

## **Reflexões sobre as oportunidades de pesquisa e de aplicação da Dinâmica de Sistemas no campo dos Sistemas de Inovação**

### **Resumo**

A Dinâmica de Sistemas – *system dynamics* – tem sido utilizada em diversas áreas do conhecimento, contudo o seu uso ainda é reduzido no campo da inovação, embora a literatura prévia evidencie potenciais vantagens neste campo. O artigo tem por objetivo reintroduzir a dinâmica de sistemas à comunidade acadêmica na área da inovação e mais especificamente, na área dos sistemas de inovação, e nesta linha, apresentar as oportunidades de pesquisa. Conclui-se que a dinâmica de sistemas e os sistemas de inovação possuem premissas similares, e que existem amplas oportunidades de pesquisa.

**Palavras chave:** Dinâmica de Sistemas, Sistemas de Inovação, Economia Neoschumpeteriana, Economia Evolucionária, Modelagem e Simulação.

**Área Temática:** Economia Mineira

## 1. Introdução

As palavras “dinâmica” e “sistemas” possuem vários significados, dependendo da área de aplicação. Mais ainda, a frase “dinâmica de sistemas” é utilizada em várias áreas da ciência, principalmente nas Engenharias de formas diversas, um exemplo conclusivo é o livro de Ogata (1998), que trata da modelagem e da análise de resposta de sistemas dinâmicos físicos, tais como, sistemas mecânicos, elétricos, pneumáticos, térmicos e hidráulicos.

Existe, por outro lado, uma área de aplicação que foca no estudo de sistemas dinâmicos sócio-tecno-econômicos, ou seja, sistemas formados por componentes humanos, por componentes técnicos e por componentes econômicos. Esta área – também conhecida como dinâmica de sistemas – derivou da “adaptação” da engenharia de controle clássica, da mão do Professor Jay W. Forrester do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). Nos anos 50, o Prof. Forrester estava interessado em estudar processos de negócio dinâmicos e os impactos no sucesso ou fracassos das firmas. Baseando-se na sua *expertise* na área de controle e realimentação, o Prof. Forrester percebeu que vários dos fenômenos de realimentação presentes em sistemas de controle físicos, eram também visíveis em problemas de produção e operações, principalmente no que tange à realimentação de informações para ajustar e balancear o sistema de produção (STERMAN *et al.*, 2015).

Esse *insight* ganhou força quando iniciara – naquela época – um projeto com a *General Electric*, com o objetivo de explicar a instabilidade e flutuações da cadeia de suprimentos da planta de Kentucky, nos Estados Unidos, problema que, não conseguia ser explicado pelos métodos tradicionais de gestão da produção (FORRESTER, 1989). Este modelo – o primeiro de dinâmica de sistemas – identificava como a causa raiz dessas flutuações, o uso de informações limitadas entre os diferentes atores da cadeia, à atrasos entre a tomada de decisão, a implementação e os resultados dessas decisões, e, principalmente, à aspectos comportamentais relacionados com regras de decisão sub-ótimas utilizadas pelos gestores para balancear os estoques e a produção ao longo da cadeia, aspectos que não haviam sido previamente tratados pela gestão de operações (STERMAN *et al.*, 2015).

O resultado desta primeira aplicação foi um artigo publicado em 1958. O acolhimento do trabalho foi positivo, ao ponto que uns anos mais tarde, um livro foi publicado, intitulado “*Industrial Dynamics*” explicando em detalhe cada um dos setores do modelo de cadeia de suprimentos implementado na *General Electric* (FORRESTER, 1958; 1961). Uma contribuição adicional do primeiro trabalho de dinâmica de sistemas, foi a identificação da amplificação das flutuações, como resultado dos fatores previamente mencionados (informações limitadas, atrasos entre a tomada de decisão, a implementação e os resultados dessas decisões e aspectos comportamentais relacionados com regras de decisão sub-ótimas). Esta amplificação foi logo conhecida pela literatura especializada como “efeito chicote”, atribuída a sua primeira identificação, justamente, ao trabalho em questão (GRÖSSLE; THUN; MILLING, 2008).

Logo após a publicação do “*Industrial Dynamics*” a área, inicialmente denominada também *industrial dynamics*, evoluiu para abordar outros tipos de sistemas e problemas sócio-tecno-econômicos além do ambiente fabril, dentre os quais pode-se citar problemas ambientais, de planejamento urbano e econômicos, o que levou a uma mudança de nome para *system dynamics* ou dinâmica de sistemas. Para algumas referências seminais adicionais, sugere-se a leitura de FORRESTER (1969), FORRESTER (1973) e FORRESTER; MASS; RYAN (1976).

Nessa época, também foi criada a primeira linguagem para a simulação dinâmica por computador, chamada SIMPLE (*Simulation of Industrial Management Problems with Lots of Equations*), liderado por Richard Bennett em 1958. Em 1959, o DYNAMO (*Dynamic Models*), uma evolução do SIMPLE, foi desenvolvido por Phyllis Fox e Alexander L. Pugh,

tornando-se a linguagem padrão para modelos de dinâmica de sistemas durante os próximos 30 anos. Hoje em dia, os softwares requerem, praticamente, nenhum conhecimento de programação, pois realizam a simulação numérica por trás de interfaces simples, com alta usabilidade.

Nas décadas seguintes, vários pesquisadores – muitos deles alunos do próprio Forrester – ingressaram na área da dinâmica de sistemas, principalmente preocupados com a formalização e estruturação desse campo do conhecimento, bem como com a maior disseminação e difusão do mesmo, dentre eles podemos citar a RICHARDSON; ALEXANDER L. PUGH (1981), COYLE (1996) e STERMAN (2000) e mais recentemente MCGARVEY & HANNON (2004), FORD (2009), RAHMANDAD; OLIVA; OSGOOD (2015) e MORECROFT (2015). Por sua vez, outros autores seguiram uma linha mais geral para a difusão da dinâmica de sistemas, ou seja, decidiram por disseminar o *systems thinking* ou pensamento sistêmico, em português, dentre eles os mais citados são SENGE (1990), MEADOWS; RANDERS; MEADOWS (2004) e MEADOWS (2008).

Durante esse período, a aplicação de Dinâmica de Sistemas cresceu substancialmente, suportando soluções a problemas de gestão de negócios e economia, indo até ecologia, fenômenos sociais e educação, disseminando conhecimentos a partir de um periódico científico especializado, o *System Dynamics Review*, organizando anualmente um Congresso Internacional, para o compartilhamento de avanços teórico-práticos na área – a *International Conference of the System Dynamics Society* – e agrupando os praticantes e pesquisadores sêniores e juniores numa organização internacional – a *System Dynamics Society* – contudo, o seu uso ainda não é massivo nas ciências sociais aplicadas em geral, e mais especificamente no campo dos sistemas de inovação no Brasil.

A razão, acreditamos, está relacionada à pouca disseminação do campo nos canais de publicação científicos no País. Assim, o artigo busca responder, de forma clara e objetiva, à pergunta: o que é a dinâmica de sistemas? Mais formalmente, o objetivo é disseminar o conhecimento sobre a dinâmica de sistemas, mostrando as suas características e premissas, o uso de softwares especializados e as vantagens e benefícios do seu uso, contribuindo para traçar um maior desenvolvimento acadêmico e profissional e incentivar – consequentemente – um maior uso da dinâmica de sistemas no campo dos sistemas de inovação.

## **2. Conceitos e Premissas da Dinâmica de Sistemas**

A dinâmica de sistemas surge como uma metodologia capaz de ajudar na compreensão e gestão de sistemas sócio-tecnológico-econômicos onde as realimentações de informação e matéria, os efeitos das demoras e atrasos de fase, as não-linearidades entre causas e efeitos e os processos de acumulação e erosão são importantes, em outras palavras, uma definição sintética da dinâmica de sistemas seria uma metodologia para compreender e gerenciar sistemas complexos sócio-tecnológico-econômicos.

Assim, a principal premissa da dinâmica de sistemas refere-se à importância da estrutura do sistema – dos elementos físicos, das regras de decisão e de suas inter-relações – para explicar o comportamento do sistema em estudo. Por exemplo, no caso do “*industrial dynamics*” citado anteriormente, FORRESTER (1961) encontrara que a principal causa para a flutuação da cadeia de suprimentos da *General Electric* era a estrutura de tomada de decisão, em relação, principalmente, às decisões sobre o ponto de reposição de estoques e à defasagem entre essas decisões e os impactos na cadeia.

Ainda, no campo da cadeia de suprimentos, vários trabalhos posteriores se preocuparam com desenvolver explicações mais aprofundadas dessa estrutura decisória sub-ótima. Um trabalho que merece a atenção neste tópico, é o artigo de STERMAN (1989), no qual o autor identifica uma explicação a tal fenômeno: a pobre percepção sobre os fenômenos de acumulação – por parte dos gestores – nesse caso, da acumulação de estoque de produtos em processo, de

estoque de produto acabado e das defasagens com a tomada de decisão. Para isto, STERMAN (1989) desenvolveu o chamado “*Beer Distribution Game*” ou simplesmente “Jogo da Cerveja”, a partir do qual observou um desempenho sub-ótimo dos jogadores, na posição de gestores de uma cadeia de suprimentos – à medida que os mesmos usavam heurísticas simplórias para facilitar a tomada de decisão, levando a um resultado, também, sub-ótimo. STERMAN (1989) concluiu, portanto, que a estrutura interna do sistema – a cadeia de suprimentos e as regras de decisão dos gestores – explicavam o comportamento do sistema – o desempenho caracterizado por períodos de *over-stock* e por períodos de *stockout*. Esta visão endógena é particular da dinâmica de sistemas.

A segunda premissa da dinâmica de sistemas está justamente relacionada com o fenômeno da acumulação, isto é, as respostas do sistema às ações dos tomadores de decisão, apresenta-se na forma da acumulação – ou redução – de matéria, energia ou informação. Exemplos de estoques – a representação utilizada na dinâmica de sistemas para a acumulação – no campo da inovação podem ser o número total de publicações científicas, o total de patentes, o total de doutores formados ou os dispêndios orçamentados em P&D das firmas.

Desta forma, para a dinâmica de sistemas, os estoques representam o “estado do sistema” num determinado momento. Por sua vez, os estoques respondem às mudanças em fluxos de entrada e saída, pois eles – os estoques – somente podem mudar de nível a partir das mudanças nos valores dos fluxos de entrada e saída. A importância dos estoques e, portanto, dos fluxos, para a dinâmica de sistemas se dá no sentido de oferecer uma visão temporal para o sistema em estudo, pois os estoques conseguem capturar a “memória” do sistema, em outras palavras, sem mudanças nos fluxos de entrada e saída, o valor ou nível do estoque permaneceria constante. Exemplos de fluxos no campo da inovação podem ser o número de publicações por ano, o número de patentes depositadas por ano, a taxa de doutores formados por ano ou os dispêndios realizados em P&D por ano.

Um exemplo da relação entre estoques e fluxos pode ser encontrado no modelo desenvolvido por FIDDAMAN (2002), no qual o autor demonstra que, mesmo com uma redução das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, a quantidade acumulada de CO<sub>2</sub> permaneceria inalterada, pois, na linguagem de dinâmica de sistemas, com esse tipo de política, estaria se alterando apenas o fluxo de entrada (as emissões de CO<sub>2</sub>) e não o fluxo de saída (a dissipação do CO<sub>2</sub> na atmosfera), deixando portanto o estoque (o nível de CO<sub>2</sub> na atmosfera) constante, e por sua vez, oferecendo uma solução apenas paliativa ao problema do aquecimento global.

De fato, são vários os trabalhos desenvolvidos no campo da dinâmica de sistemas, que demonstram empiricamente a importância do fenômeno da acumulação, e principalmente, o fraco desempenho dos agentes devido à racionalidade limitada, quando da estimação dos níveis de estoques em sistemas complexos, e portanto, na previsão adequada do comportamento do sistema (DIEHL; STERMAN, 1995; WEINHARDT *et al.*, 2015).

Por outro lado, a dinâmica de sistemas assume que existem vários estoques dentro de sistemas sócio-tecnológico-econômicos, e que estes influenciam uns aos outros – por meio dos seus fluxos – de forma dinâmica.

Esta característica refere-se à terceira premissa da dinâmica de sistemas: os processos de realimentação ou *feedback*, ou seja, que toda ação ou decisão eventualmente produz uma reação do sistema sob aquela ação ou decisão inicial, alterando, portanto, o estado do sistema em estudo. Para a dinâmica de sistemas, tais processos de realimentação são representados por malhas (ou ciclos), as quais podem ser negativas (orientadas a uma meta) ou positivas (de reforço). Uma malha negativa produz uma resposta do sistema na forma de estabilização (ou ajuste a uma meta). Um exemplo no campo da inovação é busca por soluções aos problemas tecnológicos das firmas. Já, uma malha positiva produz uma resposta do sistema na forma de crescimento reforçado. Um exemplo no campo da inovação é a difusão de inovações e

tecnologias num determinado mercado (STERMAN *et al.*, 2015), na medida em que mais usuários adquirem o produto, maiores serão os efeitos de rede e, portanto, maior será a taxa de difusão das inovações.

Por outro lado, sistemas sócio-tecno-econômicos são formados por mais de uma malha de realimentação. De fato, a literatura de dinâmica de sistemas afirma que os comportamentos complexos observados em sistemas reais são produto da interação de várias malhas de realimentação, tanto positivas quanto negativas (FORD, 2009).


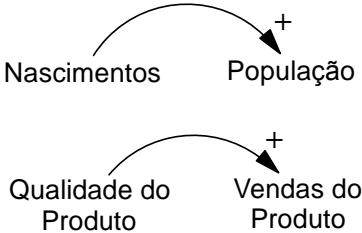

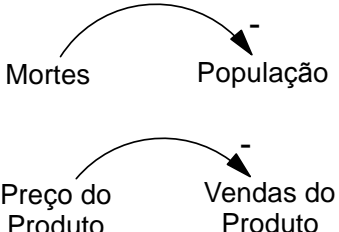
Por fim, a quarta e última premissa da dinâmica de sistemas é o efeito da defasagem temporal, (*delayou time lag*). Tal efeito refere-se ao fato de existir uma defasagem entre as decisões e os resultados dessas decisões, afetando a dinâmica do comportamento do sistema. Exemplos deste tipo de fenômeno no campo da inovação podem ser observados na ampliação do estoque de bens de capital, que apresenta um *delay* entre o momento que decide-se ampliá-la e o momento em que o estoque de bens de capital efetivamente é ampliado, devido a fatores como o tempo de processamento do pedido, tempo de transporte, tempo de instalação e *setup*.

### 3. Modelamento qualitativo e quantitativo

A dinâmica de sistemas auxilia a descoberta das principais causas sistêmicas dos comportamentos indesejados relacionados ao problema sendo analisado. Para isto, a dinâmica de sistemas, com base quatro premissas anteriormente descritas, utiliza duas formas de modelamento para compreender a estrutura física e institucional do sistema em estudo, uma qualitativa, conhecida como diagramas de enlace causal ou *causal loop diagrams – CLD*; e uma quantitativa, conhecida como diagramas de estoque e fluxo ou *stock and flow diagrams – SFD*. A seguir, são apresentadas as duas formas de modelamento.

#### 3.1 Diagramas de Enlace Causal

Os diagramas de enlace causal ou CLDs servem para descrever as malhas (ou ciclos) de realimentação descritos anteriormente. O objetivo do uso do CLD é identificar as principais malhas, tanto negativas quanto positivas, que afetam o comportamento do sistema. Para isto, utilizam uma notação específica para representar as relações de causa e efeito entre os elementos ou variáveis do sistema, conforme o Quadro 1.

Símbolos	Interpretação	Representação Matemática	Exemplos
	<i>Ceteris Paribus</i> , se X incrementa (reduz), então Y incrementa (reduz)	$\frac{\partial Y}{\partial X} > 0$	
	<i>Ceteris Paribus</i> , se X incrementa (reduz), então Y reduz (incrementa)	$\frac{\partial Y}{\partial X} < 0$	

Cada relação X-Y é diagramada para identificar possíveis malhas fechadas (ou de realimentação). A Figura 1 apresenta um exemplo de CLD, com duas malhas de realimentação, uma malha negativa, representada pela letra “B” e uma malha de realimentação positiva, representada pela letra “R”.

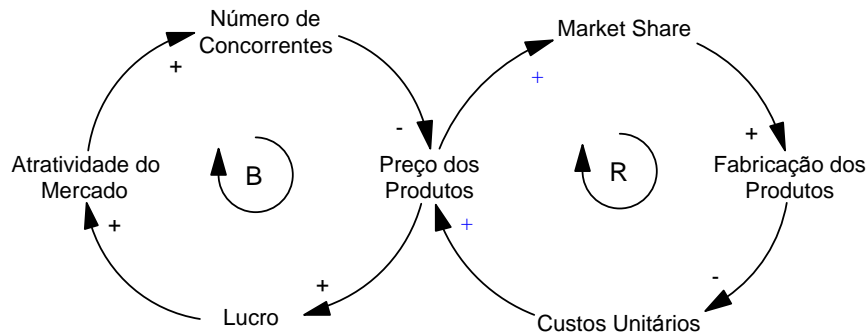


Figura 1. Exemplo de diagrama de enlace causal com duas malhas, uma negativa e uma positiva.

A lógica da malha B é que a medida que o lucro de um determinado produto aumenta, aumenta também a atratividade do mercado consumidor, levando a um aumento do número de concorrentes, e, portanto a uma redução do preço de venda, por sua vez um aumento do preço de venda leva a um aumento do lucro, fechando a malha. Já a malha R, apresenta que à medida que o preço do produto aumenta, aumenta também o *market share* do produto, levando a um aumento na fabricação de novos produtos, reduzindo o custo unitário e, por fim, uma relação proporcional entre o custo e o preço, pois à medida que o custo reduz, reduz também o preço do produto, fechando a malha.

Como pode-se perceber, os diagramas de enlace causal podem ficar extremamente complexos, detalhando várias inter-relações entre malhas negativas e positivas. A Figura 2 apresenta um exemplo mais complexo, detalhando as dinâmicas existentes para a realização de tarefas em projetos, incluindo as dinâmicas de horas-extra, *burnout*, controle da qualidade e outras.

Como pode ser observado, na Figura 2 várias malhas (ou ciclos) de ajuste às metas são ativadas para cumprir com o processamento das atividades atribuídas, dentre eles, têm-se i) a malha B1 (horas-extra), que incrementa o número de horas de trabalho por semana para incrementar a taxa de conclusão de tarefas; ii) a malha B2 (utilizando atalhos) que indica a que a medida que a pressão para concluir os trabalhos aumenta, os esforços por concluir os trabalhos efetivamente diminui, reduzindo a qualidade com a qual o trabalho é entregue; iii) a malha B3 (controle de qualidade) que busca ajustar a qualidade obtida nos trabalhos com a qualidade desejada, medida pela satisfação da equipe com a qualidade obtida, iv) a malha B5 (erosão da meta), que indica que na medida em que a satisfação com a qualidade obtida é baixa, ela acaba influenciando negativamente ao nível de qualidade desejado; e v) a malha B4 (adiamentos) que tenta ajustar as pressões para concluir os trabalhos com pedidos de adiamento, ou seja, com a busca de deadline mais folgados. Por outro lado, as malhas positivas (ou de realimentação) R1 e R2 acabam produzindo um efeito não desejado. A malha R1 (*burnout*) apresenta o efeito de excessivo uso de horas-extra, o que leva a uma redução da energia, uma queda na produtividade e portanto, uma queda na taxa de conclusão de tarefas; e a malha R2 (muito cansado para pensar) que apresenta um segundo efeito da queda de energia, afetando a qualidade dos trabalhos, e exigindo maiores esforços para incrementar a taxa de conclusão de tarefas.

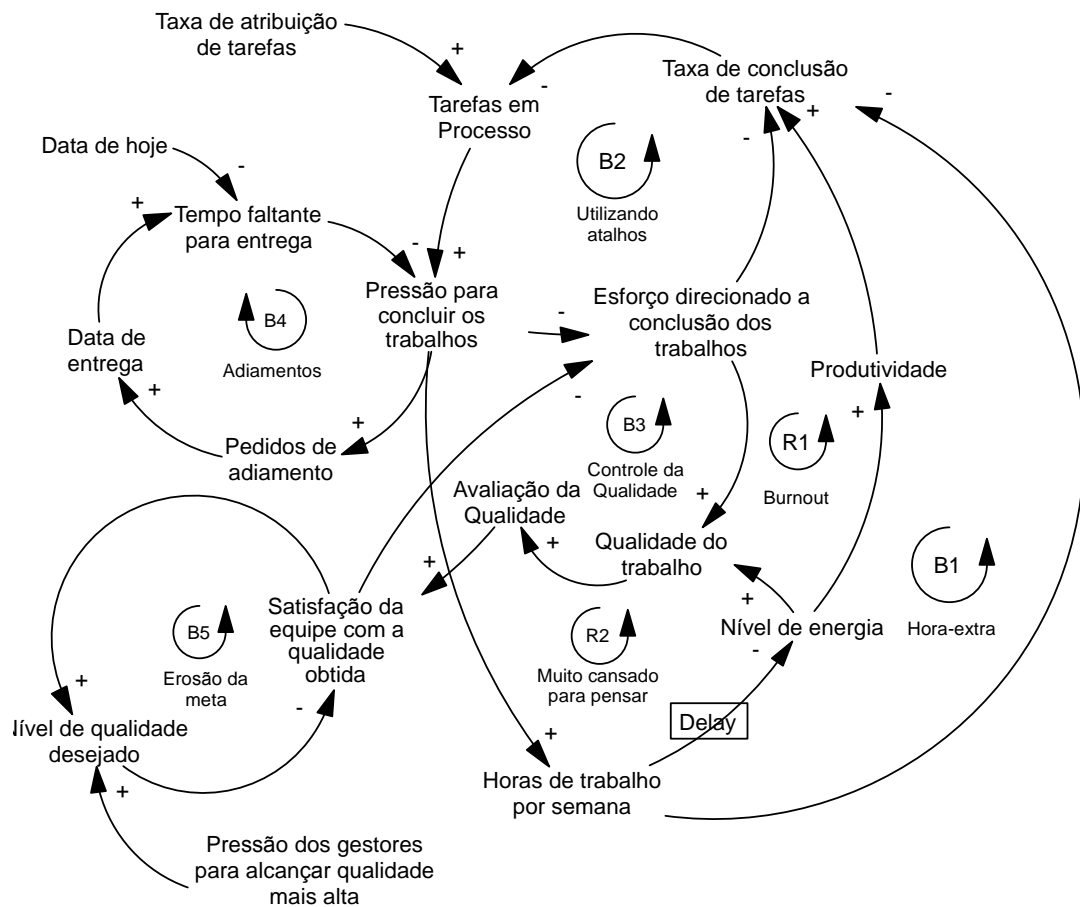


Figura 2. Exemplo de CLD representando as dinâmicas existentes na realização de tarefas. Fonte: adaptado de Sterman (2000)<sup>1</sup>

Dependendo dos valores específicos de cada uma das variáveis da Figura 2, algumas malhas serão dominantes sobre outras, levando a comportamentos dinâmicos. O problema é que, com um nível similar de complexidade com o da Figura 2, é impossível prever – a priori – o comportamento do sistema, devido justamente ao número e à influência específica de cada umas das malhas de realimentação. Nesta situação, é que são imprescindíveis ferramentas de análise quantitativas, os diagramas de estoque e fluxo – SFD.

### 3.2 Diagramas de Estoque e Fluxo

<sup>1</sup>Descrição detalhada das variáveis incluídas em cada uma das malhas de realimentação:

B1 : Tarefas em Processo → Pressão para concluir os trabalhos → Horas de trabalho por semana → taxa de conclusão de tarefas → Tarefas em Processo.

B2: Tarefas em Processo → Pressão para concluir os trabalhos → Esforço direcionado a conclusão dos trabalhos → Taxa de conclusão de tarefas → Tarefas em Processo

B3: Esforço direcionado a conclusão dos trabalhos → Qualidade do trabalho → Avaliação da Qualidade → Satisfação da equipe com a qualidade obtida → Esforço direcionado a conclusão dos trabalhos

B4: Pressão para concluir os trabalhos → Pedidos de adiamento → Data de Entrega → Tempo faltante para entrega → Pressão para concluir os trabalhos

B5: Satisfação da equipe com a qualidade obtida → Nível de qualidade desejado

R1: Tarefas em Processo → Pressão para concluir os trabalhos → Horas de trabalho por semana → Nível de energia → Produtividade → Taxa de conclusão de tarefas → Tarefas em Processo

R2: Tarefas em Processo → Pressão para concluir os trabalhos → Horas de trabalho por semana → Nível de energia → Qualidade do trabalho → Avaliação da Qualidade → Satisfação da equipe com a qualidade obtida → Esforço direcionado a conclusão dos trabalhos → Taxa de conclusão de tarefas → Tarefas em Processo.

As variáveis “taxa de atribuição de tarefas”, “data de hoje” e “pressão dos gestores para alcançar qualidade mais alta” são exógenas, isto é, variáveis que não dependem de outras.

Os Diagramas de Estoque e Fluxo (SFD) baseiam-se na construção de equações diferenciais que são resolvidas com a ajuda de softwares especializados como o STELLA/*iThink*® da *Isee Systems* e o *Vensim*® da *Ventana Systems*.

Os sistemas de equações – que os softwares resolvem com base a métodos numéricos – são compostos por variáveis de nível (estoques), taxas (fluxos) e variáveis de tempo e suas relações, gerando – na solução dos sistemas de equações – o comportamento dinâmico e não-linear do sistema.

Os estoques são as variáveis que determinam o estado do sistema no momento “t”, e por meio do fenômeno da acumulação – a sua propriedade principal – provêm ao sistema de inércia e memória (STERMAN, 2000). Por sua vez, o nível do estoque é regulado por meio da interação entre as taxas de entrada e as de saída, representadas pelos “fluxos”.

Matematicamente, o estoque representa a resolução de uma equação diferencial dentro do sistema de equações. Desta forma, a ordem do sistema de equações diferenciais dependerá do número de estoques no sistema. Por exemplo, o sistema da Figura 3 apresenta quatro estoques, portanto representa um sistema de equações diferenciais de quarta ordem.

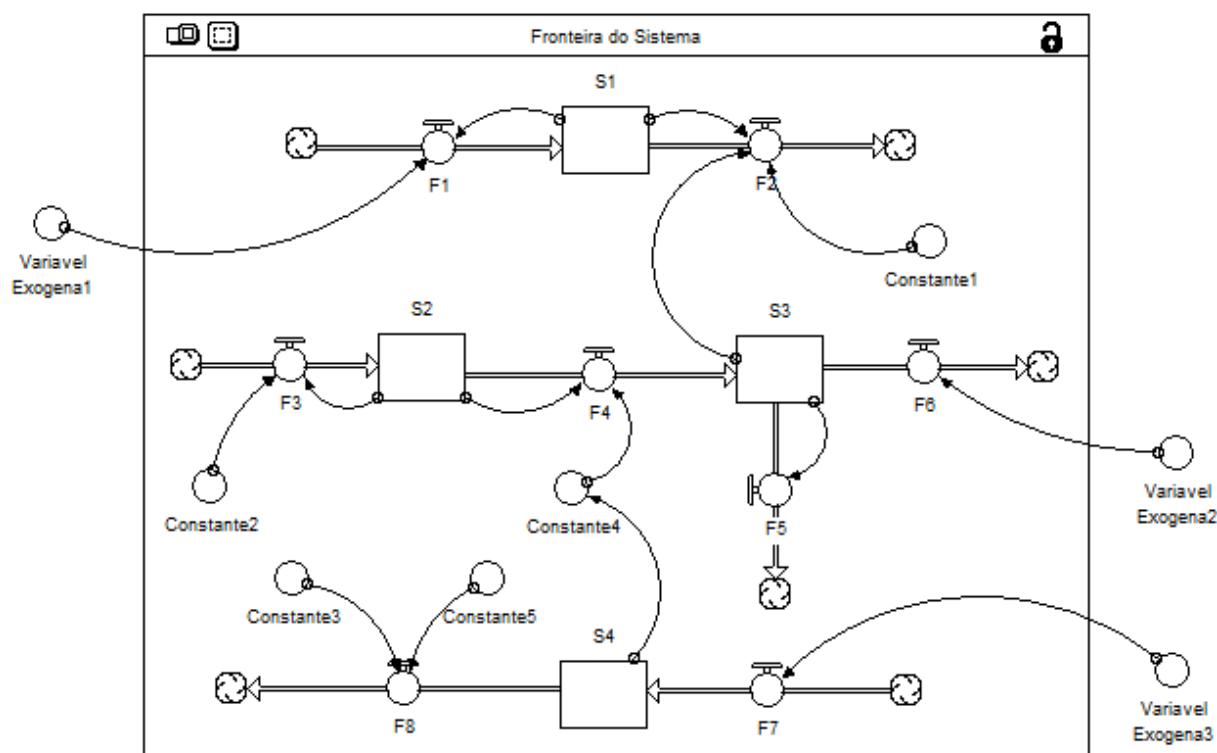


Figura 3. Exemplo de um modelo de estoques e fluxos. Fonte: adaptado de Sterman (2000)

O sistema de equações diferenciais da Figura 3 apresenta inter-relações não-lineares entre as diferentes variáveis de estoque, por exemplo, para o Estoque S1, as equações seriam:

$$\frac{dS1}{dt} = F1 - F2$$

Onde:

$$F1 = f(S1, VariavelExogena1)$$

$$F2 = f(S1, S3, Constante1)$$

Assim, o estoque S1 depende das variáveis de fluxo F1 e F2. Por sua vez, a variável de fluxo F1 depende do nível da própria variável S1 (no tempo t-1) bem como da variável exógena 1.



Por outro lado, a variável de fluxo F2 depende também do nível de S1 (tempo t-1), do nível da variável de estoque S3 (tempo t-1), e do valor da Constante1. Por convenção, as variáveis de fluxo de entrada são representadas como positivas, e as variáveis de fluxo de saída como negativas.

#### **4. A abordagem dos sistemas de inovação**

Iniciando nos trabalhos seminiais de B.A. Lundvall, R. Nelson e C. Freeman na década de 1980(FREEMAN, 1987; LUNDVALL, 1992; NELSON, 1993; EDQUIST, 1997), a abordagem dos sistemas de inovação (SI) tem se consolidado como uma ferramenta de formulação de políticas públicas e como um dispositivo de análise da inovação desde uma perspectiva sistêmica.

Neste sentido, nas últimas décadas, a abordagem dos SI tem ajudado a estabelecer e formular melhores políticas de ciência, tecnologia e inovação, fortalecer os laços entre os atores do SI bem como a compreender como se dá o processo de inovação e a comparar diferentes sistemas, por exemplo, nacionais.

Consequentemente, a abordagem tem sido utilizada por vários países assim como por organismos supranacionais como a OECD, a Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento – (UNCTAD) e o Banco Mundial – (WB), para propor mecanismos novos e analisar mecanismos existentes relacionados com a inovação e o seu impacto no desenvolvimento econômico (OECD, 1997; SHARIF, 2006).

Entre os exemplos recentes, encontra-se um estudo feito em 2009 pelo renomado *National Research Council* dos Estados Unidos – o conselho que reúne as academias ou conselhos de área mais importantes do país como a *National Academy of Engineering*, o *Institute of Medicine* e a *National Academy of Sciences* – que analisa a evolução dos Sistemas de Inovação estadunidense e japonês, estabelecendo como elementos comparativos entre ambos SI, os atores e as políticas de inovação (NAGAOKA et al., 2009).

Outros estudos e publicações também evidenciam o uso da abordagem na análise de países e regiões, Lee e Yoo (2007) analisando a França e a Coreia; Edgington (2008) analisando o Sistema de Inovação do Japão e a OECD (2009a) analisando a o SI da China e logo o SI da Coreia (OECD, 2009b).

Tanto os estudos feitos por pesquisadores, assim como aqueles feitos por organismos nacionais e internacionais, salientam que há uma forte relação entre o nível de inovação e o nível de desenvolvimento dos países, apontando que as estruturas científico-tecnológicas seriam a principal causa das diferenças no nível de desenvolvimento econômico das nações.

Em decorrência, ao comparar os resultados do *Global Competitiveness Index* do Banco Mundial com os do *Global Innovation Index* da Insead, observa-se que os países com os sistemas de inovação mais maduros – fortes laços entre os atores, políticas de inovação bem definidas, sistemas educacional e de pesquisa de excelência – apresentam também os índices mais altos em competitividade e desenvolvimento econômico, entre eles encontram-se por exemplo, os Estados Unidos, o Reino Unido, a Finlândia, a Alemanha e a Suécia (INSEAD, 2010; SCHWAB, 2010).

Pelo fato da abordagem ter nascido no âmbito nacional, é natural encontrar um maior número de estudos com foco nacional, contudo, há também um crescente número de estudos que focam na análise dos SI a nível regional(ZABALA-ITURRIAGAGOITIA, 2008; ZABALA-ITURRIAGAGOITIA; GUTIERREZ-GRACIA; JIMENEZ-SAEZ, 2008), a nível setorial(LEE, T. L., 2002; MALERBA, 2002) e a nível tecnológico(HEKKERT et al., 2007; BERGEK et al., 2008; TIGABU; BERKHOUT; VAN BEUKERING, 2015).

Embora as discussões tenham se centrado em qual é a melhor unidade de análise, considerando que algumas dimensões e camadas podem ter maior disponibilidade de dados por exemplo, ou que em alguns casos certos setores tecnológicos podem ultrapassar as

barreiras geográficas, não há questionamentos sobre a influência da inovação no desenvolvimento econômico de países, regiões e setores.

## 5. As lacunas de pesquisa no campo dos sistemas de inovação

Embora a abordagem dos SI tenha-se posicionado como uma ferramenta analítica útil tanto para a comunidade acadêmica quanto para a comunidade política, alguns especialistas têm levantado lacunas de pesquisa relacionadas com o avanço teórico e a aplicabilidade da abordagem. A seguir, apresentar-se-ão duas das lacunas mais relevantes.

Em primeiro lugar, autores como o C. Edquist, apontam à necessidade de uma maior formalização teórica, isto é, uma delimitação mais precisa da composição e da dinâmica do sistema (EDQUIST, 2005), pois até agora, a abordagem tem sido utilizada de forma muito ampla. O autor sugere utilizar uma visão mais sistêmica para operacionalizar a abordagem, que tenha como premissa, i) a definição do objetivo do sistema, ii) a definição dos constituintes – organizações e instituições, e iii) a definição das principais atividades ou processos críticos para o funcionamento do sistema de inovação.

Dentro desta lógica, as atividades ou processos críticos lhe conferem (ao sistema) a característica dinâmica, ou seja, a propriedade de mudar o comportamento – e o desempenho do sistema – ao longo do tempo. Autores como Hekkert et al. (2007) e Bergek et al. (2008) tem apresentado propostas similares às atividades, neste caso as chamadas ‘funções’, mas que – de forma ampla – assemelham-se muito ao conceito original do Edquist (2005), ou seja, à identificação do desempenho individual de cada um dos processos críticos que são necessários para o sistema funcionar como um todo, e à explicação do desempenho global ser o resultado dos desempenhos individuais de cada atividade.

Contudo, ainda não há consenso sobre i) como as atividades influenciam o sistema, ii) sobre as diferentes intensidades de influência de umas e outras atividades, iii) sobre as influências entre atividades e, de forma mais geral, iv) sobre quais são as atividades que melhor explicam o comportamento e o desempenho do sistema, como o próprio Edquist coloca:

*“The determinants (activities) influence the innovation processes; it is a matter of causality. A satisfactory causal explanation of innovation processes almost certainly will be multicausal, and therefore should specify the relative importance of various determinants. These determinants cannot be expected to be independent of one another, but must be seen to support and reinforce—or offset—one another. Hence, it is also important to study the relations among various determinants of innovation processes (i.e. between each of the activities). This simply indicates that causal explanations in the social sciences are extremely complex and very difficult to pursue” (EDQUIST, 2011).*

A segunda lacuna de pesquisa refere-se ao excesso de estudos comparativos – entre países por exemplo – a partir de dados obtidos das chamadas “Pesquisas de Inovação”<sup>2</sup>. As informações coletadas nas Pesquisas de Inovação não são suficientes para compreender, de fato, o comportamento do sistema, devido a elas oferecerem uma visão estática do sistema (CARLSSON *et al.*, 2002; HEKKERT *et al.*, 2007; EDQUIST, 2011). Neste sentido, os dados coletados em pesquisas de inovação fornecem o estado do sistema num determinado instante no tempo e, portanto, não fornecem uma visão do desempenho ao longo do tempo. Dada a característica evolucionária do sistema, é razoável assumir que o sistema de inovação apresenta comportamentos diferentes ao longo do tempo, devido à influência de – e à intensidade de – diferentes atividades em momentos diferentes, comportamentos que não são possíveis de

---

<sup>2</sup> A pesquisas de inovação são realizadas por entidades ou agências governamentais, como no caso do Brasil, com a Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC) produzida pelo IBGE, ou as *Community Innovation Surveys (CIS)*, produzidas pela *Eurostat* da União Europeia.

capturar – apenas – com o uso das pesquisas de inovação, pois elas oferecem apenas ‘fotografias’ e não ‘filmes’ do comportamento do sistema. Nas palavras do Lundvall: “*The most relevant performance indicators of [National] Innovation Systems should reflect the efficiency and effectiveness in producing, diffusing, and exploiting economically useful knowledge. Such indicators are not well developed today*” (LUNDVALL, 1992)

## **6. Os sistemas de inovação são dinâmicos (e complexos)**

Desde os inícios da abordagem, a literatura especializada tem reconhecido a característica dinâmica e complexa dos sistemas de inovação. Nas palavras de Lundvall: “*a system of innovation...is also a dynamic system, characterized both by positive feedback and by reproduction...cumulative causation, and virtuous and vicious circles, are characteristics of systems and sub-systems of innovation*”(LUNDVALL, 1992). Contudo, como foi mencionado na Seção anterior, existem poucos avanços teóricos quanto à operacionalização de métodos e ferramentas que consigam, de fato, capturar a dinâmica e a complexidade do sistema.

De maneira mais formal, os sistemas de inovação são dinâmicos e complexos pois apresentam todas as propriedades dos sistemas complexos, mencionadas anteriormente, são elas: i) as realimentações de informação e matéria, ii) os efeitos das demoras e atrasos de fase, iii) as não-linearidades entre causas e efeitos e iv) os processos de acumulação e erosão (STERMAN, 2006).

Em primeiro lugar, os processos de realimentação de informação e matéria tem sido amplamente reconhecidos na literatura da área, desde o modelo do Elo em Cadeia de Kline e Rosenberg (1986) até os modelos mais elaborados como o de Quinta Geração proposto por Rothwell (1994). De fato, as próprias relações entre os componentes do sistema produzem realimentações positivas (de reforço) e negativas (de balanceamento), como por exemplo o efeito das externalidades positivas que levam a um incremento na difusão de inovações, levando a um maior incremento das externalidades positivas, fechando o laço.

Em segundo lugar, tem-se os efeitos das demoras e atrasos de fase; em sistemas de inovação, os resultados das intervenções no sistema demoram anos e as vezes décadas em serem observados. Como comenta Niosi (2010), diferentemente do paradigma tradicional da economia, a escala temporal e os efeitos temporais são críticos para a abordagem dos sistemas de inovação, seja por exemplo, para demonstrar o efeito da aprendizagem ou para evidenciar as mudanças nas instituições (NIOSI, 2010). Os efeitos temporais produzem instabilidade nos sistemas, gerando comportamentos de *overshooting* e oscilatórios (STERMAN, 1989), puxando o sistema para fora do equilíbrio.

Em terceiro lugar, a não-linearidade entre causas e efeitos é amplamente observada em sistemas de inovação. Mais especificamente, refere-se ao fato de não existir uma relação direta e proporcional entre as intervenções ao sistema e os resultados. Um exemplo desta propriedade dos sistemas de inovação é relatado por Bitard et al. (2008), referindo-se ao chamado ‘paradoxo da Suécia’ que relaciona o alto grau de *inputs* de P&D desse país com os baixos *outputs* obtidos a partir do processo de inovação (BITARD et al., 2008).

Em quarto lugar, a propriedade da acumulação e da erosão, em outras palavras, da presença de estoques e fluxos no sistema. No campo dos sistemas de inovação são vários os autores que reconhecem a existência de diversos tipos de estoques e fluxos, dentre eles, por exemplo, os estoques de conhecimento, alimentados por ‘fluxos de aprendizagem’, nas palavras do Edquist “*Knowledge is a ‘stock’ category and learning is a “flow” category adding more knowledge to the existing ‘stock’*” (EDQUIST, 2011). Outros componentes do sistema também podem ser identificados como estoques, entre eles, a força de trabalho de P&D total, o desenvolvimento de competências, os recursos financeiros disponíveis para reinvestimento das firmas em atividades inovativas, e os recursos financeiros das agências de fomento, disponíveis para investimento das firmas em atividades inovativas; e como fluxos, os

dispêndios mensais ou anuais em atividades inovativas, a velocidade de introdução de inovações nos mercados e os números de doutores formados por ano, publicações científicas por ano e patentes depositadas por ano.

## **7. Uso da dinâmica de sistemas no campo dos sistemas de inovação**

Como comenta Niosi (2010), a dinâmica de sistemas e os sistemas de inovação possuem micro-fundamentos muito similares. Ambos entendem que os agentes – os tomadores de decisão – operam sob um regime de racionalidade limitada, buscando por estratégias e adaptando seu comportamento à medida que outros agentes alteram as deles, produzindo realimentações de comportamento evolutivas (NIOSI, 2010). As realimentações, por sua vez, podem produzir efeitos de crescimento, estagnação ou erosão no sistema, em outras palavras, o macro-comportamento do sistema emerge da microestrutura do mesmo, ou seja, das interações entre os atores, instituições e outros componentes do sistema.

Estas constatações levaram a um número crescente – embora reduzido – de trabalhos publicados em periódicos científicos que utilizaram a dinâmica de sistemas para representar diferentes tipos de processos existentes nos sistemas de inovação. Podem-se sintetizar duas correntes de aplicações (URIONA; GROBBELAAR, 2016): i) na representação do sistema de inovação como um todo e ii) a representação de processos específicos do sistema de inovação. A seguir descrevem-se, brevemente, ambas correntes.

### **7.1 Representação do sistema de inovação como um todo**

As aplicações de dinâmica de sistemas para representar o sistema de inovação como um todo, identificadas na literatura por Uriona e Grobbelaar (2016), tem como principal objetivo, a observação dos diferentes comportamentos do sistema face a diferentes tipos de intervenções ou estímulos - como por exemplo, maiores incentivos a capital de risco ou maiores investimentos em P&D – numa lógica de análise prospectiva.

Um recorte bastante utilizado é o recorte setorial (sistema setorial de inovação). No caso do Setor de Biotecnologia na Holanda, por exemplo, os autores Janszen e Degenars (1998) analisam o comportamento do setor a diferentes níveis de infraestrutura científica no sistema, à existência de fornecedores de tecnologia, e à inclusão de capital de risco (JANSZEN; DEGENARS, 1998). Os trabalhos de Lee e von Tunzelmann (2005) e Lee (2006), por outro lado, caracterizam o sistema de inovação como o conjunto dos sub-sistemas de ciência e tecnologia, recursos humanos, inovação de processo e produto, mercado de produtos e mercado de capitais. Os autores, utilizam a dinâmica de sistemas para representar cada um dos subsistemas descritos anteriormente e para interliga-los num único modelo calibrado para o caso do Setor de Circuitos Integrados do Taiwan (LEE, T. L.; VON TUNZELMANN, 2005; LEE, T. L., 2006). Mais recentemente, Uriona et al. (2015) utiliza a abordagem da dinâmica de sistemas para estudar o sistema de inovação do Setor de Software no Brasil. Os autores correlacionam a inovação do setor com os diferentes tipos de aprendizagem das firmas, entre eles o *learning-by-internal-search*, *learning-by-doing*, *learning-by-imitating*, *learning-by-interacting* e *learning-by-using* dentre outros (URIONA-MALDONADO et al., 2015). A figura 4 apresenta o diagrama de enlace causal proposto pelos autores.

Outros trabalhos focam em recortes nacionais e regionais, entre eles podem-se citar a Samara et al. (2012), Rodriguez et al. (2014) e Rodriguez e Navarro-Chavez (2015). No caso de Samara et al. (2012), o foco é o Sistema Nacional de Inovação da Grécia e no caso de Rodriguez e Navarro-Chavez (2015) o foco é o Sistema Regional de Inovação de Michoacan, no México (SAMARA; GEORGIADIS; BAKOUROS, 2012; RODRÍGUEZ; NAVARRO-CHÁVEZ, 2015).

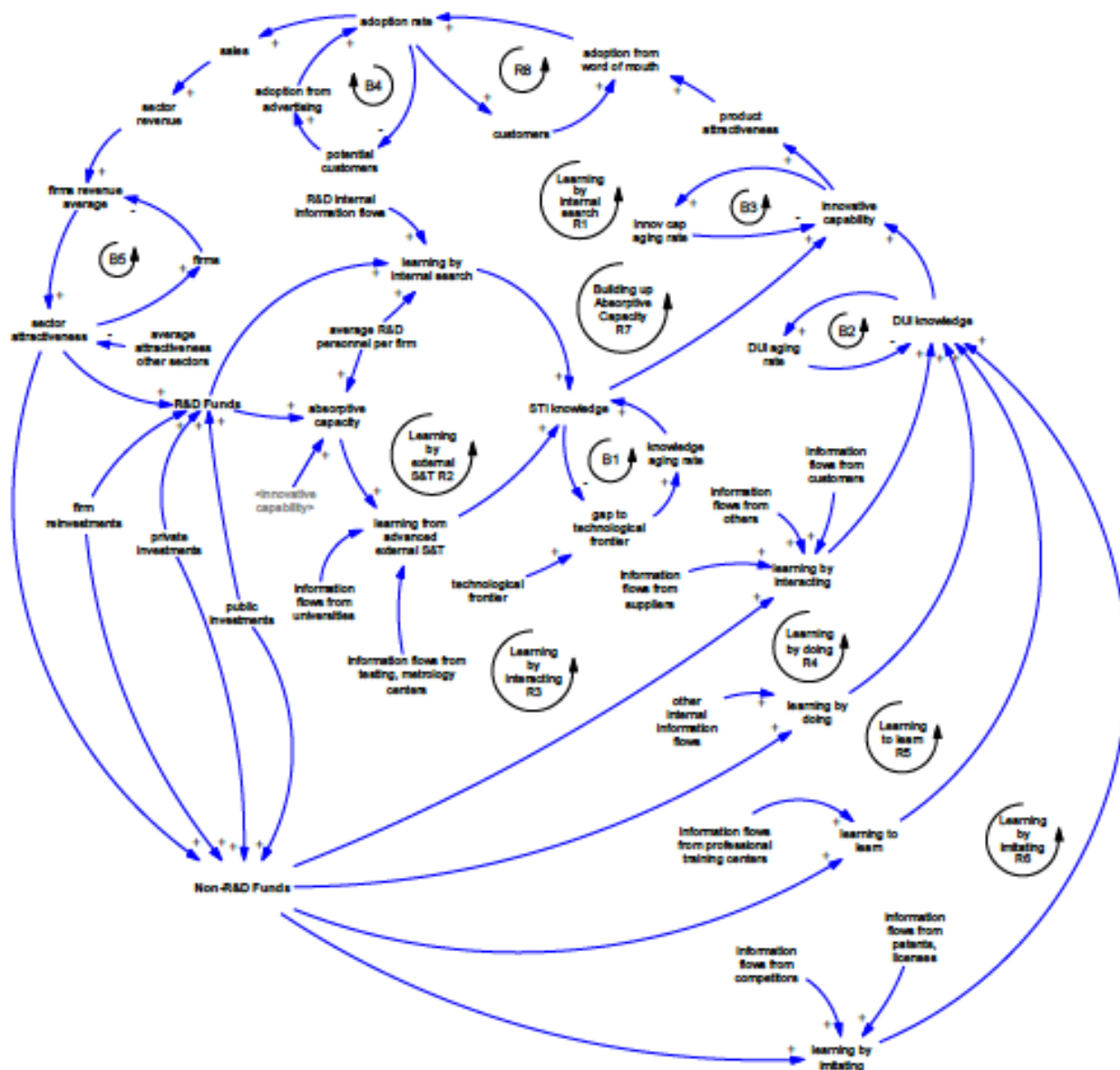


Figura 4. Relações causa-efeito entre diversos tipos de aprendizagem e o processo de inovação. Fonte: Uriona et al. (2015)

## 7.2 Representação de processos específicos do sistema

A segunda corrente de aplicações apresenta modelamentos mais detalhados de alguns dos processos relacionados com a inovação. De forma geral, uma boa parte deste tipo de aplicações está relacionada com a compreensão do fenômeno da difusão de inovações.

Neste tipo de aplicações, os autores identificam, basicamente, dois grandes mecanismos de difusão: o primeiro, relacionado com os efeitos de rede (externalidades positivas), imitação e interação social; e o segundo, relacionado com o efeito dos esforços das firmas ou outros agentes em publicidade e outros mecanismos de exposição (MAIER, 1997). De forma ampla, tais mecanismos são fundamentados nos trabalhos de F. Bass (BASS, 1969; MAHAJAN; MULLER; BASS, 1990).

Dentre estes trabalhos, podem-se citar os de P. Milling, que propõem aprofundamentos teóricos quanto no modelamento de diferentes fatores determinantes dos processos de difusão

(MILLING, 1996; 2002; MILLING; MAIER, 2002). A Figura 5 apresenta a estrutura básica deste tipo de modelos.

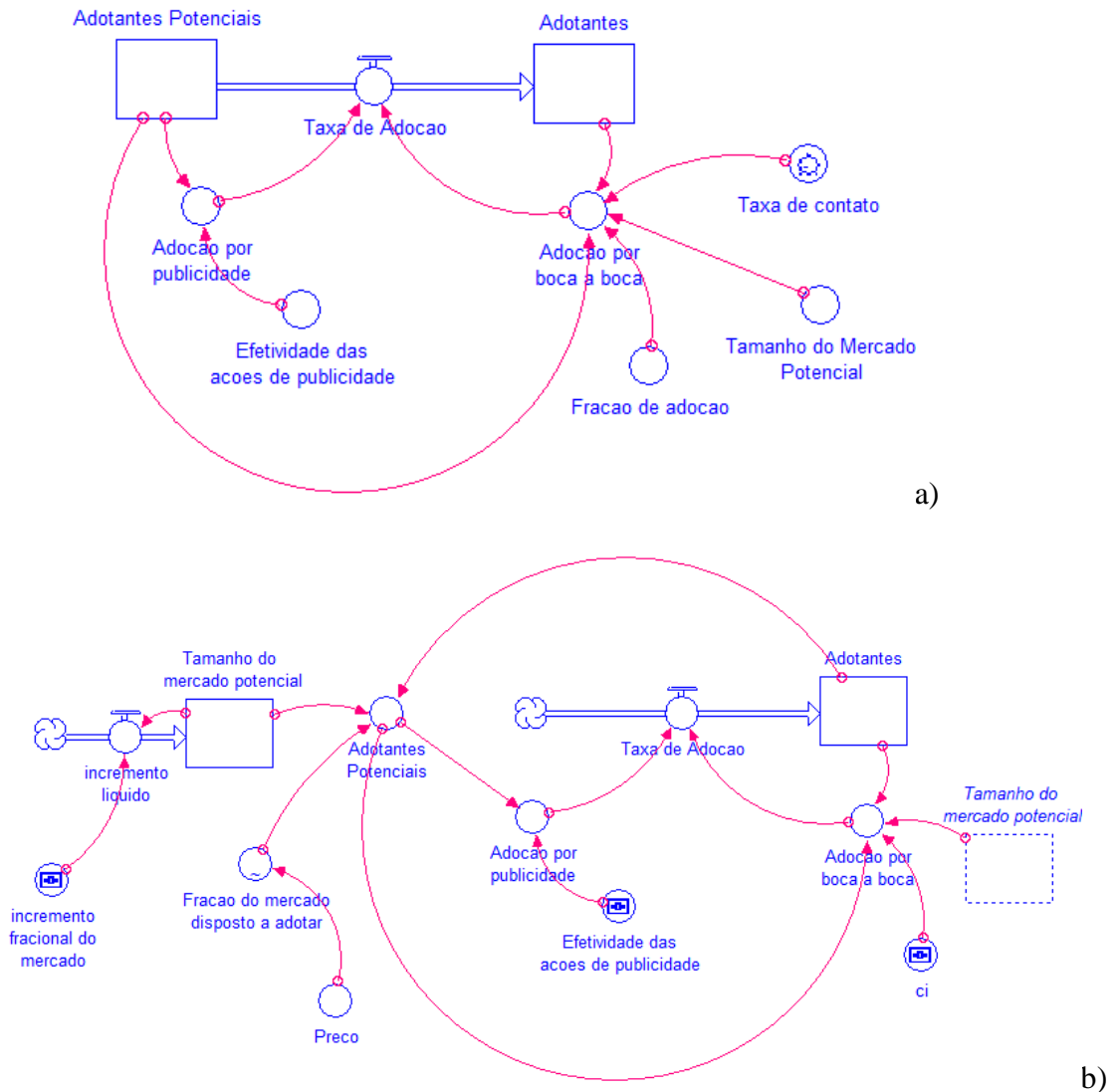


Figura 5. Modelos de estoques e fluxos representando a difusão de inovações. a) Modelo simplificado onde a taxa de difusão depende apenas da adoção por publicidade e da adoção por boca-a-boca. b) Modelo incluindo outras variáveis endógenas para explicar a taxa de difusão, são elas o mercado potencial crescente e a decisão de compra com base no preço variável ao longo do tempo. Fonte: Elaborado pelos autores

Ainda na segunda corrente, outros trabalhos desenvolvem modelos para entender melhor o complexo funcionamento de atividades específicas do sistema, tais como P&D. É o caso dos trabalhos de Grobbelaar e Buys (2005), Stamboulis et al (2002), Kim e Ro (2009) e Kortelainen et al (2008)(STAMBOULIS; ADAMIDES; MALAKIS, 2002; GROBBELAAR; BUYS, 2005; KORTELAINEIN; PIIRAINEN; TUOMINEN, 2008; KIM; RO, 2009).

## 8. Considerações finais

A dinâmica de sistemas, como campo de conhecimento, tem crescido notoriamente desde a sua criação na década de 1950. Como foi comentado ao longo do artigo, a literatura apresenta

aplicações nas áreas mais diversas, desde a gestão e economia até a área da sustentabilidade e do comportamento humano.

Parte dessa diversidade, deve-se à própria diversidade da comunidade de pesquisadores e praticantes na dinâmica de sistemas. Contudo, a dinâmica de sistemas é relativamente pouco conhecida no campo dos sistemas de inovação, assim também, são pouco conhecidas as potenciais vantagens do seu uso. Longe de ser uma revisão exaustiva das oportunidades de pesquisa e aplicação da dinâmica de sistemas, o artigo propõe de forma ampla, que a utilização da dinâmica de sistemas no campo dos sistemas de inovação pode trazer potenciais ganhos, e que pesquisas futuras podem aproveitar o corpo de literatura já existente que aborda o estudo dos sistemas de inovação com dinâmica de sistemas.

De forma sintética, pode-se concluir que devido à grande similaridade entre os micro-fundamentos dos sistemas de inovação e da dinâmica de sistemas, existem grandes oportunidades de pesquisa futura. Também, como foi descrito anteriormente, a dinâmica de sistemas tem sido utilizada para estudar o sistema como um todo, dada a característica de ‘sistemismo’ presente na mesma; e também, para estudar processos específicos, tais como a difusão de inovações e as atividades de P&D.

Por fim, espera-se que o artigo tenha inspirado à realização de pesquisas específicas, aprofundando as áreas e aplicações descritas, bem como verificando efetivamente, os benefícios potenciais e reais da aplicação da dinâmica de sistemas no campo dos sistemas de inovação.

## 9. Referencias

BASS, F. M. A new product growth model for consumer durables. *Management Science*, v. 15, n. 5, p. 215-227, 1969.

BERGEK, A. *et al.* Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. *Research Policy*, v. 37, n. 3, p. 407-429, Apr 2008. ISSN 0048-7333. Disponível em: <<http://bit.ly/aLGGaD>>.

BITARD, P. *et al.* Reconsidering the paradox of high R&D input and low innovation: Sweden. In: EDQUIST, C. e HOMMEN, L. (Orgs.). *Small Country Innovation Systems: Globalization, Change and Policy in Asia and Europe*, 2008. cap. 7, p.237-280.

CARLSSON, B. *et al.* Innovation systems: analytical and methodological issues. *Research Policy*, v. 31, n. 2, p. 233-245, 2002. ISSN 0048-7333. Disponível em: <<http://bit.ly/aPAMPh>>.

COYLE, R. G. *System Dynamics Modelling: A Practical Approach*. London: Chapman and Hall, 1996. xiv + 413 ISBN 0412617102.

DIEHL, E. W.; STERMAN, J. D. Effects of Feedback Complexity on Dynamic Decision Making. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, v. 62, n. 2, p. 198-215, 1995.

EDGINGTON, D. W. The Japanese Innovation System: University–Industry Linkages, Small Firms and Regional Technology Clusters. *Prometheus*, v. 26, n. 1, p. 1-19, 2008.

EDQUIST, C. *Systems of Innovation. Technologies, Institutions and Organizations*. London and Washington: Pinter Publishers, 1997.

\_\_\_\_\_. Systems of Innovation: Perspectives and challenges. In: FAGERBERG, J.; MOWERY, D. C., *et al* (Orgs.). *The Oxford Handbook of Innovation*. New York: Oxford University Press, 2005. cap. 7, p.181-208.

\_\_\_\_\_. Design of innovation policy through diagnostic analysis: identification of systemic problems (or failures). *Industrial and Corporate Change*, v. 20, n. 6, p. 1725-1753, 2011. ISSN 0960-6491.

FIDDAMAN, T. S. Exploring Policy Options with a Behavioral Climate - Economy Model. *System Dynamics Review*, v. 18, n. 2, p. 243-267, Summer 2002. Disponível em: <<http://www.sd3.info/>>.

FORD, A. *Modeling the Environment*. 2nd (November 11, 2009). Washington, DC: Island Press, 2009. 400 ISBN 978-1597264730.

FORRESTER, J. W. Industrial Dynamics: A Major Breakthrough for Decision Makers. *Harvard Business Review*, v. 26, n. 4, p. 37-66, 1958.

\_\_\_\_\_. *Industrial Dynamics*. Cambridge MA: Productivity Press, 1961. 464 ISBN 0915299887.

\_\_\_\_\_. *Urban Dynamics*. Cambridge MA: Productivity Press, 1969. 285 ISBN 0-262-06026-4.

\_\_\_\_\_. *World Dynamics*. 2. Cambridge MA: Productivity Press, 1973. 144

\_\_\_\_\_. *The Beginning of System Dynamics*. System Dynamics Group, Sloan School, Massachusetts Institute of Technology. Banquet talk at the System Dynamics Society Conference, Stuttgart, Germany.: July 13. 1989. (D-4165)

FORRESTER, J. W.; MASS, N. J.; RYAN, C. J. The system dynamics national model: Understanding socio-economic behavior and policy alternatives. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 9, n. 1, p. 51-68, 1976/01/01 1976. ISSN 0040-1625. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0040162576900445>>.

FREEMAN, C. *Technology policy and economic performance: lessons from Japan*. London: Pinter Publishers, 1987.

GROBBELAAR, S. S.; BUYS, A. J. A conceptual systems dynamics model of research and development activities in South Africa. *South African Journal of Industrial Engineering*, v. 16, n. 2, p. p. 103-121, 2005. ISSN 1012-277X.

GRÖSSLE, A.; THUN, J. H.; MILLING, P. M. System dynamics as a structural theory in operations management. *Production and operations management*, v. 17, n. 3, p. 373-384, 2008. ISSN 1937-5956.

HEKKERT, M. P. *et al.* Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 74, n. 4, p. 413-432, May 2007. ISSN 0040-1625. Disponível em: <<Go to ISI>://000246437200001 >.

INSEAD. *Global Innovation Index 2009-2010*. p.456. 2010

JANSZEN, F. H. A.; DEGENAARS, G. H. A dynamic analysis of the relations between the structure and the process of National Systems of Innovation using computer simulation; the case of the Dutch biotechnological sector. *Research Policy*, v. 27, n. 1, p. 37-54, May 1998. ISSN 0048-7333. Disponível em: <<http://bit.ly/bQ4Pnq>>.

KIM, S. W.; RO, G. *A Dynamic Analysis of Technological Innovation Using System Dynamics*. POMS 20 th Annual Conference: 1--33 p. 2009.

KLINE, S.; ROSENBERG, N. An Overview of Innovation. In: LANDAU, R. e ROSENBERG, N. (Orgs.). *The Positive Sum Strategy*. Washington: National Academy of Press, 1986.

KORTELAINEN, S.; PIIRAINEN, K.; TUOMINEN, M. *A system dynamics model of learning and innovation process profitability*. 2008 International Conference of the System Dynamics Society 2008.

LEE, S. H.; YOO, T. Government Policy and Trajectories of Radical Innovation in Dirigiste States: A Comparative Analysis of National Innovation Systems in France and Korea. *Technology Analysis & Strategic Management*, v. 19, p. 451-470, 2007. Disponível em: <<http://bit.ly/9HGxiH>>.

LEE, T. L. *Dynamic Analysis of the National Innovation Systems Model: A Case Study of Taiwan's Integrated Circuit Industry*. 2002. 376p. (Doctor of Philosophy in Policy Research



in Engineering Science and Technology). Faculty of Social Sciences and Law, University of Manchester, Manchester.

\_\_\_\_\_. An alternative approach to technology policy assessment: Dynamic simulation analysis of Taiwan's IC industry. *International Journal of Technology, Policy and Management*, v. 6, n. 2, p. 121-153, 2006. Disponível em: <<http://bit.ly/bZZFw6>>.

LEE, T. L.; VON TUNZELMANN, N. A dynamic analytic approach to national innovation systems: The IC industry in Taiwan. *Research Policy*, v. 34, n. 4, p. 425-440, May 2005. ISSN 0048-7333. Disponível em: <<http://bit.ly/9XAbhZ>>.

LUNDEVALL, B. A. *National Systems of Innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. London and New York: Pinter Publishers, 1992.

MAHAJAN, V.; MULLER, E.; BASS, F. M. New product diffusion models in marketing: A review and directions for research. *The journal of marketing*, p. 1-26, 1990. ISSN 0022-2429.

MAIER, F. H. New Product Diffusion Models in Innovation Management - A System Dynamics Perspective. *System Dynamics Review*, v. 14, p. 285-308, 1997.

MALERBA, F. Sectoral systems of innovation and production. *Research Policy*, v. 31, n. 2, p. 247-264, Feb 2002. ISSN 0048-7333. Disponível em: <<Go to ISI>://000174579700005 >.

MEADOWS, D. H. *Thinking in Systems: A Primer*. Chelsea Green Publishing, 2008. 240 ISBN 1603580557.

MEADOWS, D. H.; RANDERS, J.; MEADOWS, D. *Limits to growth: the 30-year update*. White River Junction: Chelsea Green Publishing Company, 2004.

MILLING, P. M. Modeling innovation processes for decision support and management simulation. *System Dynamics Review*, v. 12, n. 3, p. 211-234, 1996. ISSN 1099-1727. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1727\(199623\)12:3<211::AID-SDR105>3.0.CO;2-8](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1099-1727(199623)12:3<211::AID-SDR105>3.0.CO;2-8)>.

\_\_\_\_\_. Understanding and Managing Innovation Processes. *System Dynamics Review*, v. 18, p. 73-86, Spring 2002 2002.

MILLING, P. M.; MAIER, F. H. Research and Development, Technological Innovations and Diffusion. *Encyclopedia of life Support Systems*, v. I, 2002.

MORECROFT, J. *Strategic Modelling and Business Dynamics: A feedback systems approach*. 2nd. Chichester: John Wiley and Sons, 2015. 504p. ISBN 1118844688.

NAGAOKA, S. *et al.*, Orgs. *21st Century Innovation Systems for Japan and the United States: Lessons from a decade of change*. Report of a Symposium. . Washington, DC: The National Academies Press, p.303, Report of a Symposium. ed. 2009.

NELSON, R. R. *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*. New York and Oxford: Oxford University Press, 1993.

NIOSI, J. *Building National and Regional Innovation Systems: Institutions for Economic Development*. Cheltenham, UK • Northampton, MA, USA: Edward Elgar, 2010. 258p.

OECD. *National Innovation Systems*. Paris: OECD Publishing, 1997. 49p

\_\_\_\_\_. *Measuring China's Innovation System - National Specificities and International Comparisons*. OECD, 2009a.

\_\_\_\_\_. *OECD Reviews of Innovation Policy - Korea*. Paris: OECD, 2009b. 268. ISBN 978-92-64-06722-6.

OGATA, K. *System Dynamics*. 3rd. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1998. ix,758p. ill ISBN 013950377.

RAHMANDAD, H.; OLIVA, R.; OSGOOD, N. *Analytical Methods for Dynamic Modelers*. Cambridge, MA: MIT Press, 2015. 448 ISBN 9780262029490.

RICHARDSON, G. P.; ALEXANDER L. PUGH, I. *Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO*. Cambridge MA: Productivity Press, 1981. 413 ISBN 0-262-18102-9.

RODRÍGUEZ, J. C.; NAVARRO-CHÁVEZ, C. L. A system dynamics model of science, technology and innovation policy to sustain regional innovation systems in emerging economies. *International Journal of Innovation and Regional Development*, v. 6, n. 1, p. 7-30, 2015. ISSN 1753-0679.

ROTHWELL, R. Towards the fifth-generation innovation process. *International Marketing Review*, v. 11, n. 1, p. 7-31, 1994.

SAMARA, E.; GEORGIADIS, P.; BAKOUROS, I. The impact of innovation policies on the performance of national innovation systems: A system dynamics analysis. *Technovation*, v. 32, n. 11, p. 624-638, 11// 2012. ISSN 0166-4972. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166497212000727>>.

SCHWAB, K., Ed. *The Global Competitiveness Report 2010-2011*. Geneva, Switzerland: World Economic Forum, p.516ed. 2010.

SENGE, P. M. *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*. New York: Doubleday/Currency, 1990. 424 ISBN 0-385-26094-6.

SHARIF, N. Emergence and development of the National Innovation Systems concept. *Research Policy*, v. 35, n. 5, p. 745-766, 2006. Disponível em: <<http://bit.ly/bb3axQ>>.

STAMBOULIS, Y. A.; ADAMIDES, E. D.; MALAKIS, T. E. *Modeling the Product-Process R&D Dynamics*. Proceedings of the 20th International Conference of the System Dynamics Society. Palermo, Italy: The System Dynamics Society 2002.

STERMAN, J. D. Modeling managerial behavior: misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment. *Management Science*, v. 35, n. 3, p. 321-339, 1989.

\_\_\_\_\_. *Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a complex world*. Boston: Mc Graw Hill Higher Education, 2000. 1008p.

\_\_\_\_\_. Learning from evidence in a complex world. *American Journal of Public Health*, v. 96, n. 3, p. 505-514, 2006.

STERMAN, J. D. *et al.* System dynamics perspectives and modeling opportunities for research in operations management. *Journal of Operations Management*, v. 39-40, n. November, p. 1-5, 2015. ISSN 0272-6963. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jom.2015.07.001>>.

TIGABU, A. D.; BERKHOUT, F.; VAN BEUKERING, P. The diffusion of a renewable energy technology and innovation system functioning: Comparing bio-digestion in Kenya and Rwanda. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 90, Part A, p. 331-345, 1// 2015. ISSN 0040-1625. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162513002564>>.

URIONA, M. M.; GROBBELAAR, S. S. *System Dynamics Models in the Innovation Systems domain: A review*. 2016 International Conference of the Schumpeter Society. NIOSI, J. Montreal, CA 2016.

URIONA-MALDONADO, M. *et al.* *Simulating Sectoral Innovation Dynamics with Differential Equation Models*. 13th Globelics International Conference. Havana, Cuba 2015.

WEINHARDT, J. M. *et al.* How analytic reasoning style and global thinking relate to understanding stocks and flows. *Journal of Operations Management*, v. 39-40, p. 23-30, 11// 2015. ISSN 0272-6963. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272696315000613>>.

ZABALA-ITURRIAGAGOITIA, J. M. *Benchmarking Regional Innovation Systems: The relevance of efficiency to their performance*. 2008. 249p. PhD Dissertation (PhD en Proyectos de Ingeniería). Departamento de Proyectos de Ingeniería, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.

ZABALA-ITURRIAGAGOITIA, J. M.; GUTIERREZ-GRACIA, A.; JIMENEZ-SAEZ, F. Benchmarking innovation in the Valencian Community. *European Urban and Regional*

*Studies*, v. 15, n. 4, p. 333-347, Oct 2008. ISSN 0969-7764. Disponível em:  
<<http://bit.ly/diiXdf>>.