

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE ECONOMIA  
MONOGRAFIA DE BACHARELADO

**O efeito pluviométrico: Uma análise em painel na  
produtividade agrícola dos municípios brasileiros  
(2000- 2014)**

Mateus Magnus Pimentel Paape  
matrícula nº: 113171065

ORIENTADOR: Prof. Romero Cavalcanti Barreto da Rocha

JANEIRO 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE ECONOMIA  
MONOGRAFIA DE BACHARELADO

**O efeito pluviométrico: Uma análise em painel na  
produtividade agrícola dos municípios brasileiros  
(2000- 2014)**

---

Mateus Magnus Pimentel Paape  
matrícula nº: 113171065

ORIENTADOR: Prof. Romero Cavalcanti Barreto da Rocha

JANEIRO 2019

***As opiniões expressas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do autor***

"Se o conhecimento pode criar problemas,  
não é através da ignorância que podemos  
solucioná-los." - Isaac Asimov (escritor e  
bioquímico)

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, devo agradecer à minha mãe, que, além de me gerar e criar a mim e meus irmãos, viúva desde meus 11 anos, me deu toda a condição de perseguir meus sonhos como estudante de Economia, conquistar uma graduação - algo que a ela, até o momento, não foi possível conquistar -, por ser meu porto seguro ao longo de decisões difíceis e por me amar tão intensamente.

Sem dúvida jamais poderia deixar de agradecer à Yasmine Adoracion, que esteve presente ao longo de toda a minha jornada durante a graduação, foi minha companheira, conselheira, amiga e inspiração. Pela paciência em me ajudar com a formatação, e por ser praticamente meu dicionário de normas ABNT.

Ao meu Orientador, professor Romero Cavalcanti Barreto da Rocha, que me acompanhou nas disciplinas de Estatística II e Econometria I no instituto de Economia, por ser um exemplo profissional do qual busco me aproximar ao longo de minha vida. Obrigado pela paciência, pela orientação e motivação que propiciou esse trabalho.

Ao amor e fraternidade de meus irmãos, Márcio e Maurício, com quem espero comemorar todos esses momentos também em suas vidas.

À minha irmã Marcela, cuja formatura tive o prazer de prestigiar e que me motivou a continuar no caminho já percorrido por ela.

Aos colegas e companheiros do instituto de Economia da UFRJ que participaram dessa longa jornada.

## RESUMO

Este Trabalho avaliou empiricamente o efeito da precipitação na produtividade agropecuária através de variações *cross-section* ao longo do tempo via acompanhamento de painéis de municípios em base anual, controlando para efeito fixo, com os dados da Pesquisa de Pecuária Municipal (PPM) e Produção Agrícola municipal (PAM) para o período 2000-2014. O estudo apontou para uma forte relação não linear entre o efeito pluviométrico e a produtividade na produção de grãos e se manteve significativo para rebanho bovino mesmo quando controlado para a temperatura. Fez-se testes e críticas para os resultados à luz de modelos com outras variáveis e testes de placebo que corroboram a robustez da análise deste trabalho que pretende complementar a literatura sobre economia do clima no Brasil.

## SUMÁRIO

<b>I - INTRODUÇÃO</b> .....	5
<b>II - LITERATURA RELACIONADA</b> .....	6
II.1 - Revisão da Literatura: Economia do Clima .....	6
II.2 - Estudos sobre o Brasil e a Economia do Clima.....	11
<b>III - DADOS E ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS</b> .....	15
III.1 Dados .....	15
III.2 Estatísticas descritivas .....	16
<b>IV - ESTRATÉGIA EMPÍRICA E RESULTADOS</b> .....	18
IV.1 Metodologia.....	18
IV.2 EFEITO PLUVIOMETRICO NA PRODUTIVIDADE .....	20
IV.3 Robustez do modelo .....	26
<b>V - CONCLUSÃO</b> .....	27
<b>VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	28

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Perdas na Agricultura .....	12
Tabela 2.1 - Estatísticas Descritivas Municípios Brasileiros de 2000 2014.....	17
Tabela 2.2 - Estatísticas Descritivas Municípios Brasileiros corte por regiões de 2000 – 2014.....	17
Tabela 3.1. Regressões de Grãos e Bovinos por hectare.....	21
Tabela 3.2 Regressões de Grãos por hectare e bovinos interagidas com pobreza.....	22
Tabela 3.3 - Regressões por Regiões.....	25
Tabela 4.1 - Regressões de Rebanho Suíno e Produção de não Grãos para Robustez.....	26
Tabela 4.2 - Regressões com placebo (variável chuva em $t + 1$ ).....	27

## I - INTRODUÇÃO

O setor agropecuário brasileiro respondeu no ano de 2017, segundo estimativas da confederação da agricultura e pecuária do Brasil, por 23-24% do produto interno brasileiro, considerando a contribuição do setor em todas as suas cadeias (IBRAHIM, 201-?)<sup>1</sup>, além disso o tamanho da produção pecuária também é de grande magnitude quando comparado com a produção de outros países. Atualmente o Brasil é um dos maiores atores internacionais no agronegócio e conta com o maior rebanho de bovinos do mundo (ABIEC, 2018 p.31)

O foco deste trabalho é o impacto do choque de chuvas na produtividade agropecuária, haja vista as conjecturas de mudanças climáticas provocadas pelo aumento de concentração de gases do efeito estufa.

Recentemente, a questão climática ganhou destaque na Ciência Econômica com a entrega do 50° prêmio Nobel em Economia atribuído ao economista americano William Nordhaus, que integrou em seu trabalho mudança climática e inovação tecnológica à análise macroeconômica de longo prazo.

A estratégia empírica utilizada para a estimação dos efeitos da variável chuva na produtividade agropecuária foi de organizar os dados em painel com controles para efeito fixo, em que se utilizou inicialmente uma abordagem Linear-Log e posteriormente Linear-Linear para as variáveis dependentes de produtividade agrícola e pecuária com especificações não lineares para o segundo modelo em que supomos um efeito quadrático na variável dependente com relação a variação de chuvas.

Este trabalho foi organizado em seis seções, a seção II com o tópico II.1 que se fez uma breve revisão bibliográfica de trabalhos que mediram o efeito clima-renda e clima-produção, no crescimento e desenvolvimento econômico e o tópico II.2 em que os trabalhos explicitados dizem respeito a estudos dessa relação para o Brasil, com abordagens de mensuração de perdas financeiras na agricultura via modelos de equilíbrio geral considerando os cenários expostos pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* de mudanças climáticas e outros trabalhos utilizando métodos econométricos, funções de produção e métodos ricardianos para medir o efeito da mudança climática na economia brasileira.

Na seção III, analisa-se as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas no trabalho para o agregado e em corte nas diversas regiões. Na seção IV empregamos a análise empírica

---

<sup>1</sup> Disponível em <https://www.cnabrazil.org.br/artigos/agro-maduro-e-moderno>

com os dados em painel, também fizemos testes de placebo e rodamos regressões para testar a robustez de nossa análise. Na mesma seção fizemos uma exposição da metodologia adotada no trabalho. Na seção IV.2 analisamos os resultados do efeito pluviométrico para os municípios como um todo e depois interagimos os resultados com uma variável de pobreza no município e cortamos a amostra em regiões para estudar os efeitos e testar nossa especificação quadrática nas cinco regiões brasileiras. No tópico IV.4 testamos a robustez de nosso modelo com outras variáveis e testes de placebo e oferecemos uma breve conclusão na seção V.

## II - LITERATURA RELACIONADA

### II.1 - Revisão da Literatura: Economia do Clima

Atualmente, quando se pensa nos efeitos de variação da taxa de precipitação pluvial e variação média na temperatura, associam-se estas variáveis climáticas e suas variações a eventos altamente correlacionados com o aquecimento global. Algumas consequências do aquecimento global em geral são bastante conhecidas, como poderíamos citar: o aumento da temperatura média dos oceanos e da superfície, alteração de ecossistemas (que podem levar a extinção de espécies), aumento do nível do mar e outros fatores presentes nas discussões sobre mudanças climáticas.

Não é muito comum, entretanto, que os modelos econômicos de desenvolvimento levem em consideração a importância do clima e da chuva na Economia. Todavia, apresentaremos alguns autores que discutiram o peso dessas variáveis para explicar desenvolvimento e crescimento econômico, além de trabalharem com estratégias econométricas para medição do efeito e significância destas na economia, e trazer à tona projeções de mudanças futuras no clima estimadas pelo IPCC<sup>2</sup> até o ano de 2050 e seus efeitos na economia.

Kamarck, e Andrew M (1978), em *“The tropics and economic development”*, ponderam que, apesar de o clima não ser um obstáculo absoluto ao desenvolvimento econômico, existem argumentos relevantes de que economias localizadas nos trópicos enfrentam problemas como dificuldades na agricultura, desvantagens em extração mineral e

---

<sup>2</sup> O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) é uma organização científico-política que reúne esforços de pesquisadores de diversos países para produzir relatórios e estudos sobre mudança climática e seus respectivos impactos.

situações como trabalhar sob calor e umidade mais complicadas do que os países localizados em zonas temperadas.

Os autores defendem que o popular contraste entre “países ricos do norte e países pobres do sul” deveria ser substituído, por questão de adequação, pelo contraste “países ricos de zonas temperadas e países pobres de zonas tropicais”. Também sinalizam a negligência dos economistas, até a publicação de seu trabalho, em não observar o clima como fator relevante, pois mesmo em modelos puramente matemáticos, as variáveis climáticas não foram efetivamente consideradas em seus trabalhos (KAMARK, ANDREW M, 1978, p.4).

Apesar disso, os autores acreditam na possibilidade de os países tropicais se adaptarem e aumentarem a produtividade agrícola, superando inclusive a de países temperados, haja vista que esses países tropicais enfrentarão pestes, doenças e predadores para controlar, além adaptações e restrições de recursos hídricos às culturas, luz do sol e calor, forçando-os a superarem essas condições via incremento de produtividade. Desse modo, superando a produtividade dos países de climas temperados.

Gallup, Sachs e Mellinger (1999) também sinalizaram que aspectos geográficos cruciais vinham sendo negligenciados em estudos econométricos formais entre países e alertaram para o papel destes aspectos no crescimento econômico. Os autores estimaram um modelo crescimento econômico per capita entre 1965 e 1990 em que analisam que países situados nos trópicos, tudo o mais constante, cresceram anualmente em média 1,1 pontos percentuais mais lentamente do que os situados nas zonas temperadas, assim como países mais distantes da costa cresceram 1,2 pontos percentuais em média a mais que os países costeiros.

Um dos fatores apontados pelos autores sobre a questão, segundo eles, é que doenças como: cólera, lepra e malária são altamente correlacionadas com o clima dos trópicos, adicionando obstáculos ao crescimento destes países mais pobres.

Féres, Reis e Speranza (2018) acerca dos trabalhos publicados sobre os efeitos climáticos, afirmam que os estudos pioneiros DECKER; JONES; ACHUTUNI,1985; ADAMS, 1989; foram chamados por modelos “agronômicos” e trabalhavam com uma estimativa da função de produção de determinada cultura especificando os fatores de produção e como a variação destes fatores afetam a produtividade das culturas analisadas.

Segundo Féres *et al* (2018) a abordagem do modelo hedônico (ou ricardiana) busca reduzir a sobreestimação da modelagem agrônômica. Ela foi proposta por Mendelsohn, Nordhaus e Shaw (1994), que incluindo fatores geográficos buscaram estimar o preço das terras, supondo-se um mercado de terras eficiente.

Mendelsohn, Nordhaus e Shaw (1994) utilizam um modelo hedônico, para estimar por *cross-section* o impacto de temperatura, chuva, características do solo e outras variáveis no valor da terra e receitas de fazendas nos quase 3000 condados americanos.

A abordagem também é denominada ricardiana e usa o preço da terra como medida de produtividade. Uma vez assumida a hipótese concorrência perfeita nos mercados de fatores e de produtos, supõe-se que o mecanismo de mercado operaria via preços em conformidade com as decisões de otimização dos produtores frente às mudanças climáticas que afetarão a produtividade agrícola, que, por sua vez, será refletida no preço das terras.

Os autores encontraram significância em especificações quadráticas tanto para temperatura quanto precipitação, e observam que a relação destas com a produtividade é não linear. Os resultados em seus diferentes modelos sugerem que choques de temperaturas no inverno e verão têm efeitos negativos nas colheitas, e encontram impactos positivos de chuvas na primavera e inverno.

Posteriormente o trabalho é criticado por Deschenes e Greenstone (2007) que argumentam que a abordagem ricardiana sofre de viés nos coeficientes estimados ocasionado pela omissão de variáveis importantes e não quantificáveis, como por exemplo, qualidade do solo ou do produto plantado, que tem forte poder explicativo no valor de terras e no produto.

Deschenes e Greenstone (2007) propuseram uma solução para o problema utilizando análise em painel e especificações não lineares. Eles encontraram evidências de ligação entre o lucro da agricultura americana e o clima. Para mensurar o efeito analisou-se um painel controlando para efeitos fixos não observáveis que poderiam gerar viés por problemas de especificação do modelo e tendências temporais dos condados americanos para capturar características invariantes no tempo, como por exemplo a qualidade dos grãos e sementes empregados. Eles mediram a relação entre clima e lucros na agricultura com a finalidade de mensurar consequências dos cenários climáticos conjecturados na literatura sobre aquecimento global.

Os autores encontraram relações estatisticamente significantes entre clima e as culturas de soja e milho e alegam, mais adiante em seu trabalho, que a estimação deles exagera qualquer possível efeito adverso da mudança climática porque ela reflete a resposta de curto prazo a flutuações e não permite adaptações que teoricamente ocorrem no longo prazo onde o efeito poderá ser ínfimo ou até benéfico à cultura.

Este Argumento foi criticado em Schlenker e Roberts (2008) pois, segundo os autores, elementos variantes no tempo como estocagem, irrigação e efeito preço podem não ser passíveis de adaptações contínuas pelos produtores no longo prazo, eles exemplificam; no curto

prazo, pode-se aumentar a irrigação uma vez, mas nada garante que o aumento se sustentará continuamente.

Eles também pontuaram que os autores não deveriam ter incluído efeitos fixos dos condados na abordagem econométrica, tendo em vista a possibilidade de que estes fossem perfeitamente colineares com relação ao clima, e propuseram em seguida uma estratégia com mensuração alternativa: Schlenker e Roberts (*idem*) estimaram o impacto da mudança climática na agricultura americana com dados em painel condado-dia para o intervalo de 1950 até 2005. O estudo mostrou uma relação não linear robusta entre os rendimentos das lavouras de soja, milho e algodão de quase todos os condados americanos com o clima.

Os pesquisadores constataram que o crescimento das plantas aumenta aproximadamente de modo linear até uma temperatura tal em que ocorre uma inflexão e o acréscimo de calor leva a um declínio da produtividade. Segundo o estudo, os pontos de inflexão estão em torno de 29°C para milho 30°C para soja, e 32°C para algodão.

Dell *et al* (2009) utilizam dados de corte transversal e em painel para medir o efeito do clima em variáveis econômicas. O trabalho trouxe dois importantes *insights* para o estudo da relação Clima-Renda: o primeiro foi a utilização da abordagem subnacional com a inclusão de dados para municípios; e o segundo foi a contribuição de um *framework* teórico para reconciliação dos efeitos analisados em corte transversal com a análise de choques climáticos nos painéis.

Dell *et al* (*idem*) trabalharam não somente com cortes transversais entre países, mas também o fizeram em municípios de 12 países situados nas Américas. A relação Clima-renda, obtida com os dados *cross-country* dos anos 2000, induz a entender que, no mundo, a renda nacional *per capita* diminuiu em 8,5% a cada elevação de um grau Celsius (1°C) na temperatura média, e aponta que a temperatura sozinha tem poder de explicar os 23% da variação na renda entre países.

Já a análise transversal entre os municípios, ainda que em um grau inferior de significância, também assinalou uma relação negativa. No entanto, o efeito observado é de 1,2-1,9% de declínio na renda municipal *per capita* associada ao aumento de um grau Celsius (1°C).

O fato de que a relação da análise de corte transversal entre as variáveis se mantém significativa para um estimador “*between*” dos países, bem como no estimador “*within*” indica

que as características omitidas na análise *cross-country*, feita no trabalho supracitado, não explicam totalmente a relação transversal entre temperatura e renda<sup>3</sup>.

Hsiang (2010) através de uma análise em *cross-section* estudou 28 países localizados no caribe e isolou a influência direta dos ciclones tropicais, importante correlato, e encontrou resultados que apontam uma perda de 2,4% associada a elevação de um grau Celsius (1°C) na produção não-agrícola, resultados estes que excedem substancialmente às perdas na produção agrícola de 0,1% para a elevação de 1°C.

A chave para o entendimento desta constatação feita por Hsiang está na influência do calor na produtividade do trabalho em que o impacto é provocado pelas condições estressantes às quais o trabalhador está sujeito com a elevação de temperatura, provocando uma subestimação dos custos globais da mudança climática.

Em Dell *et al* (2014), os autores reconhecem que a literatura sobre a influência do clima na atividade econômica já datava de escritos gregos antigos e percorre desde a assertiva de Charles Montesquieu, sobre como o excesso de calor faz o homem lento e deprimido em seu livro *O Espírito das Leis* (1748), até publicações mais recentes, já no século XXI.

Os autores denominam a literatura sobre a qual se debruçam como *A Nova Literatura da Economia do Clima*<sup>4</sup>, que conta com uma metodologia em *cross-section* e painel para analisar os impactos do clima em diferentes áreas, como: produção agrícola, demanda por energia, produtividade do trabalho, taxa de mortalidade, produção industrial, exportações, conflitos migratórios e crescimento econômico. O trabalho fornece questionamentos importantes sobre a condução desses estudos e choques de temperatura, chuvas e vendavais em diferentes tipos de países e contextos.

O artigo é uma coletânea de estudos sobre os quais os autores explicitam os modelos formais matemáticos e suas formas simplificadas, buscando esclarecer a quais questionamentos os modelos pretendem responder. Dentre os questionamentos observamos modelagens de efeitos não Lineares - que, inclusive, será uma das abordagens utilizadas nesse trabalho -, calibração de magnitudes dos efeitos climáticos, com modelos que especificam funções de danos agregados por meio de equações diferenciais, além de tratamento de efeitos heterogêneos.

---

<sup>3</sup> Para mais detalhes sobre estimadores “*between*” e “*within*” ver CAMERON, A.C; TRIVEDI, P.K. *Microeconometrics: Methods and applications*. New York: Cambridge University press, 2005. Cap. 21, p. 697-740

<sup>4</sup> Tradução livre do título “The New Climate–Economy Literature”

Eles assinalam estudos que demonstram efeitos diferenciados de temperatura e pobreza, como que conflitos e violência são mais fortes em altas temperaturas quando o país em questão é pobre. Também apresentam modelagens de efeitos dinâmicos do clima para relações com o *output* econômico no longo prazo e o mecanismo de adaptação de fatores climáticos na produção.

Já em Dell *et al* (2012) foi feito um amplo trabalho construindo um *dataset* de temperatura e precipitação para cada país do globo em base anual para os anos de 1950 a 2003 que foram combinados com os dados de oferta agregada. Posteriormente analisou-se a relação histórica entre mudanças em chuva e temperaturas dos países com suas performances econômicas para medir o efeito da flutuação ano-a-ano em temperatura e precipitação por meio de painel com controles para efeitos fixos e *dummies* para países pobres, quentes e agrícolas, interagidas com temperatura e precipitação.

Os resultados do trabalho mostraram grandes efeitos estatisticamente significativos ao nível 1 %, com sinais negativos para altas temperaturas em crescimento, somente para os países pobres, em que o incremento de 1°C tem efeito de redução do crescimento econômico no ano em 1,3 pontos percentuais. Em países ricos, mudanças em temperaturas não tiveram um efeito robusto discernível no crescimento, enquanto a precipitação mostrou efeitos suaves no crescimento de países pobres e ricos.

Os autores expuseram os choques climáticos na economia por dois canais: o efeito direto do clima no nível da oferta, por exemplo, reduzindo os rendimentos agrícolas; e o efeito do clima interferindo na habilidade de crescimento, afetando investimentos e instituições que influenciam o crescimento da produtividade. Os estudos com *Lags* mostraram efeitos persistentes ou temporários no crescimento econômico apontando para decorrências severas para os países pobres, com alertas também para o aquecimento global e suas consequências para esses países.

## II.2 - Estudos sobre o Brasil e a Economia do Clima

Em M. R. Allen *et al* (2018) o IPCC<sup>1</sup> estimou com alto grau de confiança que a Terra esquentará 1,5°C em relação aos níveis pré-industriais até o ano 2040 devido a ação do homem via emissão de gases do efeito estufa<sup>2</sup>. O relatório também aponta que o planeta já aqueceu em quase 1°C (0,87°C), com margem de 0,12°C para mais ou para menos, quando comparado ao quinquênio 1850-1900. A importância da discussão dos efeitos proporcionados por alterações climáticas se faz relevante, portanto, em diversos aspectos econômicos, uma vez que seus

efeitos induzem a alterações de taxas de precipitação, radiação solar e concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

O relatório “*Economia da Mudança do Clima no Brasil*”, coordenado por Margulis et Dubeux, também utilizou os cenários projetados no IPCC e analisou por meio de um modelo de equilíbrio geral computável os impactos causados pela mudança climática.

As simulações indicam uma perda permanente do PIB brasileiro em 2050 da ordem de 0,5% podendo chegar a 2,3% entre os cenários simulados. No que diz respeito às regiões, conclui-se que as mais pobres sofrerão o maior impacto da mudança climática com intensificação da desigualdade regional: ganhos de até 2% no Sul e perda de até 3% na região Centro Oeste, além de perdas de até 3,1% na região Norte, 2,9% Nordeste e 2,4% no Sudeste.

Para os setores no pior cenário - aqueles em que houver menor redução de gases do efeito estufa e, por consequência, maior aquecimento - projetam-se perdas de: 2,9% na agropecuária nacional, 1,3% na Indústria e 1,4% nos serviços nos anos de 2050. O alerta maior parece ser a constatação de que as perdas projetadas para o cenário em que a trajetória de aumento de emissão de poluentes não se reduz acumularão, até o ano 2050, um valor maior do que o PIB de 2008.

Alguns dos resultados do relatório supracitado com relação às mudanças climáticas indicam perdas em quase todas as atividades agrícolas, caso o cenário projetado pelo IPCC se realize. À exceção da plantação de Cana, quase todas as atividades sofrerão perdas milionárias ao ano.

**Tabela 1 - Perdas na Agricultura**

<b>Agricultura</b>	<b>Perda de produtividade média</b>	<b>Perda Anual, Cenário A2 – BR</b>
Arroz	-12% (CO) e +44% (S)	R\$ 530 milhões/ano
Algodão	----	R\$ 408 milhões/ano
Café	----	R\$ 1.597 milhões/ano
Feijão	8% (CO) e +37% (S)	R\$ 363 milhões/ano
Soja	-0,7 (CO) e +21% (S)	R\$ 6.308 milhões/ano
Milho	-27% (NE) e -10% (S)	R\$ 1.511 milhões/ano
Cana	+66% (S) e +34% (SE)	----

Fonte: Dados retirados de Economia da Mudança do Clima no Brasil (2010).

Siqueira *et al* (2000) traçaram cenários climáticos em acordo com as projeções de mudanças advindas do efeito estufa e aquecimento Global que elevarão a temperatura do planeta e alterarão a taxa de precipitação pluvial e radiação solar. Os autores avaliam as implicações diretas destas mudanças na agricultura Brasileira.

Os cenários corroboram redução média de 31% na produção nacional de Trigo com maiores efeitos nas regiões Centro-Sul; para milho e soja, respectivamente, os efeitos são decréscimos médios que correspondem 16% e acréscimo 27% em média. O aumento é resultado do benefício do incremento de concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Os resultados seguem até o horizonte de 2050, que, segundo os autores, é o ponto de corte em que as consequências climáticas sobre a produção serão intensificadas.

Assad *et al* (2004) a partir dos três cenários de mudança climática apontados pelo *IPCC* em que haverá, segundo as conjecturas do relatório; incremento da temperatura média do ar entre 1,3°C e 5,8°C e possivelmente um aumento de 15% na taxa de precipitação pluvial, em um dos cenários. Os autores analisaram os efeitos na cafeicultura brasileira, atualmente distribuídas em Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Paraná. Segundo o estudo, os aumentos de temperatura média e precipitação em 15% nos cenários propostos tornam os estados inaptos para a produção do café da espécie *Arábica*, devido ao excesso de demanda evapotranspirativa<sup>5</sup>, provocando deficiência hídrica, independente do aumento da taxa de precipitação pluvial.

Streck e Alberto (2006) realizaram um estudo numérico de correlação de *Kendall Tau* - que mede significância de associações estatísticas entre variáveis - simulando mudanças de temperatura para os próximos 100 anos em Santa Maria (RS), mantendo-se a precipitação pluvial constante ou com aumentos, com mudanças na temperatura e dobrando-se a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera (CO<sub>2</sub>) em diferentes cenários para avaliar o impacto sobre os rendimentos nas culturas de trigo, soja e milho.

Os autores concluem que, embora o Dióxido de Carbono seja um dos substratos primários para a fotossíntese, e por isso cause um aumento na taxa de crescimento das plantas (STRECK & ALBERTO *apud* Taiz & Zeiger, 1991), se o aumento de concentração desse elemento vier acompanhado do aumento de temperatura do ar, esse aumento na taxa de crescimento gerado será compensado por um encurtamento no desenvolvimento das plantas (STRECK & ALBERTO *apud* Butterfield & Morison, 1992; Siqueira *et al.*, 2001), dentre outras razões explicitadas pelos autores, rejeitando-se a hipótese nula de correlação não significativa em intervalos de 1% e 5% de confiança, em acordo com suposições de desvios estatisticamente significantes nas três culturas mencionadas, por conta dos fatores climáticos testados no estudo.

---

<sup>5</sup> Perda de água de um ecossistema para a atmosfera, causada pela evaporação a partir do solo e pela transpiração das plantas, etapa final do ciclo da água.

Sobre as aplicações econométricas ao setor agrícola brasileiro, Sanghi *et al* (1997) propôs um modelo hedônico para medir os efeitos do clima sobre o preço da terra, seguindo a abordagem de Mendelsohn, Nordhaus e Shaw (1994). Os autores estimam os efeitos decorrentes de um aumento uniforme de 2,5 °C da temperatura e de 7% da precipitação em todos os municípios brasileiros e encontram um efeito líquido negativo no valor da terra agrícola no Brasil, com reduções entre 2,16% e 7,40% no preço médio da terra (FÉRES, REIS E SPERANZA, 2018).

Evenson e Alves (1998) expandiram o modelo ricardiano de mudança climática, a fim de incluir serviços de tecnologia e efeitos de programas de pesquisa em agricultura no uso de terras, concluindo que o progresso tecnológico poderia levar a uma redução do uso de áreas florestais para a agricultura. Os resultados mostraram efeitos positivos em chuvas e negativos para a temperatura no desmatamento para produção agrícola, de modo que o efeito líquido resultante é negativo para as mudanças climáticas, com variações para as regiões.

O aumento de 3°C de temperatura e 3% na taxa de precipitação, segundo os autores, reduziria o uso da área florestal em 1,84% e aumentaria a área de pastagem em 2,76%. O trabalho também identifica as regiões Norte e Nordeste, assim como parte da região Centro-Oeste, como as mais vulneráveis aos efeitos da mudança climática, enquanto os municípios localizados na região Sul e Sudeste poderiam até se beneficiar de tais mudanças.

Féres, Reis e Speranza (2018) avaliam o impacto das mudanças climáticas por um modelo econométrico com dados em painel controlando para efeitos fixos seguindo a abordagem proposta por Deschenes e Greenstone (2007) para os municípios brasileiros no período 1970-1995.

Os pesquisadores, no segundo estágio de seu trabalho, após avaliarem os impactos das variações climáticas na lucratividade agropecuária, projetaram perdas para o setor com base nos relatórios do *IPCC* sobre consequências do aquecimento global. O trabalho estimou uma redução de 0,8% na lucratividade agrícola nos cenários de baixas emissões de gases do efeito estufa e uma redução de 3,7% para o cenário mais pessimista com relação a redução do aquecimento global. O agravante parece ser que, no cenário de maior emissão, as perdas podem chegar a 26% na lucratividade agrícola do Brasil no período simulado de 2070-2100, passível de alcançar os seguintes percentuais na perda de lucratividade no mesmo cenário para as regiões mais afetadas: Centro-Oeste 161,8%, Norte 124,6% e Nordeste 51,8%.

Rocha e Soares (2015) fizeram estudos sobre os impactos da flutuação de chuvas no período gestacional até o nascimento. Eles mediram o efeito da escassez de chuvas por meio de análises em painel no Semiárido brasileiro e justificaram a importância do estudo sobre a

região, uma vez que zonas áridas e semiáridas comportam 54% da agricultura do mundo em desenvolvimento.

Eles encontraram forte robustez de correlação entre o choque de chuvas e o aumento da mortalidade infantil, diminuição de peso, encurtamento do período de gravidez e má nutrição. Segundo eles, os efeitos poderiam ser minimizados com incrementos em infraestrutura e, condicional a renda, o efeito estimado da flutuação de chuvas decresce uniformemente quando a provisão de bens públicos é grande o suficiente, reduzindo a significância estatística.

Castro (2014) estimou as elasticidades do setor agrícola a variáveis climáticas, como precipitação e temperatura, e variáveis agrícolas, como consumo e fertilizantes, área colhida e horas trabalhadas corrigidas pelos anos médios de estudo dos trabalhadores, para estimar por meio de um modelo econométrico com dados em painel, controlando características não observáveis via efeito fixo, com utilização de desvio padrão robusto. A fim de se estudar a vulnerabilidade do setor em alguns estados brasileiros no período de 1990 - 2012 para flutuações ano a ano nos dez estados mais representativos na agricultura do país, isto é, aqueles que apresentam maior Valor bruto produzido, foram incluídos no modelo efeitos fixos estaduais e tendências temporais heterogêneas entre estados.

O trabalho encontrou efeitos bem divergentes entre os estados em termos de magnitude e em sinal. Assim como na literatura, os resultados para as elasticidades são mais expressivos para temperatura do que para a precipitação. Há relação negativa para o aumento da temperatura e o valor de produção real da agricultura, salvo pelo estados Bahia, e o Mato Grosso, em que os efeitos não foram significativos e, no caso do Estado de Goiás, onde a relação se mostrou positiva para o aumento de temperatura - fato que a autora atribui ao investimento em adaptações e melhoramentos genéticos que ocorreram no estado.

Não foram encontrados trabalhos que medissem econometricamente de forma robusta o impacto climático de temperatura e precipitação para a produtividade agropecuária no Brasil para o período 2000-2014, nem com interações de pobreza, como inspirado no trabalho de Dell *et all* (2014), sendo este trabalho uma contribuição inédita em termos de medição de forma robusta do efeito pluviométrico na produtividade agrícola e pecuária.

### **III - Dados e Estatísticas Descritivas**

#### **III.1 Dados**

As principais fontes de dados utilizadas no presente trabalho foram: 1) *The Climate Data Guide: Global (land) precipitation and temperature: Willmott & Matsuura, University of Delaware* para dados de temperatura média e precipitação pluvial acumulada para os anos 2000-2014; 2) o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), de onde retiraram-se dados de produção pecuária nacional em base municipal, coletados pela Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM), e dados produção agrícola também coletada pelo IBGE na Pesquisa Agrícola Municipal (PAM); e 3) o Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA) com a série publicada na plataforma IPEADATA sobre o percentual de pessoas pobres nos municípios.

Os dados de precipitação pluvial anual e temperatura média anual foram retirados do relatório *The Climate Data Guide: Global (land) precipitation and temperature: Willmott & Matsuura, University of Delaware*, que conta com resolução de 0,5 x 0,5 graus de coordenadas geográficas, aproximadamente 56 km x 56 km do equador, cruzados com as coordenadas geográficas dos municípios, de modo que as variáveis municipais de temperatura e chuva representam uma média da precipitação e da temperatura, respectivamente, dos quatro grids mais próximos do centroide do município.

A unidade de medida de precipitação é o milímetro (mm), em que um milímetro corresponde ao de volume de um litro de água acumulado sobre uma superfície de área igual a um metro quadrado; já a temperatura considerada é a média da temperatura do ar reinante num ponto atmosférico dentro das coordenadas geográficas.

As variáveis que representarão a produtividade agrícola serão: *grãos e não grãos*. Elas são obtidas pela soma do valor da produção em mil reais do município, disponíveis na Pesquisa da Agricultura Municipal (PAM) para os itens nas colheitas, divididas pela área do município em Hectares (ha) destinada ao cultivo da atividade no município em questão.

Os dados para rebanhos de suínos e bovinos podem ser encontrados na Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM), também disponível no site do IBGE, utilizaremos eles para representar a produtividade agrícola.

A série de pobreza utilizada contabiliza o percentual da quantidade pessoas com renda inferior a meio salário mínimo nos municípios brasileiros. O objetivo é identificar se municípios com grande proporção de pessoas com renda *per capita* mais baixa possuem uma interação estatisticamente significativa entre chuva e produtividade. Esta série pode ser encontrada na plataforma IPEADATA.

### **III.3 - Estatísticas Descritivas**

As tabelas 2.1 e 2.2 são referentes às variáveis utilizadas neste trabalho, calculadas para o intervalo dos anos 2000 até 2014, conforme a disponibilidade dos dados durante a preparação do texto.

**Tabela 2.1 - Estatísticas Descritivas Municípios Brasileiros de 2000 2014**

Variáveis	Observações	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Precipitação total anual (mm)	83535	3.097,74	4.333,64	60,30	120.612
Temperatura média anual (graus célsius)	83535	22,86	3,06	10,96	31,50
Produção de Grãos por hectare (mil R\$/ha)	80485	1,19	1,16	0,00	22,13
Produção de não Grãos por hectare (mil R\$/ha)	82078	4,60	5,97	0,00	217,24
Rebanho de Suínos	82505	6.436	20.332,91	0,00	1.022.373
Rebanho de Bovinos por hectare (cabeças/ha)	82853	1,42	4,72	0,00	137,14

Fonte: Dados do IBGE (PAM E PPM) e WordGrid. Elaboração do Autor

**Tabela 2.2 - Estatísticas Descritivas Municípios Brasileiros corte por regiões de 2000 – 2014**

Região	Estatísticas	Precipitação total (mm)	Temperatura média (°C)	Bovinos (cabeças/ha)	Suínos	Produção de grãos (mil R\$/ha)	Produção de não grãos (mil R\$/ha)
<b>Norte</b>	Média	8631,36	26,27	4,72	4153,18	0,97	2,88
	Desvio padrão	12887,81	1,18	9,91	5634,00	0,63	2,77
	Mínimo	1025,50	17,96	0,00	0,00	0,00	0,00
	Máximo	120612,00	29,16	136,74	78520,00	9,28	36,95
<b>Nordeste</b>	Média	1906,05	25,41	0,59	3679,85	0,50	2,40
	Desvio padrão	1306,75	1,64	1,49	5659,66	0,63	3,31
	Mínimo	60,30	19,98	0,00	0,00	0,00	0,00
	Máximo	11753,80	31,50	51,43	76733,00	14,91	116,03
<b>Sudeste</b>	Média	2572,06	21,40	0,75	3879,06	1,89	6,35
	Desvio padrão	1295,26	1,84	1,98	19208,46	1,58	8,22
	Mínimo	392,70	13,68	0,00	0,00	0,00	0,00
	Máximo	10211,40	26,28	37,37	1022373,00	22,13	217,24
<b>Sul</b>	Média	3270,69	19,32	1,00	13904,27	1,31	6,51
	Desvio padrão	1661,72	1,96	2,53	29956,99	0,71	5,48
	Mínimo	849,60	10,96	0,00	0,00	0,00	0,38
	Máximo	20624,60	25,45	54,19	710512,00	7,66	129,39
<b>Centro-Oeste</b>	Média	3777,48	24,01	4,87	9191,07	1,28	3,80
	Desvio padrão	2802,93	1,23	10,22	31092,15	0,78	4,38
	Mínimo	621,40	20,46	0,00	0,00	0,07	0,02
	Máximo	30823,50	28,96	137,14	780000,00	19,57	115,63

Fonte: Dados do IBGE (PAM E PPM) e WordGrid. Elaboração do Autor

Os dados de temperatura foram utilizados para controle, com fins de isolar o efeito da chuva na produtividade medida em produto por hectare. A amostra contempla o universo de 5570 municípios e o Distrito federal, no período compreendido entre 2000 e 2014.

Conforme pode-se observar na Tabela 2.2, no Nordeste choveu em média 1906,05 mm ao ano durante o período estudado, enquanto a média nacional na tabela 2.1 foi de 3097,74 mm, também apresentando um baixo desvio padrão - ou seja, pouca dispersão em torno de sua média. Em contraste, a região Norte teve em média 8631,36 mm de precipitação média total, totalizando mais de duas vezes e meia a média nacional, além de um desvio padrão quase dez vezes maior que o da região Nordeste.

O Sudeste, com o menor desvio padrão (1295,26 mm) e precipitação média anual de 2572,06 mm, apresenta a melhor razão produção de grãos por hectare plantado, com 1,81 mil reais - mais de três vezes e meia a razão do Nordeste (de 0,50), e um pouco mais que uma vez e meia da média nacional de 1,19 mil reais por hectare -, o que parece indicar que uma menor dispersão da variável chuva está associada a uma produtividade maior de grãos. Porém, outros fatores também podem ser responsáveis por essa explicação, como uma melhor adaptação ao clima, utilização de mão de obra mecanizada, variáveis socioeconômicas e etc., que serão melhor investigadas mais à frente, para que não corramos o risco omitir algum fator para a explicação desta primeira observação.

A princípio, observa-se que as razões produto por hectare são superiores nas regiões Sul, Sudeste e Centro oeste, com menor dispersão na quantidade média anual de chuvas que Norte e Nordeste. Controlaremos para temperatura, tendências regionais e pobreza para entendermos melhor o efeito pluviométrico e a relação entre essas variáveis na seção IV.

## **IV - ESTRATÉGIA EMPÍRICA E RESULTADOS**

### **IV.1 - Metodologia**

O conjunto de dados do presente estudo foi analisado na forma Longitudinal, ou painel. Em todas as regressões, utilizou-se clusters por município, no intuito de se obter erros padrões robustos a heterocedasticidade e autocorrelação serial (BERTRAND, DUFLO E MULLAINATHAN, 2003, p.9).

Os dados de chuva, temperatura média e produção para os 5570 municípios brasileiros foram analisados em um painel balanceado para os anos de 2000 a 2014, considerando-se a existência de efeito fixo não observável. Isto é, assumiu-se na análise que o efeito fixo não

possui subscripto temporal, podendo ser este efeito relacionado a heterogeneidades demográficas, geográficas, econômicas ou qualquer outra característica diferenciadora que consideramos constante e aditiva.

A construção do experimento se deu da seguinte maneira: testou-se primeiramente uma relação direta entre as variáveis explicativas  $Y$  e o logaritmo natural da precipitação, controlando para temperatura e efeito fixo conforme a equação 1.1. O Logaritmo é muito útil em um primeiro momento devido às suas propriedades que, além de permitirem relações não lineares entre os regressores e o regressando, também transformam as variações tornando-as menos sensíveis a picos estreitando a amplitude dos valores nas variáveis (WOOLDRIDGE, 2006, p. 181).

$$Y_{it} = \alpha_i + \lambda_t + \beta_1 \ln(PRECIP_{it}) + Z'\delta_{it} + \Phi(Estado.ano_t) + \varepsilon_{it}. \quad (1.1)$$

Onde,

$Y_{it}$  representa a variável dependente de produtividade medida em produção *per capita* por *hectare* analisada, podendo referir-se a Grãos produzidos por hectare, cabeças de gado ou qualquer outra variável que será propriamente identificada nos resultados tabelados para cada município  $i$  no ano  $t$ . A letra  $\alpha_i$  é o efeito fixo não observável do município, pode ser entendido como uma constante mais um termo  $m'_i$  de heterogeneidade particular ao município:

$$\alpha_i = \alpha + m'_i\gamma. \quad (1.2)$$

O  $\lambda_t$  é o efeito fixo de tempo, no intuito de controlar para as variações que são comuns a todos os municípios.  $PRECIP_{it}$  São dados de precipitação do município  $i$  no ano  $t$ .

$Z'$  É o vetor de variáveis de controle, por exemplo, temperatura em graus *Celsius* (°C).

Como existe a possibilidade de tendências específicas de cada estado estarem correlacionadas com choques de chuva, acrescentou-se posteriormente um termo de tendência não linear específico a cada estado de modo que o modelo explica apenas a variação intraestadual, ou seja, como choques de chuva em um município afetam a produção municipal em comparação com os outros municípios do mesmo estado.

$$Y_{it} = \alpha_i + \lambda_t + \beta_1 PRECIP_{it} + \beta_2 PRECIP_{it}^2 + \Phi(Estado.ano_t) + Z'\delta_{it} + \varepsilon_{it}. \quad (1.3)$$

Na equação 1.3 utilizamos o modelo Linear-Linear, isto é, sem uso do logaritmo da variável precipitação. Incluímos a mesma na forma quadrática, pois supomos haver uma relação quadrática, devido a observação de que muita chuva ou pouca chuva resulte em produtividade menor nos extremos, sendo assim,  $PRECIP_{it}^2$  é simplesmente o quadrado da variável chuva, relação observada em nossa breve inspeção das tabelas 2.2 e 2.1 na sessão anterior.

Entretanto, precipitação pode ter efeitos heterogêneos. Por exemplo, municípios mais pobres podem ter técnicas mais simples e sujeitas às intempéries climáticas e, portanto, sofrerem mais com choques de chuva. Se isso for verdade, qual a significância e o valor do coeficiente? Esta é a pergunta que se pretende responder com a equação 1.5, em que se fez uma interação com a quantidade de pessoas pobres residentes em cada município:

$$Y_{it} = \alpha_i + \lambda_t + \beta_1 PRECIP_{it} + \beta_2 PRECIP_{it}^2 + \Psi(pobreza.PRECIP_{it}) + \Omega(pobreza.PRECIP_{it}^2) + \Phi(Estado.ano_t) + Z'\delta_{it} + \varepsilon_{it}. \quad (1.5)$$

A seguir, repetiu-se o experimento nas cinco regiões. Até o momento estávamos estudando todos os municípios do Brasil em conjunto, nesta etapa fizemos um corte na amostra a fim de separá-la nas cinco regiões geopolíticas para poder comparar o efeito pluviométrico entre as regiões, como grande parte da literatura exposta o fez em nossa breve introdução na Seção II do presente trabalho.

## IV.2 - O Efeito Pluviométrico

Nesta seção, serão interpretados os resultados envolvendo o efeito de chuvas na produtividade. Primeiramente serão discutidos os resultados para Grãos e Bovinos conforme a indicação na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Regressões de Grãos e Bovinos por hectare

Variáveis	Produção de Grãos (R\$ 1000/ha)	Rebanho - Bovino por hectare	Produção de Grãos (R\$ 1000/ha)	Rebanho - Bovino por hectare
<i>Ln</i> (Precipitação)	0.19011 (0.02465)***	0.22621 (0.05192)***	-	-
Precipitação total anual (1000 mm)	-	-	0,02 (0.00575)***	0.015 (0.050)
Quadrado da Precipitação total anual (1000 mm)	-	-	-0,00009 (0.00005)	0.002 (0.001)*
Temperatura média anual (graus célsius)	0.01897 (0.00990)*	0.07824 (0.01559)***	0,0176 (0.00988)*	0.077 (0.016)***
Observações	80,485	82.853	80.485	82,853
Número de municípios	5,508	5,552	5,508	5,552
Efeito fixo de tempo	Sim	Sim	Sim	Sim
Efeito fixo de município e Tendência por estado	Sim	Sim	Sim	Sim

Erro padrão robusto entre parênteses

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Analisando as regressões, confirmamos na regressão com o Logaritmo de precipitação que existe significância estatística a um intervalo de confiança de 1%, isto é, podemos descartar com 99% de confiança a hipótese nula de que o coeficiente não é estatisticamente significativo.

O coeficiente da regressão com logaritmo deve ser interpretado como  $\frac{\beta}{100} * \frac{\partial y}{\partial x}$ , nesse sentido, observamos que ao elevar-se o logaritmo da precipitação em 1 % o impacto sobre a produtividade *per hectare* é de respectivamente, 0,19 \*1000 reais por hectare, isto é um incremento de produtividade de R\$ 190,00 por hectare para grãos, e um aumento de 0,22 cabeças de gado por hectare.

Vale lembrar que no efeito fixo do painel para cabeças de gado, em tese, a regressão captará a variação do estoque e não somente uma medida de estoque. Notamos que nesse resultado ambos os coeficientes dos regressores possuem sinal positivo indicando uma relação diretamente proporcional positiva com o controle para temperatura estatisticamente significativa.

Usando a especificação quadrática para chuvas (a nossa especificação preferida), no caso de Grãos, o coeficiente do termo linear foi positivo e estatisticamente significativo, em que o incremento de 1000 mm de chuva elevou a produtividade em média em 0,02\* R\$ 1000 por

hectare, isto é, R\$ 20. O termo quadrático foi negativo como esperado, embora significativo apenas a 11%. Para um primeiro resultado, a relação quadrática com sinal negativo parece fazer sentido com a ideia de uma parábola com a concavidade voltada para cima, que diminui a produtividade nos extremos da variável chuva.

Já no caso dos bovinos, a chuva curiosamente pareceu significativa no termo quadrático, mas não no linear, o que parece apontar para uma relação não significativa entre as variáveis chuva e produtividade bovina por hectare.

**Tabela 3.2 Regressões de Grãos por hectare e bovinos interagidas com pobreza.**

Variáveis	Produção de grãos por hectare (R\$/ha)	Rebanho - Bovino por hectare
Precipitação total anual (1000 mm)	-0,06326 (0.01480)***	0.01846 (0.01040)*
Quadrado da Precipitação total anual (1000 mm)	0,00064 (0.00012)***	-0.00013 (0.00019)
Taxa_pobreza#Precipitação total anual <sup>1</sup>	0,0017 (0.00026)***	-0.00014 (0.00017)
Taxa_pobreza#Quadrado da Precipitação total anual <sup>2</sup>	-0,00001 (0.00000)***	0.00000 (0.00000)
Temperatura média anual (graus Celsius) - (World Grid)	0,01715 (0.00997)*	0.03697 (0.01009)***
Observações	79.702	81,715
Número de municípios	5.446	5,481
Efeito fixo de município e tempo	Sim	Sim
Tendência por estado	Sim	Sim

Desvio Padrão robusto em parênteses

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

<sup>1</sup> O símbolo "#" foi usado para sinalizar que foi feita uma interação entre as variáveis

A tabela 3.2 faz jus a equação 1.5, em que interagimos pobreza junto às variáveis chuva, e mantivemos a especificação quadrática.

Observando os resultados para Grãos, constatamos que as interações foram estatisticamente significativas, o que sugere que existe uma interação significativa, em linha com a intuição prévia de que municípios mais pobres talvez empreguem técnicas e maquinários menos adaptados ao clima. Os sinais das interações com pobreza apontam para uma relação quadrática com a variável precipitação com sinal negativo e positiva para a variável

precipitação linear interagida com pobreza, o que corrobora mais uma vez a observação de que muita chuva ou pouca chuva afeta a produção negativamente.

No caso da variável dependente bovinos, parece que a interação não é significativa - ou seja, pobreza e chuva não produzem efeitos em conjunto estatisticamente significantes. A bovinocultura no Brasil se concentra em grandes propriedades, tendo em vista a produção fortemente orientada ao corte tanto para o mercado externo e o mercado interno - considerando-se que o Brasil é um dos maiores atores internacionais e dono do maior rebanho do Mundo (ABIEC, 2018 p.31), além de a atividade requerer recursos financeiros abundantes para ser rentável. Todos esses fatores parecem afastar a relação com a pobreza em um primeiro momento.

Analisaremos os resultados para a Tabela 3.3, em que repetimos o experimento da equação 1.3, entretanto, com cortes nas amostras para as regiões, começando pelos resultados para Bovinos.

O Centro-Oeste e o Nordeste atendem perfeitamente nossas expectativas com respeito a uma relação quadrática, em que o sinal da variável chuva é positivo para uma relação linear e negativo para uma quadrática, formando graficamente uma parábola com sua concavidade virada para cima, de modo que os extremos produzem efeitos negativos na produtividade pecuária bovina.

Uma possível interpretação a esse fato poderia partir da observação de que, como no Nordeste e no Centro-Oeste em média chove pouco, os choques de chuva têm efeito positivo na produção. Vale lembrar que, como podemos observar na tabela 2.2, apesar de a média anual de nosso período estudado para o Centro-Oeste ser relativamente a segunda mais alta, o desvio padrão também é bem alto, o que justifica nossa ideia a respeito do choque de chuva, de tal modo que a partir de determinado ponto a chuva deixa de ser positiva para a produtividade - como no caso das demais regiões, a média de chuva já é razoável com menor dispersão os choques de chuva não surtem tanto efeito.

No que diz respeito ao tamanho dos rebanhos, a região Centro Oeste abriga um pouco mais de 34% do Rebanho Brasileiro (ABIEC, 2018 p.21), um contraste enorme com relação à região Nordeste, que responde por 15,87%, e ambas apresentaram resultados distintos das regiões Sul, que comporta 12,60%, Sudeste (17,78%) e Norte (19,09%).

O tamanho dos rebanhos não é determinante, como podemos observar agora de posse desta informação para combiná-la com os resultados. Nesse caso, uma diferença observada também seria o próprio controle de temperatura, que se mostrou pouco relevante nas regiões

Sudeste e Norte e, embora na região Sul tenha ele sido de grande significância, a variável precipitação não se mostrou significativa para os resultados de rebanho.

No caso da análise para a variável Grãos por hectare, os resultados para o Centro-Oeste não se mostraram estatisticamente significativos para precipitação pluvial. Para a região Sul, identificamos significância com 99% de confiança na relação linear e o coeficiente não foi estatisticamente diferente de zero na relação quadrática. Para região Norte o quadro é parecido, havendo significância em uma relação linear. Entretanto, a variável quadrática não se mostrou significativa: nota-se que, no caso da região Norte, a temperatura tem um efeito negativo - isto é, o incremento de 1° C reduz a produtividade em  $0,04 * 1000$  reais por hectare, ou seja, 40 reais de valor adicionado por hectare.

No Caso do Nordeste, ainda na tabela 3.3, enxergamos uma relação quadrática na precipitação com sinal positivo do coeficiente de precipitação e negativo para o quadrático. A temperatura, assim como o Norte, tem seu coeficiente negativo, de modo que o incremento de 1°C implica na redução de  $0,06791 * 1000$  reais, ou seja, 67,91 reais de valor adicionado por hectare.

O Sudeste também apresentou a forma quadrática com sinal positivo para chuva em uma relação linear e negativo para a variável quadrática, ambos os coeficientes estimados com 99% de nível de confiança, apresentando um controle de temperatura também significativo e de relação positiva.

Tabela 3.3 - Regressões por Regiões

Variáveis	Centro-Oeste		Sul		Norte		Nordeste		Sudeste	
	Rebanho de Bovinos por hectare	Produção de grãos por hectare (R\$/ha)	Rebanho de Bovinos por hectare	Produção de grãos por hectare (R\$/ha)	Rebanho de Bovinos por hectare	Produção de grãos por hectare (R\$/ha)	Rebanho de Bovinos por hectare	Produção de grãos por hectare (R\$/ha)	Rebanho de Bovinos por hectare	Produção de grãos por hectare (R\$/ha)
<b>Precipitação total anual (1000 mm)</b>	0.843 (0.210)***	-0.00881 (0.01781)	-0.012 (0.023)	0.03590 (0.01357)***	0.001 (0.140)	0.01915 (0.00758)**	0.053 (0.020)***	0.10526 (0.02270)***	0.033 (0.017)**	0.16250 (0.04521)***
<b>Quadrado da Precipitação total anual (1000 mm)</b>	-0.025 (0.007)***	0.00021 (0.00055)	0.003 (0.002)*	-0.00033 (0.00077)	0.003 (0.002)	-0.00008 (0.00006)	-0.006 (0.002)***	-0.00863 (0.00226)***	-0.003 (0.002)	-0.01950 (0.00467)***
<b>Temperatura média anual (graus célsius)</b>	0.445 (0.119)***	-0.04566 (0.01604)***	0.076 (0.017)***	0.02806 (0.00800)***	0.101 (0.162)	-0.04990 (0.02311)**	0.054 (0.027)*	-0.06791 (0.02066)***	0.014 (0.021)	0.12409 (0.02721)***
<b>Observações</b>	6,945	6,873	17,795	17,586	6,737	6,550	26,864	25,771	24,497	23,690
<b>Número de municípios</b>	466	466	1,191	1,188	450	447	1,793	1,783	1,651	1,623
<b>Efeito fixo de município e tempo</b>	Sim	Sim								
<b>Tendência por estado</b>	Sim	Sim								

Erro padrão Robusto entre parênteses

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

### IV.3 - Robustez do Modelo

Nesta seção apresentaremos mais alguns resultados para demonstrar a robustez das especificações e resultados encontrados para as variáveis estudadas ao longo do trabalho. Optamos por dois testes, sendo o primeiro uma replicação do painel seguindo o molde de nossa equação 1.3 para as variáveis dependentes rebanho suíno e produção por hectare de culturas não grãos, ambas encontradas nas pesquisas PPM e PAM.

O segundo teste foi uma regressão em placebo, no qual utilizamos a variável precipitação do mês subsequente para investigar se existe um efeito limpo ou apenas correlações espúrias.

**Tabela 4.1 - Regressões de Rebanho Suíno e Produção de não Grãos para Robustez**

Variáveis	Rebanho - Suíno	Produção de Não grãos por hectare (R\$/ha)
Precipitação total anual (1000 mm)	-15,96 (125.375)	0.01386 (0.03717)
Quadrado da Precipitação total anual (1000 mm)	0,158 (0.75)	-0.00010 (0.00022)
Temperatura média anual (graus célsius)	454,372 (240.897)*	0.13580 (0.05405)**
Observações	82.853	82,078
Número de municípios	5.552	5,537
Efeito fixo de município e tempo	Sim	Sim
Tendência por estado	Sim	Sim

Erro padrão robusto entre parênteses

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Como podemos observar nas regressões da tabela 4.1, não houve significância das variáveis de precipitação para Rebanho Suíno e para produção de Não Grãos. Uma vez que ambas possuem a mesma metodologia que os resultados que estudamos até aqui, as relações encontradas com chuva nas tabelas 3.1 se tornam mais robustas e afastam, em certa medida, o temor de correlações puramente espúrias em nossos resultados anteriores, uma vez constatados os resultados da tabela 4.1 apurados nas mesmas pesquisas conduzidas pelo IBGE.

Vale notar também que em ambos os casos, tanto a tabela 4.2 como a tabela 3.1, a temperatura média mostra-se estatisticamente significativa como controle em nosso modelo, de

maneira que estamos observando o efeito limpo de precipitação nas variáveis dependentes do modelo, e não somente o clima como um todo.

**Tabela 4.2 - Regressões com placebo (variável chuva em  $t + 1$ ).**

Variáveis	Produção de Grãos por hectare (R\$/ha)	Rebanho - Bovino por hectare
Precipitação total (ano +1) (1000 mm)	0.00248 (0.00531)	-0.02609 (0.05248)
Quadrado da Precipitação total (ano+1) (1000 mm)	0.00002 (0.00004)	0.00303 (0.00150)**
Temperatura média anual (graus Celsius) - (World Grid)	-0.00401 (0.00910)	0.07380 (0.01520)***
Observações	75,183	77,326
Número de municípios	5,508	5,551
Efeito fixo de município e tempo	Sim	Sim
Tendência por estado	Sim	Sim

Erro padrão robusto entre parênteses

\*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

Os resultados da tabela 4.2, ao empregar a variável precipitação do mês subsequente para explicar a produtividade, apontaram, em primeiro lugar, para um modelo em que não rejeitamos a hipótese nula de que os coeficientes estimados para produção de grãos por hectare sejam diferentes de zero, ocorrendo o mesmo no caso da variável temperatura média anual.

No caso do rebanho Bovino, apesar da variável quadrática aparecer com significância estatística, a variável principal, o termo linear de chuva, não apresentou significância estatística. Esses resultados são condizentes com efeitos não robustos de chuva sobre a produção de bovinos, que era o resultado já encontrado anteriormente.

## V - CONCLUSÃO

Procuramos no trabalho realizado encontrar e decompor os efeitos limpos da variação pluviométrica na produtividade agropecuária com os dados observados em painel balanceado controlando-se para efeitos fixos, temperatura e tendências temporais.

Ao longo do experimento fizemos análises com as variáveis explicativas em logaritmo; interagimos os dados de chuva com condições socioeconômicas dos municípios e encontramos interações significativas entre pobreza e produção de grãos, porém para o caso da produtividade de bovinos não houve significância estatística; controlamos tendências temporais de estados e temperatura médias; e, por fim, cortamos a amostra em regiões e comparamos e investigamos os efeitos para cada uma das regiões.

Os experimentos apontaram para uma forte relação não linear entre o efeito pluviométrico e a produtividade na produção de grãos, mesmo quando controlamos para a temperatura. Os resultados foram analisados à luz de testes de placebo e modelos com outras variáveis não relacionadas com as variáveis explicativas, mantendo-se robustos os modelos às correlações puramente espúrias.

Este trabalho contribuiu para o debate da Economia do Clima, de modo que os resultados aqui obtidos podem servir de suporte para a discussão entre o agronegócio e a questão da sustentabilidade e aquecimento global, tendo em vista as projeções apresentadas na seção II.2, além de complementar o debate no Brasil com resultados apurados por meio de estudos em painel medindo econometricamente de forma robusta o efeito da precipitação nas variáveis de produtividade agropecuárias com interações com variáveis socioeconômicas.

## VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Perfil da Pecuária no Brasil – Relatório Anual 2018. Disponível em <http://abiec.siteoficial.ws/images/upload/sumario-pt-010217.pdf>. Último acesso em: 27/12/2018.

BERTRAND, M., DUFLO, E., MULLAINATHAN, S.; *How Much Should We Trust Differences-In-Differences Estimates?*, National Bureau of Economic Research Working Paper No. 8841, 2003.

CAMERON, A.C; TRIVEDI, P.K. *Microeconometrics: Methods and applications*. New York: Cambridge University press, 2005

CASTRO, N. R.; O impacto das variáveis climáticas sobre o valor da produção agrícola – análise para alguns estados brasileiros.2014 .96 p. Dissertação (Mestrado). Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2014.

DELL, Melissa, BENJAMIN F. Jones, and BENJAMIN A. Olken. 2009. "*Temperature and Income: Reconciling New Cross-Sectional and Panel Estimates.*" *American Economic Review*, 99 (2): 198-204.

DELL, Melissa, BENJAMIN F. Jones, and BENJAMIN A. Olken. 2014. "*What Do We Learn from the Weather? The New Climate-Economy Literature.*" *Journal of Economic Literature*, 52 (3): 740-98.

DELL, Melissa, BENJAMIN F. Jones, and BENJAMIN A. Olken. 2012. "*Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century.*" *American Economic Journal: Macroeconomics*, 4 (3): 66-95.

DESCHENES, O. & GREENSTONE, M. *The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Profits and Random Fluctuations in Weather. American Economic Review*, 97(March): 354-385, 2007.

FERES, J.; REIS, J. E.; SPERANZA, J. *Assessing the Impact of Climate Change on the Brazilian Agricultural Sector. (2018).*

GALLUP, John Luke, SACHS, JEFREY D. and ANDREW, M. 1999. "*Geography and Economic Development.*" *International Regional Science Review* 22 (2): 179–232.

HSIANG, Solomon M. 2010. "*Temperatures and Cyclones Strongly Associated with Economic Production in the Caribbean and Central America.*"

IBRAHIM, N.; Agro maduro e moderno. Disponível em: < <https://www.cnabrazil.org.br/artigos/agro-maduro-e-moderno> > Último Acesso em: 06/01/2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). 2018. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Último acesso em: 11/12/2018

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – Ipeadata.

Dados macroeconômicos e regionais. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Último acesso em 11/12/2018

KAMARK & ANDREW, M. 1978. “*The tropics and economic development : a provocative inquiry into the poverty of nations*” (English). Washington, D.C. : The World Bank. Disponível em:<<http://documents.worldbank.org/curated/en/775691468780881698/The-tropics-and-economic-development-a-provocative-inquiry-into-the-poverty-of-nations>> Último acesso em 11/12/2018

MARGULIS, S. & DUBEUX, C. Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades. São Paulo: IBEP Gráfica, 2010.

MATSUURA, Kenji & WILLMOT, Cort. 2014. *Terrestrial Air Temperature and Precipitation: 1900–2014 Gridded Monthly Time Series. Version 4.01. University of Delaware*. Disponível em <<http://climate.geog.udel.edu/~climate> > (último acesso em: 11/12/2018)

MENDELSON, R.; NORDHAUS, W. D.; SHAW, D. *The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis. The American Economic Review* 84, no. 4, 753-71, 1994.

M. R. Allen *et al.* *Framing and Context. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. In Press, 2018.*

ROCHA, R & SOARES R. *Water Scarcity and Birth Outcomes in the Brazilian Semiarid. Journal of Development Economics*, v.112, pp. 72-91, January 2015

SCHLENKER, W., ROBERTS, M.J. *Estimating the Impact of Climate Change on Crop Yields: The Importance of Nonlinear Temperature Effects. NBER Working Paper 13799, 2008.*

SIQUEIRA *et al.* Mudanças climáticas projetadas através dos modelos GISS e reflexos na produção agrícola brasileira, 2000.

STRECK, N. & ALBERTO C. M. Estudo numérico do impacto da mudança climática sobre o rendimento de trigo, soja e milho, *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.41, n.9, p.1351-1359, set. 2006

WOOLDRIGDE & JEFFREY M. Introdução à Econometria - uma abordagem moderna. Thomson, 2006.