



OBSOLESCÊNCIA ACELERADA DE PRODUTOS TECNOLÓGICOS E OS IMPACTOS NA SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO

ANTONIO CARLOS ZAMBON

*Doutor em Engenharia de Produção pelo Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).
Professor da Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).
Rua Paschoal Marmo, 1.888, Jardim Nova Itália, Limeira – SP – Brasil – CEP 13484-332
E-mail: zambon@ft.unicamp.br*

ANA ESTELA ANTUNES DA SILVA

*Doutora em Engenharia Elétrica pela Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).
Professora da Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas.
Rua Paschoal Marmo, 1.888, Jardim Nova Itália, Limeira – SP – Brasil – CEP 13484-332
E-mail: aeasilva@ft.unicamp.br*

GISELE BUSICHIA BAIOCO

*Doutora em Ciências da Computação e Matemática Computacional pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP).
Professora da Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).
Rua Paschoal Marmo, 1.888, Jardim Nova Itália, Limeira – SP – Brasil – CEP 13484-332
E-mail: gisele@ft.unicamp.br*

ANDRÉ LEON SAMPAIO GRADVOHL

*Doutor em Engenharia Elétrica pela Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).
Professor da Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas.
Rua Paschoal Marmo, 1.888, Jardim Nova Itália, Limeira – SP – Brasil – CEP 13484-332
E-mail: gradvohl@ft.unicamp.br*

PEDRO IVO GARCIA NUNES

*Mestre em Tecnologia pela Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).
Professor associado da Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas.
Rua Paschoal Marmo, 1.888, Jardim Nova Itália, Limeira – SP – Brasil – CEP 13484-332
E-mail: pedrogn@ft.unicamp.br*

RESUMO

O objetivo deste artigo é apresentar um estudo crítico sobre a geração de resíduos associados ao consumo de produtos cujo ciclo de vida reduzido provoca substituição e descarte em alta frequência. Sua base teórica é a abordagem sistêmica, conforme proposto pela teoria de *system dynamics*, apoiada pela modelagem conceitual modelo orientado à representação do pensamento humano (Morph). A metodologia empregada se baseia na abordagem schumpeteriana. Com o apoio do Morph, foi organizado um modelo conceitual composto das principais variáveis pertinentes ao cenário de produção industrial, em um ambiente de inovação e obsolescência acelerada de bens. Para que se pudesse analisar a dinâmica dessas variáveis, esse cenário foi simulado por meio de um *software* apoiado na metodologia de *system dynamics*, que recriou a dinâmica do mercado para produção e substituição de bens. Emprega-se, neste trabalho, o método indutivo para composição do modelo conceitual, o qual é organizado com base em uma abordagem econômica clássica, que permitiu o teste de algumas premissas por experimentação, a partir de simulação. Dentro desse escopo, buscaram-se um estudo empírico sobre o cenário de inovação e uma análise de sua dinâmica, visando à avaliação de cenários futuros. O modelo simulado permitiu a construção de três cenários em que foi possível observar que a ausência de preocupação com a recondução de produtos para a reciclagem influencia negativamente os fatores de produção, exaurindo-os. Também foi possível demonstrar que a recondução de produtos para a reciclagem atua positivamente na manutenção dos fatores de produção, sem prejudicar o nível de inovação alcançado, produzindo um equilíbrio no sistema. As considerações presentes neste estudo têm como implicação prática a oferta de uma nova maneira de interpretar a criação de valor pela introdução da inovação, considerando o paradoxo da perda pela predação de recursos naturais. A contribuição teórica, a descrição do cenário da inovação, torna possível interagir com variáveis e simular diferentes cenários para melhor compreensão dos resultados. O desenvolvimento desta pesquisa, a partir de variáveis de um modelo teórico, pretende ser instrucional e formador de opinião, servindo como auxiliar e não como único instrumento para tomada de decisão de produção.

PALAVRAS-CHAVE

Sustentabilidade. *System dynamics*. Morph. Inovação. Tecnologia.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de novas tecnologias sempre se apresentou como um fator de competitividade e geração de riqueza. De acordo com essa concepção, o consumo de produtos de inovação tecnológica, impulsionado principalmente pelo mercado de eletrônica e telecomunicações, tem crescido de maneira impressionante (Corrocher & Zirulia, 2010). Em decorrência desse crescimento, computadores pessoais, telefones celulares e outros equipamentos substituídos se somam ao volume de resíduos sólidos que se originam da industrialização.

O monitoramento, a guarda e a destinação dos resíduos do processo produtivo atualmente estão sob a responsabilidade da indústria, entretanto a legislação vigente (Lei n. 12.305, 2010) não define claramente essa responsabilidade, pairando ainda uma maior dúvida sobre os resíduos provenientes do descarte prematuro de bens ainda úteis, porém defasados tecnologicamente.

O conceito de inovação, por sua vez, compreende os avanços tecnológicos que culminam na ampliação da utilidade de produtos existentes ou na adição de utilidade por meio do lançamento de novos produtos, provocando uma constante necessidade de substituição (Rennings, 2000). No entanto, segundo Keinert (2007), inovação também abrange a sustentabilidade. Dessa maneira, produtos cuja interrupção de uso tenha sido causada pelo lançamento de outro e que, por uma deficiência do sistema legal ou produtivo, não são reciclados ou remanufaturados geram um paradoxo na própria definição de produto inovador. Para ser inovador, o produto também precisa ser sustentável, e, para ser sustentável, deve estar alinhado à questão da deposição responsável de resíduos.

Dessa forma, o objetivo deste artigo é apresentar um estudo crítico sobre a geração de resíduos associada ao consumo de produtos cujo ciclo de vida reduzido provoca substituição e descarte em alta frequência.

Considerando a complexidade das variáveis do sistema real e a dificuldade em observar sua evolução no tempo, foi desenvolvido um modelo simulado que considera as principais variáveis econômicas, definidas por Schumpeter (2013), da obsolescência, segundo Bergek, Jacobsson, Carlsson, Lindmark e Rickne (2008), e da sustentabilidade, conforme Bresciani Filho e D'Ottaviano (2004).

Esse esforço em associar áreas distintas em um modelo pretende contribuir para a avaliação do mesmo problema, considerando as vertentes econômica,

social e ambiental. Pretende-se, a partir do ponto de vista dos diversos grupos de interesse, promover uma análise abrangente do problema.

Com a utilização do Morph (Zambon, Baioco, & Magrin, 2012), obteve-se um modelo conceitual representativo das relações complexas que culminam nos resultados já observados em condições de perda de sustentabilidade. Para a análise da dinâmica de transformação das variáveis existentes e a compreensão do contexto de geração de resultados fortuitos, comuns nesse tipo de sistema, o mesmo modelo foi simulado por meio de um *software* apoiado nos conceitos de *system dynamics* (Forrester, 1972): o Stella 9.1 (Isee Systems, 2009). Por meio da simulação, foi possível avaliar a evolução da produção de inovação, a exploração de fatores de produção e o volume de bens substituídos antes do término de sua vida útil. Também foi possível observar que, em um cenário de evolução dos produtos de inovação, a ausência de preocupação com a recondução de produtos para a reciclagem influencia negativamente os fatores de produção, exaurindo-os. O artigo demonstra inclusive que a recondução de produtos para a reciclagem atua positivamente na manutenção dos fatores de produção, sem prejudicar o nível de inovação alcançado, produzindo um equilíbrio no sistema.

Este artigo está organizado em oito seções, além da introdução. A Seção 2 apresenta a evolução desse tema por meio dos trabalhos já desenvolvidos no âmbito da modelagem e simulação de sistemas de reaproveitamento de descartes. Na Seção 3, fazem-se comentários sobre a cadeia de adição de valor e estabelece-se a relação com a sustentabilidade. Nas seções 4 e 5, as questões referentes à inovação e à obsolescência acelerada dos bens tecnológicos são abordadas, e busca-se o estabelecimento da relação entre esses conceitos e o conceito de complexidade por meio da visão sistêmica. Nas seções 6 e 7, são identificados os conceitos de modelagem por meio do Morph e simulação pelo *system dynamics*, além da efetiva modelagem, simulação e análise dos resultados. Na seção 8, analisam-se os resultados da simulação. A Seção 9 apresenta a conclusão.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

Em seus estudos, Beck (2005) observou que os movimentos dos sistemas naturais apresentam padrões não lineares que produzem situações fortuitas muito difíceis de monitorar atributos das variáveis de estado que os compõem. Nesse trabalho, o autor descreve casos de observação descritiva e reflexiva que apontam, no entanto, para a oportunidade de modelagem de sistemas complexos como coadjuvante no estudo do comportamento caótico desses sistemas, associados à questão da sustentabilidade. É possível observar uma abordagem sobre o tratamento da complexidade e do caos também na leitura do trabalho de Argent

(2004), que considera as interfaces do sistema natural com o sistema social e define como prioritários os estudos sobre modelagem e simulação. Esse trabalho estabelece que o relacionamento entre os diferentes grupos de interesse provoca conflitos na gestão da sustentabilidade e do meio ambiente.

Hilty *et al.* (2006) avançaram na proposta de modelagem de sistemas complexos ao analisarem as interfaces propostas por Argent (2004), por meio de *system dynamics*, combinada com técnicas de análise de cenários em sistemas humanos que buscam sustentabilidade com os sistemas naturais. Essa intervenção culminou na realização de um estudo prospectivo das ações das tecnologias de informação e comunicação (TIC) sobre a sustentabilidade, permitindo a avaliação do seu impacto na eficiência energética, no aumento de resíduos eletrônicos, na ampliação de intangíveis e em seus efeitos no consumo e nos transportes da União Europeia até 2020.

Nesse contexto, observa-se o trabalho de Pahl-Wostl (2007), segundo o qual o relacionamento de técnicas de modelagem *soft* e modelagem compartilhada em grupo representam uma alternativa para reproduzir as interfaces entre o contexto social e o ambiental. Esse conceito é reforçado por Guariso, Michetti, Porta e Moore (2009) que estabelecem uma preocupação com a evolução do volume de descartes urbanos e propõem um modelo de eventos discretos para monitoramento da evolução desses descartes.

A proposta apresentada neste trabalho contempla uma ampliação às considerações de Argent (2004), Beck (2005) e Hilty *et al.* (2006), e considera uma modelagem prévia de um sistema de produção e uma interface com os sistemas naturais, com o objetivo de descrever o cenário caótico da sustentabilidade para os grupos de interesse associados à produção de bens tecnológicos. Para esse fim, foi utilizada uma abordagem *soft* em sintonia com a recomendação de Pahl-Wostl (2007), denominada Morph (Zambon, 2006; Zambon *et al.*, 2012), que, além de favorecer a compreensão da estrutura do sistema complexo, serve de base para a construção de um modelo simulado em *system dynamics* (Forrester, 1972). A abordagem tem como objetivo favorecer a análise da dinâmica das variáveis de estado do sistema.

3 SUSTENTABILIDADE

Segundo Tomé (2012), o conceito de sustentabilidade vincula a continuidade da produção a um contexto em que haja maximização da satisfação dos grupos de interesse (governo, colaboradores, financiadores e fornecedores), também designados de agentes econômicos (Silveira, 2002). Esse posicionamento,

se mal interpretado, representa a origem de muitos problemas vivenciados na atualidade, quando agentes expandem indiscriminadamente sua ação, ferindo os princípios de utilização de bens públicos (não exclusivos), como mananciais, florestas, reservas marinhas.

Considerando os agentes econômicos presentes na cadeia de valor, a produção de um bem apenas será sustentável se atender à expectativa individual desses agentes no que se refere à produtividade, à satisfação e à utilidade, sem gerar externalidades negativas em um nível que represente paradoxalmente uma perda.

Costanza (2000) define externalidade como a ação de um agente econômico ou grupo de interesse que afeta diretamente as condições de satisfação ou bem-estar de outro agente econômico. A externalidade será negativa se decrementar o padrão de vida do agente econômico afetado, produzindo uma insatisfação. Uma externalidade negativa também pode ser interpretada como poluição.

As pesquisas sobre desenvolvimento de produtos e processos sustentáveis necessitam se concentrar em uma melhor compreensão das externalidades que atingem os diversos agentes envolvidos na cadeia de valor, esclarecendo conceitos relativos ao consumo e descarte, bem como a interação entre eles e cada um dos elos da cadeia (Rametsteiner & Weiss, 2006). Sob esse contexto de preocupação com os diferentes agentes da cadeia de valor, ampliam-se as discussões no âmbito da criação de novas diretrizes para a substituição de bens expostos a uma intensa evolução tecnológica, que culmina na redução do seu tempo de vida, provocando sua substituição antes do término da vida útil.

A criação e a substituição constante de tecnologias têm sido utilizadas como uma maneira de incrementar a produção em escala crescente, de modo a potencializar a adição de utilidade em produtos novos, tornar o ciclo de vida desses produtos cada vez mais curto e permitir que eles sejam descartados muito antes do término de sua vida útil. Dessa maneira, os agentes fabricantes pretendem ampliar o valor para o cliente, introduzindo ou aperfeiçoando os produtos e sua utilidade. Entretanto, essa ação, embora pareça adequada, deve também se mostrar sustentável ao longo do tempo e nos domínios dos diversos agentes componentes da cadeia de valor.

3.1 INOVAÇÃO E OBSOLESCÊNCIA ACELERADA DOS BENS TECNOLÓGICOS

Uma empresa sustentável deve ser capaz de atender à adição de valor da produção demandado por um agente sem que esse valor represente degradação de valor ambiental, esperado por outro agente (Silveira, 2002). Todavia, o conjunto

de técnicas e métodos que envolvem a aplicação de recursos de produção na solução de problemas ou geração de conforto ocorre sempre a partir da alteração dos estados primitivos dos sistemas (Schumpeter, 2013). Por essa definição, quando um recurso natural é aplicado na produção, objetivando satisfazer uma necessidade humana, essa mudança de estados necessariamente produz um decréscimo nos recursos naturais e um incremento na produção.

Visando monitorar essas mudanças de estado, provenientes da relação entre obtenção de produtos e degradação ambiental, o ambiente de produção preconiza o monitoramento de geração de resíduos em três níveis: produção, consumo e obsolescência acelerada (Schumpeter, 2013). O nível de obsolescência acelerada se refere à renovação dos produtos que atingem o grau de máxima obsolescência rapidamente, em virtude da evolução tecnológica. Os produtos pertencentes a esse nível, embora úteis, pois preservam as mesmas condições de utilidade iniciais, serão substituídos por outros produtos com uma utilidade marginal.

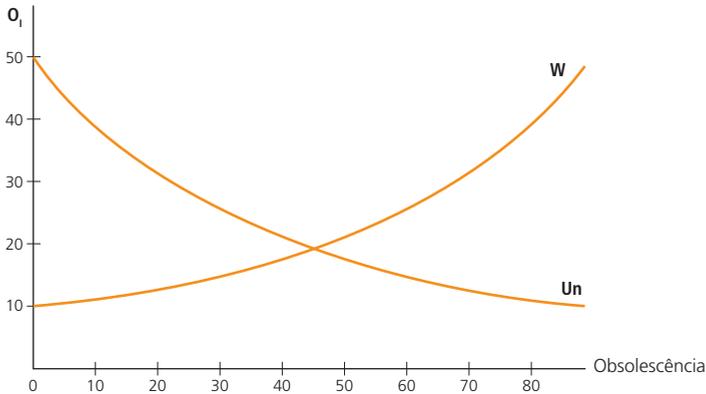
Os três níveis – produção, consumo e obsolescência – são parte do problema que cerca o desenvolvimento tecnológico (Bergek *et al.*, 2008). A relação entre essas condições determina o nível de utilidade do bem que, por sua vez, está relacionado intrinsecamente com a necessidade (Baudrillard, 1968). A intenção de atender às necessidades crescentes de consumo, de acordo com Baudrillard (1970), impulsiona a adição de valor nos produtos por meio da incorporação de novidade.

A introdução de uma novidade, no entanto, é limitada pela disponibilidade dos fatores de produção, que compreende bens de capital e materiais, associados à evolução da tecnologia e aos recursos naturais. Essa interdependência entre produção e consumo, que gera exigências de ambos os lados, eventualmente culmina em um nivelamento, e, quando ele ocorre, pode-se dizer que houve uma inovação.

De acordo com Rennings (2000), a inovação difere da invenção. Existe inovação quando a introdução de novidade é interpretada pelo mercado como utilidade. Em outras palavras, uma inovação ocorre quando, em um contexto favorável de mercado, se adiciona uma qualidade a um produto que o diferencia dos seus concorrentes e satisfaz as necessidades dos consumidores, gerando, dessa maneira, valor para quem o adquire e para quem o produz. Entretanto, a produção, ao mesmo tempo que gera satisfação, também gera descartes que descrevem um movimento inverso ao da satisfação. Isso ocorre porque a elevação do consumo de itens inovadores provoca a elevação dos descartes, conforme se verifica na Gráfico 1.

GRÁFICO I

RELAÇÕES ENTRE DESCARTE POR SUBSTITUIÇÃO (W)
E UTILIDADE PERCEBIDA (U_n), EXPOSTAS
À INOVAÇÃO (O_i) E OBSOLESCÊNCIA



Fonte: Elaborado pelos autores.

A relação entre o que é produzido com determinado grau de inovação (O_i) determina o nível de descarte por substituição (W), que se amplia de maneira inversa à da utilidade percebida de cada produto (U_n). Isso ocorre em virtude de a inovação acelerar o nível de obsolescência total, ampliando a taxa de substituição de um bem por outro que possua uma utilidade marginal considerada superior.

Dessa maneira, é possível concluir que, em um ambiente de inovação constante, havendo aceleração da redução da vida útil dos produtos e estes não sendo reconduzidos ao processo, ocorrerá um aumento descontrolado de bens substituídos com o passar do tempo. Esse cenário foi admitido por Pujari (2006) e denominado “berço ao túmulo”, com uma alusão clara à não recondução de produtos com utilidade decrescente para o ciclo de produção.

A observação desse cenário revela um paradoxo que influencia negativamente a sustentabilidade do sistema: por um lado, a escassez de recursos que compromete a perpetuidade da produção e, por outro, a exacerbação do consumo, que implica acúmulo de bens substituídos.

À luz dessas considerações, observa-se, pela visão sistêmica, que se trata de um cenário complexo, em que as relações não são lineares, mas circulares, pois a arquitetura amplia a dificuldade de compreensão dos resultados observados. Faz-se necessário, nesse tipo de cenário, o emprego de instrumentos analíticos específicos que permitam a interpretação da dinâmica de transformação a que sistemas de produção e inovação estão sujeitos.

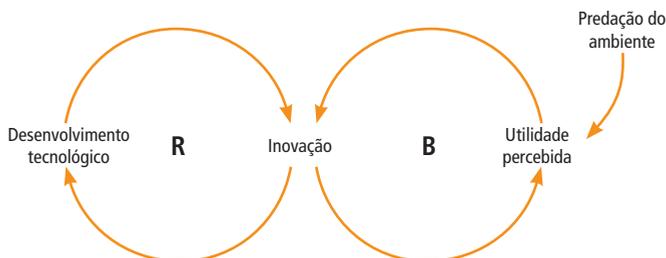
4 COMPLEXIDADE DOS SISTEMAS HUMANOS E NATURAIS

A dinâmica da cadeia de adição de valor, sob a óptica sistêmica, é definida por um sistema complexo que possui, em cada nó da sua estrutura, inúmeros processos que são gerenciados por diferentes agentes, que procuram potencializar resultados em sua posição. Porém, a estrutura de causa e efeito com que se organiza essa cadeia pressupõe que as interações dessas ações provoquem reflexos adversos em outros pontos da rede.

Em um sistema de causa e efeito, ou retroalimentado, o emprego da visão linear pode provocar uma escolha que maximize uma posição na cadeia em detrimento das demais, comprometendo a sustentabilidade global. Segundo Forrester (1972), isso acontece porque as relações entre os diversos agentes não são lineares, mas de retroalimentação. Um sistema de retroalimentação de informações existe quando uma situação, ou um meio, conduz a uma decisão cujo resultado afeta uma ação, que, por sua vez, afeta o meio, ou situação, que então conduzirá a futuras decisões. Nesses sistemas, o processo regenerativo é contínuo e as ações criam novos resultados que, por sua vez, promovem novas ações, mantendo o sistema em contínuo movimento. O estudo desses sistemas permite entender de que maneira o volume da ação corretiva e o período de atraso entre os componentes interconectados podem desenvolver uma flutuação estável. Em um sistema de retroalimentação de informação, utilizam-se os dados históricos para decidir qual será a próxima ação. Portanto, seu comportamento está associado a três elementos: estrutura, demoras (período de espera) e amplificação. Sempre existe uma demora entre a decisão e a configuração de seus resultados para que seja possível tomar nova decisão. A amplificação se manifesta quando a intensidade da ação é maior do que aquela inferida pelas decisões disponíveis antes da ação. Na Figura 1, demonstra-se um sistema de retroalimentação clássico chamado limite ao crescimento (Senge, 2006).

FIGURA 1

MODELO DE LIMITE AO CRESCIMENTO



Fonte: Adaptada de Senge (2006).

O modelo de limite ao crescimento está representado em um diagrama de retroalimentação, que explica a dinâmica do processo de expansão acelerada, está presente nos avanços tecnológicos e é refreado repentinamente até sua parada. A fase de crescimento é representada no círculo à esquerda, em que o “desenvolvimento tecnológico” é reforçado (R) pela “inovação”. Em um círculo de reforço, a variável “causa” produz um estímulo na variável “efeito”, tirando-a da posição em que se encontrava para projetá-la a outro ponto. Senge (2006) compara esse processo a uma bola de neve descendo a montanha que, ao sair de sua posição inicial, multiplica sua força à medida que desce, provocando uma avalanche, que não pode ser controlada. Isso ocorre com o “desenvolvimento tecnológico” que é influenciado pela “inovação” e progride, gerando um círculo virtuoso de crescimento. A desaceleração desse reforço ocorre em razão da existência de um limite, que pode ser o paradoxo da “utilidade percebida” sobre a “inovação”. Diante do dilema possuir bens tecnológicos ou deixar de agredir o meio ambiente, a “utilidade percebida” pode se modificar sob a ação externa de “predação do ambiente”, que se apresenta como condição limitante, exercendo uma força contrária ao crescimento, denominada balanceamento (B). Em um círculo de balanceamento, a força da variável “causa” executa pressões sobre a variável “efeito” no sentido de equilibrá-la à sua própria força. Assim, ocorre o refreamento em inovação, provocado pela mudança em “utilidade percebida”.

Diante dessas considerações, uma demora na percepção da utilidade gerada pela inovação e a perda de utilidade provocada pela predação do ambiente podem comprometer um contexto de desenvolvimento tecnológico. Entretanto, a amplificação do desenvolvimento tecnológico dentro do contexto de predação do ambiente pode ser de difícil reversão em um sistema real, considerando o nível de investimentos que as nações realizam para obterem a competitividade nesse âmbito.

Observa-se que a modelagem das variáveis do sistema complexo contribui para que questões que envolvem inúmeros agentes em um cenário no qual o desencontro dos objetivos individuais põe em risco sua sustentabilidade sejam entendidas. Compreender o problema exige do agente a construção de uma representação mental desse problema. Essa representação deve ser coerente e possuir correspondência com o sistema real.

5 **MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE PROBLEMAS COMPLEXOS**

Limburg, O'Neill, Costanza e Farber (2002) afirmam que o mercado demandante de bens tecnológicos é complexo, pois pode ser interpretado por inúmeras

relações causais que induzem certo grau de incerteza nos processos. Isso torna seu comportamento de difícil interpretação.

Considera-se, ainda, que parte dessa incerteza emane das características interdisciplinares, as quais descrevem a necessidade de representar objetos e suas relações em vários domínios de problema (Argent, 2004; Yim, Kim S.-H, Kim, & Kwahk, 2004), observando suas características sociais, ambientais e econômicas.

De acordo com essa ideia e assumindo que o estudo de sistemas complexos exige atitudes interdisciplinares que geram uma grande variedade de informações, Zambon (2006) e Zambon *et al.* (2012) propõem o uso do Morph, um modelo que representa a dinâmica das relações entre objetos de um sistema por meio de um diagrama de causa e efeito, em que os vínculos causais podem ser de equilíbrio e reforço. Nessa representação, adicionam-se outros componentes que tendem a melhorar a capacidade de representação da incerteza por meio de um espaço delimitado por dois eixos. Um eixo qualifica a certeza e a incerteza contida no processo de tomada de decisão. Outro identifica a estrutura do pensamento de um agente, relativamente ao seu conhecimento anteriormente construído sob diversos domínios, e pode resultar em respostas interdisciplinares.

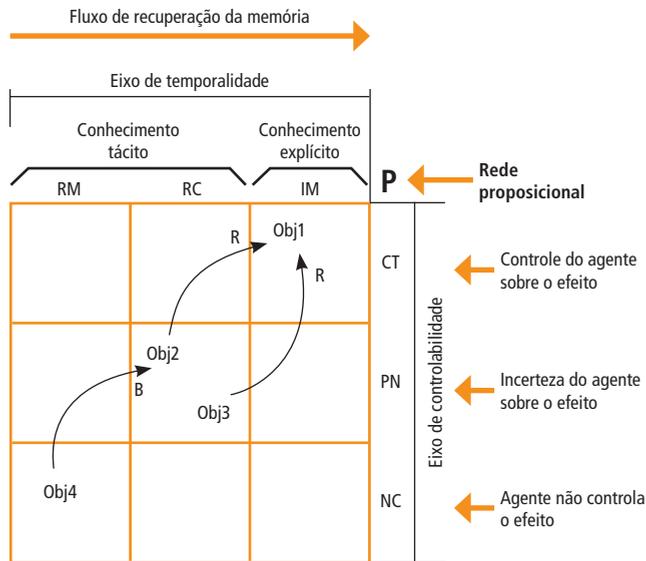
6 MODELAGEM POR MEIO DO MORPH

O Morph é um instrumento para a representação de modelos mentais que utiliza conceitos básicos de *system dynamics*, como a visão sistêmica e os diagramas de causa-efeito (Bastos, 2003), além de conceitos de semiótica (Gudwin, 2002) e psicologia cognitiva (Matlin, 2004). Com o Morph, é possível representar o conhecimento de um agente (Morecroft & Sterman, 2000) em um contexto específico sob determinadas características e em um determinado momento.

Segundo Zambon (2006), um agente é o portador do conhecimento, e o Morph representa uma estratégia para tornar explícito esse conhecimento. Estabelece ainda que o conhecimento pode ser elicitado de um agente humano ou de mídia escrita ou audiovisual e que esse conhecimento pode ser convertido em *frames*, cuja estrutura é demonstrada na Figura 2. Um *frame* é composto por rede proposicional, eixo de temporalidade, eixo de controlabilidade, objetos, relacionamentos entre objetos e pesos de relacionamentos.

FIGURA 2

ESTRUTURA DE UM FRAME MORPH



Fonte: Elaborada pelos autores.

O *frame* é o equivalente de um modelo mental e pode ser obtido a partir dos seguintes passos:

- *Declaração de uma rede proposicional (P)*: é uma pergunta (frase) em período simples que expressa o domínio de onde se deseja elicitare o conhecimento para responder a uma dúvida ou explicar uma questão complexa.
- *Declaração de objetos*: refere-se a palavras (substantivos) ou frases curtas (sintagmas nominais) que remetem à questão proposta pela rede proposicional e que aprofundam ou explicam a discussão proposta na rede proposicional.
- *Organização dos objetos nos eixos de temporalidade e controlabilidade*: o eixo de temporalidade (horizontal) reproduz o sistema de recuperação de memória humano e associa os objetos aos níveis de memória remota (RM), recente (RC) e imediata (IM). Sob esse pressuposto, o posicionamento dos objetos nas zonas desse eixo segue o esquema de recuperação de memória de um agente que, iniciando pela memória de trabalho (IM), identifica objetos que se relacionam mais diretamente com P (conhecimento explícito) para

depois associar outros objetos ligados ao seu conhecimento tácito (RM e RC) que contribuam para tornar conhecidas as bases que originam os objetos contidos em sua memória de trabalho (IM). O eixo de controlabilidade (vertical) parte do pressuposto de que um agente pode influenciar até certo ponto o estado das variáveis em um sistema complexo. Nesse eixo, os objetos são posicionados nos níveis de controlabilidade (CT), penumbra (PN) e não controlabilidade (NC). Esses níveis determinam que o agente pode exercer modificações no estado de objetos dispostos no nível CT, entretanto explicitam que ações do agente sobre os objetos posicionados em NC não afetarão seu estado. Por fim, os objetos posicionados em PN se encontram em um estado de incerteza, em que o agente pode exercer pressões sobre o objeto tentando modificá-lo, mas não necessariamente obterá o resultado esperado.

- *Relacionamento e atribuição de pesos*: os objetos posicionados na área delimitada pelos dois eixos recebem os pesos de reforço (R) e balanceamento (B), e são associados em causa e efeito, da mesma maneira que em sistemas de retroalimentação (Figura 2), sendo permitidas as associações I–N, N–I e N–N. Existem, assim como nos diagramas causais, restrições de associações de todos os objetos com todos os objetos.

Neste trabalho, o Morph é utilizado com o objetivo de permitir a explicitação de um contexto sobre a geração e acumulação de resíduos provenientes da obsolescência acelerada provocada pela inovação. Diante da complexidade do cenário em que variáveis provenientes de diversos grupos de interesse provocam modificações ocultas por trás de resultados fortuitos, o Morph posiciona-se como um instrumento satisfatório no sentido de produzir explicações sobre as origens desses resultados, considerando sua capacidade de tornar explícitas as relações entre os conceitos de diversos grupos de interesse, culminando na explicação conceitual dos resultados.

Para a modelagem, foi definida a seguinte rede proposicional (P): “Sob uma óptica econômica e ambiental, quais condições revelam os problemas de sustentabilidade na produção de bens tecnológicos, causada por seu descarte prematuro?”.

Partindo da dinâmica da geração de resíduos explicitada nas seções 3 a 5, realizou-se a extração de objetos que refletem o contexto de análise (Figura 3).

descarte dos produtos no meio ambiente. Essa consideração é explicitada na relação de reforço entre “renovação de produtos” e “descarte de produtos”. Todavia, de acordo com os conceitos e as proposições dos agentes do sistema, no âmbito da memória de longo prazo (remota e recente), existem outras condições subjacentes que interferem no “descarte de produtos”, que reforça negativamente a mudança de seu estado, logo, afastando-a da previsão positiva que poderia ocorrer se apenas as relações anteriores existissem. Por exemplo, “demanda” é um objeto posicionado no âmbito da penumbra (PN) e recebe influências de balançamento de “inovação”. Assim, se “inovação” for uma curva crescente, “demanda” acompanhará essa tendência, estendendo essa influência para o “desejo de adquirir” que, por sua vez, reforçará o “descarte de produtos” de maneira antagônica, forçando seu crescimento em um movimento contrário ao planejado, em virtude das ações produzidas por “renovação de produtos”.

Outro objeto que se encontra penumbra (PN) é “utilidade percebida da novidade”. Esse objeto recebe reforço da “tecnologia” e impulsiona reforçando o “descarte de produtos”. Essas ações antagônicas de competição, comuns nos sistemas complexos, produzem situações caóticas e resultados fortuitos por conta da incerteza na eficácia de determinadas ações.

Verifica-se, na representação obtida pela aplicação do Morph, que ações em benefício da substituição de bens são muito relevantes para poupar os fatores de produção. Todavia, resta a dúvida se a demanda, que é incontrolável pelos agentes, fortalecida pela ocorrência cada vez maior de produtos inovadores, não assumirá uma condição crescente que anulará qualquer ação de reutilização. Essa análise apenas é possível por meio da condução de um experimento em laboratório, que possa reproduzir os objetos, submetendo-os às mudanças provocadas pelo passar do tempo, ou por meio de utilização de recursos de simulação computacional, que possa reproduzir tais variáveis submetendo-as às mudanças temporais.

7 SIMULAÇÃO POR MEIO DE SYSTEM DYNAMICS

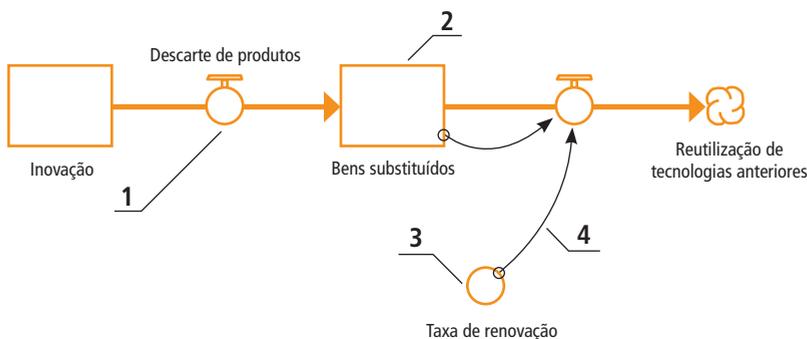
Incluir em um modelo conceitual objetos como “necessidades humanas” (Figura 3) é plenamente admissível em termos de modelagem qualitativa que utiliza variáveis não quantificáveis por processo matemáticos convencionais. Por meio desse recurso, sistemas sociais não lineares e complexos podem ser representados em sua estrutura, permitindo que os agentes entendam como são gerados os resultados das ações.

A representação contida na Figura 3, entretanto, não permite a observação da dinâmica das mudanças que ocorrem no mundo real, pois, embora transmitam a noção de dinâmica, ela está apenas implícita e não explícita. Para o *system dynamics*, tais representações podem ter a dinâmica implícita dos modelos qualitativos explicitada em modelos simulados. Esses modelos podem ser utilizados para estudo de cenários, tornando mais objetivos os debates sobre as mudanças de políticas e o planejamento estratégico.

Para isso, utiliza-se uma representação denominada diagrama de estoque e fluxo, que torna possível descrever matematicamente qualquer sistema humano ou natural por meio de quatro elementos fundamentais, representados na Figura 4: fluxos, estoques (elementos básicos), conversores e conectores (elementos auxiliares).

FIGURA 4

ELEMENTOS DO DIAGRAMA DE ESTOQUE E FLUXO



Fonte: Elaborada pelos autores.

Estoque é o termo utilizado para denominar qualquer entidade que acumula um valor ou o esgota ao longo de um tempo. Um fluxo é a taxa de mudança (decremento ou incremento) de um estoque.

Conversores são auxiliares de entrada dos estoques e dos fluxos e são utilizados juntamente com os conectores, que realizam a conexão desses elementos com os outros no sistema. Estoques só podem ter seus níveis alterados por meio de fluxos.

Por exemplo, se a quantidade de alguma variável de estoque no tempo t é $Q(t)$, a derivada de $dQ(t)/dt$ é o fluxo de alterações no estoque. Da mesma maneira, o estoque em qualquer tempo t é a integral do fluxo para qualquer tempo, de t_0 até t_n .

Em outro exemplo, observando a Figura 4, se o estoque de “bens substituídos” $E(t)$ aumenta gradualmente ao longo do tempo por um fluxo de “descarte

de produtos" $W(t)$ e diminui gradualmente ao longo do tempo por um fluxo de "reutilização de tecnologias anteriores" $R(t)$, então a taxa de variação do estoque de "descarte de produtos" é dada pela Equação (1):

$$dE(t) / dt = W(t) - R(t) = W^n(t) \quad (1)$$

Na qual $W^n(t)$ refere-se à diferença entre o os descartes iniciais e a reutilização.

O tempo (t) em uma simulação é definido pela necessidade de análise considerando que, em escala, um mês simulado pode equivaler a um segundo real, por exemplo.

Neste trabalho, o *system dynamics* é utilizado com o objetivo de adicionar ao modelo representado no *frame* Morph da Figura 3 a capacidade de revelar mudanças de estado em suas variáveis, ao longo de um tempo simulado. A inclusão dessa possibilidade permitirá uma compreensão adicional sobre o estado da variável "demanda" que pode assumir um comportamento caótico, sob a influência da relação direta de balanceamento proveniente de "inovação" e indireta de reforço, advinda de "tecnologia".

Para a conversão do modelo conceitual em modelo simulado, foram seguidas as recomendações de Thompson e Bank (2010). De acordo com esses autores, os objetos que necessitam de um acompanhamento dos níveis acumulados em um determinado momento devem ser convertidos em variáveis de estoque, enquanto os objetos que correspondem a uma taxa transacional devem ser representados por fluxos. Sintagmas que representam objetos constantes, ou seja, não se alteram durante o processo, foram convertidos em objetos auxiliares. O Quadro 1 apresenta os detalhes da conversão.

QUADRO 1

DETALHES DA CONVERSÃO DO MODELO CONCEITUAL EM MODELO SIMULADO

OBJETO MORPH	OBJETO ESTOQUE E FLUXO
Fatores de produção	Estoque
Tecnologia	Fluxo
Reutilização de tecnologias anteriores	Fluxo
Ciência	Auxiliar
Inovação	Estoque

(continua)

QUADRO I (CONCLUSÃO)

**DETALHES DA CONVERSÃO DO MODELO
 CONCEITUAL EM MODELO SIMULADO**

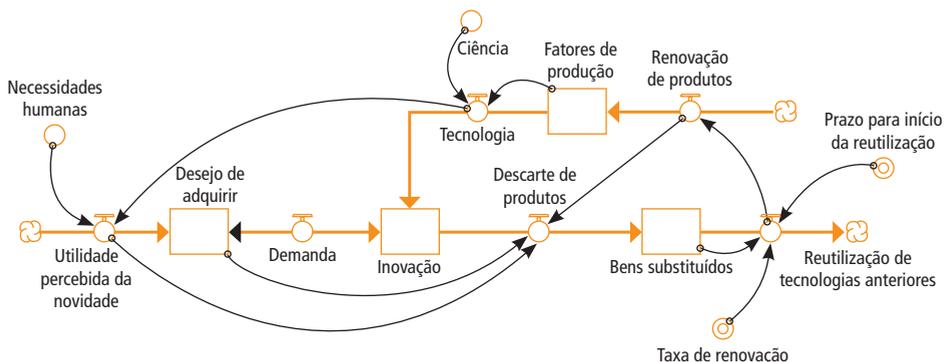
OBJETO MORPH	OBJETO ESTOQUE E FLUXO
Demanda	Fluxo
Desejo de adquirir	Estoque
Utilidade percebida da novidade	Fluxo
Necessidades humanas	Auxiliar
Bens substituídos	Estoque
Descarte de produtos	Fluxo
Prazo para início da reutilização	Auxiliar

Fonte: Elaborado pelos autores.

A variável auxiliar “prazo para início da reutilização” foi adicionada para abrigar um controle do tipo *knob* (liga-desliga), cujo objetivo será apenas definir qual o prazo em meses, a partir do início da simulação, em que começará o reaproveitamento de produtos descartados. O diagrama resultante da conversão (Figura 5) foi simulado no *software* Stella (Isee Systems, 2009), utilizado para modelagem e simulação em *system dynamics* (Thompson & Bank, 2010; Vlachos, Georgiadis, & Iakovou, 2007).

FIGURA 5

MODELO SIMULADO DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS



Fonte: Elaborada pelos autores.

No modelo da Figura 5, as variáveis “inovação”, “fatores de produção” e “bens substituídos” estão representadas por estoques com o objetivo de monitoramento de seus níveis durante um período de tempo igual a 36 meses. Pretende-se observar os estados dessas variáveis nesse período sob três cenários: 1. descarte de produtos sem o posterior retorno para remanufatura ou renovação, 2. retorno parcial, com uma taxa flutuante, dos produtos descartados, visando à sua remanufatura ou renovação e 3. retorno parcial com uma taxa flutuante dos produtos descartados, com um atraso elevado de início do programa de reciclagem.

Para que o modelo possa ser simulado, é necessário atribuir valores a algumas variáveis para que a simulação gere os gráficos que demonstrarão as tendências. Foram atribuídas algumas taxas a variáveis específicas, associadas à produção e à demanda, para que as forças de mercado (oferta e demanda) fossem caracterizadas. Os critérios para inclusão de valor foram os seguintes:

- *Necessidades humanas* – taxa 100%. As necessidades humanas estão no centro da avaliação, e considera-se, em qualquer cenário, a hipótese de que ela possa ser satisfeita integralmente, embora isso não seja factível.
- *Ciência* – taxa 50%. A contribuição da ciência para a produção de inovação foi estimada em 50% relativamente à capacidade de atender à demanda por bens tecnológicos.
- *Fatores de produção* – taxa de 25%. Os fatores de produção, na simulação, contribuem com uma taxa de 25% para o atendimento da demanda por bens tecnológicos.

Observa-se que a soma dos esforços para produção de bens inovadores (75%) não atende totalmente à demanda, o que é esperado em qualquer mercado.

A variável tipo fluxo “reutilização de tecnologias anteriores” é representada em (2):

$$DELAY (Bens_substituidos * Taxa_de_renovacao, \quad (2) \\ Prazo_para_inicio_da_reutilizacao)$$

Isso significa que o estoque de “bens substituídos” gera um fluxo de bens para “reutilização de tecnologias anteriores” igual à “taxa de renovação”, após um prazo estipulado por “prazo para início da reutilização”. O prazo é determinado por meio de um *knob*, que oscila entre um mínimo de três e um máximo de 24 meses.

A variável “taxa de renovação” está associada a um dispositivo do tipo *knob* que faz com que essa taxa oscile entre 0% e 70%. Isso significa que o *knob* posicionado em 0% não enviará informação ao sistema para renovação de produtos,

ou seja, nesse cenário, os bens de inovação serão descartados sem que sejam reutilizados. Entretanto, se o *knob* for posicionado em uma taxa positiva, ela corresponderá ao percentual de produtos descartados que serão enviados para reciclagem. Os produtos encaminhados para reciclagem retroalimentarão o estoque de “fatores de produção”, reduzindo o impacto efetivo da produção sobre essa variável.

8 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

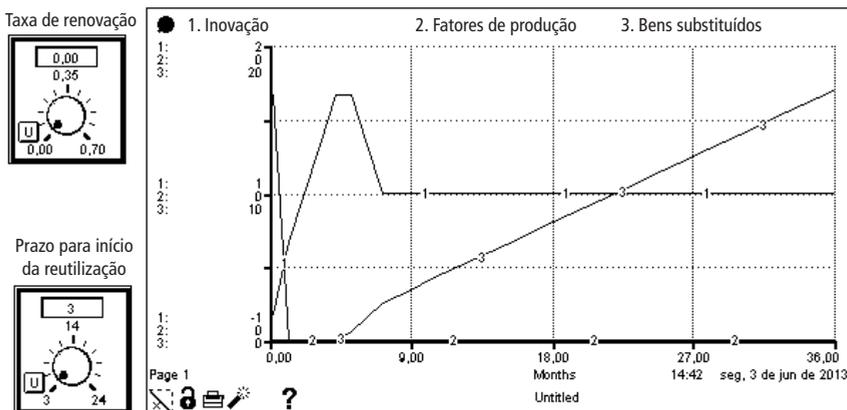
Para esta análise, foram propostos três cenários: 1. em que não existe recondução de bens para reciclagem; 2. em que é considerada a recondução de 50% dos bens tecnológicos para a reciclagem, com uma demora nas políticas de reciclagem igual a três meses da data do início do fluxo de descarte; e 3. em que é considerada a recondução de 50% dos bens tecnológicos para a reciclagem, porém com um atraso nas políticas de reciclagem igual a 24 meses.

Cenário 1

O primeiro cenário avaliado, em que é considerada uma taxa zero de renovação para os bens tecnológicos produzidos, está representado na Figura 6.

FIGURA 6

CENÁRIO DE AUSÊNCIA DE REAPROVEITAMENTO DE BENS TECNOLÓGICOS COM ALTO ÍNDICE DE OBSOLESCÊNCIA



Fonte: Elaborada pelos autores.

À esquerda do gráfico na Figura 6, estão posicionados os *knobs* que definem o atraso para o início das políticas de reutilização e a taxa de reutilização de bens obsoletos. É possível verificar que o *knob* que determina a taxa de reaproveitamento está apontando para zero. Dessa maneira, a não recondução de bens para o processo produtivo, para que sejam reaproveitados, faz com que os bens substituídos (3) progridam aritmeticamente em função da demanda por bens tecnológicos. Por sua vez, os fatores de produção (2) possuem uma tendência inversa, apresentando uma queda abrupta em virtude de sua utilização predatória. A inovação (1) se estabiliza a partir do mês 8, considerando uma provável estabilização da demanda por bens tecnológicos.

Nesse primeiro cenário, revela-se a tendência observada no Gráfico 1, em que se identifica a amplificação dos descartes de produtos em função da baixa vida útil provocada pela evolução da tecnologia. Observa-se também a redução dos recursos naturais utilizados na produção, em razão da amplificação da produção, exacerbada pelo descarte de produtos.

Cenário 2

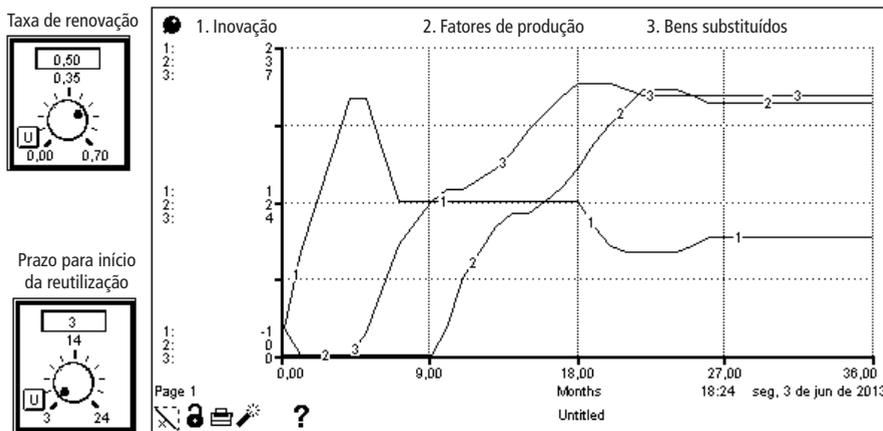
Para avaliar o impacto da reutilização das tecnologias presentes nos bens tecnológicos descartados e sua recondução ao processo, observa-se, no segundo cenário simulado, que o *knob* da taxa de renovação aponta para 50% e o “prazo para o início da utilização” continua apontando para três meses. Isso significa que as políticas para renovação dos bens tecnológicos preconizam o reaproveitamento de metade da produção, e sua implementação ocorrerá rapidamente, em três meses a partir do início da produção desses bens (Figura 7).

Observa-se que a política que estabelece rapidamente o recolhimento dos descartes e sua recondução ao processo produz uma retomada do nível dos fatores de produção (3) a partir do nono mês simulado, aproximadamente, em virtude da racionalização do uso desses recursos. Essa retomada ocorre após o quarto mês do início do programa, provocando uma estabilização no 26º mês simulado. Ocorre também uma estabilização nos níveis de bens substituídos (2), provocada pela recondução ao processo de 50% dos bens produzidos anteriormente para recuperação. O nível de ocorrência de bens inovadores (1) que se estabilizava no sétimo mês, como no primeiro cenário, sofre uma redução a partir do 18º mês, provocada pela reentrada de produtos reciclados. Entretanto, uma nova estabilização se dá no 27º mês. Embora o nível de inovação seja mais baixo, observa-se que a procura por inovação se perpetua, denotando que a reciclagem não representa uma ameaça ao processo de produção de bens com tecnologias mais avançadas. A redução verificada no nível de inovação

não pressupõe a descontinuidade dos processos inovadores pelas empresas, posto que, nesse cenário, há evidências da manutenção dos níveis de novos produtos inovadores, embora produtos renovados sejam disponibilizados para a demanda.

FIGURA 7

CENÁRIO COM REAPROVEITAMENTO DE 50% DOS DESCARTES DE BENS TECNOLÓGICOS POR OBSOLESCÊNCIA ACELERADA, COM UM ATRASO DE TRÊS MESES



Fonte: Elaborada pelos autores.

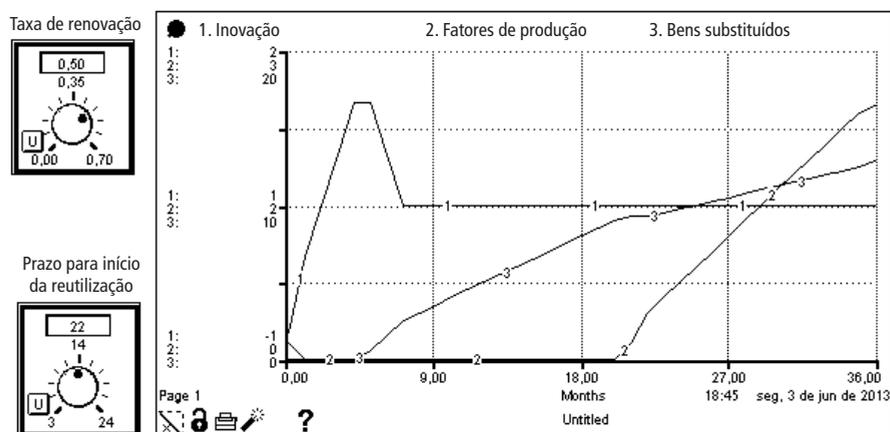
Cenário 3

O objetivo da simulação no terceiro cenário foi avaliar o impacto do prazo da introdução das políticas para renovação de bens que culmina na recondução de bens tecnológicos já depreciados ao processo produtivo. Nesse cenário, introduz-se um atraso de 24 meses para o início do programa de reciclagem, conforme é possível verificar na Figura 8.

Observa-se, no *knob* à esquerda, que, nesse cenário, preservou-se o percentual de 50% para reaproveitamento, tendo sido ampliado o prazo para início do programa de reaproveitamento para 14 meses.

FIGURA 8

CENÁRIO COM REAPROVEITAMENTO DE 50% DOS DESCARTES DE BENS TECNOLÓGICOS POR OBSOLESCÊNCIA ACELERADA, COM UM ATRASO DE 14 MESES



Fonte: Elaborada pelos autores.

Nota-se que a curva de retomada dos níveis dos fatores de produção (2) ocorre aos 19 meses simulados, com uma diminuição no 34º mês. Por sua vez, a curva de bens substituídos (3) apresenta uma alta constante, embora tenha reduzido essa progressão aos 19 meses simulados, coincidentemente com o início da subida da curva de fatores de produção. No entanto, não é possível estimar uma reversão dessa tendência de alta, considerando que, aos 34 meses, acentua-se a subida. A curva de inovação (1) não sofre alterações em relação ao primeiro cenário, permanecendo estável a partir do oitavo mês, sem que haja uma regressão nessa tendência.

Observa-se, nesse cenário, que a demora na implementação de políticas de tratamento dos resíduos pode exacerbar a demanda, comprometer irreversivelmente os recursos naturais e provocar um estrangulamento na produção no longo prazo.

9 CONCLUSÃO

Este artigo apresentou um estudo crítico sobre a geração de resíduos associados ao consumo de produtos cujo ciclo de vida reduzido provoca substituição e

descarte em alta frequência. Para tornar possível a análise do sistema complexo abordado, um modelo conceitual foi concebido com base nas principais variáveis econômicas: obsolescência e sustentabilidade.

Para a modelagem, foi utilizado o Morph, que atuou na explicitação de um contexto sobre a geração e acumulação de resíduos provenientes da obsolescência acelerada provocada pela inovação, sob a óptica dos grupos de interesse. Esse modelo conceitual foi submetido à simulação no *software* Stella, baseado em *system dynamics*, por meio do qual foi possível obter três cenários de análise.

No primeiro cenário, identificaram-se a amplificação dos descartes de produtos e a redução drástica dos recursos naturais utilizados na produção, em virtude da ausência de reciclagem dos produtos tecnológicos.

No segundo cenário, introduziu-se uma taxa de reciclagem com um tempo curto de resposta pelo sistema. Essa medida culminou na observação de que, embora o nível de inovação se posicione um pouco mais abaixo do que no primeiro cenário, ela se perpetua, denotando que a reciclagem não representa uma ameaça ao processo de produção de bens com tecnologias mais avançadas. Todavia, ratifica-se a proposição de que a reciclagem, embora represente uma redução no nível de oferta de inovação, não pressupõe a descontinuidade dos processos inovadores pelas empresas.

No terceiro cenário, avaliou-se a introdução de um período longo de espera para implementação de um programa de reciclagem. Notou-se que a curva de retomada dos níveis dos fatores de produção ocorreu tardiamente, com uma desaceleração ao final da simulação. Entretanto, a curva de bens substituídos manteve uma alta constante, e, embora tenha apresentado uma redução dessa progressão aos 19 meses, não foi possível identificar uma reversão dessa tendência de alta no período simulado de 36 meses. Conclui-se nesse cenário que a demora na implementação de políticas de tratamento dos resíduos pode ser prejudicial ao sistema, de modo a comprometer irreversivelmente os recursos naturais e provocar um estrangulamento na produção no longo prazo.

Verificou-se, por meio da análise das inter-relações proporcionada pelo emprego do Morph e do *system dynamics*, que, ao criar constantemente novas tecnologias com o intuito de preservar uma vantagem competitiva, um agente pode, no longo prazo, criar um fator que desencadeará a falta de sustentabilidade de sua própria empresa. A atitude de ampliar o valor para o cliente, introduzindo ou aperfeiçoando os produtos e sua utilidade, deve também se mostrar sustentável ao longo do tempo e para todos os grupos de interesse contidos na cadeia de valor.

Dessa maneira, o paradoxo observado entre a criação de valor por meio da abreviação do tempo de vida de um produto e a correspondente perda de valor pela predação dos recursos naturais ou do descarte prematuro é um problema que aflige a moderna sociedade. No entanto, demonstrou-se que intervenções

por meio de instrumentos qualitativos que busquem a interpretação sistêmica do problema podem ser muito eficientes, pois proporcionam meios para interpretação objetiva das causas e possibilitam a mitigação de efeitos indesejáveis.

Trabalhos futuros que demonstrem os reflexos do paradoxo da inovação disseminados em *clusters* empresariais serão de grande valia para análise dos impactos gerados pela constante abreviação de tempo de vida do produto provocada pela alta tecnologia. Espera-se que, dessa maneira, se possa contribuir para que os processos tidos como inovadores estejam sempre em sintonia com os melhores conceitos de sustentabilidade.

ACCELERATED OBSOLESCENCE OF GADGETS AND ITS IMPACT ON PRODUCTION SUSTAINABILITY

ABSTRACT

The purpose of this paper is to present a critical study of waste generation associated with the consumption of gadgets, whose shortened life cycle causes rapid replacement and disposal. Its theoretical basis is the systemic approach, as proposed by the theory of system dynamics supported by conceptual modeling human thinking representation oriented model (Modelo Orientado à Representação do Pensamento Humano – Morph). The methodology employed is based on the Schumpeterian approach. Based on Morph, a conceptual model comprised of the main variables in the scenario of industrial production, in an environment of innovation and rapid product obsolescence was organized. In order to enable us to analyze the dynamics of these variables, this scenario was simulated using a piece of software, supported on system dynamics methodology, which recreated the dynamics of the market for production and product replacement. The inductive method was used to compose the conceptual model, based on a classical economic approach. Such approach allowed us to test e some assumptions by experimentation, after simulation. In this scope, we aim an empirical study on innovation scenario and an analysis of its dynamics, targeting future scenarios. The simulated model allowed the building of three scenarios and it was possible to observe that the lack of concern for the recycling of products not only impacts negatively the production factors, but it also deplees them. It also demonstrates that recycling these gadgets is beneficial for the maintenance of production factors and it does not affect the innovation achieved, producing a balance in the system. The findings in this study result in practical implications on a new interpretation regarding the creation of value by introducing innovation,

considering the paradox of loss by the depletion of natural resources. Its theoretical contribution is to describe the scenario of innovation, enabling us to interact with variables and simulating different scenarios for a better understanding of the findings. The development of this research, based on variables of a theoretical model, is instructional and it aims to influence the forming of opinions, assisting, but not being the only instrument, decision-making in production.

KEYWORDS

Sustainability. System dynamics. Morph. Innovation. Technology.

OBSOLESCENCIA ACELERADA DE LOS PRODUCTOS TECNOLÓGICOS Y LOS IMPACTOS EN LA SOSTENIBILIDAD DE LA PRODUCCIÓN

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es presentar un estudio crítico de la generación de residuos asociados con el consumo de productos que tienen un ciclo de vida corto, provocando el reemplazo y la eliminación rápida. Su base teórica es el enfoque sistémico, tal como propone la teoría del *system dynamics*, con el apoyo del Modelo Orientado à Representação do Pensamento Humano (Morph), del que se originó el modelo conceptual. La metodología se basa en el enfoque *schumpeteriano*. Con el apoyo de Morph, se organizó un modelo conceptual que se compone de las principales variables en el escenario de la producción industrial, en un entorno de innovación y obsolescencia acelerada de los bienes. Para poder analizar la dinámica de estas variables, este escenario se simuló utilizando un *software* compatible con la metodología *system dynamics* que recreó la dinámica del mercado de la producción y el reemplazo del producto. Por lo tanto, se utilizó el método inductivo para componer el modelo conceptual, basado en un enfoque económico clásico. Esto permitió simular algunos supuestos. En este ámbito, se realizó un estudio conceptual (empírico) sobre la innovación y su dinámica, para analizar los escenarios futuros. Con el modelo simulado se hizo posible la construcción de tres escenarios donde se observó que la falta de interés por el reciclaje de los productos no es positiva para los factores de producción, que con el tiempo se agota. También se muestra que el envío de productos para el reciclaje es beneficioso para el mantenimiento de los factores de producción sin dañar la innovación alcanzada, produciendo un equilibrio en el sistema. Las

consideraciones de este estudio proporcionan implicaciones prácticas, como una nueva interpretación de la creación de valor. Hace una comparación de la innovación con el agotamiento de los recursos naturales, lo cual es una paradoja. Su contribución teórica es describir la situación de la innovación, lo que permite la interacción con variables para simular diferentes escenarios, para comprender mejor los resultados. El desarrollo de esta investigación, es didáctica y tiene la intención de formar una opinión para ayudar, sin ser el único instrumento, para la toma de decisiones de producción.

PALABRAS CLAVE

Sostenibilidad. *System dynamics*. Morph. Innovación. Tecnología.

REFERÊNCIAS

- Argent, R. M. (2004). An overview of model integration for environmental applications components, frameworks and semantics. *Environmental Modelling and Software*, 19(3), 219-234.
- Bastos, A. A. P. (2003). *A dinâmica de sistemas e a compreensão de estruturas de negócios*. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
- Baudrillard, J. (1968). *Le système des objects*. Paris: Gallimard.
- Baudrillard, J. (1970). *La société de consommation*. Paris: Gallimard.
- Beck, M. B. (2005). Environmental foresight and structural change. *Environmental Modelling and Software*, 20(6), 651-670.
- Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S., & Rickne, A. (2008). Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: a scheme of analysis. *Research Policy*, 37(3), 407-429.
- Besciani Filho, E., & D'Ottaviano, I. M. L. (2004). *Sistema dinâmico caótico e auto-organização* (Vol. 38, 12a ed.). Campinas: CLE.
- Corrocher, N., & Zirulia, L. (2010). Demand and innovation in services: the case of mobile communications. *Research Policy*, 39(7), 945-955.
- Costanza, R. (2000). The dynamics of the ecological footprint concept. *Ecological Economics*, 32(3), 341-345.
- Forrester, J. W. (1972). *Dinâmica industrial*. Buenos Aires: El Ateneo.
- Guariso, G., Michetti, F., Porta, F., & Moore, S. (2009). Modelling the upgrade of an urban waste disposal system. *Environmental Modelling and Software*, 24, 1314-1322.
- Gudwin, R. R. (2002). *Semiônica: uma proposta de contribuição à semiótica computacional*. Tese de livre-docência, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.
- Hilty, L. M., Arnfalk, P., Erdmann, L., Goodman, J., Lehmann, M., & Wäger, P. A. (2006). The relevance of information and communication technologies for environmental sustainability – a prospective simulation study. *Environmental Modelling and Software*, 21(11), 1618-1629.
- ISEE Systems. (2015). *STELLA – Systems Thinking for Education and Research*. Recuperado em julho, 2015, de <http://www.iseesystems.com/software/education/StellaSoftware.aspx>.

- Keinert, T. M. M. (Ed.) (2007). *Organizações sustentáveis: utopias e inovações*. São Paulo: Annablume. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010 (2010). Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF. Recuperado em jul., 2015, de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm.
- Limburg, K. E., O'Neill, R. V., Costanza, R., & Farber, S. (2002). Complex systems and valuation. *Ecological Economics*, 41(3), 409-420.
- Matlin, M. W. (2004). *Psicologia cognitiva*. Rio de Janeiro: LTC.
- Morecroft, J. D. W., & Sterman, J. D. (2000). *Modeling for learning organizations*. Portland: Productivity Press.
- Pahl-Wostl, C. (2007). The implications of complexity for integrated resources management. *Environmental Modelling and Software*, 22(5), 561-569.
- Pujari, D. (2006). Eco-innovation and new product development: understanding the influences on market performance. *Technovation*, 26(1), 76-85.
- Rametsteiner, E., & Weiss, G. (2006). Innovation and innovation policy in forestry: linking innovation process with systems models. *Forest Policy and Economics*, 8(7), 691-703.
- Rennings, K. (2000). Redefining innovation – eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecological Economics*, 32(2), 319-332.
- Schumpeter, J. A. (2013). *Capitalism, socialism and democracy*. New York: Routledge.
- Senge, P. M. (2006). *The fifth discipline: the art and practice of the learning organization* (Rev. and Upd. Ed.). New York: Doubleday.
- Silveira, A. D. M. da. (2002). *Governança corporativa, desempenho e valor da empresa no Brasil*. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
- Thompson, B. P., & Bank, L. C. (2010). Use of system dynamics as a decision-making tool in building design and operation. *Building and Environment*, 45(4), 1006-1015.
- Tomé, I. M. (2012). *Modelo para análise da sustentabilidade empresarial com base em Morph*. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.
- Vlachos, D., Georgiadis, P., & Iakovou, E. (2007). A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains. *Computers & Operations Research*, 34, 367-394.
- Yim, N.-H., Kim, S.-H., Kim, H.-W., & Kwahk, K.-Y. (2004). Knowledge based decision making on higher level strategic concerns: system dynamics approach. *Expert Systems*, 27(1), 143-158.
- Zambon, A. C. (2006). *Uma contribuição ao processo de aquisição e sistematização do conhecimento multiespecialista e sua modelagem baseada na dinâmica de sistemas*. Tese de doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil.
- Zambon, A. C., Baioco, G. B., & Magrin, D. H. (2012). Morph – modelo orientado à representação do pensamento humano. *Anais do Congresso Latinoamericano de Dinâmica de Sistemas*, Buenos Aires, Argentina, 10.