

PAULO HENRIQUE CIRINO ARAÚJO

**EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS: OS EFEITOS DOS FENÔMENOS EL
NIÑO E LA NIÑA SOBRE A PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA DAS REGIÕES
NORDESTE E SUL DO BRASIL.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

A663e
2012

Araújo, Paulo Henrique Cirino, 1987-

Eventos climáticos extremos : os efeitos dos fenômenos
El Niño e La Niña sobre a produtividade agrícola das regiões
nordeste e sul do Brasil / Paulo Henrique Cirino Araújo.

– Viçosa, MG, 2012.

ix, 45f. : il. ; (algumas color.) ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: José Gustavo Féres.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 37-39.

1. Produtividade agrícola - Fatores climáticos. 2. EL Niño
(Corrente oceânica). 3. LA Niña (Corrente oceânica).

I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Economia Rural. Programa de Pós-Graduação em
Economia Aplicada. II. Título.

CDD 22. ed. 338.16

PAULO HENRIQUE CIRINO ARAÚJO

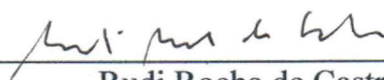
EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS: OS EFEITOS DOS FENÔMENOS EL NIÑO E LA NIÑA SOBRE A PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA DAS REGIÕES NORDESTE E SUL DO BRASIL.

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Economia
Aplicada, para obtenção do título de
Magister Scientiae.

APROVADA: 09 de agosto de 2012.



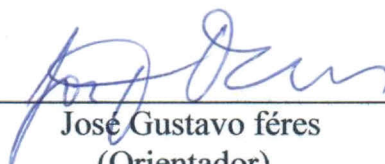
Marcos Heil Costa



Rudi Rocha de Castro



Marcelo José Braga



José Gustavo féres
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, este trabalho não teria sido realizado sem os incentivos, o carinho e o zelo da minha Vó Conceição e da minha tia Vanecir. Também foram muito importantes o apoio e atenção despendida pelo meu pai, Wanderli.

Durante minha passagem pela UFV, tive a sorte de trabalhar com um tema de grande relevância e, muito além, ser orientado por um pesquisador e professor excepcional. Sorte que não se limitou na presente orientação, mas que se estendeu por seus estímulos e conselhos. Gostaria de expressar especial agradecimento ao meu professor e orientador José Gustavo Féres. Ainda, não menos importante, gostaria de externar meus agradecimentos ao Prof. Marcelo José Braga que, durante todo o mestrado, contribuiu para a execução deste trabalho e me proporcionou valiosas oportunidades.

Também gostaria de expressar meus agradecimentos aos professores Dênis Cunha, Leonardo Bonacki, Elaine Aparecida, Alexandre Bragança Coelho e Viviani Silva Lório. A Prof. Marília Fernandes Maciel serei, especialmente, grato pelas oportunidades de estágio, conselhos e incentivos a prosseguir os estudos em economia. Em toda a elaboração desta dissertação obtive um apoio técnico imprescindível, por isso agradeço a Helena e a Carminha, por tanto carinho e amizade.

O tempo em que permaneci em Viçosa foi marcado de grandes amizades, que pelas quais aprendi o valor do respeito, da aceitação e do afeto. Por isso agradeço aos muitos amigos que me concederam companhia e, muito mais, tornaram essa fase divertida e memorável. Muito obrigado Felipe Figueiredo, Lorena, Lora, Rayanna, Janete, Micheliana, Helton, Helena, Mariana, Liana, Felipe Clemente, Sérgio e todos aqueles que, direta ou indiretamente, estiveram sempre presentes. Agradeço também aqueles amigos da fase de graduação que permaneceram sempre me apoiando, obrigado Samla, Paula, Heron, Rachel e Sarah.

Há um agradecimento especial que, reservado de todo meu carinho, precisaria ser feito em destaque. Priscila Gomes de Castro, gostaria de agradecê-la por todos os ensinamentos e exemplos de amizade, respeito e cumplicidade. Você foi uma amiga que me potencializou e me ajudou aproveitar esses dois anos ao máximo, sem jamais esquecer que não há tempo que volte. Portanto, agradeço-lhe imensamente!

BIOGRAFIA

PAULO HENRIQUE CIRINO ARAÚJO, filho de Wanderli José da Silva e Roseli Jorcelina de Araújo, nasceu no dia 27 de outubro de 1987, em Bom Despacho – Minas Gerais.

Em agosto de 2006 iniciou à graduação em Economia na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG), sendo graduado em julho de 2010.

Em agosto de 2010 ingressou no curso de Mestrado em Economia Aplicada, no Departamento de Economia Rural da UFV, concluindo os requisitos indispensáveis para obtenção do título de *Magister Scientiae* em agosto de 2012.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. MOTIVAÇÃO E ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS	6
2.1. Climatologia dos fenômenos El Niño e La Niña.....	6
2.2. Os efeitos climáticos dos fenômenos El Niño e La Niña	8
2.3 O clima e a produção agrícola das Regiões Sul e Nordeste do Brasil.	11
3. METODOLOGIA	16
3.1. Efeito dos eventos El Niño e La Niña sobre a precipitação e a temperatura	16
3.2. Relação entre variáveis climáticas e a produtividade.....	17
3.3. Variação média da produtividade das culturas estudadas	18
3.4. Fonte de dados e Variáveis.....	19
4. RESULTADOS.....	21
5. CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS	37
APÊNDICE A	40
A.1. Regressões <i>LinearSplines</i>	40
A.2. Aplicação da Metodologia Spline.....	42
APÊNDICE B.....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapas da produtividade (t/ha) das culturas de feijão, milho, mandioca e cana-de-açúcar nos municípios da região Nordeste do Brasil.	12
Figura 2 - Mapas da produtividade (t/ha) das culturas de arroz, milho, soja e trigo nos municípios da região Sul do Brasil.	14
Figura 3 - Mapas da variação de produtividade (t/ha) das culturas de cana-de-açúcar, feijão, mandioca e milho nos municípios da região Nordeste do Brasil, segundo os efeitos dos fenômenos El Niño e La Niña.	30
Figura 4 - Mapas da variação de produtividade (t/ha) das culturas de arroz, milho, soja e trigo nos municípios da região Sul do Brasil, segundo os efeitos dos fenômenos El Niño e La Niña.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Níveis médios de Precipitação (mm) e Temperatura (°C) da região Nordeste em anos de registro de El Niño, La Niña e neutralidade.	9
Tabela 2 – Níveis médios de Precipitação (mm) e Temperatura (°C) da região Sul em anos de registro de El Niño, La Niña e neutralidade.	10
Tabela 3 -Regressões estimadas para os níveis de precipitação e temperatura dos municípios brasileiros segundo as estações do ano.	21
Tabela 4 - Regressões estimadas para os níveis de produtividade das culturas de milho, cana-de-açúcar, feijão e mandioca para a região Nordeste.	23
Tabela 5 - Regressões estimadas para os níveis de produtividade das culturas de arroz, milho, soja e trigo para a região Nordeste.	24
Tabela 6 - Variação média da produtividade das culturas de cana-de-açúcar, mandioca, milho e feijão para os estados da região Nordeste.	26
Tabela 7 - Variação média da produtividade das culturas de milho, arroz, trigo e soja para os estados da região Sul.	28

RESUMO

ARAÚJO, Paulo Henrique Cirino, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2012. **Eventos Climáticos Extremos: os efeitos dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a produtividade agrícola das regiões Nordeste e Sul do Brasil.** Orientador: José Gustavo Féres. Coorientadores: Marcelo José Braga e Dênis Antônio da Cunha.

Eventos climáticos extremos podem ser compreendidos como ocorrências, num determinado ano, de inundações, tempestades, geadas, ondas de calor e até mesmo secas prolongadas. A frequência desses eventos é atribuída na grande maioria das vezes aos fenômenos El Niño e La Niña que, por sua vez, são decorrentes das variações nos níveis de temperatura da superfície do mar do Oceano Pacífico. As consequências dessas alterações no Oceano Pacífico são diretas sobre os níveis de temperatura e precipitação do planeta e, em vários aspectos, tendem a afetar todos aqueles setores da economia dependentes do clima. No caso da agricultura, todo o desempenho, em termos da produtividade, é afetado pelas alterações nos níveis de temperatura e precipitação. Com a finalidade de avaliar os efeitos dos fenômenos El Niño e La Niña sobre o desempenho da produtividade agrícola brasileira, o presente estudo teve como objetivo principal estudar os níveis médios de produtividade das lavouras de cana-de-açúcar, arroz, feijão, trigo, milho e mandioca sob a influência das alterações nos níveis de precipitação e temperatura. Como foco do estudo foi escolhido as regiões Nordeste e Sul do Brasil. A partir de regressões em painel, estimou-se os efeitos das temperaturas da superfície do mar no Oceano Pacífico sobre o regime de precipitação e os níveis de temperatura de cada município brasileiro. Numa segunda etapa, relacionou-se os níveis observados de temperatura e precipitação com a produtividade média de cada cultura estudada por meio de modelos em painel de efeitos fixos. Finalmente, quando relacionadas as estimativas encontradas na primeira e segunda etapa da estimação, o produto foi a variação na produtividade média decorrente das alterações causadas pelos fenômenos El Niño e La Niña. Os principais resultados encontrados apontam que a Bahia e o Rio Grande do Sul foram aqueles mais prejudicados pela ocorrência de fenômenos El Niño e La Niña. Neles verificou-se que os níveis de produtividade do milho e da soja foram significativamente reduzidos, de forma que, alguns municípios dessas regiões, podem registrar o total comprometimento de suas lavouras. No geral, perdas foram encontradas para quase todas as culturas estudadas nas duas regiões.

ABSTRACT

ARAÚJO, Paulo Henrique Cirino, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2012. **Assessing the impacts of ENSO-related weather effects on the Brazilian Agriculture.** Adviser: José Gustavo Féres. Co-Advisers: Marcelo José Braga and Dênis Antônio da Cunha.

Extreme weather events can be understood as occurrences in a given year, floods, storms, frosts, heat waves and even prolonged droughts. The frequency of these events is attributed in most cases to the El Niño and La Niña, which in turn are derived from variations in the sea surface temperature of the Pacific Ocean. The consequences of these changes in the Pacific Ocean are forthright about the levels of temperature and rainfall on the planet and, in many respects, tend to affect those sectors of the economy dependent on the weather. In the case of agriculture, the whole performance, in terms of productivity, is affected by changes in temperature and precipitation levels. In order to evaluate the effects of El Niño and La Niña on the performance of agricultural productivity, the present study aimed to study the average level of productivity of crops of sugar cane, rice, beans, wheat, maize and cassava under the influence of changes in rainfall and temperature. As a focus of the study was selected the Northeast and southern Brazil. From panel regressions, we estimated the effects of sea surface temperatures in the Pacific Ocean on the regime of precipitation and temperature levels of each Brazilian municipality. In a second step, was related to the levels observed temperature and precipitation with the average productivity of each culture studied by panel models with fixed effects. Finally, when related to estimates found in the first and second stage of the estimation, the product was the variation in average yield resulting from changes caused by El Niño and La Niña. The main results found point that Bahia and Rio Grande do Sul were those most harmed by the occurrence of phenomena El Niño and La Niña. Neles it was verified that productivity levels of corn and soybeans were significantly reduced, so that, some municipalities these regions, may register the total commitment of their crops. Overall, losses were found for almost all cultures studied in the two regions.

1. INTRODUÇÃO

O desempenho da agricultura, em termos de produtividade, é condicionado por inúmeros fatores, como disponibilidade de áreas a serem cultivadas, pesquisas e inovações tecnológicas, características agronômicas locais, entre outros. No entanto, acredita-se que são os condicionantes climáticos os principais fatores determinantes dos resultados advindos da atividade agrícola. Nesse sentido, os efeitos das mudanças climáticas sobre a agricultura têm sido cada vez mais estudados, embora muito pouco ainda tenha sido documentado sobre as consequências de eventos climáticos extremos.

Os eventos climáticos extremos podem ser compreendidos como ocorrências, num determinado ano, de inundações, tempestades, geadas, ondas de calor e até mesmo secas prolongadas. Muitos cientistas têm atribuído a frequência com que esses eventos têm ocorrido ao processo de aquecimento global, que, em muito, tem potencializado as fases de eventos ENOS – El Niño Oscilação Sul. Os ENOS se caracterizam por variações ou anomalias nos níveis de temperatura da superfície do mar das águas do Pacífico Equatorial, nas proximidades da costa oeste da América do Sul.

De acordo com Adams et al. (1999), eventos ENOS podem ser caracterizados como a variação entre uma fase normal e, ou, neutra e duas fases extremas, conhecidos como El Niño e La Niña. Essas fases extremas correspondem ao aquecimento e resfriamento da superfície do mar no Oceano Pacífico Equatorial, que, dentre as suas diversas implicações, destaca-se a mudança no clima de inúmeras localidades do globo. A saber, o El Niño ocorrido em 1982-83 provocou tempestades em algumas regiões dos Estados Unidos, enchentes no Sul do Brasil, no Norte da Argentina, no leste do Paraguai e em Cuba. Decorrentes desse mesmo evento foram registradas chuvas intensas na China e na Índia, e secas que partem da Austrália, passam pelo Norte da África e chegam até a América Central (Senado Federal, 1997).

No Brasil, existe um padrão histórico de regularidade dos efeitos climáticos dos fenômenos El Niño e La Niña nas suas diversas regiões. Sempre que há ocorrência de El Niño, observa-se uma redução das chuvas nas regiões Norte e Nordeste, enquanto, na região Sul há um aumento das precipitações. Já em anos de La Niña, há um aumento da possibilidade de chuvas no Nordeste e severas estiagens no Sul do país. No tocante as regiões Centro-oeste e Sudeste, pouco ainda se conhecem dos efeitos manifestados nelas.

As alterações climáticas causadas pelos fenômenos El Niño e La Niña desdobram-se em inúmeros eventos climáticos extremos que, por sua vez, acabam por afetar a economia

brasileira. Todo o desempenho do setor agrícola fica submetido a sazonalidade desses eventos. De acordo com o Senado Federal (1997), na ocorrência de El Niño, as perdas podem extrapolar um milhão de dólares. Não há setor na economia que dependa tanto das condições climáticas quanto a agricultura, afinal todo o cultivo, desenvolvimento e colheita dos gêneros agrícolas são influenciados pelos níveis de temperatura e precipitação de uma dada região.

De acordo com um estudo da Universidade Federal do Rio Grande Sul (UFRGS) elaborado por Berlatto et al. (2005), as reduções sofridas nas safras 1982 e 1983 por decorrência do El Niño foram, em soma, de 4.888.775 toneladas. O Rio Grande do Sul foi o Estado mais prejudicado e, nessa época, sofreu com aproximadamente 35% do prejuízo agrícola total. Na região Nordeste, não se têm estimativas das reduções de safras, mas, segundo Carvalho (1988), somente em 1983 a população afetada somou cerca de 29 milhões de pessoas. Discute-se também que, em grande parcela, essa população é composta por agricultores familiares, os quais dependem tanto dos lucros quanto da subsistência promovida pela prática agrícola.

A importância de estudar os efeitos de choques climáticos sobre o desempenho da agricultura vai muito além dos fatos ressaltados anteriormente, recaindo, em grande medida, sobre a importância histórica desse segmento para a economia brasileira. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012), o agronegócio foi responsável, em 2010, por cerca de um terço de toda atividade econômica brasileira. Seu crescimento em relação a 2009, de aproximadamente 7%, acompanhou a evolução de 7,5% do PIB brasileiro. As exportações desse segmento atingiram, no mesmo período, US\$ 58,4 bilhões, o que representa mais de 30% de toda a exportação brasileira. Devido à magnitude desse resultado, o saldo da balança comercial do agronegócio ficou positivo em US\$ 10,2 bilhões (CONAB, 2012). Vale ressaltar que grande parte desse desempenho foi possibilitada pelo importante papel da soja na promoção de divisas internacionais. Além das estatísticas dessa recente conjuntura, a atividade agrícola brasileira é reconhecida por um processo de modernização que promoveu, nas últimas décadas, ganhos de produtividade de cerca de 60% para a soja nacional, viabilizado, em grande medida, pela geração de novas tecnologias e insumos modernos.

Não obstante, segundo Pinto e Assad (2008), existem expectativas de que as mudanças climáticas interfiram nessa conjuntura, o que pode comprometer sua continuidade. Deve-se acrescentar que, em anos de ocorrência de El Niño ou La Niña, os resultados advindos do agronegócio têm sido bastante alterados. De acordo com os dados apresentados

por Teracines (2011), as perdas agrícolas ocasionadas pelo El Niño em 1997-98 somaram cerca de R\$ 3,5 bilhões. Segundo o autor, no mesmo período, a região Nordeste foi a mais afetada, tendo sua produção agrícola sofrido uma redução de quase 15 bilhões de toneladas. De forma complementar, os resultados expostos por Berlato et al. (2005) revelam indícios de que, no Rio Grande do Sul, a cultura do milho pode apresentar altos níveis de produtividade em anos de El Niño e baixos níveis em anos de La Niña.

Com a finalidade de avaliar os impactos do clima na economia, a literatura econômica é dividida de acordo com duas perspectivas, uma delas encarrega-se de avaliar esses impactos no longo-prazo, enquanto a outra se dedica a choques temporários ou de curto-prazo. Por choques de longo-prazo entendem-se aqueles estudos que averiguam as mudanças no clima de acordo com cenários de projeção e, em alguns casos, prevêem mudanças até 2100 (IPCC, 2007). Os estudos que se preocupam com eventos climáticos no curto-prazo voltam-se para fenômenos como ondas de calor extremo, geadas e até mesmo fenômenos formados nos oceanos.

Todos os trabalhos relacionados com as mudanças do clima no longo-prazo acabam por discutir a vulnerabilidade do desempenho econômico, inclusive da agricultura, a essas alterações. Nessa perspectiva, ressaltam-se os trabalhos de Adams (1989), Mendelsohn et al. (1994), Lang (1999) e Féres (2009), os quais tinham por objetivo principal estimar os efeitos sobre os lucros, a produção e a produtividade de determinadas culturas. Outro trabalho que se dedicou ao mesmo propósito foi o elaborado por Deschênes e Greenstone (2007), que, diferentemente dos estudos referidos, considerou a possibilidade de adaptação indireta do produtor entre diferentes culturas. Seja qual for o propósito, o certo é que esses estudos evidenciaram que, se efetiva as mudanças no clima, o desempenho da agricultura poderá ser comprometido em diversas regiões do Brasil, principalmente a Nordeste.

Efeitos eventuais do clima sobre a economia agrícola podem ser encontrados em Roberts e Schlenker (2010) e Deng et al. (2010). No primeiro trabalho foi analisado se a produção agrícola americana é sensível a eventos de calor extremo, enquanto no segundo, buscou-se identificar a relação entre a produção de arroz e os eventos ENOS na província chinesa de Jianxi. Roberts e Schlenker (2010) verificaram que as culturas agrícolas têm sido pouco suscetíveis a flutuações nos níveis de precipitação e que, ao longo do tempo, a tolerância ao calor das culturas diminuiu. Por outro lado, na província chinesa, Deng et al. (2010) identificaram que os efeitos dos eventos El Niño e La Niña ocorrem exatamente nos meses em que não há produção de arroz.

Para a agricultura brasileira, poucos foram àqueles trabalhos que examinaram os efeitos dos fenômenos El Niño e La Niña. Dentre eles, deve ser destacado um estudo elaborado pelo Senado Federal (1997), cujo principal objetivo era identificar os danos econômicos e sociais causados pelo El Niño de 1997. Outro importante estudo sobre os impactos econômicos de eventos extremos foi elaborado por Marengo (2008), o qual examina detalhadamente a vulnerabilidade das culturas agrícolas a ocorrência de geadas, veranicos, chuvas intensas e secas. Ainda que bastante detalhado, o trabalho de Marengo (2008) não aponta e nem computa as perdas que historicamente a economia brasileira tem sofrido pela ocorrência desses eventos climáticos.

Nesse contexto, este estudo buscou analisar qual o impacto de fenômenos climáticos formados no Oceano Pacífico têm provocado no desempenho da atividade agrícola brasileira. Em específico, buscou-se responder como, no caso da agricultura das regiões Nordeste e Sul do país, as produtividades físicas de culturas temporárias como arroz, soja, trigo, milho, mandioca, feijão e cana-de-açúcar têm se comportado nos anos em que foram registrados fenômenos El Niño e La Niña¹.

No que se referem aos objetivos deste trabalho, o principal deles foi analisar o efeito das alterações climáticas provocadas por fenômenos El Niño e La Niña sobre o padrão de produtividade dos gêneros agrícolas referidos. Especificamente, num primeiro momento, buscou-se responder quais os impactos climáticos que esses eventos provocam nos níveis de precipitação e temperatura dos municípios brasileiros, para, posteriormente, entender como essas alterações provocam variações nos níveis de rendimento físico das lavouras.

Finalmente, a hipótese que sustenta as análises deste estudo é que os impactos econômicos dos fenômenos El Niño e La Niña são heterogêneos nos distintos municípios das regiões Nordeste e Sul do Brasil. Ainda, como hipótese, espera-se que os níveis de produtividade das culturas de milho sejam no Nordeste os mais sensíveis aos eventos El Niño, por decorrência das secas, e no Sul pelas geadas.

Este trabalho está organizado da seguinte maneira. Além desta introdução, no próximo capítulo foram expostas estatísticas descritivas dos níveis de precipitação, temperatura e produtividade agrícola dos municípios da região Nordeste e Sul. A terceira seção trata da metodologia de análise que, basicamente, resume todas as técnicas e variáveis utilizadas. A

¹As regiões Sul e Nordeste foram escolhidas para serem analisadas tanto pelo fato de nelas já serem esperados os efeitos desses fenômenos, bem como pelo fato de serem, segundo a literatura abordada, as regiões mais prejudicadas. Outras regiões, como a Centro-Oeste e Sudeste, pouco ainda se conhece sobre a regularidade dos efeitos El Niño e La Niña nos níveis de temperatura e precipitação. Ainda, faz-se necessário justificar que as culturas estudadas em cada região somam cerca de 80% do Valor Bruto da Produção regional.

quarta seção apresenta discussões acerca dos resultados obtidos. Finalmente, a quinta seção resume as conclusões encontradas.

2. MOTIVAÇÃO E ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

A análise dos efeitos econômicos dos fenômenos El Niño e La Niña ainda é um assunto pouco explorado pela literatura econômica. A maioria dos estudos que se dedicam à economia do clima destina-se aos potenciais efeitos do processo de aquecimento global, numa perspectiva de longo prazo. Decorrente ou não desse processo, o certo é que vários estudos já constataram que variáveis climáticas são decisivas para explicar o desempenho de setores como a agricultura (Mendelson et al., 1994; Sanghiet al., 1997; Evenson e Alves, 1998; Deschênes et al., 2007 e Féres et al., 2008). Em todos eles, verificou-se que os níveis de temperatura e precipitação são fundamentais para explicar os níveis de produção agrícola, o padrão de uso do solo e até mesmo os níveis de produtividade das lavouras.

As alterações do clima global, em geral, afetam também os padrões de precipitação e temperatura, promovendo resultados adversos para a maioria das culturas agrícolas. Nessas circunstâncias, é sabido que o processo de aquecimento global, se efetivo, afetará em certo grau todo o clima brasileiro (Féres et al., 2010). No entanto, tais fenômenos referem-se a choques climáticos de longo prazo. Ao contrário dos estudos que se dedicam a estudar o processo de aquecimento global, neste estudo investiu-se na tarefa de verificar a influência de fenômenos eventuais, cujos choques sobre a economia são de curto-prazo. Sobre a efetividade desses eventos não há discussão, pois já é consenso científico que eventos como El Niño e La Niña são encarregados de alterar toda a climatologia do planeta.

Na ausência de uma literatura especializada e sólida teoria sobre os efeitos do El Niño e da La Niña sobre a economia agrícola brasileira, este capítulo pretende expor considerações acerca da climatologia desses fenômenos e dos seus potenciais efeitos sobre o clima brasileiro. Além disso, apresenta-se uma caracterização econômica e geográfica das regiões Sul e Nordeste do Brasil, foco do estudo.

2.1. Climatologia dos fenômenos El Niño e La Niña.

De acordo com Adams et al. (1999), eventos ENOS podem ser caracterizados como “a variação entre uma fase normal/neutra e duas fases extremas: El Niño e La Niña”. A fase neutra denota os anos em que as condições meteorológicas do Oceano Pacífico são de

normalidade. Isto é, normalmente, os ventos alísios² sopram em direção ao oeste do Oceano Pacífico, forçando as águas quentes em direção ao Pacífico Ocidental (há estimativas de que o nível do mar é cerca de 50 cm mais elevado na Indonésia do que no Equador). Ainda no Pacífico Ocidental, a temperatura do mar é de aproximadamente 8°C mais elevada, enquanto, na região oriental, as temperaturas da superfície do mar são mais frias. Essas águas mais frias da costa leste do Pacífico são decorrentes da ascensão de águas mais profundas e frias do oceano, que, de fato, são ricas em nutrientes. Assim, em anos neutros ou normais, notam-se, nos mares dos países ocidentais da América do Sul, elevados níveis de produtividade primária, e, portanto, grande piscosidade (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, CPTEC, 2010).

Por outro lado, em anos de El Niño, a primeira característica observada é o enfraquecimento dos ventos alísios³. Em decorrência disso, a profundidade das águas quentes do Pacífico Ocidental é alterada, aumentando, portanto, o nível dos mares na costa oeste das Américas. Por esse fato, nota-se a redução da ascensão de águas profundas nos mares da América do Sul, o que, por consequência, afeta adversamente a atividade pesqueira na região leste do Pacífico. Além disso, fenômenos El Niño também são reconhecidos por causar grandes mudanças na atmosfera global em regiões bastante afastadas do Pacífico Tropical, ou seja, todos os níveis de temperatura e precipitação do globo podem ser alterados. Já o fenômeno La Niña apresenta características contrárias àsquelas observados em manifestações de El Niño, uma vez que esse fenômeno está relacionado ao esfriamento anormal do Pacífico Tropical. Esse fato, certamente, pode ser explicado pelo aumento da intensidade dos ventos alísios (CPTEC, 2011).

É importante explicar a regularidade com que ocorrem os fenômenos El Niño e La Niña, já que são eventuais e aleatórios. A ocorrência desses eventos tem sido registrada a cada sete anos, podendo se manifestar periodicamente a cada dois anos. Somente na década de 90, oito anos se passaram sob influência desses fenômenos⁴.

³Em anos que o El Niño foi catalogado como forte/severo, o enfraquecimento dos ventos alísios foi tão intenso que a direção desses ventos até reverteram, ou seja, passaram a soprar de oeste para leste do Pacífico Equatorial (CPTEC, 2011). Os ventos alísios são ventos úmidos que ocorrem todo o ano nas regiões tropicais e provocam chuvas nos locais onde convergem.

⁴A frequência histórica em que foram registrados os eventos El Niño e La Niña encontra-se na Tabela 1B do Apêndice B.

2.2. Os efeitos climáticos dos fenômenos El Niño e La Niña

Os efeitos atmosféricos provocados por eventos climáticos ENOS são bastante distintos, o que, em certo grau, promovem consequências econômicas bastante diferenciadas nas diversas regiões afetadas. Em anos de El Niño, foram registradas enchentes por quase todo território do Peru e secas prolongadas na Indonésia e na Austrália, enquanto, em anos de La Niña, observaram-se chuvas intensas na costa leste da Ásia e quedas de temperatura na costa oeste dos Estados Unidos (Senado Federal, 1997).

No caso do Brasil, tanto o El Niño quanto o La Niña têm provocado alterações climáticas por todo o território e também de maneira bastante heterogênea. De acordo com o CPTEC (2011), toda a região Sul do Brasil experimenta precipitação abundante, chuvas intensas e elevações nos níveis de temperatura por decorrência do El Niño, e, por manifestações do La Niña, essa mesma região é afetada por secas severas. Já o extremo Norte do país é assolado por secas e, conseqüentemente, elevações nos números de incêndios florestais em anos de El Niño, e, em anos de La Niña, tem seus níveis de precipitação elevados a ponto de serem observados transbordamentos de alguns rios.

Uma vez que neste trabalho o objetivo foi estudar os impactos desses eventos sobre o desempenho agrícola das regiões Sul e Nordeste do Brasil, dados estatísticos foram levantados sobre as variáveis climáticas que caracterizam os municípios dessas regiões. As Tabelas 1 e 2, sintetizam informações sistemáticas sobre o efeito médio nos níveis de precipitação e temperatura ao longo das estações do ano, segundo os anos de registro dos mais severos El Niño e La Niña.

Tabela 1– Níveis médios de Precipitação (mm) e Temperatura (°C) da região Nordeste em anos de registro de El Niño, La Niña e neutralidade.

Nordeste	Neutralidade	El Niño 1982-83	El Niño 1997-98	La Niña 1973-76	La Niña 1986-89
Precipitação (mm)					
Verão	91,80	84,13	74,23	95,37	108,08
Outono	139,23	94,23	110,51	163,16	185,81
Inverno	66,05	47,96	56,23	70,53	78,45
Primavera	38,4	25,30	25,67	52,96	38,96
Temperatura (°C)					
Verão	26,27	26,52	27,08	26,13	26,39
Outono	25,41	25,70	26,07	25,12	25,79
Inverno	23,80	24,31	24,45	23,48	23,75
Primavera	25,78	26,11	26,66	25,41	26,05

Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo com a Tabela 1, é notável que o outono é aquela estação que marca, em anos de neutralidade, os maiores níveis médios de precipitação dos municípios nordestinos. Em ambos os períodos expostos de El Niño, os níveis de precipitação foram reduzidos em todas as estações, enquanto houve aumentos nos níveis médios de temperatura, com exceção do inverno. Na média, os registros mostraram que eventos El Niño podem reduzir os níveis de precipitação em até mesmo 50% dos níveis normais. Em comparação com os níveis médios de precipitação da região Sul, expostos na Tabela 2, torna-se evidente que os níveis sazonais de precipitação na região Nordeste são bastante inferiores. Na maioria dos casos, esses níveis não são capazes nem mesmo de suprir as necessidades fisiológicas de alguns gêneros agrícolas, como é o caso do milho. A respeito dos níveis médios de temperatura, eventos El Niño são responsáveis por elevar seus níveis médios em todas as estações.

Em anos de La Niña, historicamente, são observadas as chegadas das frentes frias à região semi-árida nordestina, sopradas em grande intensidade pelos ventos alísios. Esse fato é nítido na Tabela 1, pois, conforme os registros de precipitação nos anos de 1973-76 e 1986-89, verificam-se aumentos em todas as estações. Na primavera, estação com os menores registros de precipitação, a incidência de chuva pode ser elevada em 40%. Além disso, decorrente das frentes frias, os eventos La Niña são responsáveis pela diminuição dos níveis médios de temperatura desta região,

Na região Sul, os efeitos atmosféricos dos eventos El Niño e La Niña não são menores, mas são contrários aos registrados na região Nordeste. Os fenômenos El Niños são responsáveis por níveis de precipitação muito além da média observada nesta região, principalmente no verão e na primavera. Entretanto, em anos de La Niña, com exceção do outono, os níveis médios de precipitação dos municípios desta região são drasticamente reduzidos, o que, segundo o INPE (2012), eleva incidência de estiagens e até mesmo secas severas. Os níveis médios de temperatura observados revelam que, comparativamente, eventos La Niña tendem a elevar as temperaturas da região Sul a níveis muito além daqueles registrados nos anos de El Niño⁵.

Tabela 2– Níveis médios de Precipitação (mm) e Temperatura (°C) da região Sul em anos de registro de El Niño, La Niña e neutralidade.

Sul	Neutralidade	El Niño 1982-83	El Niño 1997-98	La Niña 1973-76	La Niña 1986-89
Precipitação (mm)					
Verão	167,16	146,60	200,03	95,37	108,08
Outono	118,92	139,61	146,4	163,16	185,80
Inverno	120,59	177,57	147,33	70,35	78,45
Primavera	147,53	190,50	177,33	52,96	38,96
Temperatura (°C)					
Verão	23,23	23,09	23,51	26,13	26,39
Outono	19,75	19,65	19,30	25,12	25,79
Inverno	15,16	15,50	15,94	23,48	23,75
Primavera	19,26	18,95	19,71	25,41	26,05

Fonte: Dados da pesquisa.

Segundo o Senado Federal (1997), nos meses compreendidos entre 1982 e 1983, os efeitos causados pelo El Niño foram catastróficos e, por consequência, registraram-se eventos extremos no Brasil e em outros países. Os principais efeitos desdobraram-se em enchentes por toda a região Sul e, no caso dos estados nordestinos, não houve no século XX uma seca tão severa. Não restam dúvidas da dimensão dos danos causados por esses eventos, afinal, de acordo com uma comissão organizada pelo governo brasileiro, em anos de um El Niño fraco somam-se 8,5 milhões de pessoas que têm suas vidas afetadas numa área que totaliza quase 800 mil quilômetros quadrados (SENADO FEDERAL, 1997).

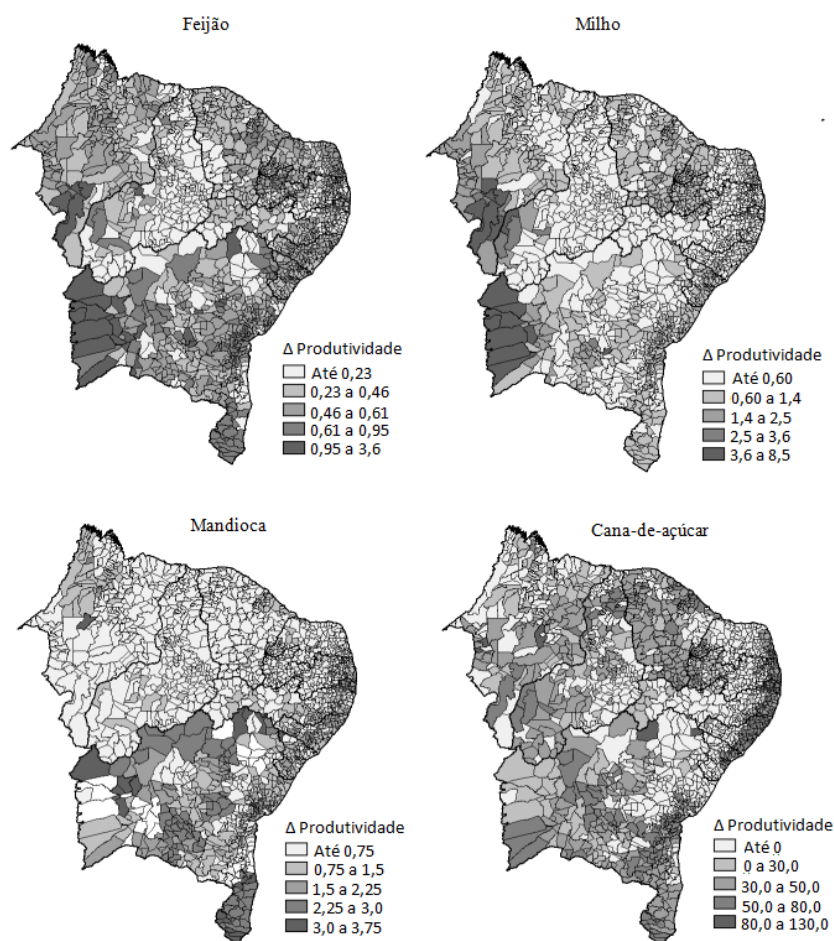
⁵Dados detalhados dos níveis médios de precipitação e temperatura dos estados das regiões sul e nordeste podem ser analisados nas Tabelas 2B e 3B, no apêndice B.

2.3 O clima e a produção agrícola das Regiões Sul e Nordeste do Brasil.

Dentre as regiões brasileiras, as regiões Nordeste e Sul são aquelas cujas evidências científicas definem um padrão esperado e regular dos efeitos causados por eventos El Niño e La Niña. Conforme as informações expostas na seção anterior, notaram-se períodos de seca na região Nordeste e chuvas fortes na região Sul em anos de El Niño, enquanto o La Niña tende a provocar o efeitos inversos nessas regiões. Se o clima é fator decisivo para o desempenho da atividade agrícola, os efeitos de um El Niño ou de um La Niña vão muito além de serem puramente climáticos e, sem dúvida, acabam também por serem econômicos. Nesse sentido, para entender a vulnerabilidade do setor agrícola a esses fenômenos climáticos, seria de suma importância caracterizá-las quanto a sua vegetação, clima e também produção agrícola.

De acordo com o IBGE (2012), a região Nordeste ocupa cerca de 20% do território nacional e é composta por nove Estados, sendo a Bahia o mais extenso deles. Numa faixa territorial tão grande, é possível encontrar quatro climas diversos, sendo eles tropical, semi-árido, equatorial e úmido. No Sul da Bahia e no litoral de todos os estados prevalece o clima tropical, enquanto em todo o centro da região predomina o clima semi-árido – marcado por temperaturas elevadas todo o ano e chuvas irregulares. No setor oeste do Maranhão é de predominância o clima equatorial úmido, conhecido por temperaturas elevadas e chuvas abundantes, e, finalmente, predomina o clima equatorial litorâneo em toda a costa da região Nordeste. Nas regiões de clima semi-árido prevalece a vegetação de caatinga e, naquelas em que o clima tropical é predominante (oeste nordestino), a maior parte é coberta por vegetação de cerrado. Nessas condições geográficas vivem cerca de 53 milhões de habitantes, 30% da população do país, sendo, desta totalidade, mais da metade caracterizada, em termos de renda, como pobre. A região Nordeste abriga o maior número de estabelecimentos agrícolas familiares, cerca de dois milhões ou mais de 75% do total de pessoas ocupadas no meio rural (IBGE, 2012; ETENE, 2012).

Os mapas da Figura 1 ilustram o desempenho da produção de feijão, milho, mandioca e cana-de-açúcar da região Nordeste. De acordo com a legenda, em tons cada vez mais escuros, é possível visualizar aqueles municípios que apresentaram, no período de 1970 a 2002, os maiores níveis de produtividade naquelas culturas representadas.



Fonte: Dados da Pesquisa.

Nota: Os níveis de produtividade encontrados para cada município são uma média do desempenho apresentado em toneladas colhidas por hectare plantado, ao longo dos anos de 1972 a 2002.

Figura 1- Mapas da produtividade (t/ha) das culturas de feijão, milho, mandioca e cana-de-açúcar nos municípios da região Nordeste do Brasil.

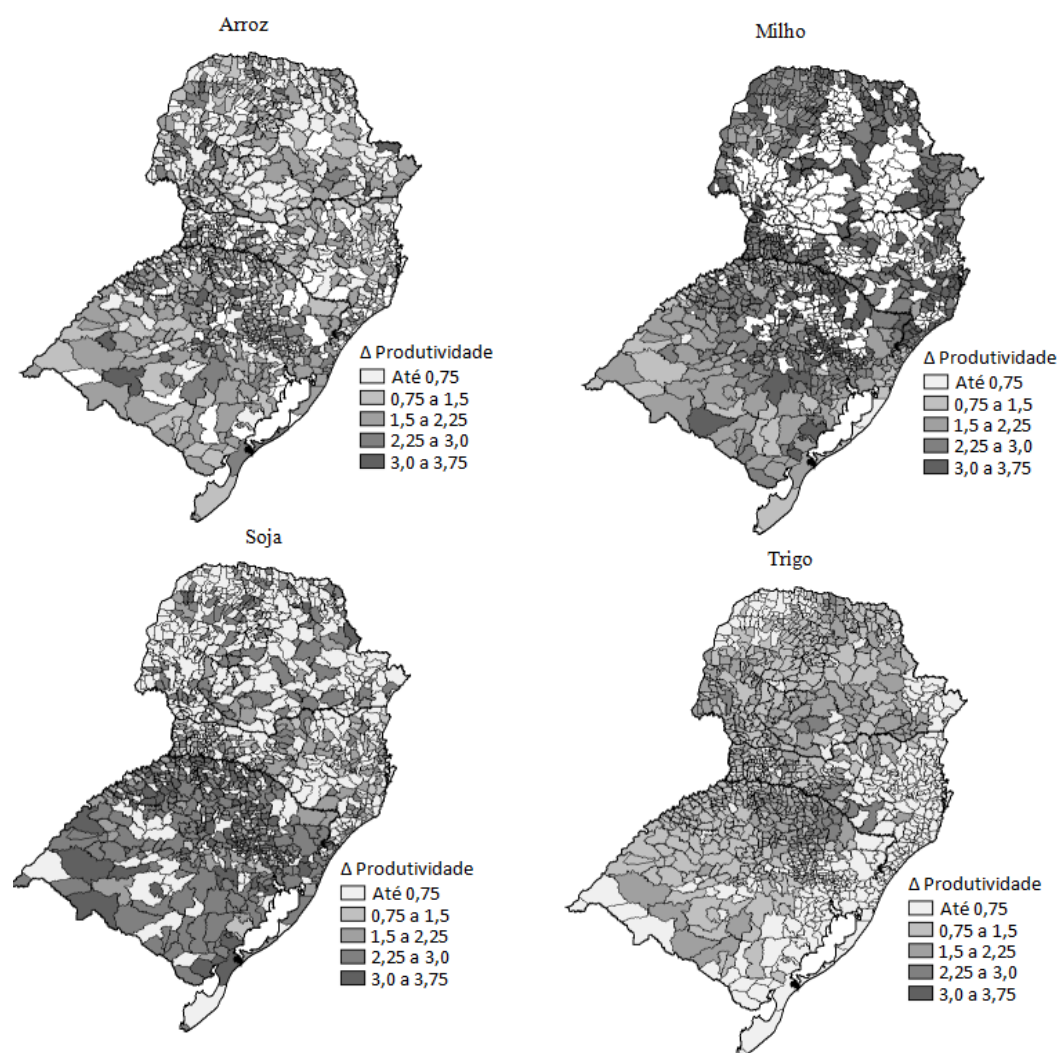
Em todos os mapas da Figura1 notam-se que os níveis de produtividade alcançados pelos municípios nordestinos, são, em geral, heterogêneos espacialmente. Entretanto, no caso do milho e do feijão, os municípios mais produtivos são aqueles situados no oeste da Bahia, região conhecida pela sua recente mecanização da produção agrícola. A mandioca apresenta níveis médios de produtividade mais elevados nos municípios situados no Norte da Bahia, enquanto o cultivo da cana parece ser bastante produtivo nas proximidades do litoral nordestino, principalmente no estado de Alagoas. Ressalta-se que, segundo o Banco do

Nordeste do Brasil (2010), o arroz, o feijão, a mandioca e o milho somam praticamente mais que 80% da produção agrícola familiar nesta região. Portanto, qualquer variação na produtividade, seja ela positiva ou negativa, é capaz de influenciar a subsistência de uma grande parcela da população.

Ao contrário da região Nordeste, no Sul do Brasil encontra-se aqueles Estados cujo nível de desenvolvimento econômico está, relativamente, entre os mais elevados do país. Neles vivem 14% da população nacional, cujos níveis educacionais e de renda estão bastante superiores daqueles encontrados na região Nordeste. Na região Sul, o fim da produção agrícola extrapola à produção de subsistência, e todo aquele excedente produtivo alcançado é destinado a comercialização e geração de renda. Assim como no Nordeste, de acordo como o Ministério do Desenvolvimento Agrário (2012), nessa região encontram-se grande parte dos estabelecimentos agrícolas familiares, principalmente em Santa Catarina. Sobrelevada a importância da produção agrícola nesta região, sabe-se que seu total desempenho também está condicionado às variáveis climáticas.

Níveis amenos de temperatura, regime de chuva bem distribuído nas estações do ano e fertilidade dos solos são, dentre outros, os principais fatores que conferem a essa região um desempenho agrícola favorável. Cerca de 70%, 50% e 50% da produção nacional de trigo, soja e arroz, respectivamente, são produzidos no Sul do país (IBGE, 2012). Somado a esses percentuais a produção de milho, essas lavouras representam cerca de 90% da produção agrícola desta região.

Na Figura 2, foram ilustrados os níveis médios de produtividade alcançados pelos municípios dos Estados do Paraná, Santa Catarina e do Rio Grande do Sul no cultivo do arroz, do milho, da soja e do trigo.



Fonte: Dados da Pesquisa.

Nota: Os níveis de produtividade encontrados para cada município, são uma média do desempenho apresentado em toneladas colhidas por hectare plantado, ao longo dos anos de 1972 a 2002.

Figura 2- Mapas da produtividade (t/ha) das culturas de arroz, milho, soja e trigo nos municípios da região Sul do Brasil.

O desempenho agrícola dos municípios é, conforme o ilustrado na Figura 2, bastante heterogêneo nos estados da região Sul. Os níveis médios de produtividade da sojicultura são ser bastante elevados em todo o Estado do Rio Grande do Sul e Norte do Paraná, enquanto a produtividade do milho apresenta níveis elevados em quase todos os municípios produtores. No caso do milho, ainda é possível verificar que os níveis médios de produtividade alcançados pelos municípios da região Nordeste estão muito aquém daqueles observados no

Sul. Em tons cada vez mais escuros, a Figura 2 sugere que o Estado do Paraná apresentou o maior número de municípios com elevados níveis de produtividade média.

3. METODOLOGIA

Para mensurar os efeitos dos fenômenos El Niño e La Niña sobre o rendimento físico de culturas agrícolas, a metodologia utilizada seguiu três etapas, assim como em Deng et al. (2010). A primeira refere-se a uma análise de regressão em painel que, dentre outros aspectos, permitiu identificar os impactos dos eventos El Niño/La Niña sobre o regime de precipitação e os níveis de temperatura de cada município brasileiro considerado. Na segunda etapa, também foram estimadas regressões em painel para traçar a relação existente entre os níveis de precipitação e temperatura e os níveis de produtividade das culturas agrícolas nos municípios das regiões Sul e Nordeste do Brasil. Finalmente, na etapa final, buscou-se computar quais foram as perdas, e, ou, ganhos, em termos de produtividade, apresentados pelos municípios em cada cultura, levando em consideração os anos de El Niño e La Niña.

3.1.Efeito dos eventos El Niño e La Niña sobre a precipitação e a temperatura

Nessa fase do estudo foram estimadas oito regressões em painel, buscando, de acordo com Deng et al. (2010), evidenciar os efeitos dos níveis de temperatura da superfície do Oceano Pacífico sobre os níveis de temperatura e o regime de precipitação em cada município das duas regiões. Cada uma das regressões relacionou, num respectivo município, para uma determinada estação do ano, o nível de temperatura ou precipitação com as variações da temperatura da superfície do mar (TSM) nesta respectiva estação e em uma estação anterior. Ou seja, relacionou-se o nível de temperatura e precipitação que certo município apresentou no verão com o nível de TSM no mesmo verão e na primavera passada. A referida relação pode ser estimada pelas seguintes equações:

$$\begin{aligned} \text{Clima}_{it} &= \alpha_1 + \beta_1 TSM_t + \beta_2 TSM_{t-1} + \alpha_2 \text{latit}_i + \alpha_3 T + \mu_i + \varepsilon_{12it} , & \text{se} & TSM < S_1 \\ \text{Clima}_{it} &= \alpha_2 + \beta_1 TSM_t + \beta_2 TSM_{t-1} + \alpha_2 \text{latit}_i + \alpha_3 T + \mu_i + \varepsilon_{13it} , & \text{se} & S_2 \leq TSM \leq S_3 \\ \text{Clima}_{it} &= \alpha_3 + \beta_1 TSM_t + \beta_2 TSM_{t-1} + \alpha_2 \text{latit}_i + \alpha_3 T + \mu_i + \varepsilon_{14it} , & \text{se} & TSM > S_4 \end{aligned}$$

em que Clima_{it} representa dois conjuntos de variáveis, cada qual contendo quatro variáveis correspondentes as estações do ano, sendo o primeiro conjunto de variáveis referente ao regime de precipitação e o segundo referente à temperatura (todas para cada município

brasileiro em cada ano); as variáveis TSM_{it} e TSM_{it-1} representam as temperaturas da superfície do mar numa dada estação e também defasada em outra estação; $latit$ refere-se a latitude de cada município e foi incluída para preservar as características espaciais desta regressão⁶; T corresponde a variáveis dummies de tendência; μ_i é um termo de efeitos fixos; e, por fim, ε_{1it} denota um termo de erro aleatório. As especificações desses modelos foram idênticas e todos eles são classificados como ‘funções *splines*’⁷. Essas funções *splines* permitem relacionar linearmente as variáveis climáticas com a TSM por meio de segmentos lineares, sendo os valores que delimitam esses segmentos chamados de “*knots*” (Gould, 1993). No caso desta regressão, os segmentos foram estabelecidos nos níveis de variação da temperatura do mar que definem a ocorrência de eventos El Niño e La Niña⁸, tanto para TSM_{it} quanto TSM_{it-1} . A vantagem dessas regressões *splines* consiste no fato de que elas permitem obter efeitos marginais para cada intervalo estabelecido o que, no caso deste trabalho, permitiu conhecer os efeitos marginais da variação da TSM no clima atmosférico de cada município, quando houve fenômenos El Niño/La Niña e também em períodos de normalidade no Oceano Pacífico.

Para avaliar a adequabilidade da especificação das funções do tipo *spline*, comumente, utilizam-se testes de hipótese agrupada (Gould, 1993). O objetivo desses testes é averiguar se, em conjunto, todos os coeficientes estimados relacionados com os intervalos da TSM são idênticos. Quando rejeitada essa hipótese nula, confirma-se a diferença sistemática entre esses coeficientes ao longo dos intervalos, o que justifica a utilização do método (Johnston; Dinardo, 1997).

3.2. Relação entre variáveis climáticas e a produtividade

Ainda em conformidade com Deng et al. (2010), a segunda etapa buscou relacionar os níveis de produtividade agrícola de cada município estudado com os níveis de temperatura e precipitação observados no período de 1970 a 2002. Esse modelo explora, assim como em Féres (2010), os efeitos anuais das mudanças no regime de chuva e nas temperaturas sobre o

⁶Espera-se que município situados em latitudes mais baixas apresentem temperaturas mais elevadas e, no tocante ao regime de chuva, espera-se apenas que ele seja variável nos municípios de acordo com suas características climáticas.

⁷Para mais detalhes sobre regressões com funções *splines*, vide apêndice A.

⁸De acordo com a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), quando a temperatura da superfície do mar varia em níveis superiores a 0,5 °C e inferiores a -0,5°C corresponde a formação de El Niño (aquecimento) e La Niña (resfriamento) no Oceano Pacífico, respectivamente.

rendimento físico dos diversos produtos agrícolas considerados. A equação 2 retrata essa relação:

$$Produtividade_{sit} = \beta_0 + \gamma_1 clima_{it} + \gamma_2 clima_{it}^2 + \beta_1 t + \mu_i + \varepsilon_{2it}, (2)$$

em que $Produtividade_{sit}$ denota o rendimento por hectare de uma certa cultura agrícola s , no município i e num determinado ano t ; $clima_{it}$ é um conjunto de variáveis referentes a temperatura e precipitação observadas em cada estação do ano nos municípios ao longo dos anos⁹. Da mesma forma como na equação (1), na regressão representada pela equação (2) foi incluído uma variável de tendência e um termo de efeitos fixos¹⁰. Vale ressaltar que foram confeccionados 16 painéis e cada regressão foi amostrada por municípios de cada região brasileira estudada e cada cultura agrícola considerada, bem como seccionada de acordo com os anos de ocorrência de El Niño e La Niña.

Finalmente, β_0 , β_1 e γ_i referem-se a um conjunto de coeficientes estimados, tal que $\gamma_i = (\gamma_1, \gamma_2)$, e ε_{2it} trata de um componente de erro aleatório. Os erros padrão foram reamostrados por *bootstrap* com o objetivo de corrigir possíveis problemas relativos a heterocedasticidade ou autocorrelação.

3.3. Variação média da produtividade das culturas estudadas

Para mensurar a variação média da produtividade decorrente dos fenômenos El Niño e La Niña, foram utilizadas todas as temperaturas e precipitações estimadas no primeiro estágio e os coeficientes estimados no segundo estágio. Assim, já que o conjunto de estimativas climáticas reflete os efeitos da TSM e os coeficientes estimados do segundo estágio denotam a relação apresentada entre produtividade e clima observado, certamente, de forma recursiva, torna-se possível computar a variação líquida sobre os níveis de produtividade agrícola em cada município. Para tanto utilizou-se da seguinte equação:

$$\Delta E(Produtividade_s) = E(\widehat{Clima_{it_{ElNiño/LaNiña}}} - \widehat{Clima_{it_{Neutro}}}) \hat{\gamma}_i, \quad (3)$$

⁹As variáveis de temperatura e precipitação também foram incluídas na forma quadrática para captar possíveis relações não-lineares entre a produtividade e as variáveis climáticas (Dêschenes e Greenstone, 2007).

¹⁰Optou-se por incluir um termo de efeitos fixos para controlar o viés de omissão de variável relevante, uma vez que a produtividade agrícola é um fenômeno explicado por inúmeras variáveis além das climáticas. Neste caso, os efeitos fixos refletem aquelas características de cada município que são invariantes no tempo.

em que $\Delta E(Produtividade_s)$ denota a variação média das produtividades apresentadas ao longo dos anos por um município numa certa cultura agrícola s ; $E(Clima_{it_{El Niño/La Niña}} - Clima_{it_{Neutro}})$ representa as condições climáticas em anos de El Niño ou La Niña estimadas no primeiro estágio subtraídas das condições climáticas em anos de normalidade (neutro). O resultado encontrado nesta etapa final refletiu as perdas ou os possíveis ganhos médios de produtividade que os municípios apresentaram em todos os anos de registro de El Niño ou La Niña.

3.4.Fonte de dados e Variáveis

Os dados utilizados neste trabalho foram provenientes da reunião de diferentes levantamentos estatísticos em nível municipal. As informações de área plantada e produção agrícola foram obtidas no IPEA-DATA que, por sua vez, realizou a coleta desses dados por meio do anuário Produção Agrícola Municipal (PAM) do Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). As informações climáticas sobre os níveis de temperatura e precipitação de cada município brasileiro considerado foram extraídas da base de dados CL 2.0 10' do ClimateResearch Unit (CRU – University of East Anglia), cedidos com exclusividade pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Por fim, todos os dados referentes às anomalias de temperatura observadas na superfície do Oceano Pacífico Equatorial foram coletados na National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Produtividade Média Agrícola

As variáveis referentes às produtividades médias dos municípios brasileiros que produzem soja, milho, trigo, arroz, cana-de-açúcar, mandioca e feijão são provenientes da razão entre a quantidade colhida (t) e a área plantada (ha), portanto foram expressas em t/ha. Durante a estimação, foram considerados aqueles municípios que apresentaram dados de área plantada para as culturas consideradas em cada região brasileira, no período de 1970 a 2002.

Variáveis Climáticas

As variáveis climáticas utilizadas nos modelos estimados neste trabalho referem-se aos níveis de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação (mm) de cada município brasileiro. Além delas, utilizou-se também um índice de variação das temperaturas da superfície do Oceano Pacífico (ONI) que, de acordo com a sua oscilação, permitiu identificar os anos de formação dos eventos El Niño e La Niña. Quando esse índice apresenta variação acima de $0,5^{\circ}\text{C}$ e abaixo de $-0,5^{\circ}\text{C}$ verifica-se aquecimento (El Niño) ou resfriamento (La Niña) desses mares, respectivamente¹¹.

¹¹De acordo com a NOAA, esse índice conhecido como Índice de Oscilação Sul (IOS) mede a diferença da pressão atmosférica entre o extremo oeste (Polinésia Francesa - Tahiti) e o extremo leste (Darwin - Austrália) do Oceano Pacífico. Sabe-se que a intensidade com que sopram os ventos alísios no Oceano Pacífico está relacionada com a variação na temperatura da superfície do mar, portanto em condições de enfraquecimento dos ventos há a formação de El Niño.

4. RESULTADOS

Inicialmente, para examinar a relação entre a variação da temperatura da superfície do mar e os níveis de temperatura e precipitação dos municípios das regiões brasileiras, foram confeccionados oito painéis de dados, cuja dimensão envolvia 32 anos e 3.652 municípios. Da totalidade de municípios, 1297 correspondiam a região Nordeste e 588 a região Sul do país. Para estimar os modelos referentes à equação 1, as temperaturas e precipitação de uma estação foram expressas como uma função dos níveis de TSM nesta mesma estação e numa estação anterior¹². Com objetivo de captar uma possível relação não-linear entre as variáveis, foram utilizadas funções splines seccionadas nas bandas de variação do ONI, explicadas na seção anterior. A fim de preservar a estimação em painel, incorporou como variável, além de efeitos fixos por municípios, a variável latitude. Os resultados referentes aos modelos estimados encontram-se na Tabela abaixo.

Tabela 3-Regressões estimadas para os níveis de precipitação e temperatura dos municípios brasileiros segundo as estações do ano.

	Precipitação (mm)				Temperatura (°C)			
	Verão	outono	inverno	primavera	verão	outono	inverno	primavera
Linsp_oni_(t)₁	4,12*** (0,1813)	9,836*** (0,3278)	-6,70*** (0,3643)	-1,385*** (0,3633)	-0,0154*** (0,0023)	-0,065*** (0,0032)	0,1948*** (0,0069)	0,479*** (0,0083)
Linsp_oni_(t)₂	-3,74*** (0,1882)	1,040*** (0,2418)	-1,48*** (0,1968)	-4,98*** (0,1392)	-0,0118*** (0,0024)	-0,007*** (0,0023)	0,1421*** (0,0038)	0,171*** (0,0031)
Linsp_oni_(t)₃	-0,557*** (0,1412)	1,81*** (0,2319)	-5,54*** (0,2132)	-0,362*** (0,2028)	0,0587*** (0,0018)	0,1022*** (0,0022)	0,214*** (0,0041)	0,214*** (0,0046)
Linsp_oni_(t)₁	-5,49*** (0,1583)	-40,47*** (0,9012)	-6,49*** (0,2202)	-0,1370 (0,2388)	0,0347*** (0,0020)	0,2710*** (0,0088)	0,0736*** (0,0042)	-0,323*** (0,0054)
Linsp_oni_(t)₂	4,63*** (0,1689)	-12,34*** (0,3046)	3,083*** (0,1643)	4,084*** (0,1353)	0,0014*** (0,0022)	0,096*** (0,0029)	-0,095*** (0,0031)	-0,120*** (0,0030)
Linsp_oni_(t)₃	-3,36*** (0,1279)	-19,61*** (0,5249)	-2,936*** (0,1725)	-3,847*** (0,1294)	0,0488*** (0,0016)	0,0302*** (0,0051)	0,140*** (0,0032)	-0,032*** (0,00293)
Latitude	-0,050*** (0,0006)	- (0,0001) 0,0538***	-0,048*** (0,00008)	-0,045*** (0,00004)	-0,0518*** (0,00007)	-0,046*** (0,00005)	-0,0458*** (0,00006)	-0,0474*** (0,00005)
Constante	15,77*** (0,3234)	13,47*** (0,5141)	3,01*** (0,3139)	11,553*** (0,1459)	4,122*** (0,0276)	6,27*** (0,0209)	6,35*** (0,0198)	6,088*** (0,0180)

Fonte: dados da pesquisa.

Nota: ***,** e * indicam significância estatística aos níveis de 1, 5 e 10%, respectivamente. Em parêntesis, encontram-se os erros-padrão relacionados aos coeficientes estimados.

¹²É cientificamente documentado que os efeitos do El Niño/La Niña têm impactos diferenciados nas distintas estações do ano e, no caso deste estudo, por esperar que os efeitos finais de uma estação perdurassem para o início da próxima estação adotou-se apenas uma estação como ordem de defasagem.

De acordo com os resultados expostos na Tabela 3, verificou-se que as variações na temperatura da superfície do mar são decisivas para explicar a variação média dos níveis de precipitação e temperatura dos municípios brasileiros. Nota-se que, ao nível de 1% de significância, em geral todos os parâmetros estimados são estatisticamente significativos e afetam os níveis de precipitação/temperatura em magnitudes e sinais diferentes ao longo das estações do ano. Inclusive a variável latitude apresentou-se significativa em todas as regressões estimadas, revelando que municípios situados em latitudes mais baixas tendem, em média, a apresentar maiores níveis de temperatura e precipitação. Nota-se que nos intervalos da variável ONI referentes ao El Niño, os níveis de precipitação apenas não sofrem reduções no outono, enquanto o nível médio de temperatura apresenta-se mais elevado em todas as estações. Quando analisado os efeitos da variável ONI no intervalo que caracteriza La Niña, percebe-se que a precipitação média tende a ser elevado no verão e no outono com temperaturas médias decrescentes, enquanto no inverno e na primavera nota-se o contrário. Ainda de acordo com os resultados da Tabela 3, torna-se evidente que o regime de chuva e os níveis de temperatura de uma dada estação também são influenciados pelas condições climatológicas dos mares na estação anterior, fato que certamente decorre desses eventos impactarem o clima global de maneira distinta ao longo de um ano.

Uma segunda etapa foi dedicada a entender a relação existente entre a produtividade agrícola municipal das regiões Nordeste e Sul e os níveis históricos de temperatura e precipitação observados. Nas Tabelas 4 e 5 estão dispostos os modelos estimados referentes às culturas agrícolas estudadas em cada região. Todos esses modelos tratam-se de regressões em painel com efeitos fixos.

Tabela 4- Regressões estimadas para os níveis de produtividade das culturas de milho, cana-de-açúcar, feijão e mandioca para a região Nordeste.

Nordeste	El Niño				La Niña			
	Milho	Cana	Feijão	Mandioca	Milho	Cana	Feijão	Mandioca
Precipitação_verão	0,0028*** (0,0002)	0,0243*** (0,0132)	-0,00021* (0,00014)	0,0015 (0,0013)	-0,0013*** (0,0007)	0,0175** (0,0228)	-0,0025 (0,00028)	0,0025 (0,00247)
Precipitação_verão^2	0,0000006*** (0,00000005)	-0,00007*** (0,0000057)	0,0000 (0,00000)	0,000006 (0,000003)	0,0000006*** (0,0000005)	-0,0001*** (0,000068)	0,0000 (0,0000)	-0,0000009 (0,000007)
Precipitação_outono	0,0013*** (0,00019)	-0,0108** (0,0108)	-0,00013* (0,00012)	-0,00027 (0,00086)	0,0034*** (0,0002)	0,0186*** (0,0120)	0,0002** (0,0001)	-0,00002 (0,0014)
Precipitação_outono^2	- 0,00000002*** (0,00000007)	0,0000147*** (0,0000054)	0,00000 (0,0000)	-0,000003 (0,00002)	- 0,0000007*** (0,0000005)	-0,00005*** (0,000029)	0,0000 (0,0000)	-0,0000006 (0,000003)
Precipitação_inverno	0,0012*** (0,00016)	0,0143** (0,0127)	-0,00018 (0,00015)	0,0025* (0,0014)	-0,0010*** (0,0003)	0,0320*** (0,0205)	-0,00005 (0,00015)	0,0013** (0,017)
Precipitação_inverno^2	- 0,00000003*** (0,00000004)	-0,000041*** (0,000039)	-0,0000 (0,00000)	-0,000005** (0,00006)	0,0000002*** (0,00000007)	- 0,000072*** (0,0051)	0,0000 (0,00000)	-0,000003*** (0,000051)
Precipitação_primavera	0,0011*** (0,0004)	0,0121** (0,0272)	-0,0001 (0,000218)	-0,00311 (0,0022)	0,0013*** (0,0005)	-0,04125* (0,0303)	0,00003 (0,00003)	-0,0002 (0,0029)
Precipitação_primavera^2	-0,0000006*** (0,0000003)	-0,000008*** (0,000156)	0,0000 (0,00000)	0,0000 (0,00000)	0,0000009*** (0,0000005)	0,0002*** (0,00017)	0,0000 (0,0000)	0,000002** (0,00005)
Temperatura_verão	0,7244 (0,1958)	11,96 (9,2034)	0,1161* (0,0907)	0,1227 (0,6830)	0,1156 (0,1451)	-16,39 (10,327)	0,0665 (0,1230)	0,1532 (0,9059)
Temperatura_verão^2	-0,0148** (0,0037)	-0,21006 (0,17772)	-0,0023 (0,0017)	-0,0027 (0,0128)	-0,0037*** (0,0027)	0,3153* (0,1945)	-0,0014 (0,0023)	-0,0019 (0,0172)
Temperatura_outono	-1,0245 (0,1822)	-23,3244** (12,366)	-0,0733 (0,1214)	-0,6379 (1,0711)	-1,3444 (0,3199)	5,4601 (14,603)	0,0642 (0,1542)	-0,3499 (1,269)
Temperatura_outono^2	0,0217** (0,0035)	0,4406** (0,2422)	0,0016 (0,0023)	0,0133 (0,0210)	0,0259** (0,0060)	-0,1147 (0,2804)	-0,3016 (0,1011)	0,0063 (0,0247)
Temperatura_inverno	0,7407 (0,1284)	-6,2212 (7,05388)	0,0397 (0,0710)	0,6236 (0,5966)	1,5187 (0,2005)	-1,8122 (8,0370)	0,00083 (0,0019)	-0,8812 (0,9486)
Temperatura_inverno^2	-0,01982** (0,0026)	0,1231 (0,1460)	-0,0006 (0,0014)	-0,0110 (0,0125)	-0,0321** (0,0037)	0,0421 (0,1606)	0,0025 (0,0811)	0,00171** (0,019)
Temperatura_verão	-0,9834 (0,1436)	2,406 (8,306)	-0,1743* (0,0953)	-0,6817 (0,7332)	-0,809 (0,2000)	16,5272 (10,025)	-0,00004 (0,0015)	0,1432*** (0,849)
Temperatura_verão^2	0,02137** (0,0027)	-0,04006 (0,1587)	0,0029* (0,00177)	0,0102 (0,0140)	0,01769*** (0,0040)	-0,3373 (0,1975)	-0,00004 (0,0015)	-0,027* (0,0169)
Constante	8,318 (2,4915)	20,1613 (10,849)	1,7164 (1,1614)	8,9255 (10,73)	8,4431* (4,3348)	-16,04 (161,24)	-0,9671 (2,0304)	-3,76 (18,81)
Dummy_1970	1,086*** (0,049)	-1,2201*** (1,193)	0,510*** (0,0019)	0,058* (0,509)	0,054* (0,0286)	-0,012*** (0,0286)	0,012** (0,0003)	0,0174*** (0,0549)
Dummy_1980	0,673*** (0,039)	-10,202*** (1,975)	0,621*** (0,089)	0,0459 (0,189)	0,259*** (0,3195)	-0,037*** (0,0032)	0,034*** (0,0129)	0,0014** (0,0109)
Dummy_1990	0,210*** (0,052)	-0,460*** (1,541)	0,771*** (0,120)	0,026*** (0,238)	0,4691*** (0,372)	-0,1945*** (0,00344)	0,0815** (0,0512)	0,0141*** (0,341)
Dummy_2000	0,359*** (0,047)	-0,0945*** (0,02886)	0,9311*** (0,0987)	0,0629** (0,0255)	1,342*** (0,062)	-0,2021*** (0,0161)	0,1301*** (0,0023)	0,051*** (0,321)

Fonte: dados da pesquisa.

Nota: ***,** e * indicam significância estatística aos níveis de 1, 5 e 10%, respectivamente. Em parêntesis, encontram-se os erros-padrão relacionados aos coeficientes estimados.

Tabela 5 - Regressões estimadas para os níveis de produtividade das culturas de arroz, milho, soja e trigo para a região Nordeste.

Sul	El Niño				La Niña			
	Arroz	Milho	Soja	Trigo	Arroz	Milho	Soja	Trigo
Precipitação_verão	0,0012 (0,0014)	-0,00067 (0,001205)	-0,0013 (0,0032)	0,0024** (0,0013)	-0,0013 (0,0032)	-0,0036 (0,0024)	0,00265** (0,0015)	-0,00275** (0,0012)
Precipitação_verão^2	-0,000003 (0,000003)	0,0000** (0,0000)	-0,000002 (0,000009)	-0,000007** (0,000003)	0,0000 (0,0000)	0,00002*** (0,00000)	-0,000006 (0,000004)	0,000007** (0,0000003)
Precipitação_outono	-0,0014 (0,00223)	0,015945*** (0,01612)	0,00012 (0,00166)	-0,000850 (0,0011)	0,00012 (0,0016)	0,00039 (0,00152)	-0,0044*** (0,0011)	-0,00069 (0,00092)
Precipitação_outono^2	-0,00145 (0,0022)	-0,00005*** (0,0000)	0,0000 (0,0000)	0,0000 (0,00000)	0,0000 (0,0000)	0,0000 (0,0000)	0,00001*** (0,000003)	0,000001 (0,0000002)
Precipitação_inverno	0,0000 (0,00000)	0,0005 (0,00098)	-0,0012 (0,0023)	0,00034 (0,00078)	-0,0011 (0,0024)	-0,0021 (0,00169)	0,00091 (0,0014)	0,00085 (0,0014)
Precipitação_inverno^2	0,0001 (0,0015)	0,0000 (0,00000)	0,0000 (0,0000)	0,00000003*** (0,0000)	0,0000 (0,0000)	- 0,00001*** (0,0000)	-0,000004 (0,000004)	-0,0000001 (0,000005)
Precipitação_primavera	0,00219 (0,00211)	-0,0169*** (0,00203)	0,0000 (0,0000)	-0,00008 (0,0013)	0,0000 (0,0029)	-0,0158*** (0,0023)	-0,015*** (0,0016)	-0,0007 (0,0012)
Precipitação_primavera^2	0,0000 (0,00000)	0,0000*** (0,0000)	0,0000 (0,0000)	0,0000001 (0,000004)	0,0000 (0,0000)	0,0000*** (0,0000)	0,00004*** (0,0000004)	0,000002 (0,0000003)
Temperatura_verão	-0,7000 (0,5519)	-0,82296* (0,4622)	-1,0331 (1,034)	-0,1454 (0,2861)	-1,0331 (1,034)	-1,219** (0,7085)	1,954*** (0,6327)	-0,096 (0,5455)
Temperatura_verão^2	0,0144 (0,0111)	0,0062 (0,0100)	0,0199 (0,0216)	0,0031 (0,0061)	0,0197 (0,0216)	0,022 (0,0147)	-0,039*** (0,013)	0,0019 (0,0113)
Temperatura_outono	-0,2424 (0,2110)	1,866721*** (0,1387)	0,447 (0,6765)	-0,04667 (0,1287)	0,4472 (0,6765)	0,6794 (0,5443)	-0,011 (0,4795)	0,2927 (0,3189)
Temperatura_outono^2	0,0062 (0,0052)	-0,04154*** (0,00354)	-0,0095 (0,01665)	0,0012 (0,0032)	-0,0095 (0,01665)	-0,0249** (0,01333)	-0,0031 (0,012)	-0,0073 (0,000783)
Temperatura_inverno	0,1021 (0,1821)	-0,61802*** (0,1555)	-0,59886** (0,3066)	-0,0122 (0,1042)	-0,598** (0,3066)	-1,301*** (0,1991)	-0,5164*** (0,1761)	-0,2034 (0,1407)
Temperatura_inverno^2	-0,0029 (0,0053)	0,025976*** (0,0048)	0,01866** (0,01015)	0,00015 (0,0031)	0,0186** (0,0105)	0,05852*** (0,0064)	0,02159*** (0,0059)	0,0063 (0,0045)
Temperatura_verão	0,3522 [†] (0,3313)	1,280153*** (0,1813)	0,6867* (0,419)	0,1507 (0,1425)	0,6867* (0,4190)	4,004*** (0,3316)	-0,3311 (0,2498)	0,1382 (0,2670)
Temperatura_verão^2	-0,0088 (0,00881)	-0,02769*** (0,0044)	-0,0167 (0,0106)	-0,0039 (0,0035)	-0,016** (0,0106)	- 0,09844*** (0,0082)	0,010* (0,0063)	-0,0031 (0,0067)
Constante	8,589 (5,951)	-13,5997*** (0,0044)	8,231 (9,109)	1,4998 (2,7350)	8,234 (9,109)	-16,948*** (6,3187)	-14,62*** (5,005)	-0,6574 (4,973)
Dummy_1970	0,006*** (0,0009)	0,036 (0,003)	0,4410*** (0,0999)	0,0014** (0,0006)	0,1185 (0,0884)	0,0060** (0,0031)	0,0031*** (0,0008)	0,1217 (0,2224)
Dummy_1980	0,009*** (0,001)	-0,0012 (0,006)	0,0159*** (0,0033)	-0,00028 (0,00069)	0,0114 (0,109)	0,315** (0,1316)	0,0237*** (0,0007)	-0,0202 (0,1313)
Dummy_1990	0,009*** (0,002)	0,031*** (0,002)	1,081*** (0,2080)	-0,00037 (0,0005)	0,127** (0,043)	-0,0043 (0,003)	0,0027*** (0,0006)	0,00016 (0,0032)
Dummy_2000	0,010*** (0,002)	0,250*** (0,04)	1,026*** (0,0025)	-0,00036 (0,00048)	0,01883 (0,449)	-0,247*** (0,0933)	0,0009 (0,0008)	0,0694 (0,0666)

Fonte: dados da pesquisa.

Nota: ***, ** e * significam que as variáveis são estatisticamente significativas aos níveis de 1, 5 e 10%, respectivamente. Em parêntesis, encontram-se os erros-padrões relacionados aos coeficientes estimados.

De modo geral, em conformidade com os resultados expostos nas Tabelas 4 e 5, os níveis de precipitação e temperatura foram estatisticamente significativos para explicar a produtividade das diversas culturas estudadas. Também verificou-se que, em sua maioria, as variáveis quadráticas foram significativas, revelando uma possível não linearidade entre as variáveis (Féres et al., 2010). As dummies temporais incorporadas nos modelos tinham como função traduzir a evolução de características que não foram observadas, como o processo de modernização agrícola, mas que, definitivamente, explicam a produtividade agrícola. Nesta tentativa, constatou-se que praticamente todas elas foram significativas e que, em suma, acabaram captando os efeitos da modernização agrícola ao longo deste período.

É possível também discutir os sinais encontrados durante a estimação, uma vez que todos eles demonstram os efeitos que os condicionantes climáticos exercem sobre a produtividade agrícola, configurando, portanto, os períodos de safra e entressafra destas culturas. No caso do cultivo nordestino de milho e da cana, verificam-se que, nos períodos de primavera e verão, as elevações nos níveis de temperatura e precipitação implicam em aumentos nos níveis de produtividade. Sobre a magnitude dos coeficientes, todos eles revelam os ganhos incrementais de produtividade agrícola devido ao aumento de 1 mm de precipitação ou 1°C nas temperaturas sazonais.

O terceiro estágio desta análise buscou relacionar os parâmetros estimados no segundo estágio com os níveis de temperatura e precipitação estimados no primeiro estágio. Para este cálculo, os níveis de temperatura e precipitação foram agregados em médias para cada município e segregados em anos de ocorrência de El Niño, La Niña e de neutralidade, sendo esses últimos utilizados para comparação. Essa segregação foi possível pela utilização dos intervalos em que se subdividiram as regressões ‘splines’, entretanto, por meio deles, foram subtraídas as médias de temperatura e precipitação referentes aos Eventos El Niño/La Niña daquela média referente aos anos de neutralidade no Oceano Pacífico. Assim, exatamente ao encontrar o efeito nas temperaturas e no regime de precipitação devido à ocorrência desses fenômenos, eles foram relacionados com os parâmetros estimados no segundo estágio. O produto encontrado foi o efeito sobre os níveis de produtividade da ocorrência dos eventos El Niño e La Niña.

Na Tabela 6, encontram-se expostos os resultados encontrados para a região Nordeste.

Tabela 6 - Variação média da produtividade das culturas de cana-de-açúcar, mandioca, milho e feijão para os estados da região Nordeste.

Cana-de-açúcar				
Região/Estados	Municípios	El Niño	La Niña	Produtividade Média
Nordeste	1297	-0,912	-0,066	21,29
Maranhão	113	-0,114	0,4212	18,64
Piauí	80	-0,837	0,879	23,62
Ceara	138	-0,266	0,969	17,81
Rio Grande Norte	147	-0,470	1,257	23,31
Paraíba	168	-0,198	0,974	25,52
Pernambuco	163	-0,079	0,023	23,59
Alagoas	87	-0,666	-1,898	18,69
Sergipe	74	-1,638	-2,410	22,05
Bahia	327	-3,94	-0,811	19,38
Mandioca				
Nordeste	1297	-0,139	-0,014	1,875
Maranhão	113	-0,100	-0,014	1,395
Piauí	80	-0,131	0,003	2,62
Ceara	138	-0,116	0,013	2,016
Rio Grande Norte	147	-0,090	0,010	2,059
Paraíba	168	-0,087	0,035	1,917
Pernambuco	163	-0,09	0,025	2,479
Alagoas	87	-0,149	-0,055	1,172
Sergipe	74	-0,175	-0,079	1,831
Bahia	327	-0,230	-0,061	1,589
Milho				
Nordeste	1297	-0,279	-0,028	0,522
Maranhão	113	-0,239	-0,007	0,537
Piauí	80	-0,274	-0,034	0,541
Ceara	138	-0,247	0,026	0,502
Rio Grande Norte	147	-0,206	0,005	0,339
Paraíba	168	-0,207	0,008	0,405
Pernambuco	163	-0,216	-0,014	0,408
Alagoas	87	-0,270	-0,001	0,437
Sergipe	74	-0,313	0,031	0,716
Bahia	327	-0,402	-0,121	0,697
Feijão				
Nordeste	1297	-0,180	-0,146	0,367
Maranhão	113	-0,176	-0,160	0,420
Piauí	80	-0,181	-0,152	0,264
Ceara	138	-0,176	-0,158	0,285
Rio Grande Norte	147	-0,174	-0,157	0,280
Paraíba	168	-0,172	-0,158	0,276
Pernambuco	163	-0,173	-0,151	0,304
Alagoas	87	-0,178	-0,150	0,370
Sergipe	74	-0,184	-0,145	0,379
Bahia	327	-0,193	-0,123	0,522

Fonte: dados da pesquisa.

De acordo com os resultados da Tabela 6 para os anos de El Niño, verificou-se que todos os Estados apresentaram perdas médias de produtividade em todas as culturas. Para os anos de La Niña, grande parte dos estados nordestinos apresentou ganhos médios de produtividade, e naqueles em que foram registradas perdas, relativamente, elas foram reduzidas. Dentre todos os estados, a Bahia foi o mais prejudicado por eventos El Niño, sofrendo reduções em torno de 20%, 14%, 58% e 37% no rendimento médio das culturas de cana-de-açúcar, mandioca, milho e feijão, respectivamente.

Verificou-se também que eventos La Niña geram reduções nos níveis de produtividade das referidas culturas na Bahia, mesmo que numa proporção relativamente menor. As perdas encontradas na região Nordeste estão relacionadas com eventos extremos decorrentes do El Niño, como secas severas e até mesmo uma redução drástica da umidade do ar. Esses eventos são, de acordo com INPE (2010), responsáveis pela redução de quase 80% do regime de chuva nordestino e os reflexos por eles provocados são capazes de comprometer todo o desempenho agrícola. Mediante essas informações, percebe-se que, em anos de El Niño, a agricultura de sequeiro é inviável em grande parte dos Estados nordestinos, principalmente, na Bahia.

De acordo com o INPE (2010), eventos La Niña marcam a chegada das frentes frias no Nordeste, promovendo níveis de precipitação acima da média anual, ainda que esses níveis sejam bastante irregulares e reduzidos para as necessidades fisiológicas das culturas. Esse fato é verificado na Tabela 6, pois o feijão, cultura sensível a esses eventos, sofre reduções de produtividade tanto em anos de ocorrência de El Niño quanto de La Niña.

Os resultados da Tabela 7 apresentam as variações dos níveis de produtividade agrícola nos estados da região Sul, de acordo como os registros de El Niño e La Niña.

Tabela 7 - Variação média da produtividade das culturas de milho, arroz, trigo e soja para os estados da região Sul.

Milho				
Região/Estados	Municípios	El Niño	La Niña	Produtividade Média
Sul	588	-0,960	-1,229	2,366
Parana	277	-0,714	-1,240	2,455
Santa Catarina	180	-0,874	-1,177	2,566
Rio Grande do Sul	131	-1,597	-1,278	1,901
Arroz				
Sul	588	-0,011	-0,255	2,135
Parana	277	0,050	-0,219	1,612
Santa Catarina	180	-0,019	-0,265	2,578
Rio Grande do Sul	131	-0,133	-0,317	2,630
Trigo				
Sul	588	-0,053	-0,677	0,783
Parana	277	-0,008	-0,710	0,998
Santa Catarina	180	-0,041	-0,647	0,389
Rio Grande do Sul	131	-0,110	-0,676	0,868
Soja				
Sul	588	-0,960	-0,255	1,221
Parana	277	-0,714	-0,219	1,606
Santa Catarina	180	-0,874	-0,265	0,647
Rio Grande do Sul	131	-1,597	-0,317	1,198

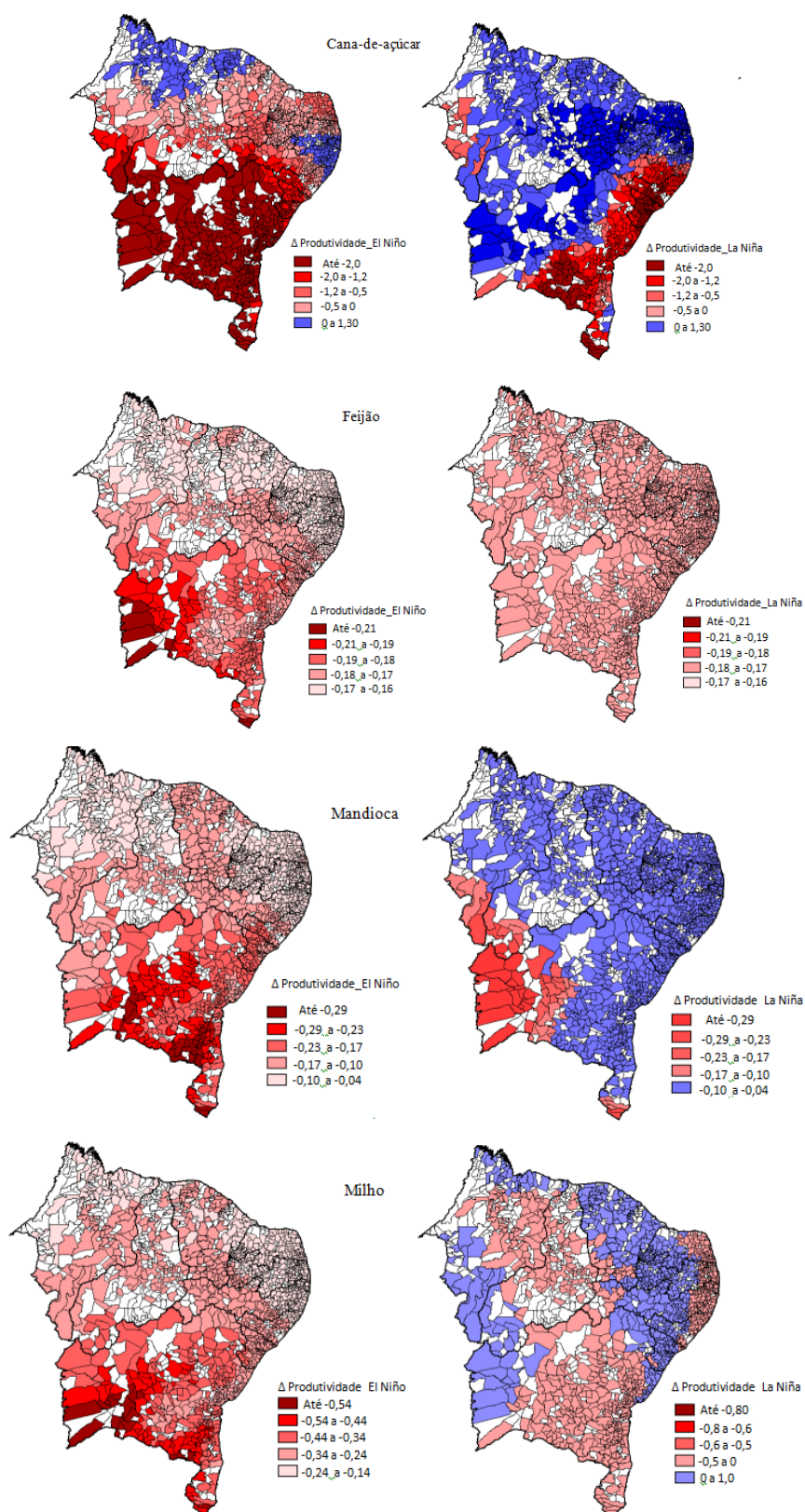
Fonte: dados da pesquisa.

Os resultados expostos na Tabela 7 revelam que toda a economia agrícola da região Sul é vulnerável aos eventos extremos decorrentes dos fenômenos El Niño e La Niña. Essas reduções de produtividade refletem perda de dinamismo da agricultura local, inviabilizando esforços produtivos e comprometendo a renda agrícola. O Rio Grande do Sul é o estado mais prejudicado e, em anos de El Niño, a média da produtividade sofre diminuições em torno de 83%, 6% e 13%, nas culturas de milho, arroz e trigo, respectivamente. No caso da soja, toda a produção é praticamente inviabilizada por causa dos eventos extremos desencadeados por fenômenos El Niño, como chuvas abundantes e tempestades. Entretanto, o arroz foi à cultura que apresentou as menores perdas, provavelmente, por se tratar de uma cultura que tradicionalmente é cultivada em áreas irrigadas (EMBRAPA, 2012).

Conforme o INPE (2012), todo o Sul do país é bastante afetado por fenômenos La Niña, que, no geral, provocam frentes frias e chuvas abaixo do normal. Em grande medida, essas condições climáticas resultam numa maior incidência de geadas e até mesmo em secas (estiagens). Por esse motivo, na Tabela 7, ressaltam-se as perdas de produtividade média nas

culturas de soja e milho, tipicamente culturas de verão cuja necessidade de água nesta fase é imprescindível. A cultura do milho demonstrou-se bastante suscetível a eventos El Niño/La Niña, pois, na ocorrência de qualquer um desses eventos, nota-se que a produtividade média dos estados do Sul é reduzida pela metade.

Os mapas da Figura 3 e 4 ilustram as perdas e ganhos médios de produtividade de todos os municípios produtores das regiões Nordeste e Sul. Esses resultados referem-se às perdas ou ganhos médios obtidos por esses municípios ao longo de 30 anos, e, referente a intensidades destas perdas, ao lado de cada mapa estão dispostas as respectivas legendas.



Fonte: Resultados da pesquisa. Confeção própria.

Figura 3- Mapas da variação de produtividade (t/ha) das culturas de cana-de-açúcar, feijão, mandioca e milho nos municípios da região Nordeste do Brasil, segundo os efeitos dos fenômenos El Niño e La Niña.

A região Nordeste é onde historicamente registraram-se as perdas mais severas relacionadas ao El Niño, pois, segundo dados do Senado Federal (1997), os efeitos deste fenômeno repercutem em secas severas. Os danos somam em perdas agrícolas, total comprometimento das atividades pecuárias, redução da disponibilidade hídrica e, na maioria dos municípios, afeta a segurança alimentar dos agricultores familiares. Nesse sentido, sendo esperados danos a produção agrícola nordestina, verificou-se neste estudo que, em anos de ocorrência de El Niño, as produtividades médias dos municípios produtores tendem a serem reduzidas. De acordo com a Figura 3, constatou-se prejuízos agrícolas em praticamente todos os municípios da referida região, ainda que grande parte destas perdas sejam verificadas nos municípios baianos. Todo o cerrado nordestino apresenta uma drástica redução nos níveis médios de produtividade, o que, em certo grau, inviabiliza o cultivo de gêneros como o milho e o feijão. As perdas não se concentram apenas no cerrado, elas passam pelo semi-árido e vão até as regiões litorâneas. Em grande parte, essas perdas são provenientes das secas que, quando conjugadas com fenômenos El Niño, tornam-se bastante severas e podem chegar a atingir todo o setor leste nordestino (INPE, 2012).

Outro efeito importante das estiagens refere-se a redução na produtividade de gêneros como feijão, milho e mandioca que, juntos, fazem parte da produção de subsistência de pequenos produtores rurais. Neste estudo, foi verificado que os municípios mais produtivos nessas lavouras eram aqueles situados no oeste e Norte da Bahia (cerrado nordestino), e, em conformidade com a Figura 3, foram eles os mais prejudicados. As perdas relacionadas a esses municípios podem chegar a 15% e 58% da produtividade média nas culturas de mandioca e feijão, e no caso do milho, todo o cultivo pode ser comprometido.

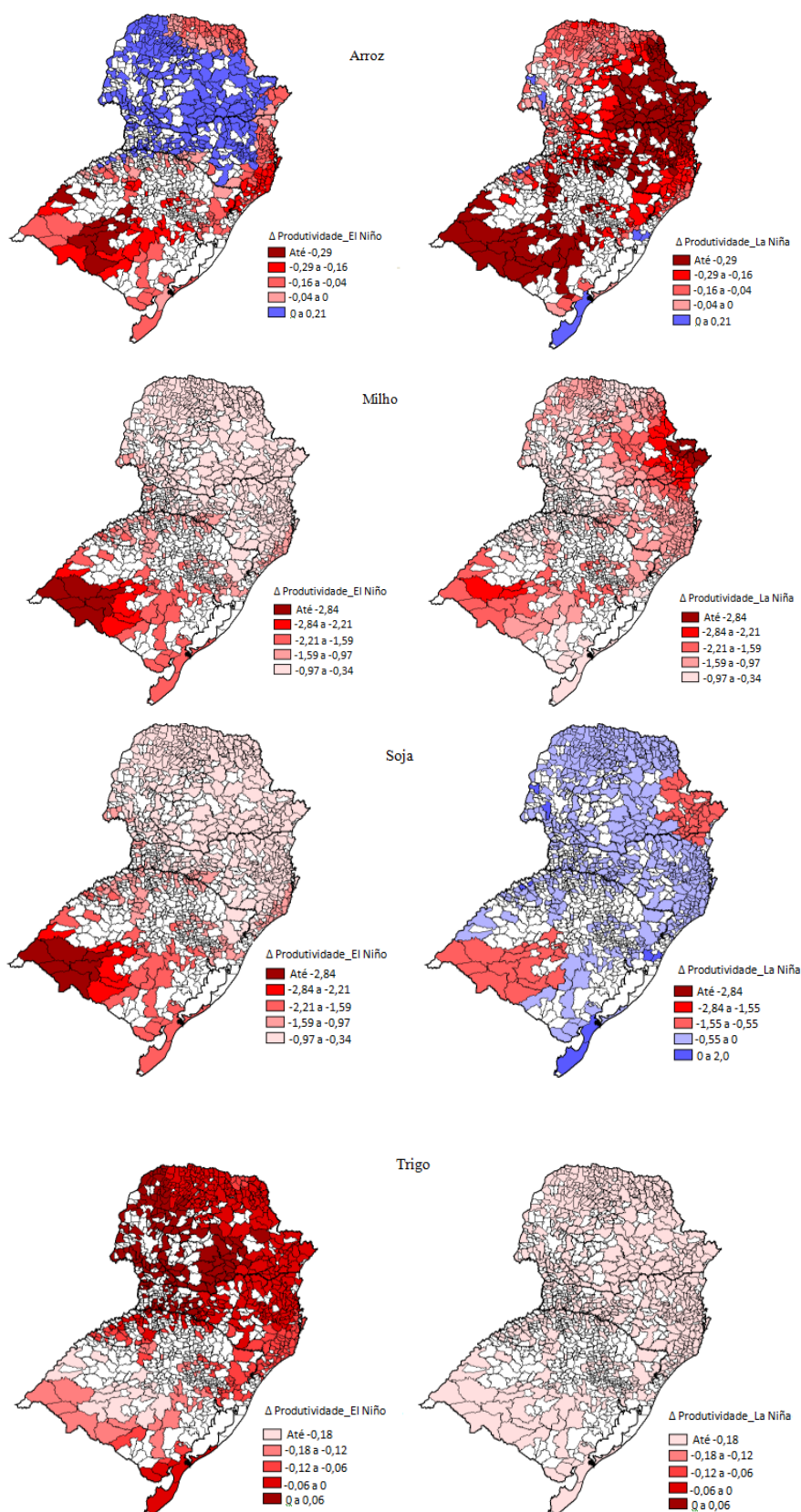
Os anos de ocorrência do fenômeno La Niña marcam a chegada das frentes frias a região Nordeste, o que, normalmente garante níveis de precipitação acima da média. Essa maior possibilidade de chuvas, quando efetiva nas fases em que as culturas mais precisam de água, permite um desempenho agrícola favorável. Esse fato é evidente na Figura 3, pois todos os mapas relacionados aos períodos de El Niño sobrelevam ganhos numa grande porção do território nordestino. As culturas de milho, mandioca e cana-de-açúcar apresentam resultados favoráveis em praticamente todo o semi-árido nordestino. A Bahia, estado mais prejudicado por ocorrência do El Niño, apresentou ganhos significativos nos municípios que se demonstraram como mais produtivos na média dos 30 anos de análise, considerados neste estudo.

Ressalta-se que no caso da mandioca, o desempenho de produtividade municipal não pode ser entendido como ganho, afinal os resultados alcançados apenas revelaram que esta

cultura tem sido pouco afetada por eventos La Niña. Deve-se destacar também o fato do desempenho agrícola municipal estar bastante relacionado em termos espaciais com os biomas desta região. Sobre o cultivo do milho, verificou-se que os ganhos são concentrados nas regiões de cerrado e no semi-árido nordestino, enquanto as perdas foram verificadas na região de Mata Atlântica e Caatinga. De acordo com o IBGE (2012), sobre as regiões de caatinga desenvolve-se a agricultura de sequeiro, na qual 27 milhões de pessoas estão ligadas ao cultivo da cana-de-açúcar.

Quando estudados esses resultados junto àquelas estimativas verificadas na Tabela 4, nota-se que nos meses de junho, julho e agosto, praticamente não há perdas agrícolas para as culturas nordestinas, que, neste período do ano, concentram-se os cultivos de milho, mandioca e feijão no litoral da Bahia ao Maranhão. Segundo o INPE (2012), no outono e no inverno, os fenômenos El Niño e La Niña não exercem impacto sobre o semi-árido e o oeste nordestino, mas, neste estudo, verificou-se que há impactos adversos sobre a produtividade agrícola, ainda que reduzidos.

A seguir, na Figura 4, foram expostos os resultados referentes as variações nos níveis médios de produtividade da atividade agrícola na região Sul.



Fonte: Resultados da pesquisa. Confeção própria.

Figura 4- Mapas da variação de produtividade (t/ha) das culturas de arroz, milho, soja e trigo nos municípios da região Sul do Brasil, segundo os efeitos dos fenômenos El Niño e La Niña.

De acordo com o ilustrado na Figura 4, foi verificado que assim como na região Nordeste, a região Sul apresenta perdas e potenciais ganhos de produtividade agrícola em anos de ocorrência de El Niño e La Niña. As perdas municipais provenientes da ocorrência de El Niño podem somar 13%, 88% e 22% da produtividade média das lavouras de arroz, soja e trigo, respectivamente. No caso do milho, cultura que se apresentou completamente vulnerável a eventos El Niño e La Niña, pode ter toda sua produtividade comprometida em alguns dos municípios do sudoeste do Rio Grande do Sul.

Conforme dados do INPE (2012), por se tratar de uma cultura de verão, a sojicultura tenderia a ser beneficiada pela ocorrência de El Niño. No entanto, verificou-se que, na média das estações dos anos estudados, a sua produtividade média sofreu reduções. Esses potenciais ganhos esperados para o cultivo da soja no Sul provêm do excesso de chuvas esperadas para esta região, mas, na média, o fato de não terem sido efetivos são decorrentes dos eventos extremos que desdobram da ocorrência de El Niño, como por exemplo as chuvas fortes e até mesmo inundações.

Com base nos impactos conhecidos do fenômeno El Niño e La Niña sobre o clima brasileiro, uma série de estratégias têm sido adotadas para mitigar as adversidades climáticas e, no caso da região Sul, a irrigação permite com que o cultivo do arroz não sofra perdas demasiadas de produtividade. Esse fato é ratificado pelos mapas da Figura 4 que, em geral, revelam potenciais ganhos de produtividade para a maioria dos municípios dos Estados do Paraná e de Santa Catarina.

Em anos de ocorrência do fenômeno La Niña, a região Sul é marcada por chuvas abaixo do normal e rápidas passagens de frentes frias. As consequências dessas anomalias climáticas, conforme destaca o INPE (2012), não recaem necessariamente sobre a atividade agrícola, pois, os níveis de precipitação ainda que reduzidos extrapolam as necessidades hídricas dessas culturas. Na média das estações dos anos, este estudo verificou que o fenômeno La Niña não impacta a produtividade da soja na maioria dos municípios do Sul e, no tocante ao cultivo do arroz, trigo e milho, são verificadas perdas de produtividade. Os maiores prejuízos foram verificados nas lavouras de milho do leste paranaense e do sudoeste do Rio Grande do Sul; nestas localidades houve o total comprometimento da produção agrícola. Certamente, esses prejuízos são explicados pelas temperaturas amenas que, em grande medida, favorecem a ocorrência de geadas.

5. CONCLUSÕES

O desempenho da atividade agrícola confere à economia brasileira quase um terço de toda a produção interna, garante a promoção de divisas externas na comercialização de commodities e ainda garante a disponibilidade e oferta de alimentos. No entanto, toda a produtividade da agricultura é vulnerável aos condicionantes climáticos, principalmente fenômenos de difícil previsibilidade. Nesse sentido, o presente estudo buscou averiguar os efeitos causados pelos fenômenos El Niño e La Niña na produtividade agrícola das regiões Sul e Nordeste do Brasil.

Os resultados referentes ao primeiro estágio desta análise evidenciaram que esses fenômenos com formação nos oceanos, como é o caso do El Niño e da La Niña, exercem influência direta sobre os níveis de precipitação e temperatura de todos os municípios brasileiros. Nas regiões Sul e Nordeste, os efeitos desdobram-se numa série de eventos climáticos extremos que, em grande medida, comprometem todo o desempenho agrícola. Foi verificado que toda a região Sul sofre com níveis de chuva acima do normal e temperaturas mais elevadas, enquanto na região Nordeste as secas tendem a se tornar ainda mais severas. Todos esses efeitos são diferenciados ao longo das estações do ano nestas regiões, o que, certamente, torna o regime de precipitação alterado e mal distribuído. Em anos de ocorrência do fenômeno La Niña, verificou-se chuvas em níveis abaixo do normal e temperaturas amenas na região Sul, enquanto na região Nordeste foi constatado níveis de precipitação acima da média combinados com temperaturas ligeiramente menores.

Os efeitos dessas alterações climáticas são notados no aumento da incidência de eventos extremos, como geadas, chuvas intensas, inundações, veranicos, tornados e, principalmente, períodos de estiagens que podem se estender em secas severas. Nessas circunstâncias, toda a produção agrícola de estados como o Rio Grande do Sul, Paraná e Bahia ficam comprometidas e restrita a algumas culturas. De acordo com os resultados do segundo estágio desta análise, constatou-se que culturas como a cana-de-açúcar e, em certa medida, a mandioca, são mais tolerantes as alterações climáticas provadas por fenômenos El Niño e La Niña. Em contrapartida, o milho e a soja foram àquelas culturas que se apresentaram como as mais vulneráveis a esses eventos.

Dentre os principais resultados, destaca-se que a Bahia e o Rio Grande do Sul foram os estados nos quais registraram-se as maiores perdas de produtividade média. Neles verificou-se que o cultivo do milho e da soja é completamente prejudicado devido a ocorrência de El Niño e no caso de alguns municípios, toda a produção pode ser dizimada, seja pela seca nordestina ou

pelo aumento das chuvas na região Sul. Os maiores prejuízos foram encontrados no cerrado nordestino, que registrou perdas em todas as culturas estudadas, e no sudoeste do Rio Grande do Sul.

Em anos de ocorrência de La Niña, notou-se que o semi-árido nordestino é favorecido nas lavouras de milho, mandioca e cana-de-açúcar, com exceção do feijão, que parece ser afetado pela irregularidade das chuvas ao longo das estações do ano. No Sul do país, nestes anos, verificou-se que a produtividade média das lavouras de milho, trigo e arroz, tende a ser reduzida pelos meses de estiagem.

No geral, as perdas foram encontradas para quase todas as culturas estudadas nas duas regiões, e, por esse motivo, políticas de mitigação e adaptação devem ser discutidas. A principal medida de adaptação aos efeitos de fenômenos El Niño seria a promoção de investimentos em melhoramento genético, pois, esses investimentos garantiriam diferentes cultivares adaptadas a temperaturas mais elevadas ou à falta de água. Outra medida seria a implementação da irrigação em regiões como o semi-árido nordestino, já que nela a agricultura de sequeiro pode tornar-se completamente inviável. Embora sejam essas as principais medidas de adaptação, ressalta-se que os eventos climáticos extremos resultantes dos fenômenos El Niño e La Niña têm elevado poder de destruição, e devido à sua intensidade, o mais adequado seria o investimento na tentativa de prevê-los. Nesse sentido, para uma adequada e exata previsão é necessário tanto equipes qualificadas quanto bases e tecnologias avançadas em meteorologia.

No caso da região Sul, providências ligadas à regularização e drenagem das ocorrências de cheias e inundações fazem-se necessárias, assim como a região Nordeste carece de um plano adequado de gerenciamento dos recursos hídricos. Além de todas essas medidas, não são dispensados esforços e medidas emergências, afinal eventos El Niño e La Niña são irregulares e aleatórios.

REFERÊNCIAS

ADAMS, R. M. *et al.* The economic consequences of ENSO events for agriculture. **Climate Research**. V.13, p. 165-172, 1999.

ADAMS, R. Global climate change and agriculture: an economic perspective. **American Journal of Agricultural Economics**, 71(5), p. 1272-79, 1989.

BNB. Banco do Nordeste do Brasil. **Informe Rural ETENE**. Disponível em: <http://www.bnb.gov.br/content/aplicacao/clientes/planilhas_forumularios/docs/etene-ano4_5.pdf>. Acesso em: jun. 2012.

BERLATO, M. A. *et al.* Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília: n. 5, v. 40, p. 423-432, mai. 2005.

BRASIL. Senado Federal. **Comissão El Niño – Relatório Final**. Brasília: set. 1997.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: jun. 2012.

CPTEC-INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: nov. 2011.

DENG, X. *et al.* Impacts of El Nino-Southern Oscillation events on China's rice production. **Journal of Geographical Sciences**, v.20, p. 3-16, 2010.

DÊSCHENES, O.; GREENSTONE, M. The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather. **American Economic Review**, v.1, p. 354-385, 2007.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/>>. Acesso em: jun. 2012.

EVENSON, R. E.; ALVES, D. C. O. Technology, climate change, productivity and land use in Brazilian agriculture. **Planejamento e Políticas Públicas**, v. 18, 1998.

FERES, J. G.; REIS, E.; SPERANZA, J. Mudanças climáticas globais e seus impactos sobre os padrões de uso do solo no Brasil. In: XXXVII Encontro Nacional de Economia 2009, Foz do Iguaçu. **Anais do XXXVII Encontro Nacional de Economia, 2009**. Disponível em: <www.anpec.org.br/encontro_2009.htm>. Acesso em: jun. 2012 .

GREENE, W. **Analysis Econometrics**. 3ª Ed. Chicago: Prentice Hall, 2003, 1200p.

GOULD, W. Linear Splines and piecewise linear functions. **Stata Technical Bulletin**. Set. 1993.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Acesso em: nov. 2011. Disponível em: www.ibge.gov.br

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Acesso em: mai. 2012. Disponível em: <http://www.inpe.br/>

IPEA – Data.. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Acesso: em mar. 2012. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/>

JOHNSTON, J.; DiNARDO, J. **Econometric Methods**. 4a Ed. New York: McGraw-Hill (1997)

LANG, G. Global warming and german agriculture: impact estimations using a restricted profit function. **Environmental and Resource Economic**, vol. 19, p. 97-112.

LEGLER, D. M.; BRYANT, K. J.; O'BRIEN, J. J. Impact of ENSO-related climate anomalies on crop yields in the US. **Climatic Change**. 1998.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. FBDS, 2012. Acesso em: jun. 2012. Disponível em: <http://www.fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-504.pdf>

MENDELSON, R., W. NORDHAUS, e D. SHAW. The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis. **American Economic Review**. 84(4): 753-71, 1999.

NOAA. **National Oceanic and Atmospheric Administration** – United States of America. Acesso em: nov. 2011 Disponível em: www.noaa.gov

PINTO, H. S.; ASSAD, E. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. Embrapa. São Paulo, 2008. Acesso em: out. 2011. Disponível em: www.embrapa.br/publicacoes/tecnico/aquecimentoglobal.pdf

ROBERTS, M. J.; SCHLENKER, W. **Is agricultural production becoming more or less sensitive to extreme heat? Evidence from U.S. corn and soybean yields**. NBER – National Bureau of Economic Research. Working Paper 16308, ago. 2010.

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

The Economics of Climate Change. House of Lords. Londres: jun. 2005. Disponível em: <http://www.publications.parliament.uk/pa/ld200506/ldselect/ldeconaf/12/12i.pdf>

TERACINES, E. B. **Impactos Econômicos do El Niño 97/98 na produção agrícola brasileira**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São Paulo, 2011. Acesso em: out. 2011. Disponível em: www.cbmet.com/cbm-files/12-f7ed5ed4db4f4e0d8bbe8d2_c00c764726.pdf

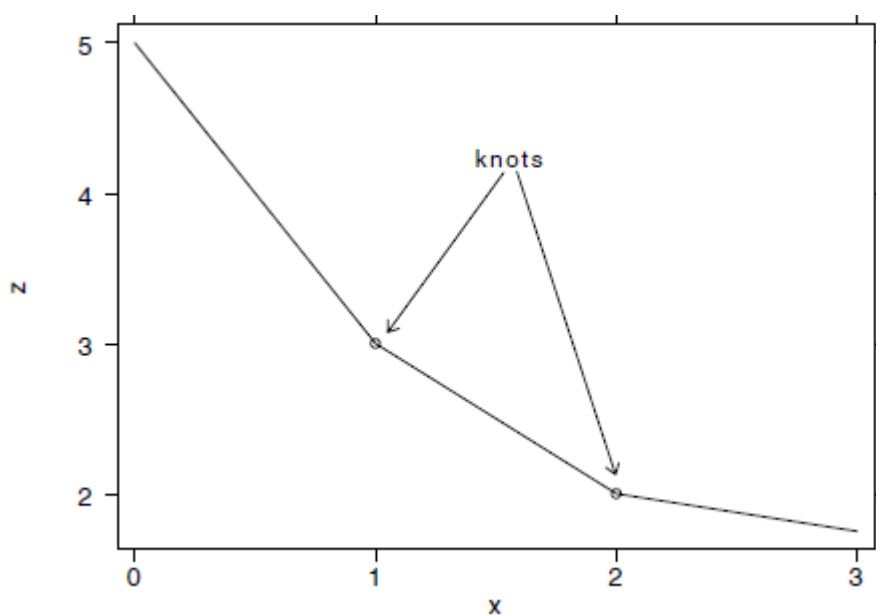
APÊNDICE A

A.1. Regressões *LinearSplines*.

Ao estimar uma regressão, normalmente é assumida uma relação linear entre as variáveis escolhidas para explicar a variável dependente. Regressões estimadas por *splines*, avaliam a relação existente entre essas variáveis por meio de segmentos estipulados para as variáveis explanatórias, ainda que a relação preservada seja linear. De acordo com Gould (1993), várias especificações podem ser estipuladas, como *splines* lineares, cúbicos e até mesmo cúbicos restritos.

No presente trabalho, a relação estudada entre as variáveis climáticas na primeira seção da metodologia fez uso de regressões do tipo *spline*. A especificação adotada, com fins de simplificação, foram *splines* lineares. Essa escolha se fundamentou na classificação da variação da temperatura da superfície do mar, que, conforme já exposto, classificam os fenômenos El Niño e La Niña.

Para fins explicativos, suponha uma regressão linear, o método *linear spline* permite relacionar as variáveis x em segmentos lineares. Essas quebras em segmentos permitem captar uma possível não-linearidade entre as variáveis, ainda que nos intervalos estipulados a relação preservada seja linear. Os segmentos lineares são definidos de forma que $x_0, x_1 \dots$, conhecidos como *knots*, são as extremidades dos intervalos. Um exemplo seria ilustrado pela figura a seguir extraída de Gould (1993). Nela os limites de x foram estabelecidos nos valores 2 e 3, permitindo, assim, traçar três intervalos lineares.



Fonte: Gould (1993).

Figura 1B – Gráfico de uma função do tipo linear *spline*.

Em termos algébricos, um modelo como o descrito na equação 1B, pode ser usado para aproximar relações não lineares nos dados amostrados.

$$z_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i \quad (1B)$$

Sendo assim, pela utilização de uma regressão linear *spline*, a equação 1B passa a ser escrita como na especificação 2B.

$$z_i = \beta_0 + f(t)x_i + \varepsilon_i, \quad (2B)$$

em que $f(t)$ denota um conjunto de parâmetros para cada segmento estipulado. Nessas circunstâncias, torna-se viável encontrar o efeito marginal das variações médias de x_i sobre a variável z_i .

Sobre a criação dos segmentos lineares a serem estimados, seja X_i , tal que $i = 1, 2, \dots, n$, as novas variáveis *splines*, k_i , correspondem aos *knots* definidos. Se X_i é o vetor das variáveis originais, Gould (1993) define os segmentos como:

$$X_1 = \min(X, k_1)$$

$$X_i = \max(\min(X, k_i), k_{i-1}) - k_{i-1}, \quad i = 2, \dots, n.$$

A.2. Aplicação da Metodologia Spline.

Para qualquer função contínua e linear, arbitrariamente, ela pode ser aproximada por uma função linear “em segmentos”. Um segmento linear representa a função para valores abaixo de S_1 , outro segmento linear representa a função para valores entre S_1 e S_2 , e, finalmente, um último segmento representa a função para valores acima de S_2 .

Os segmentos lineares são arranjados de forma que todos os valores S_1, S_2 e S_3 são chamados de *knots*. Nesta aplicação, os *knots* foram definidos, de acordo com NOAA (2012), nos limites de TSM que classificam as condições do Oceano Pacífico em formação de eventos El Niño e La Niña.

Formalmente, buscou-se estimar a seguinte função:

$$\begin{aligned} \text{Clima}_{it} &= \alpha_1 + \beta_1 TSM_t + \beta_2 TSM_{t-1} + \alpha_2 \text{latit}_i + \alpha_3 T + \mu_i + \varepsilon_{12it}, & \text{se } TSM < S_1 \\ \text{Clima}_{it} &= \alpha_2 + \beta_1 TSM_t + \beta_2 TSM_{t-1} + \alpha_2 \text{latit}_i + \alpha_3 T + \mu_i + \varepsilon_{13it}, & \text{se } S_2 \leq TSM \leq S_3 \\ \text{Clima}_{it} &= \alpha_3 + \beta_1 TSM_t + \beta_2 TSM_{t-1} + \alpha_2 \text{latit}_i + \alpha_3 T + \mu_i + \varepsilon_{14it}, & \text{se } TSM > S_4 \end{aligned}$$

Introduzindo variáveis dummies $d_{i+1} = 1$ se $TSM \geq S_i, i = 1, 2, 3$ e impondo a restrição que segmentos lineares, nos pontos definidos como *knots*, as três equações podem ser combinadas dentro da seguinte equação.

$$\text{Clima}_{it} = \pi_0 + \pi_1 z_1 + \pi_2 z_2 + \pi_3 z_3 + \pi_4 \text{latit}_i + \pi_5 T + \mu_i + \varepsilon_{15it}$$

Em que os regressores são.

$$\begin{aligned} z_1 &= TSM \text{ se } TSM < S_1 \text{ e } S_1 \text{ se } TSM \geq S_1 ; \\ z_2 &= 0 \text{ se } TSM \leq S_1, TSM - S_1 \text{ se } S_1 < TSM < S_2 \text{ e } S_2 - S_1 \text{ se } TSM \geq S_2 \\ z_3 &= 0 \text{ se } TSM \leq S_2, TSM - S_2 \text{ se } S_2 < TSM < S_3 \text{ e } S_3 - S_2 \text{ se } TSM \geq S_3 \end{aligned}$$

As funções *linearspline* são estimadas pela aplicação de mínimos quadrados ordinários (MQO) a equação. Assim, as estimativas são:

$$\hat{\beta}_1 = \hat{\pi}_1 , \quad \hat{\alpha}_1 = \hat{\pi}_0$$

$$\hat{\beta}_2 = \hat{\pi}_2 , \quad \hat{\alpha}_2 = \hat{\pi}_0 - (\hat{\pi}_2 - \hat{\pi}_1)S_1$$

$$\hat{\beta}_3 = \hat{\pi}_3 , \quad \hat{\alpha}_3 = \hat{\pi}_0 - [(\hat{\pi}_2 - \hat{\pi}_1)S_1 + (\hat{\pi}_3 - \hat{\pi}_2)S_2]$$

Vale destacar que os estimadores dos segmentos *linearsplines* não são os mesmos daqueles obtidos ao estimar uma regressão de MQO separadamente em cada intervalo.

APÊNDICE B

Tabela 1B – Registro histórico da ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.

Ano	Fenômeno	Ano	Fenômeno
1970	La Niña	1992	El Niño
1971	La Niña	1993	El Niño
1972	El Niño	1994	El Niño
1973	El Niño	1995	La Niña
1974	La Niña	1996	La Niña
1975	La Niña	1997	El Niño
1976	La Niña	1998	El Niño
1977	El Niño	1999	La Niña
1978	Neutro	2000	Neutro
1979	EL Niño	2001	La Niña
1980	El Niño	2002	Neutro
1981	Neutro	2003	El Niño
1982	El Niño	2004	El Niño
1983	El Niño	2005	El Niño
1984	La Niña	2006	El Niño
1985	La Niña	2007	La Niña
1986	El Niño	2008	La Niña
1987	El Niño	2009	El Niño
1988	El Niño	2010	El Niño
1989	La Niña	2011	Neutro
1990	Neutro	2012	La Niña
1991	El Niño		

Fonte: CPTEC – INPE, 2012.

Nota: Em negrito encontram-se destacados todos aqueles períodos nos quais os fenômenos El Niño e La Niña foram classificados como fortes/severos.

Tabela 2B – Níveis médios de precipitação (mm) e temperatura (°C) dos estados da região Nordeste do Brasil.

Estado	Precipitação (mm)			Temperatura (C)		
	El Niño	Neutro	La Niña	El Niño	Neutro	La Niña
Maranhão	136,5	136,69	210,75	26,96	26,62	26,89
Piauí	86,77	85,46	135,02	27,16	27,04	27,03
Ceará	74,1	72,04	98,99	26,19	26,17	27,45
Rio Grande Norte	68,12	67,93	65,80	26,10	26,11	26,67
Paraíba	71,53	73,25	64,14	25,16	25,15	26,38
Pernambuco	79,4	80,86	67,59	24,64	24,58	25,56
Alagoas	90,45	91,61	81,27	25,56	25,43	25,00
Sergipe	91,64	89,24	75,06	25,50	25,30	25,17
Bahia	80,53	81,16	84,91	24,35	24,05	25,06

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 3B – Níveis médios de precipitação (mm) e temperatura (°C) dos estados da região Sul do Brasil.

Estado	Precipitação (mm)			Temperatura (C)		
	El Niño	Neutro	La Niña	El Niño	Neutro	La Niña
Paraná	127,0	133,38	138,77	20,01	19,75	19,86
Santa Catarina	142,17	141,9	156,23	18,76	18,64	18,80
Rio Grande do Sul	146,74	144,87	156,86	19,60	19,48	19,54

Fonte: Resultados da pesquisa.