
EXPORTAÇÕES FRUTÍCOLAS BRASILEIRAS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS: EVIDÊNCIAS À LUZ DO MODELO GRAVITACIONAL

Brazilian fruit exports and climate change: evidence in the light of the gravitational model

Filomena Nádia Rodrigues Bezerra

Engenheira Agrônoma. Doutora em Economia Rural pelo Programa de Pós-Graduação em Economia Rural (PPGER), Universidade Federal do Ceará (UFC). Av. Mister Hull, 2977, Bloco 826, Campus do Pici, CEP: 60455-760, Fortaleza, Ceará. nadiarodrigues-3@hotmail.com

Jair Andrade de Araújo

Engenheiro de Pesca. Doutor em Economia (UFC). Professor Adjunto do Departamento de Economia Agrícola (DEA/UFC). Av. Mister Hull, 2977, Bloco 826, Campus do Pici, CEP: 60440-970, Fortaleza, Ceará. jaraujoce@gmail.com

Erivelton de Souza Nunes

Economista. Doutorando em Economia Rural (PPGER/UFC). Av. Mister Hull, 2977, Bloco 826, Campus do Pici, CEP: 60455-760, Fortaleza, Ceará. erivelton.s.n@hotmail.com

Cicero Francisco de Lima

Economista. Doutor em Economia Rural (PPGER/UFC). Av. Mister Hull, 2977, Bloco 826, Campus do Pici, CEP: 60455-760, Fortaleza, Ceará. cicerolimacfl@gmail.com

Resumo: O efeito potencial das mudanças climáticas na produtividade agrícola tem se mostrado relevante envolvendo os debates científico, político e socioeconômico. Nesse sentido e considerando-se também que a agricultura exerce função fundamental na segurança alimentar, a presente pesquisa tem como finalidade mensurar os efeitos das mudanças climáticas sobre a capacidade de exportação da fruticultura no Brasil. A análise compreende o período de 1997 a 2019 e contempla os 38 principais importadores de frutas brasileiras. Para tanto, empregou-se o modelo gravitacional. Os resultados indicam que no modelo *Poisson Pseudo-Maximum-Likelihood* (PPML), a precipitação pluviométrica não apresentou significância estatística, enquanto um aumento de 1% na temperatura elevou em aproximadamente 16,35% as exportações de frutas no Brasil. Além disso, observou-se que as exportações de frutas brasileiras se relacionam diretamente com o PIB nacional e com o PIB dos principais países importadores, sendo inversamente proporcional à variável distância.

Palavras-chave: fluxos comerciais; alterações climáticas; *Poisson Pseudo-Maximum-Likelihood-PPML*; fruticultura; Brasil.

Abstract: The potential effect of climate change on agricultural productivity has been shown to be relevant in scientific, political, and socioeconomic debate. In this sense and considering that agriculture plays a fundamental role in food security, this research aims to measure the effects of climate change on the export capacity of fruit production in Brazil. The analysis covers the period from 1997 to 2019 and includes the 38 main importers of Brazilian fruit. For that, the gravitational model was used. The results indicate that in the *Poisson Pseudo-Maximum-Likelihood* (PPML) model, that rainfall was not statistically significant, while a 1% increase in temperature increased fruit exports in Brazil by approximately 16.35%. Furthermore, it was observed that Brazilian fruit exports are directly related to the national GDP and to the GDP of the main importing countries, being inversely proportional to the distance variable.

Keywords: trade flows; climate change; *Poisson Pseudo-Maximum-Likelihood-PPML*; fruit growing; Brazil.

1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios no cenário contemporâneo é manter a produtividade agrícola em níveis suficientes para suprir a demanda mundial por alimentos e garantir a segurança alimentar da população. Esse obstáculo depende de elementos cruciais à manutenção das atividades agrícolas, tais como: capacidade hídrica, temperatura, terras agricultáveis, subsídios e linhas de créditos destinados aos produtores rurais, políticas agrícolas eficientes, mão de obra qualificada, dentre outros aspectos relevantes.

Diante da relevante função desempenhada pela agricultura sobre a segurança alimentar, há uma crescente preocupação quanto ao efeito potencial das mudanças climáticas na produtividade agrícola (ADAMS et al., 1998; BALDOS; HERTEL, 2014; HANIF et al., 2010; OLESEN; BINDI, 2002). Nesse âmbito, estudos mostram que as alterações climáticas seriam problemáticas para a produção agrícola sem adaptação, enquanto a vulnerabilidade poderia ser aliviada com essa estratégia (DESCHÊNES; GREENSTONE, 2007; IPCC, 2014; MENDELSON; NORDHAUS; SHAW, 1994; STERN, 2006).

O Quinto Relatório de Avaliação (AR) do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC¹, 2014) afirma que a emissão contínua de Gases do Efeito Estufa (GEE) causará mais aquecimento e mudanças duradouras em todos os componentes do sistema climático. Vai expandir a probabilidade de impactos graves, generalizados e irreversíveis para as pessoas e os ecossistemas. Vale destacar que, de 1750 a 2013, a concentração de Dióxido de Carbono (CO₂) aumentou de 280 ppm (partes por milhão) para 400 ppm. Esse cenário sugere que a limitação das alterações climáticas exigiria reduções substanciais nas emissões de GEE, que juntamente com a adaptação poderiam restringir os riscos futuramente. Embora se faça imprescindível, esse desafio para a comunidade científica tem sido pouco enfatizado em vários países, pondo em pauta a necessidade da ação coletiva internacional (STERN, 2006).

Reilly, Hohmann e Kane (1994) afirmam que dois princípios elementares devem ser considerados em políticas de antecipação aos impactos das mudanças climáticas na agricultura: (1) comércio internacional e (2) incerteza. Para os referidos autores, mesmo com a simulação de cenários relativos às políticas específicas que aumentem os estoques de alimentos ou visem países para assistência, isso não será suficiente para tornar os modelos mais robustos. Os efeitos comerciais e o alto grau de incerteza devem receber críticas nas políticas de adaptação. Em razão disso, faz-se necessário aprofundar a compreensão dos efeitos climáticos sobre os fluxos comerciais dos países.

No comércio internacional, o Brasil apresenta-se como o terceiro maior produtor de frutas, ocupando posição inferior apenas à China e à Índia. No País são produzidas cerca de 44 milhões de toneladas de frutas, no entanto, a exportação de frutas ainda é baixa (3%), apesar do potencial agrícola que o País apresenta. De 2010 a 2019, houve crescimento do setor agrícola em torno de 5,2%. Especificamente em 2019, o País atingiu um recorde ao superar 997 mil toneladas de frutas exportadas. Naquele mesmo ano, as frutas mais exportadas e com maior retorno econômico foram: manga (*Mangifera indica*), melão (*Cucumis melo*), uva (*Vitis vinifera L.*), limão (*Citrus limon L. Burmann f.*) e lima (*Citrus limettioides Tanaka*) (ABRAFRUTAS, 2020; MAPA, 2020).

O Brasil apresenta clima tropical, na maior parte de sua extensão, com variados subtipos climáticos e distribuição irregular de chuvas e temperaturas, nos aspectos regional ou temporal, configurando um rico e diversificado mosaico de paisagens (ANA; IBGE, 2020).

O IPCC (2014) aponta que os aumentos projetados na temperatura podem exacerbar a escassez de água em inúmeros países, bem como no Brasil, especialmente em regiões mais vul-

1 Criado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) em 1988, para fornecer aos líderes políticos avaliações científicas periódicas sobre as mudanças climáticas, suas implicações e riscos, propondo estratégias de adaptação e mitigação.

neráveis, como as áridas e semiáridas, as quais apresentam elevada instabilidade nas condições edafoclimáticas.

Dada a relevância da adaptação no comércio agrícola internacional às mudanças climáticas no Brasil, formula-se o seguinte questionamento: A interferência das mudanças climáticas representada pela instabilidade na precipitação pluviométrica e temperatura média contribui para a redução das exportações da fruticultura brasileira? Nesse contexto, o presente trabalho objetiva estimar os efeitos das mudanças climáticas, por meio dos seguimentos da precipitação pluviométrica e da temperatura, sobre a capacidade de exportação da fruticultura no Brasil.

Para isso, foi empregado o modelo gravitacional (TINBERGEN, 1962), vastamente aplicado ao comércio internacional (ANDERSON, 1979; GREENE, 2013; LINNEMANN, 1966; PREHN; BRÜMMER; GLAUBEN, 2016). A principal contribuição do estudo relaciona-se à utilização de variáveis climáticas combinadas ao modelo gravitacional com a aplicação de diferentes abordagens: *Pooled* (Mínimos Quadrados Ordinários – MQO com dados empilhados); Efeitos Fixos (EF); Efeitos Aleatórios (EA), a partir da adoção de dados em painel (GREENE, 2021; BALTAGI, 2008); e *Poisson Pseudo-Maximum-Likelihood* (PPML), desenvolvido por Silva e Tenreiro (2006), para o período de 1997 a 2019.

Além desta seção, o presente artigo é composto por mais quatro seções. A segunda apresenta as principais evidências acerca das mudanças climáticas, impactos na agricultura e nos fluxos comerciais, referentes à literatura nacional e internacional. A terceira dedica-se a detalhar os procedimentos metodológicos. A quarta apresenta os resultados e discussão, enquanto a última seção refere-se às considerações finais.

2 IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA AGRICULTURA: EVIDÊNCIAS À ECONOMIA INTERNACIONAL E AO BRASIL

Ao estudar as mudanças climáticas, faz-se necessária uma capacidade analítica bastante complexa, devido à exigência de abordagens multidisciplinares, bem como a fundamentação de modelos matemáticos capazes de aferir impactos. Diante desse desafio, a presente seção discute os trabalhos da literatura que abordam as mudanças climáticas em níveis internacional e nacional, com ênfase nas aplicações do setor agrícola.

O *background* das mudanças climáticas aponta como o pioneiro a especular que a concentração de CO₂ na atmosfera poderia alterar substancialmente a temperatura global do efeito estufa o químico e físico sueco, vencedor do Prêmio Nobel, Arrhenius (1896). No âmbito da economia, Nordhaus (1982) abordou que a mudança no clima, com ênfase na concentração de CO₂, é canalizada por duas maneiras: i) pelo lado da produção; e ii) atividades redutoras induzidas por políticas.

A posteriori, em 1997, houve o marco regulatório mais conhecido como Protocolo de Kyoto, assinado no Japão, que estabeleceu para os países os mecanismos internacionais do comércio de emissões, desenvolvimento limpo e implementação conjunta das estratégias. Além dele, surgiram outras iniciativas, bem como as apresentadas por Nordhaus (1982), precursor ao discutir a mudança climática em “*How fast should we graze the global commons?*”. Adiante, o autor abordou e defendeu em “*Life after Kyoto*” uma tributação global em contraponto aos mecanismos do Protocolo (NORDHAUS, 2005).

Kemfert, Lise e Tol (2004) consideram equivocada a ideia de que a redução dos GEE em um país seja um bem privado, enquanto a atmosfera seja um bem público. Para os autores, a redução desses gases em um país tende a afetar outras nações de diversas maneiras, não apenas pela mudança climática. Eles podem ser contabilizados nas diferentes áreas: comércio internacional, investimentos, produção energética, vazamento de carbono, desenvolvimento tecnológico e sua difusão. Possivelmente, haverá a redução substancial até 2050, enquanto os recursos naturais tornam-se menos abundantes, diante de incertezas climáticas.

Para Huang, Von Lampe e Van Tongeren (2011), a produtividade agrícola em países desenvolvidos e em desenvolvimento terá como desafio superar o aumento de temperaturas, sobretudo nas latitudes tropicais e semitropicais, uma vez que as regiões com escassez hídrica enfrentarão condições severas.

Quanto maior a interferência climática no sistema, menor será a aptidão agrícola para o cultivo, porém o diferencial estará nas culturas resistentes às temperaturas elevadas, por se beneficiarem da tolerância ao estresse hídrico. Já nas áreas sensíveis a geadas, uma elevação no nível térmico poderá trazer benefícios, tornando essas áreas favoráveis à agricultura (PINTO et al., 2003).

Ao quantificarem os impactos sobre a agricultura, Seo e Mendelsohn (2008) afirmam que as estratégias de adaptação devem ser consideradas. Para esses estudiosos, apenas sintetizar as estimativas baseadas em culturas específicas e analisar como elas serão afetadas não é o suficiente, pois é de suma importância reconhecer que os produtores serão transformados, a ponto de alterar suas decisões de produção que maximizem seus lucros. Os autores ressaltam ainda que, ao assumir que os produtores permanecerão cultivando as mesmas culturas agrícolas e com as técnicas produtivas inalteradas, possivelmente superestimam os impactos.

Mendelsohn (2014) analisou o impacto das mudanças climáticas na agricultura asiática baseado no modelo Ricardiano², incluindo as adaptações que os agricultores fazem com a tecnologia agrícola existente. Quanto à temperatura, um aquecimento de 1,5 °C reduziria a receita líquida da safra em 13% (US\$ 93 bilhões ao ano), e uma elevação de 3 °C reduziria em 28% (US\$ 195 bilhões ao ano). Caso inclua o impacto da fertilização com CO₂ junto ao aquecimento, o autor sugere que o cenário de 1,5 °C levaria a um ganho de 3%, ou seja, US\$ 18 bilhões ao ano, já para o cenário de 3 °C haveria uma perda de 12% (US\$ 84 bilhões ao ano). O autor aponta que a Índia sofrerá dois terços das perdas agregadas na Ásia, devido às altas temperaturas na primavera, uma vez que esta dispõe de uma maior parcela da receita líquida da safra.

Para Deschênes e Greenstone (2007), o modelo hedônico³ é passível de críticas, uma abordagem transversal com uso de regressão dos valores das terras agrícolas com variáveis climáticas para os Estados Unidos (EUA), abordado pioneiramente por Mendelsohn, Nordhaus e Shaw (1994), que propõem o uso de flutuações meteorológicas aleatórias ano a ano em um painel de lucros e rendimentos agrícolas. Féres, Reis e Speranza (2008) também se propuseram a avaliar os efeitos de longo prazo das mudanças climáticas sobre a lucratividade das atividades agrícolas no Brasil. Para tal estudo, no tocante ao clima projetado para o período de 2040-2069, a redução do lucro na agricultura será de 0,8% a 3,7%; já para o cenário de 2070-2099, as perdas da lucratividade agrícola podem alcançar o patamar de 26%.

Em análise dos efeitos climáticos sobre o preço da terra na Província de Punjab, no Paquistão, Hanif et al. (2010), por meio do modelo gravitacional, concluíram que todas as variáveis climáticas, exceto a temperatura máxima, têm relação altamente significativa com os preços dos terrenos. Dadas as condições de maiores custos, os agricultores tendem a buscar estratégias adaptativas.

Yu et al. (2020), ao aplicarem o modelo gravitacional, mostraram que as alterações climáticas no Cazaquistão, medidas pela precipitação, tendem a elevar a exportação de trigo e arroz e a importação de milho, bem como reduzir a importação de trigo. O aumento da precipitação em 1 milímetro durante a principal estação de cultivo (maio a agosto) aumentará a exportação de trigo em 0,7% e reduzirá a importação em 1,7%; o aumento da temperatura em 1 °C aumentará a exportação de trigo em 21,9% e reduzirá a importação em 49,4%. Em suma, os ajustes nos padrões de comércio de cereais resultantes no Cazaquistão podem afetar a segurança alimentar.

2 Assume que cada agricultor deseja maximizar a renda sujeito às condições exógenas de sua fazenda, escolhe a safra e os insumos para cada unidade de terra.

3 Proveniente do hedonismo, uma vez que o prazer ou a felicidade que um consumidor apresenta depende do nível de atributos que o bem adquirido possui.

Santos e Alves (2020) analisaram o Brasil, a partir do modelo gravitacional. Os autores apontaram que o aumento de 1% na temperatura média dos estados da Região Nordeste acarretaria a redução das exportações de produtos alimentícios e animais vivos intranacionais e internacionais em 1,33% e 8,68%, respectivamente. Quanto ao efeito da precipitação pluviométrica, o aumento de 1% causaria uma elevação de aproximadamente 0,53% das exportações intranacionais, entretanto em relação às exportações internacionais não houve significância estatística.

Em análise da agricultura brasileira, diversos autores (SIQUEIRA; FARIAS; SANS, 1994; SANGHI et al., 1997; NOBRE; ASSAD; OYAMA, 2005; ÁVILA; IRIAS; LIMA, 2006; FÉRES; REIS; SPERANZA, 2008; EMBRAPA, 2008) são consensuais ao afirmarem que as mudanças climáticas causarão impactos negativos a médio e longo prazo, com efeitos distintos entre regiões, devido à variação das condições edafoclimáticas.

Schwan e Yu (2018) indicam que a migração é a estratégia adaptativa para as mudanças climáticas, visto que o cenário rural modificará ainda mais o perfil da mão de obra disponível. Dependendo do grau de impacto, os produtores rurais terão que migrar para outras regiões com maior abundância de recursos naturais e com maior capacidade de produção.

Já Cunha (2010) indica que no Brasil a irrigação é influenciada pelas variações climáticas, podendo ser modelada como medida adaptativa, entretanto o produtor necessita de renda suficiente para custear o investimento, conhecimento e capacidade técnica, bem como capacidade hídrica e condições de solo que sejam favoráveis. Assim, os produtores de sequeiro serão afetados negativamente, podendo ter seus ganhos reduzidos em até 14%, realidade distinta dos produtores irrigantes, que tendem a ter renda crescente e mais estável. Uma estratégia para o Brasil, apontada pelo autor, é incentivar políticas nacionais de crédito específicas para a implantação de sistemas de irrigação destinados aos produtores menos capitalizados.

No que se refere à fruticultura brasileira, categoria da agricultura altamente dependente de irrigação, de temperatura adequada e tecnologia, a interferência das mudanças climáticas tende a impactar o processo de produção agrícola, caso o cenário futuro não seja satisfatório.

3 METODOLOGIA

3.1 Descrição da área de estudo e da origem dos dados

Para revelar empiricamente o efeito das mudanças climáticas nos fluxos comerciais das exportações de frutas do Brasil, que contempla 5.568 municípios distribuídos em uma extensão territorial de 8.510.295,914 km², com 211.755.692 habitantes (IBGE, 2020a, 2020b), foi utilizada uma amostra com 38 países⁴, que correspondem aos principais destinos das exportações do setor. Esses municípios representam o nível de participação em torno de 99,15% das exportações das frutas selecionadas, entre o período de 1997 e 2019. O critério de escolha das frutas foi a partir do ranking das cinco mais exportadas, a saber: limão e limas, manga, melão, mamão e uva. O Quadro 1 apresenta a descrição das variáveis selecionadas na presente pesquisa.

4 Alemanha, Argentina, Arábia Saudita, Angola, Áustria, Bélgica, Cabo Verde, Catar, China, Chile, Coreia do Sul, Canadá, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, Emirados Árabes Unidos, França, Finlândia, Gana, Hong Kong, Indonésia, Itália, Irlanda, Japão, Lituânia, Noruega, Omã, Países Baixos (Holanda), Portugal, Polônia, Paraguai, Reino Unido, Rússia, Suécia, Suíça, Tailândia, Ucrânia e Uruguai.

Quadro 1 – Descrição das variáveis adotadas na pesquisa

Variáveis	Descrição	Fonte dos dados	Aplicação na literatura
EXP_{ijt}	Valor das exportações de frutas (manga, melão, lima/limão, mamão e uva) - em dólares (US\$).	AgroStat (MAPA, 2020) e Comex Stat (MDIC, 2020).	Tinbergen (1962); Dinda (2014); Anderson (1979); Prehn, Brümmer e Glauben (2015).
$PRECIP_{it}$	Precipitação pluviométrica - em milímetros (mm). <i>Proxy</i> climática.	<i>Global Precipitation Measurement</i> (GPM) – MERRA-2 (NASA, 2020a; 2020b).	Yu et al. (2020); Santos e Alves (2020).
$TEMP_{it}$	Temperatura em graus Celsius (°C). <i>Proxy</i> climática.	National Aeronautics and Space Administration (NASA, 2020a; 2020b).	Yu et al. (2020); Santos e Alves (2020).
PIB_{it}	Produto Interno Bruto do Brasil - em dólares (US\$). <i>Proxy</i> da renda.	World Bank (2020).	Anderson e Van Wincoop (2003); Arevalo, Andrade e Silva (2016).
PIB_{jt}	Produto Interno Bruto (PIB) dos parceiros comerciais - em dólares (US\$). <i>Proxy</i> da renda.	World Bank (2020).	Silva e Tenreyro (2006); Tinbergen (1962).
$DIST_{ij}$	Distância geográfica entre o país exportador e o país importador - em quilômetros (km).	<i>Centre D'Estudes Prospectives et d'Informations Internationales</i> (CEPII, 2020).	Anderson (1979); Silva e Tenreyro (2006); Greene (2013).
TC_{jt}	Taxa de câmbio: unidade da moeda local padrão por unidade de dólar americano (USD) dos países parceiros.	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> (FAO, 2020).	Bergstrand (1985, 1989); Greene (2013).
ILE_{jt}	Índice de Liberdade Econômica (ILE) - escala de 0 a 100.	<i>The Heritage Foundation</i> (2020).	Arevalo, Andrade e Silva (2016); Greene (2013).
$CONTIG_{it}$	<i>Dummy</i> : representa a contiguidade. 0 - se o país não faz fronteira com o Brasil; 1 - faz fronteira.	CEPII (2020).	Silva e Tenreyro (2006); Yu et al. (2020).
$LING_{jt}$	<i>Dummy</i> : representa a linguagem comum. 0 - país com idioma diferente do Brasil; 1 - país que adota o mesmo idioma.	CEPII (2020).	Greene (2013); Yu et al. (2020).

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Nota: As variáveis expressas em dólares foram corrigidas com o deflator americano, *Consumer Price Index* – CPI, concedido pelo *Bureau of Labor Statistics* (2020), para o ano base 2019.

Em particular, as mudanças climáticas relacionadas às exportações de frutas neste estudo referem-se principalmente à alteração no padrão de precipitação e temperatura. Nesse aspecto, foram inseridas as variáveis climáticas como *proxies* capazes de mensurar os efeitos do clima, juntamente com as variáveis do modelo gravitacional padrão (Quadro 1).

A distância geográfica ($DIST_{ij}$) entre o Brasil e os parceiros comerciais segue a abordagem instituída pelo *Centre D'Estudes Prospectives et d'Informations Internationales* (CEPII), que considera a distância bilateral entre os países (em quilômetros) a partir das coordenadas geográficas (latitudes e longitudes) das capitais ou cidades principais. Espera-se que o coeficiente estimado ($Dist_{ij}$) seja negativo e estatisticamente significativo, uma vez que a distância serve como barreira comercial (GREENE, 2013), ou seja, quanto maior a distância do país exportador ao país importador, menores as exportações.

Quanto à taxa de câmbio (TC_{jt}), a literatura (BERGSTRAND, 1985, 1989; GREENE, 2013) sugere que a valorização de uma moeda em relação à outra pode diminuir as exportações, enquanto aumenta a demanda por importações, nisso a depreciação pode estimular as exportações do país.

A liberdade econômica⁵ entre países foi medida pelo Índice de Liberdade Econômica (ILE_{jt}), obtido junto à *The Heritage Foundation* (2020), sugerido por Arevalo, Andrade e Silva (2016), Nunes (2019) e Greene (2013). O ILE avalia 12 (doze) categorias de liberdade econômica, incluindo liberdade de negócios e comercial, eficácia judicial, integridade de governo, carga tributária, liberdade de investimento, direitos de propriedade, entre outros. O ILE varia entre: reprimido (0 a

5 Direito fundamental de todo ser humano de controlar seu próprio trabalho e propriedade. Em sociedades economicamente livres, os governos permitem que o trabalho, o capital e os bens circulem livremente e evitam a coerção ou restrição da liberdade além do necessário para proteger e manter a própria liberdade (MILLER; KIM; ROBERTS, 2020).

49,9); majoritariamente não livre (50 a 59,9); moderadamente livre (60 a 69,9); majoritariamente livre (70 a 79,9) e totalmente livre (80 a 100). O *score* do Brasil é de 53,7, na 144ª posição mais livre em 2020. Sua pontuação geral aumentou 1,8 ponto, liderada por aumentos dramáticos nas pontuações de integridade do governo e liberdade de investimento. O País está em 25º lugar entre 32 países na região das Américas, e sua pontuação geral permanece bem abaixo das médias regionais e mundiais (MILLER; KIM; ROBERTS, 2020).

3.2 O Modelo Gravitacional e a abordagem econométrica dos fluxos comerciais

A estratégia metodológica baseia-se no modelo gravitacional, comumente disseminada em análises do comércio internacional (ABIDIN et al., 2016; ANDERSON, 1979; ANDERSON; VAN WINCOOP, 2003; BERGSTRAND, 1985, 1989; SILVA; TENREYRO, 2006, 2011; TIAN; YU, 2017), bem como em estudos sobre a interferência das mudanças climáticas nos fluxos comerciais (YU et al., 2020; SANTOS; ALVES, 2020). Esse modelo foi proposto pioneiramente por Isard (1954) no campo da economia, posteriormente Tinbergen (1962), Poyhönen (1963) e Linnemann (1966) iniciaram uma vasta literatura sobre a equação de gravidade voltada ao comércio. Desde então, teorias baseadas em diferentes fundamentos para o comércio, incluindo dotações e diferenças tecnológicas, retornos crescentes de escala e as demandas de Armington⁶, todas examinaram a relação de gravidade para fluxos comerciais, análogos à Lei da Gravitação Universal⁷, do físico inglês Isaac Newton.

Nessa perspectiva, o modelo gravitacional⁸ (TINBERGEN, 1962) configura-se na equação 1:

$$X_{ij} = A \frac{Y_i^\alpha Y_j^\beta}{D_{ij}^\gamma} \quad (1)$$

Em que: X_{ij} = exportações do país i para o país j ; Y_i e Y_j = PIB dos países i e j ; D_{ij} = distância entre os países i e j ; α = elasticidade do PIB do país exportador; β = elasticidade do PIB do país importador; γ = elasticidade da distância; A = constante.

Tinbergen (1962) justificou a incorporação do PIB dos países exportadores e importadores na equação de gravidade ao apontar que o volume de exportações que um país é capaz de fornecer depende de seu nível econômico (Y_i e Y_j), ou seja, configura o quanto o país exportador pode ofertar no mercado, e o quanto o país importador tem potencial de demanda/nível de renda. O autor fala ainda sobre a resistência ao comércio, como barreira natural (custos com tempo e transporte) ou artificial (instituída pelo governo). Já Linnemann (1966) incluiu na análise o nível populacional para captar o efeito das economias de escala. O custo do comércio é medido pela distância geográfica e econômica (TINBERGEN, 1962; BERGSTRAND, 1985; TIAN; YU, 2017). Uma aproximação relacionada aos custos com transporte, transação, comunicação, tempo decorrido durante o embarque, fatores culturais, sistemas políticos, dentre outros condicionantes impeditivos (TINBERGEN, 1962; STARCK, 2012).

Habitualmente, o modelo MQO *Pooled* (dados empilhados) considera a homogeneidade dos indivíduos ao longo do tempo, porém é passível de críticas, por violar a consistência do MQO e por desconsiderar os efeitos individuais. Além desse, foram usados os modelos de Efeitos Fixos

6 Distingue produtos não apenas por sua espécie (mercadoria, produtos químicos, produtos de madeira etc.), mas também por seu local de produção.

7 Dois corpos atraem-se com força proporcional às suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que separa seus centros de gravidade. Detalhada na obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* em 1687.

8 Os expoentes α , β e γ podem assumir valores diferentes de 1. Em casos em que $\alpha = \beta = 1$ e $\gamma = 2$, a equação descrita por Tinbergen (1962) é similar à equação universal da gravidade de Isaac Newton.

(EF) – o intercepto varia entre as unidades analisadas, no entanto são constantes no decorrer do tempo – e Efeitos Aleatórios (EA) – considera que o intercepto seja uma variável aleatória e não uma constante, com erro composto, desagregado em dois componentes: i) variação entre indivíduos; ii) variação entre observações. Em outras palavras, as variações regionais seriam identificadas por oscilações aleatórias em torno de um valor médio constante (BALTAGI, 2008; WOOLDRIGDE, 2010).

O uso de dados em painel permite relacionar dados de corte transversal com séries temporais, podendo explicar os efeitos da heterogeneidade não observada entre os indivíduos ao longo do tempo (GREENE, 2012; WOOLDRIGDE, 2010), com maior variabilidade e menor multicolinearidade entre as variáveis, obtendo estimadores não enviesados, mais consistentes e eficientes (BALTAGI, 2008).

Outro desafio é o problema do valor zero nos países que não comercializam todos os produtos com seus parceiros comerciais. Com o intuito de corrigir esse problema, foi utilizado o *Poisson Pseudo Maximum Likelihood* (PPML) para estimar o modelo gravitacional, proposto por Silva e Tenreyro (2006). A vantagem PPML é que, além de lidar com o problema de fluxos comerciais nulos, obtém estimativa não enviesada sob heterocedasticidade (PREHN; BRÜMMER; GLAUBEN, 2016; SILVA; TENREYRO, 2006, 2011).

Com relação à literatura⁹ que versa sobre o uso do modelo gravitacional, embora alguns estudos percebam a importância das mudanças climáticas no comércio agrícola, pouca atenção é dada aos seus efeitos sobre o comércio de frutas. Com o propósito de aferir o efeito potencial das mudanças climáticas no comércio de frutas no Brasil, a equação 2 pode ser expressa como:

$$\begin{aligned} \ln(EXP_{ijt}) = & \beta_0 + \beta_1 \ln(DIST_{ijt}) + \beta_2 \ln(PIB_{it}) + \beta_3 \ln(PIB_{jt}) \\ & + \beta_4 \ln(PRECIP_{it}) + \beta_5 \ln(TEMP_{it}) + \beta_6 \ln(TC_{jt}) + \beta_7 \ln(ILE_{jt}) \\ & + \beta_8 \ln(CONTIG_{ijt}) + \beta_9 \ln(LING_{ijt}) + \mu_{ijt} \end{aligned} \quad (2)$$

EXP_{ijt} : denota as exportações de frutas entre o Brasil (i) e os países importadores (j); $DIST_{ijt}$: distância geográfica (km) entre i e j ; PIB_{it} : PIB do Brasil; PIB_{jt} : PIB parceiros comerciais; $PRECIP_{it}$: precipitação pluviométrica (mm) no Brasil; $TEMP_{it}$: temperatura média em °C no Brasil; TC_{jt} : Taxa de câmbio dos países parceiros (unidade da moeda padrão/dólar americano - USD); ILE_{jt} : Índice de Liberdade Econômica; $CONTIG_{ijt}$: Contiguidade entre os países (fronteira); $LING_{ijt}$: linguagem comum entre i e j ; μ_{ijt} : erro estocástico. $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7, \beta_8$ e β_9 são os parâmetros a serem estimados.

Para análise dos modelos estimados foram realizados os testes de Wooldridge e LM de Baltagi e Li – para correlação serial, Breusch-Pagan/Cook Weisberg – teste de heterocedasticidade. No intuito de decidir entre os modelos especificados, foi necessária a execução do teste de Chow para decidir entre o modelo *Pooled* e o modelo EF. Em seguida, efetuou-se o teste do Multiplicador de Lagrange de Breusch-Pagan (*LM Test*) para aferir a adequação do modelo *Pooled* frente ao modelo EA. Por fim, no intuito de decidir entre os modelos EF e EA, executou-se o teste de Hausman.

9 Para mais detalhes, ver Anderson (1979); Anderson e Van Wincoop (2003); Greene (2013); Pölyhönen (1963); Santos e Tenreyro (2006); e Tinbergen (1962).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises das estatísticas descritivas

Preliminarmente, realizou-se uma análise descritiva das variáveis analisadas, a partir de medidas de dispersão (máximo, mínimo, desvio-padrão) e de tendência central (média), representada na Tabela 1.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas das variáveis

Variável	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão
EXP_{ijt} (mil US\$)	0,00	4.619.551,24	254.877.524,00	16.756.308,00
$DIST_{ijt}$ (Km)	1.133,59	10.110,00	18.532,24	4.315,00
PIB_{it} (bilhões de US\$)	282,36	722,20	1.839,76	359,98
PIB_{jt} (bilhões de US\$)	0,31	617,13	21.433,23	1.476,44
TC_{jt} (moeda padrão local/US\$)	0,20	450,00	14.236,94	1.825,00
ILE_{jt}	23,70	67,00	90,20	9,80
$CONTIG_{ijt}$	0,00	0,08	1,00	0,27
$LING_{ijt}$	0,00	0,08	1,00	0,27
$PRECIP_{it}$ (mm)	1.707,70	1.983,00	2.330,47	167,5
$TEMP_{it}$ (°C)	24,29	24,90	25,85	0,4

Fonte: Elaborada pelos autores, resultados da pesquisa (2021).

Observa-se na Tabela 1 que a média anual das exportações de frutas é de US\$ 4.619.551,24. As exportações variaram de US\$ 0,00 a US\$ 254.877.524,00, sendo o maior valor exportado referente aos Países Baixos (Holanda) para o ano de 2019, referente às frutas: manga, limão, melão e uva. Ao longo de todo o período de análise (1997-2019), a Holanda permaneceu entre os primeiros lugares do *ranking* dos países que mais importaram as frutas brasileiras citadas no presente trabalho, com exceção do mamão, cuja importação é liderada por Portugal. Vários países¹⁰ apresentaram o valor mínimo (US\$ 0,00) em determinados anos, uma vez que nem todos são importadores das cinco frutas selecionadas.

A distância geográfica média do Brasil aos países importadores foi de 10.110,00 km, variando de 1.133,59 km a 18.532,24 km, referentes ao Paraguai e ao Japão, respectivamente. As disparidades em torno da média se explicam devido aos países selecionados serem de diferentes continentes – América do Sul e Ásia. Dos 38 países considerados na presente análise, apenas 4 estão localizados na América do Sul (Argentina, Chile, Paraguai e Uruguai), ou seja, 89,47% dos parceiros comerciais com o Brasil não estão situados neste continente, e 92,10% dos parceiros comerciais não fazem fronteira com o País. Isso implica que a maior parte da amostra pertence a outros continentes, configurando uma maior distância comparada ao país exportador (Brasil).

No que concerne ao valor do PIB, percebe-se grande variabilidade. Para o caso brasileiro, seu valor mínimo é de US\$ 282,763 bilhões, em 2002, e o valor máximo é de US\$ 1.839,76 bilhões, em 2019, com uma média de US\$ 722,20 bilhões. Nos países parceiros, o valor mínimo é de US\$ 0,31 bilhões (Cabo Verde em 1997), já o valor máximo é de US\$ 21.433,23 bilhões e está relacionado aos Estados Unidos em 2019. O PIB é comumente usado como uma *proxy* para o padrão de

10 Arábia Saudita, Angola, Áustria, Cabo Verde, Catar, Chile, China, Coreia do Sul, Emirados Árabes Unidos, Finlândia, Gana, Hong Kong, Indonésia, Irlanda, Japão, Lituânia, Omã, Paraguai, Polônia, Rússia, Tailândia e Ucrânia.

vida de um país, relação de dotação capital-trabalho, poder de compra e estágio de desenvolvimento econômico. Quanto mais desenvolvidos forem os países, mais eles comercializarão.

O menor ILE foi referente a Angola em 1999 (23,7), enquanto Hong Kong obteve o maior patamar (90,20) em 2019. O valor médio observado foi de 67,00. Vale frisar que há uma associação positiva entre liberdade econômica e fluxos de comércio internacional. Essa variável foi usada no modelo de gravidade para medir o nível de proteção às importações.

A média da taxa de câmbio, por sua vez, foi de 450,00 unidades da moeda local/US\$, variando da taxa mínima de 0,20 a 14.236,94 unidades/US\$, referentes a Gana (1997) e Indonésia (2018), respectivamente.

Quanto às variáveis climáticas, a precipitação pluviométrica teve o nível mínimo de 1.707,70 mm em 2001 e o máximo de 2.330,47 mm em 2009, com uma média de 1.983,00 mm. Já a temperatura apresentou o menor nível, 24,29 °C, em 2000, e o máximo de 24,90 °C em 2015, com média de 25,85 °C. Tais variáveis influenciam direta e indiretamente o crescimento e o desenvolvimento de culturas agrícolas, a duração do ciclo de cultivo, a produtividade e a qualidade dos produtos.

4.2 Resultados das estimações acerca dos efeitos das alterações climáticas nas exportações de frutas no Brasil

A Tabela 2 apresenta os principais resultados dos testes aplicados aos modelos em análise.

Tabela 2 – Testes, hipóteses e estatísticas aplicados

Teste	Ênfase da análise	Hipóteses	P-value
Wooldridge	Correlação serial	H_0 : Ausência de autocorrelação; H_1 : Existem efeitos não observados.	0,002
LM de Baltagi e Li	Correlação serial	H_0 : Modelo <i>Pooled</i> (sem efeitos); H_1 : Existem efeitos não observados ou erros do tipo AR (1).	0,000
Breusch-Pagan/ Cook Weisberg	Heterocedasticidade	H_0 : Homocedasticidade; H_1 : Heterocedasticidade.	0,000
Chow (Teste F)	<i>Pooled versus</i> EF	H_0 : Modelo <i>Pooled</i> é preferível (sem efeitos); H_1 : Modelo com efeitos é preferível (EF).	0,000
LM de Breusch-Pagan	<i>Pooled versus</i> EA	H_0 : Modelo <i>Pooled</i> é preferível; H_1 : Modelo EA é preferível.	0,000
Hausman	EF <i>versus</i> EA	H_0 : Modelo EA é preferível; H_1 : Modelo EF é preferível.	0,070

Fonte: Elaborada pelos autores, resultados da pesquisa (2021).

O teste de Wooldridge demonstra que a hipótese nula não foi aceita, com significância de 1%, e existem efeitos não observados (autocorrelação). Para Croissant e Millo (2019), esse procedimento detecta formas gerais de persistência nos erros, ressaltando poucas direções para uma especificação minuciosa. Os testes robustos permitem discriminar entre persistência de erros invariantes (efeitos aleatórios) e de decomposição do tempo (erros autorregressivos), concluindo a favor do segundo. Para tal análise, foi usado o teste da ideia condicional de Baltagi e Li (1995) para correlação serial, permitindo efeitos aleatórios de qualquer magnitude, computado usando os seus resíduos. Os resultados apontam que a hipótese nula não foi aceita, existem efeitos não observados ou erros do tipo Autorregressivos (AR1). No caso do teste de Breusch-Pagan/Cook Weisberg, a hipótese nula não foi aceita, indicando a existência de heterocedastidade.

O teste de Chow (teste F) sugeriu que, com significância de 1%, a hipótese nula não deve ser aceita evidenciando a preferência ao modelo de EF. Para o teste LM de Breusch-Pagan, a hipótese nula de que não existem efeitos aleatórios foi rejeitada a 1% de significância, ou seja, o mais adequado seria o modelo de EA.

Para a decisão entre os modelos de EF e EA, foi necessário o teste de Hausman; tanto a versão padrão quanto a versão robusta do teste não rejeitaram a hipótese de efeitos aleatórios. Uma explicação para tal resultado é o fato de no modelo de EF algumas variáveis que são invariantes

no tempo (distância geográfica, linguagem comum e contiguidade) serem descartadas da análise, porém elas são de suma importância para o modelo gravitacional. Na presente análise, deve-se preferencialmente escolher o modelo de EA.

O teste de Chow indicou que o modelo *Pooled* não é adequado para a presente análise, pois nessa perspectiva, se considerado para explicar os efeitos das mudanças climáticas nas exportações de frutas brasileiras, poderá apresentar vieses que irão mascarar os verdadeiros resultados. Contudo, deve-se considerar que em caso de heterocedasticidade, efeitos não observados e muitos zeros na variável dependente, o modelo mais apropriado é o PPML. Na Tabela 3, são apresentados os resultados dos coeficientes dos modelos estimados.

Tabela 3 – Estimativas do modelo gravitacional – *Pooled*, Efeitos Fixos (EF), Efeitos Aleatórios (EA) e *Poisson Pseudo-Maximum Likelihood* (PPML)

Variáveis explicativas	Variável dependente: $\ln(\text{EXP}_{ijt})$			
	<i>Pooled</i> ¹¹	EF	EA ¹²	PPML
$\ln(\text{DIST}_{ijt})$	-5,286 *** (0,269)	-	-5,752*** (0,262)	-1,366*** (0,353)
$\ln(\text{PIB}_{jt})$	0,1605 (0,451)	-0,801 (0,506)	0,018 (0,204)	0,478* (0,204)
$\ln(\text{PIB}_{it})$	1,790 *** (0,098)	3,358 *** (0,415)	2,099*** (0,071)	0,561*** (0,066)
$\ln(\text{TC}_{ijt})$	-0,941 *** (0,063)	-0,823** (0,299)	-0,917*** (0,042)	-1,074*** (0,151)
$\ln(\text{ILE}_{jt})$	4,970 *** (1,001)	-2,577 (1,940)	0,518 (0,471)	5,873*** (0,811)
CONTIG_{ijt}	-3,537 *** (0,427)	-	-4,542*** (0,583)	-1,639*** (0,304)
LING_COMUM_{ijt}	3,569 *** (0,511)	-	3,139*** (0,486)	0,876* (0,367)
$\ln(\text{PRECIP}_{it})$	11,034*** (2,805)	11,604 *** (2,543)	11,515*** (1,205)	1,746 (1,420)
$\ln(\text{TEMP}_{it})$	57,028*** (14,8819)	56,098*** (12,904)	58,533*** (6,084)	16,350* (7,547)
Intercepto	-278,993 *** (55,501)	-	-268,612*** (23,296)	90,681** (30,082)
R^2 ajustado ¹³	0,541	0,211	0,525	-
Teste F-p-valor	0,000	0,000	-	-
Teste Qui-Quadrado (χ^2) – p-value	-	-	0,000	-
Observações	867	867	867	867

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa (2021).

Nota: Desvio-padrão entre parênteses. Os níveis de significância apresentados: (***) significativo a 0,1%; (**) significativo a 1%; (*) significativo a 5%; e (.) significativo a 10%.

A distância geográfica apresentou sinal negativo em todos os modelos, corroborando a literatura – quanto maior a distância entre os países parceiros, menor será o fluxo comercial. Isso indica

11 Correção dos erros robustos de White.

12 Efeitos em dois caminhos (*twoways*) com transformação de Wallace-Hussain (Walhus).

13 Devido às análises no software R, o coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) para o modelo PPML não foi gerado, pois ainda não há atualizações no pacote 'gravity' que apresentem o R^2 (WÖLWER; BURGARD; BREBLEIN, 2018; SHEPHERD; DOYTCHINOVA; KRAVCHENKO, 2019), mas assegura-se pela robustez do modelo (SILVA; TENREYRO, 2006) e a significância das variáveis.

que as exportações de frutas são sensíveis às variações no distanciamento em km. No PPML, o aumento de 1% na distância causa, em média, uma redução de 1,37% nas exportações de frutas, com significância de 0,1%. Essa distância interfere nos custos com transporte, bem como as barreiras comerciais entre países. Esse efeito corrobora as ideias de Santos e Alves (2020), que, em análise às exportações de produtos agropecuários no Brasil, estimaram uma redução de 1,52% nas exportações. Já Yu et al. (2020), ao analisarem as exportações de grãos no Cazaquistão, encontraram efeitos bem elevados, com reduções em torno de 2,98%, 11,21% e 20,49% para o trigo, arroz e milho, respectivamente. Esses resultados corroboram os encontrados em Nguyen e Lee (2020), em que um aumento de 1% na distância entre dois países leva a uma redução de 0,31% no consumo de frutas vietnamitas por cada consumidor nos países importadores. Nessa perspectiva, Greene (2013) aponta que a distância, uma *proxy* para os custos com transporte, espelha os valores associados ao envio físico de um produto de seu local de produção ao destino de exportação.

No caso do PIB brasileiro para os modelos *Pooled*, EF e EA, a variável não se mostrou significativa. Já no PPML, o aumento de 1% no PIB_{it} tende a elevar, em média, 0,48% o patamar das exportações. Levando em consideração o PIB_{jt} , apesar de apresentar significância, os valores foram bem diferentes. Considerando o modelo com maior robustez (PPML), o aumento de 1% no PIB_{jt} (países importadores) tende a elevar em 0,56% a exportação, com significância de 0,1%. Esses resultados reforçam o quanto o nível de renda dos países é considerado um fator crucial ao aumento da demanda internacional por frutas brasileiras. Isso resulta que quanto mais elevada a renda dos países parceiros, maior a demanda por frutas provenientes de exportações brasileiras.

A taxa de câmbio teve efeito negativo com resultados similares nos modelos *Pooled*, EF e EA, -0,94%, -0,82% e -0,92%, respectivamente, já no PPML o aumento de 1% na TC_{jt} reduz em torno de 1,7% as exportações. A literatura sugere que a valorização de uma moeda em relação à outra pode diminuir as exportações, enquanto aumenta a demanda por importações, e a depreciação pode estimular as exportações do país (BERGSTRAND 1985, 1989). Em análise ao efeito da incerteza na taxa de câmbio para a exportação de frutas nos Estados Unidos, Sheldon et al. (2013) encontraram evidências de que a taxa de câmbio entre o dólar americano e as moedas dos parceiros comerciais latino-americanos é responsável pela maior parte do impacto negativo da taxa de câmbio sobre os fluxos de comércio bilateral de frutas frescas.

No caso do Índice de Liberdade Econômica, este se mostrou significativo a 0,1%, para os modelos *Pooled* e PPML – o aumento de 1% no ILE_{jt} causa, em média, uma elevação das exportações de frutas de 4,97% e 5,87%, respectivamente. Essa medida configura que quanto maior a abertura econômica, mais vantajosa será para o Brasil.

A contiguidade representa o comércio entre regiões que possuem fronteira física comum. Sendo assim, os resultados indicam haver um comércio menor entre as regiões fronteiriças – vale ressaltar que apenas três (3) países analisados, dentre os 38, são caracterizados como fronteiriços ao Brasil: Argentina, Paraguai e Uruguai, todos localizados na América do Sul. Nos modelos *Pooled* e EA, os efeitos foram mais próximos, ou seja, a presença de países que fazem fronteira causa, em média, uma redução de 3,54% e 4,54%, respectivamente. Já no modelo PPML, o efeito se tornaria menor, com redução de 1,64% nas exportações de frutas. Figueiredo et al. (2014) sinalizam para essa questão, ao afirmarem que a ausência de fronteira com outras regiões não teria tantos impactos negativos sobre o comércio, não obstante outros fatores não observáveis estão sendo representados pelas resistências multilaterais.

A linguagem comum é estatisticamente e economicamente significativa em ambos os procedimentos de estimativa, apresentando efeito positivo nas exportações, assim como na literatura (SILVA; TENREYRO, 2006; YU et al., 2020). Greene (2013) ressalta que ela reflete semelhanças na história, cultura, gostos e relações sociais compartilhados, que facilitam as negociações comerciais, a ponto de reduzir os custos de transação. Na presente análise, apenas três países contam com linguagem comum: Angola, Cabo Verde e Portugal.

Além de os resultados representarem a literatura padrão do modelo gravitacional, o diferencial do presente trabalho é a inserção das variáveis climáticas. Para tanto, no que concerne à precipitação pluviométrica (mm), os modelos apresentaram efeitos positivos, ou seja, o aumento de 1% na precipitação acarretaria, em média, uma elevação nas exportações de frutas acima de 11% nos três modelos (*Pooled*, EF e EA), com significância de 0,1%. Os resultados indicam que um aumento marginal na precipitação elevaria significativamente as exportações de frutas. No caso do modelo PPML na presente análise, apesar de apresentar efeito positivo (1,75%), não se mostrou significativo, logo não se faz necessário interpretá-lo. A precipitação de chuvas é um fator determinante na produtividade agrícola, bem como na capacidade adaptativa das culturas agrícolas diante dos eventos recorrentes de secas. A fruticultura brasileira caracteriza-se por utilizar sistema de irrigação, principalmente quando se trata de frutas para exportação. Possivelmente, a variável precipitação pluviométrica não tenha apresentado significância estatística, devido a não transmitir os efeitos como em sistema de produção de sequeiro, que depende diretamente da água da chuva para atingir a produção esperada.

Dall'Erba, Chen e Nava (2021), combinando um conjunto de dados recentes de fluxos de comércio nos Estados Unidos, de estado para estado, com registros detalhados de secas em uma resolução espacial e temporal, destacaram que o comércio aumenta à medida que o estado de destino experimenta uma maior incidência de seca, e essa relação é inversa no estado de origem. Como resultado, os lucros dos produtores dependem das condições climáticas locais e dos parceiros comerciais. As projeções baseadas em dados meteorológicos futuros convertem a perda esperada do agricultor sem a comercialização em lucro esperado. Isso implica que as condições climáticas são cruciais para o sucesso do comércio internacional de produtos agrícolas, como ocorre no setor frutícola.

O efeito mais surpreendente apresentado nos resultados da Tabela 3 diz respeito ao impacto da temperatura nas exportações de frutas. Nos diferentes modelos estimados (*Pooled*, EF, EA e PPML), os resultados indicam que o aumento de 1% na temperatura causa, em média, uma elevação das exportações em torno de 57,03%, 56,10%, 58,53% e 16,35%, respectivamente, ao nível de significância de 0,1% (*Pooled*, EF e EA) e 5% (PPML). Esses resultados mostram que para dados agregados, representados para a temperatura das diferentes regiões brasileiras, pode haver diferenças nos efeitos se forem analisados outros produtos agropecuários. Os fatores edafoclimáticos são de extrema relevância para o sucesso das atividades agrícolas, por essa razão é substancial adicionar ao modelo gravitacional variáveis que sejam próximas da realidade agrícola, representadas pela precipitação e a temperatura. Quando se trata de fruticultura, os efeitos climáticos podem devastar ou inviabilizar a produção em determinadas regiões, principalmente nas mais vulneráveis.

Outro ponto relevante é que o perfil dos exportadores de frutas no Brasil é condicionado ao uso de sistemas de irrigação, ou seja, por essa razão, provavelmente, o efeito da chuva na produção não seja significativo (no modelo PPML), como foi apresentado, uma vez que é adotado o sistema artificial, diferentemente dos produtores em sistema de sequeiro (usam apenas água da chuva para a produção agrícola). O aumento ou redução da precipitação podem ter efeitos diferenciados, positivo ou negativo, dependendo da região analisada.

Essa concordância é apresentada na literatura, em pesquisa realizada no Cazaquistão. Yu et al. (2020) indicam que ao aumentar a precipitação em um milímetro durante a principal safra, de maio a agosto, haverá aumento da exportação de trigo e arroz em 0,7% e 0,5%, respectivamente. Já para um aumento marginal na temperatura, haverá elevação significativa da exportação de trigo, enquanto nenhum impacto significativo foi encontrado para arroz e milho. O efeito marginal da temperatura para o trigo indica que um aumento de 1 °C levaria a 21,9% a mais na exportação de trigo.

Em contraponto, Santos e Alves (2020) concluem que o aumento de 1% na temperatura média dos estados da Região Nordeste do Brasil acarretaria a redução das exportações de produtos agropecuários em 8,68%. Com relação à precipitação pluviométrica, denota-se que o aumento de 1% causaria, em média, uma elevação de aproximadamente 0,028% no volume exportado, entretanto

o parâmetro estimado não apresentou significância estatística, assim como ocorreu na presente pesquisa para as exportações de frutas. Apesar de não separar o efeito da temperatura sobre as exportações de frutas sob sistema de sequeiro ou irrigado, ressalta-se que o aquecimento afeta a evapotranspiração das águas armazenadas, e isso interfere diretamente no processo de produção, pois com uma menor disponibilidade de recursos hídricos, os produtores terão maiores dificuldades em manter as atividades agrícolas, bem como apresentar uma baixa capacidade de suporte para alimentação de um sistema de irrigação nos polos frutícolas nas diferentes regiões brasileiras.

De acordo com a Embrapa (2018), ainda que as plantas respondam à interação de diversos fatores climáticos, os de maior influência são a precipitação, a radiação solar e a temperatura. Dessa forma, a elevação da temperatura e as alterações nos padrões de precipitação podem impactar a duração do ciclo de cultivo, bem como a qualidade dos produtos. Essas informações permitem salientar que a temperatura e a precipitação pluviométrica interferem no desenvolvimento das culturas agrícolas, assim como ocorre na produção de frutas, que depende de condições satisfatórias para que os ciclos produtivos desenvolvam-se adequadamente ao ponto de conseguir atingir o padrão de exportação, resultando em frutas de qualidade, com boa aparência, segurança alimentar, controle adequado de pragas e que possibilitem atingir as medidas sanitárias internacionais. Nesse sentido, Ferguson e Gars (2017) apontam, em uma perspectiva internacional, que os fluxos comerciais de bens agrícolas variam ordenadamente com os choques de produtividade decorrentes das mudanças climáticas.

Vale frisar que, a Produção Integrada de Frutas (PIF), implementada pelas Boas Práticas Agrícolas (BPAs), favorece a padronização da produção, garantindo a qualidade com o propósito de atender às exigências internacionais e reduz aproximadamente 40% dos custos, bem como o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), instrumento de política agrícola e gestão de riscos na agricultura, objetiva minimizar os riscos relacionados aos fenômenos climáticos adversos, identificando a melhor época de plantio, nos diferentes tipos de solos e ciclos de cultivares (EMBRAPA, 2020; INMETRO, 2020). As estratégias citadas podem ajudar a barrar os impactos das mudanças climáticas na produção de frutas no Brasil, uma vez que os produtores, ao promoverem a capacidade de adaptação e o fortalecimento dos sistemas de produção diante da instabilidade da temperatura e precipitação de chuvas, podem amenizar impactos futuros na produtividade da fruticultura e consequentemente no nível de exportação do setor citado.

Entender que as mudanças climáticas podem afetar os padrões de produção, mudança tecnológica, escassez de recursos naturais, dentre outros fatores relevantes para a atuação das atividades agrícolas, é o papel crucial e o *start* para elaborar melhores políticas públicas, que facilitem o comércio intranacional e internacional.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pouca atenção tem sido dada à relação entre a interferência climática e o comércio internacional de frutas. À luz dessa perspectiva, o presente estudo objetivou aferir empiricamente o efeito climático nas exportações de frutas no Brasil empregando o modelo gravitacional incorporado aos modelos *Pooled*, Efeitos Fixos, Efeitos Aleatórios e *Poisson Pseudo Maximum Likelihood* (PPML).

Além das variáveis tradicionais (valor das exportações de frutas; PIB do Brasil; PIB dos países importadores; distância geográfica; taxa de câmbio; Índice de Liberdade Econômica (ILE); linguagem comum e contiguidade) utilizadas pela literatura padrão, foram adicionadas variáveis climáticas (precipitação pluviométrica e temperatura), no intuito de aferir os efeitos climáticos na pauta das exportações, especificamente no setor de fruticultura.

Destacam-se como os principais resultados: i) os níveis de renda (PIB_{it} e PIB_{jt}) representaram efeitos positivos nas exportações; ii) a distância geográfica demonstrou sinal negativo, quanto maior a distância menor será o fluxo comercial; iii) a taxa de câmbio obteve efeito negativo; iv)

o Índice de Liberdade Econômica (ILE_{jt}) demonstrou um efeito positivo, revelando que a abertura comercial tende a aumentar as exportações de frutas no Brasil; v) as *dummies* linguagem comum e contiguidade apresentaram efeitos positivo e negativo respectivamente, existindo apenas três países em cada grupo; vi) os efeitos não foram significativos para a precipitação pluviométrica (PPML); vii) o maior impacto foi relacionado à temperatura, as estimativas confirmam que ela terá um efeito positivo nas exportações de frutas. Contudo, deve-se ter parcimônia ao interpretar esse resultado, uma vez que os dados são agregados e não diferenciam as regiões brasileiras de acordo com suas peculiaridades e divergências entre as condições edafoclimáticas.

Em suma, sob os desafios crescentes impostos pelas mudanças climáticas, o comércio internacional de frutas pode se ajustar às possíveis transformações no sistema comercial e promover uma adaptação eficaz para garantir o abastecimento e a segurança alimentar, respeitando os requisitos do mercado externo, que se torna cada vez mais exigente ao impor diferentes barreiras comerciais. Por essa razão, é necessário integrar o comércio internacional de alimentos a outras abordagens de adaptação às mudanças climáticas. Em síntese, é válido ressaltar que este artigo, dada a literatura atual sobre o impacto do clima na agricultura, conclui que o comércio internacional deve atuar como uma ferramenta de mitigação para a produção frutícola brasileira, uma vez que as variáveis climáticas interferem no nível de exportação desse setor no País. A questão climática ocupa uma escala global, de longo prazo e que envolve interação complexa entre diferentes dimensões: social, ambiental, econômica, tecnológica, político-institucional. Isso implica uma maior complexidade ao analisar e mensurar possíveis impactos.

Como sugestões para trabalhos futuros, faz-se relevante aferir os efeitos das mudanças climáticas na fruticultura, em nível regional, estadual ou municipal, com o intuito de captar as peculiaridades que não são possíveis na análise agregada. Ademais, outro ponto a ser estudado seria o efeito das alterações climáticas sobre a produtividade da fruticultura, o qual pode interferir, conseqüentemente, nas exportações de um país.

REFERÊNCIAS

ÁVILA, A. F. D.; IRIAS, L. J. M.; LIMA, M. **Impacto das mudanças climáticas na agricultura brasileira**. Brasília: EMBRAPA, 2006.

ABIDIN, I. S. Z.; HASEEB, M.; CHIAT, L. W.; ISLAM, M. R. Determinants of Malaysia – BRICS trade linkages: gravity model approach. **Investment Management and Financial Innovations**, v. 13, n. 2, 2016.

ABRAFRUTAS, Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados. **Dados estatísticos**. Disponível em: <https://abrafrutas.org/dados-estatisticos/>. Acesso em: 19 dez. 2020.

ADAMS, R. M.; HURD, B. H.; LENHART, S.; LEARY, N. Effects of Global Climate Change on Agriculture: An Interpretative Review. **Climate Research**, v. 11, n. 1, p. 9-19, 1998.

ANDERSON, J. E. A theoretical foundation for the gravity equation. **American Economic Review**, v. 69, n. 1, p. 16-106, 1979.

ANDERSON, J. E.; VAN WINCOOP, E. Gravity with Gravitas: A Solution to the Border Puzzle. **American Economic Review**, v. 93, n. 1, p. 170-192, 2003.

- ARRHENIUS, S. On the Influence of Carbonic Acid in the Air Upon the Temperature of the Ground. **Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 41, n. 5, p. 237-276, 1896.
- BALTAGI, B. H. **Econometric analysis of panel data**. 4. ed. New York: John Wiley and Sons, 2008.
- BALTAGI, B. H.; LI, Q. Testing AR (1) against MA (1) disturbances in an error component model. **Journal of Econometrics**, v. 68, p. 133-151, 1995.
- BALDOS, U. L. C.; HERTEL, T. W. Global Food Security in 2050: The Role of Agricultural Productivity and Climate Change. **Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 58, n. 4, p. 554-570, 2014.
- BERGSTRAND, J. H. The Gravity Equation in International Trade: Some Microeconomic Foundations and Empirical Evidence. **The Review of Economics and Statistics**, v. 67, n. 3, p. 474-481, 1985.
- BERGSTRAND, J. H. The generalized gravity equation, monopolistic competition, and the factor-proportions theory in international trade. **American Economic Review**, v. 71, n. 1, p. 143-53, 1989.
- BLS, U.S. Department of Labor Bureau of Labor Statistic. **Consumer Price Index Data from 1913 to 2020**. Disponível em: <https://www.usinflationcalculator.com/inflation/consumer-price-index-and-annual-percent-changes-from-1913-to-2008/>. Acesso em: 17 out. 2020.
- CUNHA, D. A. **Efeitos das mudanças climáticas globais na agricultura brasileira: análise da irrigação como estratégia adaptativa**. 128f. Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, 2010.
- DALL'ERBA, S.; CHEN, Z.; NAVA, N. J. U.S. Interstate Trade Will Mitigate the Negative Impact of Climate Change on Crop Profit. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 103, n. 5, p. 1720-1741, 2021.
- DÊSCHENES, O.; GREENSTONE, M. The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather. **American Economic Review**, v. 97, n. 1, p. 354-385, 2007.
- DINDA, S. Climate Change and Trade Opportunity in Climate Smart Goods in Asia: Application of Gravity Model. **The International Trade Journal**, v. 28, n. 3, p. 264-280, 2014.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília, DF: Embrapa, 212 p., 2018.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Aquecimento Global e a nova Geografia da Produção agrícola no Brasil**. 2008. Disponível em: <http://www.embrapa.br/publicacoes/tecnico/aquecimento-global.pdf>. Acesso em: out. 2020.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Soluções tecnológicas: Zoneamento Agrícola de Risco Climático – ZARC**. Disponível em: <http://embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/3933/zoneamento-agricola-de-risco-climatico---zarc#:~:text=O%20m%C3%A9todo%20de%20Zoneamento%20Agr%C3%ADcola,por%20cultura%20e%20por%20munic%C3%ADpio%2C>. Acesso em: 10 nov. 2020.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.

FAOSTAT - Food and agriculture data. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acesso em: 8 out. 2020.

FÉRES, J.; REIS, E.; SPERANZA, J. Assessing the Impact of Climate Change on the Brazilian Agricultural Sector. *In: 16th Annual EAERE Conference, 2008, Gothenburg. **Proceedings of the 16th Annual EAERE Conference.** Gothenburg: EAERE, 2008.*

FERGUSON, S.; GARS, J. Measuring the impact of agricultural production shocks on international trade flows. *In: ANNALS OF THE ANNUAL AGRICULTURAL AND APPLIED ECONOMICS ASSOCIATION. Chicago. **Annals...** Chicago: AAEA, 2017.*

FIGUEIREDO, E.; LIMA, L. R.; LOURES, A.; OLIVEIRA, C. Uma Análise para o Efeito-Fronteira no Brasil. **RBE**, Rio de Janeiro, v. 68, n. 4, p. 481-496, Out-Dez, 2014.

GREENE, W. H. **Econometric Analysis.** 71. ed. New York: Stern School of Business, New York University, 2012.

GREENE, W. H. **Export Potential for U.S. Advanced Technology Goods to India Using a Gravity Model Approach.** Office of Economics Working Paper, U.S. International Trade Commission, 2013.

HANIF, U.; SYED, S. H.; AHMAD, R.; MALIK, K. A. Economic Impact of Climate Change on the Agricultural Sector of Punjab. **The Pakistan Development Review**, 49:4, Part II (Winter 2010), p. 771-798, 2010.

HUANG, H.; VON LAMPE, M.; VAN TONGEREN, F. Climate Change and Trade in Agriculture. **Food Policy**, v. 36, p. S9-S13, 2011.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Áreas Territoriais.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 17 out. 2020a.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto Interno Bruto – PIB.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>. Acesso em: 17 out. 2020b.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Documentos complementares para Produção Integrada de Frutas.** Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/credenciamento/organismos/pif.asp>. Acesso em: 5 dez. 2020.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Synthesis Report.** Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p., 2014.

LINNEMANN, H. An Econometric Study of International Trade Flows. **Journal of the Royal Statal Society Series A (General)**, v. 130, n. 1, p. 633-634, 1966.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **AGROSTAT – Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro.** Disponível em: <http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>. Acesso em: out. 2020.

MILLER, T.; KIM, A. B.; ROBERTS, J. M. **2020 Index of Economic Freedom.** Washington: The Heritage Foundation, 2020. Disponível em: <http://www.heritage.org/index>. Acesso em: 1 dez. 2020.

- MDIC – MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **Estatísticas de Comércio Exterior – Comex Stat**. 2020. Brasil. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>. Acesso em: 14 out. 2020.
- MENDELSON, R.; NORDHAUS, W.; SHAW, D. The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis. **American Economic Review**, v. 84, n. 4, p. 753-71, 1994.
- MENDELSON, R. The Impact of Climate Change on Agriculture in Developing Countries. **Journal of Natural Resources Policy Research**, v.1, n.1, p. 5-19, 2008.
- MENDELSON, R. The Impact of Climate Change on Agriculture in Asia. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 13, n. 4, p. 660-665, 2014.
- NASA – NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Giovanni**: The Bridge Between Data and Science. EARTHDATA. Disponível em: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=ArAvTs&starttime=&endtime=&variableFacets=dataFieldMeasurement%3ASurface%20Temperature%3B>. Acesso em: 20 set. 2020a.
- NASA – NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Global Modeling in Assimilation Office**: Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2. EARTHDATA. Disponível em: <https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/>. Acesso em: 20 set. 2020b.
- NGUYEN, T. S.; LEE, B. H. Analyses of the Potential Capabilities and Factors Affecting Vietnamese Fruit Exports. **Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences**. October, v. 32, n. 3, p. 255-267, 2020.
- NOBRE, C. A.; ASSAD, E. D.; OYAMA, M. D. O impacto do aquecimento global nos ecossistemas brasileiros e na agricultura. **Scientific American Brazil**, v. 80, p. 70-75, 2005.
- NORDHAUS, W. How fast should we graze the global commons? The American Economic Review, v. 72, n. 2, p. 242-246, 1982.
- NORDHAUS, W. Life After Kyoto: Alternative Approaches to Global Warming. **NBER**, Working Paper Series, National Bureau of Economic Research. Cambridge, MA, Dec. 2005.
- NUNES, E. S. **Ensaio sobre as exportações brasileiras de mamão**. 76f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- OLESEN, J. E.; BINDI, M. Consequences of Climate Change for European Agricultural Productivity, Land Use and Policy. **European Journal of Agronomy**, v. 16, n. 4, p. 239-262, 2002.
- SEO, N.; MENDELSON, R. A Ricardian analysis of the impact of climate change on South American farms. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 68, n. 1, p. 69-79, 2008.
- SHELDON, I.; KHADKA, M. S.; PICK, D.; THOMPSON, S. R. Exchange rate uncertainty and US bilateral fresh fruit and fresh vegetable trade: an application of the gravity model. **Applied Economics**, v. 45, n. 152013, p. 2067-2082, 2012.
- PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A. M. H. Variabilidade climática. In: HAMADA, E. (ed.). *Água, agricultura e meio ambiente no Estado de São Paulo: avanços e desafios*. Jaguariuna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. Cap. I, 1 CD-ROM.

PREHN, S.; BRÜMMER, B.; GLAUBEN, T. Gravity model estimation: fixed effects vs. random intercept Poisson pseudo-maximum likelihood. **Applied Economics Letters**, v. 23, n. 11, 2016.

PÖYHÖNEN, P. A Tentative Model for the Volume of Trade between Countries. **Weltwirtschaftliches Archiv**, v. 90, p. 93-100, 1963.

REILLY, J.; HOHMANN, N.; KANE, S. Climate change and agricultural trade: Who benefits, who loses? **Global Environmental Change**, v. 4, n. 1, p. 24-36, 1994.

SANTOS, J. O.; ALVES, J. S. Mudanças climáticas, comércio intranacional e exportações agrícolas à luz do modelo gravitacional: estimativas para o nordeste brasileiro. **DRd – Desenvolvimento Regional em debate**, v. 10, p. 324-347, 2020.

SANGHI, A.; ALVES, D.; EVENSON, R.; MENDELSON, R. Global warming impacts on Brazilian agriculture: estimates of the Ricardian model. **Economia Aplicada**, v. 1, n. i, p. 7-33, 1997.

SIQUEIRA, O. J. F.; FARIAS, J. R. B.; SANS, L. M. A. Efeitos potenciais de mudanças climáticas globais na agricultura brasileira e estudos de adaptação para trigo, soja e milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 2, n. 1, p. 115-129, 1994.

SILVA, J. M. C. S.; TENREYRO, S. The Log of Gravity. **The Review of Economics and Statistics**, v. 88, p. 641-658, 2006.

SILVA, J. M. C. S.; TENREYRO, S. Further simulation evidence on the performance of the Poisson pseudo-maximum likelihood estimator. **Economics Letters**, v. 112, n. 2, p. 220-222, 2011.

SCHWAN, S.; YU, X. Social Protection as a Strategy to Address Climate-induced Migration. **International Journal of Climate Change Strategies and Management**, v. 10, n. 1, p. 43-64, 2018.

SHEPHERD, B.; DOYTCHINOVA, H. S.; KRAVCHENKO, A. **The gravity model of international trade: a user guide [R version]**. Bangkok: United Nations ESCAP. 2019. Disponível em: <https://www.unescap.org/resources/gravity-model-international-trade-user-guide-r-version>. Acesso em: 20 out. 2020.

STARCK, S. C. **The theoretical foundation of gravity modeling: what are the developments that have brought gravity modeling into mainstream economics?** 2012. 77 f. Thesis (Master in Economics) – Copenhagen Business School, Denmark, 2012.

STERN, Nicholas. **The Stern review report on the economics of climate change**. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2006.

TIAN, X.; YU, X. The Quality of Imported Fruits in China. **Emerging Markets Finance & Trade**, v. 53, n. 7, p. 1603-1618, 2017.

TINBERGEN, J. **Shaping the world economy: suggestions for an international economy policy**. Nova York: Twentieth Century Fund, 1962.

THE HERITAGE FOUNDATION. **Explore the Data**. Disponível em: <https://www.heritage.org/index/explore?view=by-region-country-year&u=637443117365739029>. Acesso em: 10 out. 2020.

WORLD BANK. **DataBank:** World Development Indicators. Disponível em: <https://databank.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD/1ff4a498/Popular-Indicators>. Acesso em: 6 nov. 2020.

WÖLWER, A. W.; BURGARD, J. P.; BREßLEIN, M. Gravity Models in R. **Austrian Journal of Statistics**, v. 47, p. 16-38, 2018.