

Dinâmica de Sistemas: Uma Revisão para Modelar Regras de Decisão

Caroline Rodrigues Vaz (UFSC) caroline-vaz@hotmail.com
Maurício Uriona Maldonado (UFSC) m.uriona@ufsc.br

Resumo:

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. Desta maneira, este artigo busca fortalecer o conhecimento sobre a ferramenta Dinâmica de Sistemas incentivando o uso para a tomada de decisão das organizações em seus processos ou sistemas, em relação aos seus objetivos, as suas características, as suas vantagens e benefícios, os tipos de softwares e a sua importância para as empresas, contribuindo para traçar o desenvolvimento acadêmico e profissional para implementar e aperfeiçoar o conhecimento sobre essa ferramenta empregada. Dinâmica de Sistemas é uma ferramenta que auxilia na tomada de decisão das empresas que necessitam de respostas rápidas, sem custo e em tempo real dos seus processos ou fluxos. Surgiu nos anos 50 pelo professor Jay W. Forrester do Instituto Tecnológico de Massachusetts com o jogo da cerveja para observar a oscilação da produção. Existem vários softwares e/ou programas para realizar o processo de simulação dinâmica, o que garante o sucesso na qualidade e segurança nas decisões, são as maneiras de interpretações dos dados, a utilização correta das variáveis e experiência do simulador com a ferramenta. Conclui-se desta maneira que Dinâmica de Sistemas é uma ferramenta de grande valor para a simulação em tempo real dos processos e fluxos das empresas, podem aumentar a qualidade dos seus processos e produtos, diferenciação de gerenciamento e competitividade das empresas.

Palavras chave: Dinâmica de Sistemas, Modelagem, Tomada de Decisão, Revisão de Literatura.

System Dynamics: A Review to Model Decision Rules

Abstract

The System Dynamics application is growing substantially, from supporting solutions in business management and economics problems, going to ecology, social phenomena and education. Thus, this article seeks to strengthen the knowledge of the system dynamics tool encouraging the use for decision-making organizations in their processes or systems, in relation to their goals, their features, advantages and benefits, the types of software and its importance for companies, contributing to trace the academic and professional development to implement and improve knowledge about this tool employed. System Dynamics is a tool that helps in the decision making of enterprises that require quick responses at no cost and in real time of their processes or flows. It emerged in the '50s by Professor Jay W. Forrester of the Massachusetts Institute of Technology with the beer game to see the wobble of production. There are several software and/or programs to perform the dynamic simulation process, ensuring success in quality and safety in decisions, are the ways of data interpretation, the correct use of variables and simulator experience with the tool. It is concluded in this way that System Dynamics is a great tool value for the real-time simulation of processes and flows, can increase the quality of their processes and products, management of differentiation and competitiveness of companies.

Key-words: System Dynamics, Modeling, Decision Rules, Literature Review.

1 Introdução

A técnica utilizada em Dinâmica de Sistemas (DS) 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, 1971; JANSEN e LAURINDO, 2005; SOBREIRO, YONENAGA e TACHIBANA, 2006; JANSEN e ROTONDARO, 2006; MILANI JÚNIOR, PINTO JÚNIOR e BOMTEMPO, 2007; AMBRÓSIO, 2008; AMBRÓSIO et al., 2011).

Dinâmica de Sistemas é uma ferramenta que estuda comportamentos dinâmicos (JANSEN e LAURINDO, 2005), fundamentada na teoria de dinâmica não linear e controle realimentado (JANSEN e ROTONDARO, 2006), o método usa a simulação computacional para relacionar a estrutura de um sistema com seu comportamento no tempo, para a tomada de decisões relativas ao inventário e recrutamento de funcionários (SOBREIRO, YONENAGA e TACHIBANA, 2006).

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 ideias 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 (FORRESTER, 1971).

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 (FORRESTER, 1971).

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. Desta maneira, este artigo busca fortalecer o conhecimento sobre a ferramenta Dinâmica de Sistemas (DS) incentivando o uso para a tomada de decisão das organizações em seus processos ou sistemas, em relação ao seu objetivo, quais suas características, suas vantagens e benefícios, tipos de *softwares* e a sua importância para as empresas, contribuindo para traçar o desenvolvimento acadêmico e profissional para implementar e aperfeiçoar o conhecimento sobre essa ferramenta empregada.

O artigo está dividido em oito seções, sendo a primeira composta por esta introdução. A segunda está formada pela metodologia empregada nesta pesquisa. A terceira seção é composta pelos objetivos e características de DS. A quarta seção traz as maneiras de modelagem de DS em *Soft* e *Hard*. A quinta mostra as vantagens e benefícios de se utilizar DS. A sexta seção apresenta a importância e as regras para tomada de decisão de DS. A

sétima mostra quais os softwares específicos para realizar a simulação de DS. E por fim, a última seção apresenta as considerações finais desta pesquisa.

2 Metodologia

Esta pesquisa teve natureza qualitativa em relação aos temas tratados, foi realizadas pesquisas em literaturas científicas e em normas técnicas publicadas nos últimos dez anos. Do ponto de vista dos objetivos, este estudo classifica-se como exploratório e em relação aos seus procedimentos técnicos como bibliográfico, com base de dados, foram utilizadas dissertações, livros técnicos, artigos e periódicos que abordassem o assunto (GIL, 1999; LAKATOS e MARCONI, 2000).

3 Conceitos e as características de dinâmica de sistemas

A dinâmica de sistemas é um método descritivo, adequado para modelar e simular sistemas (BRAGA et al., 2004), sendo baseada no pensamento e análise sistêmicos e na teoria matemática dos sistemas dinâmicos (AMBRÓSIO, 2008; AMBRÓSIO et al., 2011).

Segundo Hermsdorf (2010, p. 8), “a dinâmica de sistemas é uma forma de modelagem para simulação computacional que utiliza os conceitos de realimentação de informação e variáveis de estado para modelar sistemas e explorar a ligação entre a estrutura do sistema e o comportamento evolutivo no tempo.” Segundo Ortiz et al. (2006, p. 80), “devido ao caráter estrutural dos modelos de dinâmica de sistemas, entende-se que a evolução temporal das variáveis do sistema modelado deriva do número de loops, seus tipos e a forma em que são combinados no sistema”. Com a dinâmica de sistemas, torna-se possível criar modelos com diversas variáveis de forma a representar o comportamento e as relações, evidenciando assim o comportamento de um ambiente ou sistema.

Figueiredo (2009) traz que o objetivo da dinâmica de sistemas é explicar o comportamento de um determinado sistema partindo das interações entre as diversas partes que o compõem, e utilizando padrões de comportamentos existentes.

Sobreiro, Yonenaga e Tachibana (2006) afirmam que dinâmica de sistemas vem suprir a deficiência da percepção humana em comparar a realidade de onde foram abstraídos os modelos mentais. Desta maneira a Dinâmica absorve as informações da estrutura de um sistema, formaliza-as em um modelo computacional e simula resultando no comportamento gerado pela dinâmica.

Segundo Jansen e Laurindo (2005), o comportamento de um sistema dinâmico depende de sua estrutura que consiste de malhas de *feedback*, estoques, fluxos e não linearidades criadas pela interação da estrutura física e institucional do sistema com os processos de decisão do agentes que atuam sobre ele. Podendo ser essas malhas de *feedback* positivas (reforçam ou amplificam o que quer que esteja acontecendo no sistema) ou negativas (agem contrariamente e se opõem à mudanças), acoplados uns aos outros, com muitos atrasos de tempo, não-lineares e estoques.

O processo de modelagem com a Dinâmica de Sistemas, de acordo com Jansen e Rotondaro (2006) é necessário que compõe-se das etapas seguintes: articulação do problema, formulação da hipótese dinâmica, formulação do modelo de simulação, teste, projeto de políticas e avaliação.

Dinâmica de Sistemas é constituído por quatro componentes, salientam Sobreiro, Yonenaga e Tachibana (2006): os estoques (são variáveis de estado e são considerados como repositórios onde um fator é acumulado, armazenado e potencialmente passado para outros elementos do sistema); os fluxos (são variáveis de ação e podem alterar os estoques, aumentando ou diminuindo seus volumes durante a simulação); auxiliares (servem para formular os dados e

principalmente para definir as equações dos fluxos além de combinar) , e conectores (representam as inter-relações entre todos os componentes do sistema com o propósito de ligar os componentes que formarão uma expressão matemática).

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

- a. 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;
- b. 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.
- c. 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.
- d. 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.

Para a representação da estrutura de um sistema dinâmico, a fase inicial do processo de modelagem, podem ser utilizados diagramas de influência, que não fazem parte da notação de dinâmica de sistemas, mas servem como base para a obtenção de um modelo de dinâmica de sistemas (AMBRÓSIO, 2008; AMBRÓSIO et al., 2011). Os diagramas de influência (*causal loop diagrams*) são diagramas simples com palavras e setas que ajudam a descrever relações de causa e efeito e realimentação de informações em um sistema (HERMSDORF, 2010; MADACHY, 2008). Os diagramas de influência permitem visualizar graficamente as relações entre as variáveis chave do problema, facilitando a identificação de possíveis laços de realimentação e atrasos nos efeitos resultantes das interações entre essas variáveis (BRAGA et al., 2004; HERMSDORF, 2010).

Na Figura 1, apresenta-se um exemplo de um diagrama de influência que representa um comportamento que ocorre frequentemente no ambiente de trabalho. O relacionamento positivo (rotulado com “+”) entre as variáveis *conflict* e *stress* indica que, com o aumento do conflito, o estresse também aumenta. O aumento do conflito também é responsável por gerar mais conflito estabelecendo um comportamento de realimentação da variável *conflict* (VIJAY, 1996). O relacionamento negativo (rotulado com “-”) entre as variáveis *conflict* e *trust* indica que o aumento do conflito diminui a confiança (VIJAY, 1996). No diagrama, as ligações rotuladas com o sinal positivo (“+”) indicam que ambas as variáveis variam no mesmo sentido (quando uma variável aumenta/diminui a outra variável também aumenta/diminui). Já as ligações rotuladas com o sinal negativo (“-”) indicam que as variáveis variam em sentidos opostos (quando uma variável aumenta/diminui a outra variável diminui/aumenta) (AMBRÓSIO, 2008; AMBRÓSIO et al., 2011).

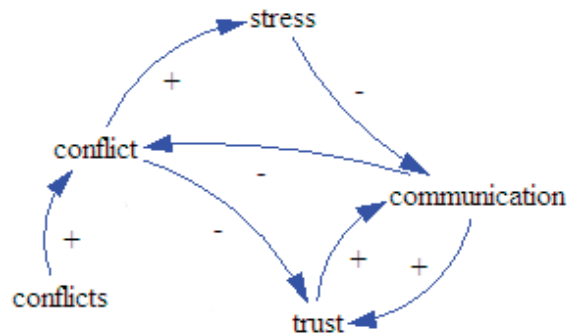


Figura 1 – Exemplo de diagrama de influencia

Fonte: Ambrósio, 2008.

Os diagramas de influência permitem identificar e visualizar as variáveis e seus relacionamentos no ambiente que se pretende estudar. Esse entendimento acerca da estrutura do problema facilita a construção dos modelos de dinâmica de sistemas, que são usados para simulações e são compostos pelos seguintes elementos: estoques, fluxos e as variáveis também conhecidas como conversores (AMBRÓSIO, 2008; BRAGA et al., 2004; HERMSDORF, 2010). Os estoques são utilizados para representar algo que sofre acúmulos ou perdas ao longo do tempo. Já os fluxos modelam as funções que representam políticas ou decisões da empresa e são responsáveis pelo crescimento ou redução dos estoques (AMBRÓSIO, 2008; AMBRÓSIO et al., 2011).

Segundo Ambrósio (2008, p. 14), “há também os conversores, ou variáveis simples, que são os elementos do modelo que exercem influência sobre os valores dos fluxos responsáveis pela variação dos estoques”, sendo utilizado o termo “variável” para se referir aos conversores do modelo descrito neste trabalho. Os símbolos dos elementos de um modelo de dinâmica de sistemas são apresentados na Figura 2.

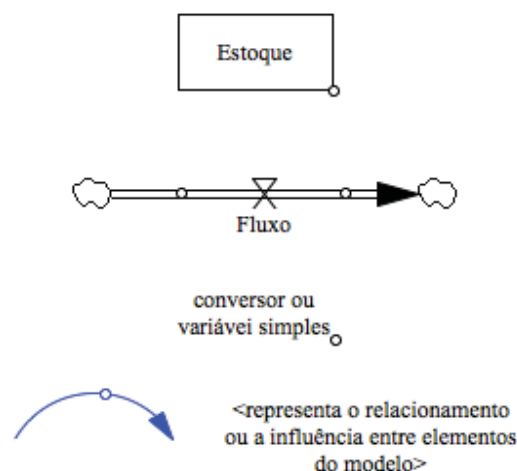


Figura 2 – Símbolos dos elementos utilizados em Dinâmica de Sistemas

Fonte: Ambrósio, 2008.

Na dinâmica de sistemas, os tipos de variáveis mais utilizados na construção dos modelos são:

- variáveis de configuração, que segundo Ambrósio (2008, p. 62), “são responsáveis pela portabilidade do modelo e permitem ajustá-lo de acordo com as características da organização, da equipe e do projeto que definem o contexto da simulação”;
- variáveis de análise, que segundo Ambrósio (2008, p. 64), “são utilizadas para determinar as regras que regem como as decisões gerenciais são tomadas e ajustar o modelo para simular as políticas gerenciais”; e

- c. variáveis gráfico que são utilizadas quando o relacionamento entre as variáveis do modelo é complexo e difícil de ser definido por meio de equações e operações matemáticas (AMBRÓSIO, 2008; AMBRÓSIO et al., 2011). As variáveis-gráfico permitem representar um relacionamento por meio de um esboço do gráfico correspondente à função matemática que quantifica o relacionamento (AMBRÓSIO, 2008; AMBRÓSIO et al. 2011).

Desta forma, o próximo item apresenta as formas de modelagem de Dinâmica de Sistemas.

4 Diferença de modelagem de dinâmica de sistemas

Os modelos de dinâmica de sistemas auxiliam a descoberta das principais causas sistêmicas dos comportamentos indesejados relacionados ao problema sendo analisado, o que contribui para que as soluções a serem tomadas não agravem ainda mais o problema fundamental, como ocorre quando as decisões são tomadas de forma reativa, adotando soluções paliativas (BRAGA et al., 2004). As duas formas de modelagem em Dinâmica de Sistemas, a primeira é a abordagem SOFT que utiliza os modelos qualitativos utilizadas por Peter Senge e a segunda abordagem HARD que utiliza os modelos quantitativos de Jay Forrester (FILHO e YOSHISAKI, 2006; BLOIS e SOUZA, 2008), o quadro 1 apresenta a diferença entre essas abordagens.

CARACTERÍSTICAS	HARD	SOFT
Definição do modelo	Uma representação da realidade	Um método para gerar debates e <i>insights</i> sobre a realidade
Definição do problema	Uma única e bem definida dimensão	Múltiplas dimensões
Agentes/Organizações	Não são levados em consideração	Partes integrantes do modelo
Dados/Informações	Quantitativos	Qualitativos
Objetivos	Soluções e otimizações	<i>Insights</i> e aprendizagem
Resultados	Produtos ou recomendações	Aprendizado em grupo ou autodesenvolvimento

Fonte: FILHO e YOSHISAKI, 2006.

Quadro 1 – Principais diferenças entre as abordagens SOFT e HARD

4.1 Modelo SOFT - Diagrama de Enlace Causal

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.

4.2 Modelo HARD – Diagrama de Estoque e Fluxo

O modelo Hard surge a partir do diagrama de enlace causal, no qual 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 é 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, pode-se descrever matematicamente qualquer sistema artificial ou natural através de quatro elementos chave (FERNANDES, 2003):

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

Para melhor compreender o uso de Dinâmica de Sistemas o próximo item traz as vantagens e benefícios da aplicação de Dinâmica de Sistemas.

5 Vantagens e benefícios de usar dinâmica de sistemas

A simulação em dinâmica de sistemas permite observar os efeitos que a adaptação de uma nova política ou de uma nova forma organizacional tem sobre o sistema real, as vantagens deste método frente a experimentação sobre o sistema real são os seguintes, conforme Múgica (1998):

- a. Seu baixo custo, uma vez que é o único meio que investem no desenvolvimento do modelo enquanto a adoção de qualquer medida no sistema atual envolveria grande investimento.
- b. A eliminação do risco de adaptação de políticas inadequadas. As repercussões da adoção inadequada de política vai afetar todo o sistema e seus efeitos negativos vão durar no longo prazo.
- c. A simulação utilizando um modelo economiza tempo, já que, uma vez desenvolvido o modelo, a simulação de uma possível situação política ou ocorre em um momento. Em contrapartida, as decisões no sistema real exige maior investimento de tempo para discussão e implementação e os seus efeitos se manifestam a longo prazo.

O quadro 2 apresenta as vantagens e desvantagens de se utilizar simulação de Dinâmica de Sistema nos processos organizacionais para tomada de decisão.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
- Situações em que não existem uma formula matemática do sistema sobre o objeto de análise, ou que existam formulas matemáticas correspondentes, porém os modelos analíticos de resolução são antigos. - Situação em que existem os métodos e modelos, mais os procedimentos são extremamente complexos. - Situações em que se deseja experimentar com os modelos antes de construir o sistema correspondente. - Situações em que é impossível experimentar no	- A complexidade, o elevado custo e a inversão em tempo que pode acarretar a elaboração de um modelo de simulação que recorra adequadamente o comportamento de um sistema dinâmico. - O risco de não incluir no modelo alguns elementos ou variáveis que aparentemente era desnecessário e que por sua importância conduza que os resultados obtidos no modelo sejam falsos. - A dificuldade ou impossibilidade de conhecer o nível de impressões dos resultados obtidos na simulação.

sistema. - Situações em que é possível experimentar no sistema, mas por razões de ética o impede, pelo risco de não poder retornar o sistema como era antes. - Situações em que o sistema deseja obter informações rápidas e que se fizesse em tempo real iriam demorar muito tempo. - Permite estudar os sistemas dinâmicos em tempo real.	
--	--

Fonte: Múgica (1998, p. 5).

Quadro 2 – Principais vantagens e desvantagens de usar Dinâmica de Sistemas

De acordo com Reibstein e Chussil (1999), a adoção de técnicas de simulação traz os seguintes benefícios para o tomador de decisão:

- Compressão do tempo: As simulações aceleram o tempo, reduzindo o tempo real dos fenômenos a serem analisados. Ou seja, o comportamento de vários anos de um sistema pode ser verificado em segundos.
- Custo reduzido: Como a simulação é feita no ambiente computacional, não é necessário construir o sistema fisicamente para verificar seu comportamento.
- Promove a criatividade: Devido a inexistência de riscos, os gerentes podem experimentar como seria o comportamento do sistema em situações incertas, desagradáveis, inesperadas ou não convencionais.
- Permite fazer experiências: O processo de criação e implementação de simulações dá aos tomadores de decisão insights práticos. Além dos resultados, o processo de criação e implementação de uma simulação é um treinamento para os administradores.
- Unifica pontos de vista divergentes: Os administradores desenvolvem uma visão comum do sistema em uma linguagem computacional.
- Captura o conhecimento: O processo de simulação captura e codifica o conhecimento acumulado pela organização. Além disso, obriga os gerentes a tornar explícitas as suas premissas. A simulação cria e aplica um repositório de informações competitivas.
- É experimental: Embora a simulação não diga aos gerentes o que vai acontecer, ajuda-os a explorar o que pode acontecer de acordo com uma estrutura pré-definida.

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 consequências 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.

6 A importância e as regras de tomada de decisão de dinâmica de sistemas

A dinâmica de sistemas permite identificar aspectos importantes do problema e entender e justificar comportamentos esperados e anormais. Segundo Ambrósio (2008, p. 13), “a modelagem com a dinâmica de sistemas facilita a descoberta das causas do problema e

também, por meio de simulações utilizando o modelo (STERMAN, 1992), permite analisar os impactos e os efeitos colaterais das alterações planejadas antes que elas sejam implementadas no sistema real” e com isso prevenir a tomada de decisões paliativas.

Por não ser um método de modelagem de uma área específica e ter um vocabulário comum, a dinâmica de sistemas permite modelar sistemas com comportamento dinâmico de qualquer área de conhecimento, facilitando a comunicação sobre problemas que possam envolver especialistas de diversas áreas (AMBRÓSIO, 2008; BRAGA et al., 2004; HERMSDORF, 2010).

Para fortalecer e melhorar as tomadas de decisões das empresas no momento de solucionar vários problemas em médio e longo prazo, se torna de grande importância o uso de dinâmica de sistemas – entendida como uma metodologia de modelação que busca mediante simulação explicar e melhorar os resultados que apresentam diferentes sistemas de solução. Entende-se por sistema todo aquele conjunto de elementos que se encontram relacionados entre si e que mediante sua contínua interação buscam alcançar objetivos comuns.

Desta maneira, Dinâmica de Sistemas vem como uma alternativa mediante o qual é possível simular aqueles elementos que fazem parte de um sistema e que suas interações estão gerando o problema que se pretende entender e intervir. Portanto, Dinâmica de Sistemas é uma ferramenta de simulação computacional que permite gerar modelos que ocorrem em ambientes controlados, sendo por tanto possível experimentar com diferentes políticas antes de que estas sejam implantadas na realidade.

Com tudo, isto permite achar recursos valiosos e obter imediatamente resultados que na realidade podem demorar muito tempo em se manifestar dentro da empresa. São muitos os campos de aplicação para a Dinâmica de Sistemas, entre eles pode-se destacar:

- a. A gestão da produção, no qual a metodologia oferece a possibilidade de identificar as variáveis-chaves que afetam a produção e com base nas identificações facilitar a realização de modificações, buscando sempre melhorar a gestão.
- b. A gestão de processos, no qual é possível simular a estrutura de cada processo e realizar análises de sensibilidade das diferentes fases antes de implementar o processo.
- c. A gestão de recursos humanos, no qual se pode incluir nas análises aspectos não quantificáveis como a motivação do pessoal, seu nível de formação, trocas nas produtividades, entre outros.
- d. A gestão de riscos, no qual a metodologia permite estudar em ambiente controlado as consequências da manifestação dos riscos e desenhar planos para evitá-los ou excluí-los.

Após, o entendimento do que é Dinâmica de Sistemas, quais são suas características, como é formada, como ocorre sua modelagem, a sua importância e as regras de tomada de decisão, o próximo item traz quais os *softwares* existentes para realizar a simulação em tempo real.

7 Softwares de simulação para dinâmica de sistemas

A partir do entendimento dos princípios da Dinâmica de Sistemas, trata-se 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 3 descreve uma classificação das ferramentas de modelagem de negócios, onde está contida a ferramenta de Dinâmica de Sistema.

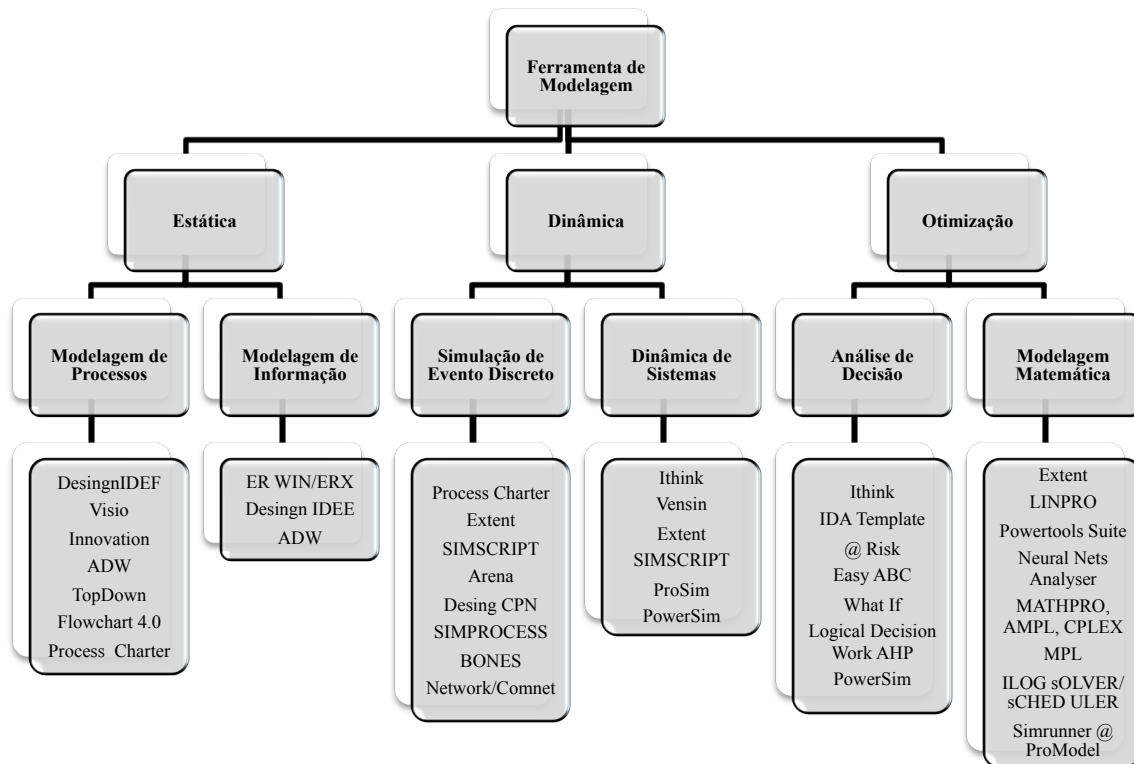


Figura 3- Ferramentas de modelagem de negócios
Fonte: Adaptado de Bearingpoint (2004).

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.

8. Considerações finais

Pode-se observar nesta revisão de literatura que Dinâmica de Sistemas é uma ferramenta que auxilia na tomada de decisão das empresas que necessitam de respostas rápidas, sem custo e em tempo real dos seus processos ou sistemas. Surgiu nos anos 50 pelo professor Jay W. Forrester do Instituto Tecnológico de Massachusetts com o jogo da cerveja para observar a oscilação da produção.

A Dinâmica de Sistemas é composta por duas maneiras de modelagem, a primeira sendo a *Soft* (processo qualitativo) e a *Hard* (processo quantitativo) que podem ser usadas separadamente ou em conjunto, dependendo especificamente do que o indivíduo necessita simular. Existem vários *softwares* e/ou programas para realizar o processo de simulação dinâmica, o que garante o sucesso na qualidade e segurança nas decisões, são as maneiras de interpretações dos dados, a utilização correta das variáveis e experiência do simulador com a ferramenta.

A Dinâmica de Sistemas ainda é pouco utilizada para a tomada de decisão, por ser uma ferramenta complexa e subjetiva, são poucos pesquisadores que sabem manusear, criar suas variáveis que representem o meio a ser estudado e interpretar seus resultados de forma adequada e mais próxima a realidade.

Conclui-se desta maneira que Dinâmica de Sistemas é uma ferramenta de grande valor para a simulação em tempo real dos processos e fluxos das empresas, podem aumentar a qualidade dos seus processos e produtos, diferenciação de gerenciamento e aumento na competitividade das empresas.

Referencias

AMBRÓSIO, B. G. et al. Modeling and scenario simulation for decision support in management of requirements activities in software projects. *Journal of Software Maintenance and Evolution*, v. 23, p. 35-50, 2011.

AMBRÓSIO, B. G. *Modelagem da fase de requisitos em processos de desenvolvimento de software: uma abordagem utilizando dinâmica de sistemas*. 2008. Dissertação de Mestrado – CCE/DPI, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

BEARINGPOINT. *Metodologia de Gestão de Projeto de ERP*, Bearingpoint, SP, 2004.

BLOIS, H. D.; SOUZA, J. C. Cenários prospectivos e a dinâmica de sistemas: proposta de um modelo para o setor calçadista. *RAE*, vol. 48, n. 3, 2008, p. 35-45.

BRAGA, J. L. et al. *Modelagem com dinâmica de sistemas*. In: Maurinho Luiz dos Santos; Wilson da Cruz Vieira. (Org.). Métodos quantitativos em economia. Viçosa: Editora UFV, 2004.

CHEN, F. et al. Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: the impact of forecasting, lead times, and information. *Management Science*, v. 46, n.3, march, 2000, p. 436 – 443.

FERNANDES, A. da C. *Scorecard Dinâmico: Dinâmica de Sistemas e Balanced Scorecard*. Tese de Doutorado, 321p. COPPE-URFJ, Rio de Janeiro, 2003.

FIGUEIREDO, J. C. B. Estudo da difusão da tecnologia móvel celular no Brasil: uma abordagem com o uso de Dinâmica de Sistemas. *Produção*, vol. 19, n. 1, jan-abr, 2009, p. 230-245.

FILHO, M. R.; YOSHISAKI, H. T. Y. Análise de estoques em uma cadeia logística de suprimentos na indústria aeronáutica utilizando um modelo de dinâmica de sistemas. In: *XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Fortaleza, out., 2006.

FORRESTER, J. W. *World dynamics*. Cambridge, MA: Wright-Allen Press, 1971.

GEARY, S. et al. On bullwhip in supply chains: historical review, present practice and expected future impact. *International Journal of Production Economics*. n. 101. p. 2-18, 2006.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. São Paulo: Atlas, 1999.

HERMSDORF, V. O. *Modelagem da atividade de elicitação do processo de engenharia de requisitos: uma abordagem utilizando dinâmica de sistemas*. Dissertação de Mestrado – CCE/DPI, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

JANSEN, L. K. C.; LAURINDO, F. J. B. Planejamento para o e-commerce em pequenas e médias empresas: uma abordagem via Dinâmica de Sistemas. In: *XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Porto Alegre, out-nov., 2005.

JANSEN, L. K. C.; ROTONDARO, R. G. Aplicação da Dinâmica de Sistemas em processo de melhoria na distribuição logística. In: *XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Fortaleza, out., 2006.

KIM, M. C. “Vibration Control of Bridges Under Moving Loads”. *Computers & Structures*, vol. 66, No 4, 1998, p. 473 – 480.

KIRKWOOD, C. W. *System dynamics methods: a quick introduction*. Arizona College of Business, Arizona State University, 1998.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. *Metodologia do trabalho científico*. São Paulo: Atlas, 2000.

LEE, H. L., PADMANABHAN, V., WHANG, S. The bullwhip effect in supply chains. *Sloan Management Review*, Spring, 1997, p. 93 – 102.

MADACHY, R. J. *Software process dynamics*. Hoboken, Piscataway, NJ: Wiley-IEEE Press, 2008.

MILANI JÚNIOR, A.; PINTO JÚNIOR, H. Q.; BOMTEMPO, J. V. A indústria do petróleo como uma organização complexa: modelagem de negócios e processo decisório. *Produção*, vol. 17, n. 1, jan.-abr., 2007, p. 08-32.

MOHAPATRA, P. K. J. et al. *Introduction to System Dynamics Modeling*, Universities Press Limited, 1994.

MORAES, K. M. et al. Simulação para análise do efeito chicote. In: *IV Congresso Nacional de Excelência em Gestão*, ago., 2008.

MÚGICA, B. G. B. *La dinámica de sistemas como metodología para la elaboración de modelos de simulación*. Oviedo, 1998, p. 41.

ORTIZ, A. et al. Modelización de variables soft. *Revista de Dinámica de Sistemas*, v. 2, n. 1, p. 67-101, março, 2006.

PACHECO, E. O. *Usando dinâmica de sistemas para análise de algoritmos de reposição de estoque em ambientes produtivos*, 2004, f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas), PUC, Curitiba, Paraná, 2004.

PACHECO, E. O.; OLIVEIRA, G. H. C. Análise de desempenho dinâmico de ambientes produtivos com canais de suprimentos automáticos e estoques em processamento. In: *XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Foz do Iguaçu, out., 2007.

RADZICKI, M. I. *Introduction to System Dynamics: A systems Approach to Understanding Complex Policy Issues* (version 1.0). EUA: Sustainable Solutions, Inc., 1997.

REIBSTEIN, D. J.; CHUSSIL, M. J. *Primeiro a lição, depois o teste: usando simulações para analisar e desenvolver estratégias competitivas*. In: DAY, G. S. ; REIBSTEIN, D. J. “A Dinâmica da Estratégia Competitiva.” Editora Campus, 1999.

SOBREIRO, V. A.; YONENAGA, W. H.; TACHIBANA, W. K. Aplicação da dinâmica de sistemas para avaliações econômicas: um estudo de caso. In: *XIII Simpósio de Engenharia de Produção*, Bauru, nov., 2006.

SOBREIRO, V. A.; YONENAGA, W. H.; TACHIBANA, W. K. Aplicação de dinâmica de sistemas para avaliações econômicas: um estudo de caso. In: *XIII SIMPEP*, Bauru, novembro, 2006.

STERMAN, J. All models are wrong: reflections on becoming a systems scientist. *System Dynamics Review*. V. 18, N. 4. Winter, 2002.

VIJAY, K. V. *The human aspects of project management: human resource skills for the project manager*, Volume Two (First ed.). Newtown, PA: Project Management Institute, 1996.