

A Evolução do Modelo Gravitacional na Economia

Fábio Nascimento

Faculdade Antonio Meneghetti (AMF)
Centro Universitário Franciscano (UNIFRA)

Dilmar Pregardier Júnior

Faculdade Antonio Meneghetti (AMF)

Resumo: Este estudo faz um apanhado teórico sobre as aplicações do modelo gravitacional, objetivando, sobretudo, analisar a previsão dos fluxos bilaterais do comércio entre as nações. Uma vez que, desde seu surgimento como lei da física até sua inserção nas ciências econômicas, o modelo gravitacional evoluiu de uma simples equação básica até o refinamento matemático que temos na atualidade. Cujos aprimoramentos fundamentais econômicos – introdução de variáveis dummy, possibilitaram um aumento na precisão dos resultados, enquanto que, pelo lado teórico, no decorrer das décadas, o modelo fundamentou-se através de teorias como a de Heckscher-Ohlin e a teoria dos Retornos Crescentes do Comércio, tendo, finalmente, sua robustez afirmada pela nova teoria do comércio internacional. Assim, através da econometria, sua aplicação inicial deu-se através do uso de uma análise transversal tradicional, até, atualmente, ter evoluído ao uso dos dados em painel, que tendem a eliminar várias distorções sofridas pelas estimações anteriores. Considerando tais situações, torna-se claro que o modelo gravitacional afirma-se como uma forte ferramenta na área de previsões de fluxos comerciais, além de conseguir mensurar os efeitos dos acordos preferenciais sobre os fluxos internacionais de comércio; possibilitando, nesse viés, uma avaliação do efeito fronteira.

Palavras-chave: Modelo Gravitacional; Fluxo bilateral de comércio; Dados em painel.

Abstract: This study provides an overview on the theoretical applications of the gravity model, aiming mainly to analyze the prediction of bilateral trade flows between nations. Once, since its inception as a law of physics to their insertion in economics science, the gravity model has evolved from a simple basic equation to the mathematical refinement we have today. Whose fundamental economic improvements - introduction of dummy variables, allowed an increase in accuracy of the results, whereas the theoretical side, over the decades, the model was based through theories such as Heckscher-Ohlin and Returns Crescents Commerce theory and, finally, its robustness affirmed by the new international trade theory. So through econometrics, its initial application was made through the use of a traditional cross-sectional analysis, even today, have evolved to the use of panel data, which tend to eliminate various distortions suffered by previous estimates. Considering such situations, it becomes clear that the gravity model is stated as a strong tool in the area of trade flow, in addition to arranging to measure the effects

of preferential agreements on international trade flows, permitting, this bias, an assessment of the border effect.

Key-words: Gravity Model; Bilateral Trade Flows; Panel Data.

1 Introdução

O modelo gravitacional, como ferramental econométrico e devido aos bons resultados empíricos que fornece, começou a ser utilizado a partir da década de 1960 e, desde então, tem sido amplamente usado, pelos estudiosos do tema, no estudo dos fluxos de comércio entre os países. No entanto, este modelo sofria críticas de diversos autores no tocante a sua fundamentação teórica. Apesar disso, recentemente, vários estudos mostraram que a equação gravitacional pode ser derivada tanto de modelos teóricos baseados em vantagens comparativas, quanto na nova teoria do comércio internacional. Considerando tais aspectos, por volta dos anos 1990, vários estudiosos trabalharam para a validação teórica do modelo, tentando vincular seu comportamento com o de outras teorias aceitas pela academia, tendo como principais embasamentos a Teoria de Heckscher-Ohlin e a Teoria dos Retornos Crescentes do Comércio.

Nesse contexto, o modelo gravitacional passa a ser utilizado na economia basicamente com três objetivos principais: a) mensurar os efeitos dos acordos preferenciais sobre os fluxos internacionais de comércio; b) avaliar o efeito fronteira; e c) estimar os fluxos de comércio futuro entre os países, onde nesta última aplicação o procedimento é a comparação dos resultados obtidos através do modelo com as informações reais advindas dos relatórios oficiais.

Atualmente, o modelo é utilizado como um método satisfatório na análise dos

fluxos de comércio, possuindo a capacidade de estimar fluxos próximos aos efetivos e, ainda detém a capacidade de captar os efeitos de variáveis que influenciam no comércio. Considerando tais aspectos teórico-evolutivos do modelo gravitacional, este estudo bibliográfico tem por objetivo realizar uma discussão teórica sobre a evolução do modelo gravitacional através de artigos publicados na área, considerando sua evolução ao longo do tempo.

2 A evolução do Modelo Gravitacional

O modelo gravitacional tem sua origem na lei da gravitação universal, formulada por Isaac Newton no século XVII, cuja tese defendida e cristalizada foi a de que a atração entre dois corpos é diretamente proporcional a massa dos corpos e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles.

A Lei de Newton é expressa pela seguinte equação:

$$F = G \left(\frac{M_1 M_2}{d^2} \right) \quad (1)$$

Onde:

F representa a força de atração entre as massas de dois corpos;

M_1 e M_2 a massa do corpo 1 e 2, respectivamente;

d representa a distância entre os dois corpos;

G a constante de gravitação universal.

Nesse contexto, foi por volta do século XIX que a então “Lei de Newton” foi incorporada por diversas áreas do conhecimento, tais como as ciências sociais e exatas. Isard (1960) foi o introdutor do modelo gravitacional no ramo econômico, mais especificamente, dentro da economia regional, com o intuito de avaliar o potencial da mobilidade do trabalho entre as diferentes regiões dos Estados Unidos. Logo após, vieram outros autores como Tinbergen (1962), Poyhonen (1963) e Linnemann (1966) que adaptaram o modelo à economia para estimar o fluxo de comércio bilateral entre dois países, fornecendo, ao mesmo tempo, as variáveis básicas que são utilizadas até hoje para determinar este fluxo.

Lançando mão da tese proposta por Linnemann (1966), de as forças que atuam sobre uma relação de comércio bilateral seriam aquelas que “atraem” o comércio e aquelas que “repelem” o comércio, este seria então, segundo a proposta de Linnemann, diretamente proporcional ao dito tamanho das economias (PIB) e inversamente proporcional à distância que as separa. Basicamente estes fluxos comerciais analisados estavam predispostos a três fatores: a) a oferta potencial do país exportador; b) a demanda potencial total do país importador e; c) a resistência ao comércio entre estes dois países [grifo nosso].

Kume e Piani (2000) expõem que Linnemann (1966) considera que a oferta e a demanda potencial são determinadas pelas mesmas forças, ou seja, pelo tamanho dos produtos domésticos que influenciam na definição do fator escala, e da população que baliza o coeficiente entre a produção para o mercado doméstico e para o mercado externo. Ainda, segundo estes autores, a ideia de Krugman (1980) é a mais difundida

justificativa teórica de que os fluxos bilaterais de comércio dependem, positivamente, da renda dos países e, negativamente, da distância entre eles; sendo estas baseadas no modelo de comércio sob competição monopolística entre dois países em conjunto com a introdução dos custos de transporte.

Para Sá Porto e Canuto (2004), as resistências ao comércio seriam de dois tipos, naturais e artificiais. As naturais são definidas como os obstáculos impostos pela natureza, como, por exemplo, os custos e tempo de transporte; e as artificiais são aquelas impostas pelos governos, tais como tarifas e cotas de importação. Kume e Piani (2000) destacam, ainda, que devem ser observadas, como restrições naturais ao comércio, o horizonte econômico ou distância psicológica, dado que a distância entre dois países gera um maior desconhecimento de mercado, de suas instituições, leis, hábitos entre outros.

Outros autores contribuíram para a construção do modelo gravitacional, dentre eles, Aitken (1973), que usa o modelo para avaliar o impacto da Comunidade Econômica Europeia (CEE) e da Associação Europeia de Livre Comércio (EFTA), visando refletir acerca do comércio de seus membros entre os anos de 1959 e 1967. Em trabalhos realizados de Polak (1996) e Smarzynska (1999), tiveram importante contribuição na elaboração de modelos mais ajustados e apropriados ao comércio internacional. Dentre colaborações respectivamente elencadas, destaca-se a introdução da variável “distância relativa”, que tem por objetivo evitar possíveis distorções ocasionadas pelo isolamento de certos países em relação aos parceiros comerciais mais importantes, do ponto de vista dos seus PIBs [grifo nosso].

Bergstrand (1985) critica as formas iniciais do modelo gravitacional, pois

afirmava ser limitadas quanto à introdução de *dummies*, variáveis qualitativas que geralmente indicam ausência ou presença de uma qualidade ou atributo, que representassem o comportamento do preço dos produtos nas relações de comércio. Este fato já havia sido levantado anteriormente por Linnemann (1966), que fez ponderações quanto à sua utilização ser limitada para realizar previsões, pois o modelo gravitacional não considerava o fator preços, afirmando, então, que o referido modelo necessitava de complementações. Assim, um novo modelo surgiu, cujo propósito foi de ampliar sua forma original a fim de combinar três conjuntos de dados que determinasse os fluxos bilaterais de comércio (a demanda dos importadores; a oferta dos exportadores; e os custos relativos das transações internacionais) (WANG e WINTERS, 1992, p. 113).

Durante 1980 e 1990, o modelo sofreu novas ampliações e, à ele, foram incorporados refinamentos matemáticos e estatísticos melhorando seus resultados. Neste período, com o desenvolvimento da nova teoria do comércio internacional, sua fundamentação teórica tornou-se mais robusta, uma vez que se amparou e passou a ser considerado de grande valia pelos resultados que produz e pela possibilidade de análise do impacto das variáveis separadamente.

Feenstra, Markusen e Rose (1998), por exemplo, colocam que a equação gravitacional poder ser derivada de um modelo de *dumping* recíproco em produtos homogêneos. Juntamente a estes autores, o trabalho de Deardoff (1998) expõe que o modelo gravitacional pode ser também extraído do modelo de Heckscher-Ohlin, sendo que, para isso, este recorre a dois casos extremos de comércio.

Primeiramente propõe um cenário em que o comércio apresenta-se sem

qualquer tipo de barreira, natural ou artificial e, no qual, o produto é homogêneo. Com estas condições, o comércio bilateral adquire um caráter indeterminado, pois, tanto consumidores quanto produtores são indiferentes na escolha entre os mercados. Então, este problema é contornado baseado na tese de que o comércio entre os países se dá em pequenas quantidades e de forma aleatória, cujo mérito é proporcionar a derivação de um fluxo de comércio esperado, dependente do produto dos PIBs dos países envolvidos.

Como segunda opção de modelo, são introduzidas, no modelo, as barreiras ao comércio e este assume que os produtos são diferenciados, ou seja, gera um quadro de comércio diferente da situação anterior, pois, agora, o fluxo depende não somente dos produtos dos PIBs, mas também da distância que separa os dois países e da distância relativa dos países em relação aos seus parceiros comerciais; fatos estes gerados pelos custos de transporte e pelo chamado horizonte econômico.

Desse modo, Deardoff (1998) conclui que o modelo gravitacional pode ser obtido tanto de modelos de concorrência monopolística ou de produtos diferenciados, segundo a origem, quanto de um modelo tradicional de comércio. Outros autores como Anderson e Van Wincoop (2003) derivaram o modelo gravitacional do modelo de Heckscher-Ohlin, assim como Bergstrand (1985), Helpman (1987) e Krugman (1995) também; porém, através dos modelos de concorrência imperfeita, tornando as críticas iniciais sobre a fundamentação teórica do modelo gravitacional sem qualquer fundamento.

2.1 O Modelo Gravitacional e seus refinamentos básicos

Genericamente, a equação gravitacional assume que os fluxos de comércio entre dois países i e j depende de cinco fatores: o PIB e a população dos países e a distância entre eles. Os aprimoramentos mais usuais relativos ao modelo gravitacional expõe o tratamento em relação às dificuldades do comércio, sejam elas naturais ou artificiais. Sendo que as primeiras geralmente estão ligadas ao fator distância e aos custos de transação e transporte e, as segundas, relacionam-se, principalmente, as políticas de comércio e o relacionamento histórico entre as nações.

Apresenta-se, abaixo, o modelo em sua formulação básica:

$$\ln m_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \ln Y_i + \beta_2 \ln \left(\frac{Y_i}{N_i} \right) + \beta_3 \ln Y_j + \beta_4 \ln \left(\frac{Y_j}{N_j} \right) + \beta_5 \ln dist_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Onde:

m_{ij} representa o comércio bilateral entre os países i e j , ou seja, as importações ou exportações nominais ou a soma de ambas;

Y_w é o PIB nominal dos países i e j ;

N_w é a população dos países i e j ;

$dist_{ij}$ é a distância entre os países i e j ;

β_0 a β_4 são parâmetros que se esperaram que tenham sinal positivo e que β_5 apresente sinal negativo;

ε_{ij} é o erro.

Devido à constante mudança das circunstâncias nas quais o comércio global pode encontrar-se, o modelo tem sofrido constantes alterações a fim de aumentar seu poder explicativo. Vários são os fatores que influenciam os fluxos de comércio e, por este motivo, alguns

autores têm incluído na equação básica (equação 2) outras variáveis com o intuito de melhorar os seus resultados. As *dummies*, variáveis qualitativas que geralmente indicam ausência ou presença de uma qualidade ou atributo, têm sido inseridas para verificar se certas características, que determinado país possui, gerem impactos no seu comércio em detrimento de países que não as possuam. Espera-se que fatores como idioma, adjacência e origem de colonização, quando semelhantes, sejam benéficos ao comércio entre os países.

Segundo Azevedo (2004a), a fim de aprimorar o modelo, ao longo do tempo, foram introduzidos alguns refinamentos à sua formulação básica, cujo objetivo foi de melhorar seu poder explicativo, ou seja, tais mudanças consistiram em incluir variáveis como a área dos países e *dummies* para captar a importância de os países terem a mesma língua e possuírem fronteira em comum; aspectos que, acredita-se, influenciarem nos fluxos de comércio bilateral. Ainda, de acordo com o autor, o modelo gravitacional explica o comércio "normal" entre um par de países na ausência de um Acordo Preferencial de Comércio, enquanto a *dummy*, relacionada ao bloco, captura o comércio adicional atribuído especificamente ao bloco de países com a mesma língua.

Wang e Winters (1992, *apud* EGGGER, 2002), expõem que as variáveis naturais são representadas por uma *dummy* de adjacência, que é não nula quando os países i e j são fronteirizos e, ainda, na mesma fundamentação, as variáveis artificiais são representadas por *dummies* de acordos preferenciais de comércio, assumindo valor não nulo quando os países i e j usufruem de preferências comerciais.

Relativo ao uso do modelo gravitacional no estudo dos efeitos causados pela formação dos blocos econômicos, Aitken (1973) foi um dos primeiros a usar o modelo gravitacional de Linnemann com o objetivo de avaliar o impacto causado pela criação de um APC

no fluxo de comércio. Inserindo, dessa forma, variáveis *dummies* na equação gravitacional para representar a Comunidade Econômica Europeia (CEE) e a Associação Europeia de Livre Comércio (EFTA). Nesse sentido, o modelo gravitacional apresenta o comércio “normal” entre dois países sem a presença de um APC, enquanto a variável *dummy*, relacionada ao APC, capta o comércio que pode ser atribuído, exclusivamente, à sua criação. Do mesmo modo, Frankel (1997) incluem, em seus modelos, variáveis *dummies* para países que participem tanto de APCs formais quanto informais, situação que inclui o Brasil atualmente.

Polak (1996) acredita que alguns resultados obtidos por Frankel *et al.* (1995) podem ter sido influenciados pela má especificação da variável distância usada no modelo e sugere a introdução de uma variável denominada distância relativa como alternativa ao uso de distâncias absolutas. De acordo com o autor, esta alteração evita um direcionamento nos resultados causado pelo isolamento geográfico de dois países em relação ao centro de comércio mundial e, assim, elimina a situação de superestimação ou subestimação dos fluxos de comércio que poderiam ser atribuídos, essencialmente, a um APC ou a formação de um bloco. Como exemplo, cita o caso de países com Austrália e Nova Zelândia, que mesmo antes de qualquer APC sempre comercializaram muito entre si, devido ao seu isolamento dos demais parceiros

comerciais. Neste caso, a *dummy* regional tende a ser maior do que deveria e pode causar uma superestimação do comércio causado pelo bloco. Assim, o modelo apresentado a seguir inclui algumas das variáveis sugeridas anteriormente com o objetivo de tornar-se mais eficiente:

Onde:

m_{ij} , Y_w , N_w , $dist_{ij}$ são os mesmos que na equação (2);

A_w é a área territorial país w ;

$distr_i$ é distância relativa do país i dos países exportadores, ponderada pela participação do PIB dos países exportadores no PIB mundial;

ADJ_{ij} é a *dummy* que representa se o país i e o país j possuem fronteira territorial;

I_w é a *dummy* que representa se o país é uma ilha;

lit_w é a *dummy* que representa se o país possui litoral;

col_{ij} é a *dummy* que representa se o país i foi colônia do país j ;

L_{ij} é a *dummy* que representa se o país i fala o mesmo idioma que o país j ;

q revela que ambos os países falam o mesmo idioma ($q = 1, \dots, 4$);

P_{kij} é a *dummy* que assume o valor 1 se ambos os países pertencem ao mesmo bloco k ;

b_k é o coeficiente que mensura até que ponto o comércio intrabloco no bloco k é maior que o esperado pelo modelo gravitacional;

é esperado que $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7, \beta_9$ e β_{10} sejam positivos e que β_8 e β_{11} apresentem um sinal negativo;
 ε_{ij} é o erro.

Devido à grande importância pautada no regionalismo nos anos 80 e 90, a teoria econômica, relacionada ao assunto, vem evoluindo e novos conceitos são desenvolvidos. Assim, o fundamento de “parceiro comercial natural”, sugerido por Krugman (1991), pode ser evidenciado como um trabalho semelhante ao de Polak (1996), onde países próximos possuem altos níveis de comércio bilateral; exceção ao isolamento geográfico e ênfase à proximidade. Este trabalho sugere que as *dummies* poderiam capturar mais do que apenas o efeito da formação do bloco ou acordo, mas também algum aspecto relacionado aos fatos históricos ou à política adotada por eles. Nesse sentido, o resultado do modelo também poderia ser distorcido pela subestimação ou superestimação dos coeficientes relacionados à *dummy* do bloco [grifo nosso].

Surge, então, o estudo de Bayoumi e Eichengreen (1995) que faz uso de dados em painel a fim de tentar solucionar o viés causado pelo efeito do “parceiro comercial comum”. Trabalhando com dados em painel em primeira diferença, aqueles pares de características não observadas dos países saíram do modelo devido a serem constantes ao longo do tempo.

Haveman e Hummels (1998) criticam o modelo, apontando que o uso de dados em painel, em primeira diferença, não controlaria variáveis omitidas no

tempo. Os referidos autores também afirmam que o modelo gravitacional é muito sensível à amostra de países e apresentam estudos cuja alteração desta amostra traz os efeitos estimados pelas *dummies*, ou seja, sofrem alterações razoáveis. Ainda como crítica, Ghosh e Yamarik (2004) argumentam que os resultados fornecidos pelo modelo gravitacional são muito sensíveis às variáveis incluídas na regressão e às crenças anteriores dos pesquisadores.

Segundo Matyas (1997), a especificação mais correta da equação gravitacional seria através do uso de dados em painel e efeitos fixos (EF), que, por sua vez, seriam três a serem incluídos: a) um para as características não observadas do exportador; b) outro para as características não observadas do importador; e c) o último para características não observadas específicas do tempo t . Trabalhando também com modelos de efeitos fixos, Magee (2008) fez uso de um modelo gravitacional estimado com dados em painel através do Pseudo Máxima Verossimilhança de Poisson (PMVP), em conjunto com efeitos fixos ao longo do tempo.

Genericamente, o modelo gravitacional básico estimado com dados em painel é expresso como:

$$\ln m_{ijt} = \alpha_{ij} + \alpha_t + \beta_1 \ln Y_{it} + \beta_2 \ln Y_{jt} + \sum_k (\beta_{ra}^k RTA_{ijt}^k + \beta_{id}^k TD_{ijt}^k) + \alpha X_{ijt} + \varepsilon_{ijt} \quad (4)$$

Onde:

m_{ijt} representa o comércio bilateral entre os países i e j no tempo t ;
 Y_{wt} é o PIB nominal dos países i e j no tempo t ;

RTA_{ijt}^k é a *dummy* que assume valor = 1 se os países i e j pertencem a um mesmo acordo comercial regional k ;

TD_{ijt}^k é a *dummy* que assume valor = 1 se pelo menos um dos dois países é um membro do acordo regional k ;

α_{ij} é o efeito fixo ao longo do tempo;

α_t é o efeito fixo de cada ano;

X_{ijt} é um vetor de outros pares de características dos países.

ε_{ijt} é o erro composto no tempo t .

Nesse modelo, se o coeficiente de $\beta_{rta}^k RTA_{ijt}^k$ for positivo, indica que o comércio está crescendo entre os membros do bloco. Já um coeficiente negativo, estimado de $\beta_{td}^k TD_{ijt}^k$, pressupõe que as importações extra bloco apresentam-se em declínio. Em relação aos efeitos fixos de cada ano (α_t), estes tendem a capturar a tendência temporal do comércio e os choques que impactam os fluxos de comércio global em um determinado ano. Por sua vez, os efeitos fixos ao longo do tempo (α_{ij}) tendem a capturar os impactos sobre o fluxo de comércio de quaisquer fatores específicos aos pares de países, destacando que devem apresentar-se constantes ao longo do período examinado, como, por exemplo, o idioma e a distância entre estes.

Analisados os modelos em suas formas básicas, outro ponto fundamental é entender o comportamento das variáveis envolvidas e as relações econômicas que estas guardam entre si, o que, na avaliação dos resultados, será de suma importância na compreensão dos coeficientes obtidos. Inicialmente, tem-se que o potencial exportador de um país é dependente do PIB

e da razão do volume de produção para exportar em relação ao volume de produção total do país, o que, por sua vez, tende a variar de acordo com a população e fundamenta-se em teorias como das economias de escala e da dotação de fatores (WANG e WINTERS, 1992). Também é assumido que países grandes e ricos têm maior tendência ao consumo de importados, o que implica que o PIB e o PIB per capita dos países são válidos como medidas de tamanho e riqueza. Analisando-se pelo lado da importação, uma renda maior implica maior demanda, enquanto uma maior população sugere uma maior autossuficiência. Assim, a população tende a assumir um efeito negativo na abertura de um país; vistas as relações entre população e área geográfica; área geográfica e dotação de fatores, e pelos efeitos originados pelas economias internas de escala. Por outro lado, devido aos fatores riqueza e desenvolvimento, espera-se que o PIB per capita tenha um impacto positivo no comércio. Na análise da variável distância, espera-se que ela tenha impacto negativo nos fluxos comerciais, ou seja, utilizada como uma resistência fundamental ao comércio.

De acordo com Eichengreen et al. (1995), os coeficientes das principais variáveis do modelo gravitacional assumem, como resultados esperados:

- Positivo para o coeficiente do PIB per capita do país importador e da elasticidade-renda da demanda do país importador;
- Positivo para o coeficiente do PIB total do país importador por refletir o efeito de tamanho;
- Geralmente positivo para o coeficiente do PIB per capita do país exportador, pois este deve ser pensado como uma medida de nível de produção do país

exportador, o que estaria relacionado com a relação capital-trabalho deste país;

- Positivo para o coeficiente do PIB total do país exportador, pois este sugere o quanto vasta pode ser a variedade de produtos que o país tem a oferecer;

- Negativo para o coeficiente da variável distância, visto que seu efeito deve ser considerado que quanto maior distância, maior o custo relativo dos produtos, implicando como inibidor do comércio.

De forma resumida, o quadro abaixo apresenta um resumo organizado, cronologicamente, de ampliações teóricas e empíricas do modelo gravitacional.

Quadro 1 – Resumo cronológico de ampliações teóricas e empíricas do Modelo Gravitacional

AUTOR / ANO DA PUBLICAÇÃO	TEMÁTICA / REGIÃO ANALISADA	PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES
Isard, 1960.	Mobilidade do fator trabalho nas regiões dos EUA.	Introdução da equação gravitacional na ciência econômica.
Tinbergen, 1962.	Proposições de política econômica internacional, visando a abertura dos mercados.	Organização das variáveis básicas de funcionamento da equação gravitacional.
Poyhonen, 1963.	Elaboração econômica para prevenir fluxos de comércio.	Organização das variáveis básicas de funcionamento da equação gravitacional.
Linnemann, 1966.	Elaboração econômica para prevenir fluxos de comércio.	Uso aplicado do modelo, admitindo a necessidade de adicionar variáveis de preço à estimação (custos relativos) e captando o seu erro.
Prewo, 1974.	Aplicação do método para analisar os efeitos da integração econômica europeia.	Utilização de dados de PIB per capita e incorporação de dummy de adjacência ao modelo, pela primeira vez.
Isard, 1977.	Estudo teórico e análise empírica sobre a Lei do Preço Único.	Os preços no mercado mundial são diferenciados e o poder de arbitragem de preços tem limitações de alcance, não conseguindo equiparar os preços internacionais de forma perfeita.
Anderson, 1979.	Análise fundamental teórica sobre o modelo gravitacional.	Assume que os fluxos de comércio deverão crescer com o rendimento per capita e diminuir com o tamanho do país.
Kravis & Lipsey, 1984.	Análise empírica sobre os níveis de preços internacionais.	A paridade dos níveis de preços entre os países não se comprova empiricamente ao longo do tempo.
Helpman & Krugman, 1985.	Estruturas de mercado e comércio internacional.	Fundamentação da nova teoria do comércio internacional, baseada nos retornos crescentes de escala.
Bergstrand, 1985.	Análise fundamental teórica sobre o modelo gravitacional e aplicação na forma de modelo de equilíbrio geral mundial.	Demonstrou através da derivação de um modelo de equilíbrio geral que a equação gravitacional equaciona-se num modelo de Heckscher-Ohlin de comércio inter-industrial e nos modelos de Helpman-Krugman de comércio intra-industrial.
Bergstrand, 1990.	Análise teórica sobre a teoria de Heckscher-Ohlin e as relações com o modelo gravitacional.	Proxy para a demanda, entendida como o PIB per capita do país importador, passando a contemplar as diferenças nas preferências de consumo das populações.
Van Bergeijk & Oldersma, 1990.	Potencial de comércio com a unificação de Europa pós-União Soviética.	Utilização de dummies de adjacência e de APC*. Estimação em dois momentos, para captar o volume efetivo e comparar com o volume potencial de comércio.
Hamilton & Winters, 1992.	Impactos na abertura comercial do Leste Europeu.	Utilização de dummies de adjacência e de APC. Estimação em dois momentos, para captar o volume efetivo e comparar com o volume potencial de comércio.
Wang & Winters, 1992.	Potencial de comércio do Leste Europeu a partir do processo de integração econômica.	Utilização de dummies de adjacência e de APC. Estimação em dois momentos, para captar o volume efetivo e comparar com o volume potencial de comércio.
Machado, 1995.	Ampliação teórica e aplicação para análise do perfil de comércio dos países do Leste Europeu, em comparação com os países da OCDE.	Generalização da aplicação de Helpman-Krugman para um conjunto de vários países, bens e fatores, extrapolando a matriz 2x2 do estudo seminal sobre retornos crescentes do comércio internacional.
Evenett & Keller, 1998.	Embasamento teórico com aplicação comprobatória para o modelo gravitacional, para o comércio mundial (relações bilaterais "janes").	Fundamentação teórica do modelo, baseada nas teorias do comércio - retornos constantes de Heckscher-Ohlin e retornos crescentes de escala de Helpman-Krugman.
Azevedo, 2004.	Efeitos de blocos econômicos: Mercosul - criação, desvio ou supressão de comércio.	Ampliação para dummies de blocos (APC), idioma, distância relativa, área, isolamento geográfico, entre outros. Utilização de dados em painel para a comparação de estimação.
Eichengreen et al., 2004.	Influências do fator China sobre as demais economias da Ásia.	Ampliação para dummies de risco comercial, relação colonialista e histórica, a territorialidade continental.

* APC - acordos preferenciais de comércio.

Fonte: Dall Pizzol (2010, p. 55).

3 Uma Visão Econométrica (Básica) dos Modelos Gravitacionais e do Cálculo de Comércios Potenciais

Esta seção utiliza, como aporte teórico, o artigo intitulado “Uma Visão Econométrica (Básica) dos Modelos Gravitacionais e do Cálculo de Comércios Potenciais”, de Peter Egger (2002), cujo título também é utilizado nesta seção. No referido estudo, Egger realiza uma análise econométrica do modelo gravitacional. Inicialmente, expõe que o aumento do uso do modelo gravitacional não se deu somente por sua fundamentação teórica mais rigorosa, mas, sobretudo, pela oportunidade de projetar as relações bilaterais de comércio e que, a grande maioria dos trabalhos realizados, se utiliza do uso de dados seccionais, restando poucos trabalhos que se valem de dados em painel. Seus objetivos eram fornecer *insights* sobre a escolha da técnica de estimativa adequada para os problemas relacionados com a amostra em projeções de comércio potencial, pois, em geral, a escolha do estimador é um problema importante para a interpretação dos coeficientes de gravidade, que dependem dos interesses subjacentes [grifo nosso].

Segundo Egger (2002), pode-se distinguir duas correntes de trabalho, ou seja, uma que se utiliza de uma projeção fora da amostra e, outra, denominada dentro da amostra. Como exemplo da primeira abordagem, um modelo gravitacional foi estimado para a União Europeia (OCDE) e os parâmetros foram utilizados para projetar as relações comerciais naturais entre estes países e os CEEC. Assim, a diferença entre fluxo comercial observado e o previsto foi então interpretado como o potencial de comércio em aberto. Na abordagem dentro da amostra, os autores incluíram os países em transformação (CEEC) dentro da regressão

e, em seguida, o resíduo da equação estimada foi interpretado como a diferença entre potencial e real das relações comerciais.

Egger (2002) cita que três importantes problemas econométricos devem ser considerados:

- A abordagem transversal tradicional é provavelmente afetada por um problema grave de má especificação. Matyas (1997) observa que a representação mais natural dos fluxos comerciais bilaterais é uma especificação de três vias, onde em seguida, eliminando uma das três dimensões (tempo), implica que a representação singular de um modelo de gravidade “tempo médio” é um painel de duas vias com efeitos (fixo ou aleatório) exportador e importador. Uma vez que estas são as dimensões mais importantes de variação, as estimativas de MQO tem probabilidade de resultar em estimativas inconsistentes e isso tende a tornar as conclusões sobre o potencial comercial baseado em MQO problemática, afetando tanto o conceito de previsão dentro da amostra quanto fora da amostra;
- Devemos nos preocupar com a associação de diferentes estimadores de curto e longo prazo quando comparamos os resultados, pois enquanto modelos estimados em efeitos fixos (e efeitos aleatórios compatíveis) refletem parâmetros de curto prazo, entre os modelos estimados os parâmetros estão mais próximos do longo prazo;
- Finalmente, a partir de um estimador consistente e eficiente, do qual devemos esperar resíduos com

ruído branco, que não possua qualquer variação mais sistemática, devemos observar se este estimador revelar grandes diferenças sistemáticas entre os valores observados e os potenciais de comércio, pois isto deve ser interpretado como uma indicação para a má especificação e inconsistência de parâmetros (p. 298, tradução nossa).

Concentrando-se em dados de painel, Egger (2002) estimou um painel das exportações dos países da OCDE para outros membros da OCDE e os 10 países da Europa Central e Oriental durante o período de 1986 ± 1997 e, através do uso do ferramental econométrico adequado à sua pesquisa e, utilizando-se de seis estimadores de painéis diferentes, chegou as seguintes conclusões:

- Em primeiro lugar, nos modelos gravitacionais cross-section tradicionalmente estimados por média de tempo, é muito provável que ocorra má especificação dos parâmetros, uma vez que ignora a presença de efeitos exportador e importador sem testar a sua relevância;
- Ainda, deve-se ter cuidado com a comparação de resultados entre os diferentes conceitos de estimativa econométricos, que se referem a diferentes horizontes de tempo com relação às respostas dos fluxos de comércio sobre as mudanças nas variáveis explicativas;
- Em terceiro lugar e em contraste com pesquisas anteriores, o autor não enxerga nenhuma forma de obter informações sobre comércio potencial através da abordagem de

previsão dentro da amostra (p. 306, tradução nossa).

Como conclusão final de seu artigo, ele argumenta que o modelo gravitacional continua a ser uma ferramenta útil para análise de simulação contra factual.

4 Considerações Finais

Este artigo traz um estudo sucinto de análise sobre a evolução do modelo gravitacional ao longo do tempo, desde sua origem na física até suas aplicações nas ciências econômicas. Esta ampliação sofrida pelo modelo veio a fortalecê-lo tanto na sua fundamentação teórica quanto econométrica, tornando-o mais robusto e confiável. Nota-se, no decorrer dos anos, a preocupação dos autores em refinar o modelo, fazendo com que este adequasse-se aos diferentes segmentos estudados dentro da economia, seja por meio de introdução de novas variáveis ou através do estabelecimento de novas relações matemáticas das variáveis com a equação. A preocupação econométrica apresenta-se, basicamente, de forma a evitar má especificação dos parâmetros, resolver problemas intertemporais e formular estimadores eficientes, que gerem resultados consistentes.

Assim, o modelo gravitacional é, atualmente, contrastando com seu passado, tido como uma excelente ferramenta para a previsão de fluxos comerciais e análise contrafactual, sendo que se verifica uma forte tendência de evolução do modelo ao longo do tempo, que, no futuro, torne-se mais robusto e, ainda, mais aceito no meio econômico.

Sugere-se, dessa forma, a ampliação do estudo sobre um tratamento mais direcionado à aplicação de dados em painel,

e em particular, no caso da análise dos fluxos de comércio assim como uma análise econométrica mais detalhada do modelo.

Referências

AITKEN, N.D. “**The Effect of the EEC and EFTA on European Trade: a temporal cross-section analysis.**” *American Economic Review*, 1973. Disponível pelo site: [HTTP://CC10.AUBG.BG/STUDENTS/MCA100/S_TATATATA.PDF](http://CC10.AUBG.BG/STUDENTS/MCA100/S_TATATATA.PDF) > Acessado dia 5 de abril de 2013.

ANDERSON, J.; E. VAN WINCOOP. “**Gravity with Gravitas: A Solution to the Border Puzzle.**” *American Economic Review* 93, 170–192. 2003.

AZEVEDO, A. “**Mercosur: Ambitious Policies, Poor Practices.**” *Revista de Economia Política*, v. 24, p. 584-601, 2004a.

_____. “**O Efeito do Mercosul sobre o Comércio: Uma Análise com o Modelo Gravitacional.**” *Pesquisa e Planejamento Econômico*, v. 34, p. 307-339, 2004b.

BAYOUMI, T., EICHENGREEN, “**Is regionalism simply a diversion? Evidence from the evolution of the EC and EFTA.**” NBER Working Paper, p. 5283. 1995.

BERGSTRAND, J. “**The gravity equation in international trade: some microeconomic foundations and the empirical evidence.**” *Review of Economics and Statistics*, v. 67, p. 474-481, 1985.

DAL PIZZOL, A. **Estimativas Para o Volume de Comércio dos Países BRICs com o uso da Equação Gravitacional.** São Leopoldo, 2010.

DEARDORFF, A. “**Determinants of bilateral trade: Does gravity work in a neo-classical world?**” in J. Frankel (ed.), *Regionalization of the World Economy*, Chicago: University of Chicago Press, p. 7-31, 1998.

EGGER, P. “**An Econometric View on the Estimation of Gravity Models and the Calculation of Trade Potentials.**” 2002. Disponível pelo link: <http://www.development.wne.uw.edu.pl/uploads/C>

ourses/ied_egger_2002.pdf> Acessado dia 27 de maio de 2013.

FEENSTRA, R. C.; MARKUSEN, J. A.; ROSE, A. K. “**Understanding the home market effect and the gravity equation: the role of differentiating goods**”. Oct. 1998.

FRANKEL, J. “**Regional Trading Blocs in the World Economic System**”. Washington, D.C.: Institute for International Economics, 1997.

GUJARATI, D. **Econometria Básica**. São Paulo: Makron Books, 1999.

HAVEMAN, J. e HUMMELS, D. “**Alternative hypotheses and the volume of trade: evidence on the extent of specialization**”. Disponível pelo link: <http://www.haveman.org/Jon/tradeflows.pdf>> Acessado dia 24 de maio de 2013.

HELPMAN, E. “**Imperfect Competition and International Trade: Evidence from fourteen industrial countries**”. Journal of the Japanese and International Economies, 1, 62-81, 1987. Disponível pelo site: <<http://steph.pignon.free.fr/essai1/ImperfectCompan dIntlTradeEvidence14CountriesHELPMAN.pdf>> Acessado dia 14 de abril de 2013.

ISARD, W. “**Methods of Regional Analysis: an Introduction to Regional Science**”. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1960. Disponível pelo link: <http://ia600609.us.archive.org/35/items/methodsofre giona00isar/methodsofregiona00isar.pdf>> Acessado dia 09 de maio de 2013.

KUME, H.; PIANI, G. **Fluxos bilaterais de comércio e blocos regionais: uma aplicação do modelo gravitacional**. Brasília: IPEA, 2000 (Texto para Discussão, 749).

KRUGMAN, P.; OBSTFELD, M. **Economia Internacional: Teoria e Política**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

KRUGMAN, P. “**Scale Economies, Product Differentiation, and the Pattern of Trade**”. The American Economic Review, Vol. 70, No. 5, (Dec., 1980), pp. 950-959. Disponível pelo site: <<http://www.jstor.org/discover/10.2307/1805774?uid=2&uid=4&sid=21102720404297>> Acessado dia 15 de maio de 2013.

NASCIMENTO, Fábio; JÚNIOR, Dilmar P. A evolução do modelo gravitacional na economia. **Revista Saber Humano**, Recanto Maestro, n. 3, p. 163-175, 2013.

LINNEMANN, H. “**An Econometric Study of International Trade Flows**”, North Holland Publishing Company, Amsterdam, 1966.

MAGEE, C. “**New Measures of Trade Creation and Trade Diversion**.” Journal of International Economics 75, 340 – 362. 2008.

MATYAS, L. “**Proper Econometric Specification of the Gravity Model**.” *The World Economy*, 20, 363-68, 1997.

MATYAS, L. “**The Gravity Model: Some Econometric Considerations**.” *The World Economy*, 21, 397-401, 1998.

POLAK, J. “**Is APEC a natural regional trading bloc? A critique of the gravity model of international trade**”. *The World Economy*, v. 19, p. 533-543, 1996.

PÖYHÖNEN, P. “**A Tentative Model for the Volume of Trade between Countries**”. *Weltwirtschaftliches Archiv*, 1963.

SÁ PORTO, P. **Mercosul and regional development in Brazil: a gravity model approach**. *Revista Estudos Econômicos*, v. 32, n. 1, p. 125-153, 2002.

SÁ PORTO, P., CANUTO, O. **Uma avaliação dos impactos regionais do Mercosul usando dados em painel**. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, v.34, n.3, p. 465-490, 2004.

SOLOAGA, I.; WINTERS, L.A. “**Regionalism in the nineties: what effect on trade?**” *The North American Journal of Economics and Finance*, v. 12, pp. 01-29, 2001.

SMARZYNSKA, B. K. “**Does relative location matter for bilateral trade flows?**” World Bank, 1999.

TINBERGEN, Jan. “**Shaping the World Economy: Suggestions for an International**

Economic Policy”. New York: The Twentieth Century Fund, 1962. Disponível pelo site: <http://ajae.oxfordjournals.org/content/46/1/271.full.pdf+html>> Acessado dia 10 de maio de 2013.

YEATS, A. “**Does Mercosur’s Trade Performance Raise Concerns about the Effects of Regional Trade Arrangements?**” Policy, Research

Working Paper N° 1729, Washington D.C, World Bank, 1997.

VINER, J. “**The Customs Union Issue**”. Carnegie Endowment for International Peace, New York. 1950.

WANG, Z.; WINTERS, L.A. “**The Trading Potential of Eastern Europe**”. Journal of Economic Integration. V.7, p. 113-136, 1992.

Autores:

Fábio Nascimento: Mestre em Economia Internacional (UNISINOS), Graduação em Economia com Ênfase em Finanças (UNIFRA). Professor da AMF e UNIFRA.

Dilmar Pregardier Júnior: acadêmico do curso de Graduação em Administração da Faculdade Antonio Meneghetti.

Submetido em: 06/05/2013

Revisto em: 17/08/2013

Aceito em: 10/09/2013.