entre o custo de estocagem (CE) e o valor do estoque médio ($Q/2$), referente a um determinado período, geralmente anual.

Assim, a taxa de estocagem é calculada segundo a equação 27 e é dada em termos de percentagem.

$$I = \frac{CE}{(c \cdot Q/2)}$$

(Equação 27)

Onde:

I = taxa de estocagem;

CE = custo anual de estocagem;

$Q/2$ = estoque médio;

c = custo unitário do item.

Na prática, emprega-se uma única taxa de estocagem para cada item de material, calculada em função dos dados disponíveis, isto é, do somatório dos custos alocados à estocagem e do valor do estoque médio. Quanto ao seu

valor, não há um padrão, varia conforme o tipo de atividade exercido pela empresa.

O custo de aquisição é o somatório dos custos necessários à aquisição do material, excetuando o custo do material propriamente dito.

A partir da definição desses custos, pode-se obter uma equação para o custo total e com isso calcular o tamanho de lote, conhecido como "lote econômico".

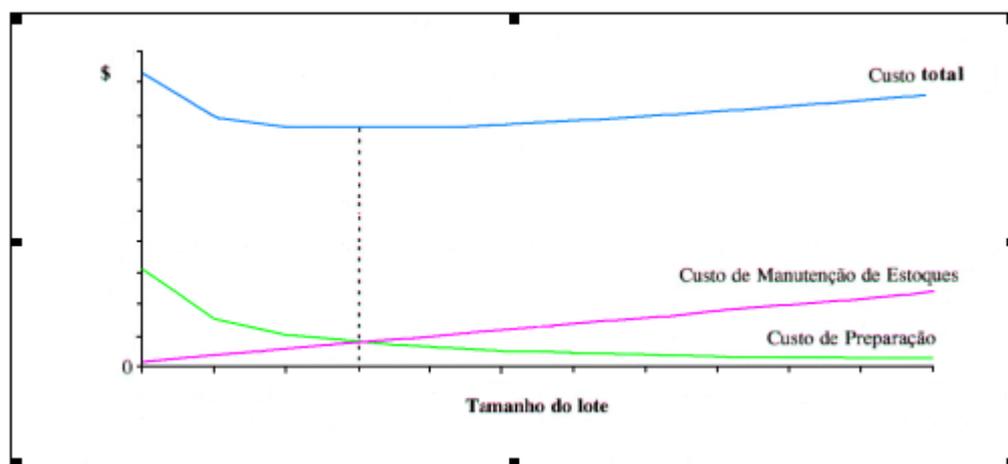


Figura 41: Custos relacionados com o estoque [TUBINO, 2000].

A figura 41 mostra o comportamento das curvas dos custos com relação às variações no tamanho do lote. Se apenas os custos de aquisição ou de preparação fossem considerados, o lote ideal seria o maior possível, isto porque à medida que o tamanho do lote aumenta, estes custos diminuem. Já os custos de manutenção de estoques diminuem à medida que o tamanho do lote diminui, portanto, considerando somente estes custos, o lote ideal seria o menor possível.

Os custos da falta do produto apresentam uma curva semelhante à dos custos de aquisição e os custos diretos não variam conforme o tamanho do lote, sendo assim, a curva do custo total é obtida somando-se todos os componentes dos custos associados aos estoques e tem o comportamento mostrado na figura 41, apresentando um ponto de mínimo, que é justamente no ponto onde as curvas dos custos de preparação e de manutenção se encontram.

Existem várias fórmulas para o cálculo de lotes econômicos para as mais diversas situações, basta desenvolver uma equação de custos representativa da situação e pesquisar seu ponto de mínimo em relação à quantidade ou à periodicidade de reposição. O ponto mínimo da curva de custo total pode ser obtido através da derivação da equação desta curva em relação à quantidade, igualando-se a zero e isolando-se esta variável.

Porém, ao se analisar o formato da curva de custo total, pode-se notar que ela sofre pouca variação em torno do ponto de mínimo, ou seja, se o tamanho do lote repostado for, por exemplo, 10% maior, ou menor, do que o lote ideal, o reflexo nos custos totais será da ordem de 1% apenas, como pode ser visto na figura 42.

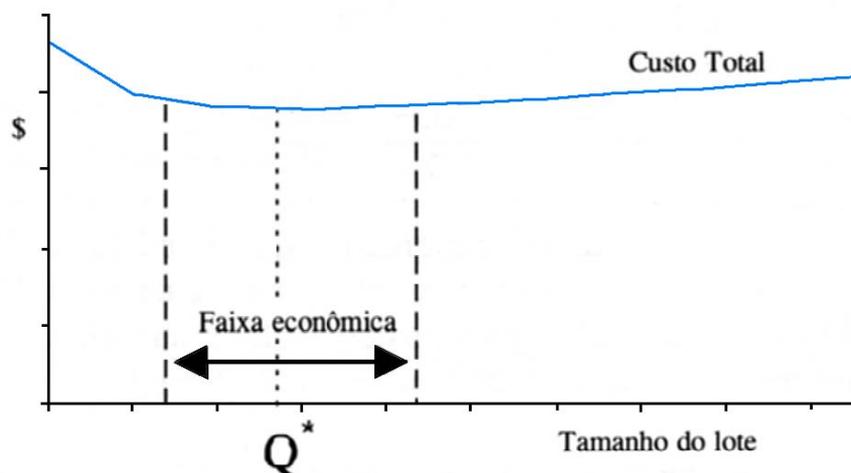


Figura 42: Variações na curva de custo total [TUBINO, 2000].

Dessa forma, deve-se falar em "faixa econômica", em vez de lote econômico, dentro da qual os custos totais serão menores, e, ao se determinar um valor para o lote econômico, este servirá apenas como um indicativo do valor em torno do qual se dará a reposição.

Para se determinar a quantidade de item a ser repostado depende dos custos envolvidos no sistema de reposição, mas para estabelecer quando este item (nesta quantidade) deverá ser repostado, depende do modelo de estoques a ser empregado pela empresa.

A equação do lote econômico segundo [TUBINO, 2000] e utilizada aqui é dada abaixo:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DA}{CI}}$$

(Equação 28)

Onde:

Q^* = lote econômico;

D = demanda do item para o período (para a semana no caso);

A = Custo unitário de preparação;

C = Custo unitário de compra ou fabricação do item;

I = taxa de estocagem.

O valor da demanda do item para cada semana é igual ao valor da quantidade pedida pela facilidade imediatamente abaixo, ou seja, é a demanda vista por cada facilidade. Em outras palavras, para o varejista, a demanda é a quantidade pedida pelo consumidor; para o atacadista, a demanda é a quantidade pedida pelo varejista; para o distribuidor é a quantidade pedida pelo atacadista; e finalmente, para a fábrica, a demanda é igual à quantidade pedida pelo distribuidor.

A taxa de estocagem, cujo valor é dado geralmente por ano, aqui é dada por semana para concordar com a demanda na equação do lote econômico.

A parte que se refere à quantidade de reposição (Q) e ao cálculo do lote econômico para o varejista no modelo é mostrado na figura 43 e, para as demais facilidades a única diferença é que os conversores, os nomes e valores se referem às respectivas facilidades, e no lugar do pedido consumidor, está a quantidade pedida pela facilidade imediatamente abaixo.

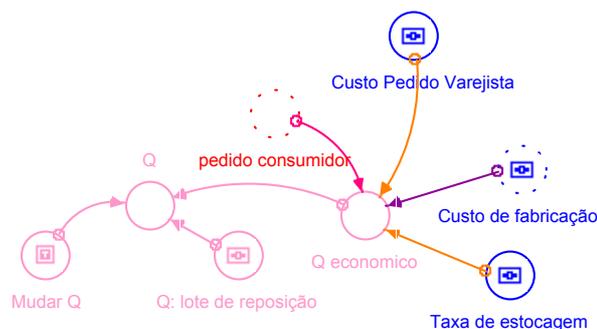


Figura 43: Quantidade de reposição (Q) no modelo.

4.2.7.2- POLÍTICAS DE ESTOQUE UTILIZADAS NESTE JOGO

Cada facilidade vai seguir a política de estoques escolhida pelo jogador, são quatro as possibilidades: QsQ_{max} , QsQ , Pedir Q e Atualizar Q_{max} .

Lembrando que:

Qs = estoque de segurança;

Q_{max} = estoque máximo;

Q = lote de reposição.

QsQ_{max} : nesta política, toda vez que a quantidade de produtos em estoque se torna igual ou menor que o estoque de segurança, um pedido é feito para que o estoque fique sempre no máximo valor permitido pela empresa (estoque máximo), ou seja, a quantidade do pedido é igual à diferença entre o estoque máximo e o estoque mínimo (ou de segurança).

QsQ : um pedido de quantidade igual a Q é feito toda vez que o estoque se torna igual ou menor que o estoque de segurança (Qs).

Pedir Q : toda semana (já que o período é semana) é feito um pedido na quantidade igual a Q .

Atualizar Q_{max} : toda vez que o estoque se torna menor que a quantidade máxima, ou seja, menor que o valor de estoque máximo, um pedido é feito até atingir esse valor. Em outras palavras, o pedido é igual à diferença entre o estoque máximo e a quantidade de produtos existente no estoque.

A parte que se refere à política de estoques no modelo é mostrada na figura 44, sendo que para as demais facilidades apenas os nomes das variáveis são modificados.

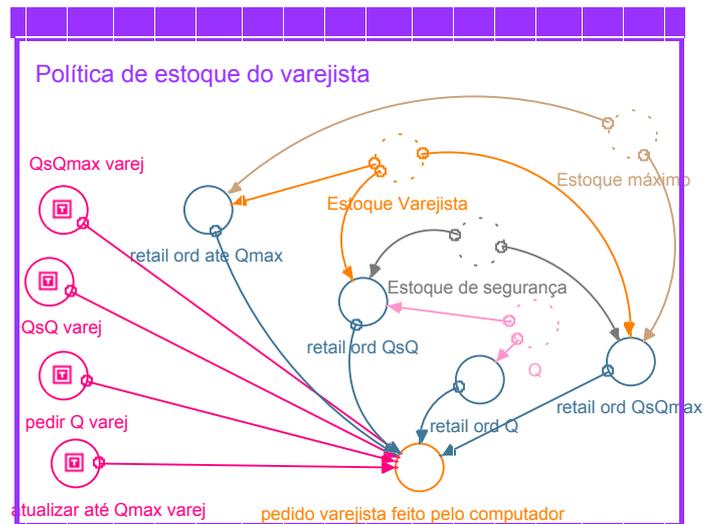


Figura 44: Política de estoques do varejista no modelo.

Como pode ser observado pela figura 44, o computador vai fazer os pedidos seguindo a política de estoques escolhida para cada uma das facilidades pelo jogador com exceção daquela que o mesmo vai comandar. Caso este não modifique, sempre que se inicia o jogo, uma política já está definida como padrão.

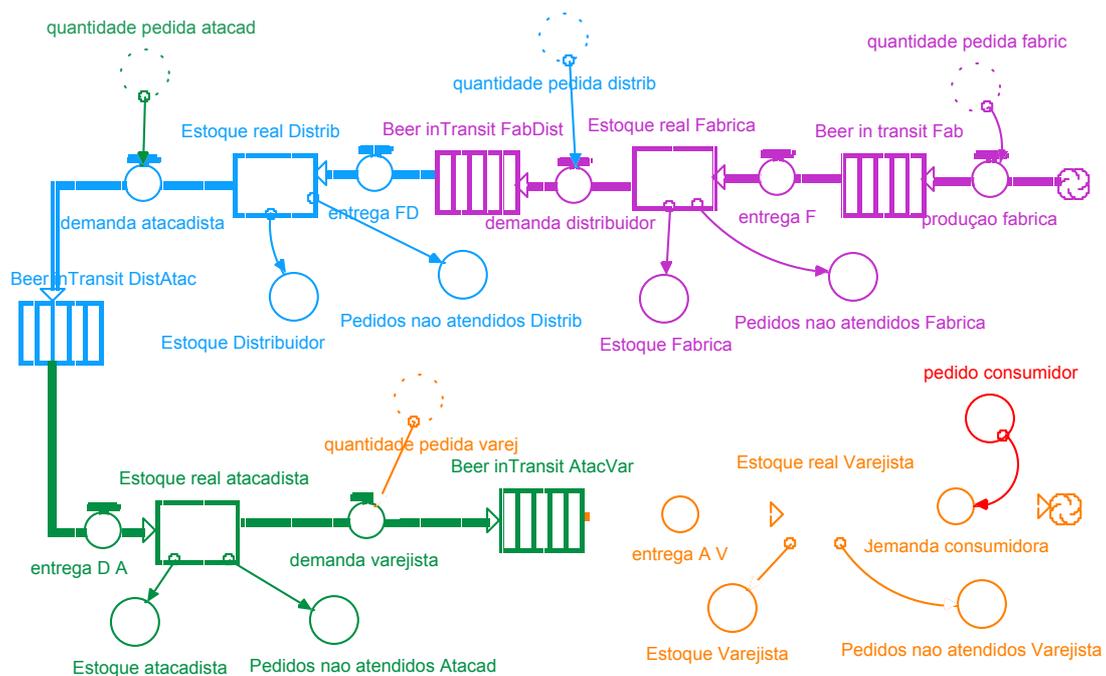


Figura 45: Modelo dos estoques de todas as facilidades.

A parte que se refere, no modelo, aos estoques de todas as facilidades é mostrado na figura 45, e estão nas cores correspondentes à cada facilidade. Como pode ser observado, para cada facilidade existe o “estoque real”, cujo valor é dividido entre “estoque” e “pedidos não atendidos”, e o estoque dos produtos em trânsito (“Beer in transit”), que pertence à facilidade que está enviando o produto e sua quantidade é igual ao pedido feito pela facilidade abaixo e demora duas semanas para chegar até seu estoque.

O “estoque real” é um artifício utilizado para separar a quantidade de produtos existente no estoque de uma facilidade quando seu valor é maior ou igual a zero, e na quantidade de pedidos não atendidos, quando seu valor se torna negativo, o que significa na verdade, que a facilidade em questão não possui produtos em seu estoque.

O processo começa com o pedido consumidor, que é igual à demanda escolhida pelo jogador. Esta quantidade se torna o fluxo de nome “demanda consumidora”, que vai ser a quantidade que o varejista deve atender, então, este vai entregar a máxima quantidade possível ao consumidor, e caso falte produto, esta quantidade irá para “pedidos não atendidos” e será atendida assim que tiver a quantidade necessária em estoque (ou seja, quando o “estoque real” for um valor positivo). O varejista faz um pedido ao atacadista, cujo valor se torna o fluxo de nome “demanda varejista”. Esclarece-se que, se o estoque real for negativo automaticamente o fluxo que sai dele tem um valor igual a zero.

O atacadista vai atender o pedido varejista na máxima quantidade possível e colocar os pedidos no reservatório de nome “Beer in transit”, e que leva duas semanas para chegar o pedido no estoque do varejista (estoque real). Se o valor do estoque real do varejista nesta etapa for um valor negativo, ao chegar, após duas semanas, uma certa quantidade de produtos, o valor negativo é diminuído, podendo até se tornar um valor positivo, o que significa que os pedidos atrasados (não atendidos) foram atendidos e ainda restou produtos no estoque. O atacadista faz então um pedido para o distribuidor, que se torna o fluxo de nome “demanda atacadista” e o mesmo processo acontece até a fábrica fazer pedidos à sua produção.

As quantidades dos reservatórios de nomes “Beer in transit Fab” e “Beer in transit Fab Dist” pertencem à fábrica e se referem respectivamente, à

quantidade de produtos que estão sendo enviadas da produção para o estoque da fábrica e que levarão duas semanas para chegar e, a quantidade de produtos da fábrica para o distribuidor, que também levarão duas semanas para chegar.

4.2.8- CUSTOS

Existem três custos associados ao processo de reposição e armazenagem dos itens, que são: os custos diretos, os custos de manutenção de estoques e os custos de preparação para reposição. Leva-se, também em consideração, o custo da falta do produto.

1) Custo direto: é aquele ligado diretamente com a compra ou fabricação do item, e é proporcional à demanda para o período e aos custos unitários do item (de fabricação ou de compra).

2) Custo de manutenção de estoques ou custo de estocagem: é o somatório dos custos necessários à manutenção de materiais em estoques, tais como: mão-de-obra para armazenagem e movimentação dos itens, aluguel ou depreciação, luz, seguro, impostos e taxas, telefone, sistemas computacionais e equipamentos do almoxarifado, custos de deterioração e obsolescência dos estoques, e principalmente, o custo do capital investido.

3) Custos de preparação para reposição ou de aquisição (pedido): é o somatório dos custos referentes ao processo de reposição do item pela compra ou fabricação do lote de itens, como por exemplo: mão-de-obra para emissão e processamento das ordens de compra ou de fabricação, materiais e equipamentos utilizados para a confecção das ordens, custos indiretos (luz, telefone, aluguéis), levantamentos cadastrais (pesquisa de mercado, seleção de fontes de suprimento), transporte (frete), inspeção de material, processamento eletrônico de dados (quando empregado).

4) Custo da falta: é o custo quando um pedido atrasa, e é determinado pelos custos adicionais causados pelo não cumprimento dos prazos contratuais (como multas, prejuízos, reajustes), por meio de quebra da imagem da empresa. Aqui neste jogo, não se considera a perda do cliente para a concorrência.

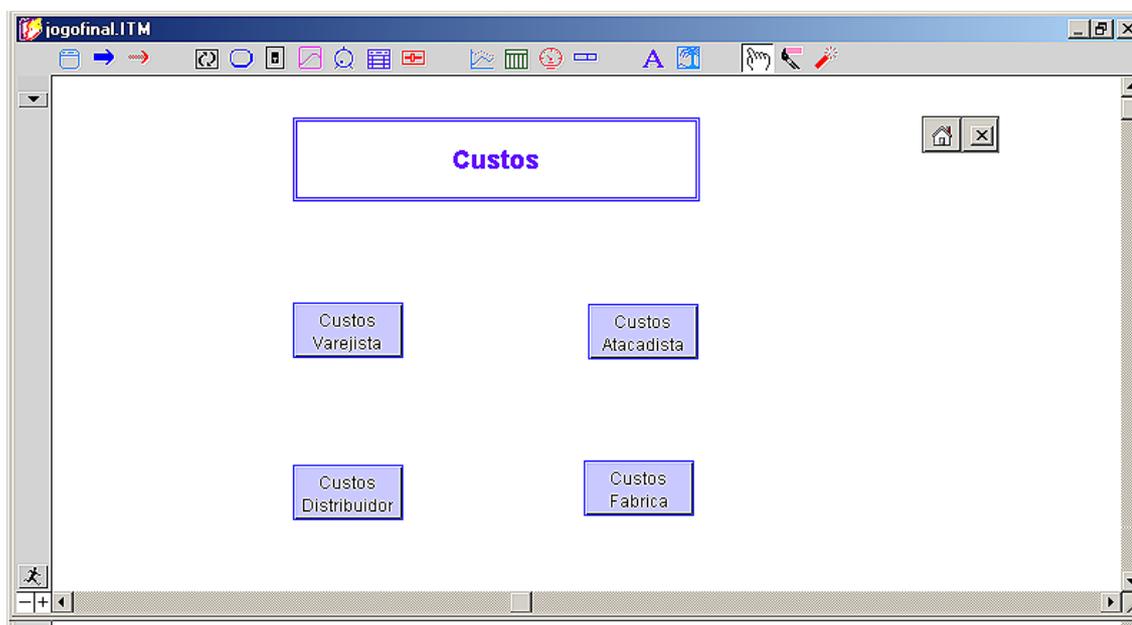


Figura 46: Custos na interface.

A figura 46 mostra a interface do programa referente aos custos. E a figura 47 mostra os custos do varejista, que são: o custo da falta do produto, custo de manutenção do estoque, custo do pedido (ou aquisição) e a taxa de estocagem (que serve para cálculo do lote econômico, como já foi mostrado no item anterior).

Para as demais facilidades os custos são compostos por esses mesmos componentes e, se o jogador quiser modificar algum desses valores, basta clicar no custo da facilidade em questão (figura 46), e colocar o valor desejado na barra que se encontra ao lado dos respectivos nomes dos custos (ver figura 47).

Os valores dos custos neste jogo são hipotéticos não refletindo dados reais específicos, assim como a quantidade de caixas de cerveja produzidas, mas serve para se ter uma noção do que acontece na realidade.

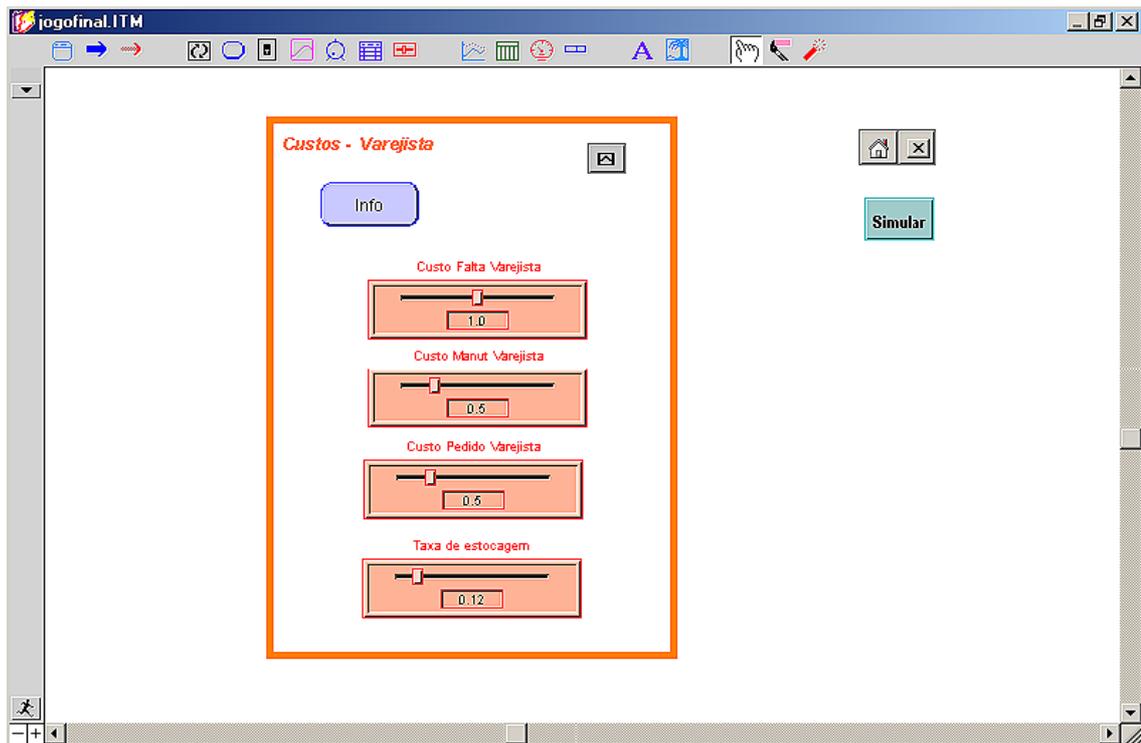


Figura 47: Custos do varejista.

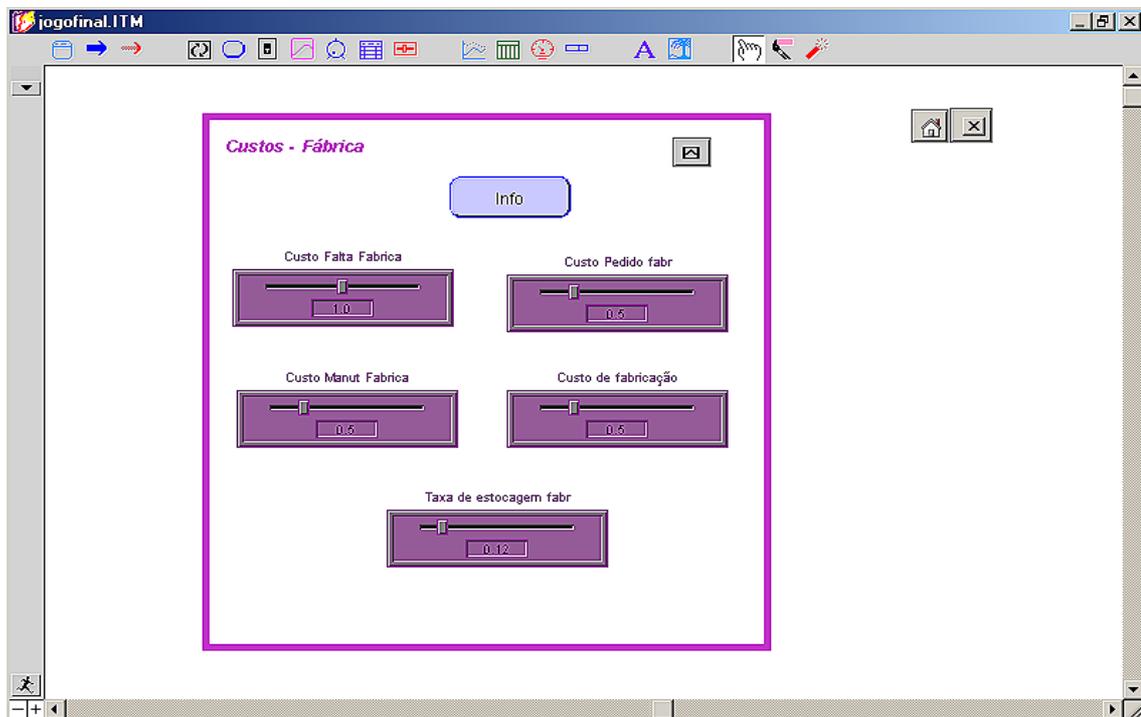


Figura 48: Custos da fábrica.

A única facilidade que possui um custo a mais que as demais é a fábrica, que é o custo de fabricação, como pode ser verificado na figura 48, que mostra a tela na interface dos custos da fábrica.

A parte do modelo referente aos custos da fábrica é mostrado na figura 49, por ser o mais completo de todos (pois envolve além do fluxo de materiais para a próxima facilidade, o fluxo de materiais da produção para o estoque da fábrica).

O custo total é a soma de todos os custos e vai sendo acumulado ao longo das semanas, por isso ele é representado no modelo por um reservatório. O cálculo dos custos de manutenção é feito multiplicando-se o custo de manutenção (escolhido pelo jogador ou o padrão) pela soma das quantidades de produtos em trânsito da produção para a fábrica (Beer in transit Fab), dos produtos que estão em trânsito da fábrica para o Distribuidor (Beer in transit Fab Dist), e dos produtos em estoque da fábrica.

O cálculo do custo da falta é calculado multiplicando-se o custo da falta por unidade pela quantidade de pedidos não atendidos. O custo do pedido é adicionado cada vez que um pedido é feito pela facilidade, logo, se o pedido for igual a zero, o custo de pedido também será zero. E por último o custo de fabricação só é adicionado ao custo total da fábrica.

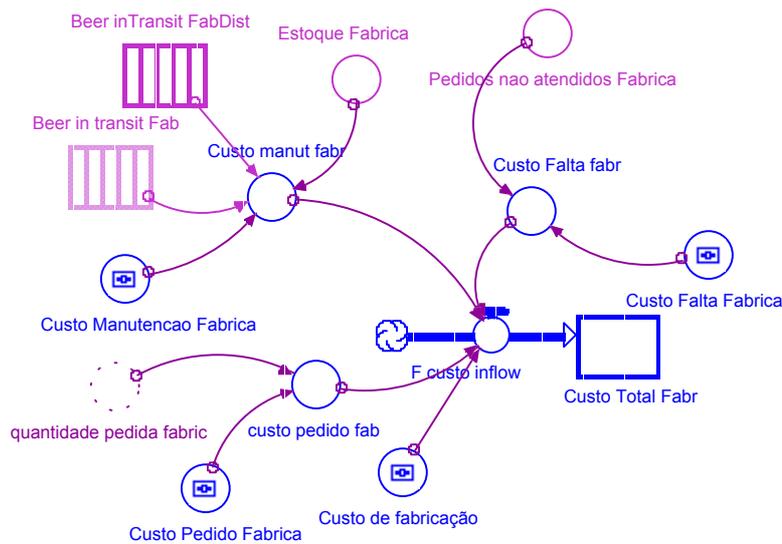


Figura 49: Custos da fábrica no modelo.

4.2.9- DADOS DE SAÍDA

Os dados de saída são obtidos através de gráficos e tabelas. A figura 50 mostra a tela que aparece na interface ao escolher simular a facilidade varejista, o gráfico que aparece é o do estoque, demanda e pedidos feitos, mas também há o gráfico dos custos (incluindo o custo total) e do estoque, pedidos não atendidos e custo total.

Outras variáveis podem ser incluídas ou excluídas desses gráficos, ou então criar um novo, para isso basta dar um duplo clique dentro do gráfico e escolher as variáveis que se deseja observar. Também é possível ver os valores das variáveis que se deseja através de tabelas, como é mostrado na figura 51, para incluir ou excluir as variáveis desejadas, basta dar um duplo clique dentro da tabela.

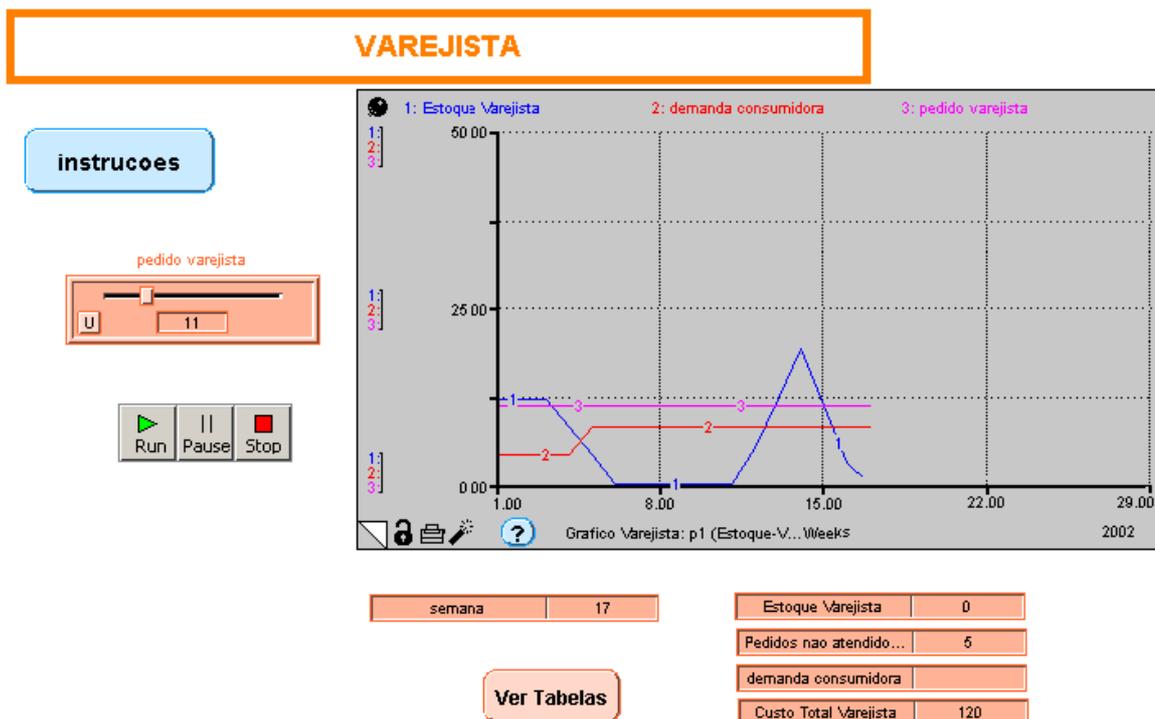


Figura 50: Simulação da facilidade Varejista.

Como pode ser observado pelo gráfico da figura 50, a demanda escolhida foi a determinística, a quantidade pedida pelo varejista durante o período simulado foi constante e igual a 11 unidades, e o estoque oscilou desde as 12 unidades iniciais passando por zero, e tornando a aumentar e diminuir. Os mesmos valores podem ser observados na tabela (figura 51).

Weeks	Initial	1	2	3	4	5
Estoque Varejista	12,00	12,00	12,00	8,00	4,00	0,00
demanda consumidora		4,00	4,00	4,00	4,00	8,00
pedido varejista	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00
Pedidos nao atendidos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00

Figura 51: Tabela dos valores de uma simulação feita.

Desse modo, uma análise dos resultados pode ser feita através dos gráficos e das tabelas de cada facilidade, verifica-se a importância e os efeitos da relação entre as posições da cadeia no resultado geral. É praticamente inevitável que analogias sejam feitas para a realidade, relacionando aspectos observados com práticas cotidianas.

CAPÍTULO 5 - ANÁLISE E RESULTADOS

Neste capítulo será feita uma análise dos resultados obtidos com a simulação do jogo tradicional com alunos da pós-graduação, e que posteriormente esses dados foram inseridos no jogo deste trabalho a fim de comparar os resultados nos gráficos.

Mostra-se algumas lições obtidas com o jogo segundo o autor Senge (1998), algumas estratégias utilizadas pela maioria dos jogadores, e o conceito de efeito chicote, suas possíveis causas, conseqüências e seu remédio (como evitá-lo).

Por final, mostra-se como se pode melhorar o desempenho no jogo da cerveja, as dificuldades do jogo tradicional e as vantagens do jogo nesta linguagem.

5.1- ANÁLISE DE UMA SIMULAÇÃO

Foi realizada, com alunos da pós-graduação na área de logística da UFSC, no primeiro semestre de 2002, uma simulação do jogo da cerveja no tabuleiro. Primeiro dividiu-se o grupo em quatro equipes, cada um representando uma facilidade, e a demanda escolhida foi a determinística (com valor igual a quatro unidades até a quarta semana e da quinta semana em diante igual a oito unidades), conhecida apenas pelo varejista.

Fez-se então, uma adaptação do jogo deste trabalho, de modo que os dados de entrada (os pedidos) ficassem iguais aos feitos pelas equipes, ou seja, o computador neste caso não comanda nenhuma facilidade. Dessa forma, pôde-se fazer gráficos de comparação dos dados de estoque, dos pedidos feitos e dos não atendidos, e dos custos entre as facilidades.

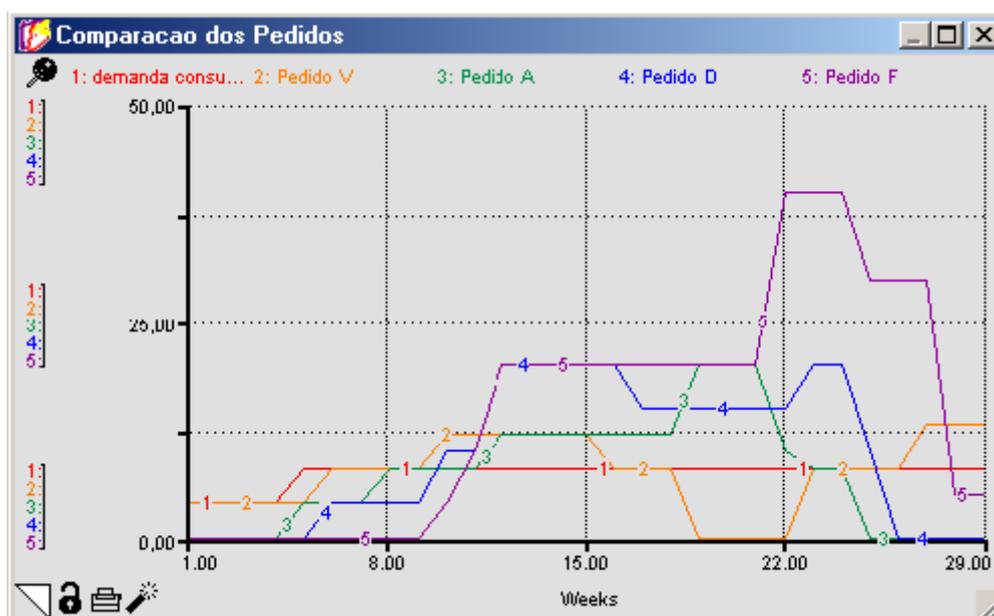


Figura 52: Gráfico de Comparação dos Pedidos de todas as facilidades versus Tempo.

Como pode se observar pela figura 52 e através dos dados da tabela 4, apenas os pedidos do varejista ficaram próximas à demanda consumidora, isso porque o mesmo era conhecedor dessa demanda. Já para as demais

facilidades, os pedidos foram mais elevados, sobretudo das facilidades mais distantes do consumidor (distribuidor e a fábrica).

Tabela 4: Tabela com os valores dos Pedidos de todas as facilidades.

Pedidos						
Table 4: p5 (Pedidos)						
Weeks	demanda con	Pedido V	Pedido A	Pedido D	Pedido F	
Initial		4,00	0,00	0,00	0,00	
1	4,00	4,00	0,00	0,00	0,00	
2	4,00	4,00	0,00	0,00	0,00	
3	4,00	4,00	0,00	0,00	0,00	
4	4,00	4,00	4,00	0,00	0,00	
5	8,00	8,00	4,00	4,00	0,00	
6	8,00	8,00	4,00	4,00	0,00	
7	8,00	8,00	8,00	4,00	0,00	
8	8,00	8,00	8,00	4,00	0,00	
9	8,00	12,00	8,00	10,00	4,00	
10	8,00	12,00	8,00	10,00	10,00	
11	8,00	12,00	12,00	20,00	20,00	
12	8,00	12,00	12,00	20,00	20,00	
13	8,00	12,00	12,00	20,00	20,00	
14	8,00	12,00	12,00	20,00	20,00	
15	8,00	8,00	12,00	20,00	20,00	
16	8,00	8,00	12,00	15,00	20,00	
17	8,00	8,00	12,00	15,00	20,00	
18	8,00	0,00	20,00	15,00	20,00	
19	8,00	0,00	20,00	15,00	20,00	
20	8,00	0,00	20,00	15,00	20,00	
21	8,00	0,00	10,00	15,00	40,00	
22	8,00	8,00	8,00	20,00	40,00	
23	8,00	8,00	8,00	20,00	40,00	
24	8,00	8,00	0,00	10,00	30,00	
25	8,00	8,00	0,00	0,00	30,00	
26	8,00	13,00	0,00	0,00	30,00	
27	8,00	13,00	0,00	0,00	5,00	
28	8,00	13,00	0,00	0,00	5,00	

Pela figura 53 e através dos dados na tabela 5, observa-se que todas as facilidades iniciam a simulação com a mesma quantidade em estoque (igual a doze unidades) e que todas tiveram um período com estoque igual a zero, sendo que para o atacadista e para a fábrica esse período foi maior (igual a dezesseis e catorze semanas respectivamente), já para o varejista e o distribuidor esse período sem estoque foi menor, cerca de cinco semanas.

Ao final do período simulado (29 semanas), as facilidades terminaram com seus estoques elevados, com exceção do varejista, que terminou com estoque igual a zero, sendo que o mais elevado foi o da fábrica, que para este exemplo, acabou com 138 unidades.

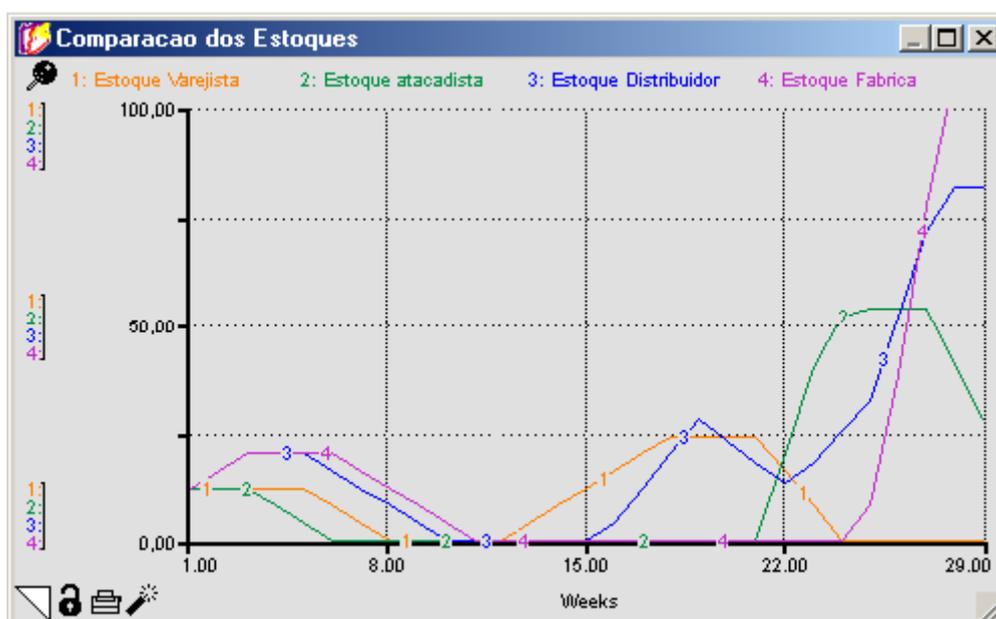


Figura 53: Gráfico de Comparação dos Estoques de todas as facilidades versus Tempo.

Tabela 5: Tabela com os valores dos Estoques de todas as facilidades.

Weeks	Estoque Varejista	Estoque atacadista	Estoque Distribuido	Estoque Fabrica
Initial	12,00	12,00	12,00	12,00
1	12,00	12,00	16,00	16,00
2	12,00	12,00	20,00	20,00
3	12,00	8,00	20,00	20,00
4	12,00	4,00	20,00	20,00
5	8,00	0,00	16,00	20,00
6	4,00	0,00	12,00	16,00
7	0,00	0,00	8,00	12,00
8	0,00	0,00	4,00	8,00
9	0,00	0,00	0,00	4,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00
12	4,00	0,00	0,00	0,00
13	8,00	0,00	0,00	0,00
14	12,00	0,00	0,00	0,00
15	16,00	0,00	4,00	0,00
16	20,00	0,00	12,00	0,00
17	24,00	0,00	20,00	0,00
18	24,00	0,00	28,00	0,00
19	24,00	0,00	23,00	0,00
20	24,00	0,00	18,00	0,00
21	16,00	20,00	13,00	0,00
22	8,00	40,00	18,00	0,00
23	0,00	52,00	25,00	0,00
24	0,00	54,00	32,00	8,00
25	0,00	54,00	52,00	38,00
26	0,00	54,00	72,00	78,00
27	0,00	41,00	82,00	108,00
28	0,00	28,00	82,00	138,00

Na figura 54 e na tabela 6, pode-se verificar a quantidade de pedidos não atendidos pelas facilidades. O varejista praticamente atendeu todos os pedidos, apenas no final da simulação é que deixou de entregar oito unidades, o mesmo para o distribuidor, entretanto, as demais facilidades, para o atacadista e a fábrica, a quantidade foi elevada e por um longo período (cerca de catorze semanas).

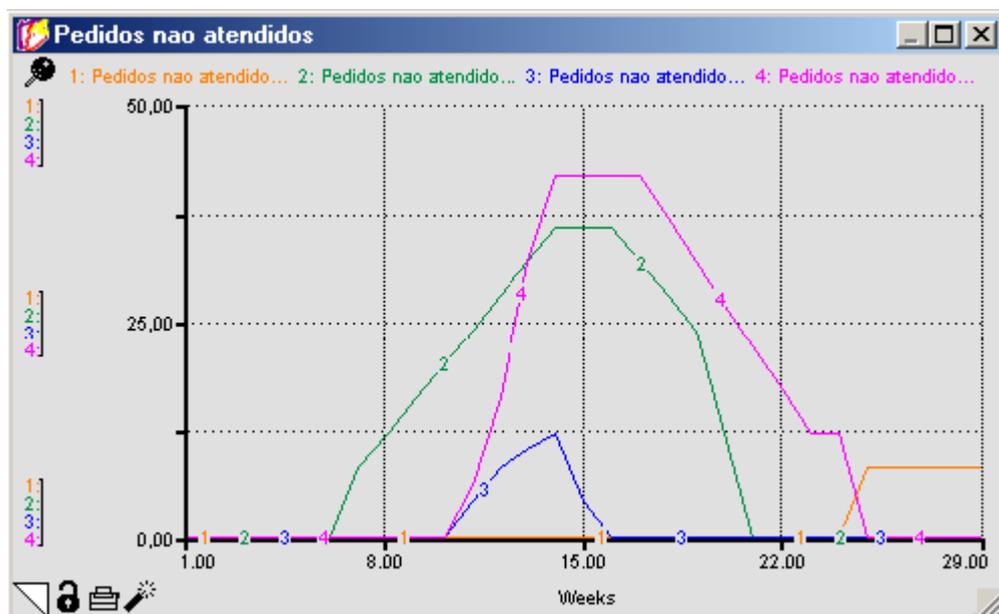


Figura 54: Gráfico de Comparação dos Pedidos não atendidos de todas as facilidades versus Tempo.

Tabela 6: Tabela com os valores dos Pedidos não atendidos de todas as facilidades.

Pedidos nao atendidos				
Table 4: p4 (Pedidos nao atendidos)				
Weeks	Pedidos nao atend V	Pedidos nao atend A	Pedidos nao atend D	Pedidos nao atend F
Initial	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	8,00	0,00	0,00
7	0,00	12,00	0,00	0,00
8	0,00	16,00	0,00	0,00
9	0,00	20,00	0,00	0,00
10	0,00	24,00	4,00	6,00
11	0,00	28,00	8,00	16,00
12	0,00	32,00	10,00	32,00
13	0,00	36,00	12,00	42,00
14	0,00	36,00	4,00	42,00
15	0,00	36,00	0,00	42,00
16	0,00	32,00	0,00	42,00
17	0,00	28,00	0,00	37,00
18	0,00	24,00	0,00	32,00
19	0,00	12,00	0,00	27,00
20	0,00	0,00	0,00	22,00
21	0,00	0,00	0,00	17,00
22	0,00	0,00	0,00	12,00
23	0,00	0,00	0,00	12,00
24	8,00	0,00	0,00	0,00
25	8,00	0,00	0,00	0,00
26	8,00	0,00	0,00	0,00
27	8,00	0,00	0,00	0,00
28	8,00	0,00	0,00	0,00

A figura 55 e a tabela 7 retratam os valores dos custos finais das facilidades, lembrando-se que o custo da falta do produto (ou dos pedidos não atendidos) é o dobro de se manter os produtos em estoque, portanto, isso incentivou os jogadores à preferência de manter os produtos em estoque do que deixar faltar produtos.

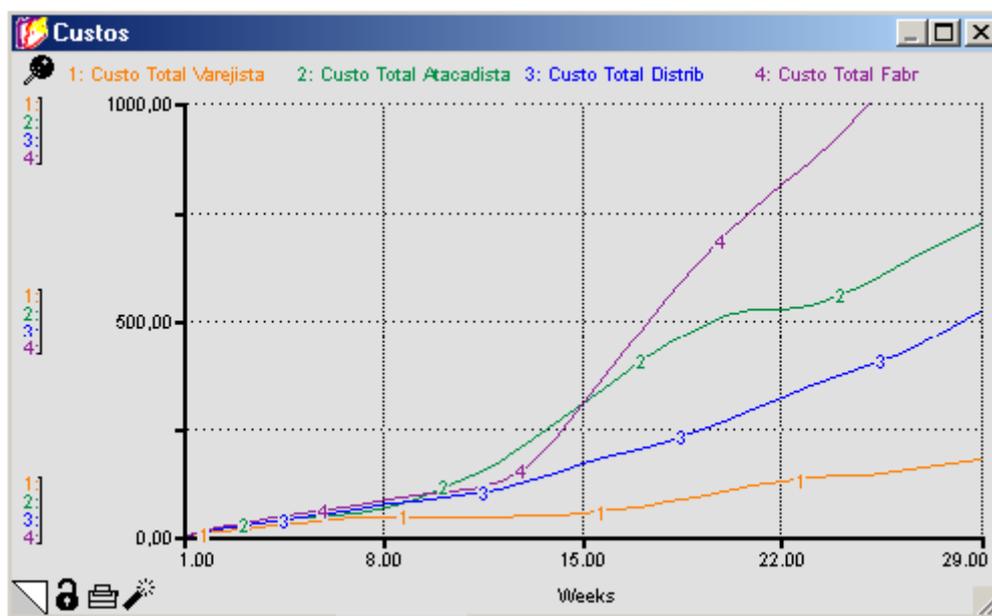
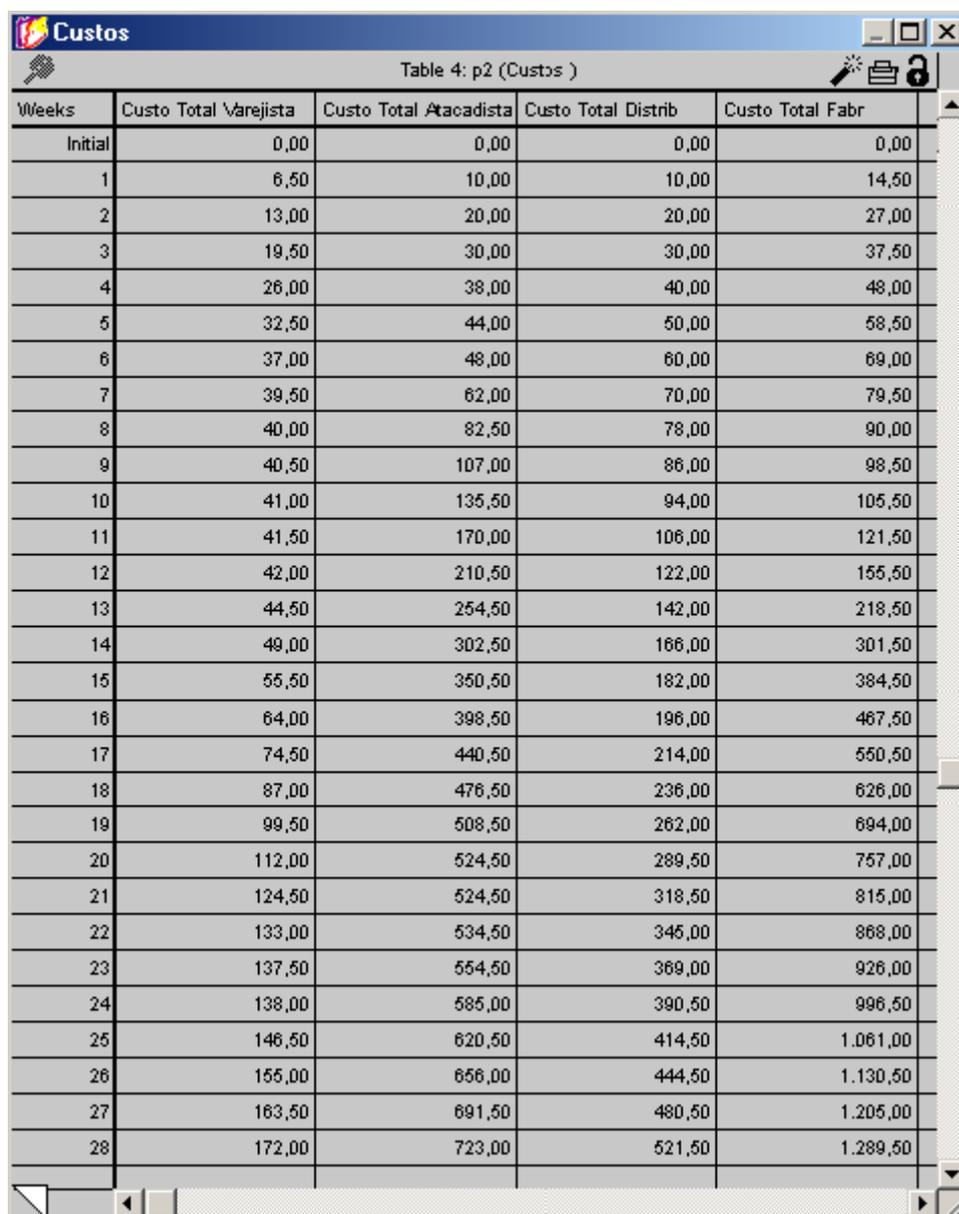


Figura 55: Gráfico de Comparação dos Custos de todas as facilidades versus Tempo.

Tabela 7: Tabela com os valores dos Custos Finais de todas as facilidades.



Weeks	Custo Total Varejista	Custo Total Atacadista	Custo Total Distrib	Custo Total Fabr
Initial	0,00	0,00	0,00	0,00
1	6,50	10,00	10,00	14,50
2	13,00	20,00	20,00	27,00
3	19,50	30,00	30,00	37,50
4	26,00	38,00	40,00	48,00
5	32,50	44,00	50,00	58,50
6	37,00	48,00	60,00	69,00
7	39,50	62,00	70,00	79,50
8	40,00	82,50	78,00	90,00
9	40,50	107,00	86,00	98,50
10	41,00	135,50	94,00	105,50
11	41,50	170,00	106,00	121,50
12	42,00	210,50	122,00	155,50
13	44,50	254,50	142,00	218,50
14	49,00	302,50	166,00	301,50
15	55,50	350,50	182,00	384,50
16	64,00	398,50	196,00	467,50
17	74,50	440,50	214,00	550,50
18	87,00	476,50	236,00	626,00
19	99,50	508,50	262,00	694,00
20	112,00	524,50	289,50	757,00
21	124,50	524,50	318,50	815,00
22	133,00	534,50	345,00	868,00
23	137,50	554,50	369,00	926,00
24	138,00	585,00	390,50	996,50
25	146,50	620,50	414,50	1.061,00
26	155,00	656,00	444,50	1.130,50
27	163,50	691,50	480,50	1.205,00
28	172,00	723,00	521,50	1.289,50

5.2- RESULTADOS E LIÇÕES OBTIDOS COM O JOGO DA CERVEJA

Segundo Senge (1998), as principais lições do jogo da cerveja são:

1) A estrutura influencia o comportamento: quando diferentes pessoas estão sob uma mesma estrutura tendem a produzir resultados qualitativamente semelhantes, e quando problemas surgem ou o desempenho não corresponde às expectativas, geralmente, coloca-se a culpa em alguém ou alguma coisa. Entretanto, freqüentemente, as crises são causadas pelos próprios sistemas e não por forças externas ou erros humanos.

2) A estrutura dos sistemas humanos é sutil: enquanto o termo “estrutura” nos sistemas vivos complexos significa as inter-relações básicas que controlam o comportamento; nos sistemas humanos, a estrutura inclui o modo como as pessoas tomam decisões – o “modo operacional” pelo qual as percepções, metas, regras e normas se transformam em ações.

3) O poder provém de novas maneiras de pensar: nos sistemas humanos, as pessoas geralmente se concentram apenas nas suas próprias decisões e se esquecem de como essas decisões afetam outras, por isso, acabam não utilizando todo o poder que possuem, pois sempre é possível alterar as estruturas dentro da qual se opera, mas como é difícil vê-las em funcionamento, as pessoas se sentem compelidas a agir de determinada maneira. No caso do jogo da cerveja, os jogadores têm o poder de eliminar a extrema instabilidade que invariavelmente ocorre, mas não o fazem por não saberem que eles mesmos estão criando essa instabilidade.

A dinâmica dos sistemas de produção/distribuição, como a do jogo da cerveja, ilustra o primeiro princípio do pensamento sistêmico: **a estrutura influencia o comportamento**, ou seja: quando colocadas em um mesmo sistema, as pessoas, mesmo com perfis diferentes, tendem a produzir resultados semelhantes. Sendo assim, o jogo da cerveja serve de laboratório para analisar este fato. Cada facilidade tem uma única decisão a ser tomada,

que é a de quanta cerveja pedir ao seu fornecedor, ou no caso da fábrica quanta cerveja produzir.

A perspectiva sistêmica diz que é preciso enxergar além dos erros individuais, das personalidades e dos eventos, deve-se olhar dentro das estruturas subjacentes que moldam as ações individuais e criam as condições em que certos tipos de evento tornam-se mais típicos (o sistema causa seu próprio comportamento), para então, poder entender os problemas importantes.

O jogo da cerveja foi jogado milhares de vezes nestes últimos trinta anos, em aulas e seminários de treinamento, por pessoas de todas as idades, nacionalidades, origens culturais e provenientes das mais variadas áreas do mundo dos negócios. O que se verifica segundo autores como Senge (1998), Sterman (1992) e Sterman (1995), além dos dados obtidos com a simulação do jogo com uma turma de pós graduação da UFSC (2002) é que, mesmo com o fato de que alguns jogadores nunca tivessem ouvido falar no sistema de produção/distribuição enquanto outros passaram grande parte da vida trabalhando neste ramo, toda vez que o jogo é praticado surge a mesma crise.

O comportamento padrão observado é, a princípio, uma elevação brusca nos pedidos devido a uma demanda crescente que não está sendo suprida e ao atraso na entrega dos pedidos pendentes pelos respectivos fornecedores. O primeiro a elevar seus pedidos é o varejista, cujo estoque chega ao fim, os pedidos feitos ao seu fornecedor (o atacadista) não chegam, então ele aumenta drasticamente os pedidos que se propagam e se acumulam por todo o sistema - primeiro para o atacadista, depois para o distribuidor e para a fábrica.

Em seguida, o outro padrão característico de comportamento é a queda brusca dos pedidos, pois os pedidos pendentes começam a chegar, e a quantidade em estoque excede a necessária para atender a demanda.

O resultado é um padrão característico de elevação e queda nos pedidos em cada uma das posições, e cuja intensidade é amplificada à medida que se distancia do ponto de origem. Em outras palavras, quanto mais afastado do consumidor final, maior o volume dos pedidos e mais dramática a queda, isso faz parte do fenômeno, chamado de efeito chicote, que será descrito no item 5.4 com mais detalhes. Praticamente todos os participantes que jogam

pela fábrica sofrem uma grande crise, terminando com uma produção próxima do zero depois de ter produzido lotes com grandes quantidades.

Para qualquer versão do jogo da cerveja (seja no tabuleiro ou nas versões computacionais) esses padrões característicos de subida e queda nos ciclos de pedidos e movimentação de estoques ocorrem mesmo com a demanda do consumidor sendo determinística, que como valor padrão é igual a quatro caixas de cerveja por semana e a partir da quinta semana em diante dobra de quantidade (ou seja, oito caixas). Apenas os varejistas sabem da demanda, mas somente de semana a semana, sem ter idéia do que aconteceria na semana seguinte.

A situação normalmente encontrada nas muitas aplicações do jogo é de crise total na cadeia logística nas primeiras semanas e nas seguintes encontra-se mais estabilidade, talvez pelo fato dos participantes já se habituarem ao mecanismo do sistema.

Um padrão típico de estoque, atraso, e níveis de pedido em cada estágio da cadeia de suprimentos no jogo da cerveja é ilustrado na figura 56.

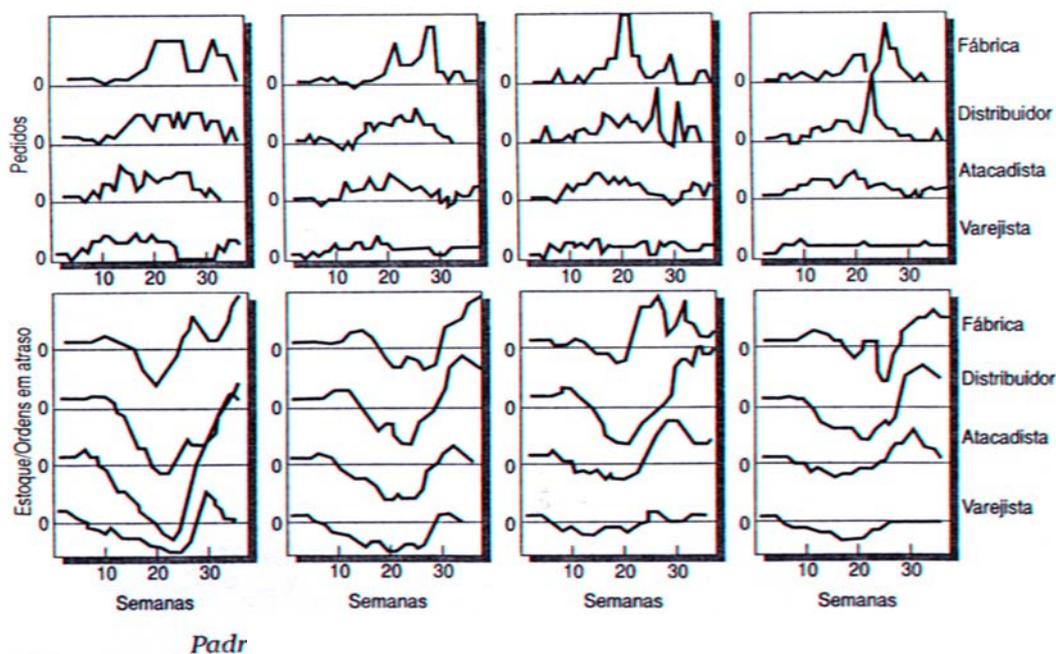


Figura 56: Padrões típicos no jogo de distribuição da cerveja, [Dornier, p. 376, 2000].

Após o término do jogo, pede-se a todos os participantes de qualquer facilidade, com exceção da posição varejista, fazer um gráfico das vendas ao

consumidor (de acordo com o que achavam ter sido as vendas durante o período). A maioria desenha uma curva que sobe e desce, de acordo com os pedidos que eles receberam. Em outras palavras, os jogadores supunham que, se os pedidos subiam e caíam, isso se devia a uma subida e uma queda no consumo. A suposição de que existe uma “causa externa” é característica do raciocínio não sistemático.

Muitos acham que os culpados por essa situação são os jogadores das outras posições, mas percebem que não é verdade ao saber que os mesmos problemas surgem em todas as partidas do jogo, independente de quem esteja ocupando as diferentes posições. Outros então, culpam o consumidor, alegando que deve ter havido um súbito crescimento e uma brusca queda na demanda, mas ao se constatar que a demanda se manteve inalterada após a primeira elevação, esta teoria também não é verdadeira.

Como os jogadores não podem mais culpar uns aos outros, ou o consumidor, resta um último recurso – culpar o sistema, e costumam dizer: “É um sistema impossível de administrar” ou “O problema é que não podíamos nos comunicar uns com os outros”. Contudo, esta também é uma posição insustentável, dado o “sistema físico” de estoques, atrasos nas entregas e informações limitadas, há muito espaço para melhorar o desempenho das equipes participantes, como será mostrado no item 5.5.

Portanto, se milhares de jogadores, das mais diversas procedências, geram os mesmos padrões qualitativos de comportamento, as causas do comportamento devem estar além do indivíduo, ou seja, devem estar na estrutura do jogo em si, algumas dificuldades encontradas no jogo tradicional do jogo da cerveja será mostrado no item 5.6.

Cada vez mais, estruturas do tipo do jogo da cerveja geram crises semelhantes nos sistemas reais de produção/distribuição. Várias economias nacionais passam pelos mesmos tipos de surtos de demanda e ajuste exagerado de estoque, devido ao que os economistas chamam de teoria da “aceleração de estoques” dos ciclos de negócios.

A realidade dos sistemas de produção/distribuição freqüentemente é pior que a do jogo da cerveja. Na vida real, um varejista pode fazer pedidos a vários atacadistas ao mesmo tempo, esperar o primeiro lote de pedidos chegar e cancelar os demais, pagando-se por isso uma multa ou às vezes acordos são

feitos. Os produtores da vida real lutam com limites de capacidade de produção que não estão presentes no jogo, amplificando assim o pânico no sistema de distribuição. Se, na vida real, não houver sistemas de informação entre a cadeia, nem técnicas de pesquisa e previsão da demanda, os produtores investem em capacidade de produção adicional por acreditarem que os níveis atuais de demanda continuarão existindo no futuro, e depois se vêem presos ao excesso de capacidade de produção quando a demanda entra em colapso.

No caso do jogo da cerveja, a estrutura sistêmica que causou mudanças bruscas em pedidos e estoques inclui as diversas fases da cadeia de abastecimento, o tempo de espera entre as fases (defasagens de tempo entre elas), a informação limitada disponível em cada uma delas e as metas, custos, percepções e temores que influenciaram os indivíduos no momento de fazer os pedidos.

O termo estrutura sistêmica usada aqui se refere não somente ao que se passa fora do indivíduo (estrutura externa do indivíduo), mas também às inter-relações que influenciam o comportamento ao longo do tempo (recursos naturais, população, produtos em desenvolvimento, know-how técnico e gerencial, etc).

5.3- A DEFICIÊNCIA NA APRENDIZAGEM E A MANEIRA DE PENSAR

O comportamento exibido pela maioria dos jogadores se deve segundo Senge (1998) a seis fatores:

1) As pessoas se tornam o cargo que ocupam: a maioria das pessoas quando faz parte de um sistema sobre o qual têm pouca ou nenhuma influência, considera sua responsabilidade limitada à área de sua função, esquecendo-se de que suas ações afetam as outras posições e não se sentem responsáveis pelos resultados quando todas as funções atuam em conjunto. Além do mais, quando os resultados não são bons, é muito difícil saber a razão e acaba-se culpando alguém.

2) O inimigo está lá fora: quando aparecem problemas, as pessoas rapidamente culpam umas às outras ou o próprio sistema. “O inimigo” acaba sendo os jogadores nas outras posições, ou até mesmo os clientes. Isso porque existe uma propensão em cada um a procurar alguém ou alguma coisa para culpar quando as coisas não dão certo.

Algumas organizações elevam essa propensão a culpar um agente externo como a concorrência ou a qualidade dos produtos que não é competitiva, os sindicatos, medidas do governo, ou clientes que traíram por comprar de outra empresa. Entretanto, o lá fora e aqui dentro fazem parte de um único sistema, pensar que o inimigo está lá fora acarreta uma visão muito limitada do mundo que nos cerca. Cada pessoa concentrando-se apenas em sua função, não vê como seus atos têm conseqüências que acabam prejudicando a eles mesmos.

3) Ilusão de assumir o comando: ao invés de esperar que a situação saia fora do controle para então tomar uma atitude, a ordem é enfrentar as dificuldades, não esperar que alguém faça alguma coisa, e resolver os problemas antes que eles se transformem numa crise, com isso fazem mais pedidos, e pioram ainda mais a situação. Ao se tornar agressivo combatendo o inimigo lá fora, a produtividade consiste em ver como se contribui para os próprios problemas. Não se pode pensar em termos de eventos de curto prazo, o que se pode fazer é prever um evento antes que ele ocorra a fim de poder reagir de acordo.

4) Demora na percepção da situação real: como o excesso de pedidos acumula-se gradativamente, as pessoas só percebem o perigo da situação quando já é tarde demais.

5) Atraso na ação - reação: na maioria dos casos, as pessoas não aprendem com a própria experiência porque as conseqüências mais importantes das suas ações ocorrem em outras partes do sistema, e acabam voltando para criar os próprios problemas cuja culpa colocaram nos outros.

6) Deficiência no aprendizado: as equipes que assumem diferentes posições se desgastam ao culpar os outros jogadores pelos seus problemas, eliminando as oportunidades de aprender com a experiência uns dos outros.

O melhor aprendizado é adquirido através da experiência direta, através da tentativa e erro, realizando uma ação e vendo suas conseqüências, e em seguida realizando uma nova ação diferente da anterior.

Todas as pessoas têm um horizonte de aprendizagem, uma amplitude de visão no tempo e espaço e, quando os atos produzem conseqüências que vão além desse horizonte, torna-se impossível aprender por experiência direta. As decisões mais críticas tomadas em organizações têm conseqüências que se propagam por todo o sistema e se estendem por anos ou décadas.

No jogo da cerveja, pode-se constatar a deficiência de aprendizagem relacionada às formas alternativas de raciocínio em situações complexas. Para a maioria, a participação no jogo é profundamente insatisfatória porque é puramente reativa, ou seja, somente reagir quando uma determinada situação acontece. Contudo, as pessoas acabam compreendendo que a fonte de sua reação está no fato de elas só se preocuparem com os eventos semanais. Os jogadores ficam atrapalhados com a falta de estoque, aumento de pedidos, pouca cerveja que chega e, quando solicitados a explicar suas decisões, dão explicações clássicas baseadas em eventos. Enquanto eles persistirem em se preocupar com os eventos, continuarão agindo por reação.

No entanto, a maior revelação surge quando os jogadores compreendem que seus problemas e suas esperanças de melhorar sua situação estão intimamente ligados à sua maneira de pensar, que só é alcançada por intermédio do raciocínio “estrutural” ou sistêmico, ou seja, da capacidade de descobrir as causas estruturais do comportamento, perceber as inter-relações ao invés de cadeias lineares de causa e efeito e ver processos de mudança ao invés de instantâneos.

Quando eles identificam as estruturas que causam o comportamento do jogo, eles vêem com maior clareza seu poder de modificar tal comportamento, de adotar medidas que funcionam no sistema como um todo.

Como a estrutura dos sistemas humanos inclui a “política operacional” dos tomadores de decisão no sistema, modificando a maneira de tomar decisões modifica-se a estrutura do sistema.

Portanto, no jogo da cerveja, a explicação estrutural deve mostrar como os pedidos, entregas e estoques interagem para gerar os padrões observados de instabilidade e amplificação.

5.4- EFEITO CHICOTE (BULLWHIP EFFECT)

Criação e venda de produtos sempre envolve um número distinto de empresas operando numa linha em série, considerando uma cadeia de suprimentos linear simples, cujos pedidos vêm exclusivamente do membro abaixo de cada estágio da cadeia, ou seja, fornecedores fornecem matéria-prima para a fábrica, que fornece produtos acabados para os distribuidores, estes para os atacadistas, que combinam com vários produtos de várias empresas para vender aos varejistas, que vendem ao consumidor do produto.

Neste ambiente, os usuários do final da cadeia (consumidores) geram a demanda para a última empresa da cadeia de suprimentos, e a demanda para cada empresa na posição acima é a quantidade pedida pela empresa anterior. Ou seja, a demanda vista pelo atacadista consiste nos pedidos feito pelo varejista, para os distribuidores, a demanda consiste nos pedidos do atacadista, e assim por diante para cima na cadeia.

Geralmente, os pedidos dos varejistas não coincidem com suas vendas atuais, pois tentam, através de técnicas, prever a demanda que virá do mercado através de dados históricos ou da percepção de tendências sazonais. Similarmente, os pedidos do atacadista ao distribuidor e este para a fábrica também não coincidem. Além do fluxo físico de produtos da cadeia que ocorre em direção ao consumidor final (para baixo), há o fluxo de informações que acontece para cima da cadeia e são transferidas na forma de pedidos que tendem a distorcer e a guiar de forma equivocada os membros superiores em seus estoques e nas decisões de produção.

Um número de empresas neste ambiente tem observado distorções na informação da demanda que se propagam e aumentam à medida que se afasta

do consumidor, ou seja, os pedidos para os membros acima na cadeia de suprimentos exibem uma variação maior que os pedidos reais no ponto de venda do varejo (distorção da demanda); e a variação dos pedidos aumenta à medida que se move para cima na cadeia (propagação da variação). Este fenômeno é chamado de efeito chicote, chicoteamento ou Bullwhip Effect.

É assim chamado, pois uma pequena variação ou flutuação sazonal na demanda consumidora real do cliente pode “bater chicote” para fornecedores acima da cadeia, levando-os a alternar entre situações de superprodução e de ociosidade.

A figura 57 ilustra esse fenômeno descrevendo as vendas de um produto numa loja de varejo comparada às ordens colocadas pelo varejista ao seu fornecedor.

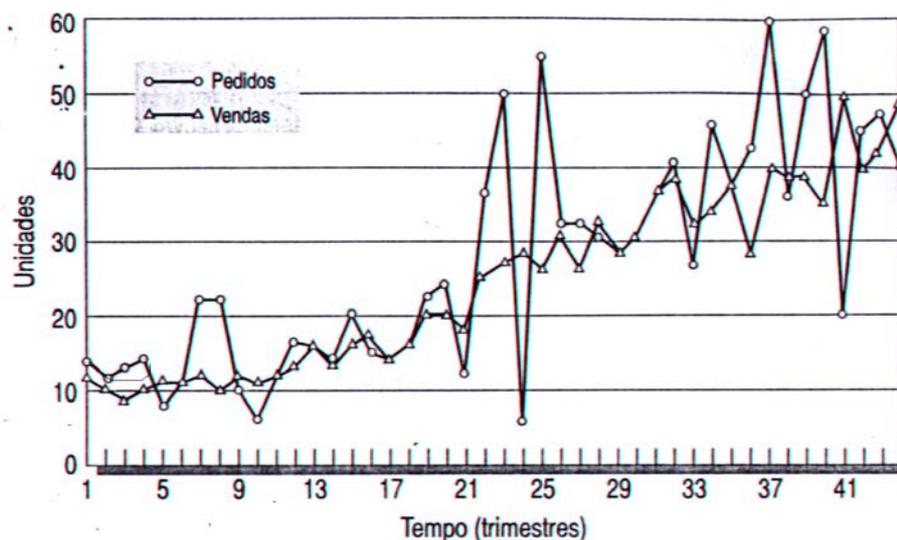


Figura 57: O efeito chicote: pedidos versus vendas [Dornier, p. 373, 2000].

A primeira descrição acadêmica sobre o fenômeno do efeito chicote é geralmente atribuída a Forrester em 1961, que através de observações e experimentos constatou ser comum a variação da demanda percebida pela fábrica exceder a variação da demanda consumidora. Além disso, ele notou que o efeito é amplificado a cada estágio na cadeia de suprimento (supply chain).

Forrester afirma que a causa principal desta dificuldade está no envolvimento do retorno da informação entre as empresas e que tais sistemas são muito complexos para que a intuição sozinha melhore a situação. Conseqüentemente, uma possível solução seria a compreensão do sistema como um todo, e através da modelagem deste sistema com específico modelo de simulação de “sistemas dinâmicos”, para que então, os gerentes pudessem determinar a ação apropriada.

Talvez, a melhor e conhecida descrição do efeito chicote vêm do trabalho direto de Forrester e posteriormente tenha vindo através da disciplina de sistemas dinâmicos. O jogo da cerveja é uma ferramenta de ensino útil, que demonstra o efeito chicote de forma eficaz, mas não obtém uma estimativa precisa dos custos do efeito chicote.

No jogo já explicado anteriormente, os participantes simulam a cadeia (supply chain) consistindo num varejista, atacadista, distribuidor e a fábrica. A cada semana, o varejista observa a demanda externa e faz pedidos ao atacadista. O atacadista recebe as ordens do varejista e faz pedidos ao seu fornecedor, o distribuidor, e este para a fábrica. Para determinar a quantidade desses pedidos, o atacadista deve prever a demanda do varejista (ou seja, a quantidade que o varejista vai pedir). Se o atacadista não tiver acesso aos dados da demanda final (consumidor), ele deve fazer suas previsões baseando-se nos pedidos do varejista (a demanda varejista).

Sendo que a variação nas quantidades pedidas pelo varejista é significativamente maior que a variação da demanda consumidora, como pode ser observado na figura abaixo. O atacadista acaba sendo forçado a ter um estoque de segurança maior que o do varejista para manter uma elevada capacidade de atender os pedidos com o mesmo nível de serviço que o varejista.

O mesmo ocorre com os demais membros da cadeia, o distribuidor se baseia na demanda do atacadista e a fábrica com os pedidos do distribuidor. Considerando que não há informações sobre a demanda real do consumidor ao longo de toda a cadeia de suprimentos, isto acaba resultando num nível de estoque cada vez maior e custos cada vez mais elevados. Este fenômeno pode ser observado na figura 58.

Aumento na variação dos pedidos na cadeia de suprimentos

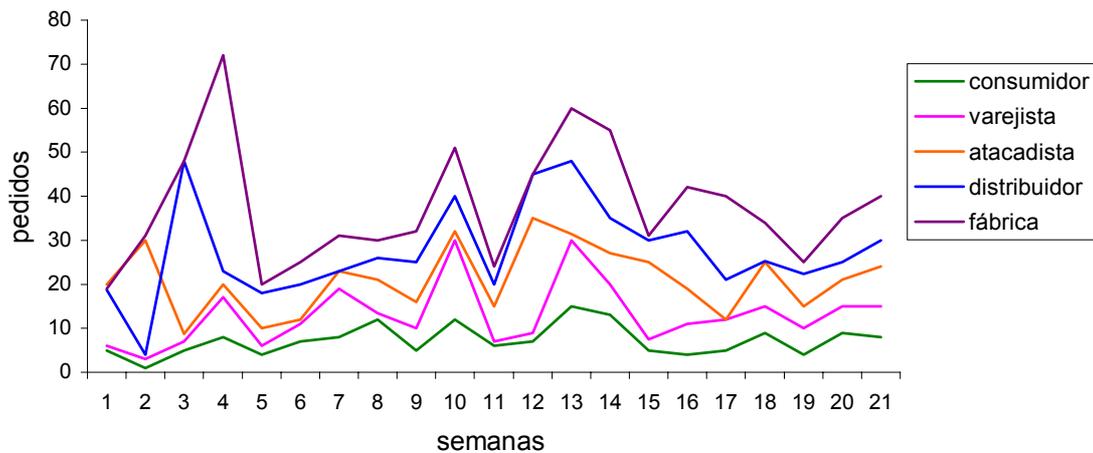


Figura 58: O aumento da invariabilidade na cadeia de abastecimento [Levi, p. 842000].

Este jogo tem sido jogado muitas vezes por estudantes e executivos de empresas que fazem parte de tal cadeia de abastecimento e o resultado ainda é o mesmo: respostas exageradas ocorrem nas partes superiores da cadeia. Essas respostas resultam num custo total do sistema que são geralmente cinco a dez vezes o custo da política ótima. Sterman (1989) caracteriza a razão para soluções não ótimas neste jogo como sendo a tomada de decisões pobres baseadas na falta de uma adequada estimativa do sistema como um todo. Estas decisões pobres vêm de dificuldades em avaliar feedbacks complexos em conjunção aos atrasos do ressurgimento.

Sterman (1989) notou um comportamento específico exibido pelos participantes: a tendência de fazer pedidos baseando-se na quantidade atual de estoque menos os pedidos pendentes, ao contrário da visão correta, que seria a quantidade atual de estoque mais os pedidos que estão por vir menos os pedidos pendentes. Entretanto outros fatores estão presentes, é improvável que esse básico problema da posição de estoque pode ocorrer na prática dos negócios com uma grande regularidade.

Numa visão mais expansiva da mesma condição, Senge (1999) e Sterman (1992) utilizam o jogo da cerveja como um exemplo típico de observações do comportamento gerencial e que indica o efeito chicote, além do mais, muitas das dificuldades gerenciais são devido à falta do “sistema de

pensamento” dos gerentes. Ações corretivas recomendadas por Senge (1990) e Senge e Sterman (1992) para esta deficiência são um programa custoso de retreinamento para gerentes.

Economistas também têm notado o efeito chicote, mas atribuído a uma causa diferente. Numerosos estudos a partir de observações e experimentos têm notado que a variação da produção é maior que a variação das vendas em várias empresas. As razões para isso são descritas como ações racionais para a maximização do lucro, gerentes respondendo tanto para choques de demanda como para evitar a falta de estoque ou o custo suave de produção entre outros fatores.

Pode-se procurar soluções examinando os agentes causadores. Naish afirma que ignorar as mudanças do comportamento do usuário final causa o aumento das variações, também argumenta que se o conhecimento das mudanças da demanda forem incorporadas, o efeito desaparece. Conseqüentemente, isto pode ser argumentado que investimentos em marketing e sistemas de informação que melhor avaliem o gerenciamento deste comportamento poderia aliviar o efeito.

Para alguns autores como Forrester e Blackburn (1991) a causa principal do efeito chicote, junto com muitos outros problemas nos negócios, é o atraso entre as conexões da cadeia, o tempo transcorrido entre os pedidos e a entrega.

5.4.1- PRINCIPAIS FATORES QUE CAUSAM O EFEITO CHICOTE

É importante identificar técnicas e ferramentas que permitam controlar o efeito chicote; isto é, a controlar o crescimento na variabilidade na cadeia de suprimentos. Parece ser uma ineficiência obvia fácil de ser corrigida, mas descobrir o efeito chicote não leva automaticamente à sua solução: estudos anteriores demonstram que, apesar de um significativo esforço, o efeito chicote depende de métodos bem estabelecidos de fazer negócios.

Mas, antes de se tentar corrigir esse efeito, em primeiro lugar, deve-se compreender os principais fatores que contribuem para que ele ocorra. Apesar das causas precisas do efeito chicote continuarem sob debate, a maioria dos

autores concordam que são de dois tipos: do tipo comportamental (decisões individuais e tipos de incentivos), e os não comportamentais (atualização da previsão da demanda, pedidos em lote, flutuação do preço e o jogo de racionamento e falta).

Dois dos principais aspectos do efeito chicote podem ser observados através dos resultados padrões obtidos com o jogo da cerveja, que são: a distorção da demanda e a propagação da variação.

A distorção da informação da demanda de uma extremidade da cadeia de suprimentos para a outra pode fazer com que a quantidade de produtos em estoque fique em excesso, clientes insatisfeitos, receitas perdidas e programas de produção ineficazes. O jogo da cerveja mostra a todos os participantes que a variabilidade amplificada é em parte resultante da tomada de decisões dos jogadores de uma forma irracional.

Se os membros da cadeia compartilhassem informações com tecnologia inteligente de apoio e melhores estimativas (a medida que o tempo avança) nas vendas futuras para períodos que virão, então o efeito chicote poderia ser reduzido significativamente.

5.4.1.1- CAUSAS COMPORTAMENTAIS

5.4.1.1.1- DECISÕES INDIVIDUAIS

O efeito chicote pode ser visto como o primeiro resultado das tomadas racionais de decisões e não somente como um erro no sistema econômico. Uma das causas do efeito chicote é a falha na compreensão do impacto de decisões individuais (ou funcionais isoladas) em toda a cadeia de abastecimento.

As razões que levam um tomador de decisões a pedir quantidades maiores das que ele recebe da demanda consumidora podem ser identificados como os três argumentos básicos de se ter estoques, ou seja, proteção para evitar a falta de produtos, tamanho do lote econômico, e pedido de especulação.

Esses argumentos na maioria das vezes se justificam, mas há situações onde somente um ou dois deles são relevantes. Esta classificação básica leva a um ponto de partida para uma análise padronizada do efeito chicote.

Um aumento na demanda produz falta de produtos em algum lugar da cadeia. Geralmente, quando os gerentes percebem uma ameaça de falta de produtos causada por mudanças na demanda, reagem elevando seus estoques de segurança, aumentando assim os pedidos a seus fornecedores. Esse aumento nos pedidos é interpretado pelos membros acima na cadeia de suprimentos como um grande aumento da demanda, o que, por sua vez, leva a um “efeito irreal do aumento da demanda”. Ou seja, toda a cadeia de suprimentos acredita que a demanda aumentou bruscamente.

Durante períodos como esse, de crescimento, as previsões de demanda futura são ajustadas e os estoques de segurança aumentado para garantir proteção contra faltas, pois esta pode gerar entre outros, problemas como, a perda de clientes para a concorrência e perda da oportunidade de venda (perda de receita).

Num sistema um com longo lead time (tempo de ressuprimento), os estoques de segurança consistem de produtos suficientes para suprir algumas semanas de demanda futura. No entanto, o crescimento da demanda, quando combinado ao longo lead time, gera um aumento muito grande nos pedidos e nos estoques. O cálculo errado para a decisão da quantidade a ser pedida pode criar esse efeito caótico.

5.4.1.1.2- TIPOS DE INCENTIVOS

Incentivos impróprios contribuem para algumas tomadas de decisões erradas, causando o efeito caótico na cadeia de suprimentos. No jogo da cerveja descrito anteriormente, os incentivos (o fato do custo da falta do produto por unidade ser o dobro do custo da quantidade em estoque por unidade) criam um exagerado “medo das faltas”, que, por sua vez, encoraja o pedido em excesso.

Os objetivos dos vários estágios dentro da cadeia de suprimento geralmente se confrontam. Fornecedores de matéria-prima querem receber

pedidos estáveis e em grandes quantidades (para tirar vantagem da economia de escala), com pouca variedade de materiais e um prazo de entrega flexível. A fábrica pretende alcançar uma elevada produtividade a baixo custo e para isso, deve ter uma variação pequena da demanda. Os distribuidores querem minimizar o custo dos transportes tirando vantagens do desconto de transportar grandes quantidades de uma só vez, minimizando seus níveis de estoque e obtendo rápido reabastecimento do mesmo. Varejistas, querem um curto lead time, eficiência e curto prazo de entrega. E, por fim, consumidores querem que os varejistas tenham uma enorme variedade de produtos para pronta entrega e preços baixos. O resultado de tais conflitos deve-se, em grande parte, às medidas de desempenho funcional impróprias.

Essas medidas de desempenho funcionais podem ser ligadas apenas através de estoque e capacidade em excesso, e tentam compensar o funcionamento isolado dos diversos departamentos.

Muitas empresas resistem à idéia de que se pode melhorar sua situação através de uma melhor coordenação da tomada de decisões e da integração dos objetivos funcionais com aqueles do sistema como um todo. É comum empresas falharem ao manter seus objetivos individuais ao invés de pensar na cadeia como um todo, e acabam afetando o desempenho total da cadeia de suprimentos.

O jogo da cerveja ensina que mesmo as decisões racionais tomadas por jogadores individuais dentro de uma cadeia de suprimentos mal estruturada podem causar o efeito chicote.

5.4.1.2- CAUSAS NÃO COMPORTAMENTAIS

5.4.1.2.1- PREVISÃO DA DEMANDA

Cada uma das empresas pertencentes a uma cadeia de suprimento faz seus pedidos às empresas imediatamente acima delas na cadeia, desse modo, as previsões de demanda são baseadas no padrão de demandas históricas de seus consumidores imediatos. Desta forma, somente o varejista faz sua previsão nos padrões atuais da demanda de seus consumidores, os demais

apenas ajustam às flutuações na política de ordem de pedidos daqueles que os precedem na cadeia.

Há várias técnicas de previsão da demanda (amacramento exponencial, média móvel, entre outras), sendo que a maioria delas aloca um peso substancial na demanda real recentemente observada, o que leva à propagação de quaisquer picos repentinos em pedidos realizados em algum elo da cadeia de suprimentos.

O efeito é amplificado devido à magnitude dos estoques de segurança cobrindo a demanda ao longo de extensos períodos de lead time à medida que se move para cima na cadeia de suprimentos, ou seja, que se move do consumidor final (demanda real) em direção ao varejista, atacadista, etc. Ao mesmo tempo, quanto maior o lead time, mais incorreto é a previsão da demanda, uma situação que contribui ainda mais para a variância da demanda e para estoques de segurança maiores.

Conclui-se, então, que não importa qual a técnica utilizada para previsão da demanda, que sempre vai resultar no efeito chicote.

No caso do amaciamento exponencial, o gerente da empresa que recebeu o pedido da empresa abaixo da cadeia atualiza suas previsões de demanda futura.

5.4.1.2.2- PEDIDOS EM LOTE

Empresas fazem pedidos em lote com o intuito de obter vantagens de economias de escala, como a redução do custo fixo de pedidos e descontos no transporte das mercadorias. O custo do pedido é o custo referente a cada vez que se faz algum pedido, não importando a quantidade; dessa forma, as empresas têm vantagem em fazer pedidos menos freqüentes, mas com grandes quantidades. E, com grandes quantidades a serem transportadas, os meios de transporte, principalmente caminhões, podem ser utilizados na sua total capacidade, reduzindo assim o número de viagens e outros gastos para o transporte de tais mercadorias.

Apesar de ser vantajoso para as empresas, isto faz com que acumulem suas demandas antes de fazer o pedido, e, conseqüentemente, façam pedidos

aos seus fornecedores com menor frequência (geralmente uma ou duas vezes por mês), o que leva a alternância entre pedidos com grandes quantidades seguidos de nenhum pedido, resultando na dificuldade e no erro da previsão de demandas futuras para estes fornecedores.

5.4.1.2.3- FLUTUAÇÃO DO PREÇO

Através de realizações de acordos comerciais especiais e promoções (abatimento no preço e descontos pela quantidade), muitas vezes, as empresas acabam comprando os suprimentos necessários muito antes da demanda.

Quando isso acontece, os consumidores acabam comprando quantidades maiores que as necessárias, devido ao preço do produto estar abaixo do normal, e deixam de comprar até que seus estoques se esgotem ou quando houver uma nova promoção. Claro que isto não ocorre com produtos perecíveis, nos quais, tirando restaurantes e ramos do tipo, o consumidor não vai conseguir utilizá-los dentro do prazo de validade.

Este tipo de comportamento faz com que o padrão de compra resultante seja substancialmente diferente do que é na realidade, gerando erros nos cálculos de previsões futuras da demanda. Ainda faz com que os produtores tenham períodos de superprodução; custos extras nas taxas de transporte, que são pagos durante o pico das temporadas; além de falta de espaço para armazenagem do produto.

5.4.1.2.4- JOGO DE RACIONAMENTO E FALTA

O jogo de racionamento e falta ocorre quando a demanda por um determinado produto excede a oferta então os fabricantes freqüentemente racionam seus produtos aos clientes, entregando uma quantidade proporcional àquela pedida. Os clientes, sabendo dessa prática, propositadamente exageram seus pedidos em períodos de falta de suprimentos e reduzem ou,

quando permitido, cancelam seus pedidos exagerados em períodos de suprimento amplo.

Essa prática do cliente, a qual se denomina jogo de pedidos, oferece pouca informação confiável aos fornecedores a respeito da demanda real do produto. O que ocorre é um erro na percepção dos padrões de demanda do mercado, que leva a padrões de pedidos cada vez mais errados à medida que se move para cima da cadeia de suprimentos (ou seja, à medida que se distancia do consumidor final).

Este é o fato dessas quatro causas não comportamentais do efeito chicote serem difíceis de serem monitoradas e ainda mais difícil de se controlar na indústria. Há também o fato da possibilidade das quatro causas poderem interagir uma com as outras, combinando os efeitos que não são claramente compreendidos nem na teoria nem na prática.

5.4.2- CONSEQÜÊNCIAS NEGATIVAS DO EFEITO CHICOTE

Segundo Lee et al [1997] entre as conseqüências negativas do efeito chicote estão:

1) Um excessivo investimento em estoques por toda a cadeia de abastecimento pela necessidade de se protegerem contra as variações.

2) Um pobre serviço ao consumidor devido à falta do produto em alguma parte da cadeia de abastecimento.

3) Perda de lucro devido à falta que tem sido causado pelas variações.

4) Tomadores de decisão reagem às flutuações da demanda e fazem as decisões de investimento ou mudança nos planos de capacidade para encontrar os picos da demanda. Essas decisões são provavelmente enganadas com os picos de demanda e podem ser eliminados pela reorganização da cadeia de abastecimento.

5) As variações da demanda causam variação na cadeia logística o qual causa flutuações na capacidade de transporte planejada. Isto irá novamente produzir um esquema sub-ótimo de transporte e irá aumentar os custos de transporte.

6) Flutuações na demanda devido ao efeito chicote podem causar programas de produção perdida, que acabam sendo desnecessárias, pois não há mudanças reais na demanda, somente ineficiência na cadeia de abastecimento.

5.4.3- COMO EVITAR O EFEITO CHICOTE

Depois de identificar as causas do efeito chicote, algumas sugestões são feitas para tentar reduzir ou eliminar esse efeito. Pesquisas indicam que a importância do efeito chicote numa empresa difere conforme o ambiente específico do negócio e, com condições apropriadas, a sua eliminação ou redução pode aumentar o lucro do produto de 10 a 30%.

Entre as sugestões estão: a redução da incerteza e variabilidade da demanda futura, previsão da demanda, redução no lead time, como evitar pedidos em lote, flutuações no preço, jogo de racionamento e falta e ainda, alianças estratégicas.

5.4.3.1- INCERTEZA, VARIABILIDADE E PREVISÃO DA DEMANDA

A incerteza da demanda pode ser reduzida através da centralização da informação da demanda, ou seja, cada empresa da cadeia de suprimentos tem conhecimento da demanda consumidora real e atual. Desse modo, todos podem utilizar esses dados para criar previsões de demanda mais precisas do que aquelas feitas com base nos pedidos feitos pela empresa anterior.

Dados do ponto-de-venda das lojas de varejo, se disponível e possível, devem ser passados para as empresas acima na cadeia de suprimentos (aqueles cada vez mais distantes do consumidor final). A tecnologia de

intercâmbio Eletrônico de Dados (EDI - Eletronic Data Interchange) pode ser usada para compartilhar essa informação.

EDI é uma tecnologia que permite a troca eletronicamente de documentos de negócios (faturas, duplicatas, pedidos de compra, solicitação de material de estoque, ordem de transporte, etc), de forma padronizada entre duas empresas distintas e independentes as quais podem ter sistemas de informação em diferentes plataformas de hardware e software e podem estar situadas em diferentes locais. Tem como principais vantagens: redução de custos diretos e indiretos, armazenamento de dados, atendimento perfeito a filosofia Just in Time (JIT). Possibilita a troca de informações sobre estoques entre fábricas e fornecedores, sobre a programação das entregas e regularidade do fornecimento reduzindo custos.

Às vezes, empresas deixam o controle total das funções de previsão e estoques para parceiros que estão acima deles na cadeia de suprimentos a fim de evitar flutuações desnecessárias nos pedidos. Na indústria de produtos de consumo, tais práticas são conhecidas como Estoque Gerenciado pelo Fornecedor (VMI – Vendor Managed Inventory) ou Reposição Contínua (CR – Continuous replenishment).

O Vendor Managed Inventory (VMI), Just-in-Time Distribution (JITD), e Efficient Consumer Response (ECR), todos se referem ao mesmo conceito, mas aplicados a diferentes indústrias. Por exemplo, indústrias de produtos comestíveis e vestimentas usam VMI e JITD.

Utilizando o VMI, o fornecedor entrega quantidades através de um canal de distribuição. Algumas de suas características incluem: o encurtamento da cadeia de suprimentos, previsão centralizada, comunicação freqüente do estoque, da falta de produtos em estoque e promoções planejadas (estas informações podem ser conectadas através do EDI), caminhões são preenchidos com prioridades (por exemplo: itens que estão em falta têm prioridade, em segundo itens que são pedidos para alcançar o nível de estoque alvo, depois carregamentos de itens promocionais e finalmente itens que são pedidos mesmo que a empresa já tenha alcançado o nível mínimo do estoque alvo). Como resultado da prática de VMI se tem: a redução do estoque e da falta de produtos em estoque.

5.4.3.2- REDUÇÃO DO LEAD TIME

A redução do lead time (tempo de ressurgimento) implica no preenchimento rápido dos pedidos que não foram atendidos devido a uma falta do produto em estoque.

O lead time tipicamente inclui dois componentes: o lead time de pedidos (tempo que leva para produzir e entregar um item) e o lead time da informação (tempo que leva para processar um pedido).

Sistemas de informação como EDI reduz o lead time na parte ligada ao processamento de um pedido, papéis, burocracia e atrasos na entrega, o fornecedor pode antecipar a chegada de um pedido através da transferência de dados do ponto de venda.

O lead time de pedido pode ser reduzido através do uso de cross-docking, que é uma operação do sistema de distribuição em que os produtos são recebidos, selecionados e encaminhados para outro veículo. Os produtos podem ser recebidos e direcionados para uma área de preparação em que várias atividades, como colocação de novas etiquetas, embalagens especiais, pequenas montagens, pacotes customizados e outros atributos de merchandise são realizados para distribuição dos produtos, conforme necessidades de cada cliente.

Para fornecedores as vantagens de se utilizar o cross-docking são: redução de estoques, menor custo de produção, melhor uso da frota, ampliação de negócios; e para o cliente são: redução de estoques, menor custo de compra, menos falta de estoques, planejamento de compras. As desvantagens tanto para os fornecedores como para os clientes são: dependência, investimento em equipamento, investimento no relacionamento.

5.4.3.3- PEDIDOS EM LOTE

Para a redução dos problemas relacionados aos pedidos em lote, deve-se desenvolver estratégias que reduzam os tamanhos dos lotes e promovam pedidos mais frequentes. Entretanto, esse método pode ser aplicado se as

razões sistêmicas que determinam as economias de escala no pedido são eliminadas, ou pelo menos reduzidas.

Através do uso da tecnologia de informação, pode-se cortar o custo do processamento do pedido substancialmente por meio da eliminação do trabalho em papel e dos pontos de feedback ou verificação. Usando EDI as empresas podem implementar o pedido auxiliado por computador (CAO - Computer Assisted Ordering), cortar o custo do pedido de compra para um décimo e fornecer incentivos aos clientes para pedirem com maior frequência.

Quanto ao transporte, mudanças similares podem ajudar a amaciar os padrões de pedidos da cadeia de demanda. Certamente, economias de transporte são de extrema importância na gestão de cadeias de suprimentos globais.

Estratégias para evitar que o efeito chicote se agrave (pedidos não frequentes, padrões de demanda erroneamente observados) dependem da atitude cooperativa entre as empresas de produção/distribuição e as de transporte. Entre as soluções mais inovadoras está o uso de empresas logísticas terceirizadas, as quais permitem economias de escala no transporte/distribuição que não eram viáveis em relacionamentos cliente-fornecedor únicos. Empresas logísticas terceirizadas podem consolidar cargas de múltiplos fornecedores localizados próximos uns aos outros ou entregar a múltiplos clientes, alguns dos quais concorrentes diretos, em localidades geográficas próximas.

Pedidos mais frequentes resultam em pedidos menores e menor será a variação. Entretanto, quando uma facilidade (um estágio qualquer) com uma frequência maior, a redução na variação da demanda não será vista por ele, mas pelos estágios acima dele na cadeia de suprimentos.

5.4.3.4- FLUTUAÇÕES NO PREÇO

Para se evitar flutuações no preço, a estratégia é reduzir a frequência e a magnitude de acordos comerciais especiais e promoções ao consumidor. Pode-se utilizar estratégias como o EDLP (every day low price – preço baixo todos os dias) que atua no esforço de estabilizar preços podendo levar a um

padrão de demanda mais estável ao longo da cadeia de suprimentos. Contratos especiais de compra podem ser implementados no sentido de especificar intervalos regulares de pedidos para melhor sincronizar as entregas e as compras.

Por exemplo, quando um varejista utiliza EDLP, ele oferece produtos a um único preço consistente, ao invés de oferecer o preço regular com períodos de promoção. Desse modo, eliminando preços promocionais, o varejista consegue eliminar muitas das mudanças da demanda que ocorrem durante as promoções.

Através do EDLP consegue-se reduzir a variabilidade inerente ao processo de demanda do consumidor, diminuindo dessa forma o efeito chicote, por exemplo, se a demanda consumidora vista pelo varejista for diminuída, mesmo que o efeito chicote ocorra, a variabilidade da demanda vista pelos demais estágios da cadeia também será reduzida.

Programas de reposição contínua (CRP- Continuous Replenishment Programs) com políticas de preço de atacado racionalizadas tem o mesmo efeito do EDLP e também pode ser implementado.

5.4.3.5- JOGO DE RACIONAMENTO E FALTA

Muitas empresas corrigem o comportamento do jogo no processo de pedido durante períodos de falta de suprimentos usando regras inteligentes de alocação e ou racionalização dos produtos, além de penalidades por cancelamento de pedidos.

Para desencorajar os jogos, Whang [1995] sugere que as fábricas coloquem à disposição quantidades de produtos aos varejistas baseados nas vendas passadas ao invés da quantidade requerida num pedido em particular.

5.4.3.6- ALIANÇAS ESTRATÉGICAS

Por fim, alianças estratégicas com um certo número de parceiros modificam o modo como a informação é compartilhada e o estoque é

gerenciado dentro da cadeia, possibilitando a eliminação ou redução do efeito chicote.

5.5- COMO MELHORAR O DESEMPENHO NO JOGO DA CERVEJA

A seguir é feita uma análise em relação à estratégia adotada pela maioria dos participantes, a de “não usar nenhuma estratégia”, que é a política mais simples em termos de pedidos, onde novos pedidos são feitos de acordo com os pedidos recebidos e os jogadores não fazem nada para corrigir seu estoque ou pedidos pendentes.

Considerando, durante o jogo todo (trinta semanas), uma demanda determinística padrão, isso significa, seguindo a estratégia de “não usar nenhuma estratégia”, pedir quatro unidades por semana até a quarta semana e da quinta semana em diante quando o consumo passa para oito unidades, pedir oito caixas.

Quando esta estratégia é seguida à risca pelos quatro setores de cada equipe, as quatro posições atingem um nível de estabilidade mais ou menos na metade do período simulado. Os pedidos em atraso aumentam e se mantêm acumulados, o que significa que todos que estão dentro do sistema são obrigados a esperar mais que o necessário para receber a mercadoria pedida, isto porque, os jogadores não fazem nenhum esforço para colocá-los em dia. Na vida real, uma situação desse tipo provocaria a entrada de concorrentes no mercado oferecendo melhor serviço de entregas. Apenas produtores/distribuidores com monopólio no mercado poderiam seguir tal estratégia.

Por outro lado, a adoção dessa estratégia elimina a brusca elevação e queda nos pedidos, e a conseqüente oscilação dos estoques, além de obter um custo total menor que aqueles que ao invés de simplesmente fazer pedidos iguais aos que recebem, tentam corrigir o desequilíbrio resultante de “não fazer nada”.

Entretanto, uma pequena porcentagem das equipes consegue obter resultados melhores, isto significa, que é melhor se ter uma estratégia do que

simplesmente fazer os pedidos sem pensar nas conseqüências (ao se pedir menos ou mais produtos do que o necessário).

É possível vencer, mas é preciso que os jogadores mudem sua visão do jogo, compreendendo as diferenças básicas entre seus “modelos mentais” sobre o funcionamento do jogo e a maneira como ele realmente funciona.

Para a maioria dos jogadores, sua função restringe-se a “administrar sua posição” independente do resto do sistema, quando o que se exige é ver como sua posição atua no sistema como um todo.

Jogando em qualquer uma das posições, o jogador geralmente só se preocupa com seus próprios custos, pedidos, entregas e falta de produtos. No caso do jogador precisar de mais produtos, ele automaticamente aumenta o pedido; se o produto que ele espera receber não é entregue na semana esperada, ele aumenta ainda mais o pedido. Sendo assim, o jogador apenas “administra a sua posição”, deixando de ver como suas decisões influenciam as outras variáveis do sistema, que ele considera “externas”. Por exemplo, se ele faz pedidos muito grandes, pode acabar com o estoque do fornecedor, causando atraso nas entregas desse fornecedor. Se, em virtude do atraso, ele aumentar ainda mais os pedidos (como faz a maioria), ele cria um círculo vicioso que propaga o problema para o sistema todo.

Esse círculo vicioso pode ser gerado por qualquer jogador, em qualquer posição: varejista, atacadista, distribuidor e até mesmo as fábricas podem criar efeito semelhante, simplesmente deixando de produzir cervejas suficientes. Como um círculo vicioso gera outros, o problema acaba tomando conta de todo o sistema de produção/distribuição.

Para melhorar o desempenho no jogo da cerveja, Senge (1998) sugere que o jogador deve redefinir seu campo de influência, pois na realidade ele ultrapassa muito os limites da sua própria posição. E conforme a situação real dos sistemas logísticos, suas decisões influenciam o comportamento do seu fornecedor, o qual, por sua vez, pode influenciar o comportamento de um outro fornecedor e assim por diante. Assim sendo, seu sucesso não depende apenas dos pedidos que ele faz, mas também da ação dos outros integrantes do sistema. Por exemplo, se a fábrica ficar sem cerveja, todos ficarão sem cerveja. Sua posição só funciona se o sistema inteiro funcionar. No jogo da cerveja, como em muitos outros sistemas, para que uma certa posição seja bem

sucedida, é preciso que os outros também o sejam. Cada jogador precisa compartilhar desse ponto de vista sistêmico, pois se um único jogador entrar em pânico e fizer um pedido maior, o medo tende a se generalizar.

De acordo com Senge (1998), são duas as diretrizes básicas a serem seguidas pelos jogadores:

1) Ter em mente que a cerveja comprada, devido ao atraso nas entregas, não foi recebida, mas chegará posteriormente (deve-se ter paciência). O erro está no fato, de muitos jogadores continuarem a fazer pedidos semanalmente até a discrepância de estoque desaparecer;

2) Conter o ímpeto de aumentar os pedidos quando seu estoque está baixo (ou negativo, ou seja, o número de pedidos não atendidos é cada vez maior) e os clientes estão reclamando. Não entrar em pânico. Quando o fornecedor não tiver condições de entregar a quantidade de cerveja pedida no prazo normal, o pior que se pode fazer é pedir mais cerveja.

Seguindo essas diretrizes, não é possível eliminar totalmente os erros de previsão e desequilíbrios de estoque, mas é possível manter essas instabilidades num nível bastante baixo, portanto é possível melhorar significativamente os resultados.

Essas diretrizes são desprezadas pela maioria dos jogadores, pois elas só ficam evidentes quando se entende que as interações cruzam as fronteiras entre as diferentes posições. A diretriz de se ter paciência vem da compreensão da defasagem existente entre a resposta do fornecedor às mudanças dos novos pedidos. A diretriz de “não entrar em pânico” vem da compreensão do círculo vicioso criado quando os novos pedidos ampliam a defasagem no tempo de entrega do fornecedor.

Não é possível eliminar totalmente todos os aumentos nos pedidos e todos os ciclos de estoques e pedidos em atraso. É possível manter estas instabilidades num nível muito modesto e conseqüentemente custos menores.

5.6- DIFICULDADES DO TRADICIONAL JOGO DA CERVEJA

Quando o jogo foi introduzido em 1960, o conceito de gerenciamento de uma cadeia de suprimentos integrada (integrated supply chain management), assim como sistemas avançados de informações que dão suporte a esse conceito, não estavam ainda desenvolvidos.

Em muitos casos, a cadeia de suprimentos era gerenciada por gerentes diferentes em cada estágio que se baseavam em suas próprias intuições, experiências, e objetivos. Desde então, entretanto, tanto a teoria quanto a prática do gerenciamento da cadeia de suprimentos têm melhorado de forma significativa. Infelizmente, jogar o tradicional jogo da cerveja não reflete necessariamente a prática da atual cadeia de suprimento (supply chain), talvez mais importante ainda, não ensina como gerenciar de uma maneira mais adequada.

Esta fraqueza no jogo tradicional pode ser atribuída a muitas características. Experiências com o jogo sugerem que os participantes geralmente estão tão ocupados com o mecanismo do jogo, tendo a certeza de que seguiram corretamente todas as regras, que não tem tempo para desenvolver uma estratégia efetiva. Mesmo se um dos participantes utilizasse uma estratégia sofisticada, ele teria problemas com estoque e pedidos não atendidos, assim como uma elevação nos custos esperados, isso faria com que ele procurasse falhas nas suas próprias decisões do que na dos outros participantes.

Além disso, a demanda padrão e os valores dos custos exibidos no Jogo da Cerveja não refletem um cenário realista de uma cadeia de suprimentos. Na vida real, esperar que os gerentes de cada setor da cadeia não sejam informados quanto a essa enorme variação da demanda, não é verdadeiro. Assim como algumas hipóteses feitas pelo jogo, como: a capacidade de armazenamento dos depósitos das facilidades, a capacidade de produção da fábrica e a fonte de matéria-prima serem ilimitadas; os pedidos não atendidos não serem perdidos para a concorrência; entre outros. Mas estas simplificações estão dentro do contexto do objetivo do jogo, que é o aprendizado de alguns conceitos, a verificação das oscilações que ocorrem nos pedidos, vendas feitas e nos custos, assim como aprender como solucionar

alguns problemas, através da adoção de algumas estratégias, a importância da globalização da informação (seja da demanda, como quanto aos pedidos feitos por toda a cadeia, etc), as vantagens em se ter uma cadeia integrada, entre outros.

Finalmente, o jogo tradicional não demonstra muitas outras importantes questões sobre gerenciamento do supply chain. Por exemplo, em muitas cadeias de suprimento na vida real, vários (ou todos) os setores pertencem a um mesmo dono. Então, o objetivo real é minimizar o custo do sistema total, e não o desempenho individual. Infelizmente, com o jogo tradicional não há como saber o quanto é perdido ao se gerenciar os estágios individualmente.

Muita das dificuldades ao se gerenciar uma cadeia de suprimentos é devido ao curto ciclo do produto, a informação centralizada e a tomada de decisões. E com o jogo não é possível aprender a resolver esses tipos de problemas.

5.7- VANTAGENS DO JOGO NA VERSÃO DESTE TRABALHO

A vantagem da versão deste jogo no software iThink é o fato de permitir qualquer alteração dos parâmetros e ainda assim, verificar o que ocorre ao longo do tempo, pois o software permite isso e, já com o jogo tradicional isso não era possível.

A seguir, são mostradas as modificações que se pode fazer e que no jogo tradicional não era permitido:

- ✓ Esta versão é somente para um único jogador ou é possível apenas observar o que acontece com as facilidades, ou seja, neste caso, o computador comanda todas as facilidades, enquanto que no jogo tradicional o número mínimo de pessoas era quatro;

- ✓ Demanda: é possível modificar os valores da demanda determinística e a demanda aleatória é calculada segundo uma distribuição normal, cujos parâmetros (média e desvio padrão) podem ser modificados;

✓ Política de estoques: o jogador pode escolher uma das alternativas para as demais facilidades seguirem;

✓ Estoque de segurança, estoque máximo, lote de reposição: esses valores são escolhidos pelo jogador para as demais facilidades;

✓ Custos: o jogador escolhe os valores dos custos de manutenção de estoques, da falta de produtos, do pedido, de fabricação e a taxa de estocagem para cada facilidade, inclusive a que estiver comandando;

✓ Nível de serviço: o jogador pode escolher qual será o nível de serviço que cada facilidade vai ter;

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1- CONCLUSÕES

As conclusões deste trabalho são direcionadas para questões de aprendizagem através de jogos simulados, em específico o jogo da cerveja, conceitos de sistemas dinâmicos, sua linguagem computacional mais utilizada atualmente (iThink) e o efeito chicote, suas causas, conseqüências e como evitá-lo.

Foi possível unir o jogo, uma ferramenta importante de treinamento utilizada como forma de aprimoramento das habilidades gerenciais, e que simula a realidade de uma maneira simplificada com a metodologia de sistemas dinâmicos, que analisa o comportamento das variáveis ao longo do tempo.

Em muitas situações empresariais da vida real, cria-se uma causa, e é difícil enxergar seu efeito, mas mesmo com sistemas complexos, é possível verificar efeitos ao longo do tempo, ou em diversos locais pela simulação dos jogos em sistemas dinâmicos, no qual o usuário pode perceber as conseqüências de suas decisões.

Um outro aspecto importante dos jogos de empresa e de sistemas dinâmicos é o fato de permitirem superar a visão fragmentada da dinâmica empresarial ensinada aos alunos através de matérias funcionais separadas, tratadas de maneira estática como se fossem independentes entre si, além de proporcionarem uma visão global e interdependente.

Este trabalho propôs a implementação do jogo da cerveja, simulador gerencial de tomada de decisões, numa nova linguagem computacional, iThink, de sistemas dinâmicos. Além de mostrar a importância dos jogos como forma de treinamento mais próximo da realidade, foi possível divulgar e mostrar as vantagens da utilização desse novo software, de fácil programação, utilizado para modelar situações reais, verificando as conseqüências ao longo do tempo e que pode ser usado em diversas áreas. Também foram mostradas as

vantagens do jogo da cerveja nesta versão em comparação com as versões antigas.

Em específico com o jogo tratado neste trabalho (jogo da cerveja), torna-se possível através da linguagem de sistemas dinâmicos verificar o que ocorrem com os estoques de cada facilidade, os pedidos, os pedidos não atendidos e com os custos ao longo do tempo. Isso permite aos jogadores a escolher uma política melhor, evitando estoques elevados desnecessários, diminuindo dessa forma, seus custos.

Com os resultados obtidos das simulações do jogo da cerveja, observou-se que os resultados são semelhantes e sua consequência é chamada de efeito chicote, que nada mais é do que a distorção da demanda pelos membros da cadeia e a variação dos pedidos que aumenta à medida que se distancia do consumidor final.

Cada vez mais, estruturas do tipo do jogo da cerveja geram crises semelhantes nos sistemas reais de produção/distribuição. Várias economias nacionais passam pelos mesmos tipos de surtos de demanda e ajuste exagerado de estoque, devido ao que os economistas chamam de teoria da “aceleração de estoques” dos ciclos de negócios.

A realidade dos sistemas de produção/distribuição frequentemente é pior que a do jogo da cerveja pelo fato de existirem mais elementos na cadeia e outros fatores que não são considerados no jogo, como limites de capacidade de produção e armazenamento dos produtos, concorrentes, entre outros.

Infelizmente, o jogo da cerveja não reflete necessariamente a prática da atual cadeia de suprimento (supply chain), talvez mais importante ainda, não ensina como gerenciar de uma maneira mais adequada. Além disso, parâmetros como a demanda padrão e os valores dos custos exibidos não refletem um cenário realista de uma cadeia de suprimentos.

Na vida real, esperar que os gerentes de cada setor da cadeia não sejam informados quanto a essa enorme variação da demanda, não é verdadeiro. Assim como algumas hipóteses feitas pelo jogo, como: a capacidade de armazenamento dos depósitos das facilidades, a capacidade de produção da fábrica e a fonte de matéria-prima serem ilimitadas; os pedidos não atendidos não serem perdidos para a concorrência; entre outros. Mas estas simplificações estão dentro do contexto do objetivo do jogo, que é o

aprendizado de alguns conceitos, a verificação das oscilações que ocorrem nos pedidos, vendas feitas e nos custos, assim como aprender como solucionar alguns problemas, através da adoção de algumas estratégias, a importância da globalização da informação (seja da demanda, como quanto aos pedidos feitos por toda a cadeia, etc), as vantagens em se ter uma cadeia integrada, entre outros.

6.2- RECOMENDAÇÕES

Algumas sugestões são dadas a seguir como uma opção de mudanças dos parâmetros ou a inserção de novos parâmetros no jogo da cerveja:

- ✓ Facilidades: separar o fornecedor de matéria-prima da fábrica, aumentar o número de facilidades da cadeia;

- ✓ Produção: aumentar o sistema produtivo, ser mais detalhado;

- ✓ Produto: aumentar o número de produtos fabricados e/ou distribuídos pela cadeia (não somente um produto, no caso a cerveja);

- ✓ Fornecedores de matéria-prima: poder-se-ia ter mais de um e com prazos de entregas e preços diferenciados;

- ✓ Estoque: fazer com que a capacidade de armazenamento seja limitada;

- ✓ Setores de controle de qualidade podem ser inseridos, materiais para serem refeitos, uma porcentagem de defeito na produção, a venda desses produtos com preços mais baratos, etc;

- ✓ Demanda: incluir nichos de mercados diferentes, diversas regiões;

- ✓ Calcular o lucro;

- ✓ Pedidos não atendidos: fazer com que uma porcentagem ou todos os pedidos não atendidos sejam perdidos para a concorrência;

- ✓ Política de estoques: novas políticas podem ser inseridas, pode-se modificar o estoque de segurança, estoque máximo, lote de reposição;

- ✓ Lead time: pode ser aumentado ou reduzido, ou ainda pode ser diferente para cada facilidade;

- ✓ Centralização dos estoques: para uma cadeia maior, seria o fato de concentrar o estoque em poucos lugares, reduzindo, dessa forma, as necessidades totais dos mesmos. Além da concentração física dos estoques, sua localização deve ser estratégica (próxima ao consumidor ou ao ponto de fabricação);

- ✓ Globalização das informações: a cadeia toda poderia ter suas informações compartilhadas, ou seja, o sistema poderia ser integrado, dessa forma o efeito chicote seria reduzido;

- ✓ Custos: custo da falta, custo da manutenção, custo do pedido, custo de fabricação, taxa de estocagem podem ser alterados. Pode inserir novos custos, como custo da matéria-prima, custo do transporte (diferentes opções de modais, capacidade de transporte e custos), etc.

- ✓ Serviço de atendimento ao consumidor: podendo retornar uma certa quantidade de produto vendido (por estar estragado, obsoleto, fora dos padrões de qualidade, etc, dependendo do tipo de produto da cadeia);

- ✓ No transporte dos materiais: entrada de operadores logísticos, diversificação nos modais e custos, limitação dos transportes (peso, volume);

- ✓ Terceirização (no processo de distribuição e/ou fabricação);

- ✓ Retorno dos produtos, defeitos;

- ✓ Promoções;
- ✓ Crises Cambiais;
- ✓ Prejuízo nas vendas, sazonalidade;
- ✓ Expandir a aplicação do jogo através da sua implementação via internet.

Resumido, o jogo poderia se tornar bem mais complexo, mas como de início foi dito, esse jogo reflete uma cadeia de abastecimento simplificada e com o intuito de divulgar o conceito de sistemas dinâmicos e para a verificação do efeito chicote é válido.

Outras sugestões para a utilização do software iThink e de sistemas dinâmicos:

- ✓ Em outros modelos e em outras áreas: economia, medicina, etc;
- ✓ Implementação de outros jogos, com cadeias mais complexas;
- ✓ Numa empresa em relação aos seus estoques, centros de distribuição, pontos de vendas, etc;
- ✓ Operadores Logísticos;
- ✓ Recursos Naturais;
- ✓ Questões ambientais;
- ✓ Mercados Financeiros;

A partir da proposta da utilização dessa nova linguagem, muitas são as possibilidades de aperfeiçoamento de outros modelos em outras áreas para simulação ao longo do tempo.

CAPÍTULO 7 - BIBLIOGRAFIA

ABT, Clark C. **Jogos simulados: estratégias e tomada de decisão**. Rio de Janeiro: J. Olympio, 1974.

AGATSTEIN, Kevin A. Oscillating Systems II: Sustained Oscillation. **MIT System Dynamics in Education Project**, MIT Press, Cambridge MA, EUA, maio, 1997.

AGATSTEIN, Kevin; BREIEROVA, Lucia. Graphical integration exercises part two: ramp functions. **Systems Dynamics Review, MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, março. 1996.

AGATSTEIN, Kevin; BREIEROVA, Lucia. Graphical integration exercises part three: combined flows. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, março, 1996.

AKSOY, Y.; FERGUSON, L. Experiences with the Beer Game. **15th International System Dynamics Conference**, Vol.1, p. 387, agosto, 1997; Istanbul, Turkey.

ALBIN, Stephanie. Building a System Dynamics Model Part 1: Conceptualization **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, junho, 1997.

ALBIN, Stephanie. Generic structures: first-order negative feedback. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, setembro, 1996.

ALBIN, Stephanie; CHOUDHARI, Mark. Generic structures: first-order positive feedback. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, março, 1996.

ASHFORD, Aaron C. Unexpected behaviors in higher-order positive feedback loops. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, maio, 1995.

BAGANHA, M.P; COHEN, M.A. The Stabilizing Effect Of Inventory In Supply Chains. **Operations Research**, vol 46, p. 72-83, 1998.

BALINTFY, Joseph; et al. **Técnicas de simulação em computadores**. SP: Editora Vozes Ltda, 1971.

BALLOU, Ronald H. **Business Logistics Management**. New Jersey, EUA: Prentice-Hall Inc., chapter 9, 1973.

BALLOU, Ronald H. **Logística Empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 1993.

BARROS NETO, Benício de; BRUNS, Roy Edward; SCARMINIO, Ieda Spacino. **Planejamento e Otimização de Experimentos**. 2ed. Campinas SP, Editora da Unicamp, 1996.

Beergame. Disponível em <www.beergame.iems.nwu.edu/frame.html> Acesso em: junho, 2001.

BLACKBURN, J.D. The Quick Response Movement In The Apparel Industry: A Case Study In Time-Compressing Supply Chains. **Time Based Competition: The Next Battleground in American Manufacturing**, Irwin, Homewood, IL, Chapter 11, p.78-81, 1991.

BREIEROVA, Lucia. Generic structures: overshoot and collapse. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, julho, 1997.

BREIEROVA, Lucia. Mistakes and misunderstandings: use of generic structures and reality of stocks and flows. **MIT System Dynamics in in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, dezembro, 1996.

BREIEROVA, Lucia; CHOUDHARI, Mark. An introduction to sensitivity analysis. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, setembro, 1996.

BURDICK, Donald S.; et al. **Técnicas de simulação em computadores**. São Paulo: Editora Vozes Ltda e Editora da USP, 1971.

CARLSSON, C. A.; FULLER, R. **A Fuzzy Approach To The Bullwhip Effect**. 15th EUROPEAN MEETING ON CYBERNETICS AND SYSTEMS RESEARCH, vol 1, p. 228-233, 2000.

CARLSSON, Christer, FULLÉR, Robert. Reducing The Bullwhip Effect By Means Of Intelligent, Soft Computing Methods. 34th **Annual Hawaii International Conference On System Sciences**. Maui, Hawaii, USA, Jan, 2001, p.10.

CAVANHA FILHO, Armando O. **Simulador Logístico**. 2000. Dissertação de mestrado em engenharia de produção e sistemas – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis.

CETINKAYA, S.; CHUNG-YEE, Lee. Stock Replenishment And Shipment Scheduling For Vendor-Managed Inventory Systems. **Management Science**, Vol. 46, p. 217-232, 2000.

CHEN, F., RYAN, J.K.; SIMCHI-LEVI, D. The Impact Of Exponential Smoothing Forecasts On The Bullwhip Effect, **Naval Research Logistics**, Vol 47, p. 269-286, 2000.

CHEN, F.; DREZNER, Z.; RYAN, J.K.; SIMCHI-LEVI, D. Quantifying The Bullwhip Effect In A Simple Supply Chain: The Impact Of Forecasting, Lead Times, And Information. **Management Science**, vol. 46, p. 436-443, 2000.

CHING, Hong Yuh. **Gestão de Estoques na Cadeia de Logística Integrada Supply Chain**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 1999.

CHRISTOPHER, Martin. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**: estratégias para a redução de custos e melhorias dos serviços. SP: Editora Pioneira, 1999.

CHUNG, Celeste V. Generic structures in oscillating systems I. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, junho, 1994.

CORNÉLIO FILHO, Plínio. **O modelo de simulação do GPCP-1**: Jogo do planejamento e controle da produção. 1998. Dissertação de mestrado em engenharia de produção e sistemas – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis.

CORONADO, Alan E. Beginner modeling exercises section 4 mental simulation: adding constant flows. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, maio, 1996.

CORRÊA, Joary. **Gerência Econômica de Estoques e Compras**. 4^a edição. Rio de Janeiro: Editora Fundação Getúlio Vargas, 1977.

COUDRAY, Valérie. **Um modelo para o aprendizado do trabalho em equipe, utilizando um jogo de empresas como suporte de treinamento.** 1997. Dissertação de mestrado em engenharia de produção e sistemas – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis.

COYLE, Geoff. The practice of systems dynamics: milestones, lessons and ideas from 30 years experience. System Dynamics Society Lifetime Achievement Award. **System Dynamics Review**. John Wiley & Sons. Ltd., vol 14, n 4, p. 343-365, winter, 1998.

CRAIG, Donald. **Extensible Hierarchical Object- Oriented Logic Simulation with an Adaptable Graphical User Interface.** 1996. Dissertação de Mestrado em Ciências Computacionais - Memorial University of Newfoundland. St. John's.

CRAIG, Donald. **Simuladores.** Disponível em:
<<http://www.cs.mun.ca/~donald/msc/node1.html>> julho. 1996.

DAVIES, O.L. et al. **Problems of Stocks and Storage.** Editora: Imperial Chemical Industries Limited, 1967.

DEJONCKHEERE, J.; et al. Measuring and avoiding the bullwhip effect: A control Theoretic Approach. **European Journal of Operational Research**, junho, 2002.

DIAS, Marco Aurélio. **Administração De Materiais:** uma abordagem logística. SP: Editora Atlas S.A., 3ª edição, 1990.

DONG, Yan; XU, Kefeng; EVERS, Philip T. Towards better coordination of the supply chain. **Transportation Research**, Part E, Vol. 37, p. 35-54, 2001.

DORNIER, P.P.; et al, **Logística e Operações Globais:** texto e casos. Tradução de Arthur I. Utiyama. São Paulo: Atlas S.A., 2000.

DUBON, Terri; GLICK, Marc. Generic structures: s-shaped growth I. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, agosto, 1994.

ELGOOD, Chris. **Manual de Jogos de Treinamento**. São Paulo: SIAMAR, 1987.

FLEURY, Paulo Fernando. Estrutura de Produção e Desempenho Operacional: Identificação de Fatores Chaves Através de Simulação, **Revista de Administração de Empresas**, Nov/ Dez 1993.

FLUZA. Cyro Q. Wal-Mart prepara-se para batalha no varejo. **Jornal Gazeta Mercantil**, São Paulo, 17 julho, 2001. Tecnologia da Informação. p 5.

FORRESTER, Jay W. Counterintuitive Behavior of Social Systems. **Technology Review**. Alumni Association of Massachusetts Institute of Technology, março, 1995.

FORRESTER, Jay W. Designing the Future. Universidad de Sevilla. Sevilla, Espanha, dezembro, 1998.

FORRESTER, Jay W. **Industrial Dynamics**. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MIT Press, 1965.

FORRESTER, Jay W. Industrial Dynamics: A Major Breakthrough for Decision Makers. **Harvard Business Review**, Vol 36, julho/agosto, p. 37-66, 1958.

FORRESTER, Jay W. Learning through System Dynamics as Preparation for the 21st Century. **Systems Thinking And Dynamic Modeling Conference For K-12 Education**, Concord Academy, Concord MA, EUA, junho, 1994.

FORRESTER, Jay W. Market Growth as Influenced by Capital Investment. **Pegasus Communications**. Forrester collected Papers, Waltham, MA, EUA, Chapter 7, p. 111-132, 1975.

FORRESTER, Jay W. **Principles of Systems: text and workbook chapters 1 through 10**. Wright-Allen Press, Cambridge, Massachusetts, EUA, 1976.

FORRESTER, Jay W. System Dynamics and K-12 Teachers. **Massachusetts Institute of Technology**, A lecture at the University of Virginia School of Education, MIT, Cambridge MA, EUA, maio, 1996.

FORRESTER, Jay W. System Dynamics and Learner-Centered-Learning in Kindergarten through 12th Grade Education. **Massachusetts Institute of Technology**, A lecture at Sloan School of Management, MIT, Cambridge MA, EUA, dezembro, 1992.

FORRESTER, Jay W. System Dynamics and the Lessons of 35 Years. **The Systemic Basis of Policy Making in the 1990s**, MIT Press, Cambridge MA, abril, 1991.

FORRESTER, Jay W. System Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR. **System Dynamics Review**, MIT, Cambridge MA, EUA, Vol.10, No.2, summer, 1994.

FORRESTER, Jay W. The Beginning of System Dynamics. **Banquet Talk At The International Meeting Of The System Dynamics Society**. Stuttgart, Alemanha, julho, 1989.

FORRESTER, Jay W; LEGASTO, Augusto A.; LYNEIS, James M. **Studies in the Management Sciences: System Dynamics**. Amsterdam Holanda: North Holland Publishing Company, Volume 14, 1980.

FRANCISCO, Devanil A. **Minimização dos estoques para forçar o aparecimento dos problemas que existem na empresa**. 1991. Dissertação de mestrado em engenharia de produção e sistemas – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis.

GAONA, Hugo B. M. **O uso da simulação para avaliar mudanças organizacionais na produção**. 1995. Dissertação de mestrado em engenharia de produção e sistemas – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis.

GARY, Michael S. Mistakes and misunderstandings: examining dimensional inconsistency. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, Janeiro, 1992.

GLASS, William. Teaching system dynamics: looking at epidemics. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, outubro, 1991.

GONÇALVES, Paulo Sérgio; et al. **Administração de estoques: teoria e prática**. RJ: Interciência. 1979.

GOODMAN, Michael R. **Study notes in System Dynamics**. Cambridge Mass: MIT Press, Inc., 1974

GRAHL, Everaldo A. **Treinamento em sistemas de apoio à decisão baseado na simulação empresarial**. 1992. Dissertação de mestrado em engenharia de produção e sistemas – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis.

GRAMIGNA, Maria R. M. **Jogos de Empresa**. São Paulo: Makron Books, 1994.

HANDFIELD, Robert B; NICHOLS, Ernest L. **Introduction to Supply Chain Management**, New Jersey ,USA: Prentice-Hall, Inc. 1999.

HAMMOND, Janice H. The Beer Game: Description of Exercise. **Harvard Business School**, fevereiro, 1997.

HARDIN, Garrett. The Tragedy of the Commons. Science, **American Association for the Advancement of Science**, 162: 1243-1248. 1968.

HIGHT, Jim. System Dynamics for Kids. **Association of Alumni and Alumnae of MIT**, Technology Review, MIT News, vol. 98, no 2, fevereiro/março, 1995.

HOPKINS, Pamela Lee. Simulating Hamlet in the Classroom. **System Dynamics Review** 8, John Wiley & Sons Ltd., no. 1, 91-98,1992.

JACOBS, F.R. Playing the beer distribution game over the Internet: **Production and Operations Management**, Volume 9, p. 31-39.

KAMINSKY, Phillip. Em: <www.ieor.berkeley.edu/~kaminsky> Acesso em: junho, 2001.

KELLE, Peter; MILNE, Alistair. The effect of (s, S) ordering policy on the supply chain. **International Journal of Production Economics** 59, p. 113–122,1999.

KIMBROUGH, Steven O; WU, D.J.; ZONG, Fang. Computers play the beer game: can artificial agents manage supply chains? **Decision Support Systems**, EUA: **Elsevier Science B.V**, volume 33, p. 323-333, julho, 2002.

KURONO, H.; SHIMADA, T.; KAMEYAMA, S.; SUMITA, T.; HIDAKA, S. A revised edition of the Beer Game. **15th International System Dynamics Conference**, Istanbul, Turkey, vol.1; 19-22; p. 379-382, agosto, 1997.

LANE, D.C. On a Resurge of Management Simulations and Games, **Journal of Operational Research Society**, Vol 46, 1995.

LEE, H.L.; PADMANABHAN,V.; WHANG, S. The bullwhip effect in supply chains. **Sloan Management Review**, Spring, p.93-102, 1997.

LEE, H.L.; PADMANABHAN, V.; WHANG, Seungjin. Information distortion in a supply chain: the bullwhip effect. **Management Science**, Volume 43, p. 546-558, 1997.

LEE, Hau L.; WHANG, Seungjin. Information Sharing in a Supply Chain. **Research Paper Series**. Graduate school of business Stanford University, julho, 1998.

LEE, Hau L.;WHANG, Seungjing; PADMANABHAN, V., **The Paralyzing Curse of the Bullwhip effect in a Supply Chain**, Stanford University, March, 1995.

LEVI, David S.; KAMINSKY, Philip. **Designing and Managing the Supply Chain**, USA: McGraw Hill, 2000.

LEVI, David S.; KAMINSKY, Philip. The Beer Game: Demonstrating the Value of Integrated Supply Chain Management.
Disponível em: <primal.iems.nwu.edu/~levi/prolog/>. Acesso em: junho, 2001.

LEWIS, Colin D. **Demand Forecasting and Inventory Control**, USA: Woodhead Publishing Ltd, 1997.

LYNEIS, Debra. Bringing System Dynamics to a School near you: suggestions for Introducing and Sustaining System Dynamics in K-12 Education. **The Creative Learning Exchange**, volume 10, número 1, 2001.

LYNEIS, Debra; TICOTSKY, Alan; QUADEN, Rob. The in and out Game. **The Creative Learning Exchange**, volume 9, número 3, 2000.

LYNEIS, James M. System dynamics for business strategy: a phased approach. **System Dynamics Review**. John Wiley & Sons. Ltd., vol 15, n 1, 37-70, 1999.

MACHUCA, J.A.D.; BARAJAS, R.P. A computerized network version of the Beer Game via the Internet. **System Dynamics Review**. Vol 13, p. 323-340.

MACHUCA, J.A.D.; BARAJAS, R.P. The Beer Game, with the possibility of the use of EDI, through the Internet. **15th International System Dynamics Conference**, Istanbul, Turkey, vol.1, Page 383-385, agosto, 1997.

MAGEE, John F. **Logística Industrial: análise e administração dos sistemas de suprimento e distribuição**. São Paulo: Editora Pioneira, 1977.

MALER, Frank H. New Product diffusion models in innovation management: a system dynamics perspective. **System Dynamics Review**. John Wiley & Sons. Ltd., Vol. 14, n 4, p. 285-308, 1998.

MARTIN, Leslie A. An introduction to feedback. **MIT System Dynamics in Education Project**, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge MA, outubro, 1997.

MARTIN, Leslie A. Beginner modeling exercises. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, setembro, 1997.

MARTIN, Leslie A. Exploring S-Shaped Growth. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, outubro, 1996.

MARTIN, Leslie A. Mistakes and misunderstandings: table functions. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, julho, 1997.

MARTIN, Leslie A. The first step. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, julho, 1997.

MEADOWS, Donella H. System Dynamics Meets the Press. **The Global Citizen**, Washington-DC: Island Press, p. 1-12, 1991.

MENDES, Maria L.M.S. **O modelo GS-RH: uma integração de jogos de empresas para treinamento e desenvolvimento gerencial**. 1997.

Dissertação de mestrado em engenharia de produção e sistemas – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis.

METTERS, Richard. Quantifying the bullwhip effect in supply chains **Journal of Operations Management**, vol 15, p. 89-100, Maio, 1997.

MSEFER, Kamil; WHELAN, Joseph. Economic supply & demand. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, janeiro, 1996.

NÓBREGA JUNIOR, Joaquim I. C. **Metodologia para Análise Estratégica de Projetos de Cadeias de Abastecimento Industriais**. 2000. Dissertação de mestrado: em engenharia de produção e sistemas – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis.

OH, Alice. Graphical integration exercises part one: exogenous rates. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, dezembro, 1995.

ORLANDELI, Rogério. **Um Jogo De Empresas Envolvendo Cadeia Logística: Gamef61- Um Enfoque Educacional**. 2001. Dissertação de mestrado: em engenharia de produção e sistemas – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis.

PETERSON, Steve; RICHMOND, Barry. An introduction to Systems Thinking, **High Performance Systems**, Hanover, janeiro, 2000.

QING, Cao; KENG, Siau. Artificial Intelligence Approach To Analyzing The Bullwhip Effect In Supply Chains. **Americas Conference on Information Systems**; Milwaukee, WI, USA, agosto, 1999.

QING, Cao; KENG, Siau. Modeling The Bullwhip Effect In Supply Chains Using A Group Problem Solving Approach. **Information Resources Management Association International Conference**, p. 437-438, 2000.

RALPH, Murray. **Probabilidade e estatística**. Tradução de Alfredo Alves de Faria. SP: McGraw-Hill do Brasil, 1978.

RATHA, Manas. The credit card model. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, junho, 1997.

RATHA, Manas; ZHU, Helen. Graphical integration exercises part five: qualitative graphical integration. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, setembro, 1997.

RICHMOND, Barry. Systems Thinking: critical thinking skills for the 1990s and beyond. **System Dynamics Review**, John Wiley & Sons. Ltd., Vol.9, no.2, p. 113-133, Janeiro, 1993.

RICHMOND, Barry. Getting Stated with iThink v 6.0. The Systems Thinking Company. www.hps-inc.com. Acesso em dezembro, 2000.

ROBERTS, Nancy. Teaching Dynamic Feedback Systems Thinking: an Elementary View. **Management Science**, vol 24, no. 8, p. 836-843, 1978.

SENGE, Peter M. **A Quinta Disciplina: Arte e Prática de Aprendizagem**. São Paulo- S.P. Editora Best Seller uma divisão da Editora Nova Cultural Ltda, 3ª edição, Tradução de Regina Amarante, 1998.

SENGE, Peter M. **A Quinta Disciplina Caderno De Campo: Estratégias e Ferramentas Para Construir Uma Organização Que Aprende**, Rio de Janeiro: Quality Mark, 1999.

SENGE, P.M.; STERMAN, J.D. Systems thinking and organizational learning: acting locally and thinking globally in the organization of the future, **European Journal Operational Research** 59, vol. 3, p. 137-145, 1992.

SHAMBLIN, James E.; STEVENS Jr, G.T. **Pesquisa Operacional: Uma Abordagem Básica**. SP: Editora Atlas S.A., 1989.

SILVA, Renaud B. **Administração De Material: Teoria e Prática**. RJ, Associação Brasileira de administração de Material, 1981.

SLACK, Nigel, et al. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas S.A., 1996.

SOUZA. José Carlos. **Análise de sistemas logísticos**, outubro. 2000. Notas de aula. Transparências.

SPIEGEL, Murray Ralph. **Probabilidade e estatística**. SP: McGraw-Hill do Brasil, Coleção Schaum, Tradução de Alfredo Alves de Faria. 1978

STANLEY, Laughton. Graphical integration exercises part four: reverse graphical integration. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, agosto, 1996.

STANLEY, Laughton; ZHU, Helen. Beginner modeling exercises section 5 mental simulation of combining feedback in first-order systems. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, maio, 1996.

STERMAN, John D. **A Skeptic's Guide to Computer Models. Managing a Nation: The Microcomputer Software Catalog**, Boulder, CO: Westview Press, 209-229, 1991.

STERMAN, JohnD. Instructions for Running the Beer Distribution Game. **Sloan School of Management**, Cambridge MA, MIT Press, outubro, 1984.

STERMAN, J.D. Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment, **Management Science**, Vol 35, no 3, p.321-339, março, 1989.

STERMAN, John D. Teaching Takes Off: Flight Simulators for Management Education – The Beer Game, **OR/MS Today**. MIT Press, p. 40-44, Cambridge MA, outubro, 1992.

STERMAN, J.D. The Beer Distribution Game. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, 1992.

STERMAN, J.D. **The Beer Distribution Game** in J. Heineke and L. Meile (eds), **Games and Exercises for Operations Management**, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, p 101-112, 1995.

STOCKTON, Robert S. **Sistemas básicos de controle de estoques: conceitos e análises**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 1976.

Supply-chain and the Bullwhip effect. Disponível em: <www.wholesale-distributionnet/info/supply-chain-bullwhip.html>. Acesso em: novembro, 2001.

SWEENEY, Linda B.; STERMAN, Jonh D. Bathtub dynamics: initial results of a systems thinking inventory. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, versão 1.2, setembro, 2000.

The Beergame. Disponível em <www.sol-ne.org/pratool/beer.html> Acesso em: junho, 2001.

TUBINO, Dalvio F. **Manual de Planejamento e Controle da Produção**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2ª edição, 2000.

WHELAN, Joseph G. Beginner modeling exercises section 2 mental simulation of simple positive feedback. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, março, 1996.

WHELAN, Joseph G. Modeling exercises section 1. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, maio, 1994.

WHELAN, Joseph G. Modeling exercises section 2. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, agosto, 1994.

ZHU, Helen. Beginner modeling exercises section 3 mental simulation of simple negative feedback. **MIT System Dynamics in Education Project**, Cambridge MA, MIT Press, março, 1996.

ANEXO

Este anexo se refere às equações situadas na terceira camada do software iThink, que regem o modelo desenvolvido neste trabalho, o jogo da cerveja (situado na segunda camada). As equações estão divididas pelos setores.

A1- EQUAÇÕES DO SETOR CONSUMIDOR

Valores da Demanda Determinística (da primeira semana até a quarta é igual a 4 unidades e da quinta semana em diante é igual a 8 unidades):

CONVERSOR: Demanda_Determinística = GRAPH(time)

(1.00, 4.00), (2.00, 4.00), (3.00, 4.00), (4.00, 4.00), (5.00, 8.00), (6.00, 8.00), (7.00, 8.00), (8.00, 8.00), (9.00, 8.00), (10.0, 8.00), (11.0, 8.00), (12.0, 8.00), (13.0, 8.00), (14.0, 8.00), (15.0, 8.00), (16.0, 8.00), (17.0, 8.00), (18.0, 8.00), (19.0, 8.00), (20.0, 8.00), (21.0, 8.00), (22.0, 8.00), (23.0, 8.00), (24.0, 8.00), (25.0, 8.00), (26.0, 8.00), (27.0, 8.00), (28.0, 8.00), (29.0, 8.00), (30.0, 8.00)

Cálculo da média da demanda determinística:

INFLOWS (fluxo de entrada):

flu_determ = Demanda_Determinística

STOCK (reservatório):

Soma_2(t) = Soma_2(t - dt) + (flu_determ) * dt

VALOR INICIAL:

INIT Soma_2 = 0

contagem = counter(0,STOPTIME)

CONVERSOR:

Media_movel = IF(contagem>0) THEN

Soma_2/contagem

ELSE

```

0
atraso_determ = DELAY(Demanda_Determinística,1)
diferença = IF(Media_movel = 0) THEN
0
ELSE
atraso_determ-Media_movel
dif2 = diferença^2

```

Cálculo da variância e desvio padrão da demanda determinística:

```

INFLOWS: flu_varian = dif2
STOCK: soma_p_varian(t) = soma_p_varian(t - dt) + (flu_varian) * dt
INIT soma_p_varian = 0
CONVERSOR:
variancia = IF(contagem>2) THEN
soma_p_varian/(contagem-2)
ELSE
soma_p_varian
desvio_determ = SQRT(variancia)

```

Demanda Aleatória, geração dos números aleatórios:

```

CONVERSORES:
r1 = normal(0,1)
r2 = normal(0,1)
r3 = normal(0,1)
r4 = normal(0,1)
r5 = normal(0,1)
r6 = normal(0,1)
r7 = normal(0,1)
r8 = normal(0,1)
r9 = normal(0,1)
r10 = normal(0,1)
r11 = normal(0,1)
r12 = normal(0,1)

```

Soma dos valores absolutos gerados seguindo uma distribuição normal de média 0 e desvio padrão 1:

$$\text{soma} = \text{ABS}(r1) + \text{ABS}(r2) + \text{ABS}(r3) + \text{ABS}(r4) + \text{ABS}(r5) + \text{ABS}(r6) + \text{ABS}(r7) + \text{ABS}(r8) + \text{ABS}(r9) + \text{ABS}(r10) + \text{ABS}(r11) + \text{ABS}(r12)$$

Seguindo a equação 20:

$$h = 12$$

$$\text{Média} = 6$$

$$\text{Desvio_Padrão} = 2$$

$$X = \text{Desvio_Padrão} * ((12/h)^{0.5}) * (\text{soma} - h/2) + \text{Média}$$

$$X_arredondado = \text{ROUND}(X)$$

$$\text{Demanda_Aleatoria} = X_arredondado$$

Escolha da Demanda:

$$\text{Escolha_da_Demanda} = 1$$

$$\text{Demanda_escolhida} =$$

IF NOT (Escolha_da_Demanda) THEN

Demanda_Deterministica

ELSE

Demanda_Aleatoria

Pedido Consumidor:

$$\text{pedido_consumidor} = \text{Demanda_escolhida}$$

A figura 59 mostra o setor consumidor por completo, onde está a opção de escolha da demanda assim como os cálculos da média e desvio padrão referente à demanda determinística e os valores gerados para a demanda aleatória.

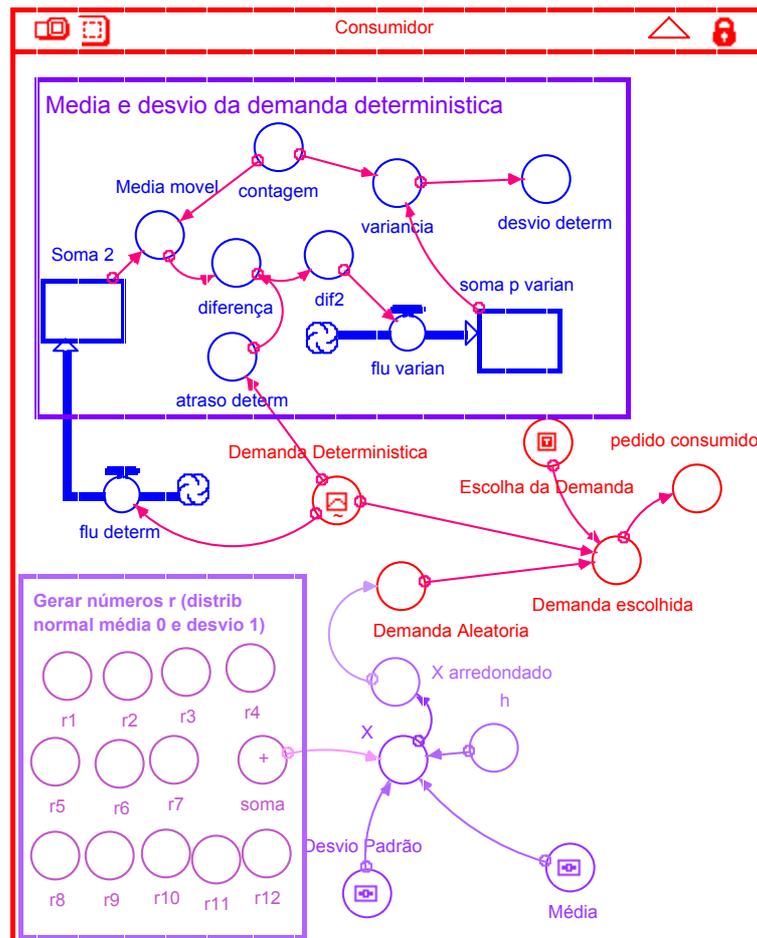


Figura 59: Setor consumidor.

A2- EQUAÇÕES DO SETOR VAREJISTA

Demanda a ser atendida, Estoque, Pedidos não atendidos:

CONVERSOR:

pedido_consumidor = Demanda_escolhida

OUTFLOW (FLUXO DE SAÍDA):

demanda_consumidora = pedido_consumidor

STOCK:

INIT Estoque_real_Varejista = 12

$$\text{Estoque_real_Varejista}(t) = \text{Estoque_real_Varejista}(t - dt) + (\text{entrega_A_V} - \text{demanda_consumidora}) * dt$$

INFLOW (FLUXO DE ENTRADA):

entrega_A_V = CONVEYOR OUTFLOW

(CONVEYOR é o reservatório cujos produtos demoram um período de 2 semanas para chegar).

CONVERSOR:

```

Estoque_Varejista =
    IF(Estoque_real_Varejista<=0) THEN
        0
    ELSE
        Estoque_real_Varejista
Pedidos_nao_atendidos_Varejista =
    IF(Estoque_real_Varejista<0) THEN
        Estoque_real_Varejista*(-1)
    ELSE
        0

```

Cálculo dos custos:

```

Custo_Falta_Varejista = 1.0
Custo_Falta_var = Custo_Falta_Varejista * Pedidos_nao_atendidos_
_Varejista
Custo_Manut_Varejista = 0.5
Custo_manut_var = Estoque_Varejista*Custo_Manut_Varejista
Custo_Pedido_Varejista = 0.5
Custo_Pedido_var =
    IF (quantidade_pedida_varej>0) THEN
        Custo_Pedido_Varejista
    ELSE
        0

```

INFLOW:

```

Varej_custo_inflow = SUM (Custo_Falta_var, Custo_manut_var,
Custo_Pedido_var)

```

STOCK:

```

INIT Custo_Total_Varejista = 0
Custo_Total_Varejista (t) = Custo_Total_Varejista(t - dt) +
(Varej_custo_inflow) * dt

```

Cálculo do lote de reposição (Q):**CONVERSOR:**

Taxa_de_estocagem_varejista = 0.12

Custo_de_fabricação = 0.5

Q_economico =

ROUND(SQRT(2*pedido_consumidor*Custo_Pedido_Varejista/(Taxa_de_estocagem_varejista*Custo_de_fabricação)))

Q:_lote_de_reposição = 10

Mudar_Q = 1

Q = IF(Mudar_Q=1) THEN

Q:_lote_de_reposição

ELSE

Q_econômico

Cálculo do Nível de Serviço:

oitenta_% = 0

oitenta_e_cinco% = 0

noventa% = 0

noventa_e_cinco% = 0

noventa_e_nove% = 0

nivel = IF (oitenta_%=1) THEN 0.84

ELSE

IF(oitenta_e_cinco%=1) THEN 1.04

ELSE

IF(noventa%=1) THEN 1.28

ELSE

IF(noventa_e_cinco%=1) THEN 1.64

ELSE

IF(noventa_e_nove%=1) THEN 2.32

ELSE 0

Cálculo do Estoque de Segurança:

Qs:estoque_de_segurança = 4

Estoq_Seguran = IF(Escolha_da_Demanda=1) THEN

```

        ROUND(nivel*Desvio_Padrão)
    ELSE
        ROUND(nivel*desvio_determ)
Mudar_Qs_varej = 1
Estoque_de_segurança = IF(Mudar_Qs_varej=1) THEN
    Qs:estoque_de_segurança
    ELSE
        Estoq_Seguran

```

Cálculo do Estoque Máximo:

```

Estoq_máx = Estoque_de_segurança+Q
Mudar_Qmax_varej = 1
Qmax: estoque_máximo = 30
Estoque_máximo = IF(Mudar_Qmax_varej=1) THEN
    Qmax:estoque_máximo
    ELSE
        Estoq_máx

```

Política de Estoques:

```

varej_ord_QsQmax =
    IF(Estoque_Varejista<=Estoque_de_segurança) THEN
        Estoque_máximo-Estoque_Varejista
    ELSE
        0
varej_ord_QsQ = IF(Estoque_Varejista<=Estoque_de_segurança) THEN
    Q
    ELSE
        0
varej_ord_Q = Q
varej_ord_ate_Qmax = IF(Estoque_Varejista<=Estoque_máximo) THEN
    Estoque_máximo-Estoque_Varejista
    ELSE
        0
QsQmax_varej = 0

```

```

QsQ_varej = 0
Pedir_Q_varej = 0
atualizar_até_Qmax_varej = 0
pedido_varejistafeito_pelo_computador =
IF(QsQmax_varej=1) THEN
    varej_ord_QsQmax
ELSE
    IF(QsQ_varej=1) THEN
        varej_ord_QsQ
    ELSE
        IF(atualizar_até_Qmax_varej=1) THEN
            varej_ord_ate_Qmax
        ELSE
            IF(pedir_Q_varej=1) THEN
                varej_ord_Q
            ELSE
                0
opção:_varejista = 0
pedido_varejista = 0
quantidade_pedida_varej = IF (opção:_varejista=1) THEN
    pedido_varejista
    ELSE
        pedido_varejistafeito_pelo_computador

```

A figura 60 mostra o setor varejista, seu estoque, pedidos não atendidos, custos, política de estoques (incluindo estoque de segurança, estoque máximo e lote de reposição) e nível de serviço.

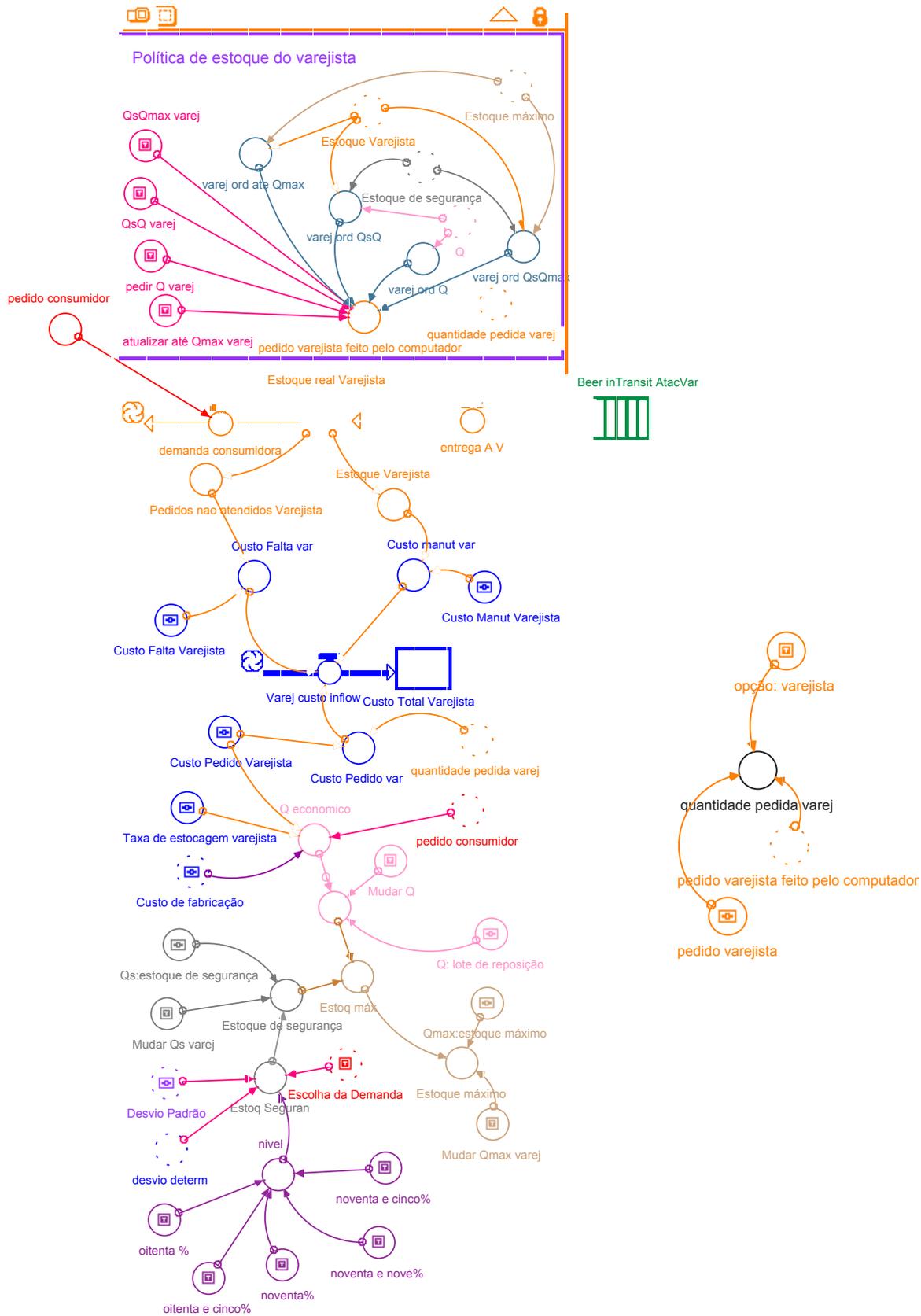


Figura 60: Setor Varejista

A3- EQUAÇÕES DO SETOR ATACADISTA

Demanda a ser atendida, Estoque, Pedidos não atendidos:

INFLOWS:

demanda_varejista = quantidade_pedida_varej

CONVEYOR:

INIT Beer_inTransit_AtacVar = 8

Beer_inTransit_AtacVar (t) = Beer_inTransit_AtacVar (t - dt) +
(demanda_varejista - entrega_A_V) * dt

TRANSIT TIME = 2

INFLOW LIMIT = INF

CAPACITY = INF

OUTFLOWS:

entrega_A_V (IN SECTOR: Varejista)

INFLOWS:

entrega_D_A = CONVEYOR OUTFLOW

STOCK:

INIT Estoque_real_atacadista = 12

Estoque_real_atacadista (t) = Estoque_real_atacadista (t - dt) +
(entrega_D_A - demanda_varejista) * dt

OUTFLOWS:

demanda_varejista = quantidade_pedida_varej

CONVERSOR:

Estoque_atacadista = IF(Estoque_real_atacadista<=0) THEN

0

ELSE

Estoque_real_atacadista

Pedidos_nao_atendidos_Atacad =

IF(Estoque_real_atacadista<0) THEN

Estoque_real_atacadista*(-1)

ELSE

0

Cálculo dos custos:

Custo_Falta_atacadista = 1.0

Custo_Falta__atac = Custo_Falta_atacadista *

Pedidos_nao_atendidos_Atacad

Custo_Manut_atacadista = 0.5

Custo_manut_atac = (Estoque_atacadista + Beer_inTransit_AtacVar) *

Custo_Manut_atacadista

Custo_Pedido_atacadista = 0.5

Custo_Pedido_atac = IF(quantidade_pedida_atacad>0) THEN

Custo_Pedido_atacadista

ELSE

0

INFLOWS:

Atac_custo_inflow = SUM(Custo_Falta__atac, Custo_manut_atac,
Custo_Pedido_atac)

STOCK:

INIT Custo_Total_Atacadista = 0

Custo_Total_Atacadista(t) = Custo_Total_Atacadista(t - dt) +
(Atac_custo_inflow) * dt

Cálculo do lote de reposição (Q):**CONVERSOR:**

Taxa_de_estocagem_atacadista = 0.12

Custo_de_fabricação = 0.5

Q_economico_atac =

ROUND(SQRT(2*quantidade_pedida_varej*Custo_Pedido_atacadista/(
Taxa_de_estocagem_atacadista*Custo_de_fabricação)))

Q:_lote_de_reposição_atac = 10

Mudar_Q_atac = 1

Q_atac = IF(Mudar_Q_atac=1) THEN

Q:_lote_de_reposição_atac

ELSE

Q_econômico_atac

Cálculo do Nível de serviço:

oitenta%atac = 0

oitenta_e_cinco%_atac = 0

noventa%_atac = 0

noventa_e_cinco%_atac = 0

noventa_e_nove%_atac = 0

Nivel_atac =

IF (oitenta%atac=1) THEN 0.84

ELSE

IF(oitenta_e_cinco%_atac=1) THEN 1.04

ELSE

IF(noventa%_atac) THEN 1.28

ELSE

IF(noventa_e_cinco%_atac) THEN 1.64

ELSE

IF(noventa_e_nove%_atac=1) THEN 2.32

ELSE 0

Cálculo do desvio padrão da demanda varejista (quantidade de pedidos feitos pelo varejista = demanda vista pelo atacadista):

INFLOWS (fluxo de entrada):

flu_demanda_var = quantidade_pedida_varej

STOCK (reservatório):

Soma_3(t) = Soma_3(t - dt) + (flu_demanda_var) * dt

VALOR INICIAL:

INIT Soma_3 = 0

Contagem_2 = counter(0,STOPTIME)

CONVERSOR:

Media_movel_var = IF(contagem_2>0) THEN

Soma_3/contagem_2

ELSE

0

atraso_demanda_varej = DELAY(quantidade_pedida_varej,1)

diferença_var = IF(Media_movel_var = 0) THEN

```

0
ELSE
    atraso_demanda_varej-Media_movel_var
dif2_var = (diferença_var)^2

```

Cálculo da variância e desvio padrão da demanda varejista (da quantidade pedida pelo varejista):

INFLOWS: flu_varian_varej = dif2_var

STOCK: soma_p_varian_varej(t) = soma_p_varian_varej(t - dt) +
(flu_varian_varej) * dt

INIT soma_p_varian_varej = 0

CONVERSOR:

```

variancia_varej = IF(contagem_2>2) THEN
    soma_p_varian_varej/(contagem_2-2)
ELSE
    soma_p_varian_varej
desvio_demanda_varej = SQRT(variancia_varej)

```

Cálculo do Estoque de Segurança:

Qs:estoque_de_segurança_atac = 4

Estoq_Seguran_atac = ROUND(Nível_atac*desvio_demanda_varej)

Mudar_Qs_atac = 1

```

Estoque_de_segurança_atac =
    IF(Mudar_Qs_atac=1) THEN
        Qs:estoque_de_segurança_atac
    ELSE
        Estoq_Seguran_atac

```

Cálculo do Estoque Máximo:

Estoq_max_atac = Estoque_de_segurança_atac+Q_atac

Mudar_Qmax_atac = 1

Qmax:estoque_máximo_atacad = 30

Estoque_máximo_atacad = IF(Mudar_Qmax_atac=1) THEN

```

                                Qmax:estoque_máximo_atacad
                                ELSE
                                Estoq_max_atac

```

Política de Estoques:

```

Atacad_ord_QsQmax =
    IF(Estoque_atacadista<=Estoque_de_segurança_atac) THEN
        Estoque_máximo_atacad-Estoque_atacadista
    ELSE
        0
Atacad_ord_QsQ =
    IF(Estoque_atacadista<=Estoque_de_segurança_atac) THEN
        Q_atac
    ELSE
        0
Atacad_ord_Q = Q_atac
Atacad_ord_ate_Qmax =
    IF(Estoque_atacadista<=Estoque_máximo_atacad) THEN
        Estoque_máximo_atacad-Estoque_atacadista
    ELSE
        0
QsQmax_atacad = 0
QsQ_atacad = 0
pedir_Q_atacad = 0
Atualizar_até_Qmax_atacad = 0
pedido_atacadistafeito_pelo_comput =
    IF(QsQmax_atacad=1) THEN
        atacad_ord_QsQmax
    ELSE
        IF(QsQ_atacad=1) THEN
            atacad_ord_QsQ
        ELSE
            IF(atualizar_até_Qmax_atacad=1) THEN
                atacad_ord_ate_Qmax

```

```
        ELSE
            IF(pedir_Q_atacad=1) THEN
                atacad_ord_Q
            ELSE
                0
opção:_atacad = 0
pedido_atacadista = 0
quantidade_pedida_atacad = IF (opção:_atacad=1) THEN
    pedido_atacadista
    ELSE
        pedido_atacadistafeito_pelo_comput
```

A figura 61 mostra o setor atacadista, seu estoque, pedidos não atendidos, custos, política de estoques (incluindo estoque de segurança, estoque máximo e lote de reposição) e nível de serviço. Além do cálculo da média e desvio padrão da demanda varejista (quantidade de pedidos varejista, que é a demanda vista pelo atacadista).

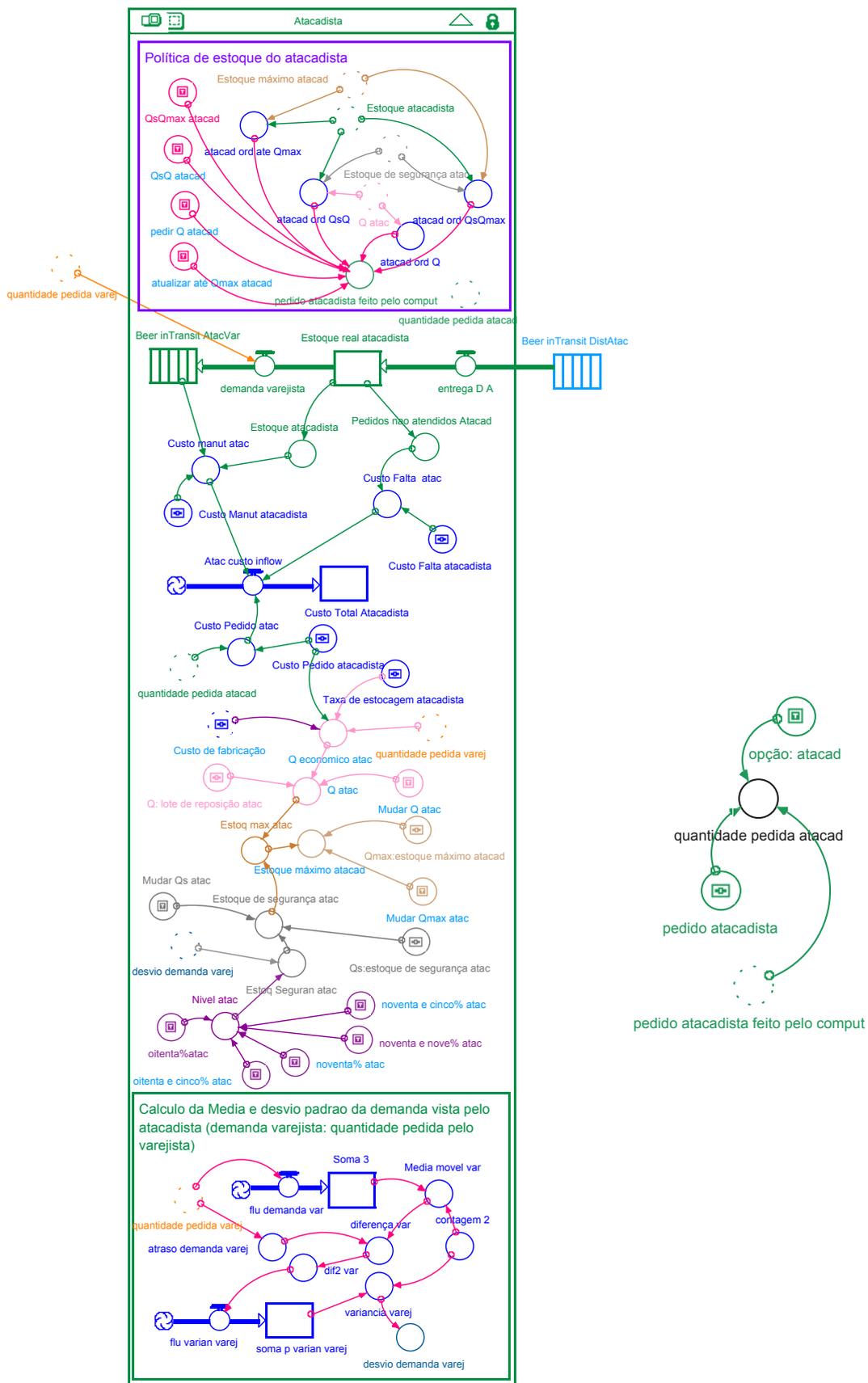


Figura 61: Setor Atacadista.

A4- EQUAÇÕES DO SETOR DISTRIBUIDOR

Demanda a ser atendida, Estoque, Pedidos não atendidos:

INFLOWS:

demanda_atacadista = quantidade_pedida_atacad

CONVEYOR:

INIT Beer_inTransit_DistAtac = 8

Beer_inTransit_DistAtac (t) = Beer_inTransit_DistAtac (t - dt) +
(demanda_atacadista - entrega_D_A) * dt

TRANSIT TIME = 2

INFLOW LIMIT = INF

CAPACITY = INF

OUTFLOWS:

entrega_D_A(IN SECTOR: Atacadista)

INFLOWS:

entrega_FD = CONVEYOR OUTFLOW

STOCK:

INIT Estoque_real_Distrib = 12

Estoque_real_Distrib(t) = Estoque_real_Distrib(t - dt) + (entrega_FD -
demanda_atacadista) * dt

OUTFLOWS:

demanda_atacadista = quantidade_pedida_atacad

CONVEYOR:

Estoque_Distribuidor = IF(Estoque_real_Distrib<=0) THEN

0

ELSE

Estoque_real_Distrib

Pedidos_nao_atendidos_Distrib = IF(Estoque_real_Distrib<0) THEN

Estoque_real_Distrib*(-1)

ELSE

0

Cálculo dos custos:

```

Custo_Falta_Distribuidor = 1.0
Custo_Falta__Distrib      =      Custo_Falta_Distribuidor      *
Pedidos_nao_atendidos_Distrib
Custo_Manutencao_Distribuidor = 0.5
Custo_Manutencao_Distrib      =      (Estoque_Distribuidor      +
Beer_inTransit_DistAtac) * Custo_Manutencao_Distribuidor
Custo_Pedido_Distribuidor = 0.5
Custo_pedido_dist = IF(quantidade_pedida_distrib>0) THEN
                        Custo_Pedido_Distribuidor
                        ELSE
                        0

```

INFLOWS:

```

D_custo_inflow      =      SUM      (Custo_Falta__Distrib,
Custo_Manutencao_Distrib, Custo_pedido_dist)

```

STOCK:

```

INIT Custo_Total_Distrib = 0
Custo_Total_Distrib(t) = Custo_Total_Distrib (t - dt) + (D_custo_inflow) *
dt

```

Cálculo do lote de reposição (Q):**CONVERSOR:**

```

Taxa_de_estocagem_Distribuidor = 0.12
Custo_de_fabricação = 0.5
Q_economico_distrib =
    ROUND(SQRT(2*quantidade_pedida_atacad*Custo_Pedido_Distrib
    uidor/(Taxa_de_estocagem_Distribuidor*Custo_de_fabricação)))
Q:_lote_de_reposição_distrib = 10
Mudar_Q_dist = 1
Q_distrib = IF(Mudar_Q_dist=1) THEN
                Q:_lote_de_reposição_distrib
            ELSE
                Q_economico_distrib

```

Cálculo do Nível de serviço:

oitenta%_dist = 0

oitenta_e_cinco%_dist = 0

noventa%_dist = 0

noventa_e_cinco%_dist = 0

noventa_e_nove%_dist = 0

Nivel_dist =

IF (oitenta%_dist=1) THEN 0.84

ELSE

IF(oitenta_e_cinco%_dist=1) THEN 1.04

ELSE

IF(noventa%_dist) THEN 1.28

ELSE

IF(noventa_e_cinco%_dist) THEN 1.64

ELSE

IF(noventa_e_nove%_dist=1) THEN 2.32

ELSE 0

Cálculo do desvio padrão da demanda atacadista (quantidade de pedidos feitos pelo atacadista = demanda vista pelo distribuidor):

INFLOWS (fluxo de entrada):

flu_demanda_atac = quantidade_pedida_atacad

STOCK (reservatório):

Soma_4(t) = Soma_4(t - dt) + (flu_demanda_atac) * dt

VALOR INICIAL:

INIT Soma_4 = 0

Contagem_3 = counter(0,STOPTIME)

CONVERSOR:

Media_movel_atac = IF(contagem_3>0) THEN

Soma_4/contagem_3

ELSE

0

atraso_demanda_atac = DELAY(quantidade_pedida_atacad,1)

diferença_atac = IF(Media_movel_atac = 0) THEN

```

0
ELSE
    atraso_demanda_atac-Media_movel_atac
dif2_atac = (diferença_atac)^2

```

Cálculo da variância e desvio padrão da demanda atacadista (da quantidade pedida pelo atacadista):

INFLOWS: flu_varian_atac = dif2_atac

STOCK: soma_p_varian_atac(t) = soma_p_varian_atac(t - dt) +
(flu_varian_atac) * dt

INIT soma_p_varian_atac = 0

CONVERSOR:

```

variância_atac = IF(contagem_3>2) THEN
    soma_p_varian_atac/(contagem_3-2)
ELSE
    soma_p_varian_atac
desvio_demanda_atac = SQRT(variância_atac)

```

Cálculo do Estoque de Segurança:

Qs:estoque_de_segurança_distrib = 4

Estoq_Seguran_Dist = ROUND(Nível_dist*desvio_demanda_atac)

Mudar_Qs_dist = 1

Estoque_de_segurança_distrib = IF(Mudar_Qs_dist=1) THEN

Qs:estoque_de_segurança_distrib

ELSE

Estoq_Seguran_Dist

Cálculo do Estoque Máximo:

Estoq_max_dist = Estoque_de_segurança_distrib+Q_distrib

Mudar_Qmax_dist = 1

Qmax:estoque_máximo_distrib = 30

Estoque_máximo_distrib = IF(Mudar_Qmax_dist=1) THEN

Qmax:estoque_máximo_distrib

ELSE

Estoq_max_dist


```
0
opção:_distrib = 0
pedido_distribuidor = 0
quantidade_pedida_distrib = IF (opção:_distrib=1) THEN
    pedido_distribuidor
ELSE
    pedido_distribuidorfeito_pelo_comput
```

A figura 62 mostra o setor distribuidor, seu estoque, pedidos não atendidos, custos, política de estoques (incluindo estoque de segurança, estoque máximo e lote de reposição) e nível de serviço. Além do cálculo da média e desvio padrão da demanda atacadista (quantidade de pedidos feitos pelo atacadista, que é a demanda vista pelo distribuidor).

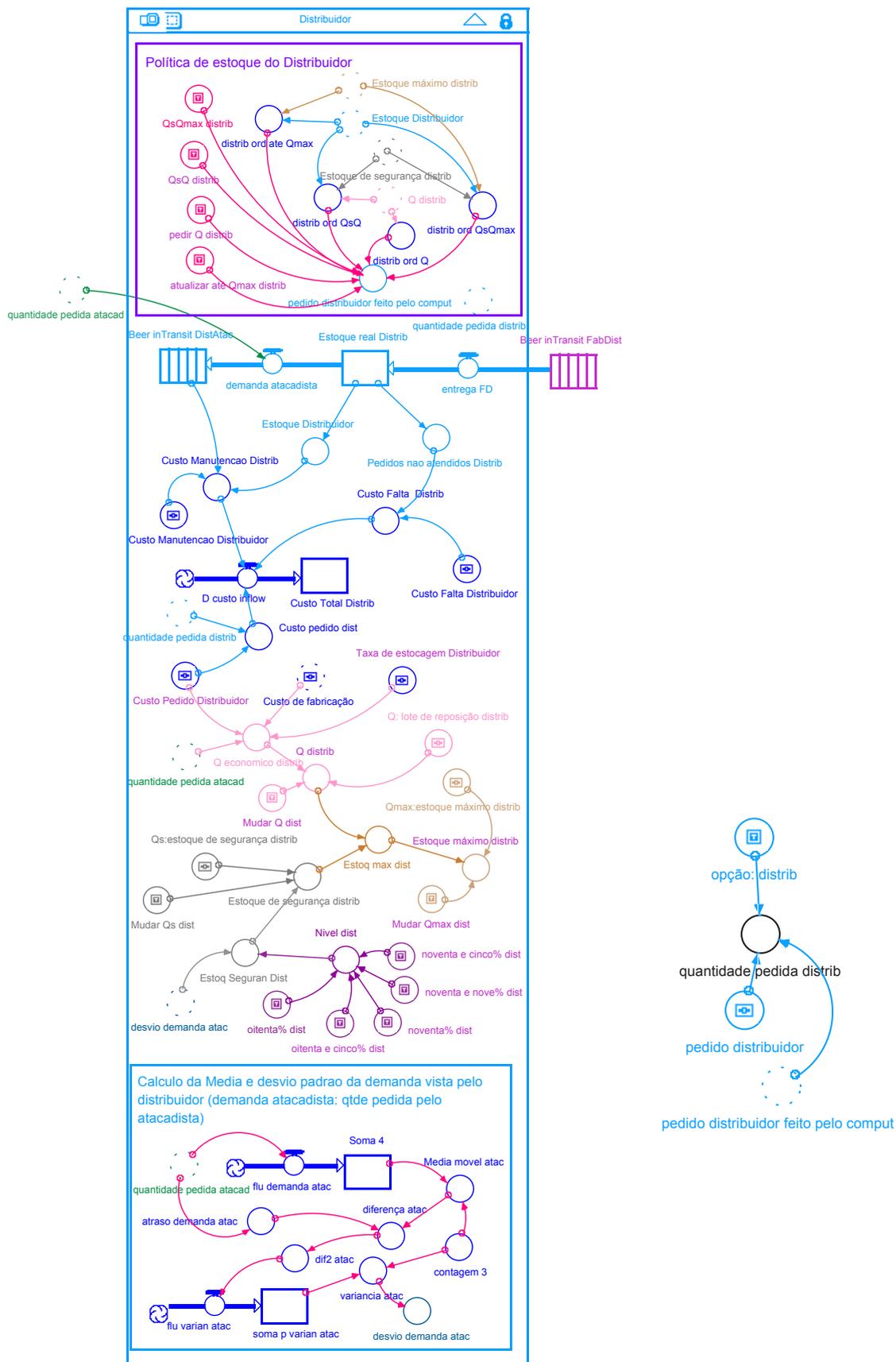


Figura 62: Setor Distribuidor.

A5- EQUAÇÕES DO SETOR FÁBRICA

Demanda a ser atendida, Estoque, Pedidos não atendidos:

INFLOWS:

demanda_distribuidor = quantidade_pedida_distrib

CONVEYOR:

INIT Beer_inTransit_FabDist = 8

Beer_inTransit_FabDist(t) = Beer_inTransit_FabDist(t - dt) +
(demanda_distribuidor - entrega_FD) * dt

TRANSIT TIME = 2

INFLOW LIMIT = INF

CAPACITY = INF

OUTFLOWS:

entrega_FD (IN SECTOR: Distribuidor)

INFLOWS:

entrega_F = CONVEYOR OUTFLOW

STOCK:

INIT Estoque_real_Fabrica = 12

Estoque_real_Fabrica(t) = Estoque_real_Fabrica(t - dt) + (entrega_F -
demanda_distribuidor) * dt

OUTFLOWS:

demanda_distribuidor = quantidade_pedida_distrib

INFLOWS:

producao_fabrica = quantidade_pedida_fabric

STOCK:

INIT Beer_in_transit_Fab = 8

Beer_in_transit_Fab(t) = Beer_in_transit_Fab(t - dt) + (producao_fabrica
- entrega_F) * dt

TRANSIT TIME = 2

INFLOW LIMIT = INF

CAPACITY = INF

OUTFLOWS:

entrega_F = CONVEYOR OUTFLOW

CONVEYOR:

```

Estoque_Fabrica = IF(Estoque_real_Fabrica<=0) THEN
    0
    ELSE
        Estoque_real_Fabrica
Pedidos_nao_atendidos_Fabrica = IF(Estoque_real_Fabrica<0) THEN
    Estoque_real_Fabrica*(-1)
    ELSE
        0

```

Cálculo dos custos:

```

Custo_Falta_Fabrica = 1.0
Custo_Falta_fabr      =      Custo_Falta_Fabrica      *
Pedidos_nao_atendidos_Fabrica
Custo_Manutencao_Fabrica = 0.5
Custo_manut_fabr = (Estoque_Fabrica + Beer_inTransit_FabDist +
Beer_in_transit_Fab) * Custo_Manutencao_Fabrica
Custo_Pedido_Fabrica = 0.5
custo_pedido_fab =
    IF(quantidade_pedida_fabric>0)
        THEN
            Custo_Pedido_Fabrica
        ELSE
            0
Custo_de_fabricação = 0.5

```

INFLOWS:

```

F_custo_inflow = SUM (Custo_Falta_fabr, Custo_manut_fabr,
custo_pedido_fab, Custo_de_fabricação)

```

STOCK:

```

INIT Custo_Total_Fabr = 0
Custo_Total_Fabr(t) = Custo_Total_Fabr(t - dt) + (F_custo_inflow) * dt

```

Cálculo do lote de reposição (Q):**CONVERSOR:**

```

Taxa_de_estocagem_Fabrica = 0.12

```

```

Q_economico_fabr =
  ROUND(SQRT(2*quantidade_pedida_distrib*Custo_Pedido_Fabrica/
    (Taxa_de_estocagem_Fabrica*Custo_de_fabricação)))
Q:_lote_de_reposição_fabr = 10
Mudar_Q_fabrica = 1
Q_fabr = IF(Mudar_Q_fabrica=1) THEN
  Q:_lote_de_reposição_fabr
ELSE
  Q_economico_fabr

```

Cálculo do Nível de serviço:

```

oitenta%_fabr = 0
oitenta_e_cinco%_fabr = 0
noventa%_fabr = 0
noventa_e_cinco%_fabr = 0
noventa_e_nove%_fabr = 0
Nivel_fabr =
  IF (oitenta%_fabr=1) THEN 0.84
  ELSE
    IF(oitenta_e_cinco%_fabr=1) THEN 1.04
    ELSE
      IF(noventa%_fabr) THEN 1.28
      ELSE
        IF(noventa_e_cinco%_fabr) THEN 1.64
        ELSE
          IF(noventa_e_nove%_fabr=1) THEN 2.32
          ELSE 0

```

Cálculo do desvio padrão da demanda distribuidora (quantidade de pedidos feitos pelo distribuidor = demanda vista pela fábrica):

INFLOWS (fluxo de entrada):

flu_demanda_distrib = quantidade_pedida_distrib

STOCK (reservatório):

Soma_5(t) = Soma_5(t - dt) + (flu_demanda_distrib) * dt

VALOR INICIAL:

INIT Soma_5 = 0

Contagem_4 = counter(0,STOPTIME)

CONVERSOR:

Media_movel_distrib = IF(contagem_4>0) THEN

Soma_5/contagem_4

ELSE

0

atraso_demanda_distrib = DELAY(quantidade_pedida_distrib,1)

diferença_distrib = IF(Media_movel_distrib = 0) THEN

0

ELSE

atraso_demanda_distrib-Media_movel_distrib

dif2_distrib = (diferença_distrib)^2

Cálculo da variância e desvio padrão da demanda distribuidora (da quantidade pedida pelo distribuidor):

INFLOWS: flu_varian_distrib = dif2_distrib

STOCK: soma_p_varian_distrib(t) = soma_p_varian_distrib(t - dt) +
(flu_varian_distrib) * dt

INIT soma_p_varian_distrib = 0

CONVERSOR:

variancia_distrib = IF(contagem_4>2) THEN

soma_p_varian_distrib/(contagem_4-2)

ELSE

soma_p_varian_distrib

desvio_demanda_distrib = SQRT(variancia_distrib)

Cálculo do Estoque de Segurança:

Qs:estoque_de_segurança_fabr = 4

Estoq_Seguran_Fabr = ROUND(Nivel_fabr * desvio_demanda_distrib)

Mudar_Qs_fabr = 1

Estoque_de_segurança_fabr = IF(Mudar_Qs_fabr=1) THEN

Qs:estoque_de_segurança_fabr

ELSE

Estoque_Seguran_Fabr

Cálculo do Estoque Máximo:

Estoque_max_fabr = Estoque_de_segurança_fabr+Q_fabr

Mudar_Qmax_fabr = 1

Qmax:estoque_máximo_fabr = 30

Estoque_máximo_fábrica =

IF(Mudar_Qmax_fabr=1) THEN

Qmax:estoque_máximo_fabr

ELSE

Estoque_max_fab

Política de Estoques:

fabr_ord_QsQmax =

IF(Estoque_Fabrica<=Estoque_de_segurança_fabr) THEN

Estoque_máximo_fábrica-Estoque_Fabrica

ELSE

0

fabr_ord_QsQ =

IF(Estoque_Fabrica<=Estoque_de_segurança_fabr) THEN

Q_fabr

ELSE

0

fabr_ord_Q = Q_fabr

fabr_ord_ate_Qmax =

IF(Estoque_Fabrica<=Estoque_máximo_fábrica) THEN

Estoque_máximo_fábrica-Estoque_Fabrica

ELSE

0

QsQmax_fabr = 0

QsQ_fabr = 0

pedir_Q_fabr = 0

atualizar_até_Qmax_fabr = 0

```

pedido_fabricafeito_pelo_comput =
  IF(QsQmax_fabr=1) THEN
    fabr_ord_QsQmax
  ELSE
    IF(QsQ_fabr=1) THEN
      fabr_ord_QsQ
    ELSE
      IF(atualizar_até_Qmax_fabr=1) THEN
        fabr_ord_ate_Qmax
      ELSE
        IF(pedir_Q_fabr=1) THEN
          fabr_ord_Q
        ELSE
          0
        ENDIF
      ENDIF
    ENDIF
  ENDIF

opção:_fabrica = 0
pedido_fabrica = 0
quantidade_pedida_fabric = IF (opção:_fabrica=1) THEN
  pedido_fabrica
ELSE
  pedido_fabricafeito_pelo_comput
ENDIF

```

A figura 63 mostra o setor fábrica, seu estoque, pedidos não atendidos, custos, política de estoques (incluindo estoque de segurança, estoque máximo e lote de reposição) e nível de serviço. Além do cálculo da média e desvio padrão da demanda distribuidora (quantidade de pedidos feitos pelo distribuidor, que é a demanda vista pela fábrica).

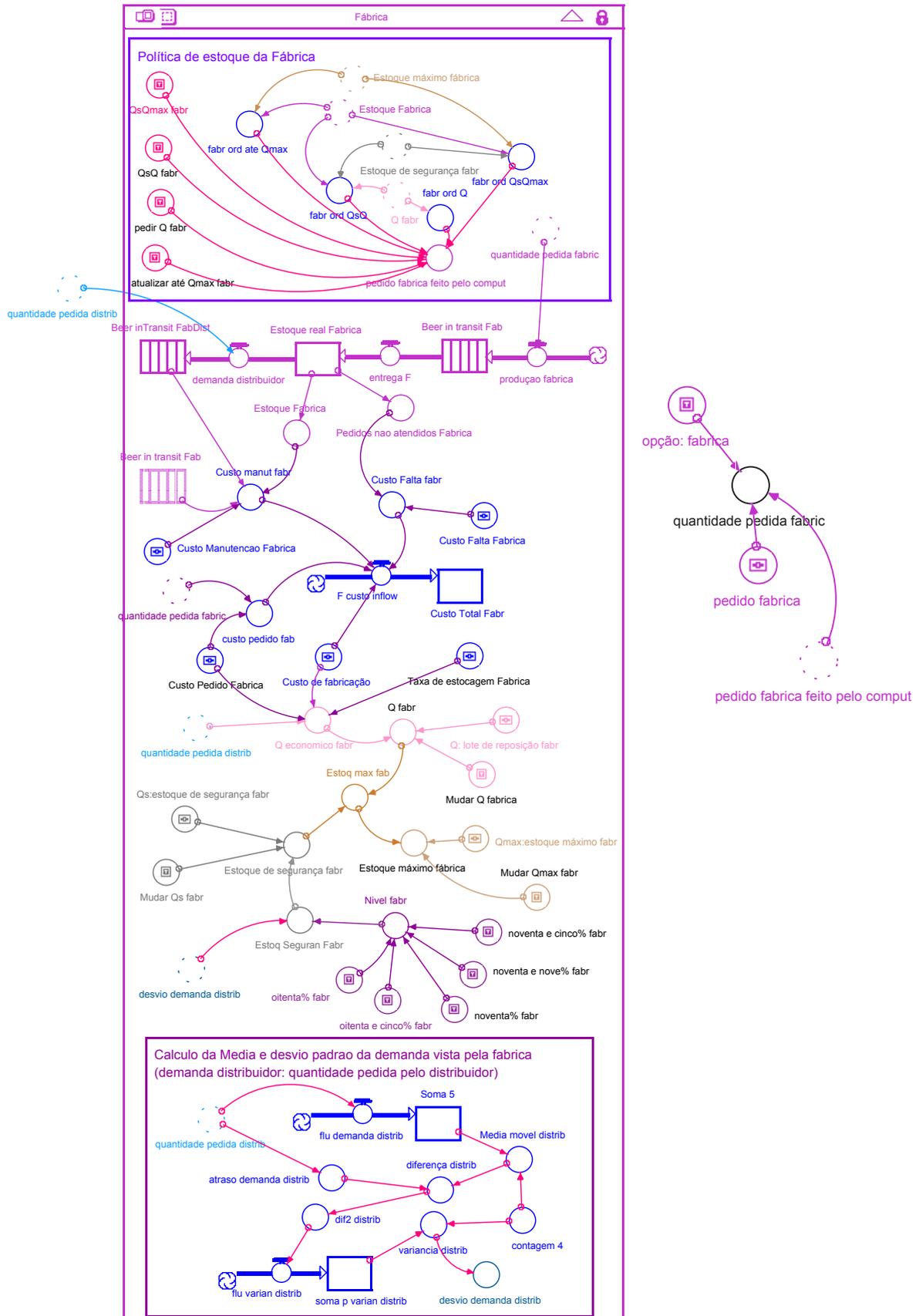


Figura 63: Setor Fábrica.

A6- EQUAÇÕES QUE NÃO PERTENCEM A NENHUM SETOR

semana = time

opção: _nenhum = 0



Figura 64: Elementos que não pertencem a nenhum Setor.