

INSTITUTO BRASILEIRO DE MERCADO DE CAPITAIS – IBMEC

BIANCA SILVA ALVES FEITOZA

**APLICAÇÃO DO MODELO GRAVITACIONAL NO COMÉRCIO
INTERNACIONAL DAS UNIDADES FEDERATIVAS DO BRASIL**

RIO DE JANEIRO
2023

BIANCA SILVA ALVES FEITOZA

**APLICAÇÃO DO MODELO GRAVITACIONAL NO COMÉRCIO
INTERNACIONAL DAS UNIDADES FEDERATIVAS DO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto Brasileiro de Mercado de Capitais
(Ibmec - RJ), como parte das exigências para
obtenção do título de bacharel em Ciências
Econômicas.

Orientadora: Dra. Mariya Brussevich

RIO DE JANEIRO
2023

BIANCA SILVA ALVES FEITOZA

**APLICAÇÃO DO MODELO GRAVITACIONAL NO COMÉRCIO
INTERNACIONAL DAS UNIDADES FEDERATIVAS DO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto Brasileiro de Mercado de Capitais
(Ibmec - RJ), como parte das exigências para
obtenção do título de bacharel em Ciências
Econômicas

Rio de Janeiro, 22 de novembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Mariya Brusseovich
Instituto Brasileiro de Mercado de Capitais

Profa. Dra. Paula Esteban do Valle Jardim Crocchi
Instituto Brasileiro de Mercado de Capitais

AGRADECIMENTOS

Na etapa final de minha graduação em Ciências Econômicas, curso que tanto me empolga e me encanta, gostaria de agradecer, em primeiro lugar, a Deus por conceder-me a força e a disciplina necessárias para chegar até aqui.

Em segundo lugar, agradeço à minha mãe, Nede, por todo o amor e apoio. Sem sua luz e exemplos em vão tudo seria. Agradeço também à Linda, minha tia, que me ensinou o valor da bondade e da leitura.

Em terceiro lugar, gostaria de agradecer ao João Paulo por estes quatro anos de amizade e companheirismo nos estudos. Agradeço também ao Matheus Avila pela amizade nutrida.

Ademais, agradeço à Dras. Mariya Brussevich e Paula Esteban pelas disciplinas ministradas e pela dedicação e paciência em seus ensinamentos.

Por fim, dedico não só esta monografia, mas toda minha graduação e meus esforços à minha irmã, Maria Clara, que não poderá ler esta mensagem ou sequer entendê-la, mas que tampouco precisa disso, pois é, por si só, um raio de sol e as estrelas da noite.

Dados Internacionais de Catalogação na
Publicação Centro Universitário Ibmecc
Gerado automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

-
- F311a Feitoza, Bianca Silva Alves.
Aplicação do Modelo Gravitacional no comércio internacional das unidades federativas do
Brasil /Bianca Silva Alves Feitoza. - 2023.
41 f.: il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Ibmecc, Ciências
Econômicas, Campus Centro, Rio de Janeiro, 2023
Orientadora: Profa. Dr(a). Mariya Brussevich.
Coorientadora: Profa. Dr(a). Paula Esteban do Valle Jardim Crocchi.
1. Modelo Gravitacional. 2. PPML. 3. dois estágios. 4. Brasil. 5. efeitos fixos.
-

RESUMO

O objetivo desta monografia é verificar se o Modelo Gravitacional, amplamente aceito e fundamentado na Teoria do Comércio Internacional, apresenta aderência para os dados de comércio exterior das 27 unidades federativas do Brasil nos anos 2001 até 2021. Assim, a principal contribuição do trabalho é a aplicação do Modelo Gravitacional à realidade brasileira, de acordo com as orientações mais recentes da literatura, de forma a não produzir resultados viesados e inconsistentes. Além disso, inova-se ao medir distâncias não anteriormente calculadas na literatura e ao abranger informações relativas ao comércio intranacional para o caso brasileiro. O resultado mais importante é que a estimação por meio de Poisson Quase Máximo Verossimilhança (PQMV) e Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) em uma análise de dois estágios, com recuperação dos efeitos fixos, apresenta resultados significativos e condizentes com o esperado pela literatura em relação às principais variáveis explicativas adotadas.

Palavras-chave: Modelo Gravitacional; Brasil; unidades federativas do Brasil; efeitos fixos; modelo em dois estágios; PPML.

ABSTRACT

The aim of this monograph is to verify whether the Gravity Model, which is widely accepted and supported by International Trade Theory, adheres to the foreign trade data of Brazil's 27 federal units from 2001 to 2021. Thus, the main contribution of this work is the application of the Gravity Model to the Brazilian reality, in accordance with the most recent guidelines in the literature, so as not to produce biased and inconsistent results. It also breaks new ground by measuring distances not previously calculated in the literature and by including information on intra-national trade for the Brazilian case. The most important result is that the estimation by means of Poisson Pseudo Maximum Likelihood (PPML) and Ordinary Least Squares (OLS) in a two-stage approach, with recovery of fixed effects, presents significant results that are consistent with those expected by the literature in relation to the main explanatory variables adopted.

Keywords: Gravity Model; Brazil; Brazilian federal units; fixed effects; two-stage model; PPML.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Efeito fixo médio dos pares por estado	28
Figura 2 - Efeito fixo dos pares estimados por PPML e MQO	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Efeitos fixos máximo, mínimo e médio por estado em relação aos seus pares	27
Tabela 2 - Efeito fixo médio dos pares por macrorregião	29
Tabela 3 - Segundo estágio: Estimação do efeito de variáveis constantes no tempo sobre os efeitos fixos dos pares	30
Tabela 4 – Comparação descritiva dos efeitos fixos por PPML e MQO	32
Tabela 5 – Segundo estágio: Estimação do efeito das variáveis explicativas sobre os efeitos fixos dos pares obtidos por MQO	32
Tabela 6 – Segundo estágio: Estimação do efeito da distância separada por macrorregião sobre os efeitos fixos dos pares obtidos por PPML	33
Tabela 7 – Segundo estágio: Estimação do efeito do PIB separado por macrorregião sobre os efeitos fixos dos pares obtidos por PPML	35

LISTA DE SIGLAS

Cepii – Centre for Prospective Studies and International Information
EUA – Estados Unidos da América
FMI – Fundo Monetário Internacional
GATT – Acordo Geral de Tarifas e Comércio
H-O – Heckscher-Ohlin
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MQO – Mínimos Quadrados Ordinários
Nasa – National Aeronautics and Space Administration
OCDE – Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico
OMC – Organização Mundial do Comércio
PIB – Produto Interno Bruto
PPML – Poisson Pseudo Maximum Likelihood
PQMV – Poisson Quase Máxima Verossimilhança
RTA – Acordos Comerciais Regionais
Sidra – Sistema IBGE de Recuperação Automática
TRM – Termo de Resistência Multilateral
USITC – United States International Trade Commission

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DA LITERATURA	13
3. METODOLOGIA	16
4. DADOS	20
4.1. Informações geográficas	20
4.1.1. Distância entre as capitais	21
4.1.2. Fronteira com o par comercial	22
4.1.3. Acesso ao mar	22
4.1.4. Dummy de macrorregião brasileira	23
4.2. Informações culturais e populacionais	23
4.2.1. Proximidade idiomática	23
4.2.2. Proximidade religiosa	24
4.2.3. Países irmãos	24
4.2.4. População	24
4.3. Informações econômicas	25
4.3.1. Produto Interno Bruto	25
4.3.2. Participação no GATT e na OMC	25
4.3.3. Existência de um acordo regional	26
5. RESULTADOS	25
5.1. Primeiro estágio	25
5.2. Segundo estágio	28
5.3. Comparação com estimações MQO no primeiro estágio	31
5.4. Análise por macrorregião	33
6. CONCLUSÕES	36
REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

O modelo gravitacional é aceito na literatura econômica como o método de maior aplicabilidade e eficiência para avaliação do efeito de políticas comerciais sobre o fluxo de bens e serviços entre países, de acordo com Yotov et al. (2016).

Esta aceitação decorre de sua qualidade empírica, suportada por uma ampla base teórica, desenvolvida nos anos 80 e 90 do século passado, e pelo contínuo aprimoramento, ocorrido principalmente no século XXI, das técnicas e dos modelos econométricos utilizados para sua estimação. A citar algumas das principais contribuições em cada aspecto, respectivamente: Anderson, 1979; Krugman, 1980; Deardoff, 1995 e Feestra, 2004; Silva e Tenreyro, 2006; Yotov et. al, 2016. É oportuno citar que tal modelo é utilizado e que muitas de suas aplicações são orientadas por instituições como o Fundo Monetário Internacional (FMI) e Comissão do Comércio Internacional dos Estados Unidos (USITC).

O modelo recebeu este nome por poder ser interpretado como uma analogia aos princípios da Lei Gravitacional Universal de Newton. Assim como a atração entre dois corpos é tão maior quanto maior a massa deles e menor quanto maior a distância que os separa, o comércio internacional entre os países também estaria submetido a tais forças. A intuição é que quanto maior o PIB de um país, por analogia, sua massa, maior será a tendência à importação e exportação. Além disso, a distância entre os países exerce influência sobre custos de transporte e aumentam as assimetrias de informação e as barreiras de comunicação, o que tende a reduzir o comércio entre os pares. Tais influências que impõem restrições ao comércio foram chamadas por Tinbergen (1962) de resistências ao comércio em seu livro “Shaping the World Economy: Suggestion for an International Economic Policy”. Visando maior proximidade com a literatura recente, adotar-se-á neste trabalho a notação termos de resistência multilateral (TMR) para referir-se aos elementos opostos ao comércio internacional.

O objetivo desta monografia é analisar, de acordo com as orientações mais recentes da literatura, o comércio internacional de cada unidade federativa do Brasil e avaliar a possibilidade da utilização do modelo gravitacional para análise dos fatores que explicam seus fluxos comerciais. Para tanto, consideramos elementos que possam influenciar nas trocas, tais como distância, existência de saída para o mar e acordos bi ou multilaterais, contingência e extensão territorial, entre outros.

A principal contribuição dessa monografia é tratar cada unidade federativa do Brasil, seus estados e Distrito Federal, como um par comercial e verificar se os resultados encontrados

serão robustos, significativos e consistentes. Para alcançar o objetivo principal da pesquisa, que apresenta como abordagem diferencial o tratamento de cada unidade federativa como um par de comércio internacional, - no lugar da abordagem tradicional, que analisa o comércio agregado de todas elas - serão traçadas as seguintes etapas:

- i) Explicar as fundamentações teóricas do modelo gravitacional para o comércio internacional, suas aplicações e possíveis limitações;
- ii) Delimitar as variáveis e os modelos econométricos a serem utilizados;
- iii) Estimar o modelo econométrico, verificar a significância estatística dos regressores e a coerência dos resultados com o esperado pela literatura econômica;
- iv) Analisar as principais conclusões, considerados os resultados econométricos.

O trabalho aqui proposto é inspirado pelos trabalhos de Hidalgo e Vergolino (1998) e por Azevedo e Bampi (2020) por suas colaborações para a utilização do Modelo Gravitacional especificamente para o Brasil. O primeiro foi pioneiro, pois utilizou pela primeira vez o Modelo Gravitacional para o caso brasileiro. Nele, se analisou a relação comercial da Região Nordeste com o restante do Brasil e do mundo. O segundo, analisa o comércio potencial entre o Brasil e a Ásia por meio de estimação em dois estágios e utiliza variáveis que extrapolam as propostas no modelo clássico (distância e PIB), mesma abordagem que será adotada no presente trabalho.

Como diferencial em relação aos dois trabalhos acima citados, a presente monografia inova ao não substituir os valores nulos do comércio internacional pela unidade e por não realizar as estimações dos efeitos fixos entre os pares do comércio por meio de modelo de Mínimos Quadrados Ordinários. Tal opção, como será visto nas seções Metodologia e Resultados do presente trabalho, gera ganhos na qualidade econométrica da estimação, ao lidar com o problema de heterocedasticidade e ao não desconsiderar os dados nulos de comércio.

Adicionalmente, em uma análise complementar, esmiuçamos o efeito das variáveis clássicas do modelo (distância e PIB) para cada uma das macrorregiões do Brasil.

Ademais, também tomamos como referência a abordagem econométrica e modelagem teórica e estrutural aplicada no trabalho de Spornberger (2022). Tal trabalho estuda o efeito da expansão da União Europeia sobre o comércio dos países membros ao longo dos anos. Ele segue a justificativa teórica de Anderson e Von Wincoop (2003), assim como, adota as práticas econométricas sugeridas por Yotov et al. (2016), constantes no Guia Avançado para Análise de Políticas Comerciais, publicado pelo FMI.

Por fim, em relação à abrangência dos dados considerados, as informações utilizadas na monografia compreendem o comércio das 27 (vinte e sete) unidades federativas do Brasil com 90 países durante anos de 2001 a 2021. Os dados foram recolhidos em fluxo anual e em valores totais, desconsiderando-se os setores.

O presente trabalho está estruturado conforme segue: a segunda parte abordará a revisão literária, onde exploraremos a evolução teórica e empírica do modelo; a terceira parte corresponde à metodologia utilizada, nela explicaremos o modelo estrutural e a abordagem econométrica utilizada, bem como, justificaremos a adoção da estimação em dois estágios por meio da recuperação de efeitos fixos; a quarta parte é relativa à base de dados criada para o trabalho, lá explicaremos as fontes, os tratamentos e as estimações ou simplificações aderidas; a quinta e última parte discorre sobre as conclusões e resultados obtidos por meio do modelo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O modelo gravitacional foi formalmente aplicado pela primeira vez em 1962, por Jan Tinbergen, primeiro ganhador do Prêmio Nobel de Economia. Ao longo da década de 60 e 70, o modelo foi citado em diversos trabalhos, como os de Poyhonen (1963), Pullianinen (1962), Linnemann (1966), Aitken (1973), Geraci e Prewo (1977), Sattinger (1978) e Prewo (1978). No entanto, apesar de seu relativo sucesso empírico, havia uma carência de justificação teórica para o modelo, que o enfraquecia. Neste sentido, Anderson (1979) é pioneiro ao apresentar uma justificação teórica sólida para o modelo. Utilizando-se das premissas de bens diferenciáveis por local de origem (elasticidade de substituição de Armington), preferências homotéticas do consumidor idênticas entre as nações e designadas por função de utilidade do tipo elasticidade de substituição constante (CES), Anderson derivou os primeiros fundamentos teóricos do modelo gravitacional. Mais tarde, Anderson e Von Wincoop (2003) lapidarão o modelo.

A partir deste ponto, diversos outros autores apresentaram diferentes justificações teóricas que sustentaram a ampla utilização empírica do modelo e lhe concederam prestígio e confiabilidade. Dentre as mais famosas, cita-se Krugman (1980) e Krugman e Helpman (1985). Utilizando as premissas da nova teoria do comércio internacional, assume-se que os consumidores tenham utilidade positivamente associada à diferenciação dos produtos, dentro de um mercado de competição monopolística entre as firmas e com existência de retornos crescentes de escala (RCS). Tais pressupostos são importantes para explicar o comércio intraindústria entre os países.

Bergstrand e Feenstra (1985); Markusen e Rose (2001) mostram que o modelo gravitacional pode ser derivado tanto de modelos com produtos diferenciados e concorrência imperfeita como no sentido de Armington. Posteriormente, Eaton e Kortum (1997) derivaram o modelo dentro da perspectiva Ricardiana, baseada em vantagens comparativas. No ano seguinte, Deardoff (1998), assumindo bens homogêneos e competição perfeita, deriva o modelo através do arcabouço Heckscher-Ohlin (H-O). Tal abordagem mostrou-se valiosa para a compreensão do comércio entre países com desproporcionalidade de fatores entre si e com grande fluxo de comércio interindústria.

Retornando ao arcabouço de Krugman (1980), cita-se aqui o desenvolvimento do conceito de viés doméstico, que será importante para a realização de aprimoramentos e estudos futuros na literatura do modelo gravitacional. Considerando que as firmas queiram evitar os custos de transportes, os maiores mercados (países) concentrarão maior diversificação de produtos, representada pelo número de firmas. Dessa forma, os mercados menores tenderiam a se especializar na produção de bens homogêneos. O viés doméstico seria capturado pelo fato de que a elasticidade da exportação em relação à renda doméstica nos países pequenos seria maior que a elasticidade das suas exportações em relação à renda do país importador. O viés doméstico também pode ser chamado de efeito fronteira, como será referido neste trabalho a partir de agora.

McCallum (1995) é pioneiro ao investigar o efeito do comércio intranacional no comércio internacional dos países. No mesmo ano, Helliwell (1995) estimou o efeito fronteira para o comércio entre EUA-Canadá e entre os países da OCDE, levando em consideração o comércio interestadual dos países. Suas conclusões foram de que as províncias ou estados de um mesmo país tendem a comercializar mais entre si do que com outros países. A intuição deriva do fato de que existem entre unidades de um mesmo país menores restrições de ordem estrutural, logística, legal e linguística para o intercâmbio de bens. Obstfeld e Rogoff (2000) decidiram estudar os custos de comércio, enquanto Hummels (2001) procurou modelar diretamente os custos de transporte, que até então estavam sendo medidos via proxy pela distância entre os países.

Outros estudos posteriores ao de McCallum sobre o efeito do comércio intranacional são de Evans (2003) e Anderson e Van Wincoop (2003). Na análise do contexto brasileiro, destaca-se o trabalho pioneiro de Hidalgo e Vergolino (1998), em que se analisou a relação comercial da Região Nordeste com o restante do Brasil e do mundo. Posteriormente a eles, pode-se citar os trabalhos de Paz e Mello Franco Neto (2003), Daumal e Zignago (2010), Leusin e de Azevedo (2009) e Silva et al (2007).

Com a virada do século, o modelo já apresenta uma ampla gama de justificativas teóricas. Seus maiores avanços no século XXI serão direcionados ao desenvolvimento de técnicas e metodologias mais sofisticadas, lhe permitindo a geração de estimadores robustos, consistentes e não viesados. Feestra (2004) e Redding e Venables (2004) verificaram que a utilização de efeitos fixos para o importador e exportador deveriam ser utilizados para captação dos TRM. Tal inclusão será essencial para a resolução do problema de heterocedasticidade, muito comum em análises do modelo gravitacional. Head e Mayer (2013) chamaram tal avanço de a “Revolução dos Efeitos Fixos”, tamanha foi sua contribuição para a melhoria estatística do modelo.

Nesse contexto, torna-se imperioso citarmos que a utilização de tais efeitos abrange todas as variáveis explicativas, observáveis ou não. Dessa forma, a estimação dos efeitos destas variáveis fica prejudicado, uma vez que eles já estariam englobados no efeito fixo. Uma solução para recuperação dos efeitos das variáveis explicativas, que será explorada no presente trabalho, é a estimação em dois estágios. Tal método já foi explorado, por exemplo, por Spornberger (2022) e Azevedo e Bampi (2020). Maiores detalhes serão abordados na seção Metodologia do presente trabalho.

Outro avanço técnico na estimação do modelo foi a proposta por Silva e Tenreiro (2006) pela adoção do modelo Poisson Quase Máxima Verossimilhança (PQMV) - ou Poisson Pseudo Maximum Likelihood (PPML) do inglês - para realização das regressões. Por serem dados caracterizados por valores não negativos que possuem certos valores zerados, esta solução é melhor frente as alternativas aplicadas anteriormente na literatura. Os detalhes metodológicos de tal abordagem e a razão de sua vantagem frente à outras previamente adotadas serão mais bem explorados na seção Metodologia do presente trabalho.

Yotov et. Al (2016) e Egger et al. (2021) mostram que os modelos que utilizam os dados em painel em anos consecutivos não conseguem capturar adequadamente as respostas de curto e longo prazo frente as mudanças de políticas comerciais bi ou multilaterais adotadas pelos países, tal como acordos de preferência comercial (APC) ou tratados de investimentos bilaterais (TIB). Isso ocorre pois há um natural tempo de ajuste para que elas gerem efeitos significativos. Portanto, para melhor compreensão da dinâmica dos efeitos dessas políticas, Baier e Bergstrand (2007), Cheng et al. (2005), Masood (2021) e Oliveira e Yotov (2012) sugerem a utilização dos dados com intervalos de 3 a 5 anos para realização de estimações. Outra solução sugerida por Bergstrand et al (2015), Bruno et al. (2017), Dorakh (2020), Egger et al. (2021) e Yotov et al. (2016) é a utilização de anos consecutivos com a inclusão de variáveis binárias defasadas e adiantadas em relação a política adotada. Os fluxos comerciais

são intrinsicamente dinâmicos, sendo autocorrelacionados. Portanto, efeitos defasados ou adiantados de uma política possuem papel significativo para explicação do fluxo corrente.

Por fim, pontua-se que o modelo gravitacional ganhou destaque também em outros campos da economia e foi utilizado para outros exercícios empíricos, a citar; a análise de contágios financeiros (Zhu e Yan, 2004), estudo os fluxos de investimentos estrangeiros diretos (Egger e Pfaffermayr, 2004), o estudo de fluxos migratórios (Helliwell, 1997), compreensão do fluxo comercial bilateral africano com base em instituições políticas e econômicas (Alhassan e Payaslioglu, 2020) e investigação do impacto da implementação de acordos de preferência comercial e tratados de investimento bilaterais sobre o estoque de investimento externo direto (Kox e Rojas-Ramagosa, 2020).

3. METODOLOGIA

Neste ponto, vejamos a equação estrutural do modelo. Adotaremos a especificação de Anderson e Van Wincoop (2003).

$$\frac{x_{ij,t}}{y_{w,t}} = s_{ij} = \frac{k_{i,t} \theta_{j,t} \pi_{i,t}^{\sigma-1} \rho_{j,t}^{\sigma-1}}{\tau_{ij,t}^{\sigma-1}} \quad (1.0)$$

As transações comerciais são descritas para cada ano $t = 1, \dots, T$ e para $i, j = 1, \dots, N$ países, onde i denota importadores e j denota exportadores. $y_{w,t}$ denota a renda mundial, de forma que s_{ij} representa os fluxos comerciais normalizados. σ denota a elasticidade de substituição. $k_{i,t}$ e $\theta_{j,t}$ fazem referência a produção e proporções de gasto nos países de destino e origem. Enquanto $\tau_{ij,t}^{\sigma-1}$ representa os custos transacionais.

$\pi_{i,t}^{\sigma-1}$ e $\rho_{j,t}^{\sigma-1}$ são representativos do TRM interno e do TRM externo, respectivamente. Eles podem ser interpretados como a facilidade de acesso ao mercado sob a perspectiva do importador e do exportador, respectivamente. Estes termos se relacionam da seguinte maneira:

$$\pi_{i,t}^{\sigma-1} = \sum_j \theta_{j,t} \left(\frac{\rho_{j,t}}{\tau_{ij,t}} \right)^{\sigma-1} \quad (1.1)$$

$$\rho_{j,t}^{\sigma-1} = \sum_i k_{i,t} \left(\frac{\pi_{i,t}}{\tau_{ij,t}} \right)^{\sigma-1} \quad (1.2)$$

Intuitivamente, podemos entender que a facilidade de acesso do importador ao mercado relaciona-se diretamente com a fração que o exportador representa da produção e gastos mundiais e com a facilidade que esse mesmo exportador possui em acessar o mercado, sendo inversamente relacionado aos custos que envolvem as transações entre esses dois países. Lógica equivalente se aplica a equação 1.2.

Considerada a equação estrutural, vamos agora à especificação econométrica. A primeira regressão segue a forma abaixo, permitindo a utilização do modelo PPML e respeitando a forma multiplicativa abordada por Silva e Tenreiro (2006).

$$w_{ij,t} = e^{(\partial_t + \beta_i + \gamma_j + \mu_{ij})} \omega_{ij,t} \quad (2.0)$$

Onde i representa cada unidade da federação do Brasil, j representa cada um dos 90 países com o qual foi estabelecido comércio, t representa o ano. Dessa forma, $w_{ij,t}$ representa o nível de comércio entre o estado i e o país j no ano t . A seguir, ∂_t representa o efeito fixo do ano, β_i representa o efeito fixo do estado, γ_j representa o efeito fixo do país e μ_{ij} é nossa variável de interesse, representando efeito fixo do par estado-país. Por fim, $\omega_{ij,t}$ denota o termo de erro multiplicativo. Seu valor esperado é 1.

Desta forma, em relação ao modelo estrutural, afirmamos o seguinte: ∂_t , β_i e γ_j estão associados aos termos que representam a facilidade de acesso ao mercado do importador e do exportador, $\pi_{i,t}^{\sigma-1}$ e $\rho_{j,t}^{\sigma-1}$. Aqui, no entanto, se percebe que não foi adotada a divisão do TRM para cada ano, estimando-se o efeito fixo de ano separadamente. Além disso, μ_{ij} denota $\tau_{ij,t}^{\sigma-1}$, representativo dos custos e impedimentos transacionais.

Finalmente, para recuperarmos os efeitos das variáveis clássicas, a segunda etapa é performada como segue:

$$\mu_{ij} = \delta'_{ij}\theta + \varepsilon_{ij} \quad (3.0)$$

δ'_{ij} contém variáveis exógenas que explicam os custos do comércio, ou seja, as barreiras e características fixas entre o par estado-país. Enquanto θ são os correspondentes parâmetros de interesse a serem obtidos na segunda etapa. ε_{ij} é o erro aleatório. Nesta segunda etapa, utilizamos um modelo MQO. Aqui, as variáveis exploradas, que constam melhor detalhadas na seção Dados do presente trabalho, são: i) distância entre estado-país; ii) PIB médio do estado e

do país no período analisado; iii) população média do estado e do país no período analisado; iv) acesso ao mar do estado e do país; v) língua oficial comum entre Brasil e o país par; vi) país par também ex-colônia de Portugal; vii) existência de acordo comercial entre o Brasil e o país par e, por fim; viii) existência de fronteira entre estado-país.

Agora, explicaremos brevemente quais as possíveis abordagens para lidarmos com os valores nulos de comércio internacional e as vantagens da adoção do modelo PPML para estimação dos modelos gravitacionais. Posteriormente, falaremos sobre a importância da inclusão do comércio intranacional e de efeitos fixos na estimação.

Com a ampliação do conjunto de países considerados nos modelos gravitacionais, aumentaram as observações de valores nulos de comércio entre os pares de países. Quanto maior a desagregação dos dados, maior a presença de zeros na amostra. O fluxo nulo é essencial para as estimativas, pois está relacionado aos TRMs. Dessa forma, é importante salientar que a exclusão dos pares que apresentem comércio nulo acarreta viés de seleção amostral (Bacchetta et Al, 2012).

Uma solução inicialmente considerada pela literatura (Wang e Winters, 1992) é a soma da unidade aos valores zerados e posteriormente, transformação da variável em nível para log. Tal abordagem representa uma clara desvantagem do modelo de mínimos quadrados ordinários (MQO), que não conseguirá levar em consideração a informação contida nos fluxos nulos (Yotov et Al, 2016).

É com Silva e Tenreiro (2006) que se encontra o método mais eficiente estatisticamente, com a adoção de um estimador não-linear adaptado do estimador de Poisson, o Poisson Pseudo Maximum Likelihood (PPML). Nesse caso, se adota uma abordagem multiplicativa e não logarítmica, para a qual simulações de Monte Carlo mostram que o PPML apresenta boa performance, mesmo com uma grande proporção de zeros na amostra (Yotov et Al, 2016).

Além de lidar com o problema dos valores nulos, o PPML também resolve o problema de heterocedasticidade nos dados de fluxo comercial, conforme apontado por Piermartini e Yotov (2016). Isso é de suma relevância, pois na presença de heterocedasticidade as estimativas são inconsistentes e viesadas quando aplicado um modelo MQO. Consequentemente, considerado suas vantagens e o fato de que na amostra do presente trabalho 16% dos valores são nulos, adotaremos a estimação via PPML.

A inclusão de dados do comércio intranacional, ou seja, dos fluxos que se dão dentro do país, se faz necessária por algumas razões. Primeiro, ela torna o modelo mais consistente com a teoria, pois os consumidores escolhem os produtos entre variedades nacionais e estrangeiras. Segundo, permite mensurar os efeitos da distância no comércio internacional e intranacional, o

que pode nos ajudar a entender o efeito fronteira anteriormente citado. Terceiro, permite a identificação e estimação de efeitos de políticas comerciais não discriminatórias (Heid et al., 2015) e os efeitos de políticas bilaterais (Dai et al., 2014). Por último, permite a correta estimação dos efeitos de RTAs no comércio (Bergstrand et al., 2015).

Nesse ponto, faz-se imperativo citar que não existe para o Brasil o dado de exportação e importação entre estados. O que existe é a informação de que certa quantia foi importada ou exportada de determinada unidade da federação de ou para dentro do país, respectivamente. Ou seja, uma relação interna ao Brasil. No entanto, não é possível identificar qual unidade da federação foi contraparte na troca comercial. Portanto, para tais casos, de forma a poder estimar o efeito da distância, adotaremos a distância média da capital de cada estado em relação as outras 26 capitais do país. O tratamento de dados e os detalhes sobre as estimativas das distâncias serão explicados na seção Dados do presente trabalho.

A inclusão de variáveis de efeito fixo para o exportador, importador e ano permite o controle dos TRM que, como explicado anteriormente, são não observáveis. Dessa forma, pode-se controlar qualquer variável observável ou não observável que oscila no tempo e entre estados e países.

Ademais, a inclusão dos efeitos fixos para o par comercial permite lidarmos com a endogeneidade do comércio internacional (Baier and Bergstrand, 2007), nos concedendo uma estimativa abrangente de todas as variáveis que são constantes no tempo, tais como distância e fatores culturais como proximidade linguística e religiosa. Os efeitos fixos dos pares, embora carreguem informações sistemáticas sobre o comércio (Egger and Nigai, 2015; Agnosteva et al., 2014), não nos permitem identificar os efeitos específicos de alguma variável fixa no tempo, uma vez que engloba todas.

Por isso, adotaremos um modelo de estimação de dois estágios. No primeiro estágio, obteremos a estimação do efeito fixo do par e no segundo, utilizaremos esses resultados para regredir as variáveis tradicionais do modelo gravitacional. Tal abordagem pode ser encontrada nos trabalhos de Spornberger (2022) e Azevedo e Bampi (2020).

4. DADOS

A construção da base de dados necessária para a investigação das questões anteriormente postas se deu através da junção de informações advindas de diferentes fontes, bem como, por meio da construção de variáveis quando essas não existiam. A composição da base de dados, bem como, a descrição de cada variável, será esmiuçada nesta parte do trabalho.

A fins de organização, os dados serão apresentados de acordo com suas categorias, a saber: informações geográficas, culturais e populacionais ou econômicas.

4.1 Informações geográficas

4.1.1. Distância entre as capitais

A distância entre os parceiros comerciais é uma variável clássica do modelo gravitacional, sendo representativa dos custos transacionais. Tais custos incluem não apenas as despesas com transporte, como também, os custos informacionais e comunicacionais. Na literatura, é recorrente a utilização da distância entre os parceiros comerciais ponderada pela distribuição da população do país ao longo do território. Utiliza-se também a distância entre os principais pontos comerciais de cada país. Adotamos, no presente trabalho, a opção de utilizar a distância entre as capitais dos países. Na maior parte dos casos, tal localidade é também o principal centro comercial. São apenas 13 as exceções a tal regra, de acordo com a Cepii.¹

Calculamos a variável que corresponde à distância entre a capital de cada estado brasileiro em relação à capital de cada país por meio da mesma metodologia empregada pelo Cepii para o cálculo da distância entre a capital dos pares de países. Dessa forma, empregamos a fórmula do grande círculo para o cálculo da distância entre dois pontos em uma esfera. A fórmula é como segue abaixo:

$$D = r * \cos^{-1} * [\cos(a) * \cos(b) * \cos(c - d) + \sin(a) * \sin(b)]$$

Onde:

r corresponde ao raio da Terra, de 6378 km, de acordo com a Nasa;

a e b correspondem as latitudes, em radianos;

c e d correspondem as longitudes, em radianos.

D é a distância na esfera entre os dois pontos, em km.

¹ Os casos nos quais o centro econômico difere da capital do país são: África do Sul (The Cap), Alemanha (Essen), Austrália (Sydney), Benin (Cotonou), Bolívia (La Paz), Brasil (São Paulo), Canadá (Toronto), Côte d'Ivoire (Abidjan), Estados Unidos (Nova Iorque), Cazaquistão (Almaty), Nigéria (Lagos), Tanzânia (Dar Es Salam) e Turquia (Istambul).

As coordenadas geográficas da capital de cada país, em graus, foram extraídas do Cepii². Já as coordenadas geográficas da capital de cada estado brasileiro, em graus, foram extraídas do IBGE³.

4.1.2. Fronteira com o par comercial

Entende-se por par comercial o par estado - país para o qual a transação de importação ou exportação, foi registrada. A existência de fronteira, portanto, a contiguidade territorial entre os pares é um fator que pode influenciar no fluxo comercial entre eles, aumentando o fluxo esperado.

Para construção de tal variável, utilizamos dados do IBGE. Primeiramente, forma identificadas quais das 27 unidades federativas brasileiras possuíam fronteira. Para tanto, foi consultada a Tabela de Municípios de Faixa de Fronteira e Cidades Gêmeas de 2021. Os estados brasileiros que dispõem de fronteira com ao menos um outro país são 11, sendo eles: Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará, Paraná, Rio Grande do Sul, Rondônia, Roraima, Santa Catarina.

A segunda etapa diz respeito a identificação do par estado – país fronteiriço. Ou seja, quais são os países que fazem fronteira com cada um dos onze estados citados acima. Para tanto, foram utilizadas informações da Segunda Comissão Brasileira Demarcadora de Limites, do Itamaraty. O Brasil possui fronteiras com: Bolívia, Colômbia, Peru, Venezuela, Guiana, Paraguai, Argentina, Uruguai, Guiana Francesa e Suriname.

4.1.3. Acesso ao mar

A saída para o mar é um importante fator para o comércio internacional. É esperado que, caso um país seja trancado territorialmente, seus fluxos comerciais sejam dificultados, já que o transporte marítimo é uma forma largamente utilizada para o deslocamento de mercadorias.

Para os países, a informação de acesso ao mar foi extraída do Cepii⁴. Para os estados brasileiros, consultamos a Tabela de Municípios Defrontantes com o Mar, do IBGE. Das

² Consultar página GeoDist do CEPIL.

³ Consultar seção de geociências, Estrutura Territorial, do IBGE.

⁴ Consultar nota 2.

27 unidades federativas, 10 são trancadas, ou seja, sem acesso ao mar. São elas: Acre, Amazonas, Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Roraima, Rondônia e Tocantis.

Os dados estão estruturados como variável binária que assume valor 1 caso o país ou estado seja trancado territorialmente e 0 caso contrário.

4.1.4. Dummy de macrorregião brasileira

A fins de investigação, construímos dummies que assumem valor 1 quando o estado pertence a certa macrorregião do país. Para classificação levou-se em consideração o enquadramento aplicado pelo IBGE⁵. São cinco as macrorregiões do país: Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste. A base escolhida para comparação, a fins de regressão, é a Região Sudeste. O objetivo destas variáveis é investigar como o comércio internacional e o efeito das demais variáveis se alteram entre as grandes regiões, que possuem distinções marcantes entre si do ponto de vista cultural, econômico, étnico, climático e natural - referindo-nos, aqui, aos biomas.

4.2. Informações culturais e populacionais

4.2.1. Proximidade idiomática

Além da distância física, outras barreiras de ordem comunicacional e informacional podem dificultar o comércio entre dois países. Como exemplo, citamos os custos de natureza jurídica que decorrem das diferentes legislações em relação a autorização para utilização de determinados ativos químicos em medicamentos, alimentos ou produtos. Dificuldades de âmbito idiomático também podem ser obstáculos ao comércio.

Diferentes parâmetros podem ser considerados para avaliação de questões idiomáticas no comércio internacional, como língua oficial, proximidade lexical dos idiomas e até mesmo línguas em comum faladas entre nativos. Adotaremos o primeiro critério, que representa a existência de uma mesma língua oficial para o par. No nosso

⁵ Consultar seção de geociências, Divisão Regional do Brasil, do IBGE.

caso, esta variável significa dizer que o país par tem o português como sua língua oficial. Esta informação foi obtida junto ao Cepii.

4.2.2. Proximidade religiosa

Para abranger e considerar elementos de ordem cultural, relativos aos fatores mais subjetivo tais como crenças e valores, consideraremos o índice de proximidade religiosa construído por Disdier e Mayer (2007). O índice é uma soma do produto da proporção de católicos, protestantes e mulçumanos nos países de origem e destinação do fluxo comercial. O índice varia entre 0 e 1. É tão maior quanto maior seja o compartilhamento de uma religião comum entre grandes proporções da população nos dois países.

O índice não foi replicado para os estados brasileiros. Portanto, todos os valores dizem respeito à proximidade religiosa do Brasil com cada país e não de cada estado brasileiro com cada país. Assume-se, logo, que não existem diferenças significativas na distribuição da composição religiosa da população entre os estados brasileiros.

4.2.3. Países irmãos

Também no rol de variáveis que visam capturar o compartilhamento de elementos culturais, consideraremos uma dummy que assumirá valor 1 caso o país par tenha sido colônia de um mesmo colonizador. No caso em análise, são os países que também foram colônias de Portugal. Tal variável foi extraída do Cepii. Os países irmãos do Brasil são: Angola, Cabo Verde, Guiné-Bissau, Macau, Moçambique, São Tomé e Príncipe.

4.2.4. População

O efeito do tamanho populacional sobre o comércio internacional de um país é ambíguo. Por um lado, quanto maior for a população, maior o consumo esperado. No entanto, a depender do PIB, o aumento populacional pode se refletir em menor quantidade de recursos per capita, o que diminui o consumo esperado.

Para o Brasil, os dados foram obtidos do IBGE, por meio do sistema Sidra, ao consultar a Tabela População Residente Estimada (Tabela 6579). Tal tabela contém a população estimada pelo órgão em cada unidade federativa nos anos 2001-2006, 2008-2009 e 2011 – 2021. Para os anos faltantes 2000 e 2010 utilizamos os dados oficiais do Censo

Demográfico. Para o ano de 2007, visando evitar a exclusão deste intervalo temporal de nossa amostra, adotamos, como proxy, a média da população estimada de 2006 e 2008.

Para os países, os dados foram obtidos pelo Cepii, sendo de autoria do Banco Mundial⁶. No momento de execução do presente trabalho, os dados abrangiam, no século XXI, até o ano de 2021.

4.3. Informações econômicas

4.3.1. Produto Interno Bruto

O PIB, assim como a distância, é uma variável clássica do modelo gravitacional. Espera-se que quanto maior o PIB, maior seja o fluxo comercial entre os países. A definição de PIB aqui utilizada é: produto interno bruto a preços correntes, impostos, líquidos de subsídios, sobre produtos a preços correntes e valor adicionado bruto a preços correntes total.

Para os países, utilizamos o PIB em dólares correntes divulgado pelo Banco Mundial, na tabela NY.GDP.MKTP.CD. Para os estados brasileiros, utilizamos o PIB divulgado pelo IBGE na Tabela 5938 do sistema Sidra. Para conversão dos valores em reais para dólares, utilizou-se a taxa de câmbio reconhecida pela OCDE para o respectivo ano. Essa é a mesma taxa adotada pelo Banco Mundial.

4.3.2. Participação no GATT e na OMC

Para o intervalo de interesse no presente trabalho, que corresponde ao horizonte temporal de 2000 a 2020, o Brasil sempre foi um membro do Acordo Geral de Tarifas e Comércio (GATT) e da Organização Mundial do Comércio (OMC). Portanto, possíveis efeitos da adesão a tais órgãos não poderão ser investigados. Será analisado apenas se o comércio entre os estados brasileiros apresenta algum diferencial em relação aos países pares que também são membros de tais associações. A variável é binária e assume o valor 1 caso o país par seja membro desta organização no ano de análise e 0 caso contrário. Todas as dummies associadas ao pertencimento no GATT ou na OMC foram extraídas do Cepii.

⁶ World Development Indicators, Word Bank.

4.3.3. Existência de um acordo regional

Para verificar o efeito da existência de um acordo comercial entre os pares sobre o fluxo comercial considerou-se informações organizadas pelo Cepii, que incorporam dados da OMC. Embora o Brasil seja uma federação, os estados da União não possuem soberania para firmar acordos internacionais. Portanto, todas as informações relativas a tais acordos serão gerais a todos os estados.

Há uma variável binária que assume valor 1 caso o país par possua um acordo comercial com o Brasil e 0 caso contrário. Os países com os quais há registro são: Argentina, Bolívia, Chile, Egito, Paraguai e Uruguai.

5. RESULTADOS

5.1. Primeiro estágio

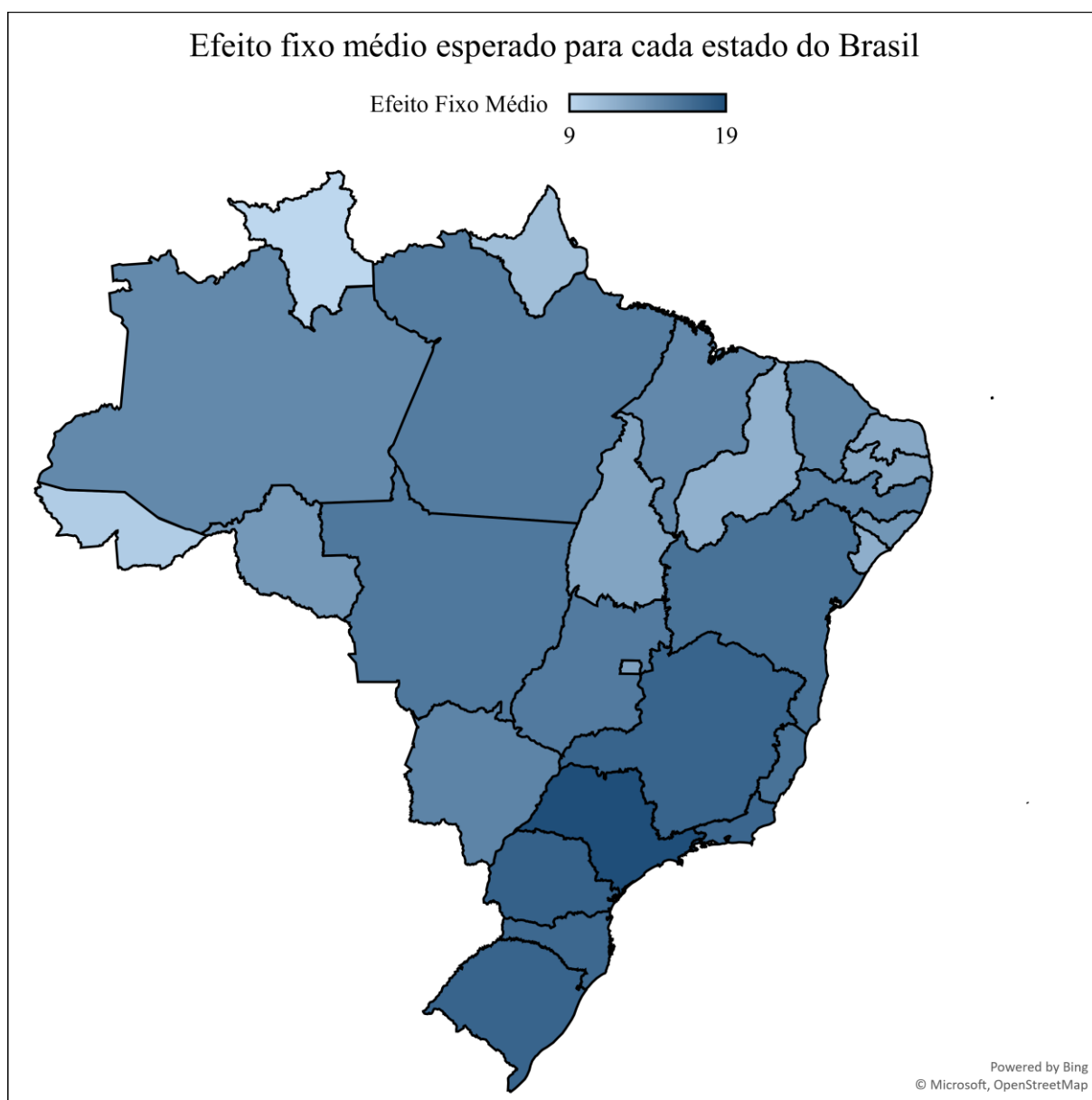
Abaixo segue o resultado obtido para os efeitos fixos dos pares (μ_{ij}), oriundos da estimação do modelo previsto pela equação 2.0:

Tabela 1 – Efeitos fixos máximo, mínimo e médio por estado em relação aos seus pares.

Sigla	Estado	Efeito fixo máximo	Efeito fixo mínimo	Efeito fixo médio	Sigla par com efeito fixo máximo	Nome par com efeito fixo máximo	Sigla par com efeito fixo mínimo	Nome par com efeito fixo mínimo
AC	Acre	14.9	2.1	9.5	BOL	Bolívia	PHL	Filipinas
AL	Alagoas	17.8	7.8	13.4	RUS	Rússia	GNQ	Guiné Equatorial
AP	Amapá	17.1	2.6	10.5	USA	Estados Unidos	TUN	Tunísia
AM	Amazonas	20.7	5.2	14.4	CHN	China	IRQ	Iraque
BA	Bahia	20.2	10.1	16.0	USA	Estados Unidos	ISL	Islândia
CE	Ceará	19.3	8.5	14.6	USA	Estados Unidos	YEM	Iêmen
DF	Distrito Federal	18.7	2.1	12.6	USA	Estados Unidos	ABW	Aruba
ES	Espírito Santo	20.6	10.6	16.0	USA	Estados Unidos	ISL	Islândia
GO	Goiás	19.8	10.0	15.4	CHN	China	ISL	Islândia
MA	Maranhão	20.1	5.3	14.4	USA	Estados Unidos	SYR	Síria
MT	Mato Grosso	20.5	8.2	15.6	CHN	China	BRA	Brasil
MS	Mato Grosso do Sul	20.2	9.4	14.7	BOL	Bolívia	ISL	Islândia
MG	Minas Gerais	21.6	12.4	17.0	CHN	China	CYM	Cayman, Ilhas
PA	Pará	21.1	8.7	15.3	CHN	China	YEM	Iêmen
PB	Paraíba	17.8	4.9	12.5	USA	Estados Unidos	GNQ	Guiné Equatorial
PR	Paraná	21.2	13.1	17.3	CHN	China	CYM	Cayman, Ilhas
PE	Pernambuco	19.9	11.5	15.1	USA	Estados Unidos	JOR	Jordânia
PI	Piauí	17.7	2.8	11.5	CHN	China	SLV	El Salvador
RJ	Rio de Janeiro	21.6	12.4	16.9	USA	Estados Unidos	BLR	Belarus
RN	Rio Grande do Norte	17.6	3.5	12.2	USA	Estados Unidos	GNQ	Guiné Equatorial
RS	Rio Grande do Sul	20.9	13.1	17.0	ARG	Argentina	CYM	Cayman, Ilhas
RO	Rondônia	18.2	5.9	13.3	CHN	China	SLV	El Salvador
RR	Roraima	16.3	1.2	8.7	VEN	Venezuela	CHL	Chile
SC	Santa Catarina	21.0	12.6	16.8	CHN	China	ISL	Islândia
SP	São Paulo	22.6	14.8	18.6	USA	Estados Unidos	ISL	Islândia
SE	Sergipe	16.8	2.5	11.7	USA	Estados Unidos	ISL	Islândia
TO	Tocantins	18.4	3.3	12.4	CHN	China	BRA	Brasil

1 Fonte: Autoria própria

Figura 1 – Efeito fixo médio dos pares por estado.



2 Fonte: Autoria própria

O resultado nos permite inferir que os principais parceiros comerciais dos 27 estados são apenas 6, sendo eles: Estados Unidos, China, Bolívia, Argentina, Rússia e Venezuela. Interessante perceber que os dois primeiros, Estados Unidos e China, são os principais parceiros de 81% dos estados brasileiros. Já os parceiros com menor fluxo comercial constituem um grupo maior, contando com 14 países diferentes. Como pontos de destaque, citamos que o Brasil está entre eles. Isso significa que para Tocantins e Mato Grosso, o comércio interno, ou seja, aquilo que comercializam dentro do país, é o mais fraco elo de suas relações comerciais.

Além disso, o efeito fixo médio de cada macrorregião brasileira é como apresentado abaixo. Dessa forma, podemos interpretar que o efeito fixo médio, em relação àquele da Região Sudeste, é 0.7% menor para a Região Sul, 15% menor para a Região Centro-Oeste, 21% menor para Região Nordeste e 28% menor para Região Norte.

Tabela 2 – Efeito fixo médio dos pares por macrorregião

Efeito Fixo Médio da Macrorregião				
<i>Norte</i>	<i>Nordeste</i>	<i>Centro-Oeste</i>	<i>Sul</i>	<i>Sudeste</i>
12.4	13.5	14.6	17.0	17.1

3 Fonte: Autoria própria

5.2. Segundo estágio

Em relação ao segundo estágio (Equação 3.0), no qual se estima o efeito das variáveis constantes no tempo sobre o efeito fixo entre estado-país transformados em logaritmo de base natural e adotando 5% como nível de significância, obtivemos o seguinte:

Tabela 3 – Segundo estágio: Estimação do efeito de variáveis constantes no tempo sobre os efeitos fixos dos pares.

Variáveis explicativas	Sigla	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Intercepto	<i>a</i>	2.1 *** 0.01	0.77 *** 0.08	0.25 ** 0.12	0.10 0.13	0.09 0.13	0.09 0.13	-0.06 0.14	-0.16 0.14
Log da distância estimada	<i>log_dist</i>	0.06 *** 0.01	-0.66 *** 0.01	-0.06 *** 0.01	-0.07 *** 0.01	-0.06 *** 0.01	-0.06 *** 0.01	-0.05 *** 0.01	-0.04 *** 0.01
Log PIB médio do estado	<i>log_pib_avg_uf</i>		0.15 *** 0.00	0.09 *** 0.01	0.08 *** 0.01	0.08 *** 0.01	0.08 *** 0.01	0.08 *** 0.01	0.08 *** 0.01
Log PIB médio do país	<i>log_pib_avg_iso</i>		0.08 *** 0.00	0.07 *** 0.00	0.07 *** 0.00	0.07 *** 0.00	0.07 *** 0.00	0.07 *** 0.00	0.07 *** 0.00
Log população média do estado	<i>log_pop_avg_uf</i>			0.07 *** 0.01	0.09 *** 0.01	0.09 *** 0.01	0.09 *** 0.01	0.09 *** 0.01	0.09 *** 0.01
Log população média do país	<i>log_pop_avg_iso</i>			0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00
Estado sem acesso ao mar	<i>d_landlocked_uf</i>				0.03 *** 0.01	0.03 *** 0.01	0.03 *** 0.01	0.03 *** 0.01	0.03 ** 0.01
País sem acesso ao mar	<i>d_landlocked_iso</i>				-0.01 0.02	-0.01 0.02	-0.01 0.02	-0.02 0.02	-0.03 0.02
Língua oficial em comum	<i>col</i>					0.04 0.03	0.08 ** 0.04	0.09 ** 0.04	0.09 ** 0.04
País irmão	<i>d_sibling</i>						-0.09 0.06	-0.08 0.06	-0.08 0.06
Acordo comercial	<i>d_rta</i>							0.10 *** 0.03	0.10 *** 0.03
Fronteira entre estado e país	<i>d_fronreira_uf_iso</i>								0.24 *** 0.05
Número de observações		2301	2196	2194	2192	2191	2190	2189	2188
R-quadrado		0.01	0.51	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.53
R-quadrado ajustado		0.01	0.51	0.51	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
F-statistic		29.97	750.50	466.00	334.80	293.40	261.20	238.60	220.70
Durbin-Watson		1.10	1.66	1.68	1.68	1.69	1.68	1.67	1.66

4 Fonte: Autoria própria

Nota-se que uma variável clássica do modelo gravitacional, a distância, apenas assume o sinal esperado pela literatura com a inserção dos controles de PIBs médios para as unidades investigadas (Modelo II). Da leitura do Modelo VIII, no qual se consideram todas as variáveis propostas, pode-se inferir que quando a distância entre os pares aumenta em 10%, o efeito fixo esperado entre eles diminui, em média, 0.4%, considerando-se as demais variáveis constantes. Dentro da mesma premissa, *ceteris paribus*, quando o PIB da unidade federativa aumenta em 10%, o efeito fixo do par tende a aumentar 0.8%, em média, sendo que quando o PIB do país aumenta em 10%, o aumento esperado, em média, é de 0.7%.

Um interessante resultado surge ao analisar o efeito da população. Percebe-se que quando a população da unidade da federação brasileira aumenta em 10%, espera-se um aumento, em média, de 0.9% no efeito fixo dos pares, mostrando-se significativo ao nível adotado. No entanto, o coeficiente estimado para o efeito de um aumento percentual da população dos países não se mostrou significativo em nenhum dos modelos testados.

Outro resultado que contradiz o esperado pela literatura, extraído do Modelo VIII, informa que caso o estado brasileiro não possua acesso ao mar, o efeito fixo aumenta, em média,

0.3. Em relação ao país não possuir acesso ao mar, embora o sinal seja condizente com o esperado pela literatura - ou seja, é negativo - não há significância ao nível de 5%. Além disso, a variável que representa o fato de os pares terem sido colônias de Portugal, também não apresentou significância e seu sinal foi distinto do que seria aguardado pela literatura.

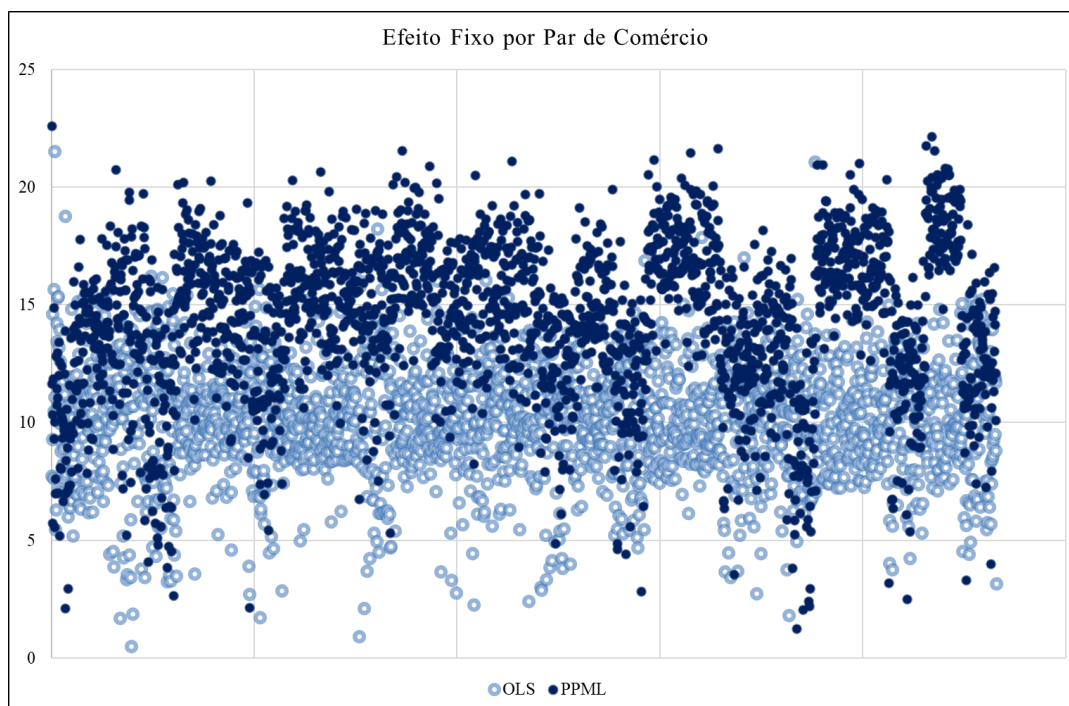
Ademais, o Modelo VIII, também permite afirmar que, quando o par apresenta uma língua oficial em comum, o efeito fixo entre eles aumenta, em média, 0.09. Adicionalmente, se infere que quando os países apresentam um acordo comercial estabelecido, neste caso, quando o país for do Mercosul, o efeito fixo esperado aumenta em 0.10, em média. Por fim, caso exista contingência territorial entre o par, o efeito fixo aumentará 0.24.

5.3. Comparação com estimações MQO no primeiro estágio

Para fins comparativos, estimamos também os efeitos fixos para os pares de comércio por meio de modelo MQO. Naturalmente, com a existência de alguns fluxos nulos ou próximos a zero, o modelo retornou alguns efeitos fixos negativos para os pares comerciais. A fim de podermos recuperar seus efeitos no segundo estágio reescalamos os valores, de forma a manter a estrutura ordinal (transformação monotônica), para que os efeitos fixos assumissem valores positivos.

Percebemos, com isso, que os valores mínimos, os máximos e as médias dos efeitos fixos não apresentam grande discrepância entre um modelo e outro (PPML ou MQO). No entanto, conforme será visto no segundo estágio, a recuperação dos coeficientes por meio dessas estimativas de MQO sofre grave prejuízo em sua qualidade estatística. Para fins expositivos, segue o gráfico abaixo:

Figura 2 – Efeito fixo dos pares estimados por PPML e MQO.



4 Fonte: Autoria própria

Tabela 4 – Comparação descritiva dos efeitos fixos por PPML e MQO.

Comparação das Estimativas dos Efeitos Fixos				
	<i>Desvio-Padrão</i>	<i>Média</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<i>PPML</i>	3.32	14.39	22.59	1.25
<i>MQO</i>	2.41	15.67	21.53	0.51

5 Fonte: Autoria própria

Ainda para fins de comparação, também realizamos a recuperação dos efeitos fixos com os valores de efeitos fixos estimados pelo modelo MQO. Pudemos perceber que, mesmo com a inclusão das variáveis de PIB para o estado e para o país, o efeito esperado de um aumento na distância não foi condizente ao esperado pela literatura e não apresentou significância. O resultado obtido indica que um aumento de 10% na distância, elevaria o efeito fixo aguardado para o par em, em média, 0.2%. Além disso, à exceção do intercepto e das variáveis do PIB médio do país e da dummy representativa de fronteira territorial entre o par, todas as demais variáveis explicativas adotadas se mostraram não significativas ao nível de 10%.

Tabela 5 – Segundo estágio: Estimação do efeito das variáveis explicativas sobre os efeitos fixos dos pares obtidos por MQO.

Variáveis explicativas	Sigla	FE (PPML)	FE (OLS)
Intercepto	<i>a</i>	-0.16 <i>0.14</i>	1.70 *** <i>0.20</i>
Log da distância estimada	<i>log_dist</i>	-0.04 *** <i>0.01</i>	0.02 <i>0.01</i>
Log PIB médio do estado	<i>log_pib_avg_uf</i>	0.08 *** <i>0.01</i>	0.00 <i>0.02</i>
Log PIB médio do país	<i>log_pib_avg_iso</i>	0.07 *** <i>0.00</i>	0.02 *** <i>0.01</i>
Log população média do estado	<i>log_pop_avg_uf</i>	0.09 *** <i>0.01</i>	0.01 <i>0.02</i>
Log população média do país	<i>log_pop_avg_iso</i>	0.00 <i>0.00</i>	0.00 <i>0.01</i>
Estado sem acesso ao mar	<i>d_landlocked_uf</i>	0.03 ** <i>0.01</i>	0.00 <i>0.02</i>
País sem acesso ao mar	<i>d_landlocked_iso</i>	-0.03 <i>0.02</i>	0.00 <i>0.02</i>
Língua oficial em comum	<i>col</i>	0.09 ** <i>0.04</i>	0.03 <i>0.06</i>
País irmão	<i>d_sibling</i>	-0.08 <i>0.06</i>	-0.07 <i>0.08</i>
Acordo comercial	<i>d_rta</i>	0.10 *** <i>0.03</i>	0.04 <i>0.04</i>
Fronteira entre estado e país	<i>d_frenteira_uf_iso</i>	0.24 *** <i>0.05</i>	0.34 *** <i>0.08</i>
Número de observações		2188	2199
R-quadrado		0.53	0.02
R-quadrado ajustado		0.52	0.02
F-statistic		220.70	4.57
Durbin-Watson		1.66	2.00

7 Fonte: Autoria própria

Tal resultado corrobora a visão corrente da literatura, explanada na seção Metodologia do presente trabalho, no que diz respeito à adoção de estimações por PPML para o Modelo Gravitacional.

5.4. Análise por macrorregião

Por fim, dissecamos o efeito das variáveis clássicas (distância e PIB) para cada uma das macrorregiões brasileiras, considerado os efeitos fixos obtidos por PPML.

Tabela 6 – Segundo estágio: Estimação do efeito da distância separada por macrorregião sobre os efeitos fixos dos pares obtidos por PPML

Variáveis explicativas	Sigla	I
Intercepto	<i>a</i>	1.05 *** 0.21
Log da distância estimada	<i>log_dist</i>	-0.10 *** 0.02
Log da distância estimada * Dummy Região Sul	<i>log_dist_s</i>	0.02 0.03
Log da distância estimada * Dummy Região Centro-Oeste	<i>log_dist_co</i>	0.08 *** 0.03
Log da distância estimada * Dummy Região Nordeste	<i>log_dist_ne</i>	-0.01 0.03
Log da distância estimada * Dummy Região Norte	<i>log_dist_n</i>	0.06 ** 0.03
Log PIB médio do estado	<i>log_pib_avg_uf</i>	0.15 *** 0.01
Log PIB médio do país	<i>log_pib_avg_iso</i>	0.08 *** 0.00
Dummy Região Sul	<i>d_s</i>	-0.06 0.27
Dummy Região Centro-Oeste	<i>d_co</i>	-0.72 *** 0.26
Dummy Região Nordeste	<i>d_ne</i>	0.11 0.24
Dummy Região Norte	<i>d_n</i>	-0.51 ** 0.23
Número de observações		2200.00
R-quadrado		0.52
R-quadrado ajustado		0.51
F-statistic		211.80
Durbin-Watson		1.67

8 Fonte: Autoria própria

Desta forma, podemos interpretar que não foi possível encontrar diferenciais estatisticamente significativos entre a Região Sudeste (grupo de referência) e as regiões Nordeste e Sul, quando esmiuçados os efeitos esperados entre as macrorregiões. O valor esperado para o efeito fixo do comércio de qualquer estado da Região Sudeste é maior em 1.05, em média. Em relação às regiões Centro-Oeste e Norte, o valor cai para, em média, 0.33 (1.05 – 0.72) e 0.54 (1.05 – 0.51), respectivamente.

Já o efeito esperado de um aumento de 10% na distância gera uma queda, em média, de 1% no efeito fixo esperado para os estados da Região Sudeste. Em relação à Região Centro-Oeste, o efeito médio esperado de um aumento de 10% na distância é uma redução, em média,

de 0.2% no efeito fixo. Para a Região Norte, redução de 0.4%, em média. Tal resultado indica que a Região Sudeste seria mais sensível à distância em relação aos seus parceiros comerciais que as demais regiões do Brasil. Uma possível explicação para isso reside no fato de que essa é uma região que não possui fronteiras com outros países.

Tabela 7 – Segundo estágio: Estimação do efeito do PIB separado por macrorregião sobre os efeitos fixos dos pares obtidos por PPML

Variáveis explicativas	Sigla	I
Intercepto	<i>a</i>	1.87 *** 0.14
Log PIB médio do estado	<i>log_pib_avg_uf</i>	0.05 *** 0.01
Log PIB médio do país	<i>log_pib_avg_iso</i>	0.08 *** 0.00
Log PIB médio do estado * Dummy Região Sul	<i>log_pib_s</i>	0.00 0.06
Log PIB médio do estado * Dummy Região Centro-Oeste	<i>log_pib_co</i>	0.21 *** 0.03
Log PIB médio do estado * Dummy Região Nordeste	<i>log_pib_ne</i>	0.13 *** 0.02
Log PIB médio do estado * Dummy Região Norte	<i>log_pib_n</i>	0.18 *** 0.01
Log da distância estimada	<i>log_dist</i>	-0.07 *** 0.01
Dummy Região Sul	<i>d_s</i>	0.04 0.68
Dummy Região Centro-Oeste	<i>d_co</i>	2.09 *** 0.30
Dummy Região Nordeste	<i>d_ne</i>	-1.45 *** 0.16
Dummy Região Norte	<i>d_n</i>	-1.91 *** 0.15
Número de observações		2200.00
R-quadrado		0.58
R-quadrado ajustado		0.57
F-statistic		269.30
Durbin-Watson		1.91

9 Fonte: Autoria própria

Para finalizar, podemos interpretar que não foi possível encontrar diferenciais estatisticamente significativos entre a Região Sudeste (grupo de referência) e a Região Sul, quando esmiuçados os efeitos esperados entre as macrorregiões. O valor esperado para o efeito fixo do comércio de qualquer estado da Região Sudeste é maior em 1.87, em média. Em relação

às regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte, o valor esperado é acrescido, em média, respectivamente: 3.96 (1.87 + 2.09), 0.42 (1.87 – 1.45) e -0.04 (1.87 – 1.91).

Já o efeito esperado de um aumento de 10% no PIB do estado gera um aumento, em média, de 0.5% no efeito fixo esperado para os estados da Região Sudeste. Em relação à Região Centro-Oeste, o efeito médio esperado de um aumento de 10% no PIB do estado é uma redução, em média, de -1.6% no efeito fixo. Isso não é condizente com o esperado pela literatura. Por fim, para as regiões Nordeste e Norte, espera-se um acréscimo, em média, de 1.8% e 2.3%. Tais resultados parecem indicar que as regiões Nordeste e Norte são mais sensíveis em relação ao PIB de seus estados que a Região Sudeste. Uma possível explicação para tal fenômeno reside no fato de que há uma menor discrepância entre os PIBs dos estados da Região Sudeste, quando comparada com a dos estados do Nordeste e do Norte.

6. CONCLUSÕES

A conclusão do presente trabalho responde à sua hipótese motivadora: é, sim, possível adotar o Modelo Gravitacional para estudo do comércio internacional brasileiro, tomando como referência suas unidades federativas. Além disso, a títulos de sugestões para trabalhos futuros, pontuamos que o modelo econométrico adotado poderia ser sofisticado com a incorporar o efeito fixo dos pares e os efeitos fixos do conjunto país – ano e unidade federativa – ano. Tal estimação tornaria possível avaliar o efeito fixo para cada país e cada estado com o passar do tempo. A especificação a ser adotada, considerando os parâmetros já detalhados na seção Metodologia, seria, portanto:

$$w_{ij,t} = e^{(\partial_{i,t} + \beta_{j,t} + \mu_{ij})} \omega_{ij,t} \quad (4.0)$$

Além disso, a possibilidade da adoção do Modelo Gravitacional para estudo do fluxo internacional dos estados brasileiros, o torna um instrumento adequado para i) análise do comércio brasileiro; ii) previsões de fluxos; iii) estudos do comércio potencial do Brasil e iv) avaliação de impacto. Em relação a este último, admite-se sua utilização para análises de impacto da adoção de políticas tarifárias e não tarifárias. Fatos como um acordo econômico do Brasil com a União Europeia também podem ser explorados por este modelo, que, como descrito ao longo do trabalho, possui ampla justificativa teórica e versatilidade.

Por fim, pontuamos que a análise poderia ser expandida para abranger diferentes setores (soja, minérios, manufaturados). Ademais, o prazo de coleta poderia ser reduzido, de forma a

compreendermos a influência dos fatores sazonais, o que não é possível com a adoção de fluxos anuais.

REFERÊNCIAS

- AITKEN, N. D.. **The Effect of EEC and EFTA on European Trade: A Temporal Cross-Section Analysis**. *American Economic Review*. Vol. 63, p. 881-892. Dez. 1973.
- 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.; VAN WINCOOP, E. Gravity with Gravitas: A Solution to the Border Puzzle. **American Economic Review**, v. 93, n. 1, 2003.
- ANDERSON, J. E. A Theoretical Foundation for the Gravity Equation. **American Economic Review**, v. 69, n. 1, 1979.
- AZEVEDO, A. F.; BAMPI, S. L.; REIS, M. Comércio Inexplorado entre Brasil e Ásia: Uma Abordagem através do Modelo Gravitacional. **Estudios Económicos**, Argentina, vol. 37, n. 75, p. 51-73, 2020. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/5723/572364426003/html/>. Acesso em: 30 abr. 2023.
- AZEVEDO, A. F. Z.; LEUSIN, S.. O efeito fronteira das regiões Brasileiras: Uma aplicação do modelo. *Revista de Economia Contemporânea*. [S.l.], v. 13, n. 2, p. 29-258, ago.2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rec/a/DKRZfTMyDYGyYB4tjD8ZTVp/?lang=pt>. Acesso em: 22 jun. 2023.
- 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.
- BERGSTRAND, J. H. The generalized gravity equation, monopolist competition, and the factor-proportions theory in international trade. **Review of Economics and Statistics**, v. 71, n. 1, p. 143-153, 1989.
- BERGSTRAND, J.; LARCH, M.; YOTOV, Y. Economic integration agreements, border effects, and distance elasticities in the gravity equation. *European Economic Review*, [S.l.], v. 78, p. 307 - 327, ago.2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0014292115000847?via%3Dihub>. Acesso em: 22 jun. 2023.

CHENG, I.; WALL, H.. Controlling for heterogeneity in gravity models of trade and integration. **Federal Reserve Bank of St. Louis Review**, v.87, n. 1, p. 49– 63, 2005.

DAUMAL, M.; ZIGNAGO, S.. Measure and determinants of border effects of Brazilian states. **Papers in Regional Science**, v. 89, n. 4, p. 735-758, 2010.

DEARDORFF, A. V. **Determinants of bilateral trade: does gravity work in a frictionless world?**. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, 1995. (NBER Working Paper, n. 5377).

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.

EATON, J; KORTUM, S.. **Technology and Bilateral Trade**. Boston University - Institute for Economic Development 79, Boston University. 1997.

EGGER, P.; PFAFFERMAYR, M. Distance, trade and FDI: a Hausman-Taylor SUR approach. **Journal of Applied Econometrics**, v. 19, p. 227-246, 2004.

EVANS, C. L. The economic significance of national border effects. **The American Economic Review**, v. 93, n. 4, p. 1291-1312, 2003.

FARIAS, J. J; HIDALGO, A. B. Comércio Interestadual e Comércio Internacional das Regiões Brasileiras: uma Análise Utilizando o Modelo Gravitacional. **Revista Econômica do Nordeste**. Ceará, vol. 43, n. 02, p. 251 – 265, abr./jun. 2012. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/revista/index.php/ren/article/view/211/189>. Acesso em: 01 mai. 2023.

FEENSTRA, R. **Advanced international trade: theory and evidence**. Princeton: Princeton University Press, 2004.

FEENSTRA, R. C.; MARKUSEN, J. R.; ROSE, A. K. Using the gravity equation to differentiate among alternative theories of trade. **Canadian Journal of Economics**, v. 34, p. 430-447, 2001.

FERREIRA, C. R. Comércio internacional e o modelo de gravidade: evidências recentes em análise teórica e empírica. **A Economia em Revista**. Maringá, vol. 29, p. 1-13, jan./abr. 2021. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/EconRev/issue/view/1899>. Acesso em: 08 mai. 2023.

GERACI, V. J.; PREWO, W.. **Bilateral Trade Flows and Transport Costs**. this REVIEW. Vol 59. p. 67-74. Fev. 1977.

HEAD, K.; MAYER, T. Gravity equations: workhorse, toolkit and cookbook. **CEPII Working Paper**, n. 2013-27. CEPII: 2013.

HELLIWELL, J. F.. **National Borders, Trade and Migration**. Pacific Economic Review, vol. 3, no. 3, pp. 165-185, Oct. 1997.

HELPMAN, E.; KRUGMAN, P. **Market structure and foreign trade: increasing returns, imperfect competition and the international economy**. Cambridge, MA: MIT Press, 1985.

HIDALGO, A. B.; VERGOLINO, J. R. O Nordeste e o comércio inter-regional e internacional: um teste dos impactos por meio do modelo gravitacional. **Revista Economia Aplicada**, v. 2, n. 4, p. 707-725, 1998.

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. Março, p. 1–40, 2020.

KRUGMAN, P.R.. **Scale Economies, Product Differentiation, and the Pattern of Trade**. American Economic Review 70(5): p. 950–959. 1980.

LINNEMANN, H.. **An Econometric Study of International Trade Flows**. Amsterdam: North- Holland Publishing Co. 1966.

MCCALLUM, J. Borders matter: Canada U.S. regional trade patterns. **The American Economic Review**, v. 85, n. 3, p. 615-623, 1995.

OBSTFELD, M. E; ROGOFF, K. **The six major puzzles in international macroeconomics: is there a common cause?**. Berkeley: University of California, 2000.

OLIVERO, MARÍA PÍA; YOTOV, Y. Dynamic Gravity: Endogenous Country Size and Asset Accumulation. **Canadian Journal of Economics**, v. 45, n. 1, 2012.

POYHONEN, P.. **A Tentative Model for the Volume of Trade Between Countries**. Weltwirtschaftliches Archive 90, p. 93-100; 1963a.

PREWO, W.. **Determinants of the Trade Pattern among OECD Countries from 1958 to 1974**. Jahrbucher fur Nationaleconomie und Statistik. Vol. 193, p. 341-358. Ago. 1978.

- PULLIAINEN, K.. **A World Trade Study: An Econometric Model of the Pattern of the Commodity Flows of Inter-national Trade in 1948-60**. Economiska Samfundets Tidskrift vol. 16 p. 78-91. 1963
- SANTOS SILVA, J M C E TENREYRO, S. **The log of Gravity. Review of Economics and Statistics**, v. 88, November, p. 641–658, 2006.
- SATTINGER, M..**Trade Flows and Differences between Countries**. Atlantic Economic Journal. Vol 6 p. 22-29. Jul. 1978.
- SILVA, O.; ALMEIRDA, F.; OLIVEIRA, B.. Comércio internacional “x” intranacional no Brasil: medindo o efeito-fronteira. **Nova Economia**, v. 17, n. 3, p. 427 - 439, 2007.
- SPORNBERGER, J. **Review of International Economics**, v. 30, n. 4, p. 915-938, 2021.
- TINBERGEN, J.. **Shaping the world economy: Suggestions for an international economic policy**. New York: Twentieth Century Fund; 1962.
- YOTOV, Y. V. et al. **An Advanced Guide to Trade Policy Analysis: The Structural Gravity Model**. Geneva. UNCTAD, 2016.
- ZHU, L.; YANG, J. **The role of physic distance in contagion: a gravity model for contagious financial crises**. Washington, DC: The George Washington University, 2004.