

## 2

# TEORIA DA DINÂMICA DE SISTEMAS

A teoria da Dinâmica de Sistemas é um estudo com uma abrangência ampla e complexa, com várias vertentes desenvolvidas a partir dos estudos de Jay W. Forrester. Esse capítulo apresentará as principais características existentes na Teoria da Dinâmica de Sistemas, sua origem, a teoria envolvida na simulação e as técnicas de modelagem existentes.

### 2.1 História da Dinâmica de Sistemas

A técnica utilizada em Dinâmica de Sistemas foi criada ao longo do século 20, pelo professor Jay W. Forrester do Instituto Tecnológico de Massachusetts e apresentada inicialmente em seu livro *Industrial Dynamics* (Forrester, 1961). Forrester utilizou técnicas de ciências e engenharia, para analisar a utilização de sistemas de realimentação em processos administrativos, com intuito de investigar os motivos dos fracassos de corporações.

As aplicações de suas idéias ganharam força quando se iniciou o envolvimento de empresas como a General Eletric, que durante os anos 50 utilizou a metodologia para solucionar problemas como a instabilidade dos funcionários da planta de Kentucky, onde pelos estudos tradicionais não se encontravam explicações suficientes que explicassem os fatos.

Entre 1950 e 1960, foram formados diversos estudantes no campo da Dinâmica de Sistemas. Nessa época, também foi criada uma primeira linguagem para simulação dinâmica, chamada SIMPLE (*Simulation of Industrial Management Problems with Lot of Equations*), liderado por Richard Bennett em 1958.

Em 1959, foi criado o DYNAMO (*Dynamic Models*), uma evolução do SIMPLE, criado por Phyllis Fox e Alexander Pugh, que tornou-se a linguagem padrão durante os próximos 30 anos.

Forrester fortalece seu interesse de Dinâmica de Sistemas em problemas sociais e econômicos complexos, culminando em sua terceira obra, o “*World Dynamics*” (Forrester, 1971).

Suas obras tiveram rápida reação no meio acadêmico, pois até então nenhum outro modelo de “Dinâmica de Sistemas” foi tão minuciosamente discutido por tantas pessoas. O livro “*World Dynamics*” contém modelos de simulação, que mostram como aumentos exponenciais na população e no consumo de recursos naturais conduzem a crises de poluição e fome, a menos que se tome alguma medida, principalmente nas políticas econômicas.

A aplicação de Dinâmica de Sistemas está crescendo substancialmente, suportando desde soluções em problemas de gestão empresarial e economia, indo até ecologia, fenômenos sociais e educação.

## **2.2 Base da Dinâmica de Sistemas**

As bases do conhecimento da Dinâmica de Sistemas originaram-se principalmente dos conceitos de realimentação e da teoria dos servomecanismos (sistema de controle no qual a grandeza de saída é de natureza mecânica), originários da cibernética e da engenharia (Fernandes, 2003).

O conceito de cibernética foi definido e elaborado pelo matemático Norbert Wiener em 1948, que através do trabalho de Wiener, Ashby e von Foerster, entre os anos de 1940 e 1950, ganhou força, tendo como interesse inicial a demonstração da semelhança entre sistemas autônomos, seres vivos e máquinas (Principia Cybernetic technology, 2005).

A cibernética pode ser compreendida como uma teoria de comunicação e controle, aplicada aos animais, sociedades e máquinas. Esta teoria possui três elementos principais: realimentação, auto-regulação (*homeostasis*) e o controle, onde a ênfase está normalmente na identificação de condições que possam levar à

instabilidade, e o terceiro é a informação transmitida em resposta, que está associada a redes de comunicação e teoria de informação (Arnold *et al. apud* Batista Filho 2001, Mohapatra *et al.* 1994).

Historicamente podemos dividir os avanços e estudos relacionados à Cibernética em dois movimentos amplos:

- “Movimento Cibernético de Primeira Ordem”, onde o sistema analisado fica fora do controle do criado. Sendo que sua compreensão é baseada em representações simplificadas da realidade, focando apenas no propósito que foram originados, excluindo aspectos sistêmicos. (Vasconcelos, 2003);
- “Movimento Cibernético de Segunda Ordem”, que a partir do fortalecimento da engenharia de controle e da informática no início dos anos 70, fez com que os caminhos da cibernética se distinguissem da visão mecanicista existente, enfatizando pontos como a autonomia, auto-organização, cognição e o papel do observador na modelagem de um sistema (*Principia Cybernetica Technology*, 2005).

### **2.3 Conceitos da Dinâmica de Sistema**

O conceito central para Dinâmica de Sistemas está em entender como os objetos de um sistema interagem entre si, pois tanto os objetos quanto as pessoas em um sistema interagem através de laços de realimentação, onde uma mudança em uma variável afeta outras variáveis. Com o passar do tempo, essas modificações por sua vez alteram a variável original, e assim consecutivamente (SDEP, 2005).

Vemos em sistemas complexos a existência de nós e malhas de realimentação que mascaram a tradicional análise de eventos, sistemas estes modificados pela simples ótica de causa e efeito. O pensamento sistêmico propõe uma “outra forma” de analisar e compreender os sistemas complexos que aparecem no mundo real, como organizações sociais, comportamentos individuais e fenômenos físicos que ao receberem estímulos reagem de forma muito mais complexa que uma simples resposta (SBDS, 2005)

A Dinâmica de Sistemas objetiva elaborar modelos de simulação que reflitam situações analisadas através do Pensamento Sistêmico. Através destes modelos

podemos compreender melhor o comportamento dinâmico do problema ou do fenômeno sendo estudado.

Dinâmica de Sistemas é uma técnica na qual sistemas sociais não lineares, dinâmicos e complexos podem ser entendidos e analisados, através de interações. Além disso, novas políticas e estruturas podem ser desenhadas para melhorar o comportamento do sistema (Mohapatra *et al.*,1994).

Para aprimorar a compreensão da metodologia utilizada na Dinâmica de Sistemas e seus princípios, descreveremos a seguir alguns conceitos importantes de sistemas e pensamento sistêmico.

### 2.3.1 Sistema

A origem da palavra sistemas é “*systema*”, derivada de “*syn*”, que significa, “juntamente”, “conjuntamente”, “ao mesmo tempo”, e “*hystema*”, que significa “estabelecer”. Assim, “sistema” literalmente significa “estabelecer conjuntos”.

Segundo Gordon (1969), para entendermos a definição de sistema é necessário possuir uma visão ampla da finalidade, complexidade e interdependências entre os elementos analisados. Podendo assim, de forma abrangente, definir sistema como uma agregação ou reunião de objetos coesos em alguma interação regular ou interdependente.

Seguindo a mesma linha, Kim (1998) define sistema como qualquer grupo de partes que possuem interação, inter-relação, ou interdependência e de forma complexa e unificada, possuindo uma proposição específica.

De acordo com Jenkis *apud* Mohapatra *et al* (1969), as principais características de sistema são as seguintes:

- Um sistema é um agrupamento complexo de humanos e de máquinas;
- Um sistema pode estar formado de subsistemas, a quantidade de detalhes dos subsistemas depende do problema que está sendo estudado. Os diagramas de fluxo dão a descrição de um caminho para o real entendimento desses subsistemas;

- As saídas de um dado subsistema proporcionam a entrada de outros subsistemas. Assim, um subsistema interage com outro subsistema e, portanto, não podem ser estudados isoladamente;
- O sistema que está sendo estudado, usualmente, formará parte de uma hierarquia de tais sistemas. O sistema superior é muito importante e exerce considerável influência no sistema abaixo dele;
- Para funcionar, o sistema deve ter um objetivo, mas este objetivo é também influenciado pelos demais sistemas do qual ele forma parte. Normalmente, os sistemas possuem múltiplos objetivos que estão em conflito um com o outro; assim, é requerido um objetivo geral que afete os compromissos entre esses objetivos conflitantes;
- Para funcionar com a máxima eficiência, um sistema deve ser projetado de tal forma que seja capaz de alcançar seu objetivo geral da melhor forma possível.

De acordo com as características definidas, podemos classificar os sistemas de diversas formas diferentes. Das classificações mais clássicas, e melhores aplicadas à dinâmica de sistemas, podendo dividir um sistema em dois tipos básicos, (Forrester, 1976): os sistemas de ciclo aberto (enlaces abertos) e os sistemas de ciclo de realimentação ou fechado (enlaces fechados).

Segundo Forrester (1976), um sistema de ciclo aberto é caracterizado por saídas (*output*) que respondem a entradas (*inputs*), porém as saídas estão isoladas das entradas e não exercem influência sobre estas. Um sistema de ciclo aberto não reconhece e nem reage à sua própria performance, dessa forma a ação passada não controla a ação futura. Forrester (1976) exemplifica dizendo que um automóvel é um sistema aberto, pois por si só não governou a sua ação passada e não tem uma meta para onde se deslocar no futuro. Ele mostra que boa parte dos aparelhos mecânicos são sistemas de ciclo aberto.

Segundo Fernandes (2003), um sistema aberto se caracteriza por relações de causa e efeito lineares, pois apesar da causa redundar num efeito, este efeito não realimenta a causa geradora, ou seja, não existe realimentação (*feedback*). Nesse tipo de estrutura unidirecional de causa e efeito, o pressuposto é que a informação sobre o

estado do sistema orienta uma decisão, acarretando uma ação, que leva a um resultado. Quando a informação do estado do sistema não se altera, permanecendo estática, toda a decisão e a ação presente não influenciam as decisões futuras e não alteram o sistema.

Um sistema de ciclo de realimentação ou fechado é influenciado pelo seu próprio comportamento passado, possuindo uma estrutura em circuito fechado, onde a saída influencia a entrada, ou seja, onde a causa e o efeito se confundem, pois qualquer influência de um componente do sistema é, ao mesmo tempo, causa e efeito. Em outras palavras, uma causalidade não tem um único sentido. Podemos exemplificar com os sistemas sociais e ecológicos.

Realimentação é uma seqüência fechada de causa e efeito, isto é, um caminho fechado de ação e informação (Richardson e Plugh *apud* Kirkwood, 1998).

Em uma perspectiva de realimentação, o mundo é visto interconectado, com diversos relacionamentos circulares, que afetam diretamente o próximo membro da cadeia e assim por diante.

### **2.3.2 Pensamento Sistêmico**

O avanço da visão mecanicista apresentada no avanço da cibernética e as impossibilidades de explicar diversas questões apresentadas em sistemas biológicos tornaram-se os principais fatores para o desenvolvimento da ciência dos sistemas, que, apoiada em diversas disciplinas da ciência, deu origem ao pensamento sistêmico e à teoria geral dos sistemas, apresentada inicialmente por Bertalanffy (1975).

Kim (1998) apresentou o pensamento sistêmico como a forma de ver e falar sobre a realidade que nos auxilia a entender e trabalhar melhor com sistemas para influenciar a qualidade de nossas vidas. Assim, o Pensamento Sistêmico é a capacidade de se conhecer o ambiente enquanto um todo e conseguir prever as conseqüências de uma ação com base no encadeamento e nas dependências existentes. Uma forma holística de pensar que contribui para a compreensão de sistemas complexos e que quando utilizado em aplicações no mundo real ajuda a

promover a eficiência da gestão, descrevendo e apresentando formalmente os sistemas.

### **2.3.3 Características da Dinâmica de Sistemas**

Segundo Kirkwood (1998), existem quatro níveis hierárquicos na estrutura de um sistema dinâmico:

- Limite fechado: isto não significa que as funções de sistemas não possuam integração com o ambiente externo, mas que os elementos importantes, que criam as causas e efeitos do comportamento, estão dentro do limite;
- Laço de Realimentação como o componente de sistema básico: o comportamento do sistema é determinado pela estrutura dos laços de realimentação dentro de um limite fechado; as estruturas de realimentação são responsáveis pelas mudanças existentes com o passar do tempo, resultando em um comportamento de acordo com sua estrutura interna (dentro o limite fechado) ao invés dos elementos externos.
- Níveis e taxas: em um sistema existem níveis e taxas. Níveis podem ser descritos como estoques que armazenam a quantia de um elemento (por exemplo; número de empregados, horas extras). Taxas são as quantias relativas dos níveis que aumentam ou diminuem.
- Metas: são as condições observadas, as discrepâncias entre elas e ações desejadas. A meta é o nível que o sistema está tendendo a alcançar, condições mostram o status atual do sistema. A discrepância entre os estados conduz a uma ação desejada para fechar a abertura entre a meta e as condições observadas.

Uma estrutura sistêmica pode ser física, como a forma de organização do local de trabalho, ou a construção de máquinas, ou pode ser intangível, como a forma de remuneração dos empregados.

Para considerarmos uma estrutura de sistemas, devemos primeiramente generalizar os eventos específicos associados a um determinado problema, para a avaliação dos padrões de comportamento que caracterizam a situação. Uma vez

identificado tais padrões, pode-se analisar a estrutura do sistema que leva a este determinado padrão, conforme a Figura 1 (Kirkwood, 1998)

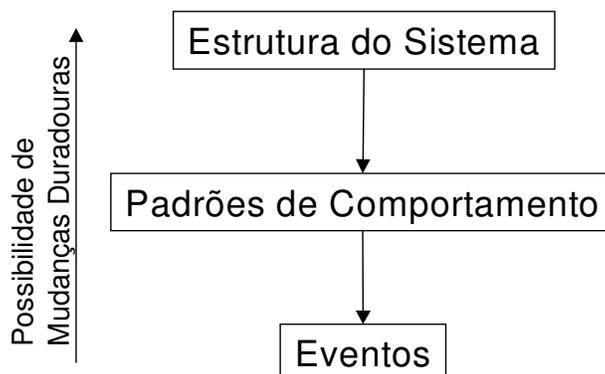


Figura 1 - Diagrama Estrutura de Sistema (Fonte: Kirkwood, 1998)

## 2.4 Definição de Modelo

Radzicki (1997) define um modelo como uma representação externa e explícita de parte da realidade percebida pela pessoa que deseja usar aquele modelo para entender, mudar, gerenciar e controlar parte daquela realidade. Segundo Mohpatra *et al.* (1994), os objetivos para a construção de um modelo do sistema real são:

- Entender como um sistema real trabalha;
- Ter capacidade de reconhecer os fatores que exercem grande influência no controle do comportamento do sistema;
- Experimentar e determinar as conseqüências da implantação de várias formas de controle e políticas;
- Alcançar uma função de controle viável;
- Ter capacidade de compartilhar com outros o processo de investigação e seus resultados.

Maami e Cavana (2000) apresentam a distinção entre modelagem *soft* ou mental e modelagem *hard* ou *formal*. Modelagem *soft*, defendida por diversos autores, refere-se a abordagem conceitual e contextual que busca maior realismo, pluralismo e uma intervenção mais holística que a modelagem *hard*. Os conceitos de modelagem *soft* e *hard* são também relacionados às idéias de qualitativo e quantitativo.

De acordo com o quadro 1, podemos sumarizar as diferenças entre abordagens *hard* e *soft* (Naami e Cavana, 2000).

Quadro 1 - Diferenças entre as modelagens *Soft* e *Hard*

	<i>HARD (Formal)</i>	<i>SOFT (Mental)</i>
Definição do modelo	Uma apresentação da Realidade	Um método para gerar debates e <i>insight</i> sobre a realidade
Definição do problema	Uma única e bem definida dimensão	Múltiplas Dimensões (objetivos diversos)
Agentes/ Organizações	Não são levados em conta	Partes integrantes do modelo
Dados/ Informações	Quantitativos	Qualitativos
Objetivos	Soluções e otimizações	<i>Insight</i> e aprendizagem
Resultados	Produtos ou recomendações	Aprendizado em grupo ou autodesenvolvimento.

Fonte: Adaptado de Naami e Cavana *apud* Bastos (2003)

### 2.4.1 Modelo *Soft*

A modelagem *Soft* é baseada em crenças e suposições que temos sobre como o mundo trabalha. Podendo ver essas suposições como geradores da estrutura sistêmica, pois fornecem o fator inicial para essas estruturas do sistema (Kim , 1998)

A partir da modelagem *Soft* é possível analisar as visões desejadas de determinado modelo, obtendo um retrato de como queremos o nosso futuro, assim tornando-se uma força guia para determinar o modelo mental que ajudará a procurar as metas desejadas.

#### 2.4.1.1 Estrutura dos Modelos de Dinâmica de Sistemas

Segundo Goodman *apud* Fernandes (2003), o comportamento de um sistema é determinado pela sua “estrutura”, que por sua vez é composta de circuito de realimentação (feedback) e atrasos. Quando duas ou mais variáveis formam um circuito fechado de relações, ou seja, quando a primeira influencia uma segunda, que influencia uma enésima, que por sua vez influencia novamente a primeira, forma-se um ciclo de realimentação.

Os ciclos de realimentação (enlace) são responsáveis pelos mecanismos de reforço (positivo) e equilíbrio (negativo) que fazem com que um sistema cresça, decresça, oscile ou se mantenha estagnado. Dessa forma, percebemos que uma estrutura de realimentação nada mais é que a representação de um conjunto circular de causas interconectadas que, em decorrência de uma estrutura e atividades, produzem certos comportamentos de resposta.

Para se determinar o tipo de enlace em questão, é necessário identificar se uma ação produz uma variação no mesmo sentido, originando uma realimentação de reforço, ou se ela produz uma variação contrária, originando uma realimentação de equilíbrio.



Figura 2 - Ciclo de Realimentação

Podemos exemplificar o enlace com uma simples ilustração de realimentação, como mostra a Figura 2, onde é possível identificar os seguintes elementos:

–Variáveis ou Elementos do Sistema: são as entidades ou fatores relevantes do sistema. A escolha das variáveis deve ser acompanhada da definição operacional e da especificação das unidades que serão mensuradas individualmente. (Martelanc *apud* Bastos, 2003) – no caso acima “Motivação”, “Avanço de Atividades” e “Problemas”;

–Relacionamentos: Setas que indicam a direção de influência de um elemento sobre o outro. O sinal que acompanha a seta indica a forma de relacionamento; quando <+>, indica a variação ocorre no mesmo sentido, no exemplo, quanto maior o Avanço das Atividades, maior a Motivação da Equipe, e quanto maior a Motivação, maior o Avanço das Atividades. Porém quanto maior o Avanço das Atividades, maior o número de Problemas encontrados, assim com o aumento de problemas menor o Avanço das Atividades.

É importante notar que a determinação do efeito de um único elemento sobre outro é definido mantendo-se constantes todos os demais efeitos sobre o elemento afetado (Andrade *apud* Bastos, 2003).

– Enlaces ou Realimentações (ou *loops*): Conjunto circular de causas onde uma perturbação em um elemento causa uma variação nele própria como resposta. Para determinar a polaridade do enlace basta identificar o efeito resultante sobre ele mesmo e no mesmo sentido, originando “realimentação positiva”, ou de Reforço, possuindo uma simbologia de (+), “R” maiúsculo (Enlace de Reforço) ou pela utilização do símbolo  (bola de neve). Se o efeito é contrário, origina uma realimentação negativa ou de Balanço, utilizando a simbologia de (-), “B” maiúsculo (Enlace de Balanço) ou com o símbolo  (Balança).

Se a somatória de relacionamentos negativos possuir uma resultante negativa, assim teremos um enlace de balanço, caso contrário, nós teremos um enlace de reforço.

Analisando a situação descrita na Figura 2, temos que um aumento na realização da atividade causa um aumento da Motivação, causando por sua vez um novo aumento na realização das Atividades, caracterizando assim um enlace de Reforço.

Os enlaces de balanço ou equilíbrio têm maior variedade de possibilidades de comportamento do que o enlace de reforço. Em todos os casos, um enlace de balanço age de forma a conter a direção inicial da mudança das variáveis, mas ocorrem diferentes formas de flutuação ou busca de equilíbrio (Martelanc *apud* Bastos, 2003).

Os enlaces de reforço possuem um comportamento previsível, pois as variáveis atuam de forma a reforçar ou acelerar a mudança inicial. Dessa forma, possuem um início de crescimento lento, porém com o aumento da velocidade do crescimento, este aumenta subitamente. (Kirkwood, 1998). Este enlace possui um comportamento exponencial (crescente ou decrescente), que ocorrerá indefinidamente a não ser que: entrem em colapso; sejam introduzidas restrições com outros enlaces de realimentação, ou ainda, a partir de variáveis exógenas ao sistema (Martelanc *apud* Bastos, 2003).

O enlace de reforço pode ser também chamado de ciclo virtuoso ou vicioso, dependendo da natureza das mudanças ocorridas (Kirkwood, 1998).

A combinação de enlaces pode criar uma variedade de padrões possíveis. Como por exemplo, o formato “S” que é criado a partir de um crescimento exponencial em conjunto a um atraso adicionado de um enlace negativo (Kirkwood, 1998).

Esperas (ou *delays*) juntamente com o conceito de realimentação são os responsáveis por grande parte dos sistemas complexos. Esperas são atrasos ou retardos que fazem com que uma ação possa produzir efeitos diferentes no tempo e espaço. Em um ciclo (ou enlace), a realimentação ocorre em alguns casos com a existência de atraso em relação as variáveis atuantes, gerando dessa forma comportamentos inesperados (Martelanc *apud* Bastos, 2003). A existência desse atraso ocorre quando os efeitos de uma variação num dos elementos do sistema não são imediatos, causando neste caso efeitos indesejados, como oscilações ou amplificações. Na simbologia utilizada na construção de modelos, as Esperas são ilustradas por duas barras paralelas ao longo do relacionamento que produz efeitos como atrasos.



Figura 3 - Esperas (Fonte: Andrade *apud* Bastos, 2003)

A partir dos elementos básicos para modelagem *soft*, diversos autores, como Senge (2003), estabeleceram algumas estruturas criadas a partir de enlaces causais (reforço e balanço), onde sua resultante nos leva a observar padrões, chamados de arquétipos. Esses padrões são verificados em diversos tipos de modelos, podendo-se então realizar análises e comparações de comportamentos em diversos tipos de sistemas diferentes (Anexo).

#### 2.4.2 Modelagem *Hard*

Analisando sob a perspectiva de simulação computacional, a partir do diagrama de enlace causal, temos componentes que não são eficazes tanto para uma análise

quantitativa, quanto para uma análise do comportamento sistêmico ao longo do tempo.

Dessa forma, para obter uma análise quantitativa, contínua e que tenham características estruturais definidas no Diagrama de Enlace Causal, foi necessário desenvolver uma abordagem que possibilite estudar a evolução de um sistema, dentro de um período de interesse, o Diagrama de Estoque e Fluxo.

A partir da linguagem composta pelo Diagrama de Estoque e Fluxo, perante a perceptiva da Dinâmica de Sistemas, podemos descrever matematicamente qualquer sistema artificial ou natural através de quatro elementos chave (Fernandes, 2003) (Figura 4):

- Estoques (níveis), que representam o estado de um recurso, como, por exemplo, pedido em carteira, quantidade de trabalhadores, inventário, ou capital intelectual.

Na utilização do *software* Ithink, é possível utilizar quatro tipos diferentes de Estoque: *Reservoir* (reservatório), *Conveyor* (transportadora), *Queue* (fila), *Oven* (Forno).

- Fluxos são atividades que produzem crescimento ou redução do estoque, tal como o movimento de materiais e informações dentro de um sistema, como por exemplo fluxo de água de uma torneira.

O Fluxo é representado por uma flecha com linha dupla, como se fosse um encanamento, sendo que o registro do encanamento é representado por um símbolo parecido com o de uma válvula, que controla o fluxo do encanamento.

- Conversores podem processar informações a respeito dos estoques e fluxos, ou ainda representar fontes de informação externa ao sistema.
- Conectores são as ligações de informações que conectam Estoques e Fluxos, podendo realizar ligações de um ponto para diversos pontos.

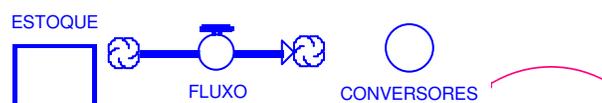


Figura 4 – Elementos Chaves da Dinâmica de Sistemas (Fonte: Autor)

### 2.4.2.1 Características do Diagrama de Estoques e Fluxos

A Dinâmica de Sistemas acredita que todo o comportamento dinâmico é um sistema baseado no princípio da acumulação (Radzick *apud* Bastos, 2003). Este princípio afirma que o comportamento dinâmico no mundo ocorre quando os fluxos se acumulam em estoques, ou seja, o comportamento dinâmico surge quando algum elemento flui por um meio, se acumulando (ou se esgotando) de alguma forma. Na modelagem com Diagramas de Estoques e Fluxos, variáveis físicas podem fluir pelos fluxos e se acumular nos estoques.

O entendimento e distinção das entidades dos Diagramas de Estoques e Fluxos são fundamentais para uma correta análise do comportamento dinâmico gerado pelo sistema.

Para identificar as principais estruturas do Diagramas de Estoques e Fluxos, o modelador deve descobrir quais variáveis determinam o estado, a situação do sistema (seus estoques) e quais variáveis estabelecem as mudanças (seus fluxos).

Analisando um sistema, temos que um estoque é normalmente descrito através de um substantivo (população, estoque, auto-estima, empregados), um fluxo descrito através de um verbo e pode ser caracterizado como fluxo de entrada (nascer, produzir, evoluir, contratar) e fluxo de saída (morrer, despachar, retroceder, demitir).

É possível também diferenciar estoque e fluxo dentro de um sistema, “paralisando” o sistema em um determinado momento e analisando as quantidades resultantes dentro de cada entidade. Assim, as entidades com quantidades diferentes de zero são os estoques, que acumulam os valores, e aquelas entidades com valor zero são fluxos, onde nada trafega pela paralisação do sistema.

Analisando separadamente cada uma das entidades que pertencem à Dinâmica de Sistemas, vemos que elas possuem características importantes para a determinação do comportamento dinâmico:

#### **Fluxos ou taxas**

Os fluxos em um sistema são o resultado das decisões por parte da gestão, ou então forças exógenas fora do controle dos gestores.

Segundo Forrester (1961), as equações dos fluxos são políticas estabelecidas que definem como o fluxo ocorrerá no sistema. Essas taxas não poderão ser observadas em um único momento do tempo, exceto sua somatória acumulando com o passar do tempo ou na média resultante.

A Figura 5 mostra a flecha na extremidade do fluxo indicando seu sentido e o círculo com a válvula, no centro, como o regulador do fluxo, chamado de taxa. Este regulador conterá a “lógica”, ou a “regra de decisão”, que ajusta o fluxo.



Figura 5 – Fluxos ( Fonte: lthink)

Em algumas situações, o fluxo se inicia ou se encerra em uma “nuvem”, que representa um ponto limite do modelo (HPS, 2001). Estas nuvens nas extremidades de alguns fluxos são fontes ou escape da estrutura, significando o infinito e definem as fronteiras, os limites do modelo (Powersim, 2001).

### Estoques

Possuem quatro características básicas (Radzick *apud* Bastos, 2003)

- O estoque possui efeito memória (como resistência ou inércia). Se o fluxo de um estoque é interrompido, o nível ou quantidade acumulada no estoque não será alterado, permanecendo estático no nível em que se encontrava no exato momento que o fluxo foi interrompido. Essa característica demonstra que se um determinado estoque estiver estabelecido o padrão de acumulação no estoque, normalmente não exibirá o mesmo padrão do fluxo.
- Estoques repartem (interrompem ou separam) os fluxos em fluxos de entrada (ou alimentação) e fluxos de saída (ou drenagem), sendo que a variação entre os dois fluxos resulta no desequilíbrio dentro do estoque, como pode-se observar na Figura 6.

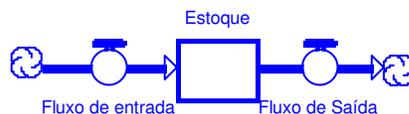


Figura 6 – Estoque (Fonte: Itink)

- Estoques criam *atrasos (delays)*, pois a partir da variação de qualquer estoque dentro de um sistema, haverá uma fração de tempo ( $dt$ ) para essa mudança refletir no restante do sistema.

A identificação desses padrões de atraso é um fator primordial para a Dinâmica de Sistemas, pois freqüentemente alteram o comportamento do sistema de diferentes maneiras, causando um distanciamento entre causa e efeito e dessa forma dificuldade no Diagnóstico e decisões dos gestores, por não perceberem a dualidade de conexão causa e efeito.

Representação Matemática:  $\text{Estoque}(T+dt) = \text{Estoque}(T) + \text{Fluxo}(dt) \cdot dt$

### Conversores

Conversores são variáveis intermediárias que podem, se necessário, ser utilizados em lugar das equações de fluxo para inserir, manipular ou converter dados (Manni e Cavana, 2000).

Além disso um conversor é uma variável auxiliar, utilizada para combinar ou reformular informações. É o processamento algébrico de qualquer combinação de estoques, taxas de fluxos, ou mesmo outros conversores. Pode servir de entrada para os fluxos e outros conversores, porém não pode estar ligado diretamente ao estoque, pois o fluxo é o único elemento capaz de mudar os estoques (Powersim, 2001).

A característica padrão para um conversor é a modelagem de informação, não tendo assim o efeito memória existente nos estoques, pois os conversores não tratam de fluxos de bens físicos de bens e quantidades. (Powersim, 2001).

### Conectores

Conectores são entidades que estabelecem conexões entre taxas de fluxos, conversores e estoques, permitindo que essa informação passe de uma entidade para

outra. Eles definem de que maneira os elementos do sistema se dispõem conjuntamente.

Através dos conectores é possível transferir os valores e quantidades dos estoques de volta para os fluxos, indicando a dependência dos fluxos aos valores dos estoques, semelhante à óbvia dependência do estoque em relação ao fluxo (Powersim, 2001), demonstrando, dessa forma, o fechamento dos enlaces de realimentação (ou *feedback*).

### 2.4.3 Softwares de Simulação

A partir do entendimento dos princípios da Dinâmica de Sistemas, tratamos sua complexidade de maneira prática, de forma a construir modelos representativos e focados do sistema, para estudar seu comportamento ao longo do tempo, analisar e reproduzir seus problemas, com o intuito de criação de novas políticas para o sistema.

*Softwares* de simulação tornam-se necessários e tradicionalmente utilizados pela Dinâmica de Sistema. O mercado de *softwares* de simulação atualmente abrange os mais diversos tipos de simulação, onde é necessário inicialmente identificar qual *software* é o mais propício para utilização dentro de seu problema e sistema.

A modelagem de negócio é uma área abrangente e em contínua evolução, em que é possível listar as mais diversas ferramentas para simulação de sistemas estáticos, dinâmicos e ferramentas especializadas em otimização de processos.

A Figura 7 descreve uma classificação das ferramentas de modelagem de negócios, onde está contida a ferramenta de Dinâmica de Sistema.

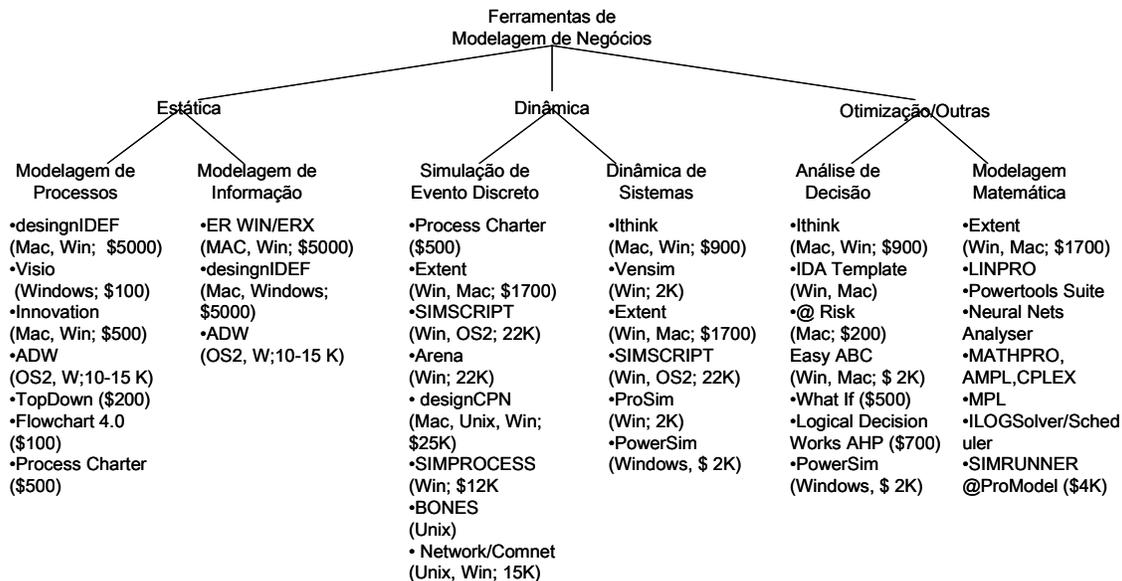


Figura 7 - Ferramentas de modelagem de negócios (Bearingpoint, 2004)

As ferramentas de modelagem estática provêm uma ilustração gráfica dos fluxos de processo, atividades e custo. Adicionalmente, a modelagem estática permite ao usuário detalhar a hierarquia de processo dentro de um maior nível de detalhe.

O ponto positivo dos modelos estáticos é a facilidade de representar graficamente um processo por um curto período de tempo, facilitando o entendimento do modelo atual e o desenho do modelo futuro.

As ferramentas de otimização de operações são similares a uma ferramenta de modelagem estática, que calcula o tempo e custo do processo de forma automática, simples e ágil.

As ferramentas de modelagem dinâmica provêm a habilidade de representar instantaneamente os efeitos das mudanças das entradas e variáveis do modelo. A partir dessas ferramentas é possível obter uma excelente aplicação para simulação das relações estratégica de alto nível, tornando-se uma poderosa ferramenta para entender as implicações das decisões no negócio, além de também utilizar como uma forma de modelar as interações dos recursos e entidades dos modelos, analisando o efeito das suas restrições.

A vantagem da ferramenta de modelagem dinâmica é a habilidade de mostrar o relacionamento de causa e efeito, além de possibilitar o cálculo de tempo e custo do

processo. Por outro lado, essas ferramentas de modelagem são de demorado desenvolvimento, requerendo um treinamento de alto nível para a criação dos modelos e validação dos resultados.

Nesse trabalho estaremos abordando a utilização da ferramenta de modelagem dinâmica Vensim da *Ventana System* (<http://www.vensim.com>), basicamente por quatro motivos principais: a familiarização do *software* pelo usuário, o acesso gratuito, a expressiva utilização no meio acadêmico e profissional, com um grande número de modelos e a existência de uma interface gráfica de fácil utilização, que favorece o aprendizado dos conceitos de Dinâmica de Sistemas.