

# Um novo modelo de previsão de demanda para inovações radicais

Donald Neumann<sup>a\*</sup>, Luis Antonio de Santa-Eulalia<sup>b</sup>, Rui Tadashi Yoshino<sup>c</sup>, Jörg Klasen<sup>d</sup>

<sup>a\*</sup>[donald.neumann@gsame.uni-stuttgart.de](mailto:donald.neumann@gsame.uni-stuttgart.de), Universidade de Stuttgart, Alemanha

<sup>b</sup>[luis.eulalia@fca.unicamp.br](mailto:luis.eulalia@fca.unicamp.br), Unicamp, Brasil

<sup>c</sup>[ruiyoshino@utfpr.edu.br](mailto:ruiyoshino@utfpr.edu.br), UTFPR, Brasil

<sup>d</sup>[j.klasen@enbw.com](mailto:j.klasen@enbw.com), EnBW AG, Alemanha

## Resumo

Este trabalho apresenta um novo modelo para a previsão de demanda de inovações radicais baseada em simulação de Dinâmica de Sistemas que combina conceitos do modelo de difusão de Bass e do modelo de escolha discreta. Diferentemente de outras abordagens existentes, esta proposta permite estimar não somente a fatia de mercado do produto, mas também seu comportamento no tempo (*timing*), a partir das preferências individuais do consumidor e das forças que as influenciam. O modelo proposto pode ser facilmente parametrizado através da Conjoint Analysis e foi testado em escala real no mercado alemão de carros elétricos. Os resultados obtidos colocam em evidência o potencial da abordagem proposta, auxiliando na compreensão dos principais fatores na escolha desse produto.

## Palavras-chave

Previsão de demanda. Dinâmica de sistemas. Indústria automobilística. Pesquisa de mercado.

## 1. Introdução

Entender os processos de adoção e difusão de novos produtos é crucial para qualquer organização. Isso inclui não somente empresas, mas também governos, pois esses influenciam o desenvolvimento do mercado através de políticas regulamentadoras, investimentos em infraestrutura e incentivos para novas tecnologias, tais como equipamentos médicos ou veículos elétricos.

Apesar de vastamente estudados, os processos de difusão ainda são fenômenos complexos e, portanto, alvo de muitas pesquisas científicas. Várias metodologias, abordagens e modelos computadorizados têm sido desenvolvidos para investigar a previsão de demanda para novos produtos.

As abordagens de previsão baseadas no tradicional modelo de Bass (BASS, 1969) (também conhecido como modelo de difusão de Bass) são provavelmente as mais amplamente utilizadas em gestão e organizações (LIM et al., 2012; TSAI; LI; LEE, 2010; McDADE; OLIVA; THOMAS, 2010; TSENG; HU, 2009; BASS, 2004). Em sua forma algébrica, o modelo de Bass

(1969) é limitado a um pequeno grupo de parâmetros com hipóteses subjacentes bastante restritivas. Diversos trabalhos atenuam algumas dessas restrições como, por exemplo, os de Dodson e Muller (1978), Kalish (1985), Chatterjee e Eliashberg (1990), Horsky (1990), Tsai, Li e Lee (2010), McDade, Oliva e Thomas (2010), Chen e Carrillo (2011) e Kreng e Wang (2013). É interessante notar que, mais recentemente, o próprio Bass ressaltou a possibilidade de realização de algumas extensões de seu prolífico trabalho (BASS, 2004). Três revisões bastante completas sobre possíveis extensões desse modelo são encontradas em Mahajan, Muller e Wind (2000), Meade e Islam (2006) e Frenzel e Grupp (2009).

Enquanto o modelo de Bass (1969) foca sobretudo a evolução da fatia de mercado do novo produto no tempo através de equações diferenciais simples, os modelos de escolha discreta permitem identificar a utilidade atribuída pelo consumidor a um produto (KIM; LEE; KIM, 2005; DUBÉ; HITSCH; JINDAL, 2011, 2012). Derivados da teoria do comportamento racional, esses modelos possuem seus fundamentos

nos aspectos psicológicos subjacentes, como discutido em Drakopoulos (1990). Além disso, modelos de escolha discreta também estão relacionados com a Teoria da Informação (ANAS, 1983). Como no caso dos modelos de Bass (1969), os modelos de escolha discreta também foram aperfeiçoados e combinados. Por exemplo, Kim, Lee e Kim (2005) propõem um modelo de escolha discreta adaptado, incorporando o comportamento de adesão do consumidor às dinâmicas de difusão do produto. Lee et al. (2006) apresentam uma abordagem similar, integrando o modelo de escolha discreta e o modelo de Bass (1969).

A simulação de Dinâmicas de Sistemas também tem sido aplicada com sucesso na previsão de demanda. Por exemplo, Milling (1986) apresenta um modelo de simulação para o tradicional modelo de Bass (1969) de influência mista. Nesse modelo, contudo, as características do produto não são explicitamente consideradas. Mooy, Langley e Klok (2004) utilizou um modelo de Dinâmicas de Sistemas com a teoria sociológica da memética e, mais recentemente, Park, Kim e Lee (2011) desenvolveram um modelo de previsão baseado na Dinâmica de Sistemas para a difusão de veículos a hidrogênio, utilizando um modelo de Bass (1969) generalizado. Em um trabalho atual, Lee et al. (2013) apresentam um modelo de previsão de vendas utilizando Dinâmica de Sistemas combinada a modelos econométricos para, com foco em tecnologia para o carro verde, analisar o impacto sobre a difusão de tecnologias inovadoras. Uma pesquisa no Brasil, desenvolvida por Figueiredo (2009), propôs um modelo para estudo da difusão da tecnologia móvel celular utilizando Dinâmica de Sistemas e o modelo de Bass (1969). Demonstrou-se que o uso da metodologia de Dinâmica de Sistemas como ferramenta de modelagem computacional permite o uso extensivo dos conceitos contidos no modelo de difusão em situações práticas de planejamento.

Maier (1998) explica que fatores como preço, qualidade, características técnicas, dentre outros, influenciam a probabilidade de compra. No seu trabalho, Maier (1998) assume esses fatores como multiplicadores dos coeficientes originais do modelo de Bass (1969) (coeficientes de inovação e imitação), podendo assim acelerar ou frear o processo de difusão do novo produto. Diferentemente da abordagem proposta no presente trabalho, Maier (1998) não considera a utilidade total do produto explicitamente. Dessa forma, não obedece à teoria subjacente do consumidor racional, fundamento dos modelos de escolha discreta.

Mais especificamente no mercado de carros elétricos, muitos estudos na literatura propõem abordagens de previsão de adoção, incluindo a escolha discreta (BEGGS; CARDELL; HAUSMAN, 1981), Joint

Analysis (SEGAL, 1995; EWING; SARIGÖLLÜ, 2000) e modelos baseados em equações diferenciais (URBAN; HAUSER, 1980). Uma abordagem bastante similar à apresentada neste presente trabalho é encontrada em Lee et al. (2013). Nesse trabalho, os autores propõem uma abordagem combinado o modelo de difusão com o modelo de escolha discreta e a Dinâmica de Sistemas visando estudar, particularmente, os efeitos de *feedback* de preços dos veículos verdes e o desenvolvimento da infraestrutura de abastecimento sobre as fatias de mercado na Coreia. Apesar de ser um modelo atual e bastante completo, ele está calcado em algumas hipóteses restritivas fortes (i.e., a impossibilidade de uma pessoa que comprou um veículo elétrico comprar novamente um veículo a combustão), bem como considera uma quantidade limitada de atributos dos produtos (i.e., somente três atributos básicos: eficiência do combustível, preço do veículo e infraestrutura de recarga), o que limita um pouco a aplicação do modelo em ambientes reais e em escala industrial. Também de bastante relevância para o presente trabalho é o artigo de Klases e Neumann (2011). Os autores combinam o modelo de Bass (1969) com o modelo de escolha discreta através da simulação baseada em agentes. Klases e Neumann (2011) focam sobretudo a viabilidade da meta alemã para o mercado de carros elétricos na próxima década. Outra contribuição, também similar à do presente trabalho, é encontrada em Meyer e Winebrake (2009), que abordam os veículos movidos a hidrogênio e a respectiva infraestrutura de abastecimento. À semelhança do presente trabalho, o modelo de Dinâmica de Sistemas de Meyer e Winebrake (2009) também inclui conceitos da teoria de difusão e dos modelos de escolha discreta. Contudo, o modelo apresentado por Meyer e Winebrake (2009) se restringe à inclusão dos atributos relacionados ao custo do combustível, preço de veículos e quantidade de postos de combustível, não incorporando diretamente o efeito das forças sociais nas suas funções utilidade, principal contribuição do modelo de Bass (1969).

Apesar da literatura relacionada, os autores do presente trabalho desconhecem outro estudo que aborde explicitamente e de maneira extensiva as preferências individuais dos consumidores, bem como a dinâmica das forças sociais, derivadas dos modelos de Bass (1969) em um modelo de simulação de Dinâmica de Sistemas. Dessa forma, a contribuição proposta aqui é duplamente original, i.e., a proposta de um modelo inovador e sua subsequente validação preliminar em um caso real em escala industrial realizada conjuntamente com um parceiro corporativo. Comparado com outras abordagens, o modelo proposto oferece as seguintes vantagens: a) tanto a fatia de mercado total do novo produto quanto sua evolução no tempo (*timing*)

podem ser estimados conjuntamente; b) o modelo é completamente flexível com relação ao número de atributos do produto a ser considerado; c) o modelo pode ser facilmente parametrizado através de Conjoint Analysis sem a necessidade de quaisquer dados de venda; c) o modelo leva em consideração ciclos de retroação, entre eles o de recompra do produto ou volta ao carro a combustível.

Além disso, o novo modelo aqui proposto foi aplicado com sucesso em escala real para o mercado alemão de carros elétricos com o intuito de buscar uma validação preliminar. Os resultados mostram o potencial da abordagem proposta, auxiliando na compreensão dos principais fatores na escolha desse produto. Como consequência, o parceiro industrial adotou a abordagem em questão para a tomada de decisões de investimento a longo prazo.

O artigo encontra-se organizado da seguinte forma: após essa introdução e apresentação do problema de pesquisa, na seção 1, a seção 2 sintetiza a base teórica que orienta o trabalho, sendo que a seção 3 apresenta a metodologia de pesquisa empregada. O modelo proposto está delineado na seção 4. Uma aplicação preliminar do modelo no mercado alemão de carros elétricos é apresentada na seção 5, enquanto futuras aplicações e melhorias são sugeridas na seção 6, antes das considerações finais, na seção 7.

## 2. Fundamentação teórica

Esta seção introduz os principais conceitos empregados no modelo proposto, incluindo o modelo de difusão de Bass, o modelo de escolha discreta e a Dinâmica de Sistemas aplicada à difusão de inovação.

### 2.1. Modelo de difusão de Bass

Tradicionalmente, modelos econômicos de difusão de inovações são fundamentados em pesquisa biológica e sociológica (THUN; GRÖBLER; MILLING, 2000). Talvez o modelo mais conhecido nessa área seja o modelo de difusão proposto primeiramente por Bass (1969), o qual distingue dois tipos de consumidores: inovadores e imitadores. Esse modelo é descrito como um conjunto de equações diferenciais que utilizam um pequeno número de parâmetros. Basicamente, o autor definiu a taxa de adoção  $S(t)$  como uma função da participação de mercado potencial  $T(t)$ , o número real de adotantes  $A(t)$ , um coeficiente de inovação  $p$  e um coeficiente de imitação  $q$ . A taxa de adoção no tempo foi formulada como:

$$S(t) = qT(t) + (p - q)A(t) - p[A(t)]^2 / T(t) \quad (1)$$

Esse modelo supõe que todos os fatores que influenciam o processo de difusão (por exemplo, características individuais dos consumidores, disponibilidade de informação sobre o produto, recomendações pessoais positivas e negativas etc.) podem ser resumidos nos parâmetros  $q$  e  $p$ . Apesar de ser amplamente utilizado, suas premissas têm sido criticadas na literatura (MEADE; ISLAM, 2006; FORNERINO, 2003; AALSBERG et al., 2009, entre outros). Além disso, o modelo de Bass não é facilmente parametrizado quando dados sobre o mercado não estão disponíveis. Assim, produtos radicalmente novos, como os carros elétricos, que implicam profundas mudanças no comportamento dos consumidores, restringem o seu uso.

Diversas abordagens surgiram para melhorar ou ampliar esse modelo, incluindo o modelo de escolha discreta e a Dinâmica de Sistemas (KLASEN; NEUMANN, 2011).

### 2.2. Modelo de escolha discreta

O modelo de escolha discreta permite determinar a probabilidade relativa de compra do novo produto com base nas utilidades dos produtos disponíveis (GENSCH; RECKER, 1979). Para isso, produtos são descritos como um conjunto de atributos perfeitamente substituíveis. Formalmente, a probabilidade  $P_i^k$  de que um indivíduo  $i$  irá escolher um produto  $k$  dentro de um conjunto de alternativas  $A_i$  é dada por:

$$P_i^k = 1 / \left( 1 + \sum_{l \in A_i, l \neq k} e^{(V_i^k - V_i^l)} \right) \quad (2)$$

onde  $V_i^k$  é o componente determinístico da utilidade, descrito através das atitudes expressas do consumidor em relação àquela alternativa. Assumindo-se que  $V_i^k$  seja uma função aditiva linear do peso dos atributos do respectivo produto, tem-se:

$$V_i^k = \sum_{j \in S^k} a_j^k x_{ij}^k + \sum_{j \in S} b_j x_{ij}^k \quad (3)$$

onde  $x_{ij}^k$  é o peso dado pelo indivíduo  $i$  ao atributo  $j$  da alternativa  $k$ ;  $a_j^k$  é o peso da utilidade refletindo a importância do atributo  $j$  definido unicamente para a alternativa  $k$ ;  $b_j$  é o peso da utilidade refletindo a importância do atributo genérico  $j$  definido para todas as alternativas em  $A_i$ ;  $S^k$  é o conjunto de atributos existentes somente na alternativa  $k$ ; e  $S$  o conjunto de atributos comuns a todas as alternativas disponíveis.

É importante notar que tanto (2) quanto (3) assumem que a estrutura de preferências individuais é fixa e depende somente dos atributos dos produtos.

Isso contradiz a noção fundamental do modelo de difusão de Bass, de que a preferência é também influenciada por forças sociais derivadas da interação entre adotantes e não adotantes ao longo do tempo (KLASEN; NEUMANN, 2011). Portanto, a evolução da difusão no tempo não pode ser estimada diretamente pelo uso de modelos de escolha discreta. Isso abre oportunidades interessantes para combinar modelos de difusão e o modelo de escolha discreta, incorporando tanto os aspectos sociais quanto as preferências dos consumidores. Além disso, a estrutura linear da Equação 3 permite a identificação de seus coeficientes através de uma análise dos mínimos quadrados, usando a Conjoint Analysis, mesmo no caso em que os produtos são fictícios. Assim, a combinação do modelo de Bass com o modelo de escolha discreta possibilita não somente a previsão da probabilidade de compra baseada nos atributos dos produtos mas também a previsão do *timing* de difusão, com uma forma de parametrização relativamente simples, a saber, a Conjoint Analysis. A Dinâmica de Sistemas como método de simulação oferece uma estrutura interessante para a realização de tal combinação.

### 2.3. Dinâmica de Sistemas aplicada à difusão de inovação

A Dinâmica de Sistemas é um método de simulação para formular e compreender o comportamento de sistemas complexos ao longo do tempo através do estudo da estrutura do sistema e seus *feedbacks* de informações. Desse modo, podem-se analisar as interações entre o comportamento e a estrutura do sistema, composta por regras de tomada de decisão e seus atrasos (FORRESTER, 1961). Basicamente, a descrição matemática de um modelo de dinâmica de sistemas é feita com a ajuda de equações diferenciais. Os elementos básicos do modelo de Dinâmica de Sistemas são *feedbacks*, fluxos, acumulação de fluxos (estoques) e atrasos.

A Figura 1 mostra o modelo de Bass na forma de um modelo de Dinâmica de Sistemas.

Nesse caso, a taxa  $S(t)$ , regulada pelos parâmetros  $p$  e  $q$ , consome o estoque  $T(t)$  e abastece o estoque

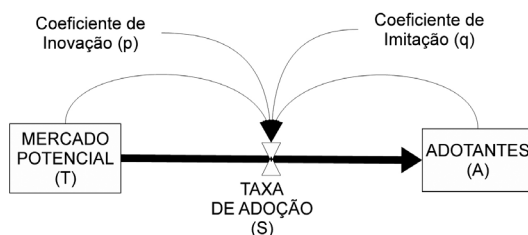


Figura 1. Modelo de Bass a partir da perspectiva de uma Dinâmica de Sistemas, inspirado em Maier (1998).

$A(t)$ . Em contraste com a formulação algébrica original de Bass, o modelo de Dinâmica de Sistemas permite facilmente se alterar a estrutura do sistema modificando-se, por exemplo, os parâmetros  $p$  e  $q$ , ou mesmo realizando-se mudanças estruturais, como a adição de outros *loops* e variáveis. Consequentemente, a Dinâmica de Sistemas oferece uma estrutura interessante para combinar a base fundamental do modelo de Bass, considerando-se a evolução da difusão no tempo e seus aspectos sociais, com as ideias básicas dos modelos de escolha discreta (incorporando-se as preferências dos consumidores explicitamente através dos vários atributos dos produtos). Na próxima seção discute-se um modelo descrevendo essa possibilidade.

### 3. Metodologia de pesquisa

O presente trabalho combina aspectos de pesquisa instrumental e pesquisa exploratória.

Primeiramente, o desenvolvimento de um modelo quantitativo de simulação segue as premissas básicas de uma pesquisa instrumental, a qual é recomendada para pesquisas aplicadas (MARTEL, 1986; MATTESSICH, 1978). Segundo Martel (1986), a pesquisa instrumental refere-se às atividades criativas metodológicas que visam a criação de um instrumento visando dar suporte às organizações na realização de suas finalidades. Esses instrumentos incluem sistemas, métodos, modelos, bem como componentes desses instrumentos, e as ferramentas necessárias para inventá-los. No presente caso, o instrumento proposto refere-se a um novo modelo de previsão da demanda para inovações radicais. Para a realização desse tipo de pesquisa, fez-se uso das lógicas de síntese e de análise, na expectativa de produzir tal instrumento.

Normalmente, a pesquisa instrumental possui uma etapa criativa (chamada de “inteligência” pelos especialistas), na qual o instrumento é proposto. Essa fase dá sequência a uma etapa de validação, em que o instrumento é testado. Para tanto, realizaram-se testes do modelo proposto em um caso real, em escala industrial.

Como tal teste foi apenas preliminar e não extensivo, este trabalho também apresenta características de pesquisa exploratória. Esse tipo de pesquisa tem como objetivo “[...] proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses” (SILVA; MENESES, 2005, p. 21). Envolve, entre outros, análise de exemplos que estimulem a compreensão e pode assumir, em algumas situações, a forma de estudos de caso. Os testes realizados neste trabalho levantam hipóteses quanto a utilidade e facilidade de uso do

instrumento proposto, abrindo portas para estudos mais aprofundados no futuro.

### 4. Modelo proposto

A estrutura do modelo proposto está resumida na Figura 2 e será detalhada nas duas subseções subsequentes.

#### 4.1. Paradigma de simulação e modelagem

O modelo de Dinâmica de Sistemas proposto está representado na Figura 3. Nesse modelo, a estrutura básica do modelo de Bass (ver seção 2.1) é utilizada, incluindo-se os típicos estoques  $A(t)$ ,  $S(t)$  e  $T(t)$ . Além disso, o modelo tradicional de Bass é estendido em

vários aspectos. Primeiramente, baseado em Sterman (2000), o modelo captura as compras de reposição/substituição de acordo com a taxa de descarte  $DR^k$  da inovação (produto  $k$ ). Isso é necessário porque, para o carro elétrico (e vários outros bens duráveis), o processo de difusão é longo e pode facilmente superar o ciclo de vida do produto. Assim, produtos obsoletos são substituídos e consumidores retornam ao mercado potencial quando o produto é descartado. A taxa de retorno dos consumidores ao mercado potencial foi modelada aproximadamente como a taxa de adoção  $S(t)$ , atrasada em  $lc$  unidades de tempo, o que corresponde ao ciclo de vida médio do produto. Como o ciclo de vida médio é relativamente longo para muitos bens duráveis (como carros), as decisões de compra repetidas são razoavelmente similares às decisões de compra iniciais. Assim, após o descarte, os consumidores voltam ao grupo de consumidores em potencial (STERMAN, 2000).

Outro aperfeiçoamento feito ao modelo tradicional é a inclusão do mercado total  $TM(t)$ , que representa o mercado inexplorado, como sugerido por Maier (1998). Isso se faz necessário porque, no caso de bens duráveis, a introdução do novo produto não antecipa significativamente a compra do consumidor. Assim, consumidores esgotam o ciclo de vida de seu produto atual antes de se tornarem efetivos consumidores potenciais. Dessa forma o estoque de adotantes em potencial aumenta em uma proporção  $PA(t)$ , que também depende do ciclo de vida médio do produto

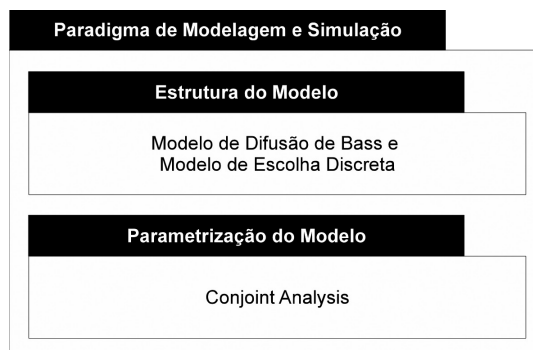


Figura 2. Estrutura do modelo proposto.

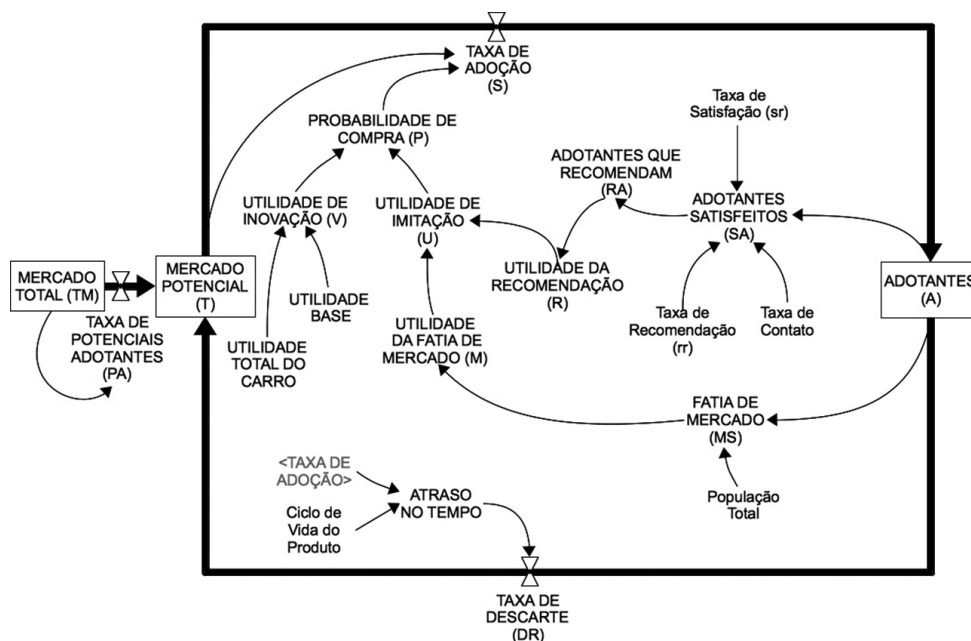


Figura 3. Modelo proposto.



*lc*. Isso corrige o modelo de difusão tradicional para a substituição de bens duráveis. Desse modo:

$$A(t) = \int_{t_0}^t (S(t) - DR(t)) dt \quad (4)$$

$$S(t) = P \times T(t) \quad (5)$$

em que *P* será explicado na próxima subseção, e a taxa de descarte

$$DR(t) = S(t - lc) \quad (6)$$

é igual à taxa de adoção defasada em *lc* unidades de tempo. Além disso, o mercado potencial, a taxa de crescimento desse mercado e o mercado total são modelados como:

$$T(t) = \int_{t_0}^t (PA(t) + DR(t) - S(t)) dt \quad (7)$$

$$PA(t) = (\text{População total}) / lc \quad (8)$$

$$TM(t) = \text{População total} - \int_{t_0}^t PA(t) dt \quad (9)$$

A contribuição mais importante do modelo proposto é indicada no centro da Figura 3. Os coeficientes tradicionais *p* e *q* são substituídos pela probabilidade de compra inspirada nos modelos de escolha discreta. Três componentes básicos existem: a utilidade derivada das características técnicas do produto (*V*), a utilidade derivada da interação entre adotantes e não adotantes (propaganda boca a boca) (*R*) e a utilidade derivada da percepção da fatia de mercado do novo produto pelos consumidores (*M*), como explicado em detalhes na próxima subseção. Desse modo, as idéias subjacentes ao modelo de Bass são mantidas e complementadas com a teoria da escolha racional do consumidor, com a vantagem da fácil parametrização do modelo através da Conjoint Analysis. Assim, a parametrização baseada na opinião do consumidor potencial é possível mesmo para inovações radicais, quando nenhuma informação sobre vendas está disponível.

## 4.2. Estrutura do modelo para o processo de compra

A principal contribuição estrutural do modelo proposto está na substituição dos coeficientes

de inovação e imitação pelas probabilidades de compra derivadas das utilidades expressas pelos consumidores potenciais. Para isso, assume-se que tanto os comportamentos de inovação quanto os de imitação originam-se da avaliação da utilidade do produto, como proposto por Klasen e Neumann (2011) e, de maneira similar, por Goldenberg, Libai e Muller (2010). Dessa forma,  $P_i^k$  não é calculado por (2), como no modelo de escolha discreta tradicional, já que a avaliação de utilidade dos produtos  $V_i^k$  é substituída por  $V_{S_i}^k$ :

$$V_{S_i}^k(t) = V_i^k(t) + U_i^k(t) \quad (10)$$

em que  $V_i^k(t)$  é definido em (3) e representa a utilidade de inovação, de modo similar ao coeficiente de inovação *p* do modelo de Bass;  $U_i^k(t)$  é a utilidade de imitação de uma alternativa de produto *k* para um indivíduo *i*, representando o coeficiente *q* de Bass. Sendo assim, além de incorporar as preferências do consumidor como, determinado pelo modelo de escolha discreta, a Equação 10 combina características do modelo de difusão clássico, incluindo componentes sociais. Esses componentes sociais são derivados da percepção dos clientes da fatia de mercado e de recomendações positivas de outros consumidores, da seguinte forma:

$$U_i^k(t) = R_i^k(t) + M_i^k(t) \quad (11)$$

em que  $R_i^k(t)$  representa a utilidade das recomendações positivas e  $M_i^k(t)$ , a utilidade percebida da fatia de mercado. Essas utilidades capturam sobretudo a redução da incerteza no processo de adoção do novo produto, realizada tanto através de recomendações positivas quanto da observação direta do produto utilizado no mercado (KLASEN; NEUMANN, 2011). Assim,

$$R_i^k(t) = f(RA_i^k(t)) \quad (12)$$

$$M_i^k(t) = g(MS^k(t)) \quad (13)$$

onde  $RA_i^k(t)$  representa a quantidade de recomendações de adotantes para a alternativa *k* obtida pelo indivíduo *i*; e  $MS^k(t)$  é a participação de mercado (porcentagem) da alternativa *k*. Tanto a função *f* quanto a função *g* são parametrizadas com a ajuda de uma Conjoint Analysis, o que está explicado na próxima subseção.

$RA_i^k(t)$  e  $MS^k(t)$  são calculados da seguinte maneira:

$$RA_i^k(t) = r_i^k \times c_i^k \times SA^k(t) \quad (14)$$

$$MS^k(t) = A(t) \times sr^k \quad (15)$$

onde  $rr_i^k$  é a taxa de recomendação da alternativa  $k$  recebida pelo indivíduo  $i$ ;  $cr_i^k$  é a taxa de contato de um indivíduo  $i$  com outros consumidores da alternativa  $k$ ;  $SA^k(t)$  é a quantidade de adotantes satisfeitos com o produto  $k$ ;  $sr_i^k$  é a taxa de satisfação dos que adotaram a alternativa  $k$ ; e a já definida  $A(t)$  é a quantidade total de adotantes.

### 4.3. Parametrização do modelo

Para a parametrização de um modelo de simulação, a metodologia proposta emprega um experimento conjunto, ou Conjoint Analysis, provavelmente a principal metodologia utilizada em *marketing* para determinar como o consumidor decide entre produtos concorrentes (GREEN; KRIEGER; WIND, 2001). Basicamente, ela mede a importância relativa dos atributos do produto através das preferências declaradas por consumidores potenciais. Uma Conjoint Analysis é realizada através de uma pesquisa de campo, empregando entrevistas e questionários semiestruturados. Os resultados são as funções de utilidade individuais dos consumidores para cada atributo do produto (Equação 3).

No presente estudo, essas funções de utilidade constituem os parâmetros necessários para a especificação das utilidades de inovação e de imitação na Figura 3. Como mencionado anteriormente, os parâmetros tanto da função  $f$  quanto da função  $g$  são resultados da Conjoint Analysis. Assim, o número de recomendações positivas do produto deve ser incluído como atributo, possibilitando-se estimar  $f$ . Similarmente, incluindo-se a fatia atual de mercado  $MS^k(t)$  como atributo do produto, pode-se determinar  $g$  a função de utilidade correspondente à participação de mercado  $MS^k(t)$ . Por fim, a utilidade de inovação  $V_i^k$  foi determinada a partir da soma da utilidade total do produto e da utilidade base, ambos resultantes da Conjoint Analysis. A utilidade total do produto corresponde à utilidade média para todos os consumidores oferecida pelas características técnicas do produto  $k$ . A utilidade base pode ser interpretada como um déficit de utilidade de algumas alternativas em relação a outras. Esse déficit possui diferentes razões, por exemplo, a incerteza relacionada ao produto ou à tecnologia, falta de informação e preferências residuais não mensuradas. Para maiores detalhes sobre Conjoint Analysis, consulte Ewing e Sarigöllü (2000), Klasen e Neumann (2011) e Lee et al. (2006).

## 5. Aplicação do novo modelo em um problema prático

O novo modelo proposto na seção precedente foi aplicado em um caso real de escala industrial, no mercado alemão de carros elétricos, visando entender como se dará a adoção desses veículos nos próximos anos. Esse projeto originou-se de necessidade de o parceiro corporativo alemão, uma das empresas líderes na indústria de geração e distribuição de energia naquele país, entender o comportamento do mercado potencial de carros elétricos com, a finalidade de orientar decisões estratégicas de investimento. Tal parceiro foi responsável pelo financiamento integral do projeto e pelas informações utilizadas na sua aplicação.

### 5.1. Problema de simulação

O carro elétrico é uma tecnologia promissora para a redução da emissão de gases do efeito estufa, ao lado de outras tecnologias complementares, como os carros híbridos. O governo alemão, acreditando nessa alternativa, estabeleceu uma meta oficial para o mercado de 1 milhão de carros vendidos até 2020 – uma fatia de mercado de aproximadamente 2,32%. Relatórios governamentais recentes sugerem, porém, que sem a intervenção do governo, somente 450 mil carros serão vendidos (KIM; LEE; KIM, 2005). Uma grande incerteza está relacionada a esse mercado, já que a reação dos consumidores às limitações tecnológicas, infraestrutura de carga e geração de energia limpa não são muito bem compreendidas.

Consequentemente, entender o potencial de mercado e as preferências dos consumidores é importante não somente para validar a meta do mercado, mas também para permitir a melhor geração de políticas públicas, incentivando novos desenvolvimentos tecnológicos e estruturais. Como foi explicado na seção 1, na literatura muitas pesquisas propõem abordagens para a previsão do mercado de carros elétricos. Contudo, nenhuma delas aborda diretamente as preferências do consumidor e o processo de difusão em um modelo de Dinâmica de Sistemas, tal como o modelo aqui proposto.

Essa abordagem oferece uma ferramenta de simulação interessante para a previsão da participação de mercado de produtos ou bens duráveis como automóveis, cujos atributos técnicos influenciam diretamente as preferências de consumidores racionais (isto é, não se trata de comportamento de compra impulsivo). Além disso, ela permite a abordagem simultânea dos atributos técnicos do produto e dos aspectos sociais do processo de difusão, como

recomendações e a percepção da parcela de mercado pelo consumidor.

Embora o produto automóvel seja bastante conhecido, a migração da combustão interna para a tecnologia elétrica modifica significativamente propriedades básicas do produto, requerendo mudanças drásticas no comportamento do consumidor, aumentando o grau de incertezas relativas à sua difusão e caracterizando o carro elétrico como uma inovação radical (NEUMANN, 2010). Exemplo dessas propriedades são custo, autonomia, tempo de abastecimento, velocidade máxima e durabilidade. Com isso, o sucesso desse produto no mercado depende de modelos de negócio e cadeias de valor inovadoras, capazes de suprir as necessidades do consumidor, reduzindo ao máximo a incerteza relacionada à sua mudança de comportamento. Para tanto, diferentes cadeias de valor são possíveis, dependendo das características do produto e da decisão de implantação. Se, por um lado, o foco em centros urbanos elimina requisitos extremos de autonomia, parcerias estratégicas com o serviço público ou estações de troca de bateria em rodovias expandem o espectro de utilização do veículo elétrico. Contudo, independentemente da proposta de valor a ser perseguida, a natureza do veículo elétrico requer uma infraestrutura de geração e distribuição de energia ainda inexistente, de implantação lenta e cara. Nesse contexto, entender o mercado e suas necessidades pode orientar decisões estratégicas de investimento, reduzindo sensivelmente as incertezas e aumentando a probabilidade de sucesso. Com o objetivo amplo de auxiliar a tomada de decisões estratégicas de investimento do parceiro corporativo, o experimento de simulação preliminar apresentado neste trabalho teve como objetivo específico “compreender como a infraestrutura de carregamento das baterias influencia o processo de difusão dos carros elétricos na Alemanha”. Sendo a tecnologia de carregamento (por exemplo, troca de baterias, carregamento rápido ou normal) um fator determinante dos custos e da estratégia de implantação da infraestrutura necessária, esse objetivo de simulação ressalta o interesse do parceiro corporativo na análise comparativa de diferentes tecnologias como percebidas pelo consumidor. Consequentemente, não foi determinante nem almejada a precisão absoluta da previsão, mas sim um entendimento geral do comportamento do consumidor, possibilitando uma avaliação das possibilidades de entrada nesse mercado. Com isso, o escopo do estudo foi limitado à comparação entre os atuais carros de combustão interna e os veículos elétricos, sem a necessidade de distinguir entre os combustíveis gás natural veicular, diesel e gasolina.

Juntamente com o parceiro industrial desse projeto, construiu-se uma lista de 18 atributos que diferenciam o carro elétrico de um convencional. Esse trabalho fundou-se basicamente na literatura e na discussão com fabricantes multinacionais de automóveis. Essa lista foi posteriormente validada em entrevistas com dois especialistas: um de uma indústria automobilística e outro de uma firma mundial de consultoria com departamento específico para esse assunto. Entre os atributos estão: preço, autonomia da bateria, custo variável por quilômetro rodado, tempo de carregamento da bateria, durabilidade da bateria, emissões de CO<sub>2</sub>, velocidade máxima, aceleração, espaço de carga, nível de ruído e exclusividade do modelo. A simulação foi baseada na recém-anunciada tecnologia Renault ZE, que oferece uma autonomia máxima de 180 km e três possibilidades de carregamento de bateria: uma carga normal de 7 horas, feita em casa e/ou no local de trabalho; uma carga rápida de 30 minutos que requer uma infraestrutura diferenciada de elevada potência; e uma troca de bateria em estações específicas em cerca de 5 minutos. Como a infraestrutura de carga rápida e a de troca de baterias requerem elevados investimentos, essa simulação pôde indicar como a difusão do carro elétrico pode evoluir caso esses investimentos sejam efetivamente realizados.

A parametrização do modelo foi realizada através de uma pesquisa de campo, conduzida entre setembro e outubro de 2009 com o auxílio de uma consultoria especializada em *Conjoint Analysis*. A técnica utilizada foi a *Hierarchical Individualized Limit Conjoint-Analysis* – Hilca (VOETH, 2000). Esse método apresenta duas vantagens quando comparado a outros tipos de *Conjoint Analysis*. Em primeiro lugar, a inclusão de um cartão limite (*limit card*) no processo de escolha permite que o entrevistado estabeleça uma referência de utilidade zero. Opções abaixo dessa referência são interpretadas como alternativas recusadas, isto é, não atingem o nível mínimo de utilidade necessário para serem consideradas alternativas reais de compra. Além disso, a Hilca não determina a priori quais são os atributos importantes para o entrevistado, permitindo que ele os selecione de uma lista previamente sugerida. Isso permite incluir na análise um conjunto maior de atributos, mantendo-se a simplicidade do estudo para o entrevistado. Por outro lado, essa característica implica que o tamanho da amostra não será o mesmo para todos os atributos. Visando reduzir os custos da pesquisa e, ao mesmo tempo, garantir o número mínimo de 30 entrevistados para cada atributo, o tamanho mínimo da amostra levou em consideração o número de atributos (18 no total) e a experiência da própria consultoria. Assim, o número mínimo de 180 entrevistados foi adotado. A pesquisa utilizou como critérios de filtro a participação efetiva do condutor



na decisão de compra do automóvel e a utilização do carro principalmente em cidades e viagens curtas (até 60 km). Foram feitas 291 tentativas, sendo que apenas 183 obedeceram aos critérios de exclusão e foram considerados efetivamente consumidores em potencial, participando do estudo. O objetivo de chegar a 30 entrevistados para cada atributo foi alcançado para todos os atributos com exceção de um (o grau de exclusividade do carro elétrico), o qual foi, por isso, descartado do estudo. O mercado potencial de carros elétricos totalizou assim 63% do mercado de carros da Alemanha. Como o resultado da Hilca são funções de utilidade individual para cada entrevistado, os parâmetros de simulação foram obtidos através da média simples das utilidades mensuradas. Após o cálculo desses parâmetros, um conjunto amplo de simulações preliminares e análises de sensibilidade foi executado e validado qualitativamente com especialistas tanto em Conjoint Analysis quanto no mercado e na tecnologia de carros elétricos. O modelo proposto foi desenvolvido utilizando-se o Vensim® PLE 5.10d.

## 5.2. Simulação e resultados

A Figura 4 mostra os resultados da simulação da potencial participação de mercado (em porcentagem) para as três tecnologias: o carregamento normal de 7 horas, o carregamento rápido de 30 minutos e a troca de bateria em 5 minutos. Corroborando a opinião de especialistas, o atributo Tempo de carregamento foi escolhido como um atributo determinante na compra por 86% dos entrevistados, totalizando uma amostra com 156 funções de utilidade. Para a Figura 4 foram utilizados os valores médios das utilidades desse atributo.

A partir da Figura 4 pode-se concluir que se nenhuma infraestrutura de carregamento rápido estiver disponível, os consumidores não estão dispostos a adquirir o carro elétrico. As restrições impostas por postos de abastecimento limitados (somente no trabalho, em estacionamentos públicos equipados ou em casa), assim como o tempo de carga extremamente longo exigem uma drástica mudança no comportamento dos consumidores, resultando em uma parcela de mercado inferior a 0,1%. A Figura 5 mostra a variação possível dessa parcela, utilizando-se, como parâmetro de simulação, o valor médio de utilidade para o atributo Tempo de carregamento de 7 horas mais um desvio padrão (otimista) e menos um desvio padrão (pessimista).

Embora a Figura 5 não constitua uma análise detalhada de sensibilidade (o que extrapola o objetivo e o escopo deste estudo), ela suporta a conclusão acima, sugerindo que a infraestrutura atual de

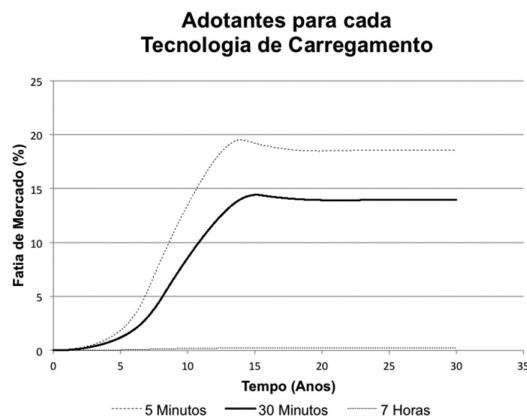


Figura 4. Resultados da simulação para a participação de mercado.

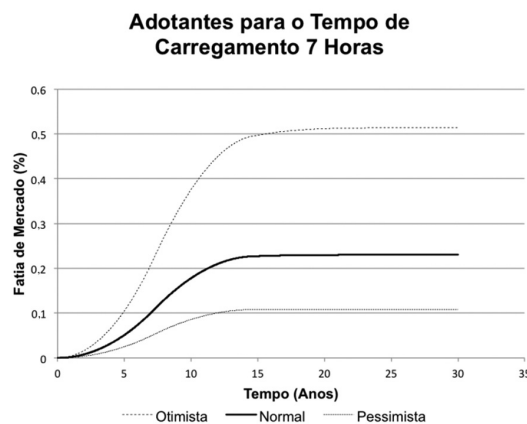


Figura 5. Resultados da simulação para a tempo de carregamento de 7 horas.

carregamento é insuficiente para o sucesso do veículo elétrico no mercado.

Já uma infraestrutura de alta potência permite o carregamento rápido das baterias em cerca 30 minutos, resultando em uma participação de mercado de cerca de 14% em 15 anos, conforme a Figura 4. De forma similar à Figura 5, a Figura 6 apresenta dois cenários possíveis, considerando o desvio padrão da utilidade média para o atributo Tempo de carga de 30 minutos.

Essa figura evidencia o elevado grau de incerteza com relação à nova tecnologia, sendo que o potencial do mercado varia entre aproximadamente 8% e 23% do mercado total. Todavia, a Figura 6 suporta a conclusão que, caso a infraestrutura de carga rápida esteja disponível em breve, mesmo que apenas em grandes centros urbanos, a meta do governo alemão de 1 milhão de carros (3,6% do mercado potencial) poderia ser alcançada até 2020. Contudo, além da tecnologia necessária para tal infraestrutura não

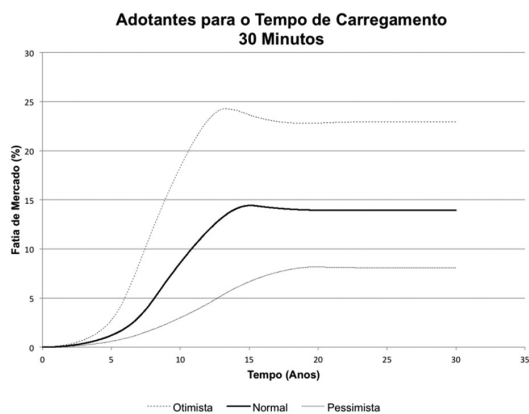


Figura 6. Resultados da simulação para a tempo de carregamento de 30 minutos.

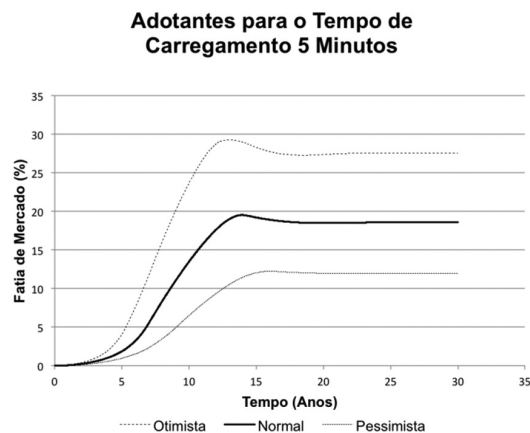


Figura 7. Resultados da simulação para a troca de baterias.

estar madura, ela ainda exige elevados investimentos e um longo tempo para ser construída. Assim, a decisão acerca das primeiras cidades que receberão tal infraestrutura é de grande importância estratégica.

Por fim, se estações de troca de bateria estiverem disponíveis, a participação de mercado eleva-se consideravelmente, totalizando 18% do mercado em potencial (11% do mercado total). A Figura 7 apresenta, também para esse tipo de tecnologia, três possíveis cenários, baseados no desvio padrão das utilidades do atributo Tempo de carga.

A exemplo da Figura 6, essa figura ressalta a incerteza do consumidor com relação ao carro elétrico, sendo que a participação de mercado mais provável pode variar entre 12% e 27% do mercado potencial. Contudo, essa figura ressalta que embora a infraestrutura necessária para a troca rápida de baterias necessite de um elevado investimento em estoques de baterias, a implantação dessa infraestrutura, sobretudo em autoestradas, pode aumentar significativamente a propensão de o consumidor comprar o carro elétrico, acelerando drasticamente o processo de difusão.

Apesar das simulações apresentadas oferecerem uma idéia do potencial de participação de mercado do carro elétrico, os resultados devem ser interpretados com cautela. As pressuposições de modelos e a elevada incerteza dos consumidores com relação à tecnologia são possíveis fontes de erro. Seguindo a lógica das Figuras 5 a 7, diversas outras análises de sensibilidade foram executadas. Contudo, o detalhamento dessas análises extrapola o objetivo, o escopo e as limitações de espaço deste trabalho. A despeito do fato de que valores absolutos de previsão devam ser considerados com cuidado, as análises comparativas, como as que foram aqui apresentadas, permanecem válidas. Assim, os resultados apresentados sugerem que o investimento em infraestruturas ideais pode determinar o sucesso

ou o fracasso dos carros elétricos na Alemanha. Neste trabalho, contudo, restringiu-se o escopo para as duas principais limitações dos carros elétricos: o tempo de carregamento da bateria e a infraestrutura necessária. Muitos outros cenários podem ser criados e análises adicionais podem ser realizadas, como discutido na próxima seção.

Mesmo considerando as limitações práticas, o presente modelo apresenta vantagens importantes quando comparado aos modelos clássicos da literatura, especialmente ao modelo de Bass (1969) e a suas adaptações, o modelo de escolha discreta, ou o modelo tradicional de simulação baseado em Dinâmica de Sistemas aplicado à difusão da inovação. Primeiramente, o modelo permite que a fatia de mercado total do novo produto e sua evolução no tempo possam ser estimados conjuntamente, o que não seria possível com modelos de escolha discreta. Além disso, modelos baseados em Bass (1969) não são flexíveis quanto ao número de atributos do produto a ser considerado. Ainda, esses modelos não incluem ciclos de retroação, entre eles o de recompra do produto ou volta ao carro a combustível. Finalmente, o modelo proposto pode ser parametrizado sem a necessidade de dados de venda por meio de uma abordagem de Conjoint Analysis.

Além das vantagens técnicas, a criação e aplicação sistemática do modelo durante o processo decisório no parceiro corporativo revelou-se imprescindível para decisões estratégicas e para o aprendizado organizacional. Oferecendo uma linguagem comum e a possibilidade de extensas análises *what-if*, a metodologia apresentada incentivou a interação sistemática de públicos distintos, como gestores da organização, consultores em *marketing*, consultores em estratégia, especialistas na tecnologia específica e os consumidores propriamente ditos. De entendimento

fácil e oferecendo todas as informações necessárias (fatia de mercado e evolução no tempo), o modelo se estabeleceu como uma efetiva ferramenta de auxílio à tomada de decisões, reduzindo drasticamente conflitos de opinião a respeito da tecnologia envolvida, apesar do pequeno tamanho de amostra e da incerteza inerente ao fenômeno. Isso permitiu uma sensível evolução do entendimento sobre os riscos envolvidos nesse tipo de decisão. Com isso, a aplicação do modelo extrapolou a acurácia específica das simulações, permitindo que decisões estratégicas coerentes entre diversas áreas da organização fossem tomadas.

## 6. Trabalhos futuros

A aplicação preliminar ilustra a utilidade e a flexibilidade do modelo proposto. Muitos estudos adicionais podem ser realizados usando a abordagem proposta e o conjunto de dados existente, incluindo-se estudos complementares da aceitação do carro elétrico e de suas características técnicas pelo consumidor.

Embora a estrutura do modelo tenha sido verificada com base em outros modelos teóricos presentes na literatura e embora suas premissas tenham sido amplamente discutidas com diversos especialistas, esforços adicionais de pesquisa poderão ser realizados no futuro com o objetivo de verificar com maior profundidade alguns pressupostos que influenciam o comportamento e a eficácia da previsão. Exemplos disso são a investigação detalhada do papel da interação entre adotantes e potenciais consumidores, bem como a avaliação da premissa fundamental de função de utilidade total aditiva para o consumidor.

Além disso, por restrições de escopo e do objetivo adotado, estudos de outros atributos do carro elétrico, como preço e características técnicas, não foram realizados neste trabalho. Dessa forma, assumiu-se que o carro elétrico possui preços e características técnicas similares aos veículos tradicionais. Embora essa premissa possa ser mantida, embasada nas características da tecnologia de referência (Renault ZE) e nos esforços do governo alemão para a subvenção da nova tecnologia, em um primeiro momento, uma análise mais detalhada desses fatores se faz necessária.

Neste trabalho, o mercado potencial foi completamente agregado, sendo que a parametrização do modelo se deu através das utilidades médias dos consumidores potenciais entrevistados. Embora essa decisão permita a simplificação do modelo utilizado, ela contribui para a elevação dos desvios padrões da amostra de cada função utilidade, possivelmente contribuindo para a variação observada nas Figuras 5 a 7. Resultados interessantes podem ser gerados através da segmentação do mercado, como proposta

por Klasen e Neumann (2011). Não só a precisão do modelo tende a aumentar como as características dos consumidores mais propensos a adotar o carro elétrico podem ser reveladas. Essas informações são imprescindíveis para o detalhamento da estratégia de inserção do produto no mercado.

Outro aspecto importante diz respeito à aplicação do modelo em outros produtos e setores, testando-se a sua validade amplamente. Nesse contexto, uma interessante validação do modelo poderia ser realizada aplicando-o ao mercado já existente de carros flex no Brasil.

Por fim, novos estudos podem ser realizados com o objetivo de desenvolver uma abordagem de parametrização mais simples, sem a necessidade da Conjoint Analysis, um procedimento caro e demorado, aumentando-se assim a usabilidade do modelo na prática.

## 7. Conclusões

Este estudo propõe uma nova abordagem baseada em simulação para a previsão do processo de adoção de novos produtos. Ao combinar a teoria de difusão de Bass (BASS, 1969) com o modelo de escolha discreta e a Conjoint Analysis em um modelo de Dinâmica de Sistemas, é possível avaliar simultaneamente como aspectos técnicos do novo produto, aspectos sociais do processo de difusão e as preferências do consumidor influenciam a evolução da parcela de mercado do novo produto no tempo.

O modelo foi testado em escala real para o caso do mercado de carros elétricos na Alemanha, estudando-se como a tecnologia de carregamento da bateria e a infraestrutura influenciam a adoção do consumidor. Esse experimento de simulação mostrou o potencial da abordagem proposta. Esforços futuros serão dedicados sobretudo à validação estrutural do modelo e à investigação de cenários adicionais de simulação.

## Referências

- AALSBERG, J. V. et al. The Bass Model. *Geophysical Research Abstracts*, v. 11, n. EGU2009-3296, 2009.
- ANAS, A. Discrete choice theory, information theory and the multinomial logit and gravity models. *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 17, n. 1, p. 13-23, 1983. [http://dx.doi.org/10.1016/0191-2615\(83\)90023-1](http://dx.doi.org/10.1016/0191-2615(83)90023-1)
- BASS, F. A New Product Growth for Model Consumer Durables: The Bass Model. *Management Science*, v. 50, n. 12, p. 1833-1840, 2004. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.1040.0300>
- BASS, F. M. A New Product Growth Model for Consumer Durables. *Management Science*, v. 15, n. 5, p. 215-227, 1969. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.15.5.215>

- BEGGS, S.; CARDELL, S.; HAUSMAN, J. Assessing the potential demand for electric cars. *Journal of Econometrics*, v. 17, n. 1, p. 1-19, 1981. [http://dx.doi.org/10.1016/0304-4076\(81\)90056-7](http://dx.doi.org/10.1016/0304-4076(81)90056-7)
- CHATTERJEE, R.; ELIASHBERG, J. The innovation diffusion process in a heterogeneous population: a micromodeling approach. *Management Science*, v. 36, n. 9, p. 1057-1079, 1990. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.36.9.1057>
- CHEN, Y.; CARRILLO, J. E. Single firm product diffusion model for single-function and fusion products. *European Journal of Operational Research*, v. 214, n. 2, p. 232-245, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2011.04.030>
- DODSON, J. A.; MULLER, E. Models of new product diffusion through advertising and word-of-mouth. *Management Science*, v. 24, n. 15, p. 1568-1578, 1978. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.24.15.1568>
- DRAKOPOULOS, S. A. The implicit psychology of the theory of the rational consumer: an interpretation. *Australian Economic Papers*, v. 29, n. 55, p. 182-198, 1990. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-8454.1990.tb00517.x>
- DUBÉ, J. P.; HITSCH, G.; JINDAL, P. *The Joint Identification of Utility and Discount Functions from Stated Choice Data: An Application to Durable Goods Adoption*. Cambridge: National Bureau of Economic Research, 2012. Working Paper 18393, Disponível em: <<http://www.nber.org/papers/w18393>>. Acesso em: jan. 2013. <http://dx.doi.org/10.3386/w18393>
- DUBÉ, J. P.; HITSCH, G.; JINDAL, P. *Estimating Durable Goods Adoption Decisions From Stated Choice Data*. Chicago: University of Chicago, 2011. Working Paper. Disponível em: <<http://home.uchicago.edu/~pjindal1/Dube-Hitsch-Jindal-Discount-factors.pdf>>. Acesso em: jan. 2013.
- EWING, G.; SARIGÖLLÜ, E. Assessing consumer preferences for clean-fuel vehicles: A discrete choice experiment. *Journal of Public Policy & Marketing*, v. 19, n. 1, p. 106-118, 2000. <http://dx.doi.org/10.1509/jppm.19.1.106.16946>
- FIGUEIREDO, J. C. B. Estudo da difusão da tecnologia móvel celular no Brasil: uma abordagem com o uso de Dinâmica de Sistemas. *Produção*, v. 19, n. 1, p. 230-245, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132009000100015>
- FORNERINO, M. Internet Adoption in France. *The Service Industries Journal*, v. 23, n. 1, p. 119-135, 2003. <http://dx.doi.org/10.1080/02642060412331300812>
- FORRESTER, J. W. *Industrial Dynamics*. Cambridge: MIT Press, 1961.
- FRENZEL, A.; GRUPP, H. Using models of innovation diffusion to forecast market success: a practitioners' guide. *Research Evaluation*, v. 18, n. 1, p. 39-50, 2009. <http://dx.doi.org/10.3152/095820209X393172>
- GENSCH, D. H.; RECKER, W. W. The multinomial, multiattribute logit choice model. *Journal of Marketing Research*, v. 16, n. 1, p. 124-132, 1979. <http://dx.doi.org/10.2307/3150883>
- GOLDENBERG, J.; LIBAI, B.; MULLER, E. The chilling effects of network externalities. *International Journal of Research in Marketing*, v. 27, n. 1, p. 4-15, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijresmar.2009.06.006>
- GREEN, P. E.; KRIEGER, A. M.; WIND, Y. Thirty Years of Conjoint Analysis: Reflections and Prospects. *Interfaces*, v. 31, n. 3, p. S56-S73, 2001. <http://dx.doi.org/10.1287/inte.31.3s.56.9676>
- HORSKY, D. A diffusion model incorporating product benefits, price, income and information. *Marketing Science*, v. 9, n. 4, p. 342-365, 1990. <http://dx.doi.org/10.1287/mksc.9.4.342>
- KALISH, S. A new product adoption model with price, advertising and uncertainty. *Management Science*, v. 31, n. 12, p. 1569-1585, 1985. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.31.12.1569>
- KIM, W.-J.; LEE, J.-D.; KIM, T.-Y. Demand forecasting for multigenerational products combining discrete choice and dynamics of diffusion under technological trajectories. *Technological Forecasting & Social Change*, v. 72, n. 7, p. 825-849, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2003.09.003>
- KLASEN, J.; NEUMANN, D. An agent-based method for planning innovations. *International Journal of Innovation and Sustainable Development*, v. 5, n. 2-3, p. 159-184, 2011.
- KRENG, V. B.; WANG, B. J. An innovation diffusion of successive generations by system dynamics: An empirical study of Nike Golf Company. *Technological Forecasting & Social Change*, v. 80, p. 77-87, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2012.08.002>
- LEE, D. H. et al. Analysis on the feedback effect for the diffusion of innovative technologies focusing on the green car. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 80, n. 3, p. 498-509, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2012.08.009>
- LEE, J. et al. Forecasting future demand for large-screen television sets using conjoint analysis with diffusion model. *Technological Forecasting & Social Change*, v. 73, n. 4, p. 362-376, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2004.12.002>
- LIM, J. et al. Forecasting 3G mobile subscription in China: A study based on stochastic frontier analysis and a Bass diffusion model. *Telecommunications Policy*, v. 36, n. 10-11, p. 858-871, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.telpol.2012.07.016>
- MAHAJAN, V.; MULLER, E.; WIND, Y. *New-Product Diffusion Models*. London: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- MAIER, F. H. New product diffusion models in innovation management: a system dynamics perspective. *System Dynamics Review*, v. 14, n. 4, p. 285-308, 1998. [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1727\(199824\)14:4<285::AID-SDR153>3.0.CO;2-F](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1099-1727(199824)14:4<285::AID-SDR153>3.0.CO;2-F)
- MARTEL, A. La recherche instrumentale sectorielle en sciences de l'administration. In: AUDET, M.; MALOUIN, J.-L. *La production des connaissances scientifiques de l'administration: The generation of scientific administrative knowledge*. Québec: Les Presses de l'Université Laval, 1986.
- MATTESSICH, R. *Instrumental reasoning and systems methodology*. Reidel Pub. Co., 1978. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-010-9431-3>
- McDADE, S.; OLIVA, T. A.; THOMAS, E. Forecasting organizational adoption of high-technology product innovations separated by impact: Are traditional macro-level diffusion models appropriate?. *Industrial Marketing Management*, v. 39, n. 2, p. 298-307, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indmarman.2008.11.002>
- MEADE, N.; ISLAM, T. Modelling and forecasting the diffusion of innovation: a 25-year review. *International Journal of Forecasting*, v. 22, n. 3, p. 519-545, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijforecast.2006.01.005>

- MEYER, P. E.; WINEBRAKE, J. Modeling technology diffusion of complementary goods: The case of hydrogen vehicles and refueling infrastructure. *Technovation*, v. 29, n. 2, p. 77-91, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.technovation.2008.05.004>
- MILLING, P. Decision support for marketing new products, In: ARACIL, J.; MACHUCA, J. A. D.; KARSKY, M. (Ed.). *System Dynamics: On the Move*. Seville: The System Dynamics Society, 1986. p. 787-793.
- MOOY, R. M.; LANGLEY, D. J.; KLOK, J. The ACMI adoption model: predicting the diffusion of innovation. In: SYSTEM DYNAMICS CONFERENCE, 2004, Oxford. *Proceedings...* Oxford, 2004.
- NEUMANN, D. Previsão e Planejamento de Demanda de Novos Produtos: uma abordagem integrada. *Revista Mundo Logística*, v. 15, p. 54-72, mar./abr. 2010.
- PARK, S. Y.; KIM, J. W.; LEE, D. H. Development of a market penetration forecasting model for Hydrogen FuelCell Vehicles considering infrastructure and cost reduction effects. *Energy Policy*, v. 39, n. 6, p. 3307-3315, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.03.021>
- SEGAL, R. Forecasting the market for electric vehicles in california using conjoint analysis. *Energy Journal*, v. 16, n. 3, p. 89-112, 1995. <http://dx.doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol16-No3-4>
- SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. *Metodologia da Pesquisa e Elaboração de dissertação*. 4. ed. rev. atual. Florianópolis: Laboratório de Ensino à Distância da UFSC, 2005. p. 138.
- STERMAN, J. D. *Business Dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. Boston: McGraw-Hill Higher Education, 2000.
- THUN, J.-H.; GRÖBLER, A.; MILLING, P. M. The Diffusion of Goods Considering Network Externalities: A System Dynamics-Based Approach. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE SYSTEM DYNAMICS SOCIETY SUSTAINABILITY IN THE THIRD MILLENNIUM, 18., Bergen, 2000. *Proceedings...* Bergen, 2000.
- TSAI, B. H.; LI, Y.; LEE, G. H. Forecasting global adoption of crystal display televisions with modified product diffusion model. *Computers & Industrial Engineering*, v. 58, n. 4, p. 553-562, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2009.12.002>
- TSENG, F. M.; HU, Y. C. Quadratic-interval Bass model for new product sales diffusion. *Expert Systems with Applications*, v. 36, n. 4, p. 8496-8502, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2008.10.078>
- URBAN, G. L.; HAUSER, J. R. *Design and marketing of new products*. Prentice Hall, 1980.
- VOETH, M. *Nutzenmessung in der Kaufverhaltensforschung: die Hierarchische Individualisierte Limit Conjoint-Analyse*. Deutscher Universitäts-Verlag; Auflage, 2000. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-322-91477-4>

## A novel demand forecasting model for radical innovation

### Abstract

This work presents a novel simulation-based forecasting approach combining concepts from the Bass Diffusion Model and the Discrete Choice Model from a System Dynamics perspective. The proposed approach allows for the forecasting of the adoption rate and the timing of adoption by examining the underlying preferences of individual customers and the social forces that influence these underlying preferences. A real-scale preliminary application to the German market for electric cars, parameterized through a conjoint analysis, is provided. Simulation results show the potential of the proposed approach, which provides evidence for the main factors that influence the electric vehicle adoption process in Germany.

### Keywords

Demand forecasting. System dynamics. Automotive industry. Market research.