

A escolha de não ser discreto: discutindo a utilização de modelos discretos contínuos no transporte de carga

The choice of not being discrete: Discussing the use of discrete continuous models in freight transport

Rodrigo Javier Tapia¹, Ana Margarita Larranaga², Helena Beatriz Cybis³, Gerard de Jong⁴

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul – Brasil, rodrigo.tapia@ufrgs.br

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul – Brasil, analarra@producao.ufrgs.br

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul – Brasil, helenabc@producao.ufrgs.br

⁴University of Leeds, West Yorkshire – Reino Unido, g.c.dejong@its.leeds.ac.uk

Recebido:

16 de junho de 2020

Aceito para publicação:

30 de setembro de 2020

Publicado:

16 de novembro de 2020

Editor de área:

Cira Pitombo

Palavras-chaves:

MDCEV.

Transporte de carga.

Modelos de escolha.

Keywords:

MDCEV.

Freight Transport.

Choice modelling.

RESUMO

O transporte de carga tem utilizado os modelos herdados do transporte de passageiros e com eles todos seus pressupostos tradicionais. Mas são todos eles válidos? O presente artigo visa discutir sobre um dos pressupostos menos contestados neste processo de modelagem: o da exclusividade mútua das alternativas no contexto do transporte de carga. Para isso, este artigo apresenta uma aplicação de *Multiple Discrete Extreme Value Model* (MDCEV) para a escolha de modo e porto para os consolidadores de grãos na Argentina. O modelo é desenvolvido a partir de uma pesquisa de Preferência Declarada que permitia a escolha de mais de uma alternativa simultaneamente. A escolha é descrita pelo Tempo de Viagem, Tempo de Espera do Serviço, Preço de venda no porto e Custo do Frete. O MDCEV permitiu obter informação sobre o efeito da saciedade das diferentes alternativas. De esta maneira, o MDCEV pode ser uma ferramenta valiosa para a modelagem de escolhas táticas e estratégicas.

ABSTRACT

Freight transport has historically inherited the passage transport framework and model assumptions. But, are all of them valid? This paper discusses one of the least discussed assumptions: the mutual exclusiveness of alternatives in the freight context. To do so, a Multiple Discrete Extreme Value Model (MDCEV) has been used to describe the behavior of grain consolidators with data from a stated preference survey that allowed multiple alternatives to be chosen simultaneously. The choice is described by the Travel Time, Lead Time, Price paid in the port and Freight Price. The MDCEV gave insights regarding the satiation behavior of the grain consolidators. This way, the MDCEV can become a valuable tool for modeling tactical and strategic choices.

DOI:10.14295/transportes.v28i4.2020



1. INTRODUÇÃO

Os modelos de transporte de carga têm se desenvolvido a um ritmo menor do que os modelos de transporte de passageiros, especialmente no que se refere aos modelos comportamentais (Hensher e Figliozzi, 2007). Este desenvolvimento contrasta com a crescente relevância do transporte de carga, tanto para o desenvolvimento econômico como para a mitigação de questões ambientais.

Dentre os motivos mais citados pelo menor desenvolvimento dos modelos de transporte de carga se encontra principalmente a maior dificuldade para a obtenção de dados desagregados devido à natureza comercialmente sensível da informação gerada (Brooks e Trifts, 2008; Rashidi e Roorda, 2018). Como consequência, os modelos que são usados para estudar a divisão modal (e outras escolhas) no transporte de carga tendem a ser agregados, o que limita sua interpretação comportamental (Ellison *et al.*, 2017; Pourabdollahi *et al.*, 2013).

Essa limitação assume maior importância à luz da crescente complexidade das cadeias de suprimento. As cadeias de suprimento modernas possuem um maior número de atores relevantes, interações mais complexas de produtos e escolhas do que anteriormente. Neste contexto toma maior força a necessidade de contar com modelos desagregados que permitam incorporar este comportamento (Arunotayanun e Polak, 2009; Chow *et al.*, 2010; de Jong *et al.*, 2013; Hensher e Figliozzi, 2007).

Devido à falta de desenvolvimento de modelos específicos para o transporte de carga, os estudos de carga têm adotado os modelos de escolhas do transporte de passageiros. Especificamente, os estudos têm adaptado os modelos de escolha discreta para o contexto de carga (Chow *et al.*, 2010; Danielis e Marcucci, 2007; de Jong *et al.*, 2013; Rich *et al.*, 2009; Vellay e de Jong, 2003). Portanto, os pressupostos básicos dos modelos de escolha discreta também foram incorporados nos estudos de carga, sendo que, muitas vezes essas hipóteses não se verificam e podem até invalidar os resultados. O pressuposto mais básico refere-se ao processo de escolha e às características das alternativas a serem escolhidas. A teoria microeconômica que embasa os modelos de escolha discreta determina que as alternativas devam ser coletivamente exaustivas (todas as alternativas possíveis para uma escolha) e mutuamente exclusivas (a escolha de uma alternativa impede a escolha de outra) (Train, 2003). Entretanto, os estudos de carga podem ter uma complexidade maior devido aos diferentes níveis de planejamento e agregação das escolhas. Assim, a utilização de modelos alternativos é necessária.

Existem modelos de escolha que se afastam da exclusividade das alternativas, como por exemplo, os *multiple discrete models* (MD) (Hendel, 1999). Nestes modelos, mais de uma alternativa pode ser escolhida simultaneamente, quebrando a exclusividade das alternativas. Dentro deste tipo de modelos destaca-se o *Multiple Discrete Extreme Value Model* (MDCEV) (Bhat, 2005, 2008) que permite modelar quais alternativas são escolhidas (parte discreta) e com que intensidade são escolhidas (parte contínua).

Assim, este artigo contribui para a proposição e estimação de modelos de escolha para transporte de carga, alternativos aos modelos de escolha discreta tradicionalmente utilizados na modelagem de transporte de passageiros. O objetivo deste artigo é analisar e discutir a natureza das escolhas no transporte de carga, avaliando a existência de casos onde a exclusividade das alternativas não é cumprida. Adicionalmente, será apresentado o caso de escolha de modo e destino de transporte de grãos na Argentina, modelado sob a ótica do MDCEV para ilustrar como novos conhecimentos sobre o transporte de carga podem ser obtidos com este novo foco. Para isso foi utilizado um estudo de preferência declarada para os consolidadores de grãos nas principais áreas produtivas da Argentina.

As próximas sessões deste artigo são estruturadas da seguinte maneira: A seção 2 apresenta uma revisão da literatura sobre os MD no transporte de passageiros e de carga. A seção 3 apresenta o estudo de caso e os dados utilizados. A seção 4 apresenta o modelo MDCEV e a seção 5, a discussão sobre o uso de MD no transporte de carga. Finalmente, a seção 6 apresenta as conclusões do artigo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os modelos de escolha discreta tiveram sua introdução com o modelo Multinomial Logit (MNL) pelo McFadden (1973). A partir desse primeiro modelo foram desenvolvidos diferentes modelos econométricos visando resolver diferentes hipóteses que limitavam sua aplicação. Por exemplo, o Nested Logit foi desenvolvido para evitar os problemas que provém da hipótese de independência de alternativas irrelevantes. Um dos principais pressupostos do modelo é que as alternativas sejam coletivamente exaustivas e mutuamente exclusivas (Train, 2003). Este pressuposto se baseia no conceito que as alternativas são substitutos perfeitos de cada uma.

Para incluir este pressuposto, surgiram os modelos MD (Hendel, 1999). Embora tenham existido alguns esforços anteriores, como por exemplo Von Haefen & Phaneuf (2005) e Von Haefen et al. (2004), os modelos MD não obtiveram relevância até o Multiple Discrete Extreme Value Model (MDCEV) (Bhat, 2005; 2008). O MDCEV oferece uma expressão da verossimilhança simples e consistente com o MNL.

A função utilidade do MDCEV é composta por duas partes. Uma que apresenta a utilidade de base (V_k) e outra dada pelos componentes que regulam a quantidade consumida (γ_k e α_k). Os parâmetros γ_k e α_k são os que regulam a saciedade de cada alternativa, pois atuam como um moderador da utilidade de base ao diminuir a utilidade de cada alternativa quando a alternativa for utilizada. Por possuírem funções similares na função utilidade, o efeito de cada uma não pode ser distinguido e, portanto, somente podem ser estimadas em separado. O perfil gamma é estimado quando o α_k é constante e vice-versa. As funções utilidade e de verossimilhança do MDCEV são apresentadas a continuação (Equação 1 e 2).

$$(x) = \sum_{k=1}^K \frac{\gamma_k}{\alpha_k} \psi_k \left\{ \left(\frac{x_k}{\gamma_k} + 1 \right)^{\alpha_k} - 1 \right\} \tag{1}$$

$$LL = \sum \left(\frac{1}{\sigma^{M-1}} \left[\prod_{i=1}^M c_i \right] \left[\sum_{i=1}^M \frac{1}{c_i} \right] \left[\frac{\prod_{i=1}^M e^{V_k/\sigma}}{\left(\sum_{k=1}^K e^{V_k/\sigma} \right)} \right] \right) (M - 1)! \tag{2}$$

onde $\psi_k = e^{V_k + \varepsilon}$, $c_i = \left(\frac{1 - \alpha_i}{e_i + \gamma_i} \right)$, V_k , $\beta_k z_k$ são vetores de coeficientes e atributos, x_k e e_i são as quantidades consumidas da alternativa e M é a quantidade de alternativas escolhidas simultaneamente.

O MDCEV teve diferentes aplicações desde seu desenvolvimento. A maioria delas se refere a modelos de uso do tempo, onde são estudadas quais atividades são realizadas e quanto tempo é alocado a cada uma (Astroza et al., 2018; Bhat et al., 2006; Calastri et al., 2017; Copperman e Bhat, 2007; Enam et al., 2018; Nurul Habib e Miller, 2008; Paleti et al., 2011; Sikder e Pinjari, 2013; Spissu et al., 2009). Outras aplicações frequentes são relativas ao uso de veículos, onde a variável discreta é qual veículo utilizar (ou comprar) e por quantos quilômetros ele é dirigido (Ahn et al., 2008; Bhat e Sen, 2006; Jian et al., 2017; Shin et al., 2012; Tanner e Bolduc, 2014).

No transporte de carga urbana as aplicações são escassas. Algumas aplicações relativas a modelos de uso do tempo se referem à escolha de quando (que faixa horária) uma entrega é realizada e que tipo de rota foi adotada (Khan e Machemehl, 2017a; 2017b). Em relação a modelos de uso de veículos, o MDCEV foi utilizado para analisar a escolha de frota de entrega (Rashidi e Roorda, 2018).

Além dos usos na área de transportes, existem algumas aplicações do MDCEV. O modelo foi utilizado para analisar o consumo residencial de combustível (Huh et al., 2018), efeito de promoções no consumo de álcool em supermercados (Lu et al., 2017) e embalagem (*packaging*) de leite para o consumo (Bonnet e Bouamra-Mechemache, 2016).

Embora o MDCEV não seja muito utilizado no transporte de carga (as únicas aplicações encontradas na literatura são as citadas anteriormente), a modelagem de variáveis discretas e contínuas não é uma novidade no setor de cargas. Uma escolha muito relevante no contexto logístico é a escolha do tamanho de envio e do modo de transporte. Os artigos encontrados que modelam esta escolha não utilizam um enquadramento conceitual (*framework*) discreto contínuo, mas aplicam um enfoque sequencial ou discretizam a variável volume em diferentes faixas de valor (Abdelwahab e Sargious, 1992; de Jong e Ben-Akiva, 2007; Holguín-Veras, 2002; Johnson e de Jong, 2011; Mcfaden *et al.*, 1986; Windisch *et al.*, 2010).

3. DADOS

Os dados utilizados no modelo MDCEV discutido neste artigo são provenientes de uma pesquisa de preferência declarada (PD) destinada a consolidadores de carga de grãos na Argentina. As principais zonas produtivas do país são apresentadas na Figura 1. Os principais portos exportadores de grãos do país são Rosario (70%), Bahia Blanca (16%) e Quequén (12%).

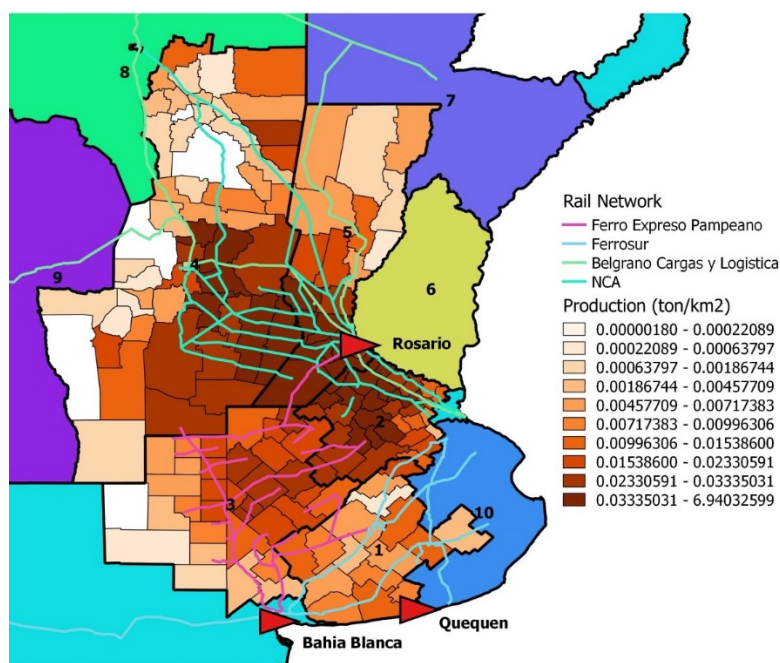


Figura 1. Regiões produtivas de Argentina

A escolha do tomador de decisão no transporte de carga é uma escolha de modelagem importante para os modelos comportamentais de carga. Em contraste com o transporte de passageiros, o tomador de decisão varia em função do poder relativo que diferentes atores têm nas diversas cadeias produtivas. No caso da cadeia produtiva dos grãos na Argentina (Figura 2), foram escolhidos os consolidadores uma vez que estes são os atores centrais, que regulam a venda de grãos para os portos ou a indústria. Os grãos considerados foram a soja, milho, trigo e sorgo, todos eles compatíveis com o transporte em caminhão e em trem. Embora os produtores possam vender diretamente para o destino final, este canal é reservado para alguns grandes produtores, e somente quando eles não precisam dos serviços oferecidos pelo consolidador (como secador de sementes). O foco do presente artigo estará concentrado na primeira etapa da comercialização, dado que tanto os exportadores como a indústria concentram-se nas áreas portuárias.

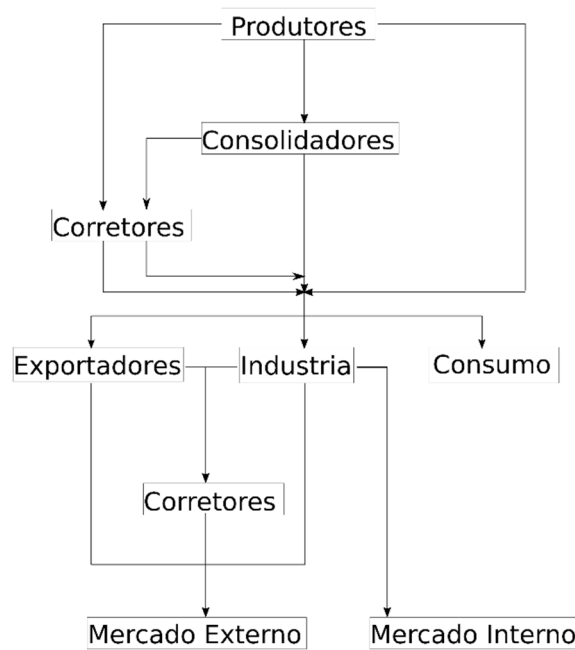


Figura 2. Cadeia de produção de grãos na Argentina (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2009)

Diferentes situações de escolha (12 situações, conforme descrito no projeto experimental a seguir) foram apresentadas aos consolidadores. Cada situação representou um cenário de venda de mercadoria para dois portos, podendo ser transportados por trem ou por caminhão, totalizando quatro alternativas disponíveis em cada situação de escolha. Em cada uma, os entrevistados (consolidadores) deviam indicar qual porcentagem (variável contínua) de carga alocariam para cada uma das quatro alternativas (variável discreta). A utilização deste tipo de variável resposta permite confirmar a hipótese de que, pelo menos neste contexto em particular, a escolha não é sempre uma simples alternativa discreta, mas às vezes pode apresentar uma dimensão múltipla. Esta multiplicidade pode ocorrer devido ao planejamento dos envios com o objetivo de satisfazer e manter relacionamentos comerciais com vários clientes.

O projeto de experimentos foi elaborado a partir de um desenho eficiente (Rose e Bliemer, 2009), apresentando 12 cartões por respondente e 6 variáveis e 3 níveis cada foram testadas. Mais detalhes da pesquisa podem ser consultados em Tapia *et al.* (2019), onde o foco foi a obtenção de dados e a comparação entre os modelos discreto contínuos e os modelos discretos tradicionais. As variáveis utilizadas foram o preço no porto (preço FAS segundo incoterms), o preço do frete, o tempo de viagem, o tempo de espera pelo serviço de transporte, a confiabilidade do serviço de transporte e a carga mínima necessária para utilizar o serviço. Adicionalmente, foram formuladas perguntas sobre a empresa, como por exemplo, o tamanho do estabelecimento, a posse ou não de caminhões próprios e a utilização do modo ferroviário para envios anteriores. A Figura 3 ilustra um exemplo de situação de escolha apresentado aos consolidadores.

A pesquisa foi enviada por e-mail a 467 destinatários e, por causa da baixa quantidade de respostas, 127 deles foram contatados por telefone para explicar a importância da pesquisa e dar instruções. Finalmente respostas de 58 consolidadores foram obtidas, totalizando 670 respostas. Embora a quantidade de respondentes pareça pequena, no contexto do transporte de carga resulta uma amostra aceitável (Tapia *et al.*, 2019). Todos os modelos foram estimados usando o pacote *apollo* (Hess e Palma, 2019) na linguagem R.

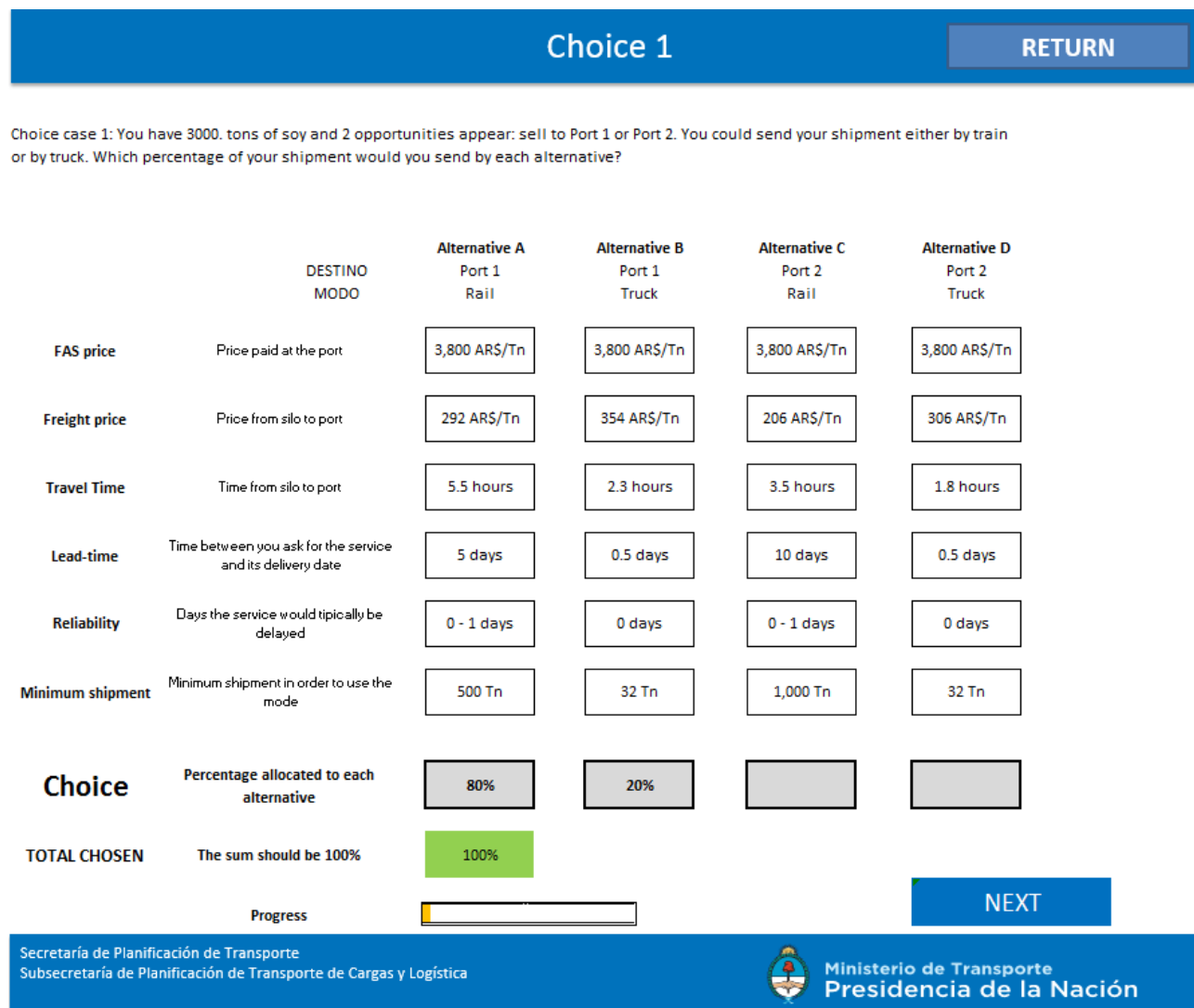


Figura 3. Exemplo de situação de escolha da PD

4. RESULTADOS

A análise das respostas obtidas permitiu verificar que a variável contínua teve uma boa aceitação entre os respondentes. Dos 58 respondentes, só 5 optaram por uma escolha discreta: isto é, escolheram uma única alternativa dentre as 12 situações de escolha apresentadas. No total, 15% das observações teve somente uma alternativa escolhida, o que dá força à hipótese de que decisões desta natureza nem sempre são discretas.

A Tabela 1 mostra os resultados da aplicação do MDCEV, utilizando o perfil gamma e considerando o efeito painel. Foram usadas 200 *halton draws* para a obtenção dos modelos mistos. Além dos modelos mistos de coeficientes aleatórios, foram testados modelos de componentes do termo do erro para testar correlações entre as alternativas, mas nenhum resultou significativo.

Especificações não lineares foram testadas, utilizando transformações logarítmicas para o Tempo de Espera e para o Tempo de Viagem na função de utilidade. Contrariamente ao encontrado na literatura, a confiabilidade não foi estatisticamente significativa. Este resultado pode ser devido à relativa baixa quantidade de respondentes.

Tabela 1 – Resultado do modelo MDCEV

| Variável | Parâmetro estimado | Valor t-test |
|--|--------------------|--------------|
| CTE_A | - | |
| CTE_B | -1,5152 | -2,00 |
| CTE_C | -0,0182 | -0,06 |
| CTE_D | -1,5376 | -1,76 |
| Tempo de Viagem | -1,2329 | -2,68 |
| Tempo de espera | -0,8503 | -4,13 |
| Custo do Frete (Média) | -1,3391 | -11,37 |
| Custo do Frete (Std)* | 0,8029 | 12,23 |
| Preço no Porto (Média) | -1,2115 | -5,26 |
| Preço no Porto (Std) | 1,0556 | 6,50 |
| Gamma_A | 2,6778 | 12,25 |
| Gamma_B = Gamma_D | 2,4269 | 13,41 |
| Gamma_C | 2,8975 | 14,73 |
| Interação propriedade de caminhões com alternativa D | 0,5497 | 1,83 |
| N | 670 | |
| LL Final | -4907,947 | |
| Adj ρ^2 | 0,78 | |

As médias do Preço do Porto e do Custo do Frete são da distribuição normal da distribuição lognormal.
O sinal da alternativa foi dado pelos pesquisadores

As variáveis explicativas do modelo foram o Tempo de Viagem, Custo do Frete, o Tempo de Espera pelo serviço e o Preço no Porto. Todas as variáveis tiveram o sinal esperado conforme a teoria microeconômica: quanto maior o tempo, custo do frete e tempo de espera menor utilidade; e quanto maior preço do porto, maior utilidade.

Os valores obtidos de disposição a pagar estão dentro dos valores esperados. O valor do tempo obtido pelo MDCEV foi em média de 0,88 US\$/ton/hora. O valor obtido em Tapia et al. (2019), que foi de 1,49 US\$/ton/hora para uma situação similar. Porém, ficou dentro do intervalo de 0,1 a 3,4 US\$/ton/hora, reportados em outros artigos (de Jong *et al.*, 2013; Larranaga *et al.*, 2017).

A heterogeneidade aleatória foi capturada com termos de distribuição lognormais para os coeficientes do Preço no Porto e Custo do Frete. A inclusão de lognormais foi preferida frente a distribuições normais uma vez que garantem que o sinal do coeficiente seja sempre o mesmo (sempre negativo para o preço do frete e positivo para o preço no porto). Além disso, as lognormais nunca apresentam valor zero, o que evita problemas na estimação de disposição a pagar (Daly *et al.*, 2012).

O MDCEV possui coeficientes específicos para regular a quantidade que as alternativas são consumidas, isto é, o parâmetro gamma. A interpretação deste parâmetro está ligada com a saciedade de cada alternativa. Esta saciedade pode ser interpretada como o quanto a alternativa colabora para satisfazer a necessidade que motivou a escolha. O parâmetro gamma tem que ser estritamente positivo, portanto, é realizada uma transformação exponencial para garantir este requisito do modelo.

Quanto maior o valor do parâmetro gamma, menor é a saciedade. Uma menor saciedade está associada com um maior consumo da alternativa. Considerando duas alternativas com a mesma utilidade, a alternativa com menor gamma terá uma maior quantidade consumida do que a outra alternativa.

No modelo foram estimados parâmetros γ específicos por modo, um para cada alternativa do trem (alternativas A e C) e outro para o caminhão (alternativas B e D). O resultado sugere que a saciedade é maior para o trem do que para o caminhão. Este resultado é esperado uma vez que o trem está associado a carregamentos maiores. Adicionalmente, os consolidadores que possuem caminhões evidenciam uma menor saciedade para o caminhão do porto mais próximo (alternativa D). Isto pode refletir a preferência do consolidador pelo uso dos seus próprios caminhões no destino, o qual permite maximizar a rotação dos veículos (um porto mais próximo permite que o caminhão esteja disponível logo para ser utilizado novamente). Estas interpretações do comportamento de escolha são parte das informações adicionais que os modelos discretos contínuos podem fornecer no contexto do transporte de carga. Utilizando a abordagem tradicional de modelos de escolha discreta, essas particularidades não poderiam ser capturadas.

Porém, o uso do MDCEV depende do objetivo da modelagem. A aderência aos pressupostos dos modelos é importante ao analisar as relações entre as magnitudes dos parâmetros, como por exemplo, no cálculo dos coeficientes de disposição a pagar (valor do tempo). Para esse tipo de cálculo é fundamental a utilização de modelos que tenham boa aderência ao comportamento modelado, de modo a capturar adequadamente o *trade-off* envolvido nas escolhas e reduzir o viés nas estimações. Apesar das vantagens apresentadas, o modelo MDCEV não tem geralmente um bom desempenho quando usado para previsões (Jäggi *et al.*, 2013; Tapia *et al.*, 2019). Como causa, pode ser apontada a dificuldade do modelo em obter uma boa acurácia na parte discreta da predição. Bhat (2018) apontou que o motivo desta deficiência é o fato da utilidade que modela a parte discreta ser a mesma que modela a contínua. Por este motivo, ele desenvolveu um novo MDCEV separando as duas funções de utilidade. Este novo modelo só foi desenvolvido para casos onde existe um *outside good*, uma alternativa que é escolhida em todas as situações, razão pela qual, não pode ser aplicado neste estudo de caso.

5. DISCUSSÃO

As implicações da utilização de um modelo que permite escolher múltiplas alternativas extrapolam a interpretação de um novo parâmetro, ou uma melhor interpretação do comportamento dos tomadores de decisão. Invalidar o conceito de exclusividade na escolha significa assumir que, em alguns contextos como no estudo de caso deste artigo, as alternativas não são substitutas perfeitas e, portanto, os modelos tradicionais não conseguem contemplar adequadamente as complexidades da tomada de decisão. Esta discussão não invalida as aplicações de muitos modelos, senão permite incorporar uma maior complexidade na situação de escolha, quando requerido.

No transporte de passageiros, por exemplo, é bastante provável que as alternativas sejam substitutos perfeitos, pois as dimensões e horizontes de escolha são curtos. Geralmente, os modelos comportamentais de passageiros tendem a analisar uma escolha pontual, onde devido às características da viagem, só uma alternativa pode ser escolhida.

O transporte de carga, por outro lado, tem particularidades que permitem a complementariedade das alternativas de transporte. No âmbito do transporte de carga, as decisões dependem frequentemente do período de tempo considerado (Lóránt Tavasszy e de Jong, 2014). No curto prazo, a escolha modal pode ser interpretada como uma decisão operacional, de um vendedor que necessita levar sua mercadoria até o comprador, e neste caso um modelo de escolha discreta

pode representar o fenômeno decisório de forma satisfatória. Mas quando se considera a estratégia comercial de uma empresa, numa dimensão estratégica de planejamento, a natureza da escolha assume um contexto diferenciado.

Na estratégia comercial, abrangendo vários meses, mais de uma venda e modo de transporte são considerados e, portanto, mais de um modo pode ser escolhido. Neste caso, volumes podem ser alocados a mais de uma alternativa de forma consciente, já que nesta etapa tipicamente são estabelecidos contratos de transporte. A utilização de mais de um modo de transporte poderia reduzir o risco de interrupção, estimular o relacionamento comercial com várias empresas de transporte ou explorar as complementariedades dos diferentes modos. A complementariedade entre o trem e o caminhão, como é o caso da aplicação neste artigo, pode estar dada pelo menor custo do trem e uma maior velocidade e capacidade de resposta do caminhão. Através do planejamento de volumes agregados podem ser diagramados os esforços de consolidação de carga para completar as formações do trem e estabelecer capacidade de reagir a variações na demanda.

Mesmo que no transporte de passageiros os comportamentos possam ser agregados em um horizonte temporal, existem diferenças sobre como são realizadas as escolhas. Enquanto no transporte de passageiros a agregação é dada por uma sequência de decisões -discretas- individuais, no transporte de carga podem ser realizadas simultaneamente num mesmo momento e de maneira consciente.

O estudo de decisões que abrangem um período temporal maior se apresenta como uma grande oportunidade para o estudo do comportamento dos diferentes atores do transporte de carga. Podem ser analisadas escolhas tanto de modo e destino, como o presente artigo, ou outras escolhas mais complexas, como a localização de fábricas em diferentes localidades/países (*dual sourcing*) (Yu *et al.*, 2009). Neste contexto, a complementariedade pode ser dada em localizar (ou produzir uma determinada quantidade de produtos) uma fábrica onde os custos de mão de obra ou matéria prima sejam baixos, ou localizar num local mais perto do cliente e assim reduzir o tempo de atendimento.

O principal desafio para enfrentar as novas complexidades na modelagem de transporte de carga está relacionado com a disponibilidade e a qualidade dos dados. A obtenção de dados de preferência declarada ou revelada tem mostrado ser complexo, principalmente devido a dois motivos. Primeiro, as empresas não priorizam responder a pesquisas ou fornecer dados. Segundo, as empresas são receosas a divulgar informações, por temor a que estas possam ser utilizadas pela concorrência. Porém, novas fontes de dados oferecem oportunidades para superar esses desafios, possibilitando a obtenção de dados de preferência revelada de outras fontes alternativas. O surgimento de grandes bases de dados (*big data* e *ubiquitous data*) tem provado ser disruptivo no que se refere a tipos de modelos usados em transporte de passageiros e possuem o potencial para ter o mesmo efeito no transporte de carga. Como exemplos destacam-se o surgimento de dados de origem fiscal (Nogueira e Bertoincini, 2018; Tapia *et al.*, 2019), de localização de facilidades logísticas (Binh, 2017) e pesquisas especiais de órgãos oficiais de estatística (de Bok e Tavasszy, 2018).

6. CONCLUSÃO

Este artigo discute algumas implicações sobre a flexibilização dos modelos tradicionais de carga e apresenta um modelo discreto contínuo para modelar a tomada de decisão conjunta entre modo e destino para o transporte de grãos na Argentina.

Além de variáveis tradicionais para modelagem de escolhas (Tempo de Viagem, Tempo de Espera, Preço do Frete e Preço no Porto), foram utilizadas variáveis que regulam a saciedade de cada alternativa: o parâmetro gamma. O parâmetro gamma do MDCEV apresenta uma função importante no processo de modelagem. Ele permite ter uma noção da quantidade de um bem que será consumido, uma vez que este seja escolhido, possibilitando uma maior coerência entre o processo de escolha de modo e porto e o modelo desenvolvido. Em linha com o esperado, os resultados obtidos indicam que o modal ferroviário é utilizado para maiores volumes.

Uma das principais contribuições deste artigo é trazer a discussão sobre um pressuposto pouco tido em consideração no momento da modelagem: a substituição perfeita entre as alternativas. Os modelos discretos são construídos a partir da base conceitual de alternativas coletivamente exaustivas e mutuamente exclusivas. Pressuposto que não sempre é verificado no transporte de carga. Entretanto, este pressuposto foi adotado na maior parte dos modelos de transporte de carga estimados na literatura, utilizando os modelos de escolha discreta para modelagem da carga.

O transporte de carga possui maior complexidade do que o transporte de passageiros. O planejamento dos envios de carga tem diferentes dimensões, segundo o nível de planejamento analisado. Quanto mais agregadas e em longo prazo são as decisões, maior a probabilidade que mais de uma alternativa seja escolhida. Modelos MDCEV apresentam uma abordagem bastante promissora para a utilização de estudos estratégicos de transporte de carga, mesmo que em muitos casos o pressuposto de exclusividade das alternativas seja justificado, a adoção desta hipótese deve ser consciente tendo em vista as consequências na modelagem.

REFERÊNCIAS

- Abdelwahab, W. M., e Sargious, M. (1992) Modelling the Demand for Freight Transport: A New Approach. *Journal of Transport Economics and Policy*, 26(1), 49–70. doi: 10.2307/20052965
- Ahn, J., Jeong, G., e Kim, Y. (2008) A forecast of household ownership and use of alternative fuel vehicles: A multiple discrete-continuous choice approach. *Energy Economics*, 30(5), 2091–2104. doi:10.1016/j.eneco.2007.10.003
- Arunotayanun, K., e Polak, J. W. (2009) Accounting for Supply Chain Structures in Modelling Freight Mode Choice Behaviour. *European Transport Conference*, 44(0), 1–19.
- Astroza, S., Bhat, P. C., Bhat, C. R., Pendyala, R. M., e Garikapati, V. M. (2018) Understanding activity engagement across weekdays and weekend days: A multivariate multiple discrete-continuous modeling approach. *Journal of Choice Modelling*, 28(May), 56–70. doi:10.1016/j.jocm.2018.05.004
- Bhat, C. R. (2005) A multiple discrete-continuous extreme value model: Formulation and application to discretionary time-use decisions. *Transportation Research Part B: Methodological*, 39(8), 679–707. doi:10.1016/j.trb.2004.08.003
- Bhat, C. R. (2008) The multiple discrete-continuous extreme value (MDCEV) model: Role of utility function parameters, identification considerations, and model extensions. *Transportation Research Part B: Methodological*, 42(3), 274–303. doi:10.1016/j.trb.2007.06.002
- Bhat, C. R. (2018) A new flexible multiple discrete-continuous extreme value (MDCEV) choice model. *Transportation Research Part B: Methodological*, 110, 261–279. doi:10.1016/j.trb.2018.02.011
- Bhat, C. R., e Sen, S. (2006) Household vehicle type holdings and usage: An application of the multiple discrete-continuous extreme value (MDCEV) model. *Transportation Research Part B: Methodological*, 40(1), 35–53. doi:10.1016/j.trb.2005.01.003
- Bhat, C. R., Srinivasan, S., e Sen, S. (2006) A joint model for the perfect and imperfect substitute goods case: Application to activity time-use decisions. *Transportation Research Part B: Methodological*, 40(10), 827–850. doi:10.1016/j.trb.2005.08.004
- Binh, N. T. (2017) *A Multi-Stage Impact Assessment Method for Freight Transport Management Measures*. Technische Universität Darmstadt.
- Bonnet, C., e Bouamra-Mechemache, Z. (2016) Organic Label, Bargaining Power, and Profit-sharing in the French Fluid Milk Market. *American Journal of Agricultural Economics*, 98(1), 113–133. doi:10.1093/ajae/aav047
- Brooks, M. R., e Trifts, V. (2008) Short sea shipping in North America: Understanding the requirements of Atlantic Canadian shippers. *Maritime Policy and Management*, 35(2), 145–158. doi:10.1080/03088830801956805
- Calastri, C., Hess, S., Choudhury, C., Daly, A., e Gabrielli, L. (2017) Mode choice with latent availability and consideration: Theory and a case study. *Transportation Research Part B: Methodological*, 123, 374–385. doi:10.1016/j.trb.2017.06.016

- Chow, J. Y. J., Yang, C. H., e Regan, A. C. (2010) State-of-the art of freight forecast modeling: Lessons learned and the road ahead. *Transportation*, 37(6), 1011–1030. doi:10.1007/s11116-010-9281-1
- Copperman, R. B., e Bhat, C. R. (2007) An analysis of the determinants of children's weekend physical activity participation. *Transportation*, 34(1), 67–87. doi:10.1007/s11116-006-0005-5
- Daly, A., Hess, S., e Train, K. (2012) Assuring finite moments for willingness to pay in random coefficient models. *Transportation*, 39(1), 19–31. doi:10.1007/s11116-011-9331-3
- Danielis, R., e Marcucci, E. (2007) Attribute cut-offs in freight service selection. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(5), 506–515. doi:10.1016/j.tre.2005.10.002
- de Bok, M., e Tavasszy, L. (2018) An empirical agent-based simulation system for urban goods transport (MASS-GT). *Procedia Computer Science*, 130, 126–133. doi:10.1016/j.procs.2018.04.021
- de Jong, G., e Ben-Akiva, M. (2007) A micro-simulation model of shipment size and transport chain choice. *Transportation Research Part B: Methodological*, 41(9), 950–965. doi:10.1016/j.trb.2007.05.002
- de Jong, G., Vierth, I., Tavasszy, L., e Ben-Akiva, M. (2013) Recent developments in national and international freight transport models within Europe. *Transportation*, 40(2), 347–371. doi:10.1007/s11116-012-9422-9
- Ellison, R. B., Teye, C., e Hensher, D. A. (2017) Commodity-based heavy vehicle model for Greater Sydney. *5th International Choice Modelling Conference*. Cape Town, South Africa. Disponível em: <http://www.icmconference.org.uk/index.php/icmc/ICMC2017/paper/view/1226>. Acessado em: 05/06/2019
- Enam, A., Konduri, K. C., Eluru, N., e Ravulaparthi, S. (2018) Relationship between well-being and daily time use of elderly: evidence from the disabilities and use of time survey. *Transportation*, 45(6), 1783–1810. doi:10.1007/s11116-017-9821-z
- Hendel, I. (1999) Estimating Multiple-Discrete Choice Models: An Application to Computerization Returns Author(s) Estimating Multiple-Discrete Choice Models: An Application to Computerization Returns. *Review of Economic Studies*, 66(66), 423–446. doi:10.1111/1467-937X.00093
- Hensher, D., e Figliozzi, M. A. (2007) Behavioural insights into the modelling of freight transportation and distribution systems. *Transportation Research Part B: Methodological*, 41(9), 921–923. doi:10.1016/j.trb.2007.04.002
- Hess, S. e Palma, D. 2019; Apollo: a flexible, powerful and customisable freeware package for choice model estimation and application, *Journal of Choice Modelling*, Volume 32, September 2019, 100170, doi: 10.1016/j.jocm.2019.100170
- Holguín-Veras, J. (2002) Revealed Preference Analysis of Commercial Vehicle Choice Process. *Journal of Transportation Engineering*, 128(August), 336–346, doi: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2002)128:4(336).
- Huh, S. Y., Lee, H., Shin, J., Lee, D., e Jang, J. (2018) Inter-fuel substitution path analysis of the korea cement industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(June 2017), 4091–4099. doi:10.1016/j.rser.2017.10.065
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2009) Análisis de la cadena de soja en Argentina. *Proyecto Específico 2742: Economía de las Cadenas Agroalimentarias y Agroindustriales*, 119. Disponível em: https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-cadena_soja.pdf. Acesso em: 04/02/2019
- Jäggi, B., Weis, C., e Axhausen, K. W. (2013) Stated response and multiple discrete-continuous choice models: Analyses of residuals. *Journal of Choice Modelling*, 6, 44–59. doi:10.1016/j.jocm.2013.04.005
- Jian, S., Rashidi, T. H., e Dixit, V. (2017) An analysis of carsharing vehicle choice and utilization patterns using multiple discrete-continuous extreme value (MDCEV) models. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 103, 362–376. doi:10.1016/j.tra.2017.06.012
- Johnson, D., e de Jong, G. (2011) Heterogeneous response to transport cost and time and model specification in freight mode and shipment size choice. *International Choice Modelling Conference*. disponível em: <http://www.icmconference.org.uk/index.php/icmc/ICMC2011/paper/view/284>. Acesso em 21/05/2019.
- Khan, M., e Machemehl, R. (2017a) Commercial vehicles time of day choice behavior in urban areas. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 102, 68–83. doi:10.1016/j.tra.2016.08.024
- Khan, M., e Machemehl, R. (2017b) Analyzing tour chaining patterns of urban commercial vehicles. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 102, 84–97. doi:10.1016/j.tra.2016.08.014
- Larranaga, A. M., Arellana, J., e Senna, L. A. (2017) Encouraging intermodality: A stated preference analysis of freight mode choice in Rio Grande do Sul. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 102, 202–211. doi:10.1016/j.tra.2016.10.028
- Lu, H., Hess, S., Daly, A., e Rohr, C. (2017) Measuring the impact of alcohol multi-buy promotions on consumers' purchase behaviour. *Journal of Choice Modelling*, 24(2014), 75–95. doi:10.1016/j.jocm.2016.05.001
- McFadden, D. (1973) Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. *Frontiers in Econometrics*. doi:10.1108/eb028592
- McFadden, D., Winston, C., e Boersch-supan, A. (1986) Joint estimation of freight transportation decisions under non random sampling. Daugherty, A. (Ed.), *Analytical Studies in Transport Economics* (p. 137–157), Cambridge University Press.
- Nogueira, Í. M., e Bertoncini, B. V. (2018) Proposta de método para modelar a geração de viagens intermunicipais de transporte de cargas a partir de dados secundários. *32 Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET* (p. 2467–2470). Gramado. Disponível em: http://146.164.5.73:30080/tempsite/anais/documentos/2018/Modelos%20e%20Técnicas%20de%20Planejamento%20de%20Transportes/Modelagem%20Aplicada%20ao%20Transporte%20de%20Carga/5_168_RT.pdf. Acesso em: 07/03/2019
- Nurul Habib, K. M., e Miller, E. J. (2008) Modelling daily activity program generation considering within-day and day-to-day dynamics in activity-travel behaviour. *Transportation*, 35(4), 467–484. doi:10.1007/s11116-008-9166-8

- Paleti, R., Copperman, R. B., e Bhat, C. R. (2011) An empirical analysis of children's after school out-of-home activity-location engagement patterns and time allocation. *Transportation*, 38(2), 273–303. doi:10.1007/s11116-010-9300-2
- Pourabdollahi, Z., Karimi, B., e Mohammadian, A. (2013) Joint Model of Freight Mode and Shipment Size Choice. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2378(312), 84–91. doi:10.3141/2378-09
- Rashidi, T. H., e Roorda, M. J. (2018) A business establishment fleet ownership and composition model. *Transportation*, 45(3), 971–987. doi:10.1007/s11116-017-9758-2
- Rich, J., Holmblad, P. M., e Hansen, C. O. (2009) A weighted logit freight mode-choice model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(6), 1006–1019. doi:10.1016/j.tre.2009.02.001
- Rose, J. M., e Bliemer, M. C. J. (2009) Constructing efficient stated choice experimental designs. *Transport Reviews*, 29(5), 587–617. doi:10.1080/01441640902827623
- Shin, J., Hong, J., Jeong, G., e Lee, J. (2012) Impact of electric vehicles on existing car usage: A mixed multiple discrete-continuous extreme value model approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(2), 138–144. doi:10.1016/j.trd.2011.10.004
- Sikder, S., e Pinjari, A. R. (2013) The benefits of allowing heteroscedastic stochastic distributions in multiple discrete-continuous choice models. *Journal of Choice Modelling*, 9(1), 39–56. doi:10.1016/j.jocm.2013.12.003
- Spissu, E., Pinjari, A. R., Bhat, C. R., Pendyala, R. M., e Axhausen, K. W. (2009) An analysis of weekly out-of-home discretionary activity participation and time-use behavior. *Transportation*, 36(5), 483–510. doi:10.1007/s11116-009-9200-5
- Tanner, R., e Bolduc, D. (2014) The Multiple Discrete-continuous Extreme Value Model (MDCEV) with Fixed Costs. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 111, 390–399. doi:10.1016/j.sbspro.2014.01.072
- Tapia, R. J., de Jong, G., Larranaga, A. M., e Cybis Bettella, H. B. (2019) Exploring multiple discreteness in freight transport . A Multiple Discrete Extreme Value Model application for grain consolidators in Argentina. *TRB 2019 Annual Meeting* (p. 1–16).
- Tapia, R. J., dos Santos Senna, L. A., Larranaga, A. M., e Cybis, H. B. B. (2019) Joint mode and port choice for soy production in Buenos Aires province, Argentina. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 121, 100–118. doi:10.1016/j.tre.2018.04.010
- Tavasszy, L., e de Jong, G. (2014) *Modelling Freight Transport*. (L. Tavasszy & G. de Jong, Eds) *Modelling Freight Transport*. Elsevier Inc.(ISBN: 9780124104006)
- Train, K. (2003) *Discrete Choice Methods with Simulation*. Cambridge University Press, 1–388. doi:10.1017/CBO9780511753930
- Vellay, C., e de Jong, G. (2003) A simultaneous SP/RP Analysis of Mode Choice in Freight Transport in the Region Nord-Pas-de-Calais.
- Von Haefen, R. H., e Phaneuf, D. J. (2005) Kuhn-Tucker Demand System Approaches To Non-Market Valuation. *Applications of Simulation Methods in Enviromental and Resource Economics*. Spri. doi: 10.1007/1-4020-3684-1_8
- Von Haefen, R. H., Phaneuf, D. J., e Parsons, G. R. (2004) Estimation and Welfare Analysis With Large Demand Systems. *Journal of Business and Economic Statistics*, 22(2), 194–205. doi:10.1198/073500104000000082
- Windisch, E., De Jong, G., Van Nes, R., e Hoogendoorn, S. P. (2010) A Disagregate freight transport model of transport chain and shipment size choice. *European Transport Conference*, (Abdelwahab 1998). Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.850.9821&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em 08/01/2019
- Yu, H., Zeng, A. Z., e Zhao, L. (2009) Single or dual sourcing: decision-making in the presence of supply chain disruption risks. *Omega*, 37(4), 788–800. doi:10.1016/j.omega.2008.05.006