

2. METODOLOGIA

“Without an organizing structure, knowledge is a mere collection of observations, practices and conflicting incidents.”

Jay W. Forrester

2.1. Referencial teórico

DAVIS e GOLDBERG (1957:85), nos anos 50, perceberam que a agropecuária deveria ser compreendida de forma sistêmica, associada a todas as atividades a ela relacionada, derivando, a partir desse raciocínio, o conceito de *agribusiness*, entendido como

“o conjunto de todas as operações que envolvem a produção e distribuição dos insumos rurais; as operações de produção nas fazendas; estocagem, processamento e distribuição de produtos agrícolas e itens produzidos com eles”.

Assim, parte desses autores a idéia de que a agropecuária deve ser analisada de forma coordenada a outros agentes responsáveis por atividades que garantam a produção, transformação, distribuição e consumo dos alimentos (BATALHA, 1997).

Para MIRANDA (1997) a coordenação tornou-se a principal característica da economia moderna. Neste quadro, a Coordenação Vertical (CV) visa o grau máximo de eficiência do *agribusiness*, por meio da melhor compreensão da estrutura e conduta das atividades econômicas.

Contudo, não existe ainda uma teoria ou enfoque unificado, capaz de prover bases para compreensão de todos os diferentes estágios da CV (CHILD e FAULKNER, 1998). Portanto, encontra-se na literatura mais de uma base teórica para abordar as questões relacionadas às diferentes formas de CV (DUSSAUGE e GARRETE, 1999; CHIELD e FAULKNER, 1998; COZZARIN, 1998; MIRANDA, 1997; FEARNE, 1994).

De acordo com SILVA et al. (1998), sob a ótica da teoria econômica, as principais contribuições para a análise de segmentos da economia partem dos estudos da Organização Industrial (OI), baseados principalmente no modelo estrutura-conduta-desempenho.

Contudo, a abordagem clássica destes estudos caracteriza-se por seu enfoque horizontal, ou seja, o foco voltado às indústrias. Este foco limita a compreensão da organização vertical, nítida no segmento agroalimentar, como condicionante do desempenho. Esta desconsideração compromete a compreensão e a avaliação da performance, o que é função de um referencial teórico (SILVA et al., 1998).

Neste sentido, novas teorias e aprimoramentos feitos na teoria de OI visam adequar-se aos problemas de coordenação vertical. Estes aprimoramentos surgem com a Teoria dos Custos das Transações (TCT), descrita no item 2.1.1., que embora incorpore aspectos sistêmicos, desconsidera as características dinâmicas do sistema (CHIELD e FAULKNER, 1998). Assim, no item 2.1.2., discorre-se sobre o Enfoque Sistêmico do Produto, que considera tanto as relações horizontais, como as de coordenação vertical, estendendo a abrangência do modelo estrutura-conduta-desempenho⁶. Contudo, este enfoque está mais relacionado com a observação

⁶ Ver MARION et al. (1986).

macro do sistema e medidas de regulação dos mercados, sendo assim, complementado pelo enfoque de “*Supply Chain Management*”, item 2.1.3., que foca os mecanismos de coordenação do sistema implementados por seus próprios integrantes - as empresas privadas (SILVA e BATALHA, 1999).

2.1.1. Teoria dos custos das transações

A teoria dos custos de transações (TCT), segundo AGUIAR (1998), é uma estrutura conceitual que explica as formas organizacionais de forma geral. As idéias básicas subjacentes a TCT foram primeiramente descritas nas teorias elaboradas por Ronald H. Coase em 1937 (DUSSAUGE e GARRETTE, 1999).

De acordo com Coase (1937), citado por DUSSAUGE e GARRETTE (1999), as firmas se desenvolvem para substituir relações de mercado, onde estas atuassem de forma ineficiente.

No mercado, a produção é determinada tão somente pela variação de preços. Na firma, as transações via preço desaparecem, sendo substituídas por fluxos internos coordenados pelo gerente de produção. O problema surge então da escolha da forma mais eficiente - de menor custo - de organização (DUSSAUGE e GARRETTE, 1999), sendo este, para WILLIAMSON (1975), o propósito da TCT.

A contribuição da TCT está na noção de que as relações via mercado podem ser de elevado custo, e que, portanto, não se deve levar em consideração, nas decisões econômicas, apenas os custos de produção (DUSSAUGE e GARRETTE, 1999). O somatório dos custos de produção e dos custos de transação é que determina a estrutura de governança de maior eficiência dentro do contínuo da CV.

Para WILLIAMSON (1985), a existência e a amplitude dos custos de transações depende do grau de incerteza das transações, da freqüência das transações e da especificidade do ativo. Estes fatores ainda são influenciados

pelo comportamento oportunístico e pela racionalidade limitada (AGUIAR, 1998; WILLIAMSON, 1975).

Assim os limites da firma são determinados através da minimização dos custos das transações e dos custos de produção. Nos casos onde a internalização dos custos de transação é seguida do aumento dos custos de produção, a formação de alianças estratégicas se torna a melhor opção. Sob esta perspectiva a formação de alianças estratégicas ocorre apenas sob as vantagens inerentes à redução dos custos das transações. Contudo, a formação destas não ocorre apenas por razões econômicas, mas também por visarem maior vantagem competitiva (DUSSAUGE e GARRETTE, 1999), o que não é abordado pela TCT.

A TCT também não considera como as relações de cooperação evoluem ao longo do tempo e o conseqüente impacto destas sobre as próprias transações (CHIELD e FAULKNER, 1998), limitando esta teoria tão somente a análise de cenários estáticos.

2.1.2. Enfoque sistêmico do produto

Goldberg (1968), citado por BATALHA (1997), descreveu o conceito de *Commodity System Approach* ou Enfoque Sistêmico do Produto, que tem como ponto principal a orientação sistêmica, estabelecida pela inter-relação entre as atividades de produção, processamento e distribuição de alimentos.

Por definição, um sistema é compreendido pela união de seus elementos através de uma rede de relações funcionais, que se resumem na interdependência entre as partes, influenciando e sendo influenciado pelo ambiente externo, comportando-se de forma a atingir um objetivo determinado (SILVA e BATALHA, 1999; TRIENEKENS et al., 1998; CHIAVENATO, 1993; BIO, 1985).

Neste contexto, o enfoque sistêmico do produto examina a forma como as atividades de produção e distribuição de uma *commodity* se

organizam numa economia e questiona a maneira de elevar a produtividade de tais atividades através de melhores tecnologias, instituições ou políticas de coordenação (STAATZ, 1997).

Para este autor, a análise sistêmica inclui:

- a) descrição da estrutura atual (atividades, agentes e as regras envolvidas);
- b) explicação de como e porque tal estrutura surgiu;
- c) análise das implicações de tal estrutura sobre o desempenho econômico, presente e futuro; e
- d) análise de possíveis pontos de mudança sobre o desempenho do sistema.

Para SILVA et al. (1998) e SILVA e BATALHA (1999), a generalidade dessa análise sistêmica acaba por gerar, em princípio, um melhor entendimento de fatores que afetam o desempenho global, podendo estes estar presentes em qualquer ponto da estrutura, a exemplo de problemas, que expressam seus efeitos em apenas determinado componente do sistema, apresentando suas causas remotamente localizadas no espaço e, ou, no tempo. No caso da carne, pode-se atribuir a qualidade final do produto no varejo à escolha da composição genética do animal, dentre outros.

Esta análise sistêmica ainda é guiada por cinco elementos-chave (STAATZ, 1997) que são:

- a) Verticalidade - sugere que as condições de um estágio são provavelmente influenciadas, de forma significativa, pelas condições em outros estágios do sistema. De forma geral, estas relações são não-lineares, ou seja, ocorrem de forma indireta e inesperada. Na análise do desempenho de sistemas não é raro a identificação de problemas que, embora presente em apenas certo componente, tenham sua origem em outros componentes remotamente localizados no espaço e, ou, no tempo (SILVA e BATALHA, 1999).

- b) Demanda Efetiva - indica que a demanda gera informações que conduzem o fluxo de produtos e serviços através do sistema vertical. Assim, procura-se entender a dinâmica de como a demanda se altera e ainda examina a existência de possíveis barreiras à transmissão de informações através do sistema;
- c) Coordenação Dentro dos Canais - avalia a eficiência com que a forma de CV adotada, harmoniza e coordena as atividades entre os diferentes agentes, de uma cadeia produtiva;
- d) Competição Entre Canais - um sistema pode envolver mais de um canal de comercialização (exportações ou mercado interno, por exemplo). O conhecimento desses canais pode levar a intervenções que melhoram o desempenho econômico e;
- e) Alavancagem - envolve a identificação de pontos chave no contínuo da produção ao consumo, onde ações possam ajudar a um grande número de firmas de uma única vez.

SILVA et al. (1998:27) lembram que

“não é suficiente para um referencial conceitual sistêmico identificar quais são seus elementos, se não se analisam sua estrutura, as funções e disfunções estruturais dos seus elementos, bem como aspectos relacionados ao equilíbrio, controle, mecanismos regulatórios, mudanças e trajetórias dos sistemas nos diferentes cenários políticos-sócio-econômicos”.

Para MARION et al. (1986), o enfoque sistêmico tem sua atenção voltada ao processo vertical de adição de valores ao produto final e na coordenação necessária para que se sincronize e integre de forma eficiente a contribuição de cada elo do sistema, garantindo, assim, que o produto final, seja de fato, o que se foi demandado.

Logo, encontra-se no enfoque sistêmico do produto o arcabouço teórico necessário à compreensão da forma através da qual a cadeia produtiva funciona, sugerindo ainda variáveis que afetam o desempenho do sistema (SILVA e BATALHA, 1999).

2.1.3. Gestão de cadeias produtivas - SCM

A cadeia produtiva (*supply chain*), pode ser vista como o sistema pelo qual as organizações, através de seus produtos e, ou, serviços, realizam as funções de procura de materiais, transformação desses materiais em produtos intermediários e acabados, e a distribuição desses bens para os consumidores (GANESHAN e HARRISON, 1998; POIRIER e REITER, 1996)

Ellram e Coope (1990), citados por TRIENEKENS et al. (1998:18), definiram SCM como sendo uma “*filosofia integrada para gerenciar o fluxo total dos canais de distribuição desde os fornecedores até o consumidor final*”.

Nesse contexto, O’KEEFE (1997) afirmou que o mais importante em SCM é a concepção de cooperar com o objetivo de posicionar a firma numa situação final melhor. Assim, no “*desejo de tornarem-se mais competitivas, as firmas precisam ser boas cooperadoras*” (O’KEEFE, 1997:29).

As principais características associadas ao conceito de SCM, de acordo com O’KEEFE (1997), são: a fragmentação da demanda e o aumento desta por produtos de maior valor adicionado, conveniência e preparo rápido e fácil, que aumentam a necessidade de *feedback* ao longo da cadeia produtiva; preocupações com segurança alimentar, por parte dos consumidores, que aumentam a necessidade de rastreabilidade do produto; e aumento da competitividade entre mercados como resultado da globalização.

De forma geral, o SCM busca elevar os níveis dos serviços oferecidos, as inovações tecnológicas, a flexibilidade e a compreensão da organização da cadeia produtiva e minimizar custos, mediante eliminação de possíveis barreiras entre os elos da cadeia produtiva. Assim, o ponto central do SCM é o papel da coordenação para se alcançar a otimização global da cadeia produtiva (POIRIER e REITER, 1996).

Logo, o SCM é uma metodologia baseada na visão sistêmica da cadeia, capaz de englobar fatores físicos, recursos financeiros e informações dentro da cadeia produtiva (SONKA e CLOUTIER, 1998; WOOD JUNIOR e ZUFFO, 1998).

2.2. Modelo analítico

Serão abordados aqui as idéias e os conceitos do Pensamento Sistêmico (*System Thinking*) e da Dinâmica de Sistemas (*System Dynamics - SD*). De fato, estas duas metodologias apresentam pontos em comum. Para SENGE (1993), o Pensamento Sistêmico é um termo mais genérico, que não envolve o rigor associado à Dinâmica de Sistemas (SD).

2.2.1. O pensamento sistêmico

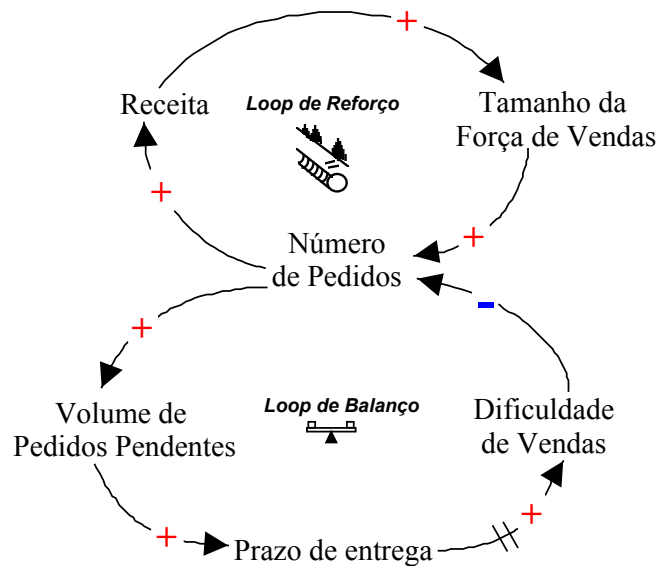
A característica chave do Pensamento Sistêmico está na interdependência, ou seja, na forma como os elementos de um sistema estão ligados uns aos outros, o que para FORRESTER (1961), é mais importante do que a análise pontual destes elementos de forma independente. Estas ligações são descritas na forma de diagramas de influência (Figura 3), que têm como objetivo trazer à tona as estruturas de *feedback* do sistema (RICHMOND, 1993).

Nesta figura as setas indicam a direção da causalidade, enquanto que os sinais mostram se o efeito está no mesmo sentido (sinal positivo) ou sentido inverso (sinal negativo). Setas cruzadas por dois traços paralelos indicam que a relação entre as variáveis de causa e efeito não é imediata: há uma defasagem de tempo (*delay*) entre o estímulo e a resposta.

Estes diagramas de causalidade circular são elaborados a partir dos modelos mentais⁷ (MM) de cada indivíduo. No entanto, cada ser humano constrói diferentes MM para a mesma realidade (SPRITZER, 1993). Esta característica permite às pessoas ações distintas, e não raro conflitantes, acerca da mesma situação (FORRESTER, 1994a; SENGE, 1992). Para

⁷ Entende-se por modelos mentais as pressuposições, crenças, valores e experiências acumuladas por cada indivíduo (DOYLE e FORD, 1998; FORRESTER, 1994; SPRITZER, 1993; SENGE, 1992).

SENGE (1992) e SENGE e FULMER (1993) esta divergência é a razão do insucesso da adoção de políticas promissoras dentro e entre companhias.



Fonte: Adaptado de SENGE (1990).

Figura 3 - Diagrama de influência ou causalidade circular.

Desta relação deriva a principal contribuição do Pensamento Sistêmico, que está em elucidar, testar e melhorar os MM, permitindo uma compreensão mais “rica” a respeito da realidade (SENGE, 1992 e 1999; COVER, 1996).

Assim, a formalização dos modelos mentais, na forma de diagramas de influência, permite a análise de onde, como e porque tais MM divergem, tornando-se o primeiro passo para a construção de uma visão compartilhada dentro de uma empresa ou cadeia produtiva.

No entanto, embora a ferramenta do Pensamento Sistêmico seja de grande utilidade na descrição de estruturas de *feedback*, vistas como diagramas de causalidade circular, esta ainda é insuficiente para a análise de

problemas complexos, uma vez que falha em identificar os elementos que produzem o comportamento dinâmico de um sistema e por ser bastante complexa a avaliação mental dos resultados (MORECROFT e ACKERE, s.d.; FORRESTER, 1994b).

Logo, acredita-se que o Pensamento Sistêmico seja o primeiro passo para a formalização de problemas de SD que, por meio do uso de computadores, torna possível a representação explícita, formalizada e matematizada dos MM, permitindo comunicar, de forma clara, suas pressuposições aos demais agentes interessados, os quais poderão elaborar, de modo construtivo, críticas referentes ao modelo (DAVIDSEN, 1996).

2.2.2. Modelo de simulação dinâmica

Um modelo é um substituto para um objeto ou sistema real, que possui grande aceitação no planejamento, projeto e controle de sistemas complexos (FORRESTER, 1968; FORRESTER, 1961). A utilidade dos modelos decorre da impossibilidade de se realizar experimentos com o sistema real.

Assim, modelos representam a atuação de partes de um sistema real, o que permite a construção de teorias e hipóteses a respeito do comportamento observado (FORRESTER, 1994a; PIDD, 1996). A fidelidade desta representação e das teorias elaboradas minam da habilidade dos modelos em incorporar a complexidade, não-linearidade e estruturas de *feedback* inerentes aos sistemas político-sócio-econômicos (ou ao sistema observado). Tal capacidade é alcançada pela metodologia de SD.

Esta metodologia foi elaborada por Jay W. Forrester, do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). Sua primeira publicação, sobre o assunto, foi apresentada, em 1958, na *Harvard Business Review* (CLOUTIER, 1999; FORRESTER, 1991). Sua obra ficou amplamente conhecida após a publicação do livro *Industrial Dynamics* (FORRESTER,

1961), que adaptou conceitos aplicados à engenharia de controle e sistemas de *feedback* de informação na análise de problemas ligados à sociedade, à economia e a organizações (FORD, 1999; GENTA, 1989; TOWILL, 1996).

Após 10 anos da publicação, os conceitos e métodos abordados em *Industrial Dynamics* estavam sendo aplicados em problemas que iam além do escopo da indústria, o que levou à criação do termo geral *System Dynamics* (RICHARDSON, 1996a).

Esta metodologia combina teorias, métodos e filosofias para a análise do comportamento de sistemas (FORRESTER, 1998). Um modelo de SD pode ser visto como a estrutura resultante da interação de políticas. Estas, por sua vez, representam as regras que determinam a decisão a ser tomada.

Assim, há duas características chaves de políticas sob a ótica de SD. Primeiro, uma vez que se conhece a política adotada, dado um conjunto de variáveis de entrada, pode-se estabelecer a decisão a ser tomada. Segundo, as políticas não se alteram ao longo do tempo, e sim as decisões geradas a partir delas. Deste raciocínio deriva-se uma das principais utilidades da metodologia de SD, que está na compreensão de como as políticas adotadas, ou seja, a própria estrutura do sistema, afeta ou determina o comportamento dinâmico observado (FORRESTER, 1998).

A estrutura ou modelo de SD é formada por dois componentes principais, que são os estoques e os fluxos. Estes componentes ainda podem estar organizados na forma de relações circulares de causa e efeito, conhecidas como *feedback*, e, ou, ainda estarem sujeitos a defasagens de tempo no sistema. Os estoques retratam as variáveis que são acumuladas no sistema. Este acúmulo é decorrente do diferencial entre os fluxos de entrada e os fluxos de saída, ou seja, as decisões ao longo do tempo, não podendo assim mudar instantaneamente de valor. Seu resultado retrata o desempenho do sistema em qualquer ponto do tempo. Exemplos de estoque incluem o volume de produção de uma empresa, o número de animais num rebanho, a memória de uma pessoa, etc. (COVER, 1996, CLOUTIER et al., 1999;

COZZARIN, 1998; WIAZOWSKI et al., 1999b; BYRKENES e MYRTVEIT, 1996; CÂMARA e LIMA, 1998).

Os fluxos são as funções de decisão ou políticas de um sistema, descritas na forma de equações algébricas simples. Estas equações envolvem variáveis auxiliares e, ou, o valor atual dos estoques (COVER, 1996, CLOUTIER et al., 1999; COZZARIN, 1998; WIAZOWSKI et al., 1999b). Assim, as ações presentes, decorrentes de decisões presentes, dependem tão somente de informações presentes, ao passo que o estoque atual de um sistema depende do acúmulo de todas as decisões passadas (FORRESTER, 1968). Exemplos de fluxos são as taxas de crescimento de vendas, as taxas de desfrute de um rebanho, a capacidade de atendimento de pedidos por unidade de tempo, etc.

As estruturas de *feedback* estão presentes quando o estoque é influenciado por seu comportamento passado. Em outras palavras um sistema de *feedback* existe quando o “*ambiente conduz a uma decisão que resulta em uma ação, a qual afeta o ambiente e portanto influencia futuras decisões*” (FORRESTER, 1961:14).

Existem dois tipos de *feedback*, que são o de reforço, ou positivo, e o de balanço, ou negativo. Num *feedback* de reforço, o aumento no valor de uma variável conduz ao futuro aumento na mesma variável. Este mecanismo encontra-se em sistemas de crescimento exponencial. Por outro lado, num *feedback* de balanço, um aumento no valor de uma variável conduz ao decréscimo futuro da mesma. Este mecanismo leva à estabilização dos sistemas, o que conduz a comportamentos assintóticos ou oscilatórios (MARTIN, 1997). Conforme ressalta COZZARIN (1998), as interações entre os *feedbacks* negativos e positivos podem ser complexas, por envolverem não-linearidade. Assim, os resultados destas interações são também não-lineares, o que resulta na complexidade da dinâmica de sistemas. Em função desta complexidade, os efeitos de mudanças efetuadas nos elementos constituintes de um sistema são de difícil previsibilidade.

A defasagem é o intervalo de tempo que separa um problema de seus sintomas, estando presente em todos sistemas de *feedback*. Quanto maior for este intervalo, maior será a dificuldade em se aprender e resolver tal problema (WIAZOWSKI et al., 1999b; COVER, 1996). Como exemplos de defasagem têm-se a liberação de CFC e o posterior efeito sobre a camada de ozônio, e o efeito estufa, proveniente da liberação do CO₂ na atmosfera.

Assim, por permitir incorporar tanto fatores qualitativos como quantitativos dos sistemas, na forma de estoques e fluxos, bem como as relações de *feedback* e defasagens, acreditava-se, nos anos 60 e 70, que essa metodologia seria bastante promissora, na análise de uma variada gama de problemas sociais e econômicos. Contudo, a formulação e análise dos problemas de SD eram rigorosamente prejudicadas pela incipiente capacidade computacional da época. Nos anos 80, esta barreira tecnológica dissolvia-se em razão dos avanços na área de computação (GENTA, 1989). No entanto, após a publicação do livro *The fifth discipline: the art and practice of the learning organization* (SENGE, 1990), nos anos 90, é que a metodologia de SD retomou posição de destaque entre a comunidade científica e perante a indústria (CLOUTIER, 1999).

Este interesse fica evidenciado nos artigos publicados pela *System Dynamics Review*, no *Journal of the Operational Research Society* que publicou em sua edição de abril de 1999 apenas assuntos relacionados a SD e na página da INTERNET <http://sysdyn.mit.edu/road.maps/rm-toc.html>, mantida pelo MIT desde 1996, que se traduz num guia para aprendizagem da metodologia de SD.

Para DAVIDSEN (1996), TOWILL (1996) e CLOUTIER (1999), as principais vantagens dessa metodologia provém da capacidade de:

- a) investigar as relações entre macro e micro estruturas e seus efeitos sobre o comportamento do sistema;
- b) modelar e resolver problemas reais, incorporando fatores biológicos, físicos e econômicos;

- c) melhorar o desempenho de um sistema via adição de “*insights*” ou aprendizagem, aliado ao melhor uso dos recursos;
- d) estudar os fluxos de material, informação e dinheiro dentro de estruturas econômicas; e
- e) não ter um limite dos problemas que possa abranger, podendo captar situações de equilíbrio, desequilíbrio e até mesmo comportamentos caóticos.

Frente a estas habilidades, a metodologia de SD vem sendo aplicada nas mais diversas áreas do conhecimento (HANNON e RUTH, 1997; RUTH e HANNON, 1994). Na área de estratégia gerencial, o enfoque de simulação dinâmica pode ser descrito como uma forma para se entender como as políticas operacionais de uma empresa, de seus clientes, concorrentes e fornecedores interagem para moldar o desempenho da empresa ao longo do tempo (MORECROFT, 1994). FORD e STERMAN (1998) avaliaram, com o uso de SD, a viabilidade de projetos, considerando-se a seqüência de implementação, bem como as interações com os recursos disponíveis, a abrangência e os objetivos. MAIER (1998) estudou o processo de difusão de novos produtos, incorporando em seus modelos de SD fatores como competição e a substituição por novas gerações de produtos. RISCH et al. (1995) utilizaram esta metodologia para a análise de estratégias corporativas na indústria de papel e celulose. MORECROFT et al. (1991) modelaram a estratégia de crescimento de uma nova empresa de biotecnologia com o auxílio deste enfoque. DOMAN et al. (1995) avaliaram o desempenho de empresas de seguro e RUTH (1995) modelou fatores econômicos e biológicos para o melhor gerenciamento da atividade de pesca. A metodologia de SD ainda foi aplicada junto a séries temporais para melhor compreender as razões dos ciclos de expansão e contração econômica (DAVIDSEN e ASHEIM, 1993; GENTA e SEVILLE, 1995).

Na análise de cadeias produtivas, o uso de SD vem se mostrando bastante promissor. WIKNER et al. (1991), TOWILL et al. (1992), e TOWILL (1996) aplicaram esta metodologia para o desenvolvimento de

teorias acerca do *design* de cadeias produtivas. Na análise de cadeias agroalimentares, trabalhos foram elaborados por COZZARIN (1998), que avaliou empiricamente diferentes mecanismos de coordenação existentes em parte da cadeia produtiva de suínos nos EUA, expondo ainda o impacto da capacidade ociosa sobre efeitos de curto e longo prazo, frente a respostas aos sinais de mercado. CLOUTIER e SONKA (1998), SONKA e CLOUTIER (1998), RUTH et al. (1998) e CLOUTIER (1999) estudaram o efeito de diferentes mecanismos de coordenação sobre a cadeia produtiva de suínos Norte Americana. Os resultados destes estudos permitiram avaliar como que mudanças no ambiente econômico afetam a dinâmica física e econômica da cadeia de suínos. SCHROEDER (1998) descreveu, na forma de diagramas de influência, os conflitos de interesse e seus possíveis efeitos sobre os diferentes agentes da cadeia produtiva da soja, ressaltando a importância de tais estudos na elaboração de uma visão compartilhada e na construção de confiança ao longo de cadeias produtivas. VILLELA e SCHROEDER (1999) estudaram os efeitos da aceitação e uso de soja transgênica. WIAZOWSKI e SILVA (1999) estudaram a diagramação da Cadeia Produtiva de Bovinos de Corte (CPBC), permitindo discussões sobre diferentes políticas de coordenação e situações de oferta e demanda.

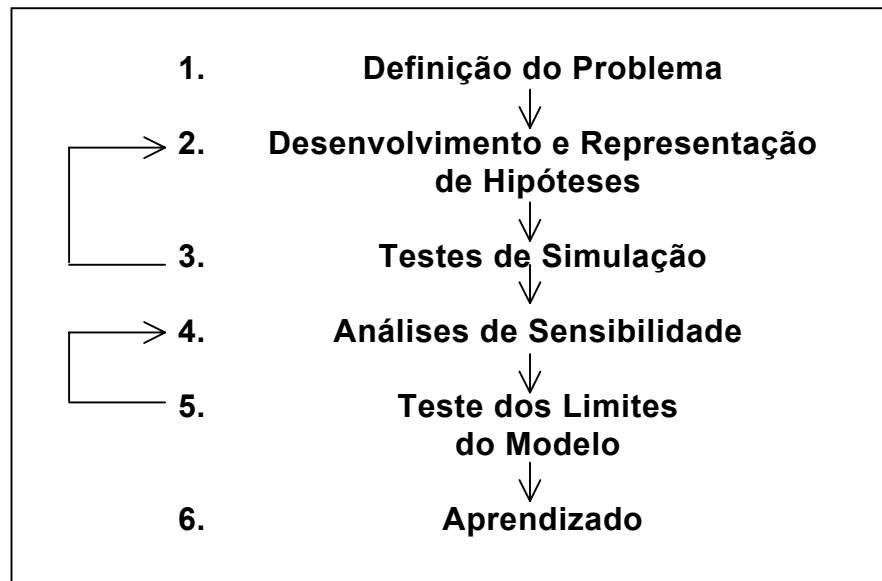
Percebe-se que a modelagem e a simulação de SD permitiram melhorar a compreensão acerca da estrutura e do comportamento dinâmico de sistemas complexos, auxiliando na detecção de inconsistências e conflitos frente a pressuposições, estratégias e normas adotadas, contribuindo ainda para a redução da incerteza e de desacordos, através da busca do consenso sobre as decisões mais promissoras (RICHARDSON, 1996b).

2.2.2.1. O processo de modelagem e a validação

A metodologia de SD, como lembrado por COVER (1996) trata da modelagem de problemas e não de sistemas. Para tanto, existe o consenso na literatura de SD, de iniciar-se a modelagem com a identificação de um

problema de caráter dinâmico. Contudo, ainda há abordagens diferentes para as demais fases do processo de modelagem.

De acordo com HPS (1997) o processo de modelagem ocorre conforme a Figura 4



Fonte: HPS (1997).

Figura 4 - Processo de modelagem segundo IThink.

A “Definição do Problema” refere-se ao estabelecimento de um propósito preciso, que permita manter o processo de modelagem focado no problema em questão. HPS (1997) ainda sugere o uso de diagramas e gráficos para que se alcance um melhor desempenho nesta fase.

O segundo passo está no desenvolvimento e representação de hipóteses que se acredita causarem o problema identificado. Nesta fase, são elaborados diagramas de fluxos e estoques e suas interações na forma de *feedback* e, ou, defasagens. São estabelecidos também a álgebra do sistema e os valores iniciais dos estoques.

O terceiro passo está nos testes de simulação computacional. Este permite a análise mais apurada das hipóteses preestabelecidas, permitindo que as mesmas sejam reformuladas, o que eleva a confiança no modelo proposto.

O quarto passo refere-se às análises de sensibilidade, de cenários e de políticas. Os testes referentes às políticas visam formas de melhorar o desempenho do sistema, ou seja, envolvem a busca por pontos de alavancagem. As análises de sensibilidade avaliam se tais políticas aplicam-se sobre uma ampla variação dos parâmetros adotados.

No quinto passo, são testados os limites do modelo proposto, tanto intensivamente como extensivamente. Os testes extensivos referem-se ao número de variáveis que foram excluídas do modelo, por não terem sido consideradas como relevantes num primeiro momento. Os testes intensivos avaliam o grau de detalhes com o qual o modelo foi construído. Este processo conduz a novas análises de sensibilidade.

O último passo está em tornar o aprendizado possível a partir de sucessivas simulações do modelo elaborado.

Para FORD (1999), o processo de modelagem é decorrente de oito fases que são:

- a) familiarizar-se com o sistema em estudo e com os agentes nele envolvidos;
- b) ser específico em relação ao problema estudado;
- c) construção dos diagramas de estoque e fluxo. FORD (1999) sugere que se comece pela identificação dos principais estoques do modelo e que, a partir destes, se insiram os fluxos e variáveis auxiliares;
- d) desenho dos diagramas de influência, os quais possuem grande utilidade na identificação das estruturas de *feedback*;
- e) estimação de valores para os parâmetros do modelo. DAVIDSEN (1996) lembra que é melhor estar parcialmente certo do que exatamente errado, o que se acredita ocorrer em modelos que

assumem o valor zero para parâmetros que se sabe influenciar no resultado;

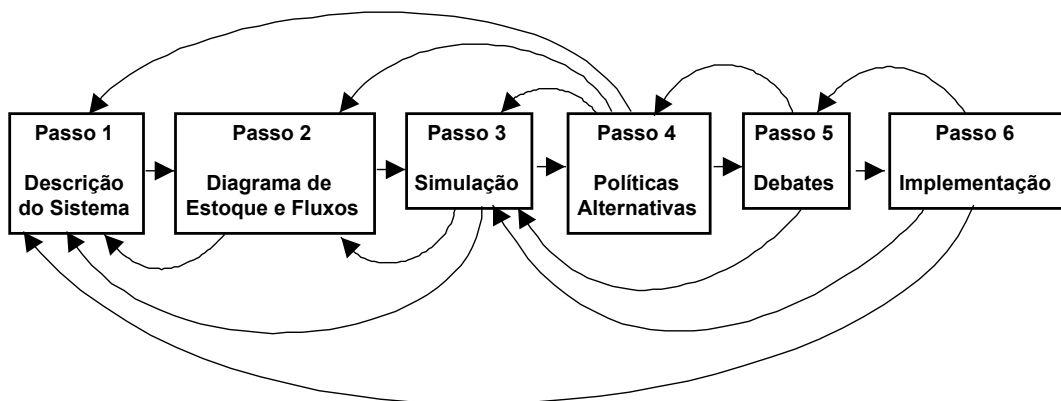
- f) simular e comparar o comportamento gerado ao observado na realidade. Se o resultado for a incompatibilidade, deve-se rever o processo de modelagem a partir do item “c”, até que se consiga o resultado desejado;
- g) conduzir análises de sensibilidade, que são repetidas simulações variando-se apenas um parâmetro do modelo e;
- h) avaliar o impacto de novas políticas. Na identificação de uma política desejada, deve-se voltar ao item “g”, a fim de se avaliar a consistência da mesma.

De acordo com FORRESTER (1994b), a elaboração de um modelo de SD ocorre como ilustrado na Figura 5.

O primeiro passo surge de um comportamento indesejado do sistema, que será analisado, compreendido e corrigido através de um conjunto de hipóteses que o explique.

O segundo passo consiste na formulação do modelo, descrito na forma de estoques e fluxos. Inconsistências devem ser reavaliadas no Passo 1.

O terceiro passo envolve a simulação. Comportamentos indesejados devem ser reavaliados nos passos 1 e 2. Este *feedback* deve ocorrer até que se alcancem os propósitos considerados.



Fonte: FORRESTER (1994b).

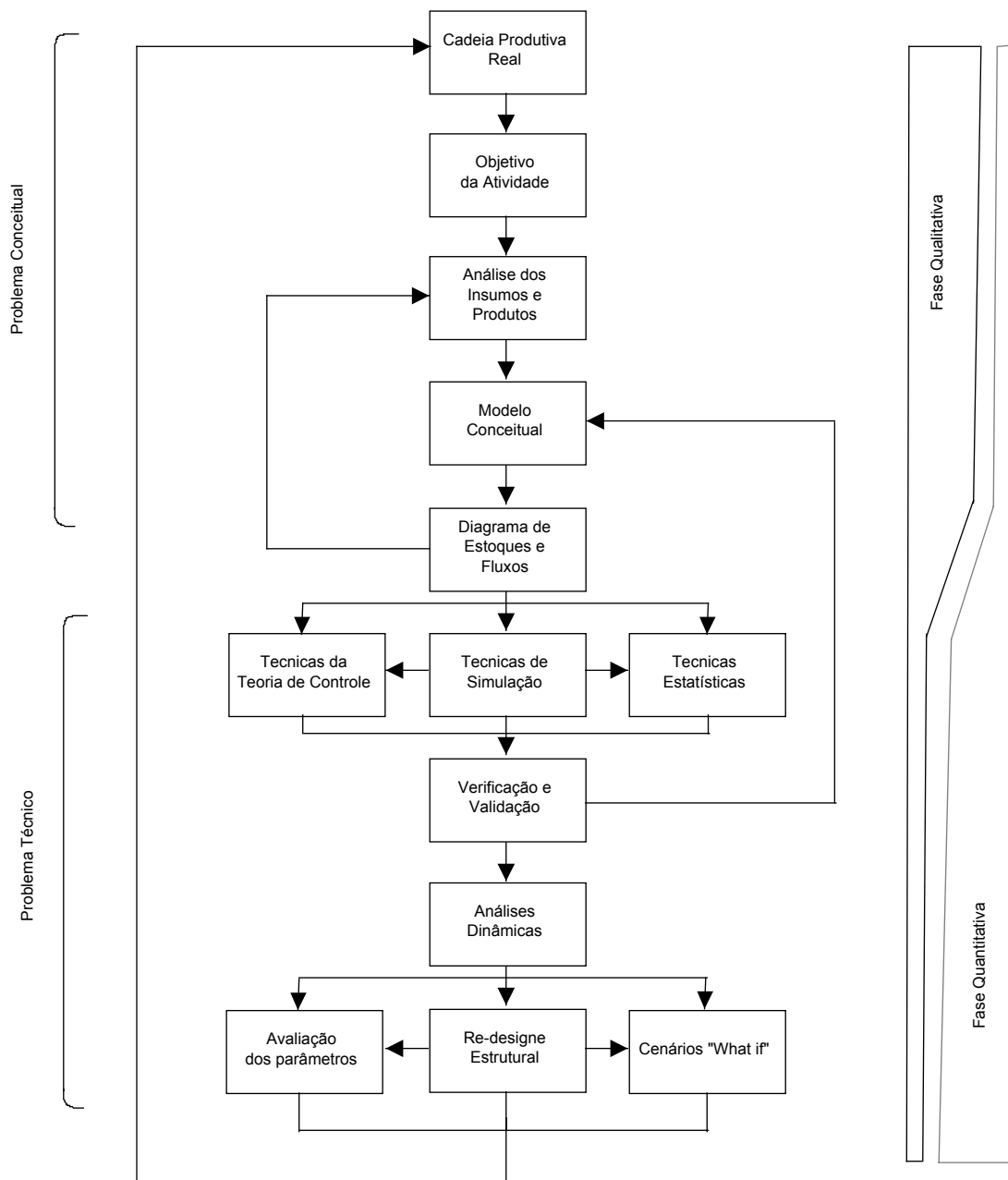
Figura 5 - Passos de um modelo de SD, do problema a solução.

O quarto passo consiste na elaboração de novas políticas. Estas podem ser o resultado de “*insights*” gerados durante os três primeiros passos.

O quinto passo procura explorar consensos para implementação das melhores políticas.

O último passo está na implementação de tais políticas.

O grupo britânico *Cardiff Industrial Systems Dynamics Group* desenvolveu sua própria metodologia para a modelagem e reengenharia de cadeias produtivas (TOWILL, 1996). Esta metodologia divide o processo de modelagem e simulação em uma fase qualitativa e outra quantitativa. A fase qualitativa consiste da elaboração do problema conceitual. Assim, nesta fase, são levantadas informações sobre a cadeia produtiva a ser analisada e o objetivo da análise, seguidos da elaboração de diagramas de influência e diagramas de fluxos e estoques. A fase seguinte, a quantitativa, refere-se ao problema técnico, o que implica dizer que nesta fase são conduzidas as formulações matemáticas do problema, sua validação e as análises de sensibilidade e de cenários. Todo o processo de modelagem é consolidado pelos constantes *feedbacks* que envolvem esta metodologia, como ilustra a Figura 6.



Fonte: TOWILL (1996).

Figura 6 - Representação esquemática do processo de modelagem da dinâmica de sistemas.

Percebe-se por estas descrições que o processo de modelagem ainda não é bem definido. Isto, em parte ocorre devido à amplitude desta metodologia em analisar idéias, conceitos e teorias. É esta liberdade de análise, ou seja, a falta de um modelo ou processo bem estabelecido, que torna difícil o processo de modelagem a partir de SD. COVER (1996) lembra

que a “arte” da modelagem surge uma vez que este é um processo subjetivo, às vezes frustrante, que nunca poderá ser avaliado como correto, uma vez que SD trata de representações da realidade, descritas para se explicar um problema em particular.

Assim, no sentido mais amplo pode-se dizer que não existe um modelo totalmente validado, uma vez que todo modelo é algo menos que a realidade (SHRECKENGOST, 1985).

Para FORRESTER (1968), os modelos de SD não devem ser julgados pela perfeição em descrever a realidade, e sim na capacidade que os mesmos possuem de aumentar o conhecimento e percepção sobre um assunto, “*os objetivos da modelagem de SD estão em explicar, e com esforço e sorte suficientes, prever*” (HANNON e RUTH, 1997:5).

Logo um modelo de SD deve capturar somente os fatores essenciais de um sistema real e deve abstrair-se dos demais fatores. Dessa forma a validação do mesmo deve ser em consideração à consistência ou à lógica de sua estrutura interna (RUTH e HANNON, 1994).

TOWILL (1996) e SHRECKENGOST (1985) listaram um conjunto de processos que visam a maior consistência dos modelos de SD, que são:

- a) análises dimensionais que garantam a consistência das unidades do modelo;
- b) testes extensivos dos limites do modelo⁸;
- c) testes intensivos do modelo⁹;
- d) avaliar os comportamentos gerados sob condições extremas;
- e) comparar o comportamento do modelo com o de séries históricas;
- f) avaliar se os resultados gerados para uma variável são coerentes com as demais variáveis do modelo (exemplo: preço e demanda); e
- g) analisar a sensibilidade do modelo em relação a seus parâmetros.

Assim, de forma prática, pode-se dizer que a preocupação não está na validade do modelo e sim em sua utilidade. “*Não existe nenhuma prova*

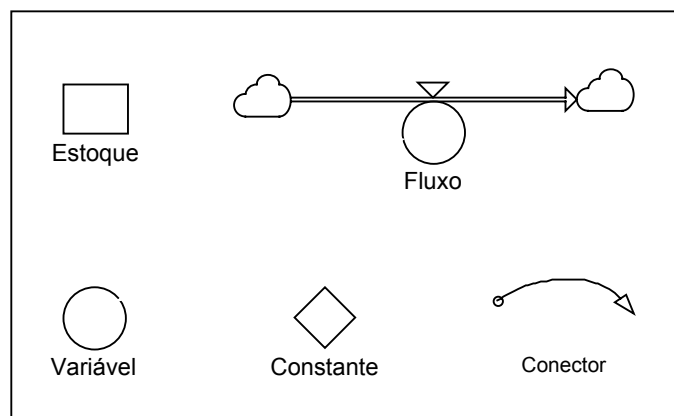
⁸ Quinto item do processo de modelagem descrito na Figura 4.

⁹ Quinto item do processo de modelagem descrito na Figura 4.

concreta do sucesso final, até que este seja alcançado” (FORRESTER, 1961:116).

2.2.2.2. Simbologia e modelos de simulação dinâmica

Estão disponíveis no mercado mais de um *software* de simulação dinâmica. Entre eles destacam-se o POWERSIM, o STELLA, o ITHINK, o VENSIM¹⁰, e o EXTEND. Contudo, de forma geral, esses programas usam a mesma forma de representação visual (Figura 7), a exceção do EXTEND, para os diferentes elementos que compõem um modelo de simulação dinâmica, padronizando assim a linguagem de SD.

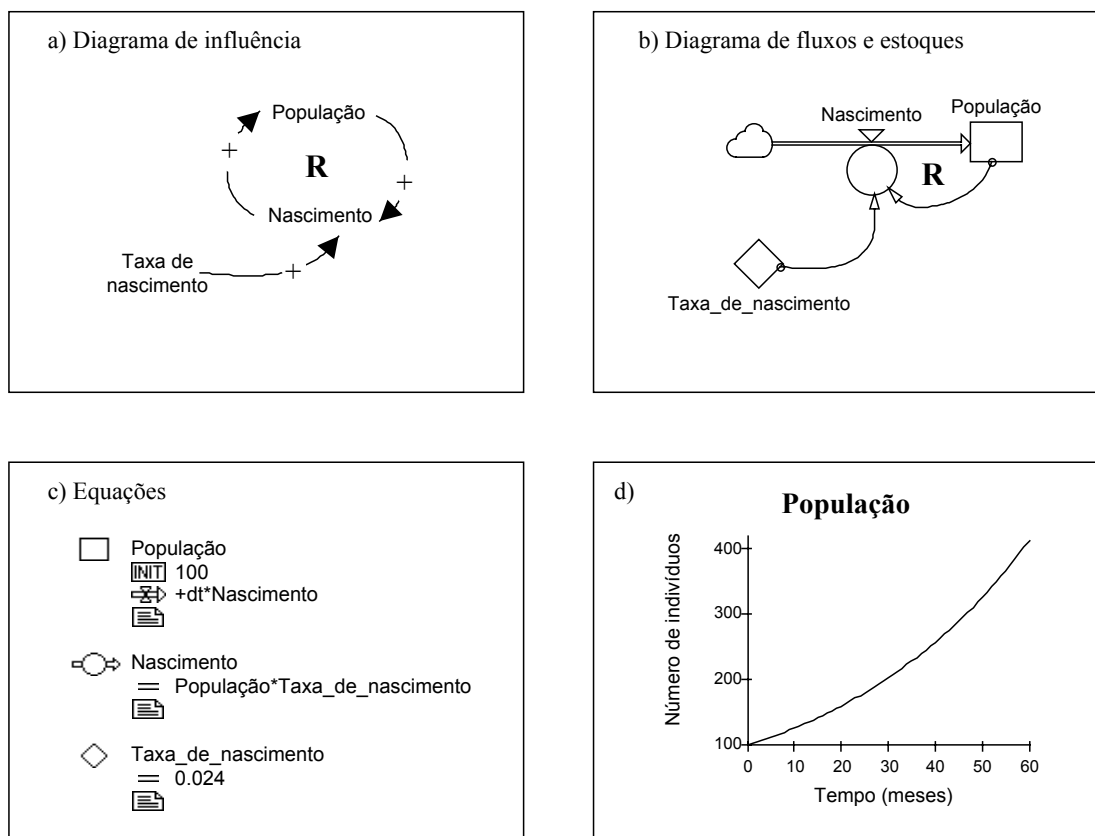


Fonte: POWERSIM 2.5 (1996b) e HPS (1997).

Figura 7 - Ícones usados na modelagem de dinâmica de sistemas.

Assim, de forma simples, pode-se ter um diagrama de influência traduzido para a forma de fluxos e estoques, como exemplifica a Figura 8.

¹⁰ Ver FORD (1999).



Fonte: Baseado em MARTIN (1997) e FORD (1999).

Figura 8 - Fases da modelagem a partir do uso de dinâmica de sistemas.

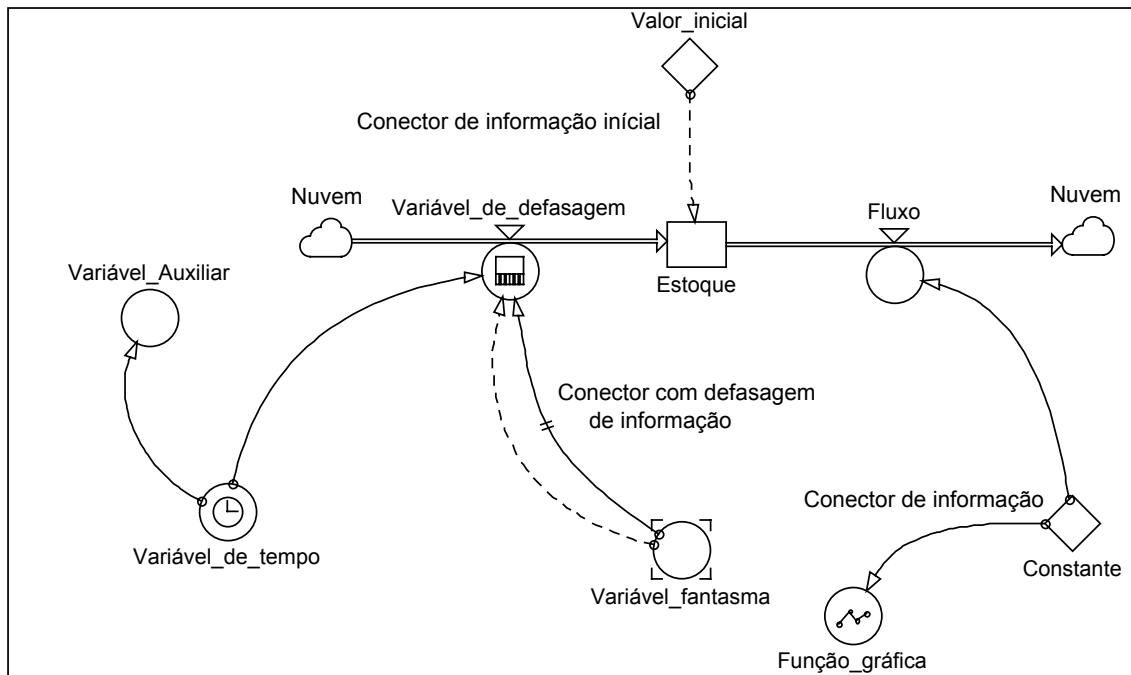
Esta figura, incorpora um *feedback* de reforço que, de forma geral, explica a dinâmica de crescimento de populações. Assim, assume-se que quanto maior a população, maior será o número de nascimentos, que por sua vez volta a reforçar a população inicial (item “a” da Figura 8). Estas pressuposições são “traduzidas” para a linguagem de SD - fluxos, estoques, conectores, variáveis e constantes - como ilustra o item “b” da Figura 8. Partindo-se desse novo fluxograma, são estabelecidas de forma simples as equações matemáticas que expressam as pressuposições assumidas nos diagramas de influência (item “c” Figura 8). Neste simples exemplo, a variável de estoque “População” é inicializada com o valor 100. A variável de fluxo “Nascimento” assume o valor calculado pelo produto entre “População”

e o valor constante “Taxa de nascimento”. A cada intervalo de tempo (dt), o estoque é incrementado pelo valor do fluxo de “Nascimento”. A solução do sistema é expressa pelo comportamento das variáveis ao longo do tempo, o que é obtido por processos matemáticos de integração (Apêndice C). Neste exemplo, observa-se o crescimento exponencial da “População” no item “d” da Figura 8. A conclusão destas etapas permite a simulação de cenários que visam a melhor compreensão do sistema em estudo.

Esta seqüência de modelagem não é a única. Como sugerido por FORD (1999), este processo pode ter início a partir da elaboração dos diagramas de fluxos e estoques e partir destes para os diagramas de influência, uma vez que estes facilitam a discussão em torno do modelo, e a identificação dos *feedbacks* do sistema.

No processo de modelagem da CPBC adotou-se, primeiramente, uma representação conceitual da cadeia, identificando seus segmentos constituintes e fluxos característicos. Baseado nesta representação foram elaborados, com o auxílio do *software* POWERSIM, os diagramas de fluxo e estoque, que foram novamente traduzidos para a forma de diagramas de influência, facilitando assim a compreensão acerca do modelo.

O uso do POWERSIM permite algumas variações da simbologia básica (Figura 7), o que facilita a compreensão e construção dos modelos de SD. A simbologia usada na modelagem da CPBC é apresentada na Figura 9 e nomeada de acordo com a nomenclatura mais usada por SD. As funções associadas a cada símbolo foram descritas no Apêndice A.



Fonte: Adaptado de NELSON (1998).

Figura 9 - Diagrama de fluxos e estoques ilustrativo dos símbolos do POWERSIM e nomes mais usados para os mesmos.

Assim, na simbologia gráfica do POWERSIM, o losango representa uma “constante”, ou seja, uma variável de influência ou parâmetro, que possui seu valor fixo. Este pode determinar o valor inicial de um estoque.

Os estoques (retângulos) representam os elementos que não sofrem mudanças instantâneas em um sistema, sendo acumulados ou drenados ao longo do tempo. São ditos também como a memória de um sistema, sendo única e exclusivamente alterados por fluxos.

Os fluxos representados por uma seta cheia (tubo) e um balão (válvula) representam a quantidade movimentada entre um estoque e outro, podendo ser de entrada ou saída. Quando não se encontram entre dois estoques, apresentam em uma ou ambas extremidades uma nuvem. Esta representa uma fonte inesgotável de um recurso, ou uma vazão sem limites para um estoque. São os limites externos de um modelo.

Os círculos representam as variáveis de um sistema, que, de acordo com sua função, podem classificar-se como:

- Variável auxiliar: é uma variável que possui seu valor baseado em outras variáveis. De outra forma, pode ser entendida como uma equação que, a partir do valor de outras variáveis, sejam estas estoques, fluxos, constantes ou outra variável auxiliar, determina seu próprio valor a cada intervalo (dt) ¹¹ de simulação;
- Variável de defasagem (*delay*): representa variáveis auxiliares que possuem cálculos baseados em informações defasadas no tempo;
- Variável de tempo: é uma variável cujo valor está associado ao tempo de simulação (*time step*)¹²;
- Variável fantasma: representa a cópia de uma variável; é usada no sentido de facilitar a construção e visualização dos diagramas de fluxo e estoque; e
- Função gráfica: representa o valor de uma variável auxiliar, obtido através de uma função, descrita na forma gráfica, a partir do valor de outra variável.

Por fim temos os conectores (*links*), de informação dentro do sistema, que são representados de formas diferentes, de acordo com o tipo de informação que estes “carregam”. Assim, tem-se:

- Conector com defasagem de informação: é um *link* de informação usado para representar as defasagens existentes nas variáveis auxiliares;
- Conector de informação inicial: representa um *link* de informação cujo valor é utilizado uma única vez, no início de uma simulação; e
- Conector de informação: representa os “canais” de informação que influenciam as variáveis auxiliares.

2.3. Caracterização da região de estudo

¹¹ Dt ou *delta time*, representa o intervalo de integração usado pelo *software* nos cálculos dos fluxos, que por sua vez mudam os estoques a cada tempo de simulação (POWERSIM, 1996a). Para um melhor entendimento, ver apêndice C.

Este trabalho toma por base a CPBC nos estados do Rio Grande do Sul - RS e Santa Catarina - SC, que juntos correspondiam, em 1998, a 15,89 milhões de cabeças, ou seja, a 10,58 % do rebanho nacional (ANUALPEC 99, 1999). Esta opção se fez por ser esta região, até 2000, a única certificada como livre de febre aftosa com vacinação¹³ do país. No ato da certificação estes estados tiveram suas fronteiras fechadas à entrada de animais e carne com osso, possíveis focos de contaminação, procedentes de outras regiões (SILVA e BATALHA, 1999).

Este quadro, somado à capacidade física da região, limita a velocidade de expansão do rebanho. Esta, talvez seja uma das razões pela qual a oferta interna, desses dois estados, não vem sendo suficiente para atender a demanda local e as exportações (SILVA e BATALHA, 1999).

No estado do Rio Grande do Sul foi formado o “Programa de Carne de Qualidade”, onde o objetivo principal é a formação de alianças que visam a comercialização, com regularidade, de carne com qualidade. SILVA e BATALHA (1999) afirmaram que a sobrevivência das empresas do Sul está ligada à capacidade se investir na tecnificação da produção animal ou da criação de centrais de terminação de animais.

Apesar das dificuldades levantadas, a região Sul, por apresentar na maioria dos casos as fases de cria, recria e engorda dentro de uma mesma propriedade e por possuir boa parte da produção voltada a exportação, é a que apresenta, no curto prazo, a melhor capacidade de implementação de sistemas de rastreabilidade.

Assim, durante o desenvolvimento e validação do modelo, foram levadas em consideração estas características referentes à região, que, por sua vez, determinam os limites do modelo, orientando o processo de modelagem.

2.4. Fonte de informações e dados

¹² Ver apêndice C.

Em razão do caráter específico da metodologia usada, antes de se discorrer sobre a fonte de dados, examinar-se-ão quais são estas potenciais fontes e como podem ser usadas.

FORRESTER (1980) atribuiu, em grande parte, ao inapropriado e viesado uso da informação, as razões pelas quais as análises econômicas apresentam-se, por vezes, inadequadas¹⁴. Entende-se por inapropriado a sobrevalorização em se encontrar relações estatísticas entre variáveis econômicas e a subestimar as relações causais que determinam seu comportamento. O termo viesado refere-se à grande dependência de dados numéricos e à subutilização da informação disponível em documentos escritos e em modelos mentais.

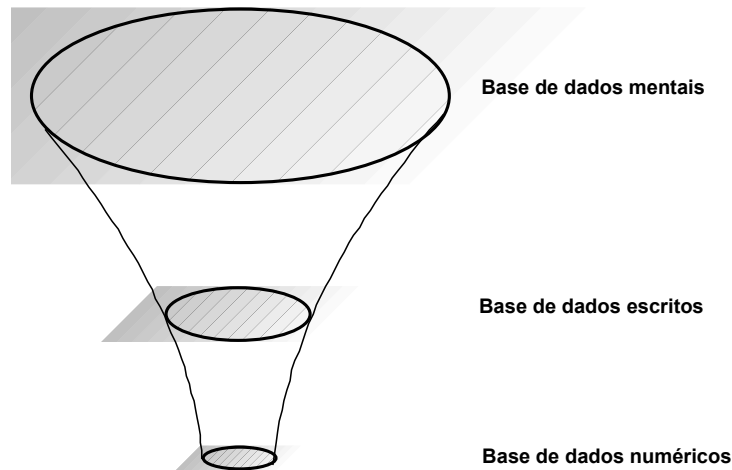
Assim, para FORRESTER (1991), a elaboração de modelos de simulação dinâmica usa a informação disponível de forma bastante diferente em relação às outras ciências sociais, argumentando ainda que a efetividade de um modelo depende da forma com que este incorpora a vasta gama de informações provenientes do sistema a ser representado.

Para FORRESTER (1980), esta informação encontra-se distribuída em três diferentes fontes de dados, como mostra a Figura 10.

A “base de dados mentais” é a mais vasta. Nela encontra-se boa parte da informação necessária para a construção de um modelo de SD, que são as políticas do sistema, ou de outra forma, os motivos pelos quais determinada ação foi tomada, e a forma como estas políticas se interconectam, determinado a estrutura e comportamento do sistema. Ainda encontra-se nesta base de dados as experiências passadas, que acabam por determinar os estímulos para o processo de modelagem, em razão da discrepância com o sistema atual.

¹³ Em abril de 2000 os estados foram considerados livres de febre aftosa sem vacinação.

¹⁴ Ver STERMAN (1996).



Fonte: FORRESTER (1980).

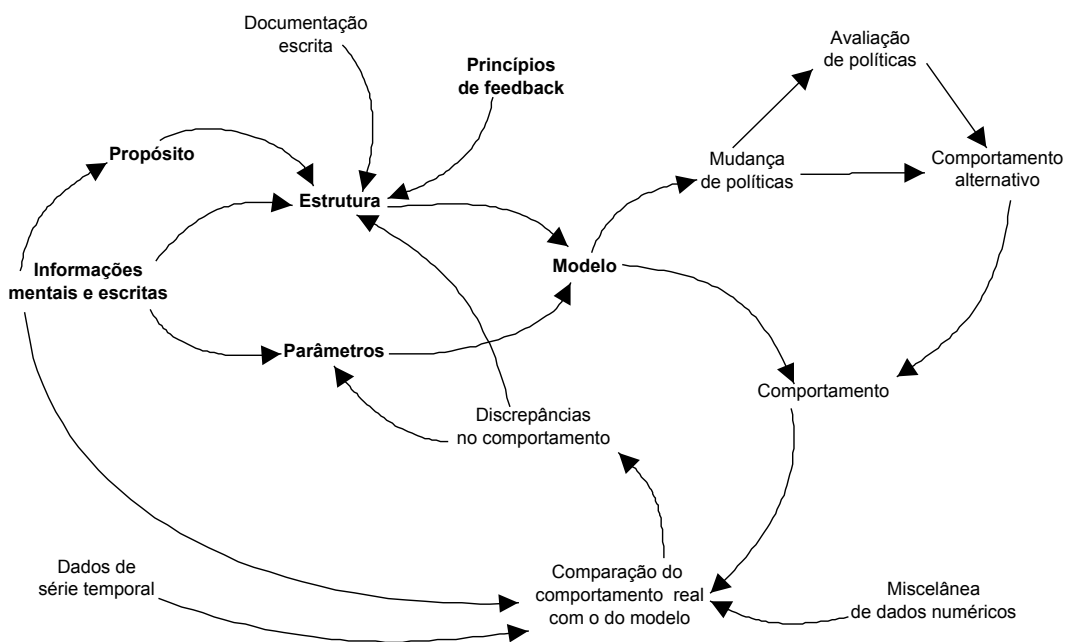
Figura 10 - Organização decrescente da base de dados.

A “base de dados escrita” representa, em muitos casos, a “gravação” da base de dados mental, disponibilizando a informação para um maior número de pessoas. Por outro lado, esta base de dados torna-se mais pobre em relação à mental, uma vez que esta não pode ser interrogada e por ter sido “filtrada” pela perspectiva e propósitos do escritor.

A “base de dados numéricos” é a menos rica em informação dentre as três. Esta ainda falha na identificação das relações de causa e efeito entre as variáveis. Sua importância para a modelagem de SD está na determinação de parâmetros como taxas de crescimento, consumo etc., na identificação do comportamento de sistemas e no uso de séries temporais como fonte de comparação com os dados gerados pelo modelo.

Assim, partindo-se do ápice para a base da Figura 10, menor será a quantidade de informações e dados necessários à descrição de políticas e da estrutura, elementos necessários aos modelos de SD.

FORRESTER (1980 e 1994c), descreve como as diferentes bases de dados devem ser usadas no processo de modelagem (Figura 11).



Fonte: Adaptado de FORRESTER (1994c).

Figura 11 - Criando um modelo de dinâmica de sistemas.

De acordo com a Figura 11, parte-se da base de dados mentais o propósito da modelagem. Na seqüência, com base em toda informação disponível elabora-se a estrutura e determinam-se os parâmetros, que por sua vez, determinarão o modelo. Mas como sugerido nesta figura, a formulação de um primeiro modelo é apenas o início do processo de modelagem através de SD. Logo, em razão destas características do processo de modelagem usando-se SD, serão utilizados nesta pesquisa informações referentes a percepções de especialistas, informações obtidas através da literatura e dados numéricos levantados junto a institutos de pesquisa.

Assim, no Quadro 3 são identificados, de acordo com os principais parâmetros usados na modelagem da cadeia produtiva de bovinos, apresentados na seção 3 desta tese, o valor e a fonte de dados referentes à situação de equilíbrio inicial.

A exceção dos estoques “vacas”, “preço de consumo” e “população”, os demais estoques deste modelo foram especificados de forma endógena. O mesmo ocorre para todos os fluxos e variáveis do modelo, sejam estas auxiliares, gráficas, fantasmas, associadas ao tempo, ou associadas a defasagens.

Quadro 3 - Dados referentes à situação de equilíbrio inicial da cadeia produtiva de bovinos de corte

Parâmetro	Fonte(s)	Valor
Matrizes (nº animais)	ANUALPEC 99 (1999)	472.633*
População (hab)	SC (2000) e FEE (2000)	15.120.400*
Preço consumo (R\$/Kg)	SILVA e BATALHA (1999)	2,41*
Peso Md NP (mil ton.)	Especificado	0,00038
Peso Md vacas (mil ton.)	Especificado	0,00042
Peso Md BG (mil ton.)	Especificado	0,00042
Rend Md Carc NP (%)	PIRES (1998b)	55
Rend Md Carc vacas (%)	Especificado	50
Rend Md Carc BG (%)	Especificado	52
Tp acabamento NP (meses)	PIRES (1998b)	9
Tp aleitamento (meses)	Especificado	8
Tp acabamento BG (meses)	Especificado	28
Tp gestação (meses)	Especificado	9
Tp maturação (meses)	Especificado	12
Tp para cio (meses)	Especificado	5
Tx cresc populacional anual (%)	FEE (2000) e UFRGS (2000)	1,2*
Tx de nasc (%)	Especificado	75
Tx de prenhez (%)	Especificado	77
Tx de reposição (%)	Especificado	20

* Valor aproximado

Especificado: corresponde a valores obtidos junto a especialistas da área.

OBS.: Todos valores acima correspondem a parâmetros do modelo que não alteram sua estrutura, podendo assim, serem modificados, testados e avaliados de acordo com as necessidades e objetivos da pesquisa.

Fonte: Elaboração do autor.