
A empresa vista como um elo da cadeia de produção e distribuição

Reginaldo Santana Figueiredo
Antonio Carlos Zambom

É habitual pensar-se a empresa como um sistema isolado, postura intelectual que tem moldado por muito tempo a metodologia de pesquisa e de ensino. Muitas das técnicas de gestão da produção encontradas na literatura especializada, e consagradas em livros textos, foram desenvolvidas sob tal visão. Por essa razão, muitas delas têm se mostrado pouco eficazes quando aplicadas no mundo real, onde de fato a empresa encontra-se inserida em um contexto organizacional dinâmico e complexo.

Por outro lado, as exigências do mundo moderno vêm solicitando dos gerentes de organizações novas habilidades, as quais não podem ser desenvolvidas nem assessoradas por técnicas elaboradas sob o pressuposto de que a empresa constitui um sistema isolado e estático. Ao contrário, no mundo atual, a empresa encontra-se cada vez mais envolvida e dependente de uma cadeia complexa constituída por número cada vez maior de agentes tomando decisões em processos interdependentes envolvendo diversos *feedbacks* e *time delays*, os quais geram conseqüências que só podem ser entendidas dentro de visão mais abrangente e dinâmica.

O consumo distribuído por extensão geográfica cada vez maior, por causa da abertura dos mercados e da formação de grandes blocos econômicos, torna cada vez mais difícil o gerenciamento da empresa individual a partir de uma visão fundamentada nos paradigmas tradicionais. A fábrica está envolvida em um processo de produção e distribuição tão complexo e dinâmico envolvendo complicados fluxos de informação, de materiais e de capital que a sua compreensão extrapola qualquer visão baseada no senso comum do gerente. Os resultados da experiência que se apresenta a seguir demonstram como o conhecimento dos gerentes, baseado nas experiências do seu dia a dia, também não é suficiente para enfrentar certos fenômenos que envolvem essas organizações e limitam o seu desempenho.

A experiência pessoal é certamente a fonte original do conhecimento e ocupa lugar de destaque no processo de aprendizagem de todo ser humano. Aprende-se a comer, a andar e a comunicar-se por meio de tentativas e erros. Dentro desse processo, toma-se uma ação, observa-se seus resultados e, levando-se em conta tais resultados, toma-se outra ação, e assim sucessivamente. Esse tipo de aprendizagem pode ter bons resul-

Recebido em outubro/97
2ª versão em março/98

Reginaldo Santana Figueiredo é Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia de Produção e Vice-Diretor do Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos.

Fax: (016) 260-8286

E-mail: santana@power.ufscar.br

Antonio Carlos Zambom é Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos, Professor das Faculdades ASSER e Consultor e Auditor de Empresas na área de Informática e Sistemas de Informação.

Fax: (016) 260-8286

E-mail: zambom@power.ufscar.br

tados com fenômenos nos quais causa e respectivo efeito estão suficientemente próximos. No entanto, defronta-se com dificuldades muito sérias quando as conseqüências da tomada de ações ocorrem após um espaço de tempo fora do alcance cognitivo.

Qualquer indivíduo possui um horizonte de aprendizagem limitado, ou seja, aprende de maneira limitada a espectros de tempo e de espaço, dentro dos quais é possível avaliar as conseqüências das ações empreendidas. Quando as decisões tomadas repercutem além do horizonte de aprendizagem, torna-se impossível aprender por experiência direta. Segundo Senge (1990), "nós aprendemos melhor por experiência, mas jamais experimentamos diretamente as conseqüências de muitas de nossas mais importantes decisões. As decisões mais importantes, tomadas em diversos tipos de organizações humanas, têm conseqüências que se propagam por todo o sistema e se estendem por anos ou décadas. As decisões na área de Desenvolvimento do Produto têm conseqüências imediatas na área de *Marketing* e de Produção. No entanto, Investimentos em novos equipamentos e processos influenciam a qualidade por uma década ou mais. A promoção de funcionários para cargos de liderança influencia a estratégia e o clima organizacional por vários anos. Infelizmente, em processos de decisões como estes, não se tem a oportunidade de aprender por tentativa-e-erro".

Outro aspecto que dificulta a maneira tradicional de ver a empresa é o fato de que os sistemas industriais se desenvolvem de forma cada vez mais complexa e extensa, de maneira que mesmo um bom conhecimento de suas partes isoladas se mostra insuficiente para proceder o seu gerenciamento eficientemente; as inter-relações e as interdependências entre os componentes do sistema tornam-se progressivamente, com o passar do tempo, mais importantes que os componentes em si mesmos. Segundo Ackoff (1979), no mundo real "os gerentes não são confrontados com problemas independentes entre si, mas com situações dinâmicas que consistem de sistemas complexos de mudanças que interagem entre si". Em vez de com estados **bem comportados**, no mundo real os gerentes deparam-se com estados de desordem nos quais as soluções ótimas de problemas individuais não podem se agregar para ser encontrada a solução ótima do todo. O comportamento do todo dependerá de como as soluções (ou decisões) das partes distintas interagem.

Baseados no trabalho de Forrester (1961), pesquisadores como Sterman (1989), Senge (1990) e Morecroft (1992) vêm desenvolvendo e aplicando técnicas de modelagem e simulação para estudar sistemas dinâmicos e complexos. A motivação principal da abordagem desses pesquisadores (fato por eles já demonstrado) reside na possibilidade de desenvolvimento de simulações ou *microworlds* em laboratório, onde podem ser observadas as conseqüências das decisões tomadas com mais clareza do que é possível na vida real. Nesses microcosmos simulados, por serem réplicas desenvolvidas em laboratório, pode-se isolar as deficiências e suas respectivas causas com mais facilidade do que quando se está envolvido pelas complexidades do mundo real.

Com base nos pressupostos e motivações que sustentam o trabalho desses autores, estão sendo desenvolvidas e reproduzidas, no Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos (DEP/UFSCar), simulações para estudar o comportamento de sistemas dinâmicos. Neste artigo objetiva-se chamar a atenção para como o desempenho das empresas envolvidas em uma cadeia de produção e distribuição pode ser mantido em estado crônico de ineficiência quando elas são administradas isoladamente, isto é, sem levar em conta suas interdependências dentro do sistema.

A EMPRESA VISTA COMO UM ELO DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTO

Uma cadeia de suprimento compreende um sistema constituído por agentes tomadores de decisão envolvidos em um processo interdependente, por meio de um fluxo de produtos e serviços em uma direção, como é mostrado na figura 1 (Towill, Nain & Wilkner, 1992), com o objetivo de atender a uma necessidade social. Pode envolver desde

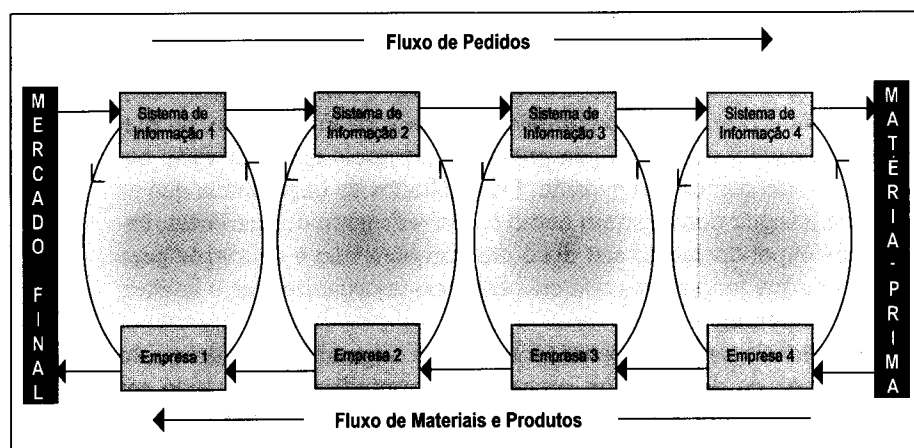


Figura 1: Fluxo de Informação, de Materiais e de Produtos que Integram uma Cadeia de Distribuição

fornecedores de matéria-prima, produção propriamente dita, distribuição e até consumidores finais.

Todos os elementos ou os níveis de uma cadeia executam funções importantes, cujos respectivos desempenhos determinam de forma interdependente o desempenho do sistema como um todo. Portanto, trata-se de uma situação constituída por um conjunto de agentes decisores em que o resultado, tanto geral quanto para cada um em particular, depende das decisões tomadas por todos. Em outras palavras, trata-se de uma situação que pode ser caracterizada como um jogo na forma pela qual é concebido pela Teoria dos Jogos (Figueiredo, 1993). Se uma dessas funções falha ou é interrompida, provoca um desbalanceamento de carga nos outros elos da cadeia diminuindo o desempenho de cada um e comprometendo o da cadeia de suprimento como um todo. Uma decisão equivocada em um elo da cadeia pode provocar oscilações internas que se propagam e se amplificam através dos outros elos promovendo distúrbios prejudiciais a todos. Em particular, a demanda final será mal atendida e muitos consumidores poderão buscar atendimento em outra cadeia, na esperança de conseguir melhor atendimento.

Pressupondo uma coordenação centralizada e perfeita por parte de uma única empresa que execute todas as atividades, incluindo desde o fornecimento da matéria-prima até a entrega do produto final ao consumidor, não existiria instabilidade nem oscilações nesse sistema. Todavia, é quase impossível imaginar um sistema constituído por partes interdependentes que funcione sem oscilações e instabilidade. Só mesmo uma máquina perfeita pode ser imaginada como tal.

Imagine-se uma fábrica que detém sua matéria-prima, produz e vende determinado produto diretamente ao consumidor final. Nessa situação, o processo de produção e atendimento ao consumidor compreende um sistema com a coordenação centralizada na alta administração da empresa. Ao se comparar tal situação com aquela na qual a mesma empresa é obrigada a distribuir seus produtos em uma região distante e, para tanto, dependa da intermediação de vários agentes econômicos para chegar ao consumidor final, tem-se: a empresa que coordenava todas as atividades e tinha contato direto com o consumidor final agora se depara com uma série de outras empresas entre ela e o mercado final. O planejamento da produção dependerá não mais da sua interpretação direta dos sinais dos consumidores, mas da interpretação das informações enviadas pelos seus diversos distribuidores. Tais informações poderão causar equívocos e, conseqüentemente, distúrbios: ou por estarem incompletas (quando aqueles que estão em contato direto com o consumidor, para manterem seu poder de barganha dentro da cadeia, não têm interesse em enviar informações completas) ou devido às dificuldades impostas pela natureza do próprio ciclo de realimentação entre a fábrica e o distribuidor.

Esse problema é análogo à situação representada por alguém dirigindo um carro de olhos vendados e auxiliado por outra pessoa que lhe informa as condições da pista. De certa forma, é o que sucede normalmente no mundo dos negócios. Os executivos não acompanham os vendedores quando visitam clientes e nem freqüentam as reuniões de diretorias dos seus concorrentes. Em síntese, precisam de clara visão do caminho à frente e só podem contar parcialmente com os fatos que aconteceram no passado e as informações que lhes são transmitidas pelos mais próximos do consumidor final. Em geral, essa é situação típica da empresa que, na impossibilidade de sustentar uma integração vertical **para a frente**, repassa para outras empresas o papel da distribuição. Situação cada vez mais complexa à medida que aumenta o número de agentes econômicos interpostos entre ela e o consumidor final.

CONTROLANDO ESTOQUES DENTRO DE UMA CADEIA DE DISTRIBUIÇÃO

No processo de administração de estoques, a tarefa do gerente é tomar decisões de forma a manter o seu nível próximo do desejado ou, pelo menos, em patamar aceitável, levando em conta a existência de custo de estocagem e custo decorrente do não-atendimento de pedidos. Como os estoques não podem ser controlados diretamente, isso é feito por meio do controle das taxas de fluxos de entrada e saída. Geralmente o gerente deve fixar o fluxo de entrada, de maneira a compensar as perdas e o uso e, assim, neutralizar os distúrbios que afastam o estoque de seu nível desejado. Frequentemente há prazos (*time delays*) entre o início de uma ação de controle e o seu efeito e/ou prazos entre o início de uma variação do estoque e o momento em que atinge um valor perceptível pelo sistema. A duração desses prazos (*time delays*) pode variar e ser influenciada pelas próprias ações do gerente.

A necessidade de entender sistemas dinâmicos para melhorar o seu controle está presente no nível interno de uma empresa ou de uma cadeia de distribuição ou da economia de um país como um todo. Assim, pode ser um problema tanto do gerente de produção quanto do Ministro da Fazenda (que toma medidas para estabilizar preços e controlar a economia) ou de uma associação de empresas que têm interesse na coordenação da cadeia de produção e distribuição da qual fazem parte.

Em âmbito da firma propriamente, os gerentes devem fazer pedidos de peças, matérias-primas e outros materiais de forma a manter seus estoques em níveis suficientes para que a produção possa prosseguir dentro do programado. Ao mesmo tempo, devem evitar que os estoques atinjam volumes que possam onerar desnecessariamente a empresa. Devem ajustar a taxa de pedidos de diversos itens levando em conta as suas perdas previstas,

o uso programado na produção e as variações nos prazos de entregas, ou seja, atrasos no recebimento dos seus fornecedores que podem ser tanto internos quanto externos à empresa. O gerente financeiro defronta-se com o mesmo problema na administração do fluxo de caixa.

Do ponto de vista macroeconômico, o problema aparece em várias instâncias. Exemplo típico é aquele com o qual se depara o Banco Central quando toma medidas para controlar o estoque de moeda em circulação. Ele deve gerenciar o estoque de moeda para estimular o crescimento econômico e, ao mesmo tempo, evitar a inflação, enquanto compensa as variações na demanda de moeda, os déficits orçamentários e o fluxo internacional do capital. O problema fica muito mais complexo quando se trata do controle da economia como um todo, em um regime democrático no qual os ministros da Fazenda e do Planejamento devem elaborar pacotes econômicos contendo combinações de variações nos gastos do governo, variações nas taxas de impostos e de oferta monetária, de forma a promover o crescimento sem gerar a inflação que deteriora a renda da massa de trabalhadores, deteriora a imagem do governo e destrói sua capacidade de receber votos em uma próxima eleição. Todas as ações de regulação têm de ser tomadas dentro de determinado prazo, de forma que os resultados das medidas, a princípio impopulares, possam trazer benefícios antes do próximo escrutínio.

Todos esses problemas envolvem conjunto de *feedbacks* de compensação e de reforços, além de vários tempos de espera (*time delays*) cujo desconhecimento inviabiliza o controle de sistemas dinâmicos. Na simulação desenvolvida na experiência em realização na UFSCar, cada agente ficará encarregado de controlar seu estoque tendo em vista a minimização do custo total da cadeia da qual faz parte.

Matematicamente, a questão do controle de estoque pode ser posta como segue: o nível de estoque na data t , S_t , como expressa a equação [1], é dado pela soma do estoque na data inicial, ou seja, na data zero, S_{t_0} , e do estoque acumulado no período de t_0 a t , o segundo termo do lado direito da equação.

$$S_t = S_{t_0} + \int_{t_0}^t (A_\tau - L_\tau) d\tau \quad [1]$$

O estoque acumulado no período (t_0 a t) é dado pela integral da diferença entre o fluxo de aquisição, A , e o fluxo de perda, L . A taxa de perda, A_t , corresponde ao fluxo de saída do estoque e pode originar-se tanto no uso (material enviado para a produção) quanto na perda propriamente dita, devido à deterioração (como vencimento do prazo de validade de remédio no estoque de farmácia). As perdas dependem tanto do estoque em si quanto de outras variáveis endógenas (X) e exógenas (U) ao sistema. As perdas podem

ser não-lineares, aproximarem-se de zero quando o estoque se aproxima de zero e podem depender da distribuição estatística de idade dos itens que compõem o estoque.

A taxa de aquisição, por sua vez, depende da linha de suprimento, SL , e das quantidades que foram pedidas, mas ainda não-recebidas, e do atraso médio de aquisição representado por λ . Em geral, λ pode depender da própria linha de suprimento e de outras variáveis endógenas e exógenas. A linha de suprimento é uma simples acumulação de pedidos que foram colocados, O , menos aqueles que foram entregues, A , e está associada ao *backlog* (lista de pedidos ainda não-atendidos) do fornecedor.

$$SL_t = SL_{t_0} + \int_{t_0}^t (O_\tau - A_\tau) d\tau \quad [2]$$

Em muitas situações reais envolvendo o gerenciamento de estoques a complexidade do sistema, determinada pelo conjunto de *feedbacks* entre variáveis e prazos de espera, impede a determinação da estratégia ótima. Em tais situações os agentes, na impossibilidade de alcançar ótimos globais, devem optar pelo exercício de controles mediante regras práticas de conduta ou heurística, as quais muitas vezes podem ser localmente racionais, mas globalmente contraditórias. Em outras palavras, em sistemas dinâmicos, muitas vezes (como mostra a simulação) a busca de ótimos locais por parte de agentes isolados pode conduzir o sistema para o desastre global ou fazê-lo funcionar com ineficiência crônica.

A regra de decisão nessa situação utiliza informações locais disponíveis ao gerente e não presume que o mesmo tenha conhecimento global da estrutura do sistema. Assim, os gerentes deverão fazer pedidos para:

- superar as perdas esperadas no estoque;
- reduzir a discrepância entre o estoque atual e o desejado;
- manter uma linha de suprimento adequada de pedidos ainda não-atendidos.

Na simulação realizada pelos autores deste texto, a função de cada gerente é simplesmente gerenciar seu estoque de forma a minimizar o custo total do sistema como um todo. O custo do estoque de cada empresa é assimétrico, ou seja, o custo do não-atendimento de pedido é bem maior do que o custo de estocagem. Os agentes têm acesso ao estoque dos demais componentes da cadeia, porém eles só se comunicam por meio de pedidos.

PROTOCOLO EXPERIMENTAL

Para estudar o fenômeno descrito, simulou-se uma cadeia de produção e distribuição de um produto, constituída

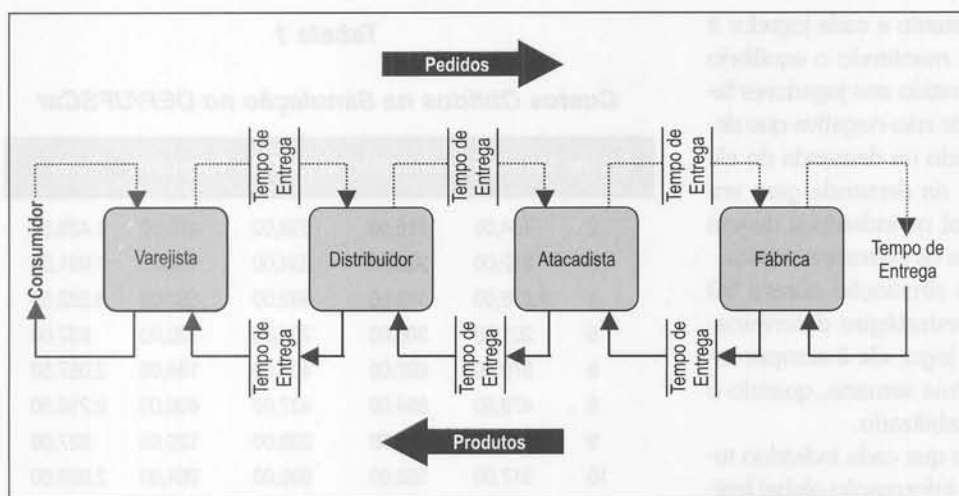


Figura 2: Estrutura da Simulação da Cadeia de Distribuição

da por uma fábrica, um atacadista, um distribuidor e um varejista, representada na figura 2.

Cada equipe administra o sistema de forma a minimizar o custo de estoque da cadeia como um todo e compete com outras equipes sob iguais condições. Cada agente localizado em determinado elo da cadeia administra a sua respectiva posição de maneira que as decisões de todos possam em conjunto otimizar o sistema. No entanto, a decisão de cada um está submetida a um *feedback* de reforço (figura 3) que poderá limitar a eficiência de sua decisão com relação à minimização do custo total do sistema.

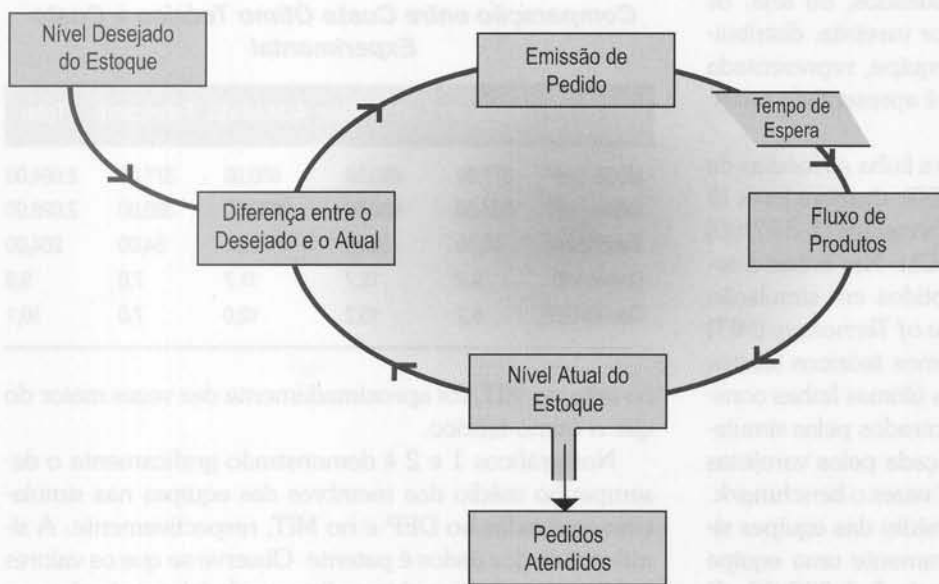


Figura 3: Arquétipo do Processo de Decisão em Cada Elo da Cadeia Simulada

O *lead-time* entre dois elos, ou seja, o tempo compreendido entre a emissão do pedido e o seu atendimento entre cada elo da cadeia foi de quatro semanas, exceto para o fornecimento de matéria-prima para a fábrica, considerado de duas semanas. O procedimento gera um tempo de espera de, no mínimo, quatro semanas para o fornecimento de produto entre elos e de duas para o fornecimento da matéria-prima para a fábrica.

O custo de estoque considerado foi de R\$ 0,50 por caixa de produto estocado por uma semana e de R\$ 1,00 por caixa de

produto demandada e não-entregue. Os produtos são representados por moedas de um centavo e a demanda do consumidor final, ou seja, do varejista, por um conjunto de cartas de baralho. Nenhum dos jogadores conhece *a priori* a demanda do consumidor final, exceto o varejista.

A cada semana o consumidor final demanda determinada quantidade de produto do varejista, que transporta o produto demandado para fora do seu estoque. Do mesmo modo, o atacadista encomenda e recebe o produto da fábrica. A fábrica encomenda matéria-prima, produz e entrega o produto ao atacadista. Em cada estágio, há prazos de expedição e prazos de recebimento de pedidos. Tais prazos representam o tempo requerido para receber, processar, remeter e liberar encomendas, os quais têm crucial papel na dinâmica.

As sessões realizadas envolveram, em geral, quatro a oito times de quatro jogadores. Os participantes são dispostos aleatoriamente entre as funções de fabricante, atacadista, distribuidor e varejista. O jogo é iniciado em equilíbrio. Cada estoque contém quantidade inicial fixa de caixas do produto (12 caixas) e a venda inicial é de quatro caixas por semana. A demanda do consumidor final, da mesma maneira, começa com quatro caixas por semana. As primeiras quatro semanas de jogo são usadas para familiarizar os indivíduos com os mecanismos das seqüências de atendimento de pedidos, controle de estoque etc. Durante esse tempo, a

demanda do cliente permanece constante e cada jogador é levado a encomendar quatro caixas, mantendo o equilíbrio inicial. Após a quarta rodada é permitido aos jogadores fazerem pedidos de qualquer quantidade não-negativa que desejem. Há um aumento não-anunciado na demanda do cliente na quinta semana. O estímulo na demanda gera um distúrbio de desequilíbrio para o qual os indivíduos devem reagir desenvolvendo estratégias para os próximos passos.

É anunciado inicialmente que a simulação durará 50 semanas. No entanto, para evitar estratégias determinadas pelo conhecimento do final do jogo, ele é sempre interrompido em torno da quadragésima semana, quando o sistema em geral já se encontra estabilizado.

A simulação é projetada de modo que cada indivíduo tenha informação local adequada, mas informação global limitada. Cada um deles pode manter apontamento que inclui seu estoque ou reserva e pedidos colocados com seu fornecedor para cada semana. Entretanto, eles são instruídos para não se comunicarem diretamente, fora ou dentro do jogo.

RESULTADOS ENCONTRADOS

Nas tabelas 1 e 2 e nos gráficos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 são mostrados os resultados preliminares das experiências realizadas. Participaram das simulações executivos de empresas agroindustriais, professores e estudantes de engenharia de produção.

Na tabela 1, cada linha apresenta os resultados de um único time identificado apenas por um número. Os resultados das equipes 1, 7, 19 e 23 foram suprimidos por elas não terem seguido rigorosamente os protocolos da experiência. Nas colunas constam os resultados, ou seja, os custos alcançados individualmente por varejista, distribuidor, atacadista e fabricante em sua equipe, representada na respectiva linha. Na última coluna é apresentado o custo total alcançado por equipe.

Na tabela 2 visualiza-se na primeira linha as médias de custos obtidos por varejistas (\$ 377,00), distribuidores (\$ 660,00), atacadistas (\$ 650,00) e fabricantes (\$ 377,00) na simulação realizada no DEP/UFSCar. Nas linhas a seguir são apresentados os valores obtidos em simulação similar feita no *Management Institute of Technology* (MIT) nos Estados Unidos e os valores ótimos teóricos (custos mínimos), ou seja, o *benchmark*. Nas últimas linhas constam os desvios entre os valores encontrados pelas simulações e o *benchmark*. A média alcançada pelos varejistas na simulação DEP/UFSCar foi de 8,2 vezes o *benchmark*. Pode-se observar que o custo total médio das equipes situou-se próximo a \$ 2.000,00. Raramente uma equipe conseguiu atingir custo total abaixo de \$ 1.000,00. O desempenho teórico ótimo do sistema como um todo situou-se em torno de \$ 200,00. O custo médio das equipes, portanto, na simulação realizada no DEP/UFSCar e

Tabela 1

Custos Obtidos na Simulação no DEP/UFSCar

Equipe	Varejista	Distribuidor	Atacadista	Fabricante	Total
2	104,00	316,00	538,00	470,50	1.428,50
3	212,00	322,00	334,00	163,00	1.031,00
4	1.128,00	570,50	992,00	592,00	3.282,50
5	201,00	308,00	208,00	120,00	837,00
6	570,50	892,00	401,00	194,00	2.057,50
8	479,50	894,00	437,00	406,00	2.216,50
9	201,00	308,00	208,00	120,00	837,00
10	317,00	552,00	896,00	264,00	2.029,00
11	160,50	459,50	517,00	209,50	1.346,50
12	412,00	601,00	776,50	233,00	2.022,50
13	297,50	377,00	402,00	396,00	1.472,50
14	513,00	794,00	975,50	678,50	2.961,00
15	412,00	357,50	315,50	138,00	1.223,00
16	295,00	69,00	85,50	99,50	549,00
17	266,30	412,60	379,50	340,60	1.399,00
18	229,00	567,00	911,50	548,00	2.255,50
20	398,00	864,50	524,00	163,00	1.949,50
21	184,00	514,50	1.149,50	882,50	2.730,50
22	484,00	3.060,00	2.082,50	1.450,00	7.076,50
24	457,50	756,00	686,00	118,00	2.017,50
25	618,00	879,50	878,00	404,00	2.779,50
26	365,00	639,00	605,00	296,00	1.905,00

Tabela 2

Comparação entre Custo Ótimo Teórico e Custo Experimental

	Varejista	Distribuidor	Atacadista	Fabricante	Total
Média-DEP	377,00	660,00	650,00	377,00	2.064,00
Média - MIT	383,00	635,00	630,00	380,00	2.028,00
Benchmark	46,00	50,00	54,00	54,00	204,00
Desvio-MIT	8,3	12,7	11,7	7,0	9,9
Desvio-DEP	8,2	13,2	12,0	7,0	10,1

na feita no MIT, foi aproximadamente dez vezes maior do que o ótimo teórico.

Nos gráficos 1 e 2 é demonstrado graficamente o desempenho médio dos membros das equipes nas simulações realizadas no DEP e no MIT, respectivamente. A similaridade dos dados é patente. Observe-se que os valores médios alcançados pelo varejista e pelo fabricante são menores e similares.

A semelhança entre o alto desempenho médio do varejista e do fabricante deve-se ao fato de o varejista ter o

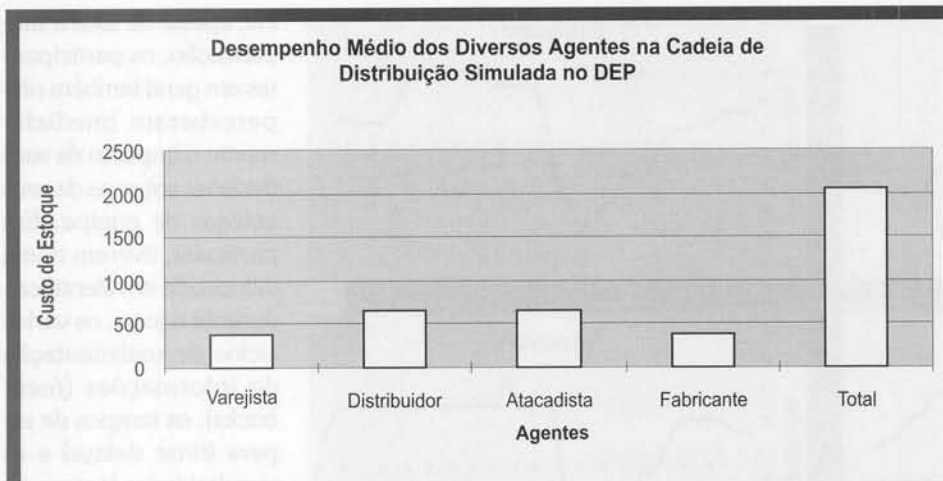


Gráfico 1: Resultado da Experiência Realizada no DEP/UFSCar

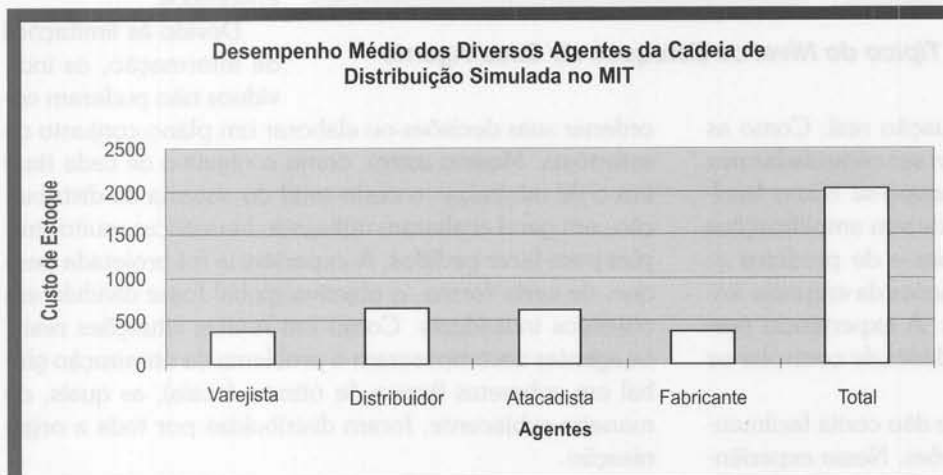


Gráfico 2: Resultado da Experiência Realizada no MIT

privilegio de estar imediatamente próximo do consumidor e a fábrica ter fornecimento de matéria-prima com *lead-time* de duas semanas, enquanto os outros dois agentes — o atacadista e o distribuidor — dependem do fornecimento com *lead-time* de quatro semanas. Nos gráficos 3 e 4 pode-se observar o processo de oscilação dos agentes, individualmente.

Nos gráficos 5 e 6 são apresentados os mesmos resultados em conjunto, ou seja, em grupo de uma mesma equipe. Nesses gráficos (1 a 6) pode-se perceber que o comportamento dos pedidos e estoques mostra larga amplitude de flutuação em torno de 20 semanas em média. A amplitude de variação dos pedidos aumenta na direção do varejista para a fábrica. O pico da taxa de pedidos da fábrica apresenta-se em média maior do que o dobro do pico da taxa de pedidos do varejista. A taxa de pedidos tende a formar pico mais atrasado à medida que há movimento na direção do varejista para a fábrica.

ANÁLISES DOS RESULTADOS

Estudos experimentais em processo de escolha individual têm identificado várias limitações cognitivas, temporais e informacionais, as quais produzem erros sistemáticos e impedem que a interação de decisões individuais interdependentes produzam resultados ótimos (Sterman, 1989). Nos processos do mundo real, aos quais a empresa está submetida, a interação entre fluxos de informação, materiais, dinheiro e outros recursos produz flutuações e oscilações que afetam todo o processo de tomada de decisão. Embora os métodos tradicionais tenham obviamente contribuído para o entendimento do processo de tomada de decisão empresarial, em geral têm dificuldade de incorporar os aspectos considerados na experiência em estudo. A simulação realizada colocou à disposição um microcosmo que possibilitou visualizar com mais clareza o funcionamento de um sistema de produção e distribuição, e como é possível tal sistema se manter funcionando em regime de ineficiência crônica mesmo sendo os seus

agentes racionais, inteligentes e tomando as melhores decisões do ponto de vista isolado.

Como demonstrado nas tabelas 1 e 2, na média os resultados obtidos tanto pelos agentes individuais quanto pelo grupo como um todo ficaram muito aquém do resultado ótimo teórico. A média alcançada pelos varejistas foi de 8,2 vezes o seu *benchmark*, a obtida pelos distribuidores ficou em torno de 13, a dos atacadistas em torno de 12 e a dos fabricantes ao redor de sete vezes o seu *benchmark*. O custo total médio das equipes situou-se próximo a \$ 2.000,00, o que corresponde a um valor dez vezes superior ao ótimo. Raramente alguma equipe atingiu custo total abaixo de \$ 1.000,00.

Pode-se perceber como a interação das decisões individuais com a estrutura do sistema simulado produz uma dinâmica agregada que sistematicamente diverge do comportamento ótimo. A simulação possibilitou isolar e identificar com mais facilidade deficiências do sistema e suas

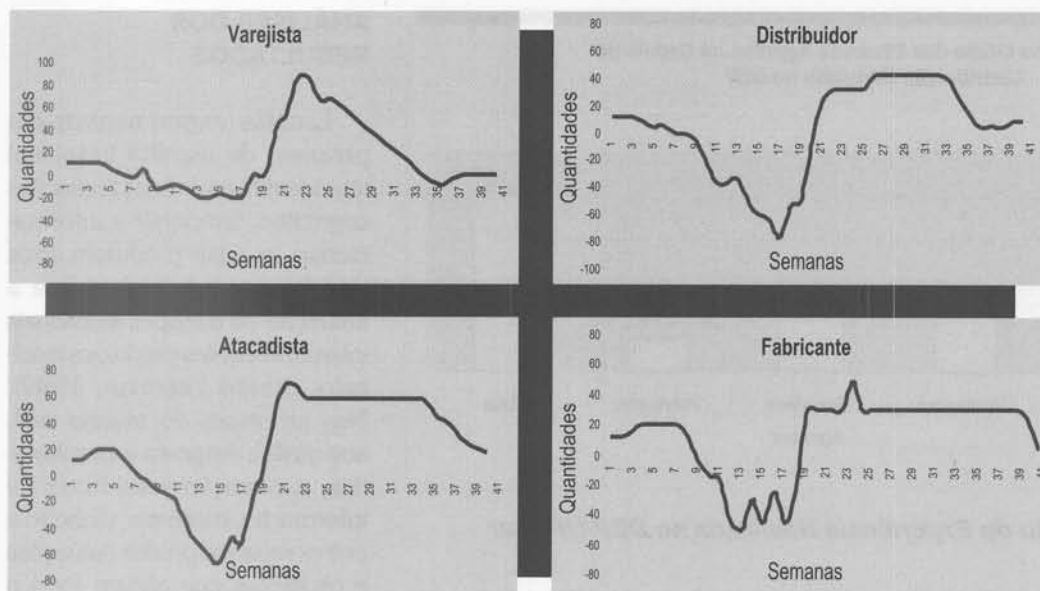


Gráfico 3: Comportamento Típico do Nível de Estoques de Cada Agente

causas do que seria possível em situação real. Como as conseqüências das decisões puderam ser compiladas por um programa de computador, observou-se como *lead-times*, *feedbacks* e *time delays* produzem amplificações e oscilações no fluxo de informações e de produtos e, conseqüentemente, afetam as operações da empresa impedindo a otimização de resultados. A experiência permitiu sobretudo a análise das dificuldades de controlar-se e otimizar-se um sistema dinâmico.

No mundo real, as pessoas não se dão conta facilmente do impacto de suas próprias decisões. Nessa experiên-

cia, apesar de toda a simplificação, os participantes em geral também não perceberam imediatamente o impacto de suas decisões sobre as de seus colegas de equipe. Em particular, tiveram muita dificuldade em identificar, durante o jogo, os vários ciclos de realimentação de informações (*feedbacks*), os tempos de espera (*time delays*) e as circularidades lógicas do processo de tomada de decisão em que estavam envolvidos.

Devido às limitações de informação, os indivíduos não puderam coordenar suas decisões ou elaborar um plano conjunto de estratégia. Mesmo assim, como o objetivo de cada time era o de minimizar o custo total do sistema de distribuição, em geral acabaram utilizando heurísticas muito simples para fazer pedidos. A experiência foi projetada para que, de certa forma, o objetivo global fosse dividido em objetivos individuais. Como em muitas situações reais, os agentes decompueram o problema da otimização global em submetas (busca de ótimos locais), as quais, de maneira subjacente, foram distribuídas por toda a organização.

Observando os gráficos referentes aos agentes, nota-se que quando os pedidos dos consumidores inesperadamente aumentam, os estoques dos varejistas caem. Tal fato ocorre porque os pedidos anteriores não previam o aumento na demanda implicando, dado o tempo de espera de no mínimo quatro semanas, entregas contínuas por várias semanas a taxas mais baixas do que a taxa de perda do estoque. Em seguida, em face do *backlog* crescente, os agentes fazem pedidos maiores do que a

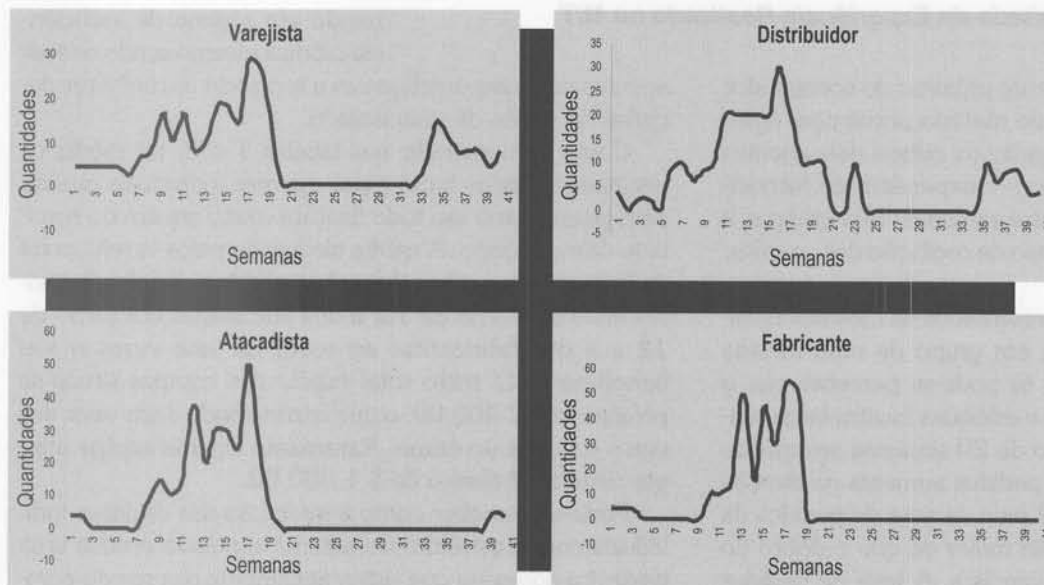


Gráfico 4: Comportamento Típico dos Pedidos Feitos Por Agente

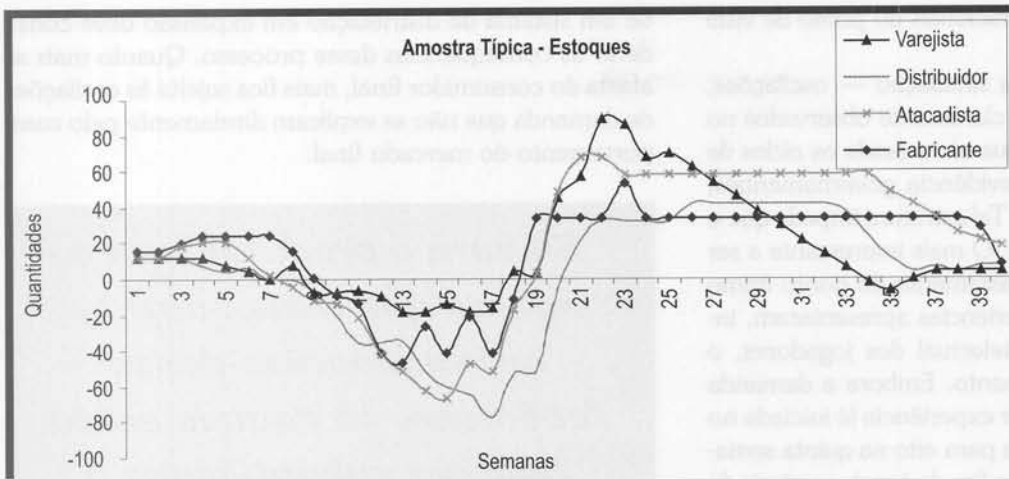


Gráfico 5: Oscilação de Estoque dos Quatro Agentes

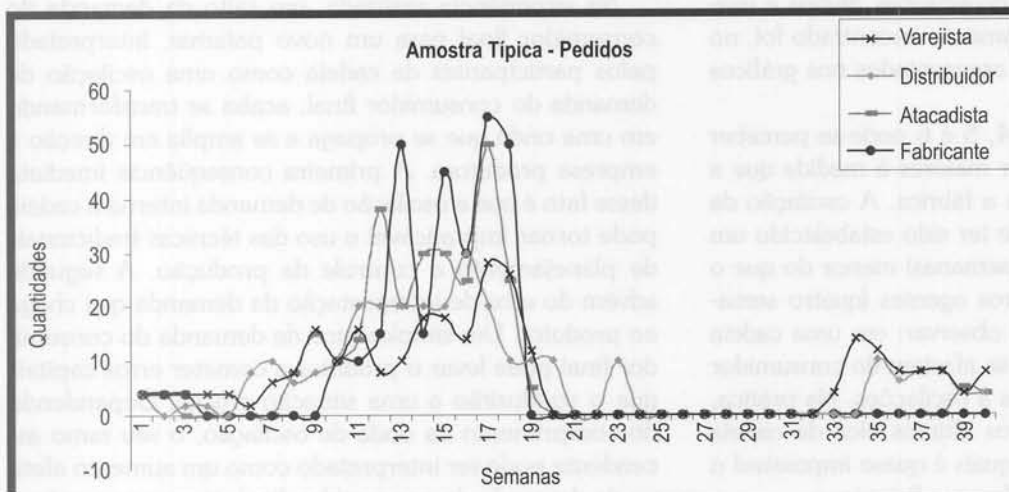


Gráfico 6: Oscilação de Pedidos dos Quatro Agentes

demanda atual e, na esperança de resolver o problema rapidamente, solicitam volumes exagerados. Se não existissem tempos de espera (*time delays*), a estratégia poderia funcionar. No entanto, os pedidos em maior escala esgotam o estoque do distribuidor. Os varejistas, durante essa primeira etapa, não observam os pedidos pendentes e tornam-se ansiosos à medida que suas listas de pedidos não-atendidos (*backlogs*) continuam crescendo, embora a linha de suprimento já esteja abarrotada. Assim, um salto na demanda do consumidor final de quatro para oito unidades é amplificado e distorcido quando a reação do varejista é transmitida para o distribuidor, deste para o atacadista e, finalmente, para a fábrica. Com o passar do tempo, o produto adicional solicitado é produzido e começa uma nova reação. Os jogadores, à medida que os estoques voltam a crescer, começam a diminuir os pedidos; porém, novamente, já é muito tarde. A linha de supri-

mento está sobrecarregada e continua a crescer. Apesar do corte dos pedidos, os estoques transbordam, atingindo um pico máximo.

Em face de eventos como esses, muitas pessoas esquecem que fazem parte de um todo. Sob pressão, tendem a focalizar seu controle sobre a sua posição dentro do sistema, tentando manter isoladamente seu custo baixo. No entanto, observa-se na simulação que quanto mais o agente se centraliza em si próprio, mais problemas causa para os outros agentes que, conseqüentemente, ao se comportarem da mesma maneira, transferem o problema para o próximo elo, de forma ampliada. Essa ampliação propaga-se por toda a cadeia e retorna ao agente que originalmente a provocou. Em outras palavras, quanto mais houver preocupação em resolver problemas de forma introspectiva, mais problemas são gerados para o sistema, cujo resultado atinge os seus agentes isoladamente de forma dramática e propa-

ga-se dentro de um ciclo de realimentação de reforço, ora seguindo em uma direção, ora em outra, causando oscilação. Em certos momentos, os custos são altos porque os estoques estão elevados e, em outros, os custos são altos porque os agentes não conseguem atender aos pedidos. Tais aspectos ocorrem porque os agentes não percebem que estão envolvidos em um processo interdependente de tomada de decisão. Ao dividirem o problema geral em um conjunto de pequenos problemas individuais, ou seja, ao buscarem soluções individuais, na esperança de que o ótimo global seja a soma dos ótimos individuais, acabam diante de uma situação na qual a busca de ótimos locais por parte de agentes isolados conduz o sistema para um processo de ineficiência crônica. Uma das grandes lições aprendidas nesta experiência foi entender como pessoas inteligentes e bem intencionadas podem produzir resultados indesejáveis e não-esperados

por meio de ações totalmente racionais do ponto de vista individual.

Os padrões constatados na simulação — oscilações, amplificações e atrasos — são claramente observados no mundo real. É um fenômeno que afeta desde os ciclos de negócios até os planos de previdência governamentais, chegando a produzir falências. Tal estrutura impede que o sistema alcance o ponto ótimo. O mais interessante a ser observado é que a causa do afastamento do ponto ótimo não é aleatória. Todas as experiências apresentaram, independentemente do nível intelectual dos jogadores, o mesmo padrão de comportamento. Embora a demanda não tenha oscilado em qualquer experiência (é iniciada no nível de quatro caixas, aumenta para oito na quinta semana e permanece constante até o fim do jogo), os níveis de estoque e pedidos oscilaram, mostrando que a instabilidade do sistema foi gerada por sua própria estrutura interna. Apesar de as equipes terem formação intelectual e habilidades profissionais diferentes (professores, alunos e executivos), o padrão de comportamento encontrado foi, no todo, semelhante aos padrões apresentados nos gráficos 3 e 4.

Observando os gráficos 3, 4, 5 e 6 pode-se perceber que as oscilações tendem a ser maiores à medida que a sequência vai do varejista para a fábrica. A oscilação da fábrica é atenuada pelo fato de ter sido estabelecido um *lead-time* de fabricação (duas semanas) menor do que o *lead-time* dos pedidos de outros agentes (quatro semanas). Mesmo assim, é possível observar: em uma cadeia de suprimentos, à medida que se afastam do consumidor final os elos ficam mais sujeitos a oscilações. Na prática, em situação mais dramática, os últimos elos da cadeia podem ficar em situações nas quais é quase impossível o planejamento da produção de forma eficiente.

Durante as experiências, observou-se grupos que já mantinham relacionamento anterior ou nos quais os agentes se conheciam previamente, obtendo em geral melhores resultados. Tal fato, aparentemente, evidencia o efeito Axelrod (1990). A cooperação é maior em grupos que mantêm relacionamento há mais tempo e essa cooperação ou amizade pode levar os indivíduos a preocuparem-se relativamente mais com o grupo do que com a sua posição isolada.

CONCLUSÕES

A experiência relatada e analisada fez uso de uma cadeia de produção e distribuição. No entanto, as suas conclusões podem ser estendidas a qualquer organização cuja eficiência está sujeita a um conjunto de atividades independentes.

Especialmente uma empresa que se distancia progressivamente do consumidor final por causa da necessidade

de um sistema de distribuição em expansão deve considerar as consequências desse processo. Quanto mais se afasta do consumidor final, mais fica sujeita às oscilações de demanda que não se explicam diretamente pelo comportamento do mercado final.

Embora o produtor seja o agente que mais sofre as consequências desse fenômeno, os demais estão também subordinados a esse processo.

Na experiência realizada, um salto da demanda do consumidor final para um novo patamar, interpretado pelos participantes da cadeia como uma oscilação de demanda do consumidor final, acaba se transformando em uma onda que se propaga e se amplia em direção à empresa produtora. A primeira consequência imediata desse fato é que a oscilação de demanda interna à cadeia pode tornar impraticável o uso das técnicas tradicionais de planejamento e controle da produção. A segunda advém do erro de interpretação da demanda que chega ao produtor. Um simples pico de demanda do consumidor final pode levar o produtor a cometer erros capitais que o conduzirão a uma situação crucial. Dependendo do comprimento da onda de oscilação, o seu ramo ascendente pode ser interpretado como um aumento efetivo de demanda do consumidor final, já que a pressão é crescente e permanente por longo período de tempo. Tal fato pode persuadir o produtor a decidir pelo aumento da capacidade produtiva, comprometendo-se com novos investimentos. Como a empresa leva determinado tempo para expandir sua capacidade produtiva, no momento em que se encontra pronta para atender o aumento de demanda o ramo descendente da onda pode estar conduzindo a demanda imediata do produtor para os níveis anteriores ou, ainda, para níveis mais baixos, deixando a empresa em situação extremamente difícil ou até mesmo levando-a à bancarrota. O mesmo fato explica também por que muitas empresas são obrigadas a operar com capacidade produtiva muito maior do que a necessária para atender à demanda final e por que seus estoques oscilam tanto. A experiência relatada demonstra que quantos mais agentes forem interpostos entre o produtor e o mercado final no processo de distribuição, maior será a capacidade produtiva necessária para atender uma dada demanda final.

Embora o produtor seja o agente que mais sofre as conseqüências desse fenômeno, os demais estão também subordinados a esse processo. Dessa forma, o desempenho do sistema como um todo permanece em estado crônico muito abaixo do ótimo. Em muitas situações reais a interdependência entre os elos da cadeia é tão grande que as decisões internas — como redução

do *lead-time* de produção, utilização de técnicas de planejamento e controle da produção mais sofisticadas, assim como a implantação de um sistema de informação interno mais informatizado — têm pouca efetividade. Nesse caso, só a coordenação da cadeia como um todo pode alavancar o desempenho das empresas que a compõem. ♦

RESUMO

Em quaisquer formas de organização humana, nas quais as atividades são desempenhadas por partes interdependentes com o objetivo de produzir um resultado geral para o sistema, pode-se identificar estruturas de *feedback* e *times delays* que geram oscilações e amplificações indesejáveis para o planejamento e o controle do sistema. Quando as atividades são controladas por um poder central e os tempos de espera são curtos, a amplitude do problema pode ser irrelevante. No entanto, quando os resultados das decisões ocorrem em tempo relativamente longo e o sistema não possui coordenação central, as conseqüências podem ser desastrosas ou levar o sistema a funcionar com deficiência crônica. O objetivo neste artigo é chamar a atenção para a necessidade de se pensar a empresa como parte de um sistema mais amplo. Para tanto, por meio da simulação laboratorial de uma cadeia de suprimentos, mostra-se como a mesma pode sofrer oscilações de demanda enquanto a demanda final permanece constante, fenômeno impossível de ser entendido adequadamente observando-se a empresa como uma entidade isolada.

Palavras-chave: simulação dinâmica, controle de sistemas dinâmicos, cadeia de suprimentos, coordenação da cadeia de distribuição.

ABSTRACT

In all kinds of human organizations where activities are performed by its interdependent parts in order to achieve a general goal, there are feedbacks and time delays. This structure produces oscillations and amplifications which create serious problem to the planning and control of the system. When the activities are controlled by a central power and the time delays are short, the problem can be insignificant. Otherwise, when the results of the main decisions take place after a long time delay and do not have a central coordination, the consequences can be a disaster or a chronic bad performance of the system. The aim of this Paper is to call attention to the necessity to think the firm like a part of a supply chain.

Uniterms: dynamic simulation, control of dynamyc system, supply chain, coordination of the distribution chain.

REFERÊNCIAS
BIBLIOGRÁFICAS

- ACKOFF, R.L. The future of operational research is past. *J. Opl Res. Soc.*, v.30, p.93-104, 1979.
- AXELROD, R. *The evolution of co-operation*. New York, Penguin Books, 1990.
- FIGUEIREDO, R.S. *A modelagem do conflito e a teoria dos jogos: fundamentos econômicos e desdobramentos filosóficos*. São Paulo, 1993. 319 p. Tese (Doutorado) – IEI/Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- FORRESTER, J.W. *Industrial dynamics*. Cambridge, MA., Productivity Press, 1961.
- MORECROFT, J.D.W. Executive knowledge, models and learning. North-Holland, *European Journal of Operation Research*, v.59, n.1, p.9-27, 1992.
- SENGE, P.M. *The fifth discipline*. New York, Doubleday Currency, 1990.
- STERMAN, J.D. Modeling managerial behavior; misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment. *Management Science*, v.35, n.3, p.321-339, 1989.
- TOWILL, D.R.; NAIN, M.M.; WILKNER, J. Industrial dynamics simulations models in the design of supply chains. *International Journal of Physical Distributions & Logistics Management*, v.22, n.5, p.3-13, 1992.