

COMÉRCIO INTERNACIONAL E O MODELO DE GRAVIDADE: EVIDÊNCIAS RECENTES EM ANÁLISE TEÓRICA E EMPÍRICA

Carolina Rodrigues Corrêa Ferreira¹

RESUMO: Apesar dos sólidos fundamentos teóricos e do sucesso empírico do modelo de gravidade do comércio internacional, este foi/é frequentemente usado sem embasamento e sem levar em consideração os desafios econométricos que podem gerar estimativas enviesadas e inconsistentes. Portanto, este trabalho buscou sintetizar uma profunda revisão teórica e empírica do método, além de demonstrar sua aplicação conforme recomendada pela literatura especializada. Assim, destaca-se que na estimação devem ser incluídos dados de comércio intranacional e efeitos fixos dos países a cada ano, bem como de pares de países, e; que o estimador de Poisson Pseudo Maximum Likelihood deve ser usado. Estimou-se uma regressão verificando o impacto da liberdade econômica das nações sobre suas exportações e os resultados comprovaram que existe uma relação positiva entre estas. Destarte, espera-se que o presente trabalho sirva de instrumento para diversas pesquisas na área, gerando novas evidências e direcionando a formulação de políticas comerciais mais eficientes.

Palavras-chaves: Modelo gravitacional; Comércio internacional; Fundamentação teórica.

INTERNATIONAL TRADE AND THE GRAVITY MODEL: RECENT EVIDENCE IN THEORETICAL AND EMPIRICAL ANALYSIS

ABSTRACT: Despite the solid theoretical foundations and the empirical success of the gravity trade model, it was/is often used unsupported and without taking into account the econometric challenges that can generate biased and inconsistent estimates. Therefore, this work sought to synthesize a theoretical and empirical review of the method, in addition to demonstrating its application as recommended by the specialized literature. Thus, it is noteworthy that the estimation should include intranational trade data and country fixed effects each year, as well as country pairs, and; that the Poisson Pseudo Maximum Likelihood estimator should be used. A regression was estimated verifying the impact of economic freedom of nations on their exports and the results showed that there is a positive relationship between them. Thus, it is expected that the present work will serve as an instrument for several researches, generating new evidence and directing the formulation of more efficient trade policies.

Keywords: Gravity model; International trade; Theoretical foundation.

Data da submissão: 22-03-2021

Data do aceite: 12-12-2021

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O modelo de gravidade emergiu como uma abordagem simples e eficiente para análise e previsão de variáveis econômicas relacionadas a fluxos comerciais bilaterais. Tinbergen (1962) foi o primeiro a usar formalmente o modelo em uma versão inicial, na qual o comércio bilateral do país de origem ao de destino é explicado diretamente pelas massas econômicas das nações, representadas pela renda, e inversamente pela distância geográfica entre eles. Tal proposição faz sentido, em termos intuitivos, visto que países mais ricos produzem mais e tem mais renda, logo importam e exportam mais, bem como uma maior distância representa maiores custos de transporte, o que tende a reduzir o comércio. O nome, modelo de gravidade, faz referência à teoria da gravidade de Newton, apesar de não ter relação direta com a mesma.

De acordo com Deardorff (1998), apesar de ser somente intuitivo no início, o modelo gravitacional ganhou amplo uso devido à rigorosa fundamentação teórica que recebeu posteriormente e seu sucesso empírico na previsão dos fluxos de comércio bilateral de diversas *commodities* em diferentes situações.

¹ Doutora em Economia Aplicada pelo PPGEA/DER/UFV. Professora adjunta do departamento de economia da Universidade Federal de Juiz de Fora, campus Governador Valadares. Pesquisadora do Econúcleo – Estudos Socioeconômicos.

Ademais, destaca-se a flexibilidade do método para estimativas com os mais diversos tipos de políticas comerciais, que entram como variáveis que afetam os custos de comércio (por exemplo, distância entre os países, tarifas e medidas não tarifárias, acordos comerciais, entre outras).

O modelo ganhou maior qualidade estatística com a inclusão de efeitos fixos para controle dos termos de resistência multilateral, conforme indicado por Anderson e van Wincoop (2003). Tais termos representam o efeito que a posição dos países exportador e importador no mercado global e sua conjuntura econômica tem sobre seu próprio comércio bilateral, ou seja, captam os efeitos fixos específicos de fatores inerentes aos países a cada período do tempo. Piermartini e Yotov (2016) explicam que as resistências multilaterais traduzem os efeitos iniciais de equilíbrio parcial da conjuntura a nível bilateral em efeitos específicos de cada país sobre os preços ao consumidor e ao produtor de todo o mundo.

Inúmeros trabalhos, como por exemplo os de Alhassan e Payaslioglu (2020), Gopinath et al. (2020) e Kox e Rojas-Ramagosa (2020), utilizaram o modelo gravitacional ao longo dos anos, com as mais diversas abordagens. Entretanto, Piermartini e Yotov (2016) salientam que, apesar dos sólidos fundamentos teóricos e do notável sucesso empírico, o modelo de gravidade foi e ainda é frequentemente aplicado sem embasamento teórico e sem levar em conta os desafios econométricos que podem levar a estimativas enviesadas e inconsistentes. No Brasil, particularmente, observa-se inúmeras pesquisas que utilizam o método, sendo grande parte sem aplicação dos controles econométricos recomendados.

Assim sendo, o presente trabalho visa, primeiramente, fazer uma revisão teórica sobre o modelo e sua fundamentação microeconômica, matemática e estatística e, posteriormente, demonstrar sua aplicação da forma recomendada pela literatura especializada mais recente. Dessa forma, busca-se contribuir para os futuros trabalhos na área de comércio internacional, principalmente na avaliação de políticas comerciais e integração (acordos preferências de comércio), elevando a qualidade das estimações e sugestões para *policy makers*.

É importante salientar que o modelo gravitacional é o método mais utilizado e mais eficiente para a avaliação dos efeitos de políticas comerciais sobre os fluxos internacionais de bens, conforme afirmam Yotov et al. (2016), visto que traz os resultados mais robustos e consistentes. Dessa forma, garantir a estimação correta é imprescindível para a qualidade das pesquisas que venham a utilizar o referido método.

Além dessa introdução, uma ampla revisão dos aspectos teóricos, econométricos e empíricos relativos ao modelo é assunto da próxima seção, seguida por uma aplicação do método com dados reais, como ilustração e, por fim, a conclusão.

2. ASPECTOS TEÓRICOS E EMPÍRICOS

2.1 DERIVAÇÃO DO MODELO E CONSIDERAÇÕES ECONOMÉTRICAS

O modelo gravitacional é uma ferramenta amplamente utilizada em vários campos empíricos e tem uma série de aplicações no estudo do comércio internacional. Sua popularidade baseia-se em três pilares: primeiro, os fluxos comerciais internacionais são um elemento-chave em todos os tipos de relações econômicas; segundo, os dados necessários para estimá-lo são facilmente acessíveis a todos hoje em dia; terceiro, um grande número de trabalhos de alto padrão trouxe maior respeitabilidade ao modelo de gravidade (BALDWIN; TAGLIONI, 2006).

A base teórica para o modelo de gravidade foi desenvolvida por Anderson (1979), que formulou a equação baseando-se em preferências com elasticidade de substituição constantes (CES) e diferenciação de bens por região de origem. Seguindo essa base, Anderson e van Wincoop (2003) desenvolveram uma forma mais avançada do modelo teórico, que será apresentado a seguir.

Pressupõe-se que cada região é especializada na produção de um único bem e que a quantidade ofertada do mesmo é fixa. As preferências são homotéticas e representadas por uma função CES. Assim, os consumidores da região j maximizam o consumo (c) dos bens oriundos da região i :

$$\left(\sum_i \beta_i^{\frac{1}{\sigma}} c_{ij}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{1-\sigma}} \quad (1)$$

Sujeito à:

$$\sum_i p_{ij} c_{ij} = y_{ij} \quad (2)$$

em que β_i é um parâmetro positivo de distribuição; σ é a elasticidade de substituição entre todos os bens; y_j é a renda da região e p é o preço dos bens da região i para os consumidores da região j . Os preços diferem entre as regiões devido aos custos de comércio (transportes, barreiras tarifárias e não tarifárias).

Considerando p_i o preço do bem para o exportador i livre de custos de comércio e t_{ij} o fator do custo de comércio entre i e j , tem-se que $p_{ij} = t_{ij} p_i$. Assume-se que cada bem enviado de i para j incorra um custo de $t_{ij} - 1$. Esse custo é absorvido pelo importador. O valor pago por j para i pelas importações é $x_{ij} = p_{ij} c_{ij}$ e os custos são $(t_{ij} - 1) p_{ij} c_{ij}$. Logo, a renda total obtida pela região exportadora i é $y_i = \sum_j x_{ij}$.

A demanda total pelos bens de i oriunda de j é dada pela maximização de (2) sujeito a (4):

$$x_{ij} = \left(\frac{\beta_i p_i t_{ij}}{P_j} \right)^{(1-\sigma)} y_j \quad (3)$$

em que P_j é o índice de preços do consumidor em j , dado por:

$$P_j = \left[\sum_i (\beta_i p_i t_{ij})^{1-\sigma} \right]^{\frac{1}{(1-\sigma)}} \quad (4)$$

A estrutura de equilíbrio geral do modelo impõe livre mercado, o que implica em:

$$y_i = \sum_j x_{ij} = \sum_j \left(\frac{\beta_i p_i t_{ij}}{P_j} \right)^{(1-\sigma)} y_j, \text{ para todo } i. \quad (5)$$

Assumindo que os custos de comércio são simétricos ($t_{ij} = t_{ji}$), os autores chegam a uma solução implícita em que a equação de gravidade é:

$$x_{ij} = \frac{y_i y_j}{y^W} \left(\frac{t_{ij}}{P_i P_j} \right)^{1-\sigma} \quad (6)$$

em que y^W é a renda nominal mundial, definida por $y^W \equiv \sum_j y_j$.

O modelo de gravidade básico é o apresentado na equação (8) e esse está sujeito a:

$$P_j^{1-\sigma} = \sum_i P_i^{\sigma-1} \theta_i t_{ij}^{1-\sigma}, \text{ para todo } j, \quad (7)$$

em que $\theta_i \equiv \frac{y_i}{y^W}$, ou seja, a participação da i -ésima região na renda mundial.

Além disso, é necessário incluir os fatores não observáveis dos custos de transação. Supõe-se que t_{ij} é uma função log-linear de um conjunto de m variáveis observáveis Z_{ij}^m que podem representar tais custos (por exemplo, distância entre os países, medidas técnicas e acordos comerciais.). Assim, tem-se que:

$$t_{ij} = \prod_{m=1}^M (Z_{ij}^m)^{\rho_m} \quad (8)$$

em que $Z_{ij}^m = 1$ se não há barreiras relativas à m e igual a 1 mais um equivalente tarifário da barreira, caso contrário, e ρ é um parâmetro.

Por fim, utilizando o que já foi apresentado e aplicando logaritmo em (7) tem-se a equação de gravidade básica largamente utilizada:

$$\ln x_{ij} = k + \ln y_i + \ln y_j - \ln y^W + (1-\sigma) \rho_m \sum_{m=1}^M \ln Z_{ij}^m - (1-\sigma) \ln P_i - (1-\sigma) \ln P_j \quad (9)$$

em que k é uma constante e as demais variáveis as mesmas definidas anteriormente.

A estimação econométrica de modelos de gravidade esbarra em alguns obstáculos, conforme destacam Piermartini e Yotov (2016). O primeiro deles é a inclusão dos termos de resistência multilateral (TRM), visto que o conceito dos mesmos é teórico e eles não podem ser diretamente observados em um banco de dados. Baldwin e Taglioni (2006) salientam que uma das soluções – que se destaca pela eficiência e popularidade – para essa questão foi a inclusão de efeitos fixos (*dummies*) para cada país exportador, país importador e ano da amostra².

Mais recentemente, Olivero e Yotov (2012) demonstraram que os TRM devem ser incluídos como efeitos fixos do tempo do exportador (e do tempo do importador) conjuntamente, possibilitando a estimativa de gravidade dinâmica com dados em painel. Essa abordagem, ao eliminar as rendas dos países como variáveis explicativas devido à colinearidade com os efeitos fixos país-ano, resolve também a questão da endogeneidade entre exportações e Produto Interno bruto (PIB). Ressalta-se que o procedimento também irá absorver todas as outras características específicas do país, observáveis e não observáveis, incluindo várias políticas comerciais não discriminatórias, variáveis institucionais e taxas de câmbio³.

O segundo desafio apontado por Piermartini e Yotov (2016) é a presença de valores de comércio iguais a zero, o que torna a utilização de estimadores lineares não recomendada por gerar viés de seleção amostral ao log-linearizar a função. O fluxo de comércio zero é muito importante para as estimativas pois afeta os termos de resistência multilateral. Quanto mais desagregados forem os dados de comércio, maior tende a ser a presença de zeros na amostra.

É importante salientar que, para um modelo de gravidade consistente e eficiente, é recomendada a inclusão de todos os pares de países possíveis na amostra, evitando assim o viés de seleção amostral. Por isso lidar com o comércio zero é tão importante (BACCHETTA ET AL, 2012).

Várias soluções, não muito eficientes, para essa questão foram apresentadas ao longo dos anos até que, por fim, Silva e Tenreyro (2006) ofereceram um recurso simples e eficaz, além de ter se mostrado o mais eficiente estatisticamente⁴: Estimar o modelo através de um estimador não-linear adaptado do estimador de Poisson, nomeado pelos referidos autores de Poisson Pseudo Maximum Likelihood (PPML)⁵.

O referido método ainda apresenta a solução para o terceiro desafio apontado por Piermartini e Yotov (2016), heterocedasticidade nos dados de fluxos comerciais. Esse é um grave problema pois, conforme apontado por Santos Silva e Tenreyro (2006), na presença de heteroscedasticidade as estimativas dos efeitos dos custos comerciais são enviesadas e inconsistentes quando a gravidade é estimada por mínimos quadrados ordinários (MQO). Para tal, a resposta é, mais uma vez, utilizar o PPML que corrige também a heterocedasticidade não observável.

O estimador de Poisson é conhecido como a abordagem padrão para modelar dados discretos. No entanto, vem ganhando popularidade como uma alternativa viável para estimação de modelos multiplicativos onde a variável dependente é não negativa. Normalmente, esses modelos são estimados por regressão linear aplicada a uma variável dependente transformada em log. Mas, assim como em MQO, a única suposição necessária para a consistência do estimador de Poisson é a especificação correta da média condicional da variável dependente (GOURIEROUX et al., 1984). Dessa forma, o estimador de Poisson torna-se o estimador PPML.

Correia et al. (2020) afirmam que, na presença de dados não negativos com muitos zeros, o PPML parece ser a aposta mais segura. É muito provável que esta situação ocorra em muitas áreas de pesquisa, especialmente ao trabalhar com dados altamente desagregados (por exemplo, ao modelar despesas de P&D de uma empresa, contagens de citações de patentes, vendas diárias de produtos em lojas e comércio bilateral).

O quarto desafio, ainda de acordo com Piermartini e Yotov (2016), é a especificação dos custos bilaterais de comércio. A prática padrão na literatura para representar o termo de custo do comércio bilateral, da especificação (8), é usar uma série de variáveis observáveis que se tornaram covariáveis padrão na especificação empírica da gravidade (distância, contiguidade, língua comum e acordos comerciais), conforme Head e Mayer (2014). A utilização de efeitos fixos de pares de países também serve a esse propósito.

O quinto desafio é a endogeneidade da política comercial, ou seja, a provável existência de bicausalidade entre política comercial e os custos de comércio não observáveis das seções cruzadas. O método

² Procedimento elaborado por (HUMMELS, 2001) e (FEENSTRA, 2004).

³ Existe um método para evitar a absorção de características específicas do país, será abordado no sexto desafio.

⁴ (SANTOS SILVA; TENREYRO, 2011).

⁵ Para mais detalhes veja (SANTOS SILVA E TENREYRO, 2006).

mais indicado para resolver o problema de endogeneidade seria o uso de variáveis instrumentais, porém, dada a inexistência de instrumentos confiáveis, não é possível (PIERMARTINI; YOTOV, 2016). Assim sendo, Baier e Bergstrand (2009) defendem o uso de efeitos fixos para os pares de países ou primeira diferença para explicar ou eliminar, respectivamente, os vínculos não observáveis entre as políticas comerciais e o termo de erro nas estimações de gravidade. Salienta-se que a inclusão de efeitos fixos para pares de países absorve qualquer variável bilateral invariante no tempo (distância, por exemplo). Apesar disso, esse é o método mais utilizado.

A estimação de modelos de gravidade com políticas comerciais não discriminatórias (ou seja, que são adotadas pelos países para qualquer parceiro comercial) é o sexto desafio salientado pelos autores. O mesmo vale para quaisquer variáveis que sejam unilaterais, ou seja, variem somente no país de origem ou destino ao longo do tempo. Isso porque os efeitos fixos de país-ano as absorvem na estimação. Uma das soluções mais simples foi proposta por Heid, Larch e Yotov (2017): a inclusão do comércio intranacional na amostra. Como essas políticas não discriminatórias não afetam o comércio interno, a colinearidade entre as variáveis deixa de existir, evitando a absorção.

O sétimo desafio é captar o tempo de ajustamento natural dos fluxos de comércio como resposta a mudanças nas políticas comerciais. Para isso, pesquisadores como Baier e Bergstrand (2009) e Anderson e Yotov (2016) estimaram modelos com intervalos de tempo de 3 a 5 anos nos dados de comércio, obtendo estimativas mais críveis.

Estimar o modelo de gravidade com dados desagregados, para captar melhor o efeito de políticas que são aplicadas de forma diferente para cada bem ou setor (por exemplo, tarifas), é o oitavo e último desafio apontado por Piermartini e Yotov (2016). Como a função CES utilizada na microfundamentação do modelo de gravidade possui a característica da divisibilidade, a estimação pode ocorrer com dados setoriais, com efeitos fixos país-setor-ano, conforme recomendam os autores.

Por fim, com base em Yotov et al. (2016), sintetiza-se as principais recomendações para a estimação eficiente, robusta e não viesada de modelos de gravidade:

1) Sempre que disponível, dados em painel devem ser usados por permitir uma maior variabilidade na amostra;

2) Dados em painel com intervalos (2, 3 ou 5 anos) devem ser usados ao invés de dados agrupados por anos consecutivos, permitindo assim o ajuste a mudanças nas variáveis explicativas, bem como a correção de autocorrelação serial;

3) Devem ser incluídos dados de comércio intranacional, construídos como a diferença entre os dados brutos do valor da produção⁶ e o total das exportações, possibilitando a avaliação correta dos efeitos das políticas comerciais;

4) Efeitos fixos direcionais de variação temporal (país-ano) devem ser incluídos nos dados do painel para controle da resistência multilateral, o que acaba por eliminar dados de Produto Interno Bruto (PIB) por colinearidade;

5) Efeitos fixos de pares de países também devem ser incluídos, corrigindo a endogeneidade entre política comercial e exportações, e assim, dados invariantes no tempo como distância, língua comum e contiguidade são excluídos por colinearidade;

6) O estimador de Poisson Pseudo Maximum Likelihood (PPML) deve ser utilizado⁷ pois, além de lidar com a questão dos fluxos de comércio nulos evitando o problema de seleção amostral, corrige a heterocedasticidade não observável advinda de peculiaridades inerentes às seções cruzadas.

2.2 LITERATURA EMPÍRICA

Existem inúmeros trabalhos que utilizam o modelo gravitacional como método de estimação, principalmente para averiguar efeitos de políticas comerciais. Artigos como os de Alhassan e Payaslioglu

⁶ Dados de produto interno bruto (PIB) não devem ser utilizados pois estão em valor adicionado, enquanto os dados de comércio estão em valores brutos. Veja algumas bases de dados recomendadas em (YOTOV et al., 2016).

⁷ Correia, Guimarães e Zylkin (2020) elaboraram um comando mais rápido e eficiente para a estimação com PPML no software stata, o `ppmlhdf`. O comando original desenvolvido por Santos Silva e Tenreiro (2006) tem problemas na presença de efeitos fixos de grande dimensão, muitas vezes inviabilizando a inclusão de todos os efeitos fixos necessários. Com o `ppmlhdf` isso foi resolvido.

(2020), Gopinath et al. (2020) e Kox e Rojas-Ramagosa (2020) são exemplos de estudos recentes que utilizaram tal modelagem para diferentes objetivos.

Alhassan e Payaslioglu (2020) realizaram uma análise comparativa do impacto das instituições políticas e econômicas no comércio bilateral de países africanos emergentes e de baixa renda. Usando o modelo de gravidade, o estudo revelou que tais instituições são determinantes fundamentais do comércio bilateral na África. Os resultados mostraram que os efeitos diferem por tipo de instituições e níveis de renda dos países, e que as instituições têm maior impacto no comércio das economias emergentes africanas (EEA) do que para os países de baixa renda (PBR). Relativamente, as instituições econômicas afetam o comércio mais do que as instituições políticas nos PBR, enquanto o inverso ocorre nas EEA. Portanto, os autores concluem que o desenho de um arcabouço institucional que vise facilitar o comércio bilateral deve considerar as peculiaridades dos países em termos de seu nível de receita e as diversas facetas das instituições.

Gopinath et al. (2020) aplicaram o modelo de gravidade para verificar o efeito de técnicas de *machine learning*⁸ (ML) sobre os fluxos comerciais. Concentrando-se em commodities agrícolas, o estudo utilizou dados de ML supervisionado (dados de 2010 a 2014, projeção para 2011 a 2016) e não supervisionado (dados de 2014, projeção para 2014 a 2020) para decifrar padrões de comércio. Os resultados mostram a alta eficiência dos modelos de ML aliados ao modelo de gravidade para prever padrões de comércio em curto e longo prazo em relação às abordagens tradicionais. Enquanto as técnicas de ML supervisionadas mostraram os principais fatores econômicos que influenciam os fluxos de comércio agrícola, as abordagens não supervisionadas forneceram melhores ajustes de longo prazo.

Kox e Rojas-Ramagosa (2020) utilizaram o modelo de gravidade para analisar o impacto de acordos preferenciais de comércio (APCs), tratados bilaterais de investimento (TBIs) e outras políticas sobre o fluxo de investimento estrangeiro direto bilateral (IED). Os resultados mostraram que, em média, a formalização de um APC aumenta os estoques de IED bilateral em cerca de 30%. Além disso, pertencer à União Europeia tem um grande impacto e aumenta o IDE em cerca de 135%. Por fim, descobriu-se que a adoção de um TBI tem um efeito comparável à assinatura de um APC, causando efeito positivo sobre o fluxo de IED.

Portanto, fica evidente a flexibilidade de aplicações do método a fim de averiguar efeitos de diversas variáveis relevantes às transações comerciais bilaterais a nível mundial.

3. APLICAÇÃO

3.1 METODOLOGIA

Para exemplificar a utilização do modelo de gravidade aplicado a análise de fluxos comerciais internacionais, avaliou-se o impacto da liberdade econômica das nações sobre suas exportações. Depken e Sonora (2005) afirmam que o comércio internacional de bens parece naturalmente baseado em alguns níveis de liberdade econômica. A falta desta tende a se correlacionar com acesso limitado a produtos estrangeiros, provavelmente em benefício daqueles que detêm poder.

Veenhoven (2000) caracteriza a liberdade econômica como a oportunidade de trocar bens e serviços sem restrições sobre livre comércio, tais como controle de preços, taxação excessiva, instabilidade monetária, violação dos direitos de propriedade e outros. Um mercado livre seria determinado por transações voluntárias entre indivíduos capazes de perseguir livremente seus objetivos econômicos. Especificamente, a liberdade econômica se refere à proteção dos direitos de propriedade privada, bem como à liberdade de conduzir transações voluntárias. Inclui todos os direitos de produção, distribuição e consumo de bens e serviços, livres de interferência ou controle arbitrário do governo.

Poucos são os estudos que analisam a liberdade econômica no contexto do comércio internacional. Depken e Sonora (2005) utilizaram uma equação da gravidade para estimar os efeitos da liberdade econômica sobre as exportações e importações dos Estados Unidos para os anos de 1999 e 2000. Utilizando o Índice de Liberdade Econômica Mundial do Instituto Fraser, descobriu-se que a elevação da liberdade econômica no resto do mundo aumentou o volume geral de comércio internacional dos Estados Unidos. Além disso, os

⁸ Termo ligado à inteligência artificial, técnica que abrange a ideia de máquinas com a capacidade de aprenderem sozinhas a partir de grandes volumes de dados. Os algoritmos supervisionados são aqueles em que o ser humano precisa interagir controlando a saída e entrada de dados e interfere no treinamento da máquina. Por fim, a máquina aplica o que foi aprendido no seu algoritmo para a próxima análise. Já na categoria não supervisionada, os algoritmos utilizam o *deep learning* (aprendizagem profunda) para processar tarefas complexas sem o treinamento humano (RABELO, 2019).

autores mostraram que importações e exportações são afetadas de forma assimétrica no que diz respeito à receita, custos de transação e liberdade econômica.

Naanwaab e Diarrassouba (2013) investigaram o impacto da liberdade econômica no comércio bilateral dentro do continente africano. Os autores utilizaram um conjunto de dados em painel não balanceado com o volume total de comércio entre 33 países africanos. Utilizando um índice de liberdade econômica, empregou-se um modelo de gravidade para estimar o impacto da liberdade econômica no comércio bilateral. Os resultados mostraram que o aumento na liberdade econômica do exportador e do importador tende a gerar mais comércio.

Alguns estudos buscaram vincular certos componentes da liberdade econômica, como a qualidade institucional, ao comércio. Rodrik et al. (2002), Ranjan e Lee (2007) e Nunn (2007), por exemplo, sugerem que a falta de cumprimento dos contratos pode atuar como uma barreira tarifária, reduzindo assim os fluxos comerciais. Ranjan e Lee (2007) relatam ainda que as medidas de cumprimento de contratos afetam o volume de comércio tanto de bens diferenciados quanto homogêneos, sendo o impacto maior para bens diferenciados. Nunn (2007) mostra que os países com melhor cumprimento de contratos exportam relativamente mais. Outros estudos também mostram que a deterioração na qualidade das instituições reduz a demanda externa. Por exemplo, Anderson e Wincoop (2003) mostram que instituições fracas levam a custos comerciais mais elevados do que tarifas, cotas e impedimentos naturais, como a distância entre parceiros comerciais. Embora certos aspectos da liberdade econômica tenham sido estudados no contexto dos fluxos de comércio, seu impacto de forma agregada foi pouco abordado.

Portanto, para examinar o impacto da liberdade econômica dos países sobre suas exportações, utilizou-se dados de exportações bilaterais, em dólares correntes, de todos os países e economias independentes do mundo entre os anos de 2005 e 2016, com relação ao comércio de bens dividido em 3 setores (agricultura, mineração e manufaturas), bem como um indicador de liberdade econômica.

Foi utilizada a base de dados de fluxo bilateral de comércio *International Trade and Production Database for Estimation* (ITPD-E), desenvolvida por Borchert et al. (2020), que contém dados consistentes sobre o comércio internacional e intranacional no nível da indústria, abrangendo agricultura, mineração, energia, manufatura e serviços. A base cobre 243 países e 170 setores⁹. Para a presente análise o setor de serviços foi excluído por ter configuração muito diferente do comércio de bens, os demais setores foram condensados em agricultura, mineração e manufaturas.

Como variável explicativa foi adotado o Index of Economic Freedom (IEF), que busca analisar, em uma sociedade, o quão livres são os indivíduos para trabalhar, produzir, consumir e investir da maneira que quiserem. A liberdade econômica é mensurada com base em 12 fatores quantitativos e qualitativos, agrupados em quatro grandes categorias: 1) Estado de Direito (direitos de propriedade, integridade do governo, eficácia judicial); 2) Tamanho do governo (gastos do governo, carga tributária, saúde fiscal); 3) Eficiência regulatória (liberdade comercial, liberdade de trabalho, liberdade monetária), e; 4) Mercados abertos (liberdade comercial, liberdade de investimento, liberdade financeira). Cada uma das doze liberdades econômicas dentro dessas categorias é graduada em uma escala de 0 a 100. A pontuação geral de um país é derivada pela média dessas doze liberdades econômicas, com peso igual sendo dado a cada uma (THE HERITAGE FOUNDATION, 2020).

A amostra cobre os anos de 2005, 2009, 2013 e 2016, utilizando intervalos de 3 anos (exceto no último ano da amostra, por ser o último disponível) conforme recomendado por Baier e Bergstrand (2009) para permitir o ajuste necessário após mudanças nas políticas.

Assim, o modelo estimado foi:

$$X_{mijt} = \alpha + \beta_{imt} + \Omega_{jmt} + \pi_{ij} + \delta_1 \ln IEF_{it} + \mu \quad (11)$$

em que X_{mijt} são as exportações do país i ao j , do setor m (agricultura, mineração e manufaturas), no ano t ; α é a constante gravitacional; β são os efeitos fixos exportador-setor-ano; Ω são os efeitos fixos importador-setor-ano; π são os efeitos fixos dos pares de países; IEF_{it} é o Index of Economic Freedom do país i no ano t , e; μ é o termo de erro. A tabela 1 sintetiza os dados utilizados e suas respectivas fontes.

⁹ Veja a lista de países e setores em https://usitc.gov/publications/332/working_papers/itpd-e_usitc_wp.pdf.

Tabela 1. Variáveis utilizadas na estimação do modelo gravitacional.

Variável	Descrição	Fonte
Exportações (Xmijt)	Exportações bilaterais de mercadorias, em dólares correntes, de todos os países e economias independentes do mundo, entre os anos de 2005 e 2016, agrupadas em 3 setores (agricultura, mineração e manufaturas).	International Trade and Production Database for Estimation (ITPD-E)
Index of Economic Freedom (IEFit)	Indicador de liberdade econômica, mensurado com base em 12 fatores quantitativos e qualitativos, agrupados em quatro grandes categorias: 1) Estado de Direito; 2) Tamanho do governo; 3) Eficiência regulatória, e; 4) Mercados abertos. Varia de 0 a 100, sendo que quanto maior o valor, maior a liberdade econômica no país.	The Heritage Foundation

Fonte: Elaboração própria.

A estimação¹⁰ foi realizada por *Poisson Pseudo Maximum Likelihood* (PPML) conforme recomendado por Yotov et al. (2016), porém utilizando o comando elaborado por Correia et al. (2020) para o software STATA, o PPMLHDFE, que é mais eficiente na presença de efeito fixos de grande dimensão (como é o caso do modelo de gravidade, visto que o recomendado é usar o maior número de países possível para captar toda a resistência multilateral). O comando absorve os efeitos fixos durante a estimação, mostrando somente os coeficientes das variáveis explicativas de interesse nas saídas.

3.2 RESULTADOS

A tabela 2 a seguir apresenta os resultados do modelo, coeficientes e erros padrão, estimado por *Poisson Pseudo Maximum Likelihood* (PPML), através do comando *ppmlhdfc* do software *Stata*.

Tabela 2. Resultados da estimação.

Variável	Coefficiente	Erros padrão
Ln IEF	1,643002***	0,433281
Constante	7,632578***	0,922237
Pseudo R2	0,9896	
Nº de observações	274986	
EF exportador-setor-ano	Sim	
EF importador-setor-ano	Sim	
EF pares de países	Sim	

*** representa significância a 1%. Os erros padrão são robustos. EF = efeitos fixos.

Fonte: elaboração própria.

Conforme esperado, o Index of Economic Freedom (IEF) apresentou uma relação positiva e significativa às exportações. Uma elevação de 10% no indicador resulta, em média, em um aumento de aproximadamente 16,4% no fluxo comercial bilateral. Tal efeito elástico mostra a grande relevância da liberdade econômica mensurada pelo IEF para um melhor desempenho exportador. Esta constatação vai ao encontro de trabalhos como os de Depken e Sonora (2005) e Naanwaab e Diarrassouba (2013), que também encontraram uma relação positiva entre liberdade econômica e comércio internacional. Assim sendo, torna-se possível inferir que investir na melhoria dos componentes da liberdade econômica (estado de direito, tamanho do governo, eficiência regulatória e mercados abertos) é de grande importância para uma participação mais frutífera no comércio internacional.

A constante, conforme explicam Baldwin e Taglioni (2006), não é uma constante como no mundo físico; é o que pode ser chamado de “inconstante gravitacional”, uma vez que inclui todos os custos do comércio bilateral e resistências multilaterais, portanto, varia com país e tempo. Assim sendo, apesar de significativo em média, o coeficiente da “inconstante” varia para cada efeito fixo incluído na estimação, logo não faz sentido analisá-lo aqui.

¹⁰ No apêndice 1A encontra-se, passo a passo, os comandos utilizados para executar a estimação no software STATA 16 MP.

O R² de McFadden (pseudo R²) mostra um ajustamento alto, porém isso sempre ocorre com a presença dos termos de resistência multilateral, que explicam a maior parte do comércio. Assim sendo, o mesmo não deve ser usado para avaliar o poder explicativo da equação, mas sim para comparar a qualidade de ajustamento em relação a equações similares (VEALL; ZIMMERMANN, 1996).

Foram inseridos os efeitos fixos necessários para controle da resistência multilateral e dos pares de países, conforme instruído por Yotov et al. (2016). Os coeficientes dos mesmos foram omitidos por não serem de interesse do estudo, cumprindo apenas sua função estatística.

Por fim, foi possível verificar a aplicação do modelo de gravidade estrutural especificado conforme as recomendações mais recentes, bem como a qualidade de seus resultados. As possibilidades de análises empíricas com o mesmo são inúmeras, especialmente na avaliação de políticas comerciais e acordos preferenciais de comércio.

4. CONCLUSÕES

O modelo de gravidade, um dos mais populares no estudo do comércio internacional, é uma abordagem simples e eficiente para análise e previsão de variáveis econômicas relacionadas a fluxos comerciais bilaterais. Sua popularidade baseia-se em três fatos principais: os fluxos comerciais internacionais são um elemento importante para diversos tipos de relações econômicas; os dados necessários para estimá-lo são facilmente acessíveis a todos atualmente, e; um grande número de trabalhos de alto padrão trouxe maior respeitabilidade ao modelo de gravidade, bem como seu desenvolvimento teórico e estatístico consolidado.

Entretanto, apesar dos sólidos fundamentos teóricos e do notável sucesso empírico, o modelo de gravidade foi e ainda é frequentemente utilizado sem embasamento e sem levar em conta os desafios econométricos que podem gerar estimativas enviesadas e inconsistentes.

Assim sendo, o presente trabalho buscou, primeiramente, fazer uma revisão teórica sobre o modelo e sua fundamentação microeconômica, matemática e estatística e, posteriormente, demonstrar sua aplicação da forma recomendada pela literatura especializada mais recente, gerando assim importante material para pesquisadores da área.

Com base em uma ampla revisão dos trabalhos recentes, foram relatadas as principais recomendações para a estimação gravitacional eficiente, robusta e não viesada: 1) Sempre que disponível, dados em painel devem ser usados para obter estimativas de gravidade estrutural; 2) Dados em painel com intervalos (2, 3 ou 5 anos) devem ser usados em vez de dados agrupados por anos consecutivos; 3) Devem ser incluídos dados de comércio intranacional, construídos como a diferença entre os dados brutos do valor da produção e o total das exportações; 4) Efeitos fixos direcionais de variação temporal (país-ano ou país-setor-ano) devem ser abarcados na equação; 5) Efeitos fixos de pares de países também devem ser adotados, e; 6) O estimador de *Poisson Pseudo Maximum Likelihood* (PPML) deve ser utilizado.

Por fim, foi estimada uma equação gravitacional para verificar impacto da liberdade econômica das nações sobre suas exportações. Os resultados, conforme esperado, demonstraram que existe uma relação positiva, significativa e elástica entre liberdade econômica e comércio internacional, ou seja, quanto mais liberdade, maior tende a ser o fluxo de comércio entre os países.

Espera-se que o presente trabalho sirva de instrumento para diversas pesquisas na área, gerando novas evidências, mais robustas e não viesadas, e direcionamento para a formulação de políticas comerciais mais eficientes.

REFERÊNCIAS

- ALHASSAN, A.; PAYASLIOGLU, C. Institutions and bilateral trade in Africa: an application of Poisson's estimation with high-dimensional fixed effects to structural gravity model. **Applied Economics Letters**, v. 27, n. 16, p. 1357–1361, 19 set. 2020.
- ANDERSON, J. E. A Theoretical Foundation for the Gravity Equation. **American Economic Review**, v. 69, n. 1, 1979.
- ANDERSON, J. E. AND VAN WINCOOP, E. Gravity with Gravitas: A Solution to the Border Puzzle. **American Economic Review**, v. 93, n. 1, 2003.

- ANDERSON, J. E.; YOTOV, Y. V. Terms of trade and global efficiency effects of free trade agreements, 1990-2002. **Journal of International Economics**, v. 99, p. 279–298, 1 mar. 2016.
- BACCHETTA, MARC. ET AL. **A Practical Guide to Trade Policy Analysis**. [s.l.] WTO, 2012.
- BAIER, S. L.; BERGSTRAND, J. H. Estimating the effects of free trade agreements on international trade flows using matching econometrics. **Journal of International Economics**, v. 77, n. 1, p. 63–76, 2009.
- BALDWIN, R.; TAGLIONI, D. **Gravity for Dummies and Dummies for Gravity Equations**: NBER WORKING PAPER SERIES. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.nber.org/papers/w12516>>. Acesso em: 26 out. 2020.
- BORCHERT, I., LARCH, M., SHIKHER, S., AND YOTOV, Y. **The International Trade and Production Database for Estimation (ITPD-E)**. Disponível em: <<https://www.usitc.gov/data/gravity/itpde.htm>>. Acesso em: 3 nov. 2020.
- CORREIA, S.; GUIMARÃES, P.; ZYLKIN, T. Z. Fast Poisson estimation with high-dimensional fixed effects. **Stata Journal**, v. 20, n. 1, p. 95–115, 2020.
- DEARDORFF, A. V. Determinants of Bilateral Trade: Does Gravity Work in a Neoclassical World? In: JEFFREY A. FRANKEL (Ed.). **The Regionalization of the World Economy**. [s.l.] University of Chicago Press, 1998.
- DEPKEN, C. A.; SONORA, R. J. Asymmetric Effects of Economic Freedom on International Trade Flows. **International Journal of Business and Economics**, v. 4, n. 2, p. 141–155, 2005.
- FEENSTRA, R. C. **Advanced International Trade: Theory and Evidence**. [s.l.] Princeton university press, 2004.
- GOPINATH, M.; BATARSEH, F. A.; BECKMAN, J. **Machine Learning in gravity models: an application to agricultural trade**: NBER WORKING PAPER SERIES. Cambridge, MA: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.nber.org/papers/w27151>>. Acesso em: 28 out. 2020.
- GOURIEROUX, C.; MONFORT, A.; TROGNON, A. Pseudo Maximum Likelihood Methods: Theory. **Econometrica**, v. 52, n. 3, p. 681, maio 1984.
- HEAD, K.; MAYER, T. Gravity Equations: Workhorse, Toolkit, and Cookbook. In: **Handbook of International Economics**. [s.l.] Elsevier B.V., 2014. v. 4p. 131–195.
- HEID, B.; LARCH, M.; YOTOV, Y. **Estimating the Effects of Non-discriminatory Trade Policies within Structural Gravity Models** Drexel University Working Paper Series. [s.l: s.n.].
- HUMMELS, D. L. **Toward a Geography of Trade Costs**. Purdue University. 54 p. 2001.
- KOX, H. L. M.; ROJAS-ROMAGOSA, H. How trade and investment agreements affect bilateral foreign direct investment: Results from a structural gravity model. **World Economy**, n. March, p. 1–40, 2020.
- NAANWAAB, C.; DIARRASSOUBA, M. The impact of economic freedom on bilateral trade: A cross-country analysis. **International Journal of Business Management and Economic Research**, v. 4, n. 1, p. 668–672, 2013.
- NUNN, N. Relationship-specificity, incomplete contracts, and the pattern of trade. **The Quarterly Journal of Economics**, Vol. 122 No. 2, pp. 569-600, 2007.
- OLIVERO, MARÍA PÍA; YOTOV, Y. Dynamic Gravity: Endogenous Country Size and Asset Accumulation. **Canadian Journal of Economics**, v. 45, n. 1, 2012.
- PIERMARTINI, R.; YOTOV, Y. V. **Estimating Trade Policy Effects with Structural Gravity** CESIFO WORKING PAPERS: CESIFO WORKING PAPER. [s.l: s.n.]. Disponível em: <www.RePEc.org>. Acesso em: 26 out. 2020.
- RABELO, A. **O que é machine learning? Entenda essa tendência no marketing digital!** Disponível em: <<https://rockcontent.com/br/blog/machine-learning/>>. Acesso em: 3 nov. 2020.
- RANJAN, P.; LEE, J. Y. Contract enforcement and international trade. **Economics and Politics**, Vol. 19 No. 2, pp. 191-218, 2007.

-
- RODRIK, D.; SUBRAMANIAN, A.; TREBBI, F. Institutions rule: the primacy of institutions over geography and integration in economic development. **Journal of Economic Growth**, Vol. 9 No. 2, pp. 131-165, 2004.
- SANTOS SILVA, J M C E TENREYRO, S. The log of Gravity. **Review of Economics and Statistics**, v. 88, n. November, p. 641–658, 2006.
- SANTOS SILVA, J. M. C.; TENREYRO, S. Further simulation evidence on the performance of the Poisson pseudo-maximum likelihood estimator ☆. **Economics Letters**, v. 112, p. 220–222, 2011.
- THE HERITAGE FOUNDATION. **Index of Economic Freedom**. Disponível em: <<https://www.heritage.org/index/>>. Acesso em: 3 nov. 2020.
- TINBERGEN, J. **Shaping the world economy: suggestions for an international economic policy**. [s.l.] New York: Twentieth Century Fund, 1962.
- VEALL, M. R.; ZIMMERMANN, K. F. Pseudo-R2 measures for some common limited dependent variable models. **Journal of Economic Surveys**, v. 10, n. 3, p. 241–259, 1 set. 1996.
- VEENHOVEN, R. Freedom and Happiness: A comparative study in 46 nations in the Early 1990's. In: Diener, E. & E.M. **Culture and subjective well-being**. MIT press, Cambridge, MA USA, 2000.
- YOTOV, Y. V. et al. **An Advanced Guide to Trade Policy Analysis: The Structural Gravity Model**. [s.l.] UNCTAD, 2016.

APÊNDICE

APÊNDICE 1A: LISTA DE COMANDOS PARA A ESTIMAÇÃO NO STATA 16

1) Instalar o comando ppml (caso for utilizar)

ssc install ppml

2) Instalar o comando ppmlhdfc

ssc install ppmlhdfc (será solicitado instalar outros comandos ao utilizar)

3) Completar todos os pares de países para os dados de fluxo comercial

Abra o arquivo com os dados de comércio bilateral.

São necessárias 4 colunas: exportador (código iso3), importador (código iso3), ano e fluxo comercial (trade).

fillin exportador importador ano

replace trade=0 if trade==.

4) Incluir comércio intranacional nos dados de comércio bilateral (os dados vão na coluna trade, junto com os dados de fluxo internacional)

Fica, por exemplo, exportador = BRA, importador = BRA, ano e trade = produção interna em valores brutos - exportações brutas (por setor/mercadoria).

Não é recomendado usar dados de PIB pois este é medido em valor agregado, e as exportações estão em valores brutos.

5) Unindo bases de dados: o comando merge

Atenção ao rótulo das variáveis, deve estar exatamente igual em todas as bases. Os nomes dos países também, por isso é melhor usar o código iso de 3 letras.

Abrir o arquivo dos fluxos comerciais.

Use o comando merge direto no menu de opções (sugestão): *Data > combine datasets > merge two datasets*.

Selecione as variáveis em comum das bases. Por exemplo, no caso do IEF, foram exportador e ano.

6) Gerar *dummies* de controle (se for usar o comando ppml. Para o ppmlhdfc não é necessário)

6.1 Efeitos fixos país-ano

egen exporano = group(exportador ano)

tabulate exporano, generate(exporano_)

Idem para importador.

6.2 Efeitos fixos dos pares de países

egen pair_id = group(exportador importador)

tabulate pair_id, generate(pairfe_)

7) Gerar variáveis logarítmicas

gen "novo nome da variável" = ln("variável original")

Fazer para qualquer variável explicativa quantitativa.

8) Para comércio intranacional, fazer uma *dummy* que deve ser multiplicada pelas variáveis explicativas (já em ln):

gen nointratrade = 1

replace nointratrade = 0 if exportador==importador

Depois é só gerar novas variáveis explicativas que serão a variável já em ln multiplicada pela *dummy* nointratrade (por exemplo, *gen lnIEFnova = lnIEF*nointratrade*).

9) Se possível, use intervalos de tempo entre os anos da amostra.

10) Estimação por ppml

ppml trade pairfe_* exporano_* imporano_* “variáveis explicativas”, cluster(pair_id)

Para muitos países, demora muito para finalizar além de excluir grande parte dos efeitos fixos por colinearidade.

O comando *cluster()* corrige os erros-padrão calculados com base nos pares de países. A estimação por PPML já é robusta.

11) Estimação por ppmlhdfc

O estimador não reconhece os códigos iso3, logo, é necessário criar um rótulo numérico para cada país exportador e importador.

egen exportadorid = group (exportador)

egen importadorid = group (importador)

ppmlhdfc trade “variáveis explicativas”, vce(cluster exportadorid#importadorid) absorb (exportadorid#year importadorid#year exportadorid#importadorid)

Yotov et al. (2016) explica que, como os dados usados são um conjunto de dados em painel com observações repetidas de pares de países ao longo do tempo, efeitos comuns observáveis e não observáveis podem surgir naturalmente. Apesar do controle dos efeitos fixos, algum padrão de correlação entre pares de países ao longo do tempo ainda pode estar presente no termo de erro. Este padrão de correlação pode ser capturado agrupando os erros por pares de países, com o *vce(cluster)*.