



MUDANÇAS CLIMÁTICAS, COMÉRCIO INTRANACIONAL E EXPORTAÇÕES AGRÍCOLAS À LUZ DO MODELO GRAVITACIONAL: ESTIMATIVAS PARA O NORDESTE BRASILEIRO

CLIMATE CHANGE, INTRANATIONAL TRADE AND AGRICULTURAL EXPORTS IN THE LIGHT OF THE GRAVITATIONAL MODEL: ESTIMATES FOR THE BRAZILIAN NORTHEAST

CAMBIO CLIMÁTICO, COMERCIO INTRANACIONAL Y EXPORTACIONES AGRÍCOLAS A LA LUZ DEL MODELO GRAVITACIONAL: ESTIMACIONES PARA EL NORESTE DE BRASIL

Joelson Oliveira Santos¹
Janaina da Silva Alves²

RESUMO

O objetivo deste estudo é analisar o efeito das mudanças climáticas sobre a capacidade de exportação dos estados da região Nordeste do Brasil. Em específico, buscou-se avaliar o efeito dos níveis de temperatura e precipitação sobre o volume de exportações de produtos alimentícios e animais vivos da região, bem como sobre as exportações intranacionais da região. A partir da abordagem de modelos gravitacionais, amplamente utilizada em estudos dos determinantes dos fluxos de comércio, foi possível estimar o efeito das mudanças climáticas nos fluxos de comércio. Os resultados encontrados apontam que o aumento de 1% na temperatura média dos estados da região acarretaria na redução das exportações intranacionais em 1,33% e na redução das exportações de produtos alimentícios e animais vivos em 8,68%. No tocante ao efeito da precipitação de chuvas, tem-se que o aumento de 1% na precipitação de chuvas acarretaria, em média, na elevação de aproximadamente 0,53% das exportações intranacionais. Todavia, em relação ao efeito desta variável sobre as exportações de produtos alimentícios e animais vivos da região não se captou significância estatística. Portanto, conclui-se que o aumento da temperatura impacta negativamente o volume de exportações da região.

Palavras-chave: Temperatura. Exportações. Dados em Painel. Mudanças Climáticas. Desenvolvimento Sustentável.

¹Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPECO-UFRN). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9689-9505> E-mail: joelsonsantosrdp@hotmail.com

²Doutora em Economia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Recife, Pernambuco. Brasil. Professora do Departamento de Economia e do Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPECO-UFRN), Natal. Rio Grande do Norte. Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0182-3119>. E-mail: janah.alves@gmail.com

ABSTRACT

The objective of this paper is to analyze the impacts of climate change on the export capacity of the Northeast region of Brazil. Specifically, we sought to evaluate the impact of levels of temperature and precipitation on the exports of food products and live animals in the region, as well as the region's intranational exports. From the gravitational models approach, widely used in studies of the determinants of trade flows, it was possible to estimate the effect of climate change on trade flows. The results show that exports are negatively affected by the rise in temperature. In addition, the increase of 1% in levels precipitation, on average, the increase of approximately 0.53% of intranational exports. However, the effect of this variable on exports of food products and live animals in the region was not statistically significant. Therefore, it is concluded that the temperature increase negatively impacts the export volume of the region.

Keywords: Temperature. Exports. Panel Data. Climate Changes. Sustainable Developmen.

RESUMEN

El propósito de este estudio es analizar el efecto del cambio climático en la capacidad de exportación de los estados de la región noreste de Brasil. En particular, buscamos evaluar el efecto de los niveles de temperatura y precipitación en el volumen de las exportaciones de productos alimenticios y animales vivos en la región, así como en las exportaciones intranacionales de la región. Desde el enfoque de los modelos gravitacionales, ampliamente utilizados en los estudios de los determinantes de los flujos comerciales, fue posible estimar el efecto del cambio climático en los flujos comerciales. Los resultados encontrados señalan que el aumento del 1% en la temperatura promedio de los estados de la región daría como resultado una reducción de las exportaciones intranacionales en un 1,33% y una reducción de las exportaciones de productos alimenticios y animales vivos en un 8,68%. En cuanto al efecto de las precipitaciones, el aumento del 1% en las precipitaciones significaría, en promedio, un aumento de aproximadamente el 0,53% en las exportaciones intranacionales. Sin embargo, en relación con el efecto de esta variable en las exportaciones de productos alimenticios y animales vivos en la región, no se captó significación estadística. Por lo tanto, se concluye que el aumento de la temperatura afecta negativamente el volumen de exportaciones en la región.

Palabras clave: Temperatura. Exportaciones. Datos del Panel. Cambios Climáticos. Desarrollo Sostenible.

Como citar este artigo: SANTOS, Joelson Oliveira; ALVES, Janaina da Silva. 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, 08/05/2020. DOI: <https://doi.org/10.24302/drd.v10i0.2771>

Artigo recebido em: 30/03/2020

Artigo aprovado em: 04/05/2020

Artigo publicado em: 08/05/2020

1 INTRODUÇÃO

O debate acerca das mudanças climáticas tem despertado atenção da comunidade científica de diversas áreas, dando origem assim a uma série de estudos. Estes estudos buscam identificar e dimensionar as alterações nas variáveis climáticas. Todavia, devido ao alto grau de incerteza que envolve os fenômenos climáticos, ainda há muito, a saber, acerca da dimensão na qual a economia é afetada por tais mudanças.

De acordo com o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), as emissões antropogênicas de gases causadores do efeito estufa têm aumentado desde a era pré-industrial. De 1750 a 2013, a concentração de CO₂ aumentou de 280 ppm (partes por milhão) para 400 ppm. Por conseguinte, as últimas três décadas têm sido mais quentes que qualquer década anterior desde 1850, enquanto as temperaturas das superfícies terrestres e oceânicas combinadas aumentaram, aproximadamente, 0,85 °C de 1880 a 2012 (IPCC, 2014).

Machado Filho *et al.* (2016) enfatizam que se a atual tendência de emissões de gases causadores do efeito estufa continuar, haverá ainda mais o aquecimento e as mudanças de longo prazo em todos os componentes do sistema climático, aumentando a probabilidade de impactos graves, generalizados e irreversíveis para as pessoas e os ecossistemas.

Apesar do alto grau de incerteza que envolve a questão das mudanças climáticas e a economia, Araújo *et al.* (2014) assinalam que, no longo prazo, a literatura aponta que os impactos do aquecimento global serão bastante significativos sobre os recursos hídricos, sobre setores como o de energia e, em particular, sobre a produção agrícola. No tocante a esse aspecto, em linhas gerais, os principais resultados verificados pela literatura internacional (DARWIN *et al.*, 1995; DESCHÊNES; GREENSTONE, 2007; FISCHER; SHAH; VAN VELTHUIZEN, 2002; MENDELSON; NORDHAUS; SHAW, 1994) mostram que os impactos das mudanças climáticas na economia, e em especial na agricultura, serão negativos em áreas tropicais.

No Brasil, as análises assinalam que as mudanças climáticas impactarão negativamente a atividade agrícola do país em médio e longo prazos. Apontam ainda, que devido à alta biodiversidade que sofre com variações climatológicas, bem como pelo fato de o país possuir distintas zonas climáticas, as regiões serão afetadas distintamente.

Dessa forma, pode-se argumentar que dado que a região Nordeste tem aspectos climáticos peculiares, uma vez que esta região tem a maior quantidade de pessoas vivendo numa região semiárida do globo, as mudanças climáticas podem causar impactos socioeconômicos significativos nesta região. No entanto, uma questão ainda não respondida pela literatura que trata das mudanças climáticas no Brasil e, em especial, no Nordeste é o efeito de tais mudanças na capacidade de oferta de produtos agrícolas da região. Isto é, seus efeitos na capacidade de exportação dos estados da região para o resto do país e o resto do mundo.

Assim, dada à importância da temática e partindo da hipótese de que a despeito da região conviver com baixos índices de precipitação de chuvas, o aumento da temperatura média da região contribui para a redução do volume exportado pela mesma, este trabalho objetiva analisar em que medida as mudanças climáticas, através do efeito da temperatura e da precipitação de chuvas, afeta a capacidade de exportação dos estados Nordestinos. Para tanto, a problemática

da pesquisa desmembrou-se em duas análises: *i)* o efeito das mudanças climáticas sobre o comércio intranacional; e, *ii)* o efeito de tais mudanças sobre as exportações nordestinas.

A partir da abordagem de modelos gravitacionais, amplamente utilizada em estudos dos determinantes dos fluxos de comércio, foi possível estimar o efeito das mudanças climáticas nos fluxos de comércio. Nesse caso, optou-se pela adoção de dois métodos de estimação. No tocante ao comércio intranacional a metodologia consistiu em estimar modelos de dados em painel desbalanceados. Tal uso deveu-se à disponibilidade de dados de corte para todos os estados brasileiros, mas em poucos pontos no tempo³ (1999, 2008 e 2011). Em relação ao efeito das mudanças climáticas nas exportações, a estimação foi realizada pelo método *Poisson Pseudo Maximum Likelihood* (PPML), desenvolvido por Santos e Tenreiro (2006), para o período de 1997 a 2016.

O trabalho está dividido em cinco seções, além desta introdução: na seção 2, efetua-se uma resenha acerca dos resultados empíricos encontrados na literatura internacional e nacional acerca dos impactos das mudanças climáticas na atividade agrícola. A seção 3, por sua vez, destina-se a descrição dos dados utilizados e apresentação do modelo a ser estimado, enquanto a seção 4 analisa os resultados obtidos. Por fim, na seção 5 apontam-se as considerações finais do trabalho.

2 IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA ATIVIDADE AGRÍCOLA: APLICAÇÕES À ECONOMIA INTERNACIONAL E PARA O BRASIL

Estudos acerca do impacto das mudanças climáticas na atividade agrícola remetem-se à década de 1970. Segundo Darwin *et al.* (1995), desde o final dos anos 1970 a literatura evoluiu de pesquisas de opinião para abordagens dinâmicas a partir de modelos econômicos multissetoriais. Em linhas gerais, os principais resultados verificados pela literatura internacional (DARWIN *et al.*, 1995; DESCHÊNES, GREENSTONE, 2007; FISCHER, SHAH, VAN VELTHUIZEN, 2002; MENDELSON, NORDHAUS, SHAW, 1994;) mostram que os impactos das mudanças climáticas na economia, e em especial na agricultura, serão negativos em áreas tropicais.

No tocante à literatura nacional, os principais estudos que analisaram a agricultura brasileira (ARAÚJO *et al.*, 2014; FÉRES, REIS, SPERANZA, 2008; FERREIRA FILHO, MORAES, 2015; PINTO, ASSAD, 2008; SIQUEIRA *et al.*, 1994) assinalam que as mudanças climáticas impactarão negativamente a atividade agrícola do país em médio e longo prazos. Ademais, estes trabalhos verificam que as regiões serão afetadas distintamente, o que está diretamente relacionado à substancial variação das condições climáticas ao longo do território nacional.

³Devido à carência quanto à disponibilidade de dados e informações sobre os fluxos de comércio por vias internas não foi possível ampliar a análise para outros períodos.

Nesta seção serão apresentados alguns resultados encontrados na literatura acerca dos impactos das mudanças climáticas na atividade agrícola. Primeiramente, são apresentados trabalhos de âmbito internacional, e, posteriormente, trabalhos aplicados à economia nacional.

2.1 EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS À ECONOMIA INTERNACIONAL

Partindo da hipótese de que as mudanças climáticas alteram a função de produção das culturas agrícolas⁴, Mendelsohn, Nordhaus e Shaw (1994), objetivavam mensurar o impacto do clima no preço da terra, medido a partir do Valor Presente Líquido (VPL) das propriedades agrícolas. Em sua análise os autores assumem concorrência perfeita (nos mercados de produtos e insumos) e que a economia se adapta completamente ao clima dado, de modo que o preço da terra de equilíbrio de longo prazo está associado ao clima de cada estado.

A partir da utilização de um modelo ricardiano⁵ com dados transversais sobre temperatura, precipitação de chuvas e preços de terras agrícolas para 48 estados dos Estados Unidos, os autores concluem que temperaturas mais altas em todas as estações, exceto o outono, reduzem o valor médio das terras agrícolas. Por sua vez, maior precipitação de chuvas aumenta o valor das terras. Ademais, a análise sugere que o clima tem um impacto sistemático nas terras agrícolas por meio da temperatura e precipitação. Tais efeitos tendem a ser não lineares e variam de acordo com a estação do ano e região analisada.

Darwin *et al.* (1995) investigaram os impactos econômicos das mudanças climáticas na agricultura em uma perspectiva mundial. Em sua análise os autores enfatizam que devido à capacidade de adaptação dos grandes proprietários rurais, tais mudanças não são susceptíveis de pôr em perigo a produção mundial de alimentos. No entanto, se as mudanças climáticas forem suficientemente severas de modo que a expansão das terras cultiváveis for prejudicada, a produção mundial de bens e serviços como um todo pode diminuir.

Ao compararem os feitos da mudança climática nas regiões do globo terrestre, os autores verificam que os impactos não se distribuem igualmente em todo o mundo. A produção agrícola pode aumentar em áreas temperadas, mas diminuir em tropicais. Por exemplo, no Canadá a produção de *commodities* agrícolas e alimentos processados pode aumentar, enquanto no sudeste da Ásia, a produção dessas *commodities* geralmente diminui nas simulações empreendidas pelos autores. Assim, os autores apontam que:

These production changes are correlated with changes in the world's endowment of land resources. Warming in arctic and alpine areas is likely to increase the quantity of land suitable for agricultural production. Warming in some areas, however, particularly the tropics, is likely to reduce soil moisture, thereby shortening growing seasons and decreasing agricultural possibilities (DARWIN *et al.*, 1995, p. 39).

⁴Os autores partem da premissa de que os produtores rurais tomam variáveis ambientais como determinadas. Consequentemente, ajustam a quantidade de insumos utilizada, bem como sua produção de acordo com as variáveis ambientais.

⁵Esta abordagem também recebe a denominação de modelo hedônico.

Para Fischer, Shah e Van Velthuisen (2002) a capacidade da agricultura de se adaptar as mudanças climáticas depende dos seguintes fatores: crescimento populacional; pobreza e fome; terras cultiváveis e disponibilidade de recursos hídricos; tecnologia agrícola e acesso a insumos; variedades de culturas adaptadas às condições locais; acesso ao conhecimento; infraestrutura; serviços de extensão agrícola, sistemas de comercialização e armazenamento; e, mercados financeiros rurais. Além das considerações denotadas por Darwin *et al.* (1995), os meios de subsistência das populações e comunidades são altamente dependentes desses fatores, e os países em desenvolvimento, particularmente os menos desenvolvidos, são os mais vulneráveis às mudanças. Como resultado dessa dependência, Fischer, Shah e Van Velthuisen (2002) denotam que os países em desenvolvimento são menos capazes de se adaptar e mais suscetíveis a danos causados pelas mudanças climáticas, assim como são mais vulneráveis a problemáticas sociais, ambientais e econômicas.

Assim, os impactos mais importantes da mudança climática global serão sentidos na pequena propriedade rural e na agricultura de subsistência. Morton (2007) denota que o estudo dos impactos futuros da mudança climática sobre os pequenos produtores rurais é de suma importância. Nesse caso, o autor é enfático quanto à necessidade de aplicar-se o conhecimento científico aos efeitos da mudança climática, tanto no sentido de conhecer-se melhor os impactos, mas, principalmente, ajudar na adaptação da população mais susceptível aos impactos negativos de tais mudanças.

2.2 EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS PARA O BRASIL

A partir de simulações⁶ do impacto do efeito estufa sobre a produção nacional de trigo, milho e soja, com base em dados climáticos diários de 13 locais de 1951 a 1980, Siqueira *et al.* (1994) projetaram que em decorrência da elevação da temperatura, há encurtamentos no ciclo e na produção de trigo e milho, sendo a soja menos afetada devido ao efeito benéfico da maior concentração de CO₂ na atmosfera.

Nesse caso, projetaram-se diminuições nas produções nacionais de trigo e milho de cerca 1,2 e 3,5 milhões de toneladas, respectivamente, e aumentos de 2,8 milhões de toneladas na produção nacional de soja. Ademais, os autores também chegaram à conclusão de que as regiões Nordeste e Central foram detectadas como mais vulneráveis ao efeito estufa. A primeira em relação à produção de milho e soja e a segunda em relação à produção de trigo.

Pinto e Assad (2008), por seu turno, avaliaram o impacto das mudanças climáticas no setor agrícola brasileiro a partir de simulações⁷ de cenários agrícolas para os anos de 2010, 2020, 2050 e 2070. Para tanto os autores trabalharam com projeções de aumento de temperatura e seus efeitos sobre a produção das nove culturas mais representativas em termos de área

⁶ Os autores utilizaram os cenários climáticos gerados pelos modelos de equilíbrio atmosférico GISS, GFDL e UKMO, e os modelos de simulação CERES e SOYGRO.

⁷ As projeções foram realizadas através do modelo climático Precis (*Providing Regional Climates for Impact Studies*).

plantada para o país – algodão, arroz, café, cana-de-açúcar, feijão, girassol, mandioca, milho, soja – além de pastagens e gado de corte.

Dentre seus resultados o estudo mostra uma queda da área geral do país propícia ao plantio para quase todas as culturas, exceto cana-de-açúcar e mandioca. Destaca-se também que: *i)* o aquecimento global pode comprometer a produção de alimentos, levando a perdas que começam com até R\$ 7,4 bilhões em 2020, podendo atingir R\$ 14 bilhões em 2070; *ii)* a soja deve ser a cultura mais afetada. No pior cenário, as perdas podem chegar a 40% em 2070, levando a um prejuízo de até R\$ 7,6 bilhões; *iii)* o café arábica deve perder até 33% da área de baixo risco em São Paulo e Minas Gerais, apesar de poder ter um aumento de produção no Sul do país; *iv)* milho, arroz, feijão, algodão e girassol sofrerão forte redução de área de baixo risco no Nordeste, com perda significativa da produção; *v)* a mandioca terá um ganho geral de área de baixo risco, mas deve sofrer graves perdas no Nordeste; *vi)* a cultura da cana-de-açúcar poderá dobrar nas próximas décadas.

Os autores projetam que o aumento da temperatura promoverá um crescimento da evapotranspiração e, consequentemente, um aumento na deficiência hídrica, provocando o aumento de áreas com alto risco climático⁸ no país. Assinam também que com exceção dos locais que hoje sofrem com geadas – e que por isso terão vantagens com o aquecimento global – todas as demais terão uma diminuição de áreas de baixo risco para a maior parte das culturas.

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 tanto, através da utilização de um modelo de efeitos fixos proposto por Deschênes e Greenstone (2007), os autores realizaram simulações baseadas nas projeções dos modelos climatológicos utilizados no 3º Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC).

Seus resultados sugerem que: *i)* no tocante ao clima projetado para o período 2040-2069, as perdas de lucro na agricultura serão na escala de 0,8% a 3,7%; *ii)* para o período 2070-2099, as reduções da lucratividade agrícola podem alcançar o patamar de 26%.

As simulações também sugerem, assim como em Pinto e Assad (2008), que os efeitos variam entre as regiões. No horizonte de médio prazo, 2040-2070, as simulações apontam perdas de lucratividade entre 20% e 50% nas atividades agrícolas no Norte, Nordeste e no Centro-Oeste. Por outro lado, o Sudeste e o Sul podem ser ligeiramente beneficiados pelas mudanças climáticas.

Ferreira Filho e Moraes (2015) buscaram analisar os possíveis efeitos econômicos da mudança climática na atividade agrícola brasileira, em diferentes regiões, através de um modelo EGC⁹. Do ponto de vista agregado, seus resultados denotam que no longo prazo os impactos das mudanças climáticas teriam um efeito econômico relativamente pequeno sobre a economia

⁸ O Zoneamento de Riscos Climáticos, um programa de computador desenvolvido a partir de 1996 pelos Ministérios da Agricultura e do Desenvolvimento Agrário, em cooperação com Embrapa, Unicamp e outras instituições científicas, orienta toda a estrutura de crédito agrícola do Brasil, uma vez que informa qual o nível de risco de mais de 5.000 municípios brasileiros para as culturas mais comuns do país.

⁹ Emprega-se como metodologia um modelo de equilíbrio geral computável multiregional (EGC) para o Brasil – TERM-BR. O modelo é estático e inter-regional (*bottom-up*) e consiste essencialmente em 27 modelos EGC separados (um para cada um dos estados mais o distrito federal), ligados pelos mercados de bens e fatores. Para maiores detalhes quanto à especificação do modelo vide Ferreira Filho e Moraes, 2015, p. 39-40.

brasileira. Nesse caso, os choques negativos concentram-se em regiões onde a porcentagem de agricultura no total nacional é relativamente pequena, levando, conseqüentemente, a pequenas perdas de PIB em termos agregados.

No entanto, enfatizam que as conseqüências realmente severas se dão em nível regional. Dado que as perdas se concentrariam nas regiões mais pobres e, mais especificamente, para os trabalhadores e famílias mais pobres dessas regiões, os autores assinalam que, através dos impactos na indústria agrícola, a mudança climática tem o potencial de minar os esforços feitos pelo governo brasileiro na última década de reduzir a pobreza nas regiões mais pobres do país.

Especificamente para a região Nordeste, Araújo *et al.* (2014) objetivou mensurar os impactos das mudanças climáticas sobre o desempenho da agricultura dessa região, a partir da simulação de níveis futuros de produtividade. Nesse caso, buscou-se responder em que intensidade os níveis de produtividade das culturas de cana-de-açúcar, milho e algodão serão afetados pelas variações na temperatura e nos níveis de precipitação.

A partir da metodologia empregada, os autores destacam como principais resultados: *i)* os níveis de temperatura e precipitação foram fatores decisivos para explicar os níveis de produtividade das culturas em análise; *ii)* os níveis de produtividade das três culturas serão bastante inferiores àqueles que poderiam ser alcançados; *iii)* estados como Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco apresentarão perdas de produtividade nas três culturas; *iv)* os níveis de produtividade das três culturas serão significativamente afetados nos municípios do Sul e Centro-Sul da Bahia.

Diante da análise empreendida, portanto, em linhas gerais, as evidências empíricas indicam que o efeito líquido das mudanças climáticas na agricultura brasileira é negativo, embora existam expressivas variações regionais. Conforme apontam Pinto e Assad (2008) e Féres, Reis e Speranza (2008) as regiões Norte, Nordeste e parte da Centro-Oeste são as mais vulneráveis aos efeitos das mudanças climáticas. Logo, ao atingir-se de maneira mais crítica essas regiões, as mudanças climáticas podem contribuir também para o aumento das desigualdades regionais.

3 DESCRIÇÃO DOS DADOS UTILIZADOS E DA METODOLOGIA

Conforme ressaltado na introdução, a terceira seção deste trabalho tem por objetivo detalhar a base de dados utilizada e apresentar o modelo a ser estimado. Para tanto, a seção está subdividida em três itens: o primeiro item é destinado a apresentar o modelo gravitacional; o segundo visa descrever a base de dados utilizada. Fechando a seção, no terceiro item aponta-se a estratégia econométrica empregada.

3.1 O MODELO GRAVITACIONAL NO ESTUDO DOS DETERMINANTES DOS FLUXOS DE COMÉRCIO

O uso do modelo gravitacional no estudo dos determinantes dos fluxos de comércio remonta aos anos 1960, a partir do trabalho empreendido por Tinbergen (1962). Apoiado no conceito de gravidade da mecânica clássica desenvolvido por Isaac Newton em 1687, o autor assume que os fluxos de comércio são mais intensos entre países de maior densidade econômica, representada pelo PIB, e são limitados pela distância entre os mesmos. Assim, o modelo gravitacional¹⁰ proposto por Tinbergen adquire o seguinte caráter:

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

em que:

X_{ij} : exportações nominais do país i para o país j ; Y_i e Y_j : PIB nominal 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 de ambos os países na equação da gravidade ao apontar que a quantidade de exportações que um país é capaz de fornecer depende, em primeiro lugar, da sua dimensão econômica, portanto, o intuito da variável Y_i é representar o quanto o país exportador pode ofertar no mercado. Do mesmo modo, a quantidade de bens exportados depende do poder de compra/renda do país importador, nesse caso, Y_j busca mensurar o quanto o país importador pode demandar (STARCK, 2012).

Quanto à distância, esta é definida como a distância geográfica entre as capitais dos países e representa uma *proxy* para vários fatores que podem influenciar o comércio, como custos de transporte, custos de transação, custos de comunicação, tempo decorrido durante o embarque, fatores culturais (HEAD, 2003 *apud* STARCK, 2012).

Alguns autores procuraram dotar as regularidades empíricas do modelo gravitacional de fundamentos microeconômicos, isto é, inserir pressupostos clássicos dos modelos de comércio internacional na abordagem do modelo gravitacional. Nesse aspecto, pode-se destacar os trabalhos de Anderson (1979) – comércio com diferenciação de produtos pelo local de origem –; Helpman e Krugman (1985), Bergstrand (1989) – comércio em um ambiente de concorrência monopolista –; Deardorff (1998) – comércio com diferentes dotações de fatores – e; Eaton e Kortum (2002) – modelo gravitacional a partir de um modelo ricardiano de comércio internacional.

Farias e Hidalgo (2012) apontam ainda que como estratégia empírica o modelo gravitacional mostrou-se muito útil, antes mesmo de receber fundamentos teóricos rigorosos, e em função de seus resultados o modelo consolidou-se como método de estudo não apenas dos

¹⁰Quando $\alpha = \beta = 1$ e $\gamma = 2$ a equação de Tinbergen é similar à equação universal da gravidade de Isaac Newton.

fluxos de comércio, mas, além disso, mostrou-se apropriado a outros exercícios empíricos, como o estudo dos fluxos migratórios (HELLIWELL, 1997); estudo dos fluxos de investimentos estrangeiros diretos (EGGER; PFAFFERMAYR, 2004); e análise de contágios em crises financeiras, entre outros (ZHU; YANG, 2004).

3.2 DESCRIÇÃO DOS DADOS UTILIZADOS

Os dados utilizados, dispostos no Quadro 1, na estimação dos modelos propostos foram obtidos das fontes descritas a seguir. No que concerne às exportações intranacionais¹¹, para o ano de 1999, os dados foram provenientes do trabalho de Vasconcelos e Oliveira (2006). Tal trabalho teve como base a análise da matriz por atividade econômica do comércio interestadual. A partir da estimação das matrizes de insumo-produto (MIPs) para os vinte e seis estados brasileiros e o Distrito Federal empreendida por Guilhoto *et al.* (2010) e Haddad, Gonçalves Júnior e Nascimento (2018), foi possível obter os fluxos de comércio por vias interna, respectivamente, para os anos de 2008 e 2011.

Os dados sobre comércio internacional dos estados (exportações de produtos alimentícios e animais vivos), para o período de 1997 a 2016, foram obtidos junto a Secretaria de Comércio Exterior (Secex), do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC), através do sistema *Comex Stat*. A amostra¹² dos países importadores, 39, contempla, ao menos, um país de cada continente e uma elevada participação no comércio internacional dos estados, representando 88% do total das exportações dos estados nordestinos em 2016.

Apesar de não se trabalhar especificamente com o comércio intranacional de bens agrícolas para as exportações intranacionais, a partir da análise empreendida, pode-se captar o efeito da mudança climática nos fluxos de comércio interno, uma vez que tal impacto não seria restrito apenas aos bens agrícolas, mas também a outros produtos por meio de interações de mercado. Dado que as interações de mercado inter-regionalmente são, provavelmente, mais poderosas do que as internacionais, justifica-se a utilização dos fluxos de comércio intranacionais. Da mesma forma, justifica-se a restrição da análise internacional as exportações de produtos alimentícios e animais vivos, pois esse grupo de bens é diretamente afetado pelas mudanças climáticas.

Os Produtos Internos Brutos (PIBs) das unidades da federação foram obtidos junto ao IBGE (2019), e encontravam-se a preços constantes – R\$ mil de 2010, deflacionados pelo deflator implícito do PIB nacional. Os dados do PIB para os países selecionados são provenientes da base de dados do Banco Mundial (2019). Encontravam-se em dólares

¹¹Conforme salientado na introdução, devido à carência quanto à disponibilidade de dados e informações sobre os fluxos de comércio por vias internas não foi possível ampliar a análise para outros períodos. Recentemente, o Conselho Nacional de Política Fazendária (Confaz), após um hiato de vinte anos, voltou a publicar dados sobre o fluxo de comércio interestadual. No entanto, os dados não podem ser exportados, o que quase inviabiliza o seu uso. Ademais, as séries de 2017 e 2018, disponíveis, ainda não foram totalmente depuradas, enquanto períodos anteriores permanecem indisponíveis.

¹²Vide apêndice.

constantes de 2010 e foram convertidos para reais através da taxa de câmbio comercial média anual de 2010 (R\$/US\$ = 1,7598).

Os dados da matriz de comércio interestadual, de 1999, 2008 e 2011, foram inflacionados¹³, para evitar eventuais distorções entre os distintos momentos em que os dados foram analisados, pelo IPCA de 2010¹⁴. Para o inflacionamento das exportações internacionais foi usado o indicador da inflação americana ao consumidor, com ajuste sazonal. Após obter as exportações internacionais em dólares correntes de 2010, tal como o PIB dos países, realizou-se a conversão destas para reais através da taxa de câmbio média anual de 2010. Dessa forma obtém-se a matriz de comércio internacional em reais correntes para esse ano.

Quadro 1 – Variáveis utilizadas e suas respectivas fontes

Variável	Fonte de dados	Período	Unidade de Medida
Exportações Intranacionais	Vasconcelos e Oliveira (2006), Guilhoto <i>et al.</i> (2010) e Haddad, Gonçalves Júnior e Nascimento (2018)	1999, 2008 e 2011	R\$ Milhões 2010
Exportações Internacionais	Sistema <i>Comex Stat</i>	1997 a 2016	
PIB Estados	Contas Regionais/IBGE	1997 a 2016	
PIB Países	Banco Mundial	1997 a 2016	
Distância Estados	DNIT	-	Km
Distância Países	Google Maps	-	Km
Dados Climáticos	INMET	1997 a 2016	Precipitação: mm Temperatura: °C

Fonte: Elaboração própria

As distâncias entre os estados, medidas em quilômetros, foram obtidas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), e representam as distâncias rodoviárias entre as capitais dos estados¹⁵. Em relação à distância entre países, os dados foram coletados através da plataforma Google Maps^{MR}, para tal considerou-se a distância em linha reta das capitais de cada estado até a capital de cada um dos países presentes na amostra.

No tocante aos dados sobre o clima dos estados do Nordeste, estes foram obtidos das estações climáticas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Estas estações coletam dados diários sobre temperatura, precipitação, umidade do ar e evaporação. Porém, não existem estações climáticas em todos os municípios do Nordeste. Desta forma, utilizou-se como *proxy*¹⁶

¹³Baldwin e Taglioni (2006) argumentam que a inclusão de deflatores pode gerar viés de correlação espúria devido à existência de tendências globais das taxas de inflação. Apesar desta crítica, como há um intervalo de tempo considerável entre os anos analisados, mudanças importantes dos preços de exportação podem gerar efeitos nos parâmetros estimados. Por isso, optou-se pela utilização de deflatores.

¹⁴Os dados terão como base o ano 2010, pois o PIB para os países e para os estados brasileiros encontravam-se nesse padrão.

¹⁵O DNIT mensura a distância entre duas cidades de centro a centro e os caminhos são os mais curtos, dando preferência às rodovias asfaltadas, usando para tanto rodovias federais, estaduais ou municipais (DNIT, 2017).

¹⁶Para os municípios que não possuem estações climáticas utilizou-se o método de interpolação de dados pela técnica do inverso da distância ponderada. O método parte do pressuposto de que as áreas mais próximas são

das condições climáticas da região as médias anuais de precipitação e temperatura das estações climáticas existentes.

O Quadro 2 abaixo mostra um resumo das variáveis utilizadas de acordo com a terminologia do Quadro 1:

Quadro 2 – Resumo das estatísticas descritivas das variáveis

Variável	Média	Máxima	Mínima	Coefficiente de variação
Exportações Intranacionais	R\$ 874,68 milhões	R\$ 35.979,42 milhões	R\$ 10.188,55	2,54
Exportações Internacionais	R\$ 8,46 milhões	R\$ 900,95 milhões	0	4,29
PIB Exportadores	R\$ 55.668,41 milhões	R\$ 258.649,05 milhões	R\$ 13.259,14 milhões	0,85
PIB Importadores	R\$ 2.332.831,09 milhões	R\$ 29.776.980,20 milhões	R\$ 3.430,48 milhões	1,88
Distância Estados	2.462,12 Km	6.770 Km	120 km	0,62
Distância Países	8.703,71 Km	17.340,38 Km	2.428,44 Km	0,49
Temperatura	31,62 °C	35,17 °C	29,33 °C	0,05
Precipitação	86,94 mm	176,59 mm	38,25 mm	0,30

Fonte: Elaboração própria

Como se observa do quadro acima, a média para as exportações intranacionais, para o conjunto de dados analisados, é de R\$ 874,68 milhões, patamar este superior à média observada para as exportações internacionais (R\$ 8,46 milhões). Isso denota a relativa importância do comércio intranacional na pauta de exportações dos estados nordestinos. Ao observar-se os valores máximos e mínimos das exportações, intranacionais e internacionais, verifica-se uma grande disparidade, o que se reflete no elevado valor do seu coeficiente de variação, bem superior aos demais, refletindo a grande variabilidade de desempenho econômico e participação no comércio dos estados nordestinos.

No que concerne ao PIB dos estados e países importadores, também pode-se perceber sua grande variabilidade. Seu valor máximo corresponde aos EUA em 2016 e o mínimo ao estado de Roraima em 1999.

mais semelhantes entre si, assim o IDW atribui maior peso para os valores a sua volta enquanto que quanto maior a distância menor o peso sobre o valor predito. Para maiores informações vide Jakob e Young (2006).

Em relação aos dados de temperatura e precipitação, a despeito de seus coeficientes de variação serem os menores das variáveis tratadas na análise, conforme apontado na seção anterior, tais variáveis influenciam diretamente o crescimento e o desenvolvimento de culturas agrícolas. Assim, alterações na temperatura e nos padrões de precipitação afetam a duração do ciclo de cultivo, sua produtividade e a qualidade dos produtos (INSA, 2019).

3.3 ABORDAGEM ECONOMETRICA

Além das variáveis tradicionais do modelo gravitacional, proposto originalmente por Tinbergen (1962), o modelo utilizado no presente trabalho procura captar o efeito das mudanças climáticas nos fluxos de comércio interestaduais e nas exportações de produtos alimentícios e animais vivos dos estados nordestinos. Para tanto optou-se pela adoção de dois métodos de estimação.

No tocante ao comércio intranacional a metodologia consistiu em estimar modelos de dados em painel¹⁷ desbalanceado que relacionam tais variáveis. Como de praxe, no intuito de decidir entre os modelos de dados em painel, executou-se uma série de testes. Inicialmente, realiza-se o teste de Chow¹⁸ para verificar-se se a forma mais simples da análise de dados em painel, *pooled*, é adequada quando comparada ao método de efeitos fixos (EF). Em seguida, realiza-se, através do teste LM de Breusch-Pagan¹⁹, a adequação do modelo *pooled* frente ao método de efeitos aleatórios (EA). Por fim, para a tomada de decisão entre EF e EA, executou-se o teste de Hausman²⁰.

Tomada à decisão quanto ao tipo de modelo (*pooled*, EF ou EA) preferível, verificou-se a quebra dos pressupostos da regressão. Isto é, para os modelos testados foi verificada a presença de normalidade dos resíduos, heterocedasticidade e autocorrelação.

Em relação ao efeito das mudanças climáticas nas exportações de produtos alimentícios e animais vivos a estimação foi realizada pelo método *Poisson Pseudo Maximum Likelihood* (PPML²¹) desenvolvido por Santos e Tenreyro (2006). Frequentemente, os modelos gravitacionais aplicados ao comércio internacional apresentaram heterocedasticidade e não fornecem um tratamento adequado para as observações de fluxos de comércio iguais a zero.

¹⁷Para maiores informações quanto ao método de estimação vide Wooldridge (2002).

¹⁸Através do teste de Chow, a amostra é dividida em dois grupos no intuito de verificar-se a consistência dos parâmetros nas duas amostras. Mudanças significativas entre os parâmetros estimados acarretam em uma quebra estrutural dos dados, portanto, o modelo *pooled* não é adequado.

¹⁹A hipótese nula do teste de Breusch-Pagan é que a variância do termo do erro do intercepto é constante. Se essa variância for constante não há diferença entre os modelos, e pode-se utilizar o modelo *pooled*. Se a hipótese nula for rejeitada, o modelo mais adequado é o de efeitos aleatórios.

²⁰A hipótese nula subjacente ao teste de Hausman é a de que os estimadores por EA são adequados. Se a hipótese nula for rejeitada, o modelo de EA não é adequado, pois os efeitos aleatórios provavelmente estão correlacionados com um ou mais regressores. Nesse caso, o modelo por EF é preferível ao por EA.

²¹Para maiores informações quanto ao método de estimação vide Santos e Tenreyro (2006).

Neste caso, segundo Santos e Tenreyro (2006) o método PPML é preferível aos demais, pois gera resultados consistentes na presença de heterocedasticidade²² não observável e é o método mais adequado à variável dependente em questão, as exportações, uma vez que esta apresenta muitos valores iguais a zero. Assim, o PPML – por ser um método não linear – possibilita a inclusão de comércio zero, evitando o viés de seleção amostral.

Logo, formalmente, apresentando o modelo gravitacional nos termos do presente trabalho, têm-se os seguintes modelos:

$$\ln X_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \ln PIB_i + \beta_2 \ln PIB_j + \beta_3 \ln Dist_{ij} + \beta_4 \ln Prec_i + \beta_5 \ln Temp_i + \mu_{ij} \quad (2)$$

Estimado através da metodologia de dados em painel. E,

$$X_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \ln PIB_i + \beta_2 \ln PIB_j + \beta_3 \ln Dist_{ij} + \beta_4 \ln Prec_i + \beta_5 \ln Temp_i + \mu_{ij} \quad (3)$$

Estimado através do método PPML. Em que:

X_{ij} : exportações do estado i para o estado ou país j ; PIB_{ij} : PIB nominal dos estados ou países i e j ; D_{ij} : distância em km do estado i ao estado ou país j ; $Prec_i$: precipitação média de chuvas em mm no estado i ; $Temp_i$: temperatura média em °C no estado i ; μ_{ij} : o erro.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após o apontamento dos procedimentos técnico-metodológicos e da descrição das séries utilizadas nos modelos estimados, nesta seção apresentam-se os resultados aferidos nas estimações. Inicialmente são analisados os resultados encontrados para o comércio intranacional. No segundo momento, realiza-se o exame das inferências obtidas na regressão para as exportações de produtos alimentícios e animais vivos.

²²Tal método de estimação não requer a presença de pressupostos clássicos do Modelo de Regressão Linear Clássico (MRLC), tais como normalidade dos resíduos, homocedasticidade e não autocorrelação. Vide Santos e Tenreyro (2006).

4.1 RESULTADOS PARA O COMÉRCIO INTRANACIONAL

Para os fluxos de comércio por vias interna o método de estimação *pooled* mostrou-se o mais adequado ao conjunto de dados disponíveis, dado que as hipóteses nulas do teste de Chow e de Breusch-Pagan não foram rejeitadas, o que indica que o modelo é o mais adequado. No tocante ao teste de Hausman, sua estatística de teste (*p-valor*) foi menor que 5%, portanto rejeita-se a hipótese nula de que os estimadores por EA são consistentes.

Quadro 3 – Resultados dos testes de especificação do modelo

TESTES	<i>p-valor</i>
Teste de Chow	0,292344
Teste de Breusch-Pagan	0,684422
Teste de Hausman	7,68448e-018

Fonte: Elaboração própria.

Em relação à quebra dos pressupostos básicos do modelo, isto é, normalidade dos resíduos, homocedasticidade e ausência de autocorrelação, foram utilizados, respectivamente, os seguintes testes que verificam a ocorrência de tais pressupostos: Jarque Bera; teste de White, e; o teste de Durbin-Watson.

Quadro 4 – Resultados dos testes de especificação em relação aos pressupostos básicos do modelo de regressão

TESTES	<i>p-valor</i>
Teste de Jarque Bera	1,1556e-085
Teste de White	1,42456e-011
Teste de Durbin-Watson	0,163101

Fonte: Elaboração própria.

Conforme verificado no Quadro 4, os dados apresentaram problemas de normalidade dos resíduos e heterocedasticidade. Diante da quebra de tais pressupostos, foram utilizados os estimadores de mínimos quadrados ponderados aplicados a dados em painel. O método atribui menor peso para as observações com maior variância do erro. Enquanto, o método MQO dá a todas as observações o mesmo peso, por isso ele é adequado quando a variância do erro é constante.

Nesse caso, na Tabela 1 são apresentados os principais resultados auferidos para o comércio intranacional dos estados nordestinos. Do ponto de vista econômico, nenhuma restrição foi encontrada quanto aos sinais dos parâmetros estimados. Os resultados mostram adequação com as suposições do modelo gravitacional, ou seja, a distância atua como fator de resistência ao comércio, enquanto o produto doméstico e do parceiro comercial são fatores de atração.

Tabela 1 – Estimativas para o comércio intranacional

Método de Estimação: Dados em painel por Mínimos Quadrados Ponderados				
Variável Dependente: lnExport Intranacional				
	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Razão-t</i>	<i>p-valor</i>
<i>Intercepto</i>	-34,77	2,47	-14,08	0,000 ***
<i>lnPIB_i</i>	1,38	0,034	40,81	0,000 ***
<i>lnPIB_j</i>	0,91	0,017	54,36	0,000 ***
<i>lnDIST_{ij}</i>	-0,83	0,024	-34,97	0,000 ***
<i>lnPrec_i</i>	0,53	0,079	6,612	0,000 ***
<i>lnTemp_i</i>	-1,33	0,573	-2,322	0,0205 **
R ²	0,8509			
Teste F – <i>p-valor</i>	0,000000			
Número de Observações	702			

Fonte: Elaboração própria. Nota: (*) parâmetros estatisticamente significantes a 10%; (**) parâmetros estatisticamente significantes a 5%; (***) parâmetros estatisticamente significantes a 1%.

Quando avaliado o coeficiente de determinação R², os resultados indicam uma boa aderência dos modelos aos dados, de modo que para o modelo analisado, em média 85,09% das exportações intranacionais são explicadas pelas variáveis clássicas do modelo gravitacional em conjunto às variáveis climáticas.

No tocante à elasticidade do comércio em relação ao produto doméstico, este é maior que a elasticidade em relação ao produto do parceiro comercial. Neste caso, a elasticidade do comércio em relação ao produto doméstico situa-se em aproximadamente 1,38, indicando que o aumento de 1% no produto doméstico, em média, elevaria as exportações intranacionais em 1,38%. Por sua vez, a elasticidade em relação ao PIB do estado importador situa-se em aproximadamente 0,91. A elasticidade das exportações intranacionais nordestinas em relação à distância é negativa e estatisticamente significativa a 1% no modelo estimado. Seu coeficiente, -0,83, indica que o acréscimo de 1% na distância entre os parceiros comerciais domésticos acarretaria uma queda de até 0,83% no comércio entre eles.

No que concerne à precipitação de chuvas, variável de interesse no presente estudo, seu coeficiente é estatisticamente significativo a 1%, denotando que o aumento de 1% na precipitação de chuvas acarretaria, em média, na elevação de aproximadamente 0,53% das exportações intranacionais. Em relação ao efeito da temperatura sobre o comércio por vias internas do Nordeste, através da estimação realizada, observa-se que o aumento de 1% na temperatura média dos estados da região acarretaria na redução das exportações intranacionais em 1,33%.

Tais resultados encontrados, portanto, ampliam o grau de confiança na hipótese lançada. Isto é, de que o aumento da temperatura média da região contribui para a redução do volume exportado pela mesma.

4.2 RESULTADOS PARA AS EXPORTAÇÕES INTERNACIONAIS

As estimativas para as exportações de produtos alimentícios e animais vivos apresentadas na Tabela 2, diferentemente do observado para os fluxos de comércio por vias interna, apresentam a elasticidade do comércio em relação ao produto doméstico menor do que a elasticidade em relação ao produto do parceiro comercial. Todavia, a elasticidade do comércio em relação ao produto do parceiro comercial se situa em torno de 0,82, abaixo do observado para o comércio intranacional, 0,91.

Neste caso, o aumento de 1% no produto do parceiro comercial pode elevar as exportações de produtos alimentícios e animais vivos em 0,82%. Por sua vez, a elasticidade em relação ao produto doméstico, 0,77, indica que o acréscimo de 1% no produto doméstico acarretaria um aumento de até 0,77% nas exportações de produtos alimentícios e animais vivos do Nordeste durante o período analisado.

No tocante à elasticidade das exportações em relação à distância, esta é maior que a elasticidade da distância para o comércio intranacional. Para a região, uma variação de 1% na distância acarretaria uma diminuição de 1,52% do volume de exportações de produtos alimentícios e animais vivos. Uma possível explicação para a maior elasticidade, além do fato de as distâncias das capitais dos estados nordestinos serem maiores em relação à capital dos países, relaciona-se a pauta de comércio dos estados estar ainda vinculada principalmente ao mercado doméstico. Por exemplo, em 2008, 90,12% do total exportado (exportações intranacionais e exportações internacionais) pelo Nordeste tinham como destino o mercado doméstico e, portanto, apenas 9,88% relacionavam-se às exportações internacionais.

Tabela 2 – Estimativas para as exportações de produtos alimentícios e animais vivos

Método de Estimação: <i>Poisson Pseudo Maximum Likelihood</i> (PPML)				
Variável Dependente: Exportações				
	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Razão-z</i>	<i>p-valor</i>
<i>Intercepto</i>	39,12	3,18	12,31	0,000 ***
<i>lnPIB_i</i>	0,77	0,072	10,73	0,000 ***
<i>lnPIB_j</i>	0,82	0,023	35,13	0,000 ***
<i>lnDIST_{ij}</i>	-1,52	0,115	-13,16	0,000 ***
<i>lnPrec_i</i>	0,028	0,175	0,16	0,872
<i>lnTemp_i</i>	-8,68	0,860	-10,10	0,000 ***
R ²	0,2364			
Teste F – <i>p-valor</i>	0,000000			
Número de Observações	7014			

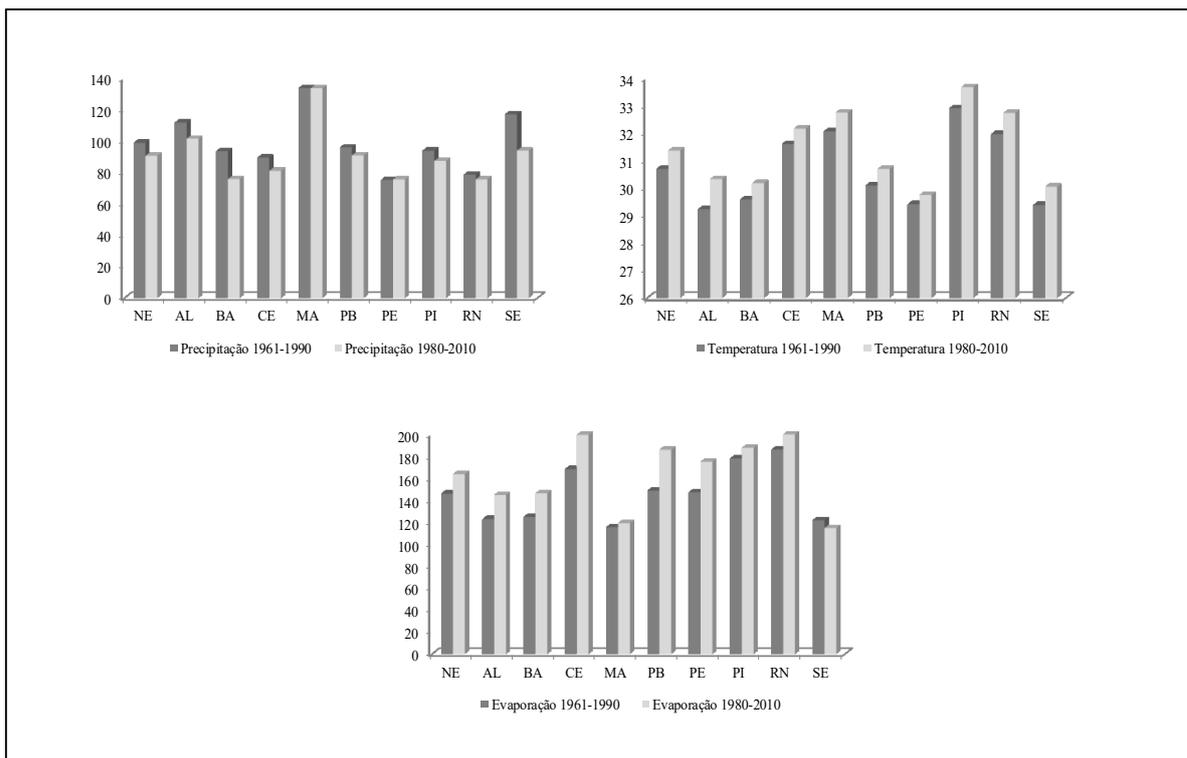
Fonte: Elaboração própria do autor. Nota: (*) parâmetros estatisticamente significantes a 10%; (**) parâmetros estatisticamente significantes a 5%; (***) parâmetros estatisticamente significantes a 1%.

No que concerne à precipitação de chuvas, seu coeficiente denota que o aumento de 1% na precipitação de chuvas acarretaria, em média, na elevação de aproximadamente 0,028% do volume de exportações de produtos alimentícios e animais vivos. Todavia, o parâmetro estimado não apresentou significância estatística.

A estimativa para o efeito do aumento da temperatura no volume de exportações de produtos alimentícios e animais vivos é negativa e estatisticamente significativa a 1% no

modelo estimado. Seu coeficiente denota que o aumento de 1% na temperatura média dos estados da região acarretaria na redução das exportações deste grupo de produtos em 8,68%. Tais resultados vão de encontro ao observado nos dados. A partir da comparação de valores históricos acerca de temperatura, precipitação e evaporação de águas, observa-se que, a despeito da região conviver com a problemática da seca, quando comparadas às médias de precipitações de chuvas da região para o período 1961-1990 e 1980-2010, estas não diferem em igual magnitude, no mesmo período, da diferença entre as médias para a evaporação de águas.

Figura 1 – Precipitação média (mm), temperatura máxima média (°C) e evaporação média (mm) dos estados da região Nordeste brasileira



Fonte: INMET (2019). Elaboração própria.

A despeito de não se separar²³ o efeito da temperatura sobre as exportações de produtos provenientes da agricultura de sequeira e irrigada, capta-se um efeito negativo do aumento da temperatura. Nesse caso, apesar de não trabalhar especificamente com agricultura de sequeiro, o aumento da temperatura afeta à evapotranspiração das águas armazenadas. Com isso, mesmo sem separar o efeito da temperatura nas duas culturas, capta-se o efeito negativo. Portanto, o aumento da temperatura contribui para o aumento da evapotranspiração do volume de águas armazenado afetando negativamente o volume exportado.

Temperatura e precipitação influenciam diretamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Segundo informações da Embrapa (2019), embora as plantas respondam à interação de diversos fatores climáticos, os de maior influência são a radiação solar, a precipitação e a temperatura. Assim, o aumento da temperatura e as alterações nos padrões de precipitação podem afetar a duração do ciclo de cultivo, bem como a qualidade dos produtos (INSA, 2019). Tais considerações vão de encontro ao observado por Ferguson e Gars (2017), em uma

²³ Este nível de desagregação não está disponível na base de dados do sistema *Comex Stat*.

perspectiva internacional os autores apontam que os fluxos comerciais de bens agrícolas variam sistematicamente com os choques de produtividade decorrentes das mudanças climáticas.

Traçando um paralelo entre os resultados encontrados nas duas estimativas realizadas, observa-se que o aumento da temperatura influencia de forma mais intensiva as exportações internacionais. Chen e Dall’Erba (2018) chegam a resultados similares ao analisarem os EUA. Tal qual o assinalado pelos autores, tais resultados podem ser explicados pelo fato de que o mercado interno constitui a maior pauta de destino das exportações dos estados. Logo, dados os choques de produtividade e os custos de comercialização, os estoques de produtos geralmente têm como destino inicial a demanda interna.

Ademais, Reimer e Li (2009), simulando padrões comerciais e de bem-estar para 21 países em um modelo comercial ricardiano que incorporar custos comerciais bilaterais e distribuições de produção agrícola, sugerem que os países e regiões de baixa renda são os que mais sofrem com os aumentos na variabilidade da produção, devido aos custos comerciais bilaterais mais altos e à produtividade abaixo da média. Nesse caso, tomando por base os resultados encontrados e o apontado pelos autores é de suma importância analisar-se formas de minimização desses efeitos no território nordestino.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da incerteza que envolve a problemática das mudanças climáticas e a economia, a literatura aponta que os impactos do aquecimento global serão significativos sobre os recursos hídricos, sobre setores como o de energia e, em particular, sobre a produção agrícola. No tocante a esse aspecto, em linhas gerais, os principais resultados encontrados mostram que os impactos das mudanças climáticas na economia, e em especial na agricultura, seriam negativos em áreas tropicais.

No tocante à realidade brasileira, as análises assinalam que as mudanças climáticas impactarão negativamente a atividade agrícola do país em médio e longo prazos. Apontam ainda, que devido à alta biodiversidade que sofre com variações climatológicas, bem como pelo fato de o país possuir distintas zonas climáticas, as regiões serão afetadas distintamente. Nesse caso, as regiões Norte, Nordeste e parte da Centro-Oeste seriam as mais vulneráveis aos efeitos das mudanças climáticas. Logo, ao atingir-se de maneira mais crítica essas regiões, as mudanças climáticas contribuiriam também para o aumento das desigualdades regionais.

Assim, o presente trabalho objetivou analisar em que medida as mudanças climáticas, através do efeito da temperatura e da precipitação de chuvas, afeta a capacidade de exportação dos estados Nordestinos, e, portanto, contribuir para o debate acerca da temática assinalada. A análise partiu de dados de temperatura e precipitação para todos os estados nordestinos no período de 1997 a 2016 e, ao basear-se na abordagem do modelo gravitacional, estimou-se a influência das variáveis climáticas no comércio por vias internas e nas exportações de produtos alimentícios e animais vivos da região.

A partir da metodologia empregada, destacam-se como os principais resultados: *i)* o aumento de 1% na precipitação de chuvas acarretaria, em média, na elevação de

aproximadamente 0,53% das exportações intranacionais; *ii*) em relação ao efeito da temperatura sobre o comércio por vias internas do Nordeste, através da estimação realizada, tem-se que o aumento de 1% na temperatura média dos estados da região implicaria na redução das exportações intranacionais em 1,33%; *iii*) o aumento de 1% na temperatura média dos estados da região acarretaria na redução das exportações de produtos alimentícios e animais vivos em 8,68%.

Ademais, chama-se atenção para o fato de que o impacto da mudança climática no conjunto do setor agrícola afetará sobremaneira os agricultores familiares e as regiões menos desenvolvidas do país. Embora seja um país com alta concentração de terra, no Brasil, a agricultura familiar é responsável pela produção de grande parte dos alimentos produzidos nacionalmente. Decorrente disso, as perdas causadas por eventos referentes ao clima no âmbito da agricultura familiar impactarão não somente a segurança alimentar dos agricultores diretamente dependentes dessa atividade, mas também os demais consumidores dependentes indiretamente dos produtos cultivados.

Em última instância, a questão da mudança climática é global, de longo prazo e envolve interação complexa entre processos climáticos, sociais, ambientais, econômicos, tecnológicos, institucionais e políticos. Tem implicações internacionais e intergeracionais significativas no contexto da equidade e do desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, J. E. A theoretical foundation for the gravity equation. **The American Economic Review**, v. 69, n. 1, p. 106-116, 1979.

ANDERSON, J. The gravity model. **The Annual Review of Economics**, v. 3, n. 1, p. 133-160, 2011.

ARAÚJO, P. H. C.; SILVA, F. F.; GOMES, M. F. M.; FÉRES, J. G.; BRAGA, M. J. Uma análise do impacto das mudanças climáticas na produtividade agrícola da região Nordeste do Brasil. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 45, n. 3, p. 46-57, jul./set., 2014.

BALDWIN, R.; TAGLIONI, D. Gravity for dummies and dummies for gravity equations. **Working Paper** n. 12516, NBER, 2006.

BANCO MUNDIAL. **World Bank Data**. 2018. Disponível em: <http://data.worldbank.org/indicator>. Acesso em: 12 jan. 2019.

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.

CHEN, Z.; DALL'ERBA, S. 2018. Drought, domestic trade and agricultural profit: theory and evidence. *In*: Anais do Encontro Anual da Agricultural and Applied Economics Association (AAEA). **Anais [...]**. Washington (EUA), 2018.

DARWIN *et al.* World Agriculture and Climate Change: Economic Adaptations. **Agricultural Economic Reports** n. 703, USDA, 1995.

DEARDORFF, A. V. Determinants of Bilateral Trade: Does Gravity Work in a Neoclassical World? *In*: FRANKEL, J. A. (Orgs.). **The Regionalization of the World Economy**. Chicago: University of Chicago Press, 1998. p. 7-22.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). 2017. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/rodovias/distancias/distancias.asp>. Acesso em: 15 jan. 2019.

DÊSCHENES, O.; GREENSTONE, M. The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather. **American Economic Review**, v. 1, n. 97, p. 354-85, 2007.

EATON, J.; KORTUM, S. Technology, Geography, and Trade. **Econometrica**, v. 70, n. 5, p. 1741-1779, 2002.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/>. Acesso em: 06 jan. 2019.

FARIAS, J.; HIDALGO, A. Comércio interestadual e comércio exterior das regiões brasileiras e integração regional: uma estimativa utilizando a equação gravitacional. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 43, n. 2, p. 251-265, 2012.

FÉRES, J.; REIS, E.; SPERANZA, J. Assessing the Impact of Climate Change on the Brazilian Agricultural Sector. *In*: Anais da 16th Annual Conference of the European Association of Environmental and Resource Economists. **Anais [...]**. Gotemburgo (Suíça), 2008.

FERGUSON, S.; GARS, J. Measuring the impact of agricultural production shocks on international trade flows. *In*: Anais do Encontro Anual da Agricultural and Applied Economics Association (AAEA). **Anais [...]**. Chicago (EUA), 2017.

FERREIRA FILHO, J.; MORAES, G. Climate change, agriculture and economic effects on different regions of Brazil. **Environment and Development Economics**, v. 20, n.1, p. 37-56, 2015.

FISCHER, G.; SHAH, M.; VAN VELTHUIZEN, H. Climate change and agricultural vulnerability. **Special Report**, n. 1113, IIASA, 2002.

GOOGLE MAPS. **Serviço para visualização de mapas e imagens de satélite**. 2019. Disponível em: <http://maps.google.com.br>. Acesso em: 12 jan. 2019.

GUILHOTO, J. J. M.; AZONI, C. R.; ICHIHARA, P. S. M.; KADOTA, P. D. K.; HADAD, P. E. A. **Matriz de insumo-produto do nordeste e estados: metodologia e resultados**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2010.

HADDAD, E. A.; GONÇALVES JÚNIOR, C. A.; NASCIMENTO, T. O. Matriz interestadual de insumo-produto para o Brasil: uma aplicação do Método Iioas. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v. 11, n. 4, p. 424-446, 12 fev. 2018.

HELLIWELL, J. F. National borders, trade and migration. **Working Paper** n. 6027, NBER, 1997.

HELPMAN, E., KRUGMAN, P. R. **Market Structure and Foreign Trade: increasing returns, imperfect competition, and the international economy**. Cambridge, MA: MIT Press, 1985.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Contas Econômicas Regionais**. 2018. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/>. Acesso em: 12 jan. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). 2019. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 10 jan. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO (INSA). 2019. Disponível em: <https://portal.insa.gov.br/>. Acesso em: 05 jan. 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **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. IPCC: Geneva, Switzerland, 2014.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. *In: Anais do XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais. Anais [...]*. Caxambu (MG), 2006. Disponível em: <http://www.abep.org.br/publicacoes/index.php/anais/article/view/1530/1494>. Acesso em: 26 jan. 2019.

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.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR (MDIC). **Sistema de análise das informações de comércio exterior Comex Stat**. 2019. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br>. Acesso em: 13 jan. 2019.

MORTON, J. F. The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. **PNAS**, v. 104, n. 50, p. 19697-19704, 2007.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D. **Aquecimento global e cenários futuros da agricultura brasileira**. Campinas: Embrapa/Unicamp, 2008.

REIMER, J.; Li, M. Yield variability and agricultural trade. **Agricultural and Resource Economics Review**, v. 38, n. 2, p. 258-270, 2009.

SANTOS S. J.; TENREYRO, S. The Log of Gravity. **The Review of Economics and Statistics**, MIT Press, v. 88, n. 4, p. 641-658, 2006.

SIQUEIRA, O. J. F.; FARIAS, J. R. B.; SANS, L. M. A. Potential effects of global climate change for Brazilian agriculture, and adaptive strategies for wheat, maize, and soybeans. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 115-129, 1994.

STARCK, S. C. **The theoretical foundation of gravity modeling**: what are the developments that have brought gravity modeling into mainstream economics? 2012. 77 f. Tese (Mestrado em Economia) – Copenhagen Business School, Dinamarca, 2012.

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

VASCONCELOS, J. R.; OLIVEIRA, M. A. Análise da matriz por atividade do comércio interestadual no Brasil: 1999. **Texto para Discussão** n. 1159, 2006.

WOOLDRIDGE, J. M. **Econometric analysis of cross section and panel data**. Cambridge, Mass.: MIT Press, 2002.

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.

APÊNDICE A: LISTA DOS PAÍSES CONSIDERADOS NA AMOSTRA

Quadro 1A – Lista dos países considerados na amostra

África do Sul	Egito	Noruega
Alemanha	Espanha	Países Baixos
Arábia Saudita	Estados Unidos	Paraguai
Argentina	França	Peru
Austrália	Hong Kong	Porto Rico
Bélgica	Índia	Portugal
Bolívia	Indonésia	Reino Unido
Canadá	Irã	Rússia, Federação
Chile	Itália	Suécia
China	Japão	Suíça
Cingapura	Malásia	Turquia
Colômbia	México	Uruguai
Coreia do Sul	Nigéria	Venezuela

Fonte: Elaboração Própria.