

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA**

LUZIA APARECIDA ANTUNES

**CONVERGÊNCIA DA PRODUTIVIDADE AGROPECUÁRIA: UMA ANÁLISE
CONSIDERANDO REGIMES ESPACIAIS POR BIOMAS ENTRE OS ANOS DE 1995 E
2017**

PONTA GROSSA

2021

LUZIA APARECIDA ANTUNES

**CONVERGÊNCIA DA PRODUTIVIDADE AGROPECUÁRIA: UMA ANÁLISE
CONSIDERANDO REGIMES ESPACIAIS POR BIOMAS ENTRE OS ANOS DE 1995 E
2017**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Economia, no Programa de Pós-Graduação em Economia, Setor de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Alysson Luiz Stege.

PONTA GROSSA

2021

A636 Antunes, Luzia Aparecida
Convergência da produtividade agropecuária: uma análise considerando regimes especiais por biomas entre os anos de 1995 e 2017 / Luzia Aparecida Antunes. Ponta Grossa, 2021.
159 f.
Dissertação (Mestrado em Economia - Área de Concentração: Economia), Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Orientador: Prof. Dr. Alysson Luiz Stege.
1. Econometria espacial. 2. Convergência. 3. Produtividade. 4. Biomas. 5. Regimes especiais. I. Stege, Alysson Luiz. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Economia. III. T.

CDD: 330.12



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
Av: General Carlos Cavalcanti, 4748 - Bairro Uvaranas - CEP 84030-900 - Ponta Grossa - PR - <https://uepg.br>

TERMO

LUZIA APARECIDA ANTUNES

CONVERGÊNCIA DA PRODUTIVIDADE AGROPECUÁRIA: UMA ANÁLISE CONSIDERANDO REGIMES ESPACIAIS POR BIOMAS ENTRE OS ANOS DE 1995 E 2017

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Economia, da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Ponta Grossa, 18 de fevereiro de 2021

Professor Dr. Alysson Luiz Stege – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Professora Dra Augusta Pelinski Raiher - Universidade Estadual de Ponta Grossa

Professor Dr. Marcelo Lopes de Moraes – Universidade Estadual do Oeste do Paraná



Documento assinado eletronicamente por Alysson Luiz Stege, Professor(a), em 18/02/2021, às 16:36, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por Marcelo Lopes de Moraes, Usuário Externo, em 19/02/2021, às 15:09, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por Augusta Pelinski Raiher, Professor(a), em 25/02/2021, às 15:55, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.uepg.br/autenticidade> informando o código verificador 0405550 e o código CRC 7C000D72.

*A Deus, a minha mãe Ivani, ao meu pai, aos meus irmãos e
ao meu esposo Tiago, dedico essa dissertação.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sempre me dar forças para acreditar que todos os sonhos podem se tornar realidade, por ser meu maior refúgio em momentos difíceis e por ser meu maior ouvinte para todas as horas.

Agradeço imensamente a instituição Universidade Estadual de Ponta Grossa, Departamento de Economia e seus professores, onde iniciei minha vida acadêmica, e adquiri inúmeros aprendizados, desde a graduação. Agradeço à minha amiga Carolaine, que encontrei na graduação e que se tornou parte de minha vida, me dando sempre apoio em tudo e me incentivando, alguém que sempre fará parte de minha caminhada, mesmo estando distante.

Agradeço aos amigos que encontrei durante o tempo do mestrado: André, Wendell, Joana, Suellen, Dreyfus, com quais compartilhei momentos de diversão e de longas conversas. À Giovana uma grande amiga, que sempre me ouviu e me ajudou se tornando uma grande companheira nesse período.

Agradeço ao William por toda paciência em me ouvir, por todo incentivo e palavras que me ajudaram muito. Ao Raphael amigo que mesmo distante acabou se tornando muito presente nesse tempo, sempre disposto a dar conselhos, incentivar e ajudar de todas as maneiras. Ao João que compartilhou seus conhecimentos e me incentivou.

Agradeço a minha família, principalmente a minha mãe Ivani por todo apoio durante todo esse período, pessoa que sempre esteve ao meu lado e que sempre acreditou que tudo daria certo.

Agradeço ao meu esposo Tiago que esteve ao meu lado nessa reta final do mestrado, e me incentiva com a continuação desse meu sonho me apoiando com meu ingresso no doutorado, apesar da distância que estará entre nós.

Agradeço aos membros da banca, professor Dr. Marcelo e a querida professora Dra. Augusta pelas contribuições que serviram para direcionar os propósitos do trabalho ao caminho certo.

Agradeço a CAPES pelo apoio financeiro. Finalmente, agradeço imensamente ao meu orientador professor Dr. Alysson Luiz Stege por todo seu empenho, paciência que veio comigo desde a graduação, sempre disposto a me ajudar, a pessoa que incentivou a ir cada vez mais longe e que sempre estava ao lado, para passar seus conhecimentos.

Toda sabedoria vem do senhor Deus, ela sempre estava com ele.

Ela existe antes de todos os séculos.

Quem pode contar os grãos de areia do mar, as gotas de chuva, os dias do tempo?

Quem pode medir a altura do céu, a extensão da terra, a profundidade do abismo?

Quem pode penetrar a sabedoria divina, anterior a tudo?

A sabedoria foi criada antes de todas as coisas, a inteligência prudente existe antes dos séculos!

O verbo de Deus nos céus é fonte de sabedoria, seus caminhos são os mandamentos eternos.

A quem foi revelada a raiz da sabedoria?

Quem pode discernir seus artifícios?

A quem foi mostrada e revelada a ciência da sabedoria?

Quem pode compreender a multiplicidade de seus caminhos?

Somente o altíssimo, criador onipotente, rei poderoso e infinitamente temível, Deus dominador sentado em seu trono;

(ECLESIAÍSTICO, 1:01-08)

RESUMO

A agropecuária é um setor que exerce grande influência na formação da renda nacional. Desde meados de 1960, a agropecuária brasileira passou a se desenvolver de maneira muito significativa, desse modo estudos que abordam o tema produtividade agropecuária e seu crescimento se tornam relevantes. Nessa pesquisa busca-se testar a hipótese de convergência da produtividade agropecuária para as microrregiões do Brasil entre os anos de 1995 e 2017, utilizando a econometria espacial e regimes espaciais divididos por biomas. Para se alcançar o objetivo faz-se uso da econometria espacial e de modelos de regimes espacial, com intuito de controlar a possível dependência e heterogeneidade espacial a qual a produtividade agropecuária está exposta. Como resultado confirmou-se a ocorrência de um processo de convergência absoluta e condicional para as microrregiões brasileiras e para três biomas: Amazônia, Cerrado e a Mata Atlântica. As variáveis que foram significativas para a convergência da produtividade dos três biomas foram: o crédito por hectares com sinal positivo e o número de tratores por hectares com sinal também positivo. Já a variável mão de obra por hectares para o Cerrado foi negativa e significativa e a proporção de estabelecimentos que possuem alguma prática de conservação de solos foi positiva e significativa para a Mata Atlântica. Com relação a meia-vida encontrou-se o maior tempo para o bioma de Cerrado com valor de 43 anos aproximadamente e o menor valor pode ser observado no bioma de Mata Atlântica com valor de aproximadamente 35 anos.

Palavras-Chave: Convergência. Produtividade. Biomas. Econometria espacial. Regimes espaciais.

ABSTRACT

Agriculture is a sector that has a great influence on the formation of national income. Since the opening of 1960, a Brazilian agricultural sector started to develop in a very close way, thus studies that address the agricultural productivity issue and its growth if relevant. This research seeks to test the hypothesis of convergence of agricultural productivity for the microregions of Brazil between the years 1995 and 2017, using a spatial econometrics and spatial regimes divided by biomes. To achieve the objective, space econometrics and models of spatial regimes are used, in order to control the possible spatial dependence and heterogeneity to which agricultural productivity is exposed. As a result, the occurrence of an absolute and conditional convergence process was confirmed for Brazilian micro-regions and for three biomes: Amazonia, Cerrado and the Atlantic Forest. The variables that were relevant to the convergence of productivity in the three biomes were: credit per hectare with a positive sign and the number of tractors per hectare with a positive sign. The variable manpower per hectare for the Cerrado was negative and decreased, and the proportion determined that has some soil conservation practice positive and significant for the Atlantic Forest. Regarding half-life, the longest time was found for the Cerrado biome with a value of approximately 43 years and the lowest value can be observed without an Atlantic Forest biome with a value of approximately 35 years.

Key-Words: Convergence. Productivity. Biomes. Space econometrics. Space regimes.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 DEFINIÇÃO DE PRODUTIVIDADE AGROPECUÁRIA, CONVERGÊNCIA E SUAS APLICAÇÕES EM ESTUDOS AGRÍCOLAS	19
2.1 PRODUTIVIDADE AGROPECUÁRIA	19
2.2 MODELOS DE CONVERGÊNCIA E CONVERGÊNCIA DA PRODUTIVIDADE AGROPECUÁRIA	22
2.2.1 Modelo de Solow	23
2.2.2 Modelo de Solow Com Tecnologia	26
2.2.3 Convergência Absoluta e Condicional	27
2.2.3.1 Convergência β e σ	29
2.2.3.2 Convergência- β Condicional	33
2.3 ESTUDOS EMPÍRICOS SOBRE A CONVERGÊNCIA DA PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA	34
3 REVOLUÇÃO VERDE E MEIO AMBIENTE DOS BIOMAS	43
3.1 REVOLUÇÃO VERDE	43
3.2 MEIO AMBIENTE DOS BIOMAS	46
3.2.1 Agropecuária No Bioma Amazônia	51
3.2.2 Agropecuária No Bioma Caatinga	52
3.2.3 Agropecuária No Bioma Cerrado	53
3.2.4 Agropecuária no Bioma Mata Atlântica	54
3.2.5 Agropecuária No Bioma Pampa	54
3.2.6 Agropecuária No Bioma Pantanal	55
4 METODOLOGIA	57
4.1 ÁREA DE ESTUDO	57
4.2 ANÁLISE DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL E HETEROGENEIDADE ESPACIAL	58
4.3 AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL GLOBAL E LOCAL	60
4.4 AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL BIVARIADA GLOBAL E LOCAL	62
4.5 MODELO EMPÍRICO E VARIÁVEIS	63
4.5.1 Modelo Empírico	63
4.5.2 Modelos Econométricos de Controle de Dependência Espacial	66
4.6 VARIÁVEIS UTILIZADAS NO MODELO	71

4.7 PROCEDIMENTOS ECONÔMETRICOS.....	74
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	76
5.1 PRODUTIVIDADE AGROPECUÁRIA DAS GRANDES REGIÕES.....	76
5.2 PRODUTIVIDADE AGROPECUÁRIA POR BIOMA.....	81
5.3 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS ESPACIAIS.....	89
5.4 RESULTADOS ECONÔMETRICOS DOS MODELOS DE CONVERGÊNCIA DA PRODUTIVIDADE AGROPECUÁRIA	97
5.4.1 Resultados Econômicos do Modelo de Convergência Absoluta	97
5.4.2 Resultados do Modelo de Convergência Condicional	106
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	119
REFERÊNCIAS.....	137
APÊNDICE A – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS DO MODELO.....	150
APÊNDICE B: RESULTADOS DOS MODELOS DE CONVERGÊNCIA ABSOLUTA PARA O BRASIL E POR REGIMES ESPACIAIS.	157
APÊNDICE C – RESULTADOS DOS MODELOS DE CONVERGÊNCIA CONDICIONAL PARA O BRASIL E POR REGIMES ESPACIAIS.	146

1 INTRODUÇÃO

A agropecuária é a atividade mais antiga da humanidade e seus primeiros relatos ocorreram entre 10 e 12 mil anos atrás. Essa atividade se vê presente ao longo da evolução humana. Inicialmente a agropecuária era apenas fornecedora de alimentos, assim sua prática era basicamente de sobrevivência e com nenhum método técnico (FELDENS, 2018).

Com o decorrer dos anos as técnicas utilizadas para produção agrícola se desenvolveram, a agropecuária deixou de ser apenas produtora de alimentos para agora também fornecer matérias-primas, demandando insumos da indústria e contribuindo com expressivos valores para a exportação, passando desse modo a exercer influência na formação de renda nacional de muitos países (SCHUH, 1976; AMARAL, 2018).

O setor agrícola é de suma importância para o desenvolvimento. Quando uma economia passa a se desenvolver ela deixa de ser apenas agrícola, tornando-se uma economia urbana com a existência de indústrias e serviços (MELLOR, 1995).

Bacha (2012) cita que o setor agrícola desempenha cinco importantes funções que contribuem com o desenvolvimento, sendo essas funções: o fornecimento de alimentos para as populações, o fornecimento de capital para expansões dos setores não agrícolas, contribui com a mão de obra que resulta em crescimentos e em diversificação de atividades na economia, fornece divisas que são utilizadas para compras de insumos e bens de capital que facilitam o desenvolvimento das atividades econômicas e por fim, o setor agrícola é mercado consumidor de produtos que são gerados pelos setores não agrícolas.

Ao longo do tempo pode se verificar que a agropecuária sempre exercia algum tipo de papel na sociedade. Nos textos dos autores relevantes nesses temas, essas atividades do meio rural são citadas apenas como agricultura. Pela visão da escola mercantilista a agricultura gerava excedente juntamente com o comércio e com o trabalho.

Para os autores fisiocratas o papel da agricultura era controverso, em alguns momentos considerados como influência positiva no desenvolvimento e em outros tidos

como obstáculo (CORAZZA; MARTINELLI, 2002). François Quesnay apontava que a agricultura era o determinante da riqueza das nações, já que apenas a terra era capaz de multiplicar alimentos (QUESNAY, 1756).

Para Adam Smith o valor da agricultura era menor que da indústria, pois em sua obra o trabalho em si era o mais relevante, porém o autor cita que o trabalho agrícola é mais importante que o dos artesãos e comerciantes, já que a produção além de gerar lucros para seus empregadores ainda gerava renda para os donos de terras (SMITH, 1983). Para Ricardo a agricultura era capaz de determinar a tendência do desenvolvimento econômico e a distribuição da riqueza entre as classes sociais (RICARDO, 1891).

Em Kalecki (1960) se menciona que para a indústria se desenvolver a agricultura precisa estar recebendo investimentos e sofrendo avanços tecnológicos. As reformas nas posses da terra e no mercado de crédito são os mecanismos essenciais para que ocorra um processo de desenvolvimento agrícola significativo, o autor menciona que o aumento da produção agrícola pode ser considerado fator básico para poder se observar um processo rápido de industrialização em um país subdesenvolvido.

Lewis (2013) cita que não é viável uma grande produção de manufaturas sem o acompanhamento da agricultura, por isso quando se observa uma revolução industrial a agricultura também está se desenvolvendo de maneira significativa, enquanto em economias que a agricultura se encontra em estados estagnados não se observa desenvolvimento industrial.

Já Rostow (1959) divide o desenvolvimento em um processo que ocorre através de 5 estágios sendo esses: sociedade tradicional, pré-condições para o arranco, arranco, marcha para a maturidade e era de consumo em massa. Assim o economista cita que para que o arranco possa ocorrer os rendimentos sobre a produtividade agrícola são estímulos importantes, já que influenciam no desenvolvimento de novos setores industriais.

Kuznets (1968) menciona que embora a industrialização seja um afastamento da agricultura para a indústria, é na agricultura que as primeiras bases são criadas, pois o desenvolvimento agrícola gera recursos e mão de obra que serão empregados na indústria e contribuem dessa maneira para o desenvolvimento da mesma.

Inúmeros outros autores abordam que existe uma relação positiva entre a agricultura e a industrialização, desse modo confirma-se que um bom desenvolvimento do setor agrícola acaba por gerar benéficos para a sociedade e para a economia das regiões.

O crescimento da agropecuária (atividade discutida nessa pesquisa) acompanha o crescimento econômico, assim conforme a agropecuária se desenvolve, há geração de maiores rendas para os agricultores, maior demanda por mão de obra e redução dos preços dos alimentos, principalmente quando esse crescimento é fruto das melhorias tecnológicas, onde se pode produzir mais utilizando praticamente a mesma quantidade de insumos, ou seja, aumentando a produtividade, desse modo o desenvolvimento da agropecuária influencia de maneira positiva na redução da pobreza (IRZ *et al.*, 2001).

Vale mencionar que os preços dos produtos agropecuários dependem de como se comporta a oferta dos bens primários e esta depende de diversos fatores, tais como: características ambientais, políticas que abrangem o setor agropecuário, cuidados que os produtores têm com a lavoura, dentre inúmeros outros. Os fatores que abrangem a agropecuária podem influenciá-la de maneira positiva ou negativa.

Por exemplo, em relação às políticas que abrangem o setor agropecuário, muitos países possuem diversas tarifas, impostos etc., que acabam diminuindo o bem-estar do produtor, do consumidor ou de ambos, como exemplo, as tarifas sobre importações implicam em preços maiores de agrotóxicos e fertilizantes que são fabricados no exterior, como consequência, esse maior preço é repassado para o preço do produto em questão (FRENKEL; SILVEIRA, 1996).

O crescimento e o desenvolvimento da agropecuária podem ser explicados pelos avanços das pesquisas aplicadas ao campo (ALSTON, 2010), pelo clima de cada região (OLESEN; BINDI, 2002), pelo aumento das áreas plantadas, pela maior capacitação da mão de obra etc., (EDGERTON, 2009).

O aumento da produtividade é o esperado e não apenas o crescimento da produção, quando a produção cresce em razão apenas do aumento de insumos (como o aumento da área plantada) o aumento da produtividade não é observado. Portanto espera-se que as regiões tornem-se mais produtivas com o decorrer do tempo, devido principalmente às inovações tecnológicas (EGERTON, 2009).

No Brasil nos últimos 50 anos a agropecuária demonstrou um crescimento significativo, impulsionado pelo aumento da produtividade. O país saiu da categoria de importador de alimentos e passou a ser um dos maiores exportadores do mesmo, sendo os investimentos nesse setor um dos principais determinantes do aumento de produtividade (EMBRAPA, 2018).

O crescimento da produção agropecuária no Brasil é acompanhado pelo aumento do uso de insumos como terra, máquinas, agrotóxicos e fertilizantes e pela queda no uso de mão de obra (GASQUE; BASTOS; BACCHI, 2008).

A agropecuária é um setor que gera renda e que contribui positivamente para o aumento do produto nacional. Porém no passado, a agropecuária brasileira era rudimentar e pouco mecanizada onde o trabalho braçal prevalecia. A soja que hoje é o produto mais importante da pauta produtora agrícola do Brasil, entre os anos de 1950-1960, não apresentava uma produção expressiva (EMBRAPA, 2018).

A partir de 1960 o país se encontrou diante de expansões da indústria, porém a agropecuária ainda se via estagnada, seu crescimento pequeno se dava basicamente por aumentos de área, mão de obra e capital, ou seja, quase nada se via em melhorias da produtividade. Conforme a população crescia e adquiria melhores condições devido as maiores rendas, a fraca produção passava a ser um ponto preocupante.

A produção de alimentos passava a ser um problema que preocupava a população, em 24 de abril de 1968 o Jornal O Folha de São Paulo, publicou uma matéria onde o título era “*escassez alimentar no Brasil*”, retratando os problemas que o país enfrentava devido ao baixo desempenho apresentado pelo setor. Os problemas previstos pela baixa produtividade agropecuária eram vários e até mesmo a retardação do processo de industrialização, caso a agricultura se mantivesse no mesmo nível (CASTRO, 1968)

Nesse período os preços do feijão, de carnes e das frutas subiam o que mostrava que a produção agropecuária não estava conseguindo acompanhar os aumentos de demanda. Porém inúmeros fatores contribuíam para que a agropecuária se desenvolvesse, e afastasse as preocupações relacionadas a escassez de alimentos. (SCHUH, 1972, EMBRAPA, 2018).

Assim em 1960 um acontecimento importante na agropecuária mundial ocorreu, chamado de Revolução Verde, trazendo mudanças para o setor. Seu principal discurso era de acabar com problemas relacionados a falta de alimentos, ou seja, exterminar a fome mundial. Para isso em diversos países foram adotadas medidas que resultaram em incentivos para melhores produções agropecuárias (MATOS; PESSOA 2011; OCTAVIANO, 2010; PINGALI, 2012; PATEL, 2013).

No Brasil a Revolução Verde trouxe avanços para os insumos químicos (adubos e agrotóxicos), melhorias na mecanização utilizada no campo (novos tratores, colheitadeiras, pulverizadores), novas variedades de sementes com características biológicas propícias para diferenciados tipos de solo e clima, estrutura de crédito agrícola subsidiado e grande incentivo as pesquisas relacionadas ao campo, contribuindo desse modo, para um melhor desenvolvimento das atividades relacionadas ao meio rural (LAZZARI; SOUZA, 2017).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), as universidades públicas e privadas e empresas privadas passaram a desempenhar importante papel nas pesquisas relacionadas a agropecuária. Através desses estudos se desenvolviam melhores manejos de solo, sementes e agrotóxicos, o que gerava grandes mudanças que afetavam de maneira positiva o desenvolvimento das atividades do campo (ALVES, 2010; DOSSA; SEGATTO, 2010; EMBRAPA, 2018; MATOS; PESSOA, 2011; PAULA; BONELLI, 1997).

Dessa forma, formulou-se o que se chamaria de agropecuária moderna, marcada por avanços tecnológicos, grande modernização, utilização de melhores manejos do solo, produções em larga escala e exportações em volumes significativos (MATOS; PESSOA, 2011). A agropecuária havia saído de uma zona de estagnação para se tornar setor de suma importância para o país.

Com isso, ao longo dos anos a produtividade agropecuária observada no país apresentava uma tendência de crescimento. Apesar de o país apresentar uma taxa de crescimento da produtividade positiva, esse crescimento não ocorreu de maneira homogênea por todo o território brasileiro, as regiões apresentaram disparidades entre suas produtividades como mostra Almeida, Perobelli e Ferreira (2008) e Felema, Raiher e Ferreira (2013).

Ao tratar de assuntos relacionados à agropecuária deve-se levar em consideração o espaço em que se encontram as regiões (LOPES, 2004), pois os fatores edafoclimáticos de cada localidade tem impacto importante nas produções agropecuárias (TEIXEIRA; BERTELLA, 2015).

Como o Brasil é um país de grande extensão, encontram-se entre as regiões brasileiras diferentes tipos de vegetação, solo, temperatura, precipitação etc., e estas diferenças implicam em produtividades agropecuárias não homogêneas entre as regiões, onde existem lugares que possuem maior produtividade e outros com produtividades mais baixas, e mesmo com o desenvolvimento de técnicas mais propícias para cada localidade a heterogeneidade da agropecuária ainda pode ser observada.

Como a agropecuária é influenciada diretamente pelos fatores ambientais torna-se importante observar as regiões produtoras de maneira diferenciada, ou seja, considerando a localidade onde essa região se encontra, de modo que se possam captar influências do ambiente na produção agropecuária.

Uma possível maneira de englobar os fatores do ambiente mais facilmente é através da agregação das regiões por biomas, pois os biomas compartilham de características semelhantes do ambiente, onde essas condições são alguns dos fatores que influenciam nas produtividades.

Um bioma é um composto de regiões que possui características uniformes de um macroclima definido, fitofisionomia, fauna, altitude, solo dentre outros fatores ambientais o que faz com que essa região tenha uma estrutura própria, ou seja, uma ecologia definida para aquele limite de região, assim as localidades apresentam diferenças que são próprias da sua formação e que influenciam o ambiente (COUTINHO, 2006; SHELFORD, 1945)¹.

Cada bioma encontrado no país possui características próprias. Não se pode implicar que as condições que dominam cada bioma são únicas, pois mesmo dentro de um mesmo bioma pode-se verificar diferenças do tipo de clima, solo, ventos etc., tais diferenças se acentuam com o passar dos anos, devidos às degradações ambientais

¹O Brasil é formado por 6 biomas sendo esses: Caatinga, Cerrado, Pantanal, Pampa, Amazônia e Mata Atlântica, onde em cada um tem-se uma vasta variedade de flora e fauna.

que implicam cada vez mais em condições climáticas extremas, que antes não eram observadas.

O Brasil é dividido em seis biomas: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal. Cada bioma possui características diferenciadas que são propícias para diferentes culturas agropecuárias. No bioma Amazônia composto por 9 estados brasileiros predomina o clima equatorial úmido, onde a temperatura média anual é de cerca de 25°, a precipitação média cerca de 2300 mm/ano que resultam em condições favoráveis para produção de diversas culturas tais como feijão caupi, dendê, coco, pimenta-do-reino, maracujá entre outras (IBGE, 2020; VILELA; CALLEGARO; FERNANDES, 2019).

No bioma da Caatinga o clima dominante é o semiárido, com temperatura média anual de cerca de 25° a 30°, precipitação média de 800 mm/ano, essa região passa por grande estresse hídrico, pois além de poucas chuvas apresenta altas temperaturas. Nessa região encontrasse o umbu fruto característico das localidades pertencentes à Caatinga, que é capaz de se desenvolver diante das limitações climáticas que a região apresenta (IBGE, 2016, VILELA; CALLEGARO; FERNANDES, 2019), também se verifica as produções de milho, feijão, mandioca nos solos arenosos e algodão nos solos argilosos, porém a produtividade para essas culturas é muito pequena (ARAÚJO FILHO; CARVALHO, 1997). A Caatinga é verificada principalmente no Nordeste brasileiro.

No bioma de Cerrado que está presente na região central do país, a produção de grãos é elevada, principalmente as produções de soja, milho e café (VILELA; CALLEGARO; FERNANDES, 2019); o clima predominante desse bioma é o tropical sazonal com temperaturas médias de cerca de 23° e precipitação média de cerca de 1500 mm/ano.

Já em grande parte da região Sudeste, região Sul e no litoral nordestino, encontra-se o bioma da Mata Atlântica cujo clima que compõe grande parte do bioma é o tropical úmido, com temperaturas médias de cerca de 23° e uma precipitação média que oscila entre 750 a 1000 mm/ano e que possui uma produtividade agropecuária elevada. Esse bioma é o que possui os maiores valores da produtividade agropecuária, em comparação com os demais biomas. As produções mais relevantes são: o trigo, a

soja, o milho, o café, a laranja, a cana-de-açúcar, o algodão, pinus e a criação de gado (EMBRAPA, 2020a).

Os Pampas possuem um clima subtropical frio, onde a temperatura média fica em torno de 19° e a precipitação média anual é de cerca de 1200 milímetros. As quatro estações no bioma de Pampa são bem definidas, e a criação de gado, produção de arroz, produções de oliveiras e vitivinicultura (EMBRAPA, 2020b; SILVA, 2012) são as atividades agropecuárias mais significativas.

Por fim o bioma Pantanal apresenta um clima tropical, com temperaturas médias anuais de cerca de 24° e precipitação média anual de cerca de 1110 milímetros. A produtividade desse bioma é baixa e tem apesar dos pequenos valores a pecuária como principal atividade (EMBRAPA, 2020c).

Assim torna-se relevante diferenciar as produtividades pela localidade onde ela se encontra e como fatores ambientais são importantes, essa localidade pode ser definida através dos biomas.

Desse modo o objetivo desse trabalho é testar a hipótese de convergência da produtividade agropecuária, para as microrregiões do Brasil entre os anos de 1995 e 2017, utilizando a econometria espacial e regimes espaciais divididos por biomas. Vale mencionar que para elaboração dos resultados econométricos dessa pesquisa serão considerados apenas 4 biomas que são: Amazônia, Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica. Os demais biomas Pampa e Pantanal não foram considerados pelo pequeno número de observações, no capítulo da metodologia se explicará de maneira mais detalhada a retirada desses dois biomas na consideração dos regimes.

Convergência é um processo em que pode se observar se as diferenças do valor de uma variável em diferentes localidades tendem a diminuir ao longo do tempo, ou seja, tendem a se aproximar de uma média. A convergência pode ser dividida em convergência absoluta e condicional, cujo na primeira explica-se o crescimento da variável em análise apenas em função do valor da variável inicialmente, enquanto para a convergência condicional o crescimento é função do valor da variável no primeiro período, mais variáveis que podem exercer influência para que tal crescimento ocorra (BARRO; SALA-I-MARTIN, 1991; BARRO; SALA-I-MARTIN, 1992; GALOR, 1996; SALA-I-MARTIN, 1996).

Estudos sobre produtividade agropecuária e sua convergência podem ser encontrados em diversos trabalhos internacionais, tais como: Martin e Mitra (1999), Paudel, Sambidi e Sulghan (2004), Rezits (2005), Galanoupou (2006), Paranaguas e Dey (2006), Rahman (2007), Sanén, Homero e Hernandez (2007), Li, Zeng e Zang (2008), Alexiadis (2010), Guerva (2011), Hamulczuk (2015), Murtaza e Massod (2016). E trabalhos nacionais, tais como: Lopes (2004), Almeida, Perobelli e Ferreira (2008), Fochezatto e Stulp (2008), Spohr e Freitas (2011), Lopes e Paula (2013), Castro, Almeida e Lima (2015), Raiher *et al.*, (2016), Saith e Kamitani (2016), Barricelo (2019), Batistella *et al.*, (2019), Cardozo, Schaab e Parre (2019), Albuquerque (2020), Hybner, Parré e Afonso (2020) dentre outros.

Este estudo se diferencia da literatura existente, pois até o momento não se encontrou na literatura trabalhos que testem empiricamente o processo de convergência da produtividade agropecuária, utilizando a econometria espacial com regimes espaciais divididos por biomas, assim buscará controlar a dependência espacial e a heterogeneidade espacial.

O trabalho está dividido em seis seções. Além dessa introdução, a segunda seção apresenta o referencial teórico sobre o assunto; a terceira seção descreve a Revolução Verde e o meio ambiente dos biomas; a quarta seção demonstra a metodologia empregada no estudo; a quinta seção apresenta os resultados da pesquisa; e, a sexta seção as considerações finais.

2 DEFINIÇÃO DE PRODUTIVIDADE AGROPECUÁRIA, CONVERGÊNCIA E SUAS APLICAÇÕES EM ESTUDOS AGRÍCOLAS

Nessa seção será abordada a definição de produtividade agropecuária, o conceito de convergência e sua aplicação na análise da produtividade agropecuária.

2.1 PRODUTIVIDADE AGROPECUÁRIA

O desempenho da agropecuária e sua contribuição para a economia pode ser medido por meio do cálculo de sua produtividade. O cálculo da produtividade pode ser contabilizado através da Produtividade Total dos Fatores (PTF), que segundo Gasques, Vieira e Navarro (2010), é o cálculo da produtividade considerando a relação entre produto e insumo, podendo ser estimada a partir do Valor Bruto da Produção (VBP) e através da Produtividade Parcial dos Fatores (PPF), a qual não leva em consideração os insumos utilizados na produção, tais como trabalho, terra e capital.

Nessa pesquisa a produtividade é determinada seguindo as metodologias propostas por Felema, Raiher e Ferreira (2013) e Raiher *et al.*, (2016), que são expostas nas formulações 52 e 53 encontradas na seção 4 da metodologia. Tratando-se basicamente da razão entre valor adicionado (valor bruto da produção agropecuária menos custos intermediários) e área total explorada.

Na grande maioria das regiões do planeta as produções agropecuárias tenderam a apresentar taxas de variações positivas ao longo dos anos, o que traz à tona a antiga teoria de Thomas Robert Malthus (1766-1834), onde o economista britânico alegava que o crescimento da população se dava por uma taxa geométrica, enquanto o crescimento dos alimentos se representava através de uma função de taxa aritmética, o que geraria com o passar dos anos uma falta de alimentos para a população, os deixando na miséria (MALTHUS, 1872). O que Malthus não ponderava em sua análise era que a produção de alimentos poderia, com o passar dos anos tornar-se mais produtiva, devido a inovações tecnológicas dentre outras fontes que influenciam na produção.

Desde o século XIX os questionamentos sobre a capacidade de a produção agropecuária atender a demanda, que é crescente ao longo do tempo devido ao grande crescimento da população, foram se tornando menos preocupantes em função dos aumentos das áreas plantadas, desenvolvimento de tecnologias e intensificação do comércio internacional (AMARAL, 2018).

Porém quando se trata de aumentos de produções agropecuárias, não necessariamente verificam-se aumentos de produtividades, como visto no trabalho de Fulginiti e Perrin (1998), onde os autores buscaram identificar se a produtividade agrícola havia apresentado taxas de variações positivas para 18 países² subdesenvolvidos entre os anos de 1961 e 1985, utilizando um Índice de Malmquist. Como resultados, os autores encontraram que as produtividades dos países menos desenvolvidos eram menores e que o crescimento da produtividade não foi identificado para os países de Gana, Costa do Marfim, Zâmbia, Paquistão, Tailândia e Coreia.

Grande parte da população mais pobre habita em regiões rurais, o que faz com que a agropecuária seja extremamente importante para a sobrevivência. A agropecuária contribui na formação de renda dos países, assim, variações na produção agropecuária geram efeitos agregados de grande proporção em diversas localidades, mostrando uma correlação positiva entre o aumento de produtividade agropecuária e o crescimento econômico (GOLLIN, 2010).

Foster e Rosenzweig (2003) mencionam que o desenvolvimento agropecuário em regiões mais pobres, é o motor de crescimento da economia. Busca-se desenvolver a agropecuária, aumentando as rendas dos agricultores com intuito de reduzir a pobreza e influenciar no desenvolvimento dos setores não agrícolas.

No estudo de Foster e Rosenzweig (2003) realizou-se uma análise sobre o desenvolvimento agrícola para a Índia para o período de 1970 e 2000 e para 16 estados. Os autores verificaram que o crescimento da produção rural gera melhorias no bem-estar da população, pois com a maior quantidade produzida a disponibilidade de alimentos se torna maior, gerando como consequência quedas de preços e melhor bem-estar da sociedade. Um problema apontado pelos autores é que em certas regiões

²Argentina, Brasil, Chile, Colômbia, Coreia, Costa do Marfim, Egito, Filipinas, Gana, Malásia, Marrocos, Paquistão, Portugal, República Dominicana, Sri Lanka, Tailândia, Turquia, Zâmbia.

da Índia a agricultura apresentou um mau desempenho e esse mau desempenho foi atribuído a fatores climáticos, que foram desfavoráveis influenciando negativamente as produções de diversas culturas.

O crescimento do setor agropecuário é essencial para atender a demanda de alimentos e matérias-primas que é crescente ao longo do tempo, devido ao aumento da população e ao desenvolvimento. Desse modo o melhor desempenho agropecuário acompanha a urbanização e o desenvolvimento econômico das regiões, (HAYAMI; RUTTAN, 1960).

Mas o que contribui para que crescimentos de produção e de produtividade agropecuária ocorram? Diversos autores abordam sobre quais seriam os determinantes da produção agropecuária. Ekbom (1998) e Odhiambo, Nyangito e Nzuma (2004) encontraram em suas pesquisas realizadas para o Quênia, que as variáveis que contribuíam positivamente para a produtividade agropecuária são: a qualidade e conservação de solo, gastos com insumos aplicados na produção agrícola, capital humano, capital físico, terra, políticas comerciais e o clima, já o tamanho da fazenda e a distância que a propriedade se encontrava dos principais recursos são fatores que possuem efeito negativo sobre a produtividade agropecuária.

Olujenyo (2008) verificou em seu trabalho que os determinantes que contribuem positivamente com a produtividade da agricultura na Nigéria são os custos de insumos, a mão de obra, a educação dos produtores e a idade dos produtores, já o tamanho da fazenda se apresentou como uma variável que possui um impacto negativo sobre a produtividade agrícola.

A pesquisa desenvolvida por Urgessa (2015) verificou que os determinantes da produtividade para a Etiópia são basicamente as relações terra-trabalho, o uso dos fertilizantes, o uso dos pesticidas e o tamanho da família. O fator falta de chuvas apresentou-se como uma variável de contribuição negativa à produtividade agrícola.

Brigatte (2010) aborda que os determinantes do produto e da produtividade agropecuária total brasileira são os investimentos em infraestrutura de transportes, energia elétrica, pesquisa, irrigação e armazenagem de grãos, também cita que o crédito rural e a educação dos trabalhadores do setor agropecuário, contribuem de maneira positiva com desenvolvimento da agropecuária.

Nos trabalhos de Medeiros *et al.*, (2013) e Pavan (2013) se verificou quais eram os determinantes da produtividade agropecuária dos municípios de Minas Gerais e do Paraná, respectivamente. Como resultados os autores observaram que variáveis como: investimento público, qualidade de vida, condições da atividade agropecuária, condições do meio ambiente, infraestrutura, condições de financiamentos, qualidade da terra e área relativa são importantes determinantes.

Outra característica de extrema importância quando se aborda o tema produtividade agropecuária, são os padrões de localização. A agropecuária apresenta crescimento ao longo dos anos, mas o crescimento não ocorre de maneira homogênea, assim encontram-se regiões com altas produtividades e outras com produtividades baixas. Perobelli *et al.*, (2008), cita que a agropecuária apresenta dependência espacial e heterogeneidade espacial, assim variáveis que determinam a produção em uma região podem estar influenciando na determinação da produção de outra região.

Desse modo além dos determinantes já mencionados da produtividade agropecuária, pode-se também incluir fatores que são relacionados ao espaço, ou seja, a produção de uma região pode estar influenciando na produção de outra, características regionais como, por exemplo, tipo de solo, clima etc., também podem ser contribuintes da produtividade.

2.2 MODELOS DE CONVERGÊNCIA E CONVERGÊNCIA DA PRODUTIVIDADE AGROPECUÁRIA

Com intuito de verificar se as diferenças entre as produtividades agropecuárias entre as microrregiões do país diminuem ao longo dos anos, utiliza-se um modelo de convergência da produtividade agropecuária, adaptado das ideias básicas de Barro e Sala-i-Martin (1990, 1991) que derivaram do modelo de Solow de 1957, nas subseções seguintes são apresentados estes modelos.

2.2.1 Modelo de Solow

Solow desenvolveu dois modelos, o primeiro deles foi proposto no ano de 1956 e era considerado uma resposta ao modelo de Harrod-Domar (1939,1946), nesse primeiro modelo a tecnologia foi deixada de lado, mas depois em seu trabalho publicado no ano de 1957 a tecnologia foi incorporada. A crítica que era realizada por Solow (1957) sobre o modelo de Harrod-Domar (1939, 1946) estava baseada no fato do modelo Harrod-Domar considerar que havia taxas de poupanças e investimentos nos países constantes que resultavam em crescimentos constantes, porém muitos países possuem uma poupança baixa, com grande parte de renda direcionada para consumo, então como poderia ser a poupança o determinante do crescimento (BARRO, 1991; BARRO; SALA-I-MARTIN, 1992; BARRO; SALA-I-MARTIN, 2004; DESTINOBLES; ARCE, 2001; LOPES, 2004).

Solow utilizou uma função de produção onde os fatores produtivos são capital e trabalho e esses fatores de produção são substitutos entre si. Na função os produtos marginais são decrescentes e os retornos de escala são constantes. Onde o principal determinante de crescimento de longo prazo é a tecnologia, a produção representada por Solow é uma mercadoria, que tem como finalidade apenas duas saídas, consumo e a poupança que é conseqüentemente investida (BARRO, 1991; BARRO; SALA-I-MARTIN, 1992; BARRO; SALA-I-MARTIN, 2004; DESTINOBLES; ARCE, 2001; LOPES, 2004).

A função de produção representada no modelo de Solow pode ser observada na equação 1.

$$Y(t) = F[K(t), L(t)] \quad (1)$$

Onde, $Y(t)$ representa a produção dessa economia do único bem no período t , $K(t)$ é o capital no período t , $L(t)$ é o trabalho no período t . Assume-se que toda produção deverá ser consumida $C(t)$ ou investida $I(t)$ (BARRO, 1991; BARRO; SALA-I-MARTIN, 1992; BARRO; SALA-I-MARTIN, 2004; DESTINOBLES; ARCE, 2001; LOPES, 2004). O investimento é idêntico a poupança

$$s(t) \equiv Y(t) - C(t) \equiv I(t) \quad (2)$$

A parte poupada dessa produção é uma fração constante representada por $S(\cdot)$, assim sendo uma variável já determinada para a economia, ou seja, exógena. O fluxo de poupança pode ser representado por $S.Y(t)$, os investimentos realizados com a poupança possuem apenas duas finalidades que são a acumulação de novo capital e a reposição do capital depreciado, a acumulação do capital pode ser representada por $K(t)$. O investimento auferido é dado por dK/dt ou ΔK , por fim a depreciação do capital pode ser representada pela constante δ (BARRO, 1991; BARRO; SALA-I-MARTIN, 1992; BARRO; SALA-I-MARTIN, 2004; DESTINOLES; ARCE, 2001; LOPES, 2004).

A variação do capital é dado pela taxa de crescimento do capital menos a depreciação constante do mesmo, podendo ser representada como

$$\Delta K = I(t) - \delta K(t) = s.F[K(t), L(t)] - \delta K(t) \quad (3)$$

Trata-se de uma economia fechada, o governo não influencia na distribuição de bens e serviços e o trabalho varia a uma taxa n no tempo devido ao crescimento da população (BARRO, 1991; BARRO; SALA-I-MARTIN, 1992; BARRO; SALA-I-MARTIN, 2004; DESTINOLES; ARCE, 2001; LOPES, 2004).

Reescrevendo os termos da equação 1 em razão do trabalho, encontra-se os valores per capita

$$\frac{Y(t)}{L} = F\left(\frac{K(t)}{L}, \frac{L(t)}{L}\right) \quad (4)$$

Reescrevendo a função de maneira simplificada ela se torna,

$$y(t) = F(k(t)) \quad (5)$$

Nessa função pode-se observar que a produção per capita é função apenas do capital per capita, assim para que a produção per capita aumente o capital per capita precisa crescer (BARRO, 1991; BARRO; SALA-I-MARTIN, 1992; BARRO; SALA-I-MARTIN, 2004; DESTINOBLES; ARCE, 2001; LOPES, 2004).

A variação do capital em termos per capita pode ser escrito como

$$\frac{\Delta K}{L} = S.y(t) - \delta k(t) \quad (6)$$

onde $K(t)$ é igual a K/L .

Assim quando investimento é maior que a depreciação o estoque de capital por trabalhador aumenta, enquanto se o investimento for menor que a depreciação o estoque de capital por trabalhador diminui. Desse modo o equilíbrio será alcançado quando todas as variáveis estiverem crescendo a taxas constantes, o equilíbrio que é chamado estado estacionário, no qual as variáveis estarão nos níveis k^* e y^* , ou seja, os níveis ótimos (BARRO, 1991; BARRO; SALA-I-MARTIN, 1992; BARRO; SALA-I-MARTIN, 2004; DESTINOBLES; ARCE, 2001; LOPES, 2004).

Essa conclusão do modelo descrita acima pode ser representada como:

$$\begin{aligned} s.y(t) &> (n + \delta).k(t) \Rightarrow \Delta k(t) > 0 \\ s.y(t) &< (n + \delta).k(t) \Rightarrow \Delta k(t) < 0 \\ s.y(t) &= (n + \delta).k(t) \Rightarrow \Delta k(t) = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

O equilíbrio no longo prazo depende da poupança, assim quanto maior a taxa de poupança da economia, maior será o produto por trabalhador (BARRO, 1991; BARRO; SALA-I-MARTIN, 1992; BARRO; SALA-I-MARTIN, 2004; DESTINOBLES; ARCE, 2001; LOPES, 2004).

2.2.2 Modelo de Solow Com Tecnologia

No ano de 1957 Robert Solow apresentou seu novo modelo de crescimento agora incorporando a tecnologia, porém não explicando ainda a origem dessa tecnologia (BARRO, 1991; BARRO; SALA-I-MARTIN, 1992; BARRO; SALA-I-MARTIN, 2004; DESTINOBLÉS; ARCE, 2001; LOPES, 2004).

Desse modo a função produção pode ser representada pela seguinte equação

$$y(t) = k(t)^\alpha AL(t)^{1-\alpha} \quad (8)$$

A partir disso o produto aumenta conforme o capital, o trabalho e a tecnologia. Aplicando logaritmo e diferenciando em relação ao tempo tem-se

$$\frac{\Delta y}{y} = \alpha \frac{\Delta k}{k} + (1 - \alpha) \left(\frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta A}{A} \right) \quad (9)$$

Considerando $\frac{\Delta A}{A} = g$, sendo agora g um parâmetro que representa a taxa de crescimento tecnológico (LOPES, 2004). A função produção pode ser reescrita como³:

$$y = k^\alpha A^{1-\alpha} \quad (10)$$

Novamente aplicando logaritmo e derivando em relação ao tempo tem-se

$$\frac{\Delta y}{y} = \alpha \frac{\Delta k}{k} + (1 - \alpha) \frac{\Delta A}{A} \quad (11)$$

Considerando agora $g_y = \frac{\Delta y}{y}$, $g_k = \frac{\Delta k}{k}$ e $g_A = \frac{\Delta A}{A}$, pode-se reescrever a função de produção da seguinte maneira

³ $\frac{y}{L} = \left(\frac{k}{L}\right)^\alpha \alpha \left(\frac{AL}{L}\right)^{1-\alpha}$

$$g_y = \alpha g_k + (1 - \alpha)g \quad (12)$$

No estado-estacionário $\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta k}{k}$, escrevendo de maneira simplificada tem-se $g_y = g_k$, a função produção no estado-estacionário pode agora ser escrita conforme a equação 13 (LOPES, 2004)

$$\begin{aligned} g_y &= \alpha g_y + (1 - \alpha)g \\ (1 - \alpha)g_y &= (1 - \alpha)g \\ g_y &= g \end{aligned} \quad (13)$$

Concluindo a taxa de crescimento da renda per capita é igual a taxa de crescimento da tecnologia. Agora acumular fatores de capital influência apenas na velocidade em que a economia alcançará o seu estado-estacionário, mas o nível de estado-estacionário só vai se alterar quando houver mudanças na tecnologia. Por fim, o modelo demonstra que a tecnologia é a fonte de crescimento do produto per capita (BARRO; SALA-I-MARTIN, 2004; LOPES, 2004).

2.2.3 Convergência Absoluta e Condicional

O modelo de desenvolvimento proposto por Robert Solow em 1957 foi o primeiro modelo a apresentar a possibilidade da existência de convergência. A ideia básica e inicial de convergência era aplicada as rendas dos países. Gerschenkron (1959) e Abramovitz (1986) argumentaram que sob certas circunstâncias os países com menores rendas tendem a crescer mais rápido do que aqueles com rendas maiores, a fim de que ao longo do tempo a diferença entre ambos acabe, ou seja, o hiato de renda se feche (JONES, 2016).

Um dos argumentos que buscam explicar por que a convergência ocorre é a transferência de tecnologia que ocorre entre as regiões e que eleva consequentemente as rendas. O primeiro trabalho que exibiu a existência de um processo de convergência

de renda foi o trabalho de Baumol (1956), onde o autor observou a existência e a ausência de convergência entre alguns países (JONES, 2016).

Ao tratar de convergência absoluta que é a mencionada até agora, tem-se como característica que se considera certas estruturas das localidades semelhantes, ou seja, os mesmos níveis de tecnologia, as mesmas taxas de investimento e de crescimento populacional, assim entre aqueles países que possuem o mesmo estado estacionário o processo de convergência prevalece. Porém, na realidade, os fatores estruturais de cada região são diferentes de modo que a convergência apresenta resultados e comportamentos diferenciados para cada país.

Trabalhos como de Barro e Sala-i-Martin (1992), Rey e Montouri (1999) e Sala-i-Martin (2006), dentre outros, tratam de convergência de renda. Barro e Sala-i-Martin (1992) e Rey e Montouri (1999), buscaram identificar a hipótese de convergência de renda para os Estados Unidos, o primeiro para o período de 1840 e 1963, e o segundo para o período de 1929 e 1994, com o acréscimo para essa pesquisa do uso da econometria espacial. Sala-i-Martin (2006) analisou a presença de convergência de renda entre 139 países para os anos de 1970 e 2000.

Os estudos acerca da convergência foram se desenvolvendo e sendo aplicados em outras áreas como na agricultura e na pecuária. O conceito de convergência abordado nessa pesquisa trata basicamente de verificar se as diferenças nas produções agropecuárias tendem a diminuir ao longo dos anos. Inúmeros estudos foram realizados para diversos países com intuito de se verificar esse fenômeno. Na subseção 2.3 o assunto convergência é tratado com foco na agropecuária, pesquisas que utilizaram essa metodologia a fim de verificar a existência ou não de convergência são apresentadas.

Uma breve introdução ao modelo empírico de convergência será exposta aqui, com intuito de apresentar matematicamente o modelo de convergência. Foi a partir do modelo de Solow que se desenvolveu a ideia de convergência, essa ideia inicial parte da condição de que a derivada de $\partial\left(\frac{k^*}{k}\right)$ com relação a k é negativa (BARRO; SAL-I-MARTIN, 2004)

$$\frac{\partial \left(\frac{k^*}{k} \right)}{\partial k} = s \cdot \left[\frac{f'(k) - \frac{f(k)}{k}}{k} \right] < 0 \quad (14)$$

o que significa que os menores valores de capital estão associados a valores de crescimento de capital maiores. Uma economia com menor capital por pessoa tende a crescer mais rápido em termos per capita. Assim considerando as mesmas estruturas das economias, ou seja, os mesmos valores para s , n e δ e também a mesma função de produção (o que resulta em estados estacionários iguais), tendo como único diferencial a quantidade de capital por trabalhador inicial, tem-se como consequência do modelo, que as economias menos avançadas, com menores valores de k e y terão taxas maiores de crescimento de capital e de produto, essa descrição se resume ao que se chama de convergência absoluta (BARRO; SALA-I-MARTIN, 2004).

Quando os estados-estacionários diferem entre si, há a necessidade de mudar a análise acerca de convergência e abordar a convergência condicional. A ideia central continua sendo a mesma, onde uma economia tenderá a crescer mais rápido quanto mais longe essa economia estiver do seu estado-estacionário.

Empiricamente os modelos de convergência foram propostos por Barro e Sala-i-Martin (1990, 1991) os autores apresentam a ideia de convergência- β e convergência- σ . As seções 2.2.3.1 e 2.2.3.2 apresentam os modelos de convergência- β absoluta, convergência- β condicional e convergência- σ .

2.2.3.1 Convergência β e σ

No ano de 1990 Barro e Sala-i-Martin analisaram o crescimento da renda per capita de 48 estados dos Estados Unidos para o período de 1840 a 1990, cujo objetivo do trabalho eram encontrar evidências da ocorrência de um processo de convergência entre os estados em questão (BARRO; SALA-I-MARTIN, 1990).

A consideração dos retornos decrescentes do capital é um importante determinante do modelo para os autores, a função de produção utilizada por Barro e Sala-i-Martin (1990) é especificada na equação 15.

$$y = F(K, L, e^{gt}) \quad (15)$$

onde y é o fluxo de produção, K é o estoque de capital, L é a força de trabalho e e^{gt} representa o efeito exógeno do trabalho, derivado do progresso tecnológico. A função exibe retornos marginais positivos e decrescentes para cada insumo, em termos per capita a equação 15 se torna (BARRO; SALA-IMARTIN, 1990):

$$\hat{y} = f(k) \quad (16)$$

onde o símbolo $\hat{}$ denota que as quantidades em termos per capita. A função satisfaz as propriedades de $f' > 0$ e $f'' < 0$. A economia é fechada, assim toda produção é destinada ao consumo ou a poupança que conseqüentemente gera o investimento. A maximização da utilidade do consumidor é representada na equação 17.

$$Max U = \int_0^{\infty} u(c) e^{nt} e^{\rho t} dt \quad (17)$$

$$\text{Sujeito a } \Delta \hat{k} = f(\hat{k}) - \hat{c} - (n + g + \delta) \hat{k} \quad (18)$$

Onde $c = C/L$ e ρ são taxas de desconto intertemporal. A função de utilidade momentânea é dada por $u(c) = \frac{c^{1-\theta} - 1}{1-\theta}$ com $\theta > 1$, assim a utilidade marginal ($u'(c)$) tem elasticidade θ constante em relação a c . A condição de primeira ordem implica em

$$\frac{\hat{c}}{c} = \left(\frac{1}{\theta} \right) \left[f'(\hat{k}) - \delta - \rho \right] \quad (19)$$

A maximização envolve uma condição de transversalidade que garante que o estoque de capital cresça assintoticamente a uma taxa menor que a taxa de retorno $f'(k)$, esse resultado requer que $\rho > n + (1 - \theta)g$. No estado estacionário as quantidades unitárias de y, k e c não se alteram, porém os valores dessas variáveis per capita crescem conforme ocorrem os avanços da tecnologia dados por g . No estado estacionário tem-se

$$f'(k^*) = \delta + \rho + \theta g \quad (20)$$

Para um país mais pobre que tenha valores de k menor implica que haja uma taxa de retorno $f'(k)$ maior, e conseqüentemente tem-se uma maior taxa de crescimento de consumo per capita. No caso do modelo clássico a função de produção é representada por uma função do tipo Cobb-Douglas

$$\hat{y} = f(\hat{k}) = (\hat{k})^\alpha \quad (21)$$

onde $0 < \alpha < 1$. A solução é dada linearizando a equação

$$\log \left[\hat{y}(t) \right] = \log \left[\hat{y}(0) \right] \cdot e^{-\beta t} + \log \left(\hat{y}^* \right) (1 - e)^{-\beta t} \quad (22)$$

O parâmetro positivo β é o que determina a velocidade da convergência e é dado por

$$2\beta = \left\{ h^2 + 4 \left(\frac{1 - \alpha}{\theta} \right) \cdot (\rho + \delta + \theta g) \left[\frac{\rho + \delta + \theta g}{\alpha} - (n + \delta + g) \right] \right\}^{1/2} - h \quad (23)$$

onde h é dado por $h = \rho - n - (1 - \theta)g > 0$.

Os retornos decrescentes da função de produção captado pelo α é o que determina o valor de β , assim quanto menor for α , maior será o valor encontrado para β e, portanto, mais rápida será a convergência. A taxa média de crescimento do produto per capita entre o intervalo t_0 e $t_0 + T$ é dado por

$$\frac{1}{T} \cdot \log \left[\frac{y(t)}{y(t_0)} \right] = g + \frac{(1 - e^{-\beta T})}{T} \cdot \left[\log \left(\frac{\hat{y}^*}{\hat{y}(t_0)} \right) \right] \quad (24)$$

Dado o valor de $\hat{y}^*$, a taxa de crescimento do produto será tão mais alta quanto mais baixa for o valor do $\log \left[\frac{\hat{y}}{\hat{y}(t_0)} \right]$, já em relação ao β na expressão $\frac{(1 - e^{-\beta T})}{T}$ quanto maior for seu valor, menor será o tempo medido em anos para que a economia se aproxime do estado estacionário, ou seja, menor será o tempo para que ocorra o processo de convergência.

Como já mencionado, Barro e Sala-i-Martin (1990) formularam dois conceitos de convergência, a convergência- β e a convergência que trata basicamente de observar a dispersão cross-section da variável de estudo. A dispersão é medida pelo desvio-padrão do logaritmo de uma variável em estudo, que declina através do tempo. Considerando a equação 24, porém incluindo um distúrbio tem-se:

$$\frac{1}{T} \cdot \log \left[\frac{y_{i,t}}{y_{i,t-1}} \right] = \alpha_i - (1 - e^{-\beta}) [\log(y_{i,t-1})(t-1)] + \mu_{i,t} \quad (25)$$

Sendo α uma constante, o estado estacionário $\hat{y}$ é o mesmo para todas as economias, $\mu_{i,t}$ um distúrbio aleatório com média zero e variância σ_u^2 possui distribuição independente do $\log y_{i,t-1}$. Nesse caso a existência de convergência- β não necessariamente implica na ocorrência da convergência- σ , assim pode não estar ocorrendo dispersão do $\log(y_{i,t})$ entre as economias. Com o distúrbio representado por

$\mu_{i,t}$ com média zero e variância σ_u^2 , a dispersão do $\log y_{i,t-1}$ representado por σ_t^2 evoluirá da seguinte forma:

$$\sigma_t^2 = (e^{-2\beta})\sigma_{t-1}^2 + \sigma_\mu^2 \quad (26)$$

Com σ_t^2 sendo uma constante, σ_u^2 e σ_0^2 sendo a variância do $\log(y_{i,t})$, a solução de primeira diferença da equação fica:

$$\sigma_t^2 = \frac{\sigma_\mu^2}{1 - e^{-2\beta}} + \left(\sigma_0^2 - \frac{\sigma_{i,t}^2}{1 - e^{-2\beta}} \right) e^{-2\beta} \quad (27)$$

o que implica que σ_t^2 se aproxima do valor de estado estacionário $\sigma^2 = \frac{\sigma_u^2}{1 - e^{-2\beta}}$.

Concluindo a ocorrência de convergência- β é uma condição necessária para que ocorra a convergência- σ , porém não é suficiente. Nos trabalhos de Barro e Sala-i-Martin, os autores confirmaram as hipóteses de convergência β e σ entre os estados dos Estados Unidos (BARRO; SALA-I-MARTIN, 1990; LOPES, 2004).

2.2.3.2 Convergência- β Condicional

Em 1991 Barro e Sala-i-Martin fizeram a análise sobre a renda dos países da OECD, nessa pesquisa os autores abordaram o que se chama de convergência- β condicional, o modelo que representa a convergência- β condicional é representado na equação 28.

$$\frac{1}{T} \cdot \log \left[\frac{y_t}{y_0} \right] = g + \frac{(1 + e^{\lambda t})}{T} \log y_0^* + \frac{(e^{\lambda t} - 1)}{T} \log y_0 + \text{Variáveis explicativas} + \varepsilon_{0,T} \quad (28)$$

Onde $g + \frac{(1-e^{\lambda t})}{T} \log y_0^* = \text{constante}$ e $\frac{e^{\lambda t-1}}{T} = \beta$, λ agora capta a velocidade da convergência para o modelo condicional, as variáveis explicativas que serão adicionadas serão as variáveis que cooperam para que o processo de convergência ocorra. No resultado do trabalho de Barro e Sala-i-Martin (1991), os países membros da OECD apresentaram um processo de convergência (BARRO; SALA-I-MARTIN, 199; LOPES, 2004).

2.3 ESTUDOS EMPÍRICOS SOBRE A CONVERGÊNCIA DA PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA

Os modelos de convergência de renda foram adaptados e utilizados para análises de convergência de produtividade agropecuária, alterando a variável renda pela variável produtividade agropecuária, onde a lógica dos modelos se mantém a mesma, porém agora se testa a hipótese de que as diferenças de produtividade agropecuária estão tendendo a diminuir ao longo dos anos entre as regiões, ou seja, testa-se a existência ou não de um processo de convergência para a produtividade agropecuária.

Na literatura encontram-se diversos trabalhos que utilizam essa metodologia para testar hipóteses de convergência da produtividade agropecuária. Pode-se citar os seguintes trabalhos internacionais: Martin e Mitra (1999), Paudel, Sambidi, Sulghan (2004), Rezits (2005), Galanoupou (2006), Paranaguas e Dey (2006), Rahman (2007), Sanén, Romero, Hernandez (2007), Li, Zeng e Zhang (2008), Alexiadis (2010), Guerva (2011), Hamulczuk (2015) e Murtaza e Masood (2018)

Martin e Mitra (1999) analisaram o crescimento e a hipótese da existência de um processo de convergência da agricultura. Foram utilizados dados em painel referindo-se a 49 países no período 1967 e 1992. As estimativas para testar a convergência foram baseadas em uma função de produção Cobb-Douglas, onde a hipótese nula a ser testada na pesquisa era não convergência. Como resultado encontraram altas taxas de progresso tecnológico, e a convergência para a agricultura foi confirmada, o que sugere uma disseminação rápida das inovações entre os países.

Em uma pesquisa desenvolvida por Paudel, Sambidi e Sulghan (2004) buscou-se identificar se havia um processo de convergência da produtividade agrícola em 48 estados dos Estados Unidos entre os anos de 1960 e 1996. A produtividade total dos fatores foi calculada considerando o capital humano e foram estimadas três⁴ abordagens diferentes para o teste de convergência (abordagem de Lichtenberg, abordagem de Carree e Klomp e abordagem de McCunn). Não se identificou um processo de convergência a nível agregado, mas em níveis regionais a convergência foi significativa, por fim os autores mencionam que o capital humano é um fator importante na determinação das disparidades de produtividades entre os estados americanos.

Um estudo sobre convergência da produtividade agrícola para nove países da Europa⁵ e Estados Unidos foi realizado por Rezits (2005), entre os anos de 1973 e 1993. As mudanças de produtividade foram verificadas com o uso do Índice de Window Malmquist⁶ e a análise foi realizada para dois subperíodos 1973 e 1982 e para 1983 e 1993 e depois considerado o período todo. Os resultados mostraram que houve crescimento da PTF nos países analisados, um crescimento médio de cerca de 1,62%. Houve confirmação da hipótese de β -convergência, mas ausência de σ -convergência para o período todo e para o primeiro período, para o segundo período a presença de β -convergência e de σ -convergência foi confirmada.

Na pesquisa desenvolvida por Galanoupou (2006), buscou se verificar a existência de um processo de convergência condicional da produtividade da terra entre 13⁷ países do mediterrâneo no período de 1961 e 2002. Utilizaram como metodologia uma Análise Envoltória de Dados e o Índice de Malmquist. Como resultados obtiveram

⁴Na abordagem de Carree e Klomp (1996) a convergência é identificada através do modelo $y_{it} = \rho y_{i,t-1} + v_{it}$ $t = 2, \dots, T, i = 1, \dots, N$, a hipótese de convergência é confirmada se $\rho^2 < 1 - \frac{\sigma_v^2}{\sigma_{\epsilon}^2}$. Para a

abordagem de Lichtenberg (1994) o modelo utilizado é $y_{it} = \pi y_{it} + u_t$ $i = 1, \dots, N$, onde $\pi = \rho^{T-1}$, esse modelo segue as hipóteses do modelo de Carree e Klomp (1996). Já na abordagem de McCunn e Huffman (2000) a análise da convergência é efetuada entre regiões geográficas, representada pelo modelo $var(\ln TFP_t) = \varphi_1 + \varphi_2 t + \varepsilon_t$, se o parâmetro φ_2 for significativo e diferente de zero confirma-se a hipótese de convergência incondicional.

⁵Reino Unido, Grécia, Dinamarca, Itália, França, Bélgica, Alemanha, Países Baixos e Irlanda.

⁶Esse índice é uma combinação de um índice Malmquist de produtividade e uma análise por envoltória de dados. O índice de Malmquist da PTF calcula a variação da produtividade total dos fatores ao longo dos anos, decompondo em variações de eficiência técnica e de escala. Já a análise envoltória de dados permite determinar a eficiência de uma unidade (GOMES, 2008, HOLSTAK, 2017)

⁷Grécia, Espanha, Chipre, Malta, Turquia, Argélia, Egito, Israel, Jordânia, Líbia, Marrocos, Síria e Tunísia.

que a hipótese de β -convergência não foi confirmada entre os países, porém se testou uma segunda hipótese de convergência baseada no trabalho de Mahar e Inder (2002), onde é possível observar cada país individualmente e desse modo Egito, Grécia, Tunísia e Espanha apresentaram processos de convergência condicional.

Paranaguas e Dey (2006) verificaram a convergência da produtividade da aquicultura entre os estados da Índia entre os anos de 1992 e 1998, utilizando os modelos de controle de dependência espacial do tipo defasagem espacial (SAR) e de erro autorregressivo espacial (SEM). Como resultado a hipótese de convergência foi confirmada e identificou-se a presença de transbordamentos no crescimento da PTF, onde os modelos SAR e SEM apresentaram melhores resultados que o Modelo Clássico de Regressão Linear (MQO).

A hipótese de convergência foi testada para 16 regiões de Bangladesh entre os anos 1964 e 1992, para o cálculo dos índices de produtividade foi utilizado o índice sequencial de Malmquist. Como resultados verificou-se que a hipótese de convergência foi confirmada para as regiões de Bangladesh, observando para essas regiões uma taxa média de crescimento da produtividade de 0,9% ao ano, onde um dos principais fatores que influenciou nesse crescimento foi o progresso tecnológico, (RAHMAN, 2007).

A convergência tradicional e espacial da renda agrícola foi testada e analisada para as unidades federativas do México no trabalho de Sanén, Romero, Hernández (2007), entre os anos de 1970 e 2003, utilizando um painel de dados e estimando um modelo de defasagem espacial com erro autorregressivo espacial (SAC). Identificou-se que houve convergência entre grupos de países para o período todo, sendo esses grupos formados pelas regiões agrícolas mais ricas e outro pelas regiões agrícolas mais pobres do México. Confirmou-se a influência do espaço, porém quando se analisou a convergência em subperíodos constatou-se um processo de divergência ao invés de convergência.

Li, Zeng e Zhang (2008) analisaram a produtividade da agricultura e a hipótese de β -convergência e σ -convergência para as regiões da China no período de 1980 e 2005, utilizaram uma Análise Envoltória de Dados. Encontraram a existência de σ -convergência, e observaram que o crescimento médio da PTF foi de cerca de 2,2%

entre as regiões chinesas, onde até 1980 era resultado do aumento da produtividade, sendo essa produtividade impulsionada principalmente pela evolução tecnológica, a região leste apresentou as maiores taxas de crescimento da agricultura.

No trabalho de Alexiadis (2010) testou-se a hipótese de convergência agrícola entre um total de 258 regiões da NUT-2⁸ da UE-26⁹ entre os anos de 1995 e 2004, foi estimado um modelo MQO e testado a ocorrência de convergência através de clubes de convergência. Confirmou-se a existência de um processo de convergência dentre as regiões tanto para o modelo todo, quanto para os clubes de convergência, onde se pode afirmar que existe a diminuição das diferenças de produtividade agrícola.

Guerva (2011) observou se as diferenças entre a produção agrícola tenderam a cair entre 125 regiões da EU-15¹⁰ entre os anos de 1985 e 2004, a metodologia utilizada segue a proposta por Quah (1993)¹¹ para corte transversal e painel de dados. Como resultado encontrou-se que as disparidades entre os produtores agrícolas são muitas e persistentes, o que fez com que não se comprovasse o processo de convergência agrícola dentre esses países.

No trabalho de Hamulczuk (2015) avaliou-se um processo de convergência da produtividade total dos fatores da agricultura para a Europa entre os anos de 1993 e 2012, utilizando um índice de Malmquist, e testando as hipóteses de sigma e beta convergência para 24 países, separando os países em novos e velhos membros da UE. Um processo de convergência foi confirmado para a maioria dos países pertencentes ao grupo NMS (*New member states*), já para os OMS (*Old member states*) não se pode confirmar que as disparidades estão tendendo a diminuir, onde se mencionou que se deveria observar as características de cada país e verificar um processo de convergência interno.

A hipótese de convergência absoluta e condicional agrícola foi testada para a Índia entre os anos de 1971 e 2010, utilizando dados em cross-sectional e modelos básicos de convergência absoluta e condicional. Como resultado se verificou que a

⁸Nut-2: Nomenclatura de unidades territoriais para fins estatísticos formada por 7 sub-regiões de Portugal sendo Região Norte, Centro, Lisboa, Alentejo, Algarve, Autónoma do Açores e Autónoma de Madeira.

⁹Países que formam a União Europeia, exceto Portugal.

¹⁰Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Países baixos, Portugal, Reino Unido, Suécia.

¹¹Análise da convergência através da dispersão e da mobilidade da distribuição da evolução da produtividade agrícola.

produtividade média aumentou nas últimas quatro décadas, a análise de convergência foi confirmada exceto para o período de revolução verde (1970-1990), e provou-se que regiões que possuíam maiores usos de fertilizantes, área irrigada, estradas máquinas e quantidade de gado, cresceram a uma taxa mais alta (MURTAZA; MASOOD, 2018).

Com relação a trabalhos que testaram a hipótese de convergência da produtividade agrícola brasileira, têm-se os seguintes trabalhos: Lopes (2004). Almeida, Perebolli e Ferreira (2008), Fochezatto e Stulp (2008), Spohr e Freitas (2011), Lopes e Paula (2013), Castro, Almeida e Lima (2015), Saith e Kamitani (2016), Baricello (2019), Batistela (2019), Cardozo, Schaab e Parré (2019), Albuquerque (2020) e Hybner, Parré e Afonso (2020).

No trabalho de Lopes (2004) testaram-se a hipótese de convergência β absoluta e condicional e convergência- σ para 11¹² culturas agrícolas, para todos os estados brasileiros no período compreendido entre 1960 e 2001. Das culturas avaliadas apenas seis apresentaram convergência β absoluta sendo essas o café, a cana-de-açúcar, o fumo, a laranja, a mandioca e a soja. Enquanto a convergência condicional foi identificada nas culturas de algodão-herbáceo, batata-inglesa e feijão. A convergência- σ foi identificada apenas na cultura da soja. A deficiência hídrica e o capital humano foram significativos, indicando que influenciam no processo de convergência.

Almeida, Perobelli e Ferreira (2008) estimaram um modelo de convergência absoluta para a produtividade agrícola de todas as microrregiões brasileiras, entre os anos de 1991 a 2003, utilizando a econometria espacial através de modelos de defasagem e erro espacial. Em seus resultados foram encontradas evidências de um processo de convergência absoluta, exceto para o subperíodo de 1991-1994 onde o parâmetro que capta convergência não se apresentou significativo, e o melhor modelo considerado foi o modelo de erro autorregressivo espacial. O autor indagou que através desses resultados deveria se analisar fatores como capital físico, humano e fatores edafoclimáticos e ver qual a implicação sobre a convergência.

Fochezatto e Stulp (2008) testaram a hipótese da existência de convergência da produtividade do trabalho agropecuário entre os estados brasileiros entre os anos de

¹²Algodão herbáceo, arroz, batata-inglesa, café, cana-de-açúcar, feijão, fumo, laranja, mandioca, milho e soja.

1990 e 2000, a fim de contribuir com a literatura os autores utilizaram “*um processo estacionário de primeira ordem de Markov, com o qual se pode verificar se está ou não ocorrendo convergência, o tempo necessário para alcançá-la, a evolução da posição relativa das regiões dentro da distribuição da produtividade e a formação ou não de clubes de convergência*”. Como resultados encontraram que não se identifica para os estados do Brasil um processo de convergência da produtividade do trabalho agropecuário e se encontram dois grupos de produtividade, o primeiro grupo formado por Norte e Nordeste apresenta produtividade do trabalho baixa, já o segundo grupo formado pelas demais regiões possui uma produtividade elevada.

Uma análise sobre a convergência do PIB per capita da agropecuária entre os estados brasileiros para os anos de 1980 e 2004 foi realizada por Spohr e Freitas (2011), utilizando um painel de dados e incluindo como variável explicativa para o modelo o capital humano, captado pelos anos de escolaridade das pessoas que trabalham na agropecuária, encontrou-se como resultados que as hipóteses de convergência- β absoluta e convergência- β condicional se confirmaram, já a convergência- σ não foi observada para o período.

Lopes e Paula buscaram avaliar o processo de convergência sigma e beta da produtividade dos fatores nas atividades agropecuárias da região Norte do Brasil para o período de 1975 e 2006, utilizando densidades de distribuição para análise da convergência e o modelo Threshold capaz de identificar clubes de convergência. A convergência absoluta e condicional foi identificada, o papel do crédito para a produtividade da mão de obra apresentou um valor baixo, porém sendo significativo. Já o papel do crédito para a produtividade da terra foi nulo, não apresentando significância (LOPES; PAULA, 2013).

Castro, Almeida e Lima (2015) observaram a existência de um processo de convergência absoluta da produtividade da soja no Brasil, com foco nas microrregiões pertencentes as regiões Centro-Oeste e Sul para os anos de 1994 e 2013, utilizando técnicas de econometria espacial. O período foi dividido em subperíodos onde se verificou que para os subperíodos de 1999-2003 e 2009-2013 o melhor modelo foi o modelo de defasagem espacial ou modelo SAR, a convergência da produtividade da soja foi confirmada nesses subperíodos, já para os subperíodos que compreendem

1994-1998, 2004-2008 e para o período todo 1994-2013 o melhor modelo encontrado foi o modelo de erro autorregressivo espacial ou modelo SEM e novamente para esses intervalos o processo de convergência foi confirmado.

Raiher *et al.*, (2016) estimou um modelo de convergência condicional para a agropecuária das 558 microrregiões do Sul do Brasil entre 1995 e 2006, utilizando técnicas de econometria espacial. A hipótese da convergência foi confirmada, as variáveis: percentual de insumos por hectares, percentual de tratores por hectares e área explorada se mostraram relevantes para os incrementos de produtividade, e o melhor modelo estimado foi o modelo de durbin espacial do erro (SDEM).

Saith e Kamitani (2016) verificaram a hipótese de convergência da produtividade agropecuária absoluta entre as microrregiões brasileiras para os anos de 1990 e 2013, fizeram uso das técnicas de econometria espacial, onde o modelo que mais se adequou aos dados foi o modelo de erro autorregressivo espacial ou modelo SEM e se comprovou a existência de um processo de convergência da produtividade agropecuária.

Baricelo (2019) testou as hipóteses de convergência sigma e beta da produtividade agropecuária absoluta e condicional para os estados brasileiros para o período de 1975 e 2006, utilizando os modelos tradicionais de convergência. A convergência beta foi identificada tanto absoluta quanto condicional, o crédito se mostrou positivo e significativo para incrementos da produtividade. Não se identificou a ocorrência de convergência sigma, mostrando que existe um aumento da dispersão da produtividade total dos fatores da agropecuária entre os estados do país.

Uma avaliação da convergência da produtividade agrícola foi realizada para os municípios do estado do Rio Grande do Sul, para o período de 2001 e 2015 considerando a econometria espacial. Os resultados apresentaram o modelo de erro autorregressivo espacial (SEM) como o melhor, porém não confirmou-se a hipótese de convergência absoluta da produtividade para os municípios gaúchos, onde os autores apontam como causa da divergência a grande heterogeneidade dos municípios, a especialização em diversificados sistemas produtivos, fatores relacionados as estruturas institucionais e as variáveis relacionadas ao ambiente tais como temperatura, precipitação etc. (BATISTELLA *et al.*, 2019).

Cardozo, Schaab e Parre (2019) avaliaram a existência de um processo de convergência espacial da produtividade média do café entre as microrregiões do Sudeste do Brasil para os anos de 1990 e 2015, utilizando técnicas da econometria espacial. A existência de convergência foi confirmada indicando que as diferenças da produtividade média do café estão tendendo a diminuir e o melhor modelo para estimar esse processo foi o modelo de erro autorregressivo.

A convergência da produtividade agrícola foi testada para as microrregiões da região Nordeste do Brasil e para os municípios do Estado do Ceará, para o período que compreende 1996 e 2017 fazendo uso de técnicas da econometria espacial. As hipóteses de convergência absoluta e condicional para as microrregiões do Nordeste e para os municípios do estado do Ceará foram confirmadas, os melhores modelos foram o modelo SEM e SAR cada um foi escolhido para um subperíodo diferente considerado. As variáveis: assistência técnica por hectares, área total explorada, mão de obra por hectares e número de tratores por hectares foram significativas em pelo menos um subperíodo tanto para o Nordeste quanto para o estado do Ceará (ALBUQUERQUE, 2020).

Hybner, Parré e Afonso (2020) testaram a hipótese de convergência da produtividade agropecuária entre as microrregiões do Sul do Brasil, para o período de 2006 e 2017. Utilizando como metodologia para o desempenho da produtividade um procedimento DEA-Malmquist¹³ e para estimação da convergência modelos de econometria espacial. Como resultado encontraram que o melhor modelo é o de erro autorregressivo espacial (SEM), que comprovou a hipótese de convergência da produtividade entre as microrregiões do Sul. As variáveis crédito, educação e infraestrutura de armazenagem se apresentaram significativas e positivas.

Apesar de se encontrar diversas pesquisas que abordam o tema de convergência da produtividade, não se tem conhecimento até o momento, de trabalhos que testem a hipótese da existência ou não de um processo de convergência da produtividade agropecuária utilizando regimes espaciais por biomas, de modo que características ambientais que geram heterogeneidades nas produtividades possam ser

¹³Decompõe a taxa de crescimento da PTF em índice de mudança de eficiência técnica (EFF) e mudança tecnológica (TEC).

captadas e mensuradas. Desse modo a presente pesquisa visa suprir esta lacuna na literatura.

3 REVOLUÇÃO VERDE E MEIO AMBIENTE DOS BIOMAS

Nessa seção será abordado como se desenvolveu a Revolução Verde e quais as suas influências na agropecuária brasileira, também tratará de apresentar um breve resumo das características enfafoclimáticas de cada bioma, e quais suas principais culturas produzidas.

3.1 REVOLUÇÃO VERDE

Com o fim da Revolução Industrial (1760-1840) as populações mundiais passaram a apresentar melhores condições de vida e melhores acessos a saúde, desse modo houve um intenso crescimento da população o que gerou certas preocupações, pois acreditava-se que com o aumento da população haveria um período em que a distribuição de alimentos seria escassa e o mundo entraria em uma onda de extrema fome (KHUSH, 2001, SERRA *et al.*, 2016).

Em 1967 William e Paul Paddock publicaram o famoso livro *Famine 1975!*, onde os autores colocaram que o mundo sofreria de uma fome terrível que ocasionaria grande catástrofe, gerando revoluções sociais e problemas econômicos acentuados, o que seria devastador para partes da Ásia, África e América Latina, mas isso não ocorreu pois novas tecnologias passaram a ser desenvolvidas e implementadas no campo, gerando um período de expansão da produção (KHUSH, 2001, SERRA *et al.*, 2016).

Após a Segunda Guerra Mundial grupo privados começaram a ver na agropecuária, vantagens de investimentos. Os grupos Rockefeller e Ford passaram a contribuir com técnicas de melhoramentos de sementes que eram chamadas de Variedade de Alta Produtividade (VAP). As empresas de produtos químicos que forneciam matérias para as indústrias bélicas passaram a abastecer o setor agrícola com produções de agrotóxicos e fertilizantes. Ao mesmo tempo ocorria no campo a implantação de máquinas que tornavam o trabalho agropecuário mais dinâmico (SERRA *et al.*, 2016)

Ainda no final da Segunda Guerra Mundial surge também os resultados na agropecuária ocasionados pela Guerra Fria, nesse período os Estados Unidos faziam grandes investimentos em países subdesenvolvidos como Brasil, que eram direcionadas as produções agropecuárias (SERRA *et al.*, 2016).

Diante desse cenário que o mundo vivia deu se início em 1966 ao que se chamaria de Revolução Verde, criada em uma conferência em Washington com o discurso de exterminar com a fome mundial (SERRA *et al.*, 2016).

A Revolução Verde foi considerada como um processo de difusão de tecnologias no campo, que permitiram a expansão das produções agrícolas, esse processo ocorreu principalmente entre os anos de 1960 e 1970 e a ideia da Revolução era acabar com a fome mundial. Um dos objetivos da Revolução Verde era o desenvolvimento de variedades que pudessem ser produzidas em diversas localidades com diferentes características (SERRA *et al.*, 2016).

Segundo Pingali (2012) a Revolução Verde pode ser dividida em duas partes a primeira que compreende o momento da revolução, que segundo o autor está entre os anos de 1966-1985 e o segundo período considerado como o período pós-Revolução Verde que compreendeu as duas próximas décadas.

O primeiro período é marcado por altas taxas de investimentos em pesquisa relacionadas as lavouras, em infraestrutura, nos mercados e suas políticas aplicadas. Pingali (2012) atribui o sucesso do pós- Revolução Verde a essas fases, que foram de suma importância para o engajamento da revolução.

A expressiva expansão da produção se deu principalmente por aumentos da produtividade, um dos fatores que impulsionavam essa melhoria na produtividade eram os melhoramentos genéticos que derivavam de grandes pesquisas realizadas. Para os países em desenvolvimento, culturas como trigo, milho, arroz, batata e mandioca se mostraram com altos crescimentos de produtividade (PINGALI, 2012).

As produções de cereais triplicaram enquanto as áreas cultivadas cresceram menos da metade, as ideias de uma fome Malthusiana foram sendo deixadas de lado e substituídas por uma visão de grandes expansões de produções movidas por melhores técnicas e métodos (MATOS, 2011; OCTAVIANO, 2010; PINGALI, 2012; PATEL, 2013).

A adoção das tecnologias que a Revolução Verde trouxe, tornava a oferta de alimentos maior, entre os anos de 1960 e 1990 a oferta de alimentos para os países desenvolvidos cresceu entre 12% e 13%, desse modo os preços dos alimentos apresentaram quedas, o que beneficiava em geral todos os consumidores, mas tinha um maior e melhor impacto sobre as classes mais pobres, já que seus gastos com alimentação são relativamente maiores (PINGALI, 2012).

No Brasil a introdução de máquinas e agrotóxicos iniciou-se no período da Segunda Guerra Mundial (1939-1945). O desenvolvimento de agrotóxicos e fertilizantes foi em partes resultado da necessidade da indústria química em obter novos mercados, pois com o fim da Guerra a indústria química deixou de fornecer em grandes escalas matérias-primas às indústrias bélicas, migrando assim para demais setores (PINGALI, 2012).

No início da década de 1960 havia uma grande discussão por parte do governo em como poderia se aumentar as produções agropecuárias e duas alternativas eram amplamente mencionadas. A primeira delas era fazer uma reforma agrária e a segunda era a ideia de que os produtores rurais adotassem tecnologias que melhorassem as produtividades sem qualquer mudança fundiária. Desse modo o governo optou por manter as estruturas agrárias do país e adotou as bases da Revolução Verde que já estavam sendo pregadas no mundo (SERRA *et al.*, 2016).

A Revolução Verde no país se iniciou na década de 60, com a ideia central que já era pregada no mundo de acabar com problemas relacionados à fome, através de aumentos de produções incentivadas principalmente por avanços tecnológicos (LAZZARI; SOUZA, 2017). A Revolução Verde no Brasil se desenvolveu através dos incentivos do governo, com abertura de espaços para que órgãos internacionais pudessem se fixar no país para realizar investimentos e pesquisas, também foram criados órgãos de pesquisas nacionais onde um deles é EMBRAPA (VAL; BALTAZAR, 2019).

A Revolução Verde trouxe avanços no Brasil para os adubos e agrotóxicos, evolução da motomecanização utilizada no campo com melhorias de tratores, colheitadeiras, pulverizadores etc., desenvolvimento de novas variedades com características biológicas propícias para um melhor desenvolvimento e foi apresentada

uma estrutura de crédito subsidiado, além disso, foram desenvolvidos incentivos as pesquisas e estudos relacionados ao campo (LAZZARI; SOUZA, 2017).

As regiões Sul e Sudeste foram as primeiras a serem impactadas com os derivados da Revolução Verde e depois a região Centro-Oeste que acabou recebendo a denominação de nova fronteira agrícola. As principais mudanças que a Revolução Verde efetuou nessas regiões foram os surgimentos de grandes propriedades agrícolas que acompanhavam as evoluções de modernização que ocorriam no campo (VAL; BALTAZAR, 2019).

Os cultivos de monoculturas como soja, milho, arroz e algodão foram sendo priorizadas com intuito de exportação, e depois com a produção de álcool através dos incentivos do programa Proálcool a produção de cana-de-açúcar se tornou significativa (ANDRADES; GANIMIS, 2007, SERRA *et al.*, 2016).

Dessa forma no Brasil e no mundo a agropecuária que antes era basicamente tradicional com produções limitadas, passou a ser uma agropecuária moderna, onde as produções são em largas escalas, caracterizadas pelas altas competitividades e busca pelo lucro. Além de este setor passar a contribuir com o Produto Interno Bruto e se tornar parcela significativa na geração de divisas do país (MATOS, 2011; RAIHER *et al.*, 2016).

3.2 MEIO AMBIENTE DOS BIOMAS

A produtividade agrícola está intimamente relacionada ao ambiente em que está exposta, ou seja, a localidade onde as culturas são cultivadas poderá influenciar de maneira positiva ou negativa na produtividade. A relação que a agropecuária tem com a natureza é uma mão de via dupla, pois a natureza exerce influência nas produções e a agropecuária exerce influência no meio ambiente. Um dos fatores ambientais que mais geram influência na agropecuária é a qualidade/conservação de solo e a presença de matas (CAMPOS; COELHO; GOMES, 2012).

Quando se trata de matas está se mencionado as matas que são encontradas as margens de rios, lagos, nascentes e mananciais que são denominadas de matas ciliares, mata de galeria, mata de várzea ou floresta ripária. As matas ciliares são de

extrema importância para o ambiente, pois contribui para manter a qualidade do ar e temperaturas estáveis, conserva a biodiversidade, evita a erosão do solo, protege as lavouras funcionando como barreiras que interrompem as disseminações de pragas e doenças, evita a desertificação e contribui para proteção dos reservatórios de águas subterrâneas (JAKIEVICIUS, 2011).

Ao longo de muitos anos acreditou-se que o único nutriente importante para as plantas era a água, até que um estudo por volta do início de século XVII realizado por Glauber, um químico alemão sugeriu que o nitrato de potássio (KNO_3) e não a água era o “princípio da vegetação” (LOPES; GUILHERME, 2007; LOUREIRO; MELAMED; FIGUEIREDO NETO, 2009).

Em seguida John Mayow (1643-1679) testou quantidades de salitre no solo e confirmou o que Glauber havia apontado sobre a formação do princípio da vegetação, os estudos sobre o que determinava o crescimento das plantas continuaram (FIGUEIREDO NETO, 2009; LOPES; GUILHERME, 2007; LOUREIRO; MELAMED).

Por volta de 1700 um inglês chamado John Woodward testou diferentes procedimentos e concluiu que o material do solo era o determinante do “princípio da vegetação”, mesmo essa afirmação não sendo totalmente correta, esse estudo significou um avanço para as pesquisas nessa área (LOPES; GUILHERME, 2007; LOUREIRO; MELAMED; FIGUEIREDO NETO, 2009).

Os estudos com fim de determinar quais seriam os fatores que influenciavam na composição do “princípio da vegetação” seguiam. Ainda no século XVII, um inglês chamado Jethro Tull realizou diversos estudos buscando encontrar os nutrientes que levariam uma planta a se desenvolver. Seus resultados não foram tão significativos, porém nesse percurso Tull desenvolveu duas ferramentas que foram essenciais para os cultivos agrícolas a plantadeira em linhas e o cultivador puxado por cavalos (LOUREIRO; MELAMED; FIGUEIREDO NETO, 2009).

Em 1843 um químico alemão estabeleceu o que se chamou de “lei do mínimo”, essa lei estabeleceu que o desenvolvimento das plantas é limitado pelo nutriente que é encontrado em menor proporção em um solo, o que significa que mesmo que os demais nutrientes estejam em quantidades certas, ainda assim aquele que estiver em

menor quantidade delimitará como se desenvolveria a planta (ASSIS; ROMEIRO, 2002; MUNOZ; SILVEIRA, 1998; VASCONCELLOS *et al.*, 2001).

As pesquisas sobre as características do ambiente e suas implicações no desenvolvimento continuaram, confirmando que as variáveis ambientais são fatores essenciais no desempenho do crescimento de uma planta, o que conseqüentemente exerce influência no desempenho agrícola de maneira direta e indireta. Dentre as culturas existem as quais são mais afetadas pelo ambiente e outras que sofrem menos influência dessas variáveis, um exemplo de uma cultura que é amplamente afetada pelas variáveis climáticas principalmente pela chuva e pelo tipo de solo, é a cultura do milho.

O milho possui um melhor desenvolvimento em solos de textura média com teores de argila entre 30 e 35%, não se desenvolvendo de maneira eficiente em solos arenosos, pois esses apresentam uma perda de água maior por evaporação o que se torna uma deficiência para o desenvolvimento da planta. Porém apenas um solo adequado não é suficiente, pois o bom desenvolvimento dessa lavoura também necessita de fatores climáticos adequados (LANDAU; SANS; SANTANA, 2009).

De um modo geral os fatores abióticos causam impactos importantes em todos os cultivos, tornando a produção agropecuária muito heterogênea entre as regiões. Fatores abióticos se caracterizam por elementos não vivos que geram influência direta ou indireta sobre cultivos. Esses fatores são basicamente climáticos ou edáficos, e são componentes que não podem ser esquecidos quando se aborda assuntos relacionados as produções agrícolas (GALON, 2011).

Para caracterizar regiões que possuem os mesmos fatores abióticos dentre outras qualidades ambientais semelhantes, formula-se o conceito de bioma. O bioma trata-se de uma área de ambiente uniforme pertencente a um zonobioma, que é classificado segundo sua zona climática. O conceito engloba a altitude e o solo que são fatores que acabam por caracterizar o tipo de vegetação que existirá na localidade (COUTINHO, 2006). Assim cada bioma possui uma fitofisionomia característica em grande parte de onde se encontra.

Clements (1949) conceituou bioma como uma comunidade de plantas nas quais as relações climáticas são semelhantes, assim a vegetação do local fica delimitada pelo

clima. Desse modo, verifica-se que o clima, o solo, as perturbações externas ao controle criam diferentes ambientes que geram inúmeras formulações de vegetações, porém outra questão a ser mencionada são os fatores exógenos a natureza e que exercem cada vez mais influência nas características do meio ambiente, tais como desmatamentos, poluição dentre outras atividades exercidas pelo homem e que impactam de uma maneira negativa (MUCINA, 2018).

O Brasil se encontra dividido em 6 diferentes biomas, sendo esses: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal. Há um grande número de riquezas na biodiversidade encontrada em cada região.

O bioma Amazônia ocupa quase metade do país, sendo composto por 9 estados brasileiros, a vegetação desse bioma está dividida em três categorias: matas de terras firmes, matas de várzeas e matas de igapó. Uma característica desse bioma é que todas as matas citadas acima passam por inundações pelo menos em alguma época do ano. A temperatura média é em torno de 25° e a precipitação média é cerca de 2300 mm/ano (EMBRAPA, 2020d).

A Caatinga predomina em 9 estados brasileiros, e possui solos rasos, pedregosos e pouco permeáveis, o que faz com que a chuva evapore ao invés de penetrar no chão, aqui já pode-se mencionar uma relação negativa com a produtividade agrícola, nessa região plantas com raízes tuberosas (que crescem de baixo da terra) acabam tendo melhor desempenho (EMBRAPA, 2020e).

O bioma Cerrado é encontrado em maior proporção na parte central do país, é a savana tropical mais rica do mundo e nesse bioma se encontram três formações vegetacionais: a) florestal, que se subdivide em mata ciliar, mata de galeria, mata seca e cerradão; b) savânica, subdividindo-se em Cerrado sentido restrito, parque de Cerrado, palmeiral e vereda; e, c) campestre, onde se encontra as subdivisões de campo limpo, o campo sujo e o campo rupestre.

Outra característica do Cerrado é a presença de duas estações, onde tem-se uma chuvosa, que ocorre de outubro a abril e a outra seca, de maio a setembro. Os solos desse bioma são pobres em nutrientes, possuindo altos níveis de acidez, alto teor de alumínio, baixa concentração de cálcio e magnésio, o que representava inicialmente um empecilho para as produções agrícolas, porém esse problema foi resolvido com

técnicas de correção de solo que ao longo dos anos foram se desenvolvendo, como consequência das pesquisas realizadas pelas Universidades e pela Embrapa, assim visto que, a localidade apresenta uma topografia plana sendo muito propícia a agropecuária, após a correção do solo esse bioma se apresentou com produções agropecuárias significativas para o país. (EMBRAPA, 2020f; OLIVEIRA, 2013).

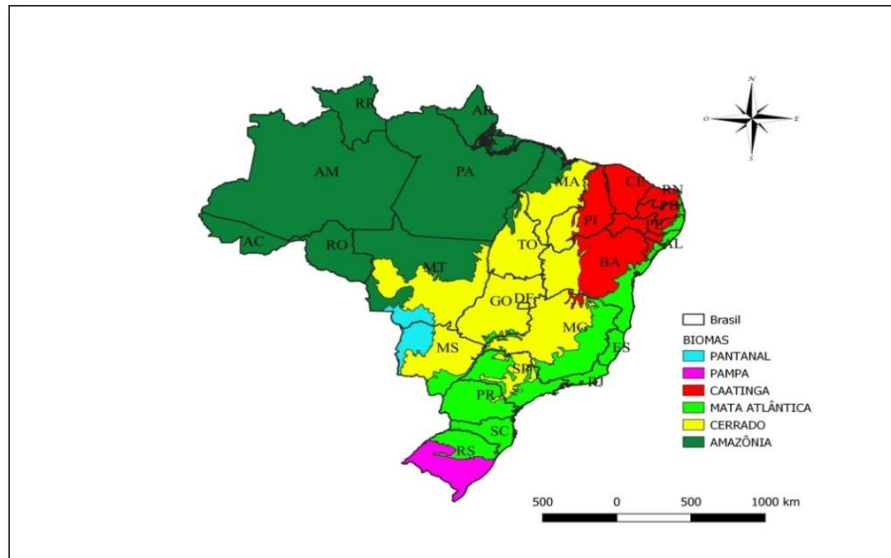
A Mata Atlântica predomina em uma grande proporção de terras brasileiras, esse bioma pode ser verificado desde a região sul do Brasil nos Estados do Rio Grande do Sul até a região litorânea do Nordeste, o que confere ao bioma uma grande diversidade de clima e de relevo, resultando em diversos tipos de vegetações para o mesmo bioma (EMBRAPA, 2020g).

O Pampa é um bioma que se restringe a apenas um estado brasileiro, o Rio Grande do Sul e está localizado em uma área de clima temperado, com temperaturas médias entre 13° e 17° e possui uma cobertura denominada de gramíneas (EMBRAPA, 2020b; SANT'ANA, 2020).

Por fim tem-se o bioma Pantanal, presente na região Centro-Oeste do país, com um inverno seco e verão quente e chuvoso, tem como característica diferenciada o fato de sofrer inundações, aonde em algumas regiões chegam a durar até 8 meses (EMBRAPA, 2020h).

Na Figura 1 pode se observar a divisão encontrada no país referente aos biomas.

Figura 1: Biomas brasileiros



Fonte: IBGE (2020).

Nota: Organizado pela autora.

Como mencionado nos parágrafos anteriores cada bioma possui características que são próprias de sua composição, ou seja, diferentes constituições de solo, distribuições de chuvas e vegetações nativas variadas. Assim certas culturas se tornam mais produtivas em determinados biomas que em relação a outros.

Uma das características de grande importância é o tipo de solo, o solo exerce influência na maneira como as raízes se desenvolvem, e um dos problemas encontrados nesse fator se deve a compactação do mesmo, que se trata basicamente de como é utilizado, onde solos que são expostos frequentemente a máquinas ou a pisoteio de animais, acabam por ter sua produtividade reduzida (MAGALHÃES *et al.*, 2009). Nos subcapítulos seguintes será abordada brevemente como a agropecuária se desenvolve em cada um dos biomas encontrados no Brasil.

3.2.1 Agropecuária No Bioma Amazônia

A agropecuária no bioma Amazônia é preocupante devido aos grandes problemas relacionados à degradação ambiental, essa região também tem difícil acesso, pois suas rodovias são precárias, o que gera custos de insumos maiores e dificulta, por exemplo, as adubações adequadas para melhores produtividades.

Uma das características encontradas nos solos desse bioma é a baixa fertilidade, e além das dificuldades relacionadas ao acesso devido à infraestrutura, existe a limitação da disseminação do conhecimento das pesquisas, pois a Amazônia é formada por diversos tipos de solos e muitas vezes uma nova tecnologia não pode ser empregada por todo bioma. Estima-se que apenas cerca de 14% da área desse bioma é considerada relativamente fértil para agropecuária. Em 2014 cerca de 5,9% da área total da Amazônia era destinada a agropecuária, que é caracterizada pelo monocultivo de grãos (VILELA; CALLEGARO; FERNANDES, 2019).

Nessa região pode se observar principalmente os cultivos de: feijão caupi, dendê, coco, pimenta-do-reino, maracujá, arroz, milho, soja, algodão, açaí etc. Outro fator de relevância é que a mão de obra empregada na agropecuária é elevada, devido ao fato de algumas atividades não possuírem mecanização ainda, como no caso da sangria da seringueira (HOMMA, 2005).

3.2.2 Agropecuária No Bioma Caatinga

A Caatinga faz parte da floresta tropical sazonalmente seca do Novo Mundo (FTSS), a palavra Caatinga deriva do tupi-guarani e significa mata branca devido ao aspecto que tal localidade apresenta durante épocas de estiagens. A Caatinga apresenta uma vegetação característica, que é exposta ao estresse hídrico e a altas temperaturas, é um tipo de vegetação que ocorre unicamente no Brasil.

Alguns tipos de espécies vegetacionais conseguem se desenvolver no bioma Caatinga, e isso levantou curiosidade dos pesquisadores que buscam analisar quais os aspectos fisiológicos essas espécies apresentam, que faz com que consigam sobreviver em localidades onde se encontra grande deficiência hídrica, um exemplo é a leucena que é utilizada para alimentação de ruminantes, reflorestamento, produção de madeira, de lenha e de carvão (EMBRAPA, 2016; ROCHA, 2013).

Um fruto encontrado nesse bioma é o umbu, que vêm se caracterizando como um produto importante dessa região. O fruto é utilizado para produções de geleias e sucos. Outras produções relevantes nesse bioma são: o fruto do maracujá-do-mato, mel de abelhas e flores, onde a EMBRAPA desenvolve incentivos as produções de flores,

para destinar a ornamentações apresentando ganhos de renda para a população local (EMBRAPA, 2016).

Porém essa região sofre constantemente impactos negativos causados pela exploração indevida de recursos com quedas crescentes de fertilidade de solo, aumentos de erosões e piora na qualidade da água, gerando em algumas áreas a chamada desertificação (VILELA; CALLEGARO; FERNANDES, 2019).

3.2.3 Agropecuária No Bioma Cerrado

Até os anos de 1960 se desenvolvia no bioma de Cerrado basicamente a pecuária de subsistência. Os solos encontrados nessa região são ácidos, profundos e com baixas fertilidades, assim acreditava-se que não eram propícios para a agropecuária, o que induzia a população a desenvolver apenas a pecuária. Com o passar do tempo essa crença foi se desfazendo, iniciando o processo de cultivos agrícolas no bioma, incentivado principalmente pelas inovações tecnológicas (VILELA; CALLEGARO; FERNANDES, 2019).

Atualmente é nesse bioma que se encontra a maior produção de grãos do país, dentre os grãos mais produzidos nessa localidade, pode-se destacar soja, milho e café. As produções de carne bovina e açúcar/etanol também merecem destaque.

Outro fator que vale ser mencionado é que nesse bioma encontra-se a região do MATOPIBA, considerada como a nova fronteira agrícola brasileira e que possui uma alta produtividade. A região do MATOPIBA engloba os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia e apresentou entre os anos de 2000 a 2014 um crescimento extremamente elevado da agropecuária, cabendo destaque a cultura da soja que cresceu cerca de 253% neste período (VILELA; CALLEGARO; FERNANDES, 2019).

O desenvolvimento e a rápida expansão da agropecuária nestas áreas rurais podem ser atribuídos às pesquisas realizadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a disponibilidade do crédito rural (principalmente após a criação do Sistema Nacional de Crédito Rural) e também a construção de Brasília o que melhorou a infraestrutura das rodovias, possibilitando o melhor escoamento de safras (VILELA; CALLEGARO; FERNANDES, 2019).

3.2.4 Agropecuária no Bioma Mata Atlântica

A Mata Atlântica é o bioma mais degradado do país, atualmente restam apenas 8% de mata original, é nesse bioma onde se encontram as maiores faixas de urbanização do Brasil (EMBRAPA, 2020g). Um hectare da Mata Atlântica pode conter até 400 tipos diferentes de árvores, podem-se encontrar dentro desse bioma diferentes características como manguezais, florestas de araucárias e grandes áreas úmidas (BRASIL, 2009).

Na região Sul, atualmente destaca-se os cultivos de trigo, milho, soja, arroz, café, plantios de eucaliptos e pinus e a criação de gado, tanto para corte como para pecuária leiteira. Já região Sudeste encontram-se cultivos de cana-de-açúcar, soja, laranja, algodão, mamona, dentre outros. A Mata Atlântica também domina uma parcela de terras do Nordeste, para essa região os cultivos de cana-de-açúcar, fruticultura, a pecuária e plantios de eucaliptos para madeira e bioenergia são as principais produções (EMBRAPA, 2020g).

3.2.5 Agropecuária No Bioma Pampa

Esse bioma está presente no Rio Grande do Sul, representando cerca de 63% do território do estado (STUMPF *et al.*, 2009). A pecuária e a silvicultura são as principais atividades desenvolvidas neste bioma, pois diversas empresas florestais se estabeleceram no bioma pampa, com o intuito de produzir madeira para celulose (SILVA, 2012).

O bioma é adequado para pecuária devido às suas características naturais, tais como relevo plano, temperaturas amenas e a formação vegetal de campos. A agropecuária apresentou variações positivas nos últimos anos nas localidades onde esse bioma é encontrado, merecendo destaque a produção de arroz, que desde 1824 é produzido na região do Rio Grande do Sul (SILVA, 2012).

De início a produção era apenas para abastecimento das colônias alemãs locais, com passar dos anos a produtividade da cultura foi crescendo, e o destino da produção além de abastecimento local incorporava agora a produção destinada à exportação.

Atualmente o Rio Grande do Sul produz dois terços de arroz de toda produção nacional, o que mostra o tamanho da importância dessa cultura para o estado predominado pelo bioma de Pampa. Também se encontra nessa localidade cultivos de oliveiras e a vitivinicultura (SANT'ANA, 2020; SILVA 2012).

3.2.6 Agropecuária No Bioma Pantanal

O Pantanal atualmente é considerado a maior planície alagada do mundo, localizando-se em partes do Estado do Mato Grosso e do Mato Grosso do Sul, as margens do rio Paraguai. As atividades fora do Pantanal como a agropecuária e a garimpagem acabam por levar diversos sedimentos originados da erosão dos solos o que geram efeitos contrários para os rios e lagoas da região (SOUZA; SOUZA, 2010).

A atividade que acompanhou essa região desde a época da colonização foi a pecuária, o charque e o couro eram os dois principais derivados bovinos produzidos e que eram exportados através do rio Paraguai. Mesmo essa região não se apresentando com características boas para criação de gado devido ao isolamento das regiões, solos pobres e inundações, a criação de bezerros segue até os dias atuais. (EMBRAPA, 2020h).

Um dos tipos de solo presente no bioma Pantanal é Latossolo Vermelho Distroférico (MAGALHÃES *et al.*, 2009), que se caracteriza como um solo com baixa fertilidade e um alto nível de ferro na camada superficial (COSTA *et al.*, 2020).

Como se pode observar nos textos acima, a agropecuária é um setor importante para as economias, contribuindo com as formações de renda, fornecimentos de alimentos e matérias-primas. Dado a relevância que o setor agropecuário tem diante do cenário mundial, estudos sobre seu comportamento são de suma importância, com intuito de mensurar seus determinantes e verificar sua evolução ao longo do tempo.

Como melhores produtividades são esperadas, conforme a produtividade agropecuária tenda a crescer as rendas aumentam e conseqüentemente as regiões tendem a estar em níveis de bem-estar maiores, desse modo dada tamanha relevância do setor agropecuário, estudos relacionados a produtividade e a convergência ganham espaço.

A capacidade de mensuração da queda do hiato de produtividade agropecuária torna-se possível, através dos modelos de convergência disponibilizados pelas metodologias já existentes, porém essa área ainda possui lacunas que não foram suprimidas pelos trabalhos anteriores, assim nessa pesquisa busca-se contribuir com a literatura a fim de suprir o fechamento de uma lacuna nesse tema. Diversos fatores contribuem positivamente e negativamente com as produções agropecuárias e diante deles se encontram os fatores ambientais que muitas vezes são de difícil mensuração dado as disponibilidades de dados.

Levando em consideração o que foi mencionado, essa pesquisa buscou captar certas heterogeneidades que ocorrem nas produtividades agropecuárias e que estão relacionadas com características edafoclimáticas. Uma maneira viável encontrada de se fazer essa mensuração foi a classificação das microrregiões por biomas.

Este estudo se diferencia da literatura existente, pois até o momento não se encontrou na literatura trabalhos que testem empiricamente o processo de convergência da produtividade agropecuária utilizando a econometria espacial com regimes espaciais divididos por biomas, assim buscará controlar a dependência espacial e a heterogeneidade espacial.

4 METODOLOGIA

Nessa seção se mencionará a metodologia utilizada na pesquisa, se tratando basicamente da descrição dos modelos de convergência absoluta e condicional, dos métodos utilizados na Análise Exploratória de Dados Espaciais, os testes empregados para escolha do melhor modelo, a composição das variáveis utilizadas na formulação dos modelos de convergência da produtividade agropecuária e por fim se descreverá brevemente os procedimentos econométricos utilizados para a estimação.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O objetivo desse trabalho é testar a hipótese de convergência da produtividade agropecuária, para as microrregiões do Brasil entre os anos de 1995 e 2017, utilizando a econometria espacial e regimes espaciais divididos por biomas.

O período escolhido (1995-2017) está relacionado aos anos de Censo Agropecuário, onde 1995 retrata a época do país que houve a liberação do comércio e fluxos de capitais externos ocorridos a partir da década de 1990 (VILLASHI, 2005), e o ano de 2017 é o último Censo Agropecuário disponível.

A princípio a análise seria realizada por municípios, porém os testes de autocorrelação espacial apresentaram valores extremamente baixos e sem significância, indicando que não ocorria nenhum grau de dependência espacial no modelo econométrico espacial. Já para as microrregiões os valores dos testes que captam a dependência espacial nos modelos econométricos espaciais foram altamente significativos, confirmando que a produtividade de uma microrregião é influenciada pela produtividade das microrregiões vizinhas.

Para a análise da produtividade e da convergência da produtividade, distribuiu-se cada microrregião a seu respectivo bioma, onde se verificou a quantidade da área da microrregião que pertence ao bioma, sendo que se a microrregião pertence a mais de uma classificação, o bioma que tem maior proporção de área é o considerado, assim se determinou 4 regimes considerando os biomas Amazônia, Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica, atribuindo cada microrregião a um regime, ou seja, a um bioma. Essa

classificação foi realizada no QGis¹⁴ que fornece ferramentas que possibilitam essa divisão.

Os biomas de Pampa e Pantanal não foram considerados para a estimação dos modelos econométricos, pois o número de microrregiões que pertencem a estes biomas é pequeno¹⁵, isto é, existem poucas observações, levando a uma restrição nos graus de liberdade e impossibilitando a estimação dos modelos de convergência condicional. Assim as microrregiões que foram classificadas nesses biomas foram excluídas da análise.

4.2 ANÁLISE DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL E HETEROGENEIDADE ESPACIAL

Com intuito de verificar se existe relação entre as produtividades das regiões, faz-se necessário uma análise exploratória de dados espaciais, que consiste em observar se existe certo grau de dependência espacial entre a variável analisada para as microrregiões, ou seja, algum nível de transbordamento na produtividade entre as microrregiões brasileiras (ALMEIDA, 2012; RAIHER *et al.*, 2016).

Para se realizar essa análise há a necessidade da utilização de uma matriz de ponderação espacial que retrata o grau de conexão entre as microrregiões brasileiras. Nessa pesquisa foram testadas as matrizes do tipo rainha e torre que se consistem no critério de contiguidade entre as regiões e as matrizes de k -vizinhos mais próximos¹⁶.

A matriz de ponderação espacial é uma matriz quadrada de dimensão n por n , onde os pesos W_{ij} representam a relação entre as regiões, ou seja, demonstra a influência da região j sobre a região i . As matrizes são classificadas de acordo com algum critério geográfico ou socioeconômico (ALMEIDA, 2012).

¹⁴ Através da criação de uma variável categórica que atribui cada microrregião ao seu respectivo bioma, respeitando uma equação onde se estipula a área em km² que cada microrregião tem distribuída na área do bioma. Para a classificação a área em km² que for maior denominará em qual bioma essa região se encontra, todos esses cálculos são efetuados no QGis através da calculadora de campo e finalizados no Excel.

¹⁵ O número de microrregiões pertencentes ao bioma de Pampa são 15, já para o bioma de Pantanal tem-se apenas 3 microrregiões.

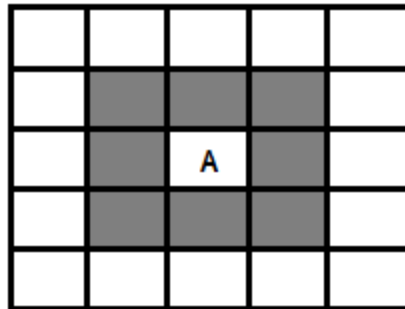
¹⁶ 4 vizinhos, 5 vizinhos, 7 vizinhos, 10 vizinhos e 15 vizinhos.

As matrizes rainha e torre são chamadas matrizes de contiguidade, onde duas regiões são vizinhas e compartilham de uma fronteira física comum, formalmente é representado como:

$$W_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se } i \text{ e } j \text{ são contíguos} \\ 0 & \text{se } i \text{ e } j \text{ não são contíguos} \end{cases} \quad (29)$$

Como uma região não é vizinha de si próprio então $W_{ii} = 0$, assim a diagonal principal da matriz é composta por valores nulos. A matriz rainha (queen) considera como vizinhos as localidades com fronteiras de extensão diferentes de zero e mais os vértices, ela é representada na Figura 2 (ALMEIDA, 2012).

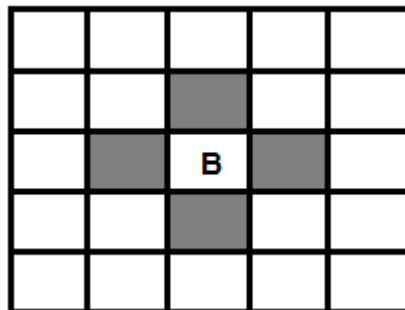
Figura 2: Matriz rainha.



Fonte: Adaptado de Almeida (2012).

A matriz torre (rook) considera apenas as extensões das fronteiras diferentes de zero excluindo os vértices, a matriz torre é apresentada na Figura 3 (ALMEIDA, 2012).

Figura 3: matriz torre.



Fonte: Adaptado de Almeida (2012).

E por fim as matrizes k-vizinhos mais próximos são definidas segundo uma distância de corte para que as regiões tenham exatamente o número de vizinhos determinados, formalmente é representado como (ALMEIDA, 2012):

$$W_{ij}(k) = \begin{cases} 1 & \text{se } d_{ij} \leq d_i(k) \\ 0 & \text{se } d_{ij} > d_i(k) \end{cases} \quad (30)$$

$d_i(k)$ é a menor distância para a região i para que ela possua exatamente k vizinhos (ALMEIDA, 2012).

4.3 AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL GLOBAL E LOCAL

Ao analisar dados referentes às regiões e principalmente relacionados à agropecuária, pode-se encontrar certa dependência espacial e heterogeneidade entre eles, isso significa que variáveis de uma região podem estar influenciando variáveis de outras regiões, desse modo deve-se verificar a dependência espacial utilizando técnicas da análise exploratória de dados espaciais (AEDE).

A AEDE é um conjunto de técnicas que busca constatar a presença de dependência espacial entre as regiões, a hipótese a ser testada é que os dados espaciais possuem uma distribuição aleatória, ou seja, os valores de uma variável em uma região não dependem dos valores dessa variável em regiões vizinhas (ALMEIDA, 2012). Frequentemente para identificar essa presença de autocorrelação espacial, efetua-se o cálculo do I de Moran Global e Local, existem outros testes que podem ser realizados com essa finalidade, mas os testes de Moran são usados com mais frequência e calculados com maior facilidade.

A estatística I de Moran Global é expressa algebricamente pela equação 31

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_i \sum_j \sum W_{ij} Z_i Z_j}{\sum_{i=1}^n Z_i^2} \quad (31)$$

onde n é o número de regiões, Z denota os valores da variável de interesse padronizada, W_z é o valor médio da variável de interesse padronizada nos vizinhos, definidos através de uma matriz de ponderação espacial W . S_0 é igual à operação $\sum \sum W_{ij}$ o que significa que todos os elementos da matriz de pesos devem ser somados. O valor esperado do I de Moran é de $-\left[\frac{1}{n-1}\right]$, ou seja, esse valor é obtido caso não exista a presença de padrão espacial nos dados. Quando os valores obtidos são maiores do que o valor esperado constata-se a presença de autocorrelação espacial positiva e quando os valores obtidos são menores do que o esperado isso indica uma autocorrelação espacial negativa (ALMEIDA, 2012).

O I de Moran Local estima um valor do I de Moran para cada região, ele tem a capacidade de capturar padrões locais de autocorrelação espacial que sejam significativos e é chamado de LISA (Local Indicator of Spatial Association), pode ser expresso como:

$$I_i = z_i \sum_{j=1}^j w_{ij} z_j \quad (32)$$

onde Z_i é o valor padronizado da i -ésima região, Z_j é o valor padronizado da j -ésima região, $w_{ij} z_j$ são os valores médios da variável de interesse padronizada nos vizinhos, seguindo uma determinada matriz de ponderação.

Os resultados da estatística são apresentados através de um gráfico de quatro quadrantes, onde tem-se valores alto-alto (AA), alto-baixo (AB), baixo-alto (BA) e baixo-baixo (BB). O cluster espacial do tipo AA (ou BB) significa que uma microrregião com uma elevada produtividade (ou baixa produtividade) está rodeada por microrregiões com produtividades também elevadas (ou produtividades também baixas); já um cluster espacial do tipo AB (ou BA) significa que uma microrregião com uma elevada produtividade (ou baixa produtividade) está rodeada por microrregiões com baixa produtividade (ou elevada produtividade) (ALMEIDA, 2012).

A Figura 4 retrata o diagrama de dispersão de Moran, onde pode-se verificar a distribuição dos quadrantes representativos de cada tipo de associação linear espacial entre as regiões e seus vizinhos.

Figura 4: Diagrama de dispersão de Moran

BAIXO-ALTO	ALTO-ALTO
BAIXO-BAIXO	ALTO-BAIXO

Fonte: Adaptado de Almeida (2012).

4.4 AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL BIVARIADA GLOBAL E LOCAL

A autocorrelação espacial global bivariada busca mensurar se os valores de uma variável em uma determinada região, possuem algum tipo de relação com os valores de outra variável em outras regiões, ou seja, verifica-se a existência de um padrão espacial global entre duas variáveis diferentes (ALMEIDA, 2012). Essa estatística pode ser encontrada através da expressão 33.

$$I^{z_1, z_2} = \frac{n}{S_0} \frac{z_1' W z_2}{z_1' z_2} \quad (33)$$

E com a matriz W normalizada na linha tem-se

$$I^{z_1, z_2} = \frac{z_1' W z_2}{z_1' z_2} \quad (34)$$

A autocorrelação espacial local bivariada pode ser representada através da equação 35.

$$I^{z_1, z_2} = z_{1i} W z_{2i} \quad (35)$$

Essa estatística disponibiliza uma indicação do grau de associação linear seja ela positiva ou negativa entre o valor de uma variável em uma localidade i e a média de

outra variável em localidades vizinhas. Através do resultado dessa estatística que se constrói o mapa de significância bivariado para o I de Moran Local (ALMEIDA, 2012).

4.5 MODELO EMPÍRICO E VARIÁVEIS

Para testar a hipótese de convergência da produtividade agropecuária utilizou-se como base o modelo proposto por Barro e Sala-i-Martin (1995) alterando a variável renda pela variável produtividade agropecuária e inserindo variáveis relevantes para determinar o processo de convergência da produtividade agropecuária.

A variável dependente utilizada para estimação dos modelos empíricos foi transformada a fim de evitar possíveis valores negativos, assim para o cálculo da taxa de crescimento da produtividade da agropecuária seguiu-se a seguinte equação

$\left(\frac{PT_{2017}}{PT_{1995}}\right) + 1$, após isso se calculou o logaritmo natural dessa razão.

4.5.1 Modelo Empírico

Na equação 36 apresenta-se o modelo de convergência absoluta da Produtividade agropecuária (PT).

$$\ln\left(\frac{PT_{2017}}{PT_{1995}}\right) = \alpha + \beta \ln PT_{1995} + \varepsilon \quad (36)$$

onde: $\ln\left(\frac{PT_{2017}}{PT_{1995}}\right)$ é o logaritmo natural da razão entre a produtividade média entre os dois anos em análise, isto é a produtividade agropecuária em 2017 e a produtividade em 1995; $\ln PT_{1995}$ é o logaritmo natural da produtividade em 1995, e, ε é o termo de erro.

Nesse modelo, caso exista a convergência da produtividade agropecuária, o coeficiente associado ao parâmetro β deve possuir um sinal negativo e

estatisticamente significativo, confirmando a hipótese de que ao longo dos anos as diferenças entre as produtividades agropecuárias tendem a diminuir, ou seja, o hiato da produtividade tende a ser menor.

Com base no modelo de convergência absoluta verifica-se as diferenças entre as produtividades das regiões estão diminuindo ao longo dos anos apenas em função da sua produtividade inicial, porém existem outros fatores que podem ser condicionantes dessa convergência. A estrutura de cada localidade exerce influência na maneira em como a convergência ocorrerá, assim estima-se um modelo de convergência condicional, onde se busca verificar os impactos que as diferenças entre as composições das regiões causam em seu desempenho, no decorrer do tempo. O modelo que expressa a convergência condicional pode ser observado na equação 37 (ALMEIDA; GUANZIROLI, 2013).

$$\ln\left(\frac{PT_{2017}}{PT_{1995}}\right) = \alpha + \beta_1 \ln PT_{1995} + \beta_2 X + \mu \quad (37)$$

Para o modelo condicional vale a mesma explicação dada para o modelo de convergência absoluta, porém nesse modelo tem-se a inclusão do um vetor X que inclui todas as variáveis utilizadas como explicativas para esse modelo.

Após a estimação das equações (36) e (37), posto que se pretende considerar a possibilidade de estimação por regimes espaciais, realiza-se o teste de Chow Espacial. Esse teste é baseado na comparação da soma dos quadrados dos resíduos de uma regressão, usando todo o conjunto de dados, com a soma dos quadrados dos resíduos obtidos quando todo o conjunto de dados é dividido em subamostras (ALMEIDA, 2012). O teste de Chow Espacial é dado pela equação 38.

$$Ch = \left\{ \frac{(e_r' e_r - e_{ir}' e_{ir}) / k}{n - 2k} \right\} \quad (38)$$

em que e_r é o resíduo por MQO do modelo restrito na subamostra, e e_{ir} é o resíduo por MQO do modelo irrestrito com toda a amostra.

A ideia do teste de Chow Espacial é que se ele for estatisticamente significativo, rejeita-se a hipótese de uma regressão com todos os dados conjuntamente a favor de uma regressão com distintos regimes espaciais, ou seja, será estimado uma equação de convergência para cada bioma pertencente ao Brasil.

Caso seja confirmada a existência de regimes espaciais se estimará o modelo econométrico a-espacial, porém utilizando a econometria com regimes espaciais, esse modelo pode ser observado na equação 39.

$$\begin{aligned}
 & \begin{bmatrix} \ln\left(\frac{PT_{2017,AM}}{PT_{1995,AM}}\right) \\ \ln\left(\frac{PT_{2017,CE}}{PT_{1995,CE}}\right) \\ \ln\left(\frac{PT_{2017,CA}}{PT_{1995,CA}}\right) \\ \ln\left(\frac{PT_{2017,MT}}{PT_{1995,MT}}\right) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \ln PT_{1995,AM} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \ln PT_{1995,CE} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ln PT_{1995,CA} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ln PT_{1995,MT} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_{1,AM} \\ \beta_{1,CE} \\ \beta_{1,CA} \\ \beta_{1,MT} \end{bmatrix} + \\
 & \begin{bmatrix} X_{AM} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X_{CE} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X_{CA} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X_{MT} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_{2,AM} \\ \beta_{2,CE} \\ \beta_{2,CA} \\ \beta_{2,MT} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{AM} \\ \varepsilon_{CE} \\ \varepsilon_{CA} \\ \varepsilon_{MT} \end{bmatrix} \quad (39)
 \end{aligned}$$

em que $\ln\left(\frac{PT_{t+n,h}}{PT_{n,h}}\right)$ é o logaritmo natural da razão entre a produtividade do período final e a produtividade do período inicial, isto é, a produtividade em 2017 e a produtividade em 1995; $PT_{n,h}$ é o logaritmo natural da produtividade no período inicial; β_h é o parâmetro a ser estimado para cada grande bioma; e ε_h é o termo de erro.

No modelo econométrico com regimes espaciais, o conjunto de observações é dividido em 4 subamostras ou regimes, utilizando uma variável indicadora discreta. Cada subamostra corresponde a um bioma do país, sendo esses: Caatinga (CA), Cerrado (CE), Amazônia (AM) e Mata Atlântica (MT).

O modelo 39 foi estimado seguindo a metodologia de estimação proposta por Anselin (1988) e Almeida (2012). A ideia principal da econometria com regimes espaciais é a existência de distintas respostas dependendo dos subconjuntos da amostra, sendo que “... cada regime espacial representa uma parte do conjunto de dados que exibe uma determinada resposta ao fenômeno” (ALMEIDA, 2012, pg. 319), onde a heterogeneidade espacial é encontrada em diferentes interceptos e inclinações da regressão. Há um grande diferencial do trabalho nesse ponto, já que a consideração dos regimes será efetuada com base em divisões de Biomas e não das divisões geopolíticas do país.

Para se referir ao modelo 39 irá se simplificar a sua formulação para melhor visualização, a equação 40 apresenta o modelo 39 de maneira simplificada

$$\ln\left(\frac{PT_{t+n,h}}{PT_{n,h}}\right)^* = \ln(PT_{n,h})^* \beta_1^* + X^* \beta_2^* + \varepsilon^* \quad (40)$$

sendo que $\ln\left(\frac{PT_{t+n,h}}{PT_{n,h}}\right)^*$, $\ln(PT_{n,h})^*$, X^* e ε^* correspondem aos vetores e matrizes da expressão 39. Daqui por diante para referir-se a ao modelo 39 ira se usar a formulação 40.

Uma vez que o espaço é um fator fundamental para a análise da produtividade da agropecuária, também serão estimados modelos econométricos que consideram o espaço, onde esse espaço foi delimitado por características ambientais, captadas por cada bioma¹⁷. Na próxima subseção os modelos que buscam captar a dependência espacial serão apresentados.

4.5.2 Modelos Econométricos de Controle de Dependência Espacial

Quando se observa que as unidades de corte transversal não são mais independentes entre si, tem-se o que é chamado de dependência espacial. O espaço é fator fundamental em diversas análises, pois existe interação entre as regiões, essa

¹⁷Ao considerar o espaço nos modelos econométricos se tratará a dependência espacial.

interação é retratada na chamada Lei de Tobler, também conhecida como a Primeira Lei da Geografia. Essa Lei estabelece a seguinte teoria: *“tudo depende de todo o restante, porém o que está mais próximo depende mais do que aquilo que está mais distante”* (ALMEIDA, 2012).

Isso significa que a proximidade dentre as regiões acaba se tornando uma variável de influência nas demais regiões próximas, outro adendo a ser mencionado é que a distância mencionada, não se refere apenas à distância geográfica, mas também a distância referente à parte social, distância econômica, distância política etc.

Resumindo a dependência espacial significa que o valor de uma variável de interesse em uma região i , acaba sendo influenciada pelo valor dessas variáveis nas regiões consideradas vizinhas, além da possibilidade da influência das variáveis explicativas exógenas e em algumas vezes dos fatores que estão contidos no termo de erro dessas regiões próximas (ALMEIDA, 2012).

Outro fenômeno que pode ocorrer quando se aborda o espaço é a heterogeneidade espacial, que foi denominada como a Segunda Lei da Geografia. A heterogeneidade espacial ocorre quando há instabilidade estrutural através das regiões, fazendo com que as variáveis apresentem diferentes respostas, dependendo da localidade em que se encontram. Quando a dependência e a heterogeneidade ocorrem ao mesmo tempo tem-se o que é chamado de imbricação (ALMEIDA, 2012).

Caso verificado a dependência espacial o modelo ideal é um que controle essa dependência, e esses modelos são encontrados na econometria espacial. Um Modelo Clássico de Regressão Linear não levaria em consideração os efeitos que o espaço exerce sobre as variáveis, isso justifica a necessidade da utilização de um modelo de controle de dependência espacial (STEGE, 2015). Na equação 41 pode-se observar o modelo espacial geral

$$\ln\left(\frac{PT_{t+n,h}}{PT_{n,h}}\right)^* = \rho W\left(\frac{PT_{t+n,h}}{PT_{n,h}}\right)^* + \ln(PT_{n,h})^* \beta_1^* + X^* \beta_2^* + WX^* \tau + \xi^* \quad (41)$$

$$\xi^* = \lambda W\xi^* + \varepsilon^* \quad (42)$$

onde: β_1^* e β_2^* são os vetores dos parâmetros que serão estimados; $W\left(\frac{PT_{t+n,h}}{PT_{n,h}}\right)^*$ é um vetor de defasagens espaciais para a variável dependente; $\ln(PT_{n,h})^*$ é o logaritmo natural da produtividade no período inicial para cada bioma; WX^* é o vetor de defasagem das variáveis explicativas; τ é o vetor ($k-1$ por 1) do coeficiente autorregressivo das variáveis explicativas; ρ é um vetor do coeficiente autorregressivo; ξ_h^* é um vetor dos termos de erro, $W\xi_h^*$ são os erros defasados espacialmente e λ é o parâmetro do erro autorregressivo espacial. Todos os parâmetros serão calculados para os biomas estudados.

Partindo do modelo geral devem-se observar o comportamento dos parâmetros, desse modo quando a equação 41 apresenta um valor de τ e de λ iguais a zero e um valor de ρ diferente de zero, o modelo a ser considerado seria o modelo de defasagem espacial ou modelo SAR, esse modelo mostra que a variável dependente nas regiões i e j apresentam certo grau de interação entre si, ou seja, a variável dependente da região i influencia no valor da variável dependente da região j (ALMEIDA, 2012). Ele é retratado na equação 43.

$$\ln\left(\frac{PT_{t+n,h}}{PT_{n,h}}\right)^* = \rho W\left(\frac{PT_{t+n,h}}{PT_{n,h}}\right)^* + \ln(PT_{n,h})^* \beta_1^* + X^* \beta_2^* + \varepsilon^* \quad (43)$$

Quando a equação 41 se apresenta com os valores dos parâmetros ρ e τ iguais a zero e o parâmetro λ diferente de zero, tem-se o modelo de erro autorregressivo espacial ou modelo SEM. Nesse modelo a autocorrelação das regiões, encontra-se no termo de erro, ou seja, o erro da região i influenciará no crescimento da produtividade da região j , e vice-versa. Isso significa que fatores não modelados geram influência nas regiões, e essa influência é transbordada para as regiões vizinhas (ALMEIDA, 2012). O modelo de erro autorregressivo espacial ou modelo SEM é representado através da equação 44.

$$\ln\left(\frac{PT_{t+n,h}}{PT_{n,h}}\right)^* = \ln(PT_{n,h})^* \beta_1^* + X^* \beta_2^* + \xi^* \quad (44)$$

$$\xi^* = \lambda W \xi^* + \varepsilon^* \quad (45)$$

onde ξ_h é um vetor dos termos de erro, W_{ξ_h} são os erros defasados espacialmente e λ é o vetor do parâmetro do erro autorregressivo espacial.

Ainda partindo do modelo espacial geral equação (41), quando se encontra um λ igual a zero e ρ e τ diferentes de zero, o modelo a ser estimado será um modelo de Durbin espacial ou modelo SDM. No modelo SDM se incorpora o transbordamento por meio da defasagem das variáveis independentes, além da defasagem da variável endógena esse modelo pode ser observado na equação 46 (ALMEIDA, 2012).

$$\ln\left(\frac{PT_{t+n,h}}{PT_{n,h}}\right)^* = \rho W \left(\frac{PT_{t+n,h}}{PT_{n,h}}\right) + \ln(PT_{n,h})^* \beta_1^* + X^* \beta_2^* + WX^* \tau + \varepsilon^* \quad (46)$$

Novamente partindo da equação 41 quando se observa o ρ igual a zero e τ e λ diferentes de zero o modelo a ser estimado é o modelo de Durbin espacial do erro ou modelo SDEM. Nesse modelo os transbordamentos espaciais de alcance local nas variáveis explicativas são captados, além do transbordamento espacial global contido no termo de erro (ALMEIDA, 2012). O modelo de Durbin espacial do erro é encontrado através da equação 47.

$$\ln\left(\frac{PT_{t+n,h}}{PT_{n,h}}\right)^* = \ln(PT_{n,h})^* \beta_1^* + X^* \beta_2^* + \tau WX^* + \xi^* \quad (47)$$

$$\xi^* = \lambda W \xi^* + \varepsilon^* \quad (48)$$

Já o modelo regressivo cruzado espacial ou modelo SLX é obtido quando se têm valores para ρ e λ iguais a zero e o valor do τ é diferente de zero na equação (41). Nesse modelo considera-se que todas as variáveis contidas na matriz X podem transbordar espacialmente (ALMEIDA, 2012). Sua representação pode ser observada na equação 49.

$$\ln\left(\frac{PT_{t+n,h}}{PT_{n,h}}\right)^* = \ln(PT_{n,h})^* \beta_1^* + X^* \beta_2^* + \tau WX^* + \varepsilon^* \quad (49)$$

Por fim para casos em que se encontra na equação (41) valores para ρ, τ e λ iguais a zero o melhor modelo a ser considerado é o Modelo de Mínimos Quadrados Ordinários ou modelo MQO, equação (39).

Nesse trabalho serão testados todos os modelos descritos acima (SAR, SEM, SDM, SDEM e SLX). A escolha do modelo que melhor controla a dependência espacial é baseada nos valores dos critérios de Akaike e de Schwartz obtido de acordo com as seguintes fórmulas:

$$AIC = -2LIK + 2K \quad (50)$$

$$SC = -2LIK + K \cdot \ln(n) \quad (51)$$

onde o LIK se refere ao valor da função de verossimilhança, k é o número de parâmetros contidos no modelo e n é o número de observações. Para avaliar os critérios de Akaike e de Schwartz deve se considerar que quanto menor o valor encontrado no critério melhor será o modelo. Quando se tem uma amostra com um tamanho maior que 8 o critério de Schwartz (SC) penaliza mais que o critério de Akaike (AIC) os modelos que contém muitos parâmetros (ALMEIDA, 2012).

4.6 VARIÁVEIS UTILIZADAS NO MODELO

Para estimação do modelo de convergência formulou-se uma variável de produtividade agropecuária com base em trabalhos de Raiher *et al.*, (2016) e Felema, Raiher e Ferreira (2013). A variável é obtida a partir das formulações 52 e 53.

$$VA_i = VBP_i - CI_i \quad (52)$$

$$PT_i = \frac{VA_i}{ATE_i} \quad (53)$$

Utilizando a equação (52) calculou-se o Valor Agregado para cada microrregião (VA_i), subtraindo-se os Custos Intermediários (CI_i) do Valor Bruto da Produção (VBP_i). Após esse cálculo, a produtividade foi obtida através da razão entre o Valor Agregado (VA_i) e da Área Total Explorada (ATE_i). O valor encontrado dessa razão trata-se da Produtividade Agropecuária da microrregião i (PT_i).

Os dados utilizados nesta pesquisa para o cálculo da produtividade agropecuária foram coletados do Censo Agropecuário, divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para anos de 1995 e 2017.

Para o cálculo do valor agregado foram utilizados os valores das produções totais dos animais e vegetais, onde para animais se engloba o valor da produção de animais de pequeno, médio, grande porte e aves e para os vegetais se considera lavouras permanentes, temporárias, horticultura, floricultura, silvicultura e extração vegetal.

Os custos considerados foram os valores de adubos e corretivos de solo, sementes e mudas, agrotóxicos, alimentação dos animais, medicamentos para animais, aluguel de máquinas e equipamentos, transportes da produção, combustíveis e lubrificantes, gastos com energia elétrica, ovos fertilizados e pintos de um dia e sacarias e outras embalagens. A área considerada engloba o total de área explorada menos os hectares de área que são consideradas como terras inaproveitáveis.

O quadro 1 apresenta as variáveis utilizadas no modelo empírico, a fonte dos dados e os trabalhos que já fizeram uso das variáveis explicativas em suas análises.

Quadro 1: Fonte e referências das principais variáveis utilizadas no modelo econométrico de convergência da produtividade agropecuária

Variável		Fonte	Referências
Área Total explorada (hec)	AREA	Censo Agropecuário-IBGE	Ekbom (1998); Odhiambo; Nyangito e Nzuma (2004); Costa <i>et al.</i> , (2013), Lopes e Paula (2013) Pavan (2013), Hamulczuk (2015), Raiher <i>et al.</i> , (2016), Albuquerque (2020).
Proporção de estabelecimentos com irrigação	ASS_TEC	Censo Agropecuário-IBGE	Brigatte, 2010, Massod (2018).
Proporção de estabelecimentos com conservação de Solo	SOLO	Censo Agropecuário-IBGE	Ekbom (1998); odhiambo; Nyangito e Nzuma (2004), Costa <i>et al.</i> , (2013), Pavan (2013).
Mão de obra por hectares	L	Censo Agropecuário-IBGE	Lopes e Paula (2013), Hamulczuk (2015), Raiher <i>et al.</i> , (2016), Albuquerque (2020).
Proporção de estabelecimentos com assistência Técnica	ASS_TEC	Censo Agropecuário-IBGE	Raiher <i>et al.</i> , (2016), Albuquerque (2020)
Tratores por hectares	TRATOR	Censo Agropecuário-IBGE	Ekbom (1998); odhiambo; Nyangito e Nzuma (2004), Hamulczuk (2015), Raiher <i>et al.</i> , (2016), Murtaza, Massod (2018), Albuquerque (2020).
Crédito por hectares	CRED	Censo Agropecuário-IBGE	Costa <i>et al.</i> , (2013), Lopes e Paula (2013) Pavan (2013), Brigatte, 2010, Baricello (2019).
Índice de Gini da terra	GINI	Censo Agropecuário-IBGE	Raiher (2016).

Fonte: A autora.

A área considerada é o total de área explorada menos as áreas que são consideradas impróprias para a produção, sendo essas matas e/ou florestas naturais destinadas à preservação permanente ou reservas legais e terras inaproveitáveis. A irrigação é o total de estabelecimentos que possuem irrigação, em razão do número total de estabelecimentos encontrados na região rural, desse modo tem se a proporção de estabelecimentos que possuem algum método de irrigação.

A variável solo se trata do número de propriedades que praticaram algum tipo de método de conservação do solo, em relação ao total de estabelecimentos agropecuários.

Para mensuração da variável mão de obra necessita-se de uma medida que busque equivaler o trabalho. As atividades no campo são realizadas por homens, mulheres e menores de 14 anos o que gera uma comparação desproporcional no trabalho, para corrigir esse detalhe foi utilizado o conceito de equivalente-homem, que busca atribuir um peso a cada trabalhador (QUEIROZ; BATALHA, 2004).

Ainda na variável mão de obra encontra-se mais uma diferença que é a relação que o trabalhador possui com a terra, ou seja, proprietário, empregado etc. Assim o peso utilizado é composto pela relação do equivalente-homem mais a diferenciação da relação do trabalhador com a propriedade. Para isso seguiu-se os trabalhos de Hoffman, Jamas e Kassouf (1990), Kageyama e Silva (1983) e Hoffman, Kageyama e Queda (1985)¹⁸, após o cálculo dividiu-se o número de trabalhadores por hectares, obtendo a variável mão de obra por hectares.

Para construção da variável assistência técnica se calculou a razão do número de propriedades que receberam qualquer tipo de assistência técnica em relação ao total de estabelecimentos agropecuários.

Para obtenção da variável trator se considerou a potência das máquinas, desse modo os dados para tratores eram classificados conforme sua potência medida em cavalo-vapor para se encontrar o valor final, multiplica-se o valor médio do cavalo-vapor pelas quantidades de tratores, somando-se então todos os valores e por fim dividindo os valores totais por hectares, obtendo dessa maneira a variável trator por hectares.

O crédito considera os valores destinados a custeio, investimento e comercialização para as atividades produzidas no meio rural, derivados de agentes financeiros privados e públicos, somando recursos provenientes de programas governamentais de crédito ou não. O valor do crédito foi dividido por hectares resultando em crédito por hectares.

¹⁸ Homens maiores de 14 anos=1,0 EH; mulheres maiores de 14 anos: familiares=0,5 EH, empregados=1,0 EH, parceiros e de outras condições=0,66 EH; crianças menores de 14 anos: familiares=0,4 EH, empregados e parceiros=0,5 EH.

O coeficiente de Gini para distribuição da terra foi fornecido diretamente pelo IBGE através de uma solicitação, devido ao fato de os dados encontrados nas plataformas abertas disponíveis serem apenas municipais e estaduais. O Gini da Terra mede a desigualdade na distribuição da posse da terra, seu valor varia de zero a um, onde quanto mais próximo de uma mais concentrada é a posse da terra, ou seja, mais desigual é a distribuição de terra (CAMARGO, 2015)¹⁹.

Por fim, todas as variáveis monetárias utilizadas na pesquisa foram deflacionadas utilizando o IGP-DI e tendo como ano base 2017. Os dados utilizados são relativos a todas as 558 microrregiões brasileiras, exceto nas estimações que são correspondentes ao total de 540 microrregiões, já que foi necessária a exclusão de 18 microrregiões que compunham os biomas de Pantanal e Pampa.

Não houve a necessidade de realizar nenhuma correção de áreas mínimas comparáveis, visto que no período (1995-2017) não houve criação nem destruição de nenhuma microrregião.

Todas as variáveis explicativas estão mensuradas no modelo em diferenças, com intuito de captar as possíveis alterações nas mesmas ao longo dos anos, e todas as variáveis estão logaritmizadas tornando as análises mais simplificadas.

4.7 PROCEDIMENTOS ECONOMETRICOS

Os procedimentos utilizados para a estimação do modelo de convergência da produtividade agropecuária serão descritos de maneira breve nos passos abaixo, com intuito de facilitar a compreensão da metodologia empregada na pesquisa.

- Passo 1: Estimação do modelo de convergência absoluto e do modelo de convergência condicional da produtividade agropecuária, através do método de mínimos quadrados ordinários, considerando 540 microrregiões.
- Passo 2: Cálculo do I de Moran dos resíduos testando diferenciadas matrizes.

¹⁹A inserção de uma variável que captasse o capital humano foi testada, através da proxy escolaridade das pessoas que exercem atividades na agropecuária, porém os resultados obtidos não foram consistentes dessa forma a variável foi retirada da análise. Uma possível explicação para essa falha é encontrada na metodologia que o Censo Demográfico adota para formulação dos dados, pois a escolaridade é medida em anos de estudo e vem experimentando constantes variações na sua mensuração entre os levantamentos de 1970 e 2010 (IBGE, 1980, 2003, 2016).

- Passo 3: Estimação dos modelos de convergência absoluto e dos modelos de convergência condicionais da produtividade agropecuária, utilizando econometria espacial.
- Passo 4: Decisão do modelo mais adequado para o Brasil, observando os critérios de Akaike e de Schwartz e o I de Moran dos resíduos.
- Passo 5: Teste de White para verificar se existe heterogeneidade no modelo escolhido.
- Passo 6: Realização do teste de Chow Espacial.
- Passo 7: Estimação do modelo de convergência absoluto e do modelo de convergência condicional da produtividade agropecuária por regimes espaciais, através do método de mínimos quadrados ordinários.
- Passo 8: Estimação dos modelos de convergência absoluto e dos modelos de convergência condicionais da produtividade agropecuária por regimes espaciais, utilizando econometria espacial.
- Passo 9: Decisão do modelo mais adequado para os regimes, observando os critérios de Akaike e de Schwartz e o I de Moran dos Resíduos.
- Passo 10: Teste de White para verificar se existe heterogeneidade no modelo escolhido.²⁰

²⁰As estimações e o teste de Chow foram realizadas no software GeodaSpace.

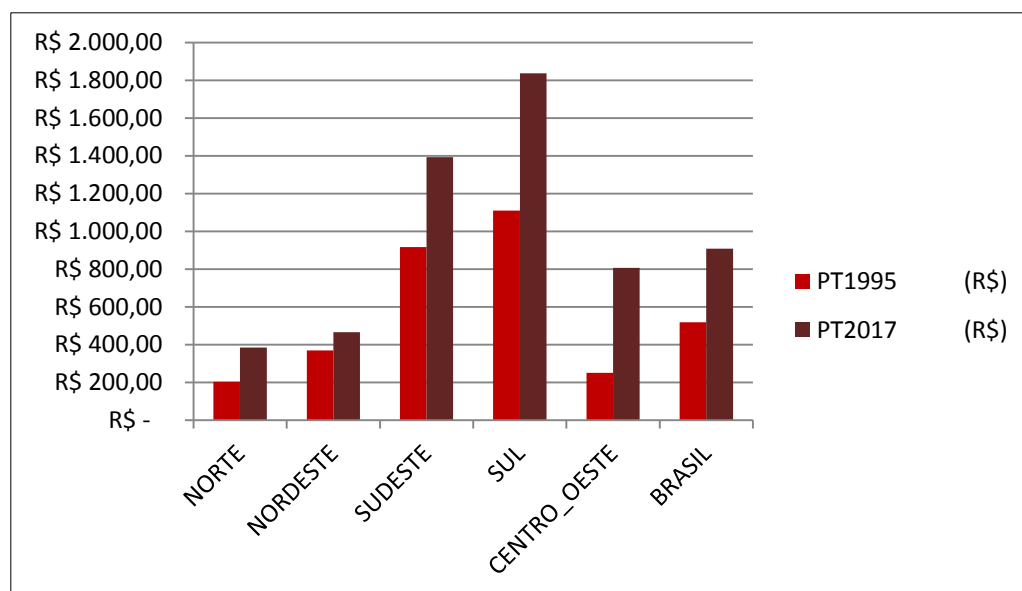
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nessa seção serão apresentados os resultados encontrados na pesquisa, dividindo-os em resultados por grandes regiões brasileiras e por biomas e por fim, podem ser verificados os resultados dos modelos de convergência da produtividade agropecuária.

5.1 PRODUTIVIDADE AGROPECUÁRIA DAS GRANDES REGIÕES

O setor agropecuário possui participação importante na economia brasileira, mesmo representando cerca de 5% na formação do Produto Interno Bruto (GOV/BR, 2020), é responsável por gerar rendas, demandar mão de obra, fornecer alimentos e matérias-primas para as indústrias o que contribui significativamente com o desenvolvimento. Dada tamanha relevância da agropecuária tornam-se necessárias análises que incorporem todas as produções agrícolas e pecuárias a fim de observar como o setor evolui no país. Na Figura 5 pode se observar a produtividade agropecuária para os anos de 1995 e 2017.

Figura 5: Produtividade agropecuária para os anos de 1995 e 2017 para as grandes regiões brasileiras e Brasil



Fonte: A autora.

Nota: Reais por hectares.

As grandes regiões do Brasil apresentaram crescimento da produtividade agropecuária ao longo dos anos. Pode-se verificar que a região Centro-Oeste apresentou o maior aumento na produtividade no período analisado (1995-2017). A abertura da fronteira agrícola nessa região a partir da década de 1930 foi o impulso para o desenvolvimento da agropecuária, porém inicialmente esse crescimento não ocorreu por melhorias técnicas, mas sim por exploração de mão de obra e aumentos de áreas cultivadas (BEZERRA; CLEPS JR, 2004).

Já em relação aos períodos mais atuais, o desenvolvimento da produtividade encontrada no Centro-Oeste se deve a modernização intensa na agropecuária e ainda a expansões de áreas o que tornou essa região em uma importante produtora de grãos. Atualmente o estado do Mato Grosso é o maior produtor de soja do Brasil. (BEZERRA; CLEPS JR, 2004).

O Nordeste foi a região que apresentou o menor crescimento da produtividade agropecuária. Na análise do período essa região demonstrou uma taxa de variação positiva, porém foi a menor dentre as demais regiões. Possíveis explicações para a baixa produtividade agropecuária no Nordeste são os problemas relacionados ao desenvolvimento estrutural da região que incluem baixas escolaridades, estruturas latifundiárias inadequadas dentre outros (CASTRO, 2012). Outra questão relevante é a climática, diversas culturas não são resistentes às características ambientais que essa região apresenta. As altas temperaturas e as secas acabam gerando grandes problemas de deterioração de solo e água, contribuindo para o baixo desempenho agropecuário desta região (CASTRO, 2012).

Apesar da região Centro-Oeste ser a localidade que apresentou a maior taxa de variação da produtividade agropecuária é na região Sul e Sudeste que se encontram os maiores valores de produtividade agropecuária. Isso demonstra que mesmo o Centro-Oeste apresentando um alto crescimento, a sua produtividade ainda é menor que das regiões Sul e Sudeste. A região Sul e Sudeste são as regiões mais produtivas do país, tanto no ano de 1995 quanto para 2017.

No geral, o país apresentou uma taxa de variação da produtividade agropecuária positiva, onde a produtividade agropecuária em 1995 era em média cerca de 509,98 reais por hectares e passou em 2017 para 858,09 reais por hectares.

A Tabela 2 apresenta a variação percentual e a taxa geométrica de crescimento da produtividade agropecuária.

Tabela 2: Variação percentual e taxa geométrica de crescimento anual da produtividade entre os anos de 1995 e 2017

Grandes Regiões	Variação	Taxa Geométrica de crescimento anual
Norte	76,63%	2,50%
Nordeste	20,39%	0,81%
Sudeste	46,23%	1,66%
Sul	57,60%	1,99%
Centro-Oeste	212,60%	5,08%
Brasil	68,26%	2,28%

Fonte: A autora.

Como mencionado acima a região Nordeste apresenta a menor taxa de variação da produtividade agropecuária no período de estudo. No entanto a região Norte é que apresenta os menores valores de produtividade. No ano de 1995 essa região detinha um valor de cerca de 204,95 reais por hectares, que passou em 2017 a ser 362,02 reais por hectares, desse modo verifica-se que mesmo a região apresentando uma taxa de crescimento positiva de 76,63% entre os ano de 1995 e 2017, a produtividade dessa região em relação as demais é baixa.

Grande parte da região Norte se encontra no bioma Amazônia, cerca de 93,39% das áreas dessa região pertencem a esse bioma. A região Norte possui uma produção de mandioca significativa, influenciada pelo hábito alimentar da população encontrada nessa localidade e por sua produção muitas vezes gerada por agricultores familiares (LOBÃO, 2019).

A maior produção de mandioca em 2013 segundo o IBGE foi encontrada no estado do Pará, mais especificamente no município de Acará. Apesar da significativa produção de mandioca nessa região, ainda hoje é na pecuária que a Amazônia se baseia e se sustenta, sendo essa a principal atividade do Norte, onde a produção de carne é exportada (LOBÃO, 2019).

A região Norte sofre com diversos problemas, tanto de cunho ambiental, quanto estrutural e social que acabam limitando seu desempenho. Diversas atividades ilegais ocorrem nessa área, como por exemplo, a questão da exploração ilegal de madeira. Um dos principais empecilhos para o desenvolvimento agropecuário da região são as

questões ambientais, tais como fatores relacionados a deficiências hídricas e consequências de anos de desmatamentos, além da região também apresentar problemas relacionados ao escoamento de safras o que tornam os custos maiores (CASTRO, 2013).

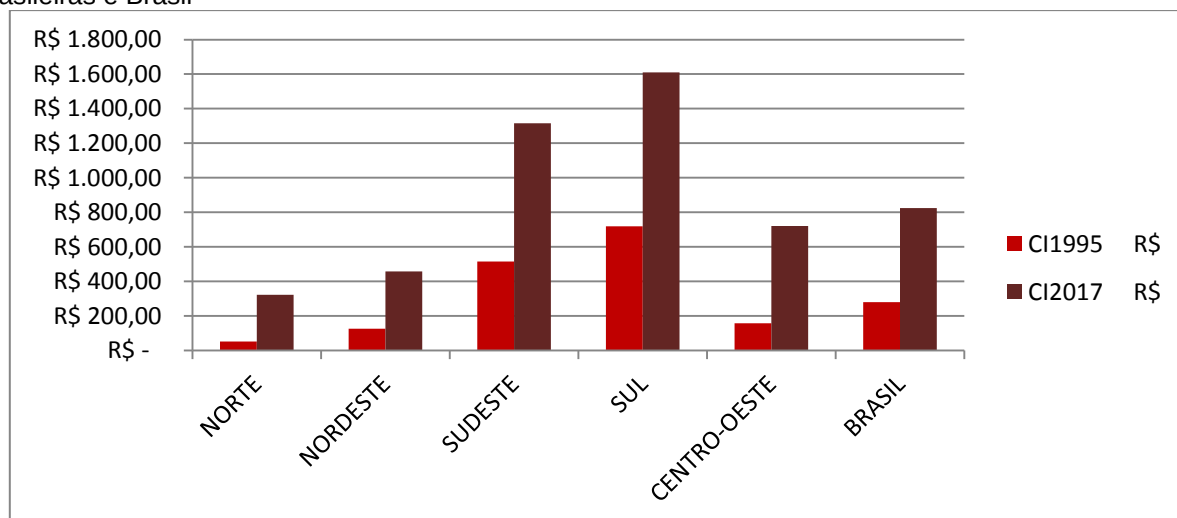
Mesmo as regiões Norte e Nordeste apresentando crescimento ao longo do período, as suas produtividades ainda são pequenas se comparadas as produtividades das regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul.

Na região Centro-Oeste é observado a maior taxa de variação da produtividade no período de 1995 e 2017, confirmando os resultados obtidos na Figura 6. O bioma predominante na região Centro-Oeste é o bioma de Cerrado, que vem se tornando ao longo dos anos um dos biomas mais produtivos do Brasil, sendo destaque principalmente no cultivo de grãos.

As regiões Sul e Sudeste pertencentes aos biomas de Mata Atlântica e Pampa apresentaram taxas de variações positivas. Essas regiões possuem bom desempenho com produções significativas de soja, milho, arroz, algodão e álcool (ANDRADES; GANIMIS, 2007). Sendo até os dias atuais as regiões mais produtivas do Brasil.

Na Figura 6 e na Tabela 3 pode se verificar como os custos de produção por hectares se apresentaram nos anos de 1995 e 2017 e as taxas de variação dos custos intermediários para as grandes regiões do Brasil entre 1995 e 2017. Os custos foram deflacionados utilizando o IGP-DI E tendo como ano base 2017.

Figura 6: Custos intermediários da agropecuária para os anos de 1995 e 2017 para as grandes regiões brasileiras e Brasil



Fonte: A autora.

Nota: Reais por hectares.

Tabela 3: Variação percentual e taxa geométrica de crescimento anual dos custos intermediários da produção agropecuária entre os anos de 1995 e 2017

Grandes Regiões	Variação	Taxa Geométrica de crescimento anual
Norte	508,42%	8,18%
Nordeste	264,47%	5,78%
Sudeste	154,72%	4,15%
Sul	123,80%	3,56%
Centro-Oeste	356,80%	6,82%
Brasil	194,18%	4,80%

Fonte: A autora.

A maior variação percentual nos custos intermediários no período de 1995 e 2017 ocorreu na região Norte, o que pode ser observado na Tabela 3, cuja, variação para o período foi de 508,42%, porém a região Norte não foi a que apresentou a maior taxa de variação de produtividade (Tabela 2, Figura 5).

Os gastos com insumos intermediários para a região Norte foram cerca de 2 milhões e 200 mil reais no ano de 1995, passando a ser em 2017 cerca de 14 milhões e 600 mil reais. Já a menor variação percentual nos gastos intermediários ocorreu na região Sul com valor de 123,80%. Os custos intermediários aqui citados incluem os gastos com adubos e corretivos de solo, sementes e mudas, agrotóxicos, alimentação dos animais, medicamentos para animais, aluguel de máquinas e equipamentos, transportes da produção, combustíveis e lubrificantes, gastos com energia elétrica, ovos fertilizados e pintos de um dia e sacarias e outras embalagens.

5.2 PRODUTIVIDADE AGROPECUÁRIA POR BIOMA

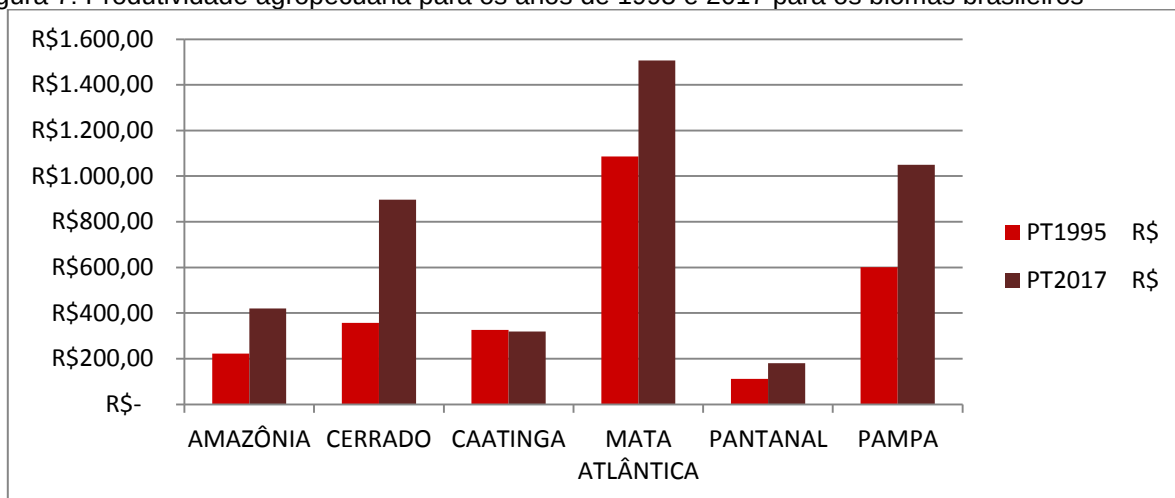
Diversos são os fatores que contribuem para o desempenho agropecuário tais como área, mão de obra, distribuição de terras, políticas de crédito disponíveis ao setor dentre inúmeros outros. A agropecuária também depende das condições edafoclimáticas de cada bioma, pois seus resultados são influenciados pelo tipo de clima, precipitação, solo, vegetação etc.

Com o passar dos anos os pesquisadores, principalmente os da EMBRAPA, foram desenvolvendo culturas mais resistentes e adaptadas aos diferenciados fatores ambientais que se encontram no país, porém as características ambientais ainda exercem grande influência no desenvolvimento das produções agropecuárias.

A partir desse subcapítulo busca se mencionar os resultados agropecuários os diferenciando por biomas. A divisão das microrregiões por biomas se consiste na ideia de que o bioma é definido conforme suas características ambientais, sendo a principal o tipo de vegetação que ocorre como consequência do nível de precipitação, temperatura, composição do solo etc. Como já mencionado, essas variáveis são as que contribuem positivamente ou negativamente com a produtividade agropecuária.

Diante disso buscou-se verificar as diferenças nas produtividades brasileiras que resultam dos fatores ambientais, ao qual a produção está exposta. As microrregiões foram classificadas em seus respectivos biomas, sendo um total de 558 microrregiões divididas entre 6 biomas. A Figura 7 apresenta a produtividade agropecuária para os biomas brasileiros.

Figura 7: Produtividade agropecuária para os anos de 1995 e 2017 para os biomas brasileiros



Fonte: A autora.

Nota: Reais por hectares

Pode se verificar que o bioma que apresentou o maior crescimento da produtividade foi o bioma de Cerrado. O Cerrado é caracterizado pela presença de invernos secos e verões chuvosos, tendo em média uma precipitação de cerca de 1500 mm por ano, onde a temperatura do mês mais frio gira em torno de 18° C (RIBEIRO; WALTER, 1998).

Até 1960 a produtividade agropecuária nesse bioma tinha pouquíssima representatividade, cujo um dos fatores que cooperavam negativamente com as produções era a composição dos solos, pois não se apresentavam propícios aos cultivos agrícolas, já que se tratava de solos ácidos, porém esse bioma tem uma topografia favorável à agropecuária, e com os desenvolvimentos de tecnologias para correção de solo, melhores sementes e intensificação do uso de máquinas, que ocorreram pelo resultado da Revolução Verde, essa região foi ganhando espaço e se tornou uma das mais importantes regiões produtoras de cultivos agrícolas do país (CALLEGARO; FERNANDES, 2019; OLIVEIRA, 2013, VILELA).

Nesse bioma destacam-se as produções principalmente de soja, arroz, milho, café, feijão e algodão. A produção de soja do bioma de Cerrado em 2007 correspondeu à 63,5% da produção nacional. Já para pecuária a produção desse bioma para o mesmo ano, correspondeu a cerca de 36,2% do rebanho bovino nacional (FALEIRO; SOUSA, 2007). No ano de 1995 a produtividade média dessa região era de 356,66 reais por hectares, passando em 2017 a ser de 896,65 reais por hectares.

O bioma da Caatinga apresentou uma taxa de variação da produtividade agropecuária negativa no período (1995-2017). A Caatinga possui o clima mais seco do país, o que já explica em partes o baixo desenvolvimento da produtividade agropecuária, a precipitação média desse bioma é de cerca de 300 mm por ano e a temperatura em média no ano é de cerca de 27° C (RIBEIRO; WALTER, 1998).

O bioma da Caatinga está presente em grande parte das regiões denominadas com clima semiárido do Nordeste, cujas principais atividades agrícolas se dão em razão da extração de madeira e produção de lenha. Em 1995 o valor da produtividade para esse bioma era de 325,66 reais por hectares passando em 2017 a ser 318,98 reais por hectares.

O bioma com a maior produtividade agropecuária é o bioma de Mata Atlântica, encontrado em uma grande extensão de terras no Brasil que vai desde a região Sul até a região Nordeste. Nesse bioma destacam-se as produções de aveia preta no inverno e azevém, a criação de gado que é mantido durante todo ano também é representativa (PARRON *et al.*, 2015).

Para o ano de 2017 a produtividade agropecuária desse bioma foi de 1.506,65 reais por hectares. O bioma de Mata Atlântica está presente em parte do Rio Grande do Sul, em Santa Catarina, Paraná, partes de São Paulo e Minas Gerais, no Rio de Janeiro, Espírito Santo e em partes dos estados litorâneos do Nordeste. O bioma da Mata Atlântica é o bioma mais produtivo do país, sendo representativo em diversas culturas e diversas criações de animais, com destaque nas produções de cana-de-açúcar e de grãos.

Os biomas Amazônia, Pantanal e Pampa apresentaram crescimento da produtividade agropecuária entre 1995 e 2017. Nesses biomas as principais produções são de feijão-caupi, dendê, coco, pimenta-do-reino, maracujá, arroz, oliveiras, uvas e pecuária.

A Tabela 4 apresenta a taxa de variação e a taxa geométrica de crescimento anual da produtividade agropecuária para os biomas brasileiros entre os anos de 1995 e 2017.

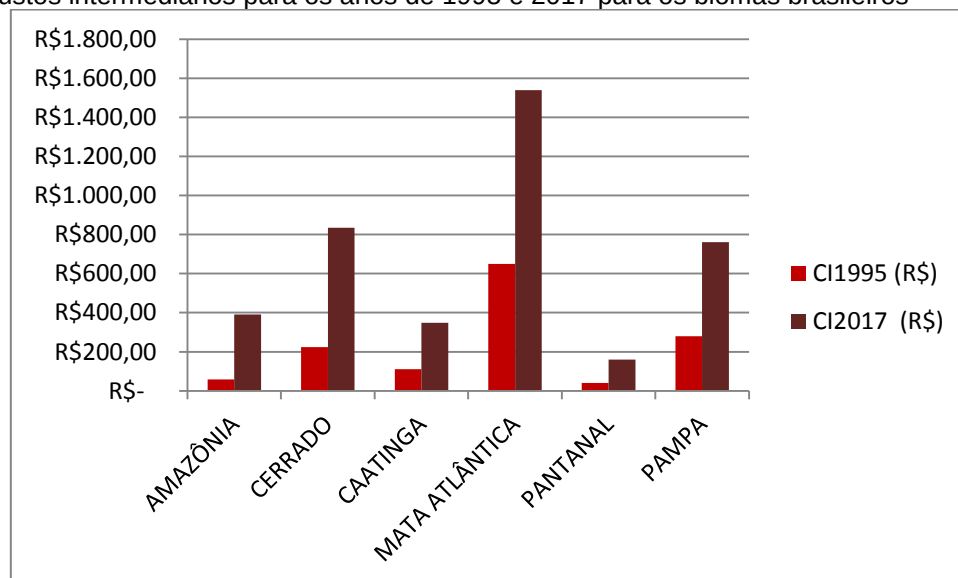
Tabela 4: Variação percentual e taxa geométrica de crescimento anual produtividade agropecuária entre os anos de 1995 e 2017 para os biomas brasileiros

Biomas	Variação	Taxa Geométrica de crescimento anual
Amazônia	89,33%	2,81%
Cerrado	151,40%	4,09%
Caatinga	-2,05%	-0,09%
Mata Atlântica	38,74%	1,43%
Pantanal	61,41%	2,10%
Pampa	74,46%	2,44%

Fonte: A autora.

Na Figura 8 é apresentado os custos intermediários com valores em reais, da produtividade agropecuária para os anos de 1995 e 2017 para cada bioma brasileiro.

Figura 8: Custos intermediários para os anos de 1995 e 2017 para os biomas brasileiros



Fonte: A autora.

Nota: Reais por hectares.

Observando a Figura 8 pode-se identificar que os maiores gastos com custos intermediários das produções agropecuárias, estão presentes no bioma de Mata Atlântica, seguido pelo bioma de Cerrado. O maior crescimento dos custos intermediários também é observado no bioma de Mata Atlântica. Em 2006 cerca de 30,7% dos dispêndios realizados nos consumos intermediários, eram referentes a terra (alugueis e compras), 17,8% era referente ao estoque de tratores e 16,3% referentes aos gastos com adubos e corretivos (CONTERATO, 2013).

Os maiores gastos com insumos intermediários são encontrados nos biomas que apresentaram as maiores produtividades, o que indica que os investimentos realizados sejam na compra de tratores, adubos, agrotóxicos etc., implicam em melhores resultados de produtividades.

A Tabela 5 confirma o que se pode observar na Figura 8, através dos resultados da taxa de variação e da taxa geométrica de crescimento anual.

Tabela 5: Variação percentual e taxa geométrica de crescimento anual dos custos intermediários da produção agropecuária entre os anos de 1995 e 2017

Biomassas	Variação	Taxa Geométrica de crescimento anual
Amazônia	705,65%	9,49%
Cerrado	254,17%	5,65%
Caatinga	154,06%	4,13%
Mata Atlântica	115,64%	3,39%
Pantanal	292,66%	6,12%
Pampa	179,11%	4,56%

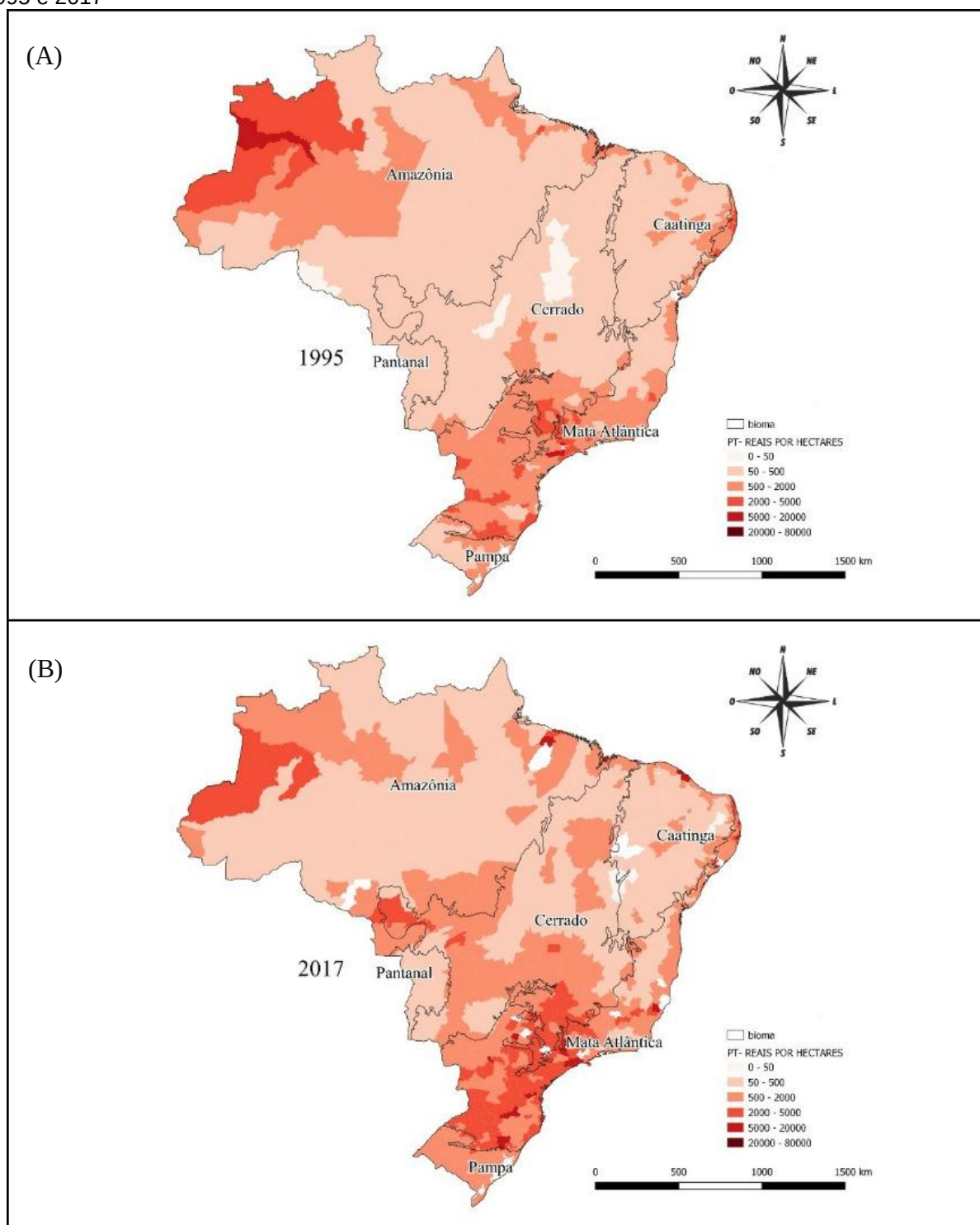
Fonte: A autora.

O bioma Amazônia apresentou no período de 1995 e 2017 uma taxa de variação de 705,65% dos custos intermediários. Já o bioma da Caatinga apresentou no período uma taxa de variação dos custos intermediários de 154,06%. Pode-se verificar comparando as Tabelas 4 e 5, que apesar do bioma de Cerrado ter sido o bioma que apresentou o maior crescimento da produtividade agropecuária, ele não foi o bioma que apresentou o maior crescimentos nos gastos com consumo intermediário.

A Caatinga que apresentou para o período uma taxa de variação da produtividade agropecuária, negativa (-2,05%) resultou em uma taxa variação dos custos intermediários de 154,06%.

Apesar de a produtividade apresentar crescimento ao longo dos anos entre as regiões e os biomas brasileiros, encontram-se grandes disparidades entre a produtividade das microrregiões pertencentes a cada bioma, isto é, existem microrregiões com alta produtividade e outras microrregiões com produtividade menores dentro do mesmo bioma. A Figura 9 apresenta a distribuição espacial da produtividade agropecuária entre os biomas brasileiros.

Figura 9: Distribuição espacial da produtividade agropecuária entre os biomas brasileiros para anos de 1995 e 2017



Fonte: A autora.

No ano 1995 observam-se maiores números de microrregiões com produtividades mais elevadas, nos biomas de Mata Atlântica e noroeste do bioma Amazônia. Enquanto as menores produtividades podem ser observadas em 1995 nos biomas de Cerrado, Caatinga e partes do bioma Amazônia. Para o ano de 2017 a Mata Atlântica continua apresentando grande número de microrregiões com produtividade agropecuária mais elevada, as microrregiões do noroeste do bioma Amazônia se mantiveram, mas agora o bioma de Cerrado também passou a ser considerável.

Muitas microrregiões que possuíam uma baixa produtividade agropecuária em 1995 no bioma de Cerrado, passaram em 2017 a apresentar produtividades maiores, essas microrregiões podem ser identificadas principalmente na região Sul do Cerrado, região onde se predomina as produções de soja.

Em resumo, pode-se observar que houve uma diminuição de microrregiões no noroeste do bioma Amazônia com produtividade alta, já no bioma de Cerrado para 2017 em relação a 1995 mais microrregiões estavam apresentando uma melhor produtividade. O Sudeste apresentou maiores números de microrregiões com produtividade elevada predominando em grande parte dessa região o bioma de Mata Atlântica. Com base na Figura 9 pode-se mensurar que a produtividade agropecuária apresentou melhor desempenho no país.

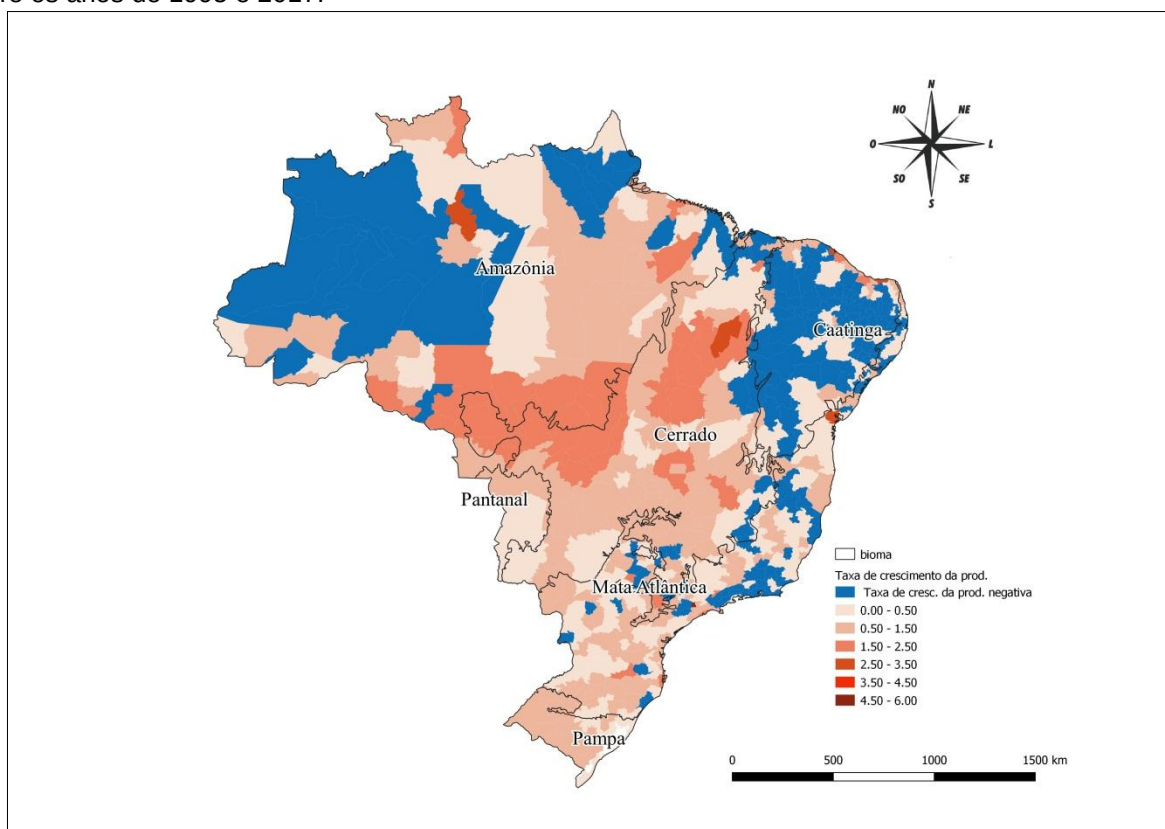
Para poder verificar quais foram as microrregiões que apresentaram as maiores taxas de crescimento da produtividade agropecuária e em quais biomas essas microrregiões são encontradas apresenta-se a Figura 10.

A Figura 10 apresenta a distribuição espacial da taxa de crescimento da produtividade agropecuária entre os de 1995 e 2017 por biomas. As microrregiões que estão retratadas na cor azul indicam que a microrregião apresentou uma taxa de crescimento negativa. Analisando a Figura 10 verifica-se que houve um maior crescimento da produtividade agropecuária no bioma de Cerrado e em algumas microrregiões ao Sul do bioma Amazônia.

Muitas microrregiões pertencentes ao bioma da Caatinga apresentaram no período taxa de crescimento negativa ou muito próximo de zero, o que indica que essa região não apresentou um bom desenvolvimento da produtividade agropecuária entre 1995 e 2017.

Também se verifica microrregiões que não apresentaram crescimento da produtividade agropecuária no Noroeste e Norte do bioma Amazônia, e algumas microrregiões nos biomas Mata Atlântica, porém na Mata Atlântica essas microrregiões com mau desempenho agropecuário estão distribuídas de maneira mais dispersa ao longo do espaço.

Figura 10: Distribuição espacial da taxa de crescimento da produtividade agropecuária para os biomas entre os anos de 1995 e 2017.



Fonte: A autora.

Analisando a Figura 9 e 10 pode-se verificar que muitas microrregiões com elevada produtividade e elevada taxa de crescimento da produtividade agropecuária, se encontram próximas de outras microrregiões com elevada produtividade e elevada taxa de crescimento da produtividade agropecuária. Desse modo, pressupõe-se que a distribuição da produtividade agropecuária não é aleatória, levando a considerar que ocorra certo grau de dependência espacial entre as microrregiões, assim para se identificar a ocorrência dessa dependência espacial testa-se a presença de autocorrelação espacial entre a produtividade agropecuária.

5.3 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS ESPACIAIS

A partir desse ponto os biomas de Pantanal e Pampa serão excluídos das análises. Como já citado na seção 4 o número de microrregiões que compõe esses biomas é pequeno o que inviabilizou a estimação do modelo econométrico devido à perda de graus de liberdade.

Visto que a produtividade agropecuária apresentou um comportamento espacial que sugere a existência de uma dependência espacial entre as microrregiões, foram calculados a estatística I de Moran Global e Local.

A Tabela 6 apresenta os valores do I de Moran Global para a produtividade agropecuária para as matrizes rainha, torre, 4 vizinhos, 5 vizinhos, 7 vizinhos, 10 vizinhos e 15 vizinhos para os anos de 1995 e 2017.

Tabela 6: I de Moran Global da produtividade agropecuária (PT) para os anos de 1995 e 2017

ANOS	MATRIZES						
	RAINHA	TORRE	4 VIZ	5 VIZ	7 VIZ	10 VIZ	15 VIZ
1995	0,308***	0,308***	0,308***	0,295***	0,277***	0,261***	0,235***
2017	0,321***	0,320***	0,068***	0,062	0,056***	0,049***	0,040***

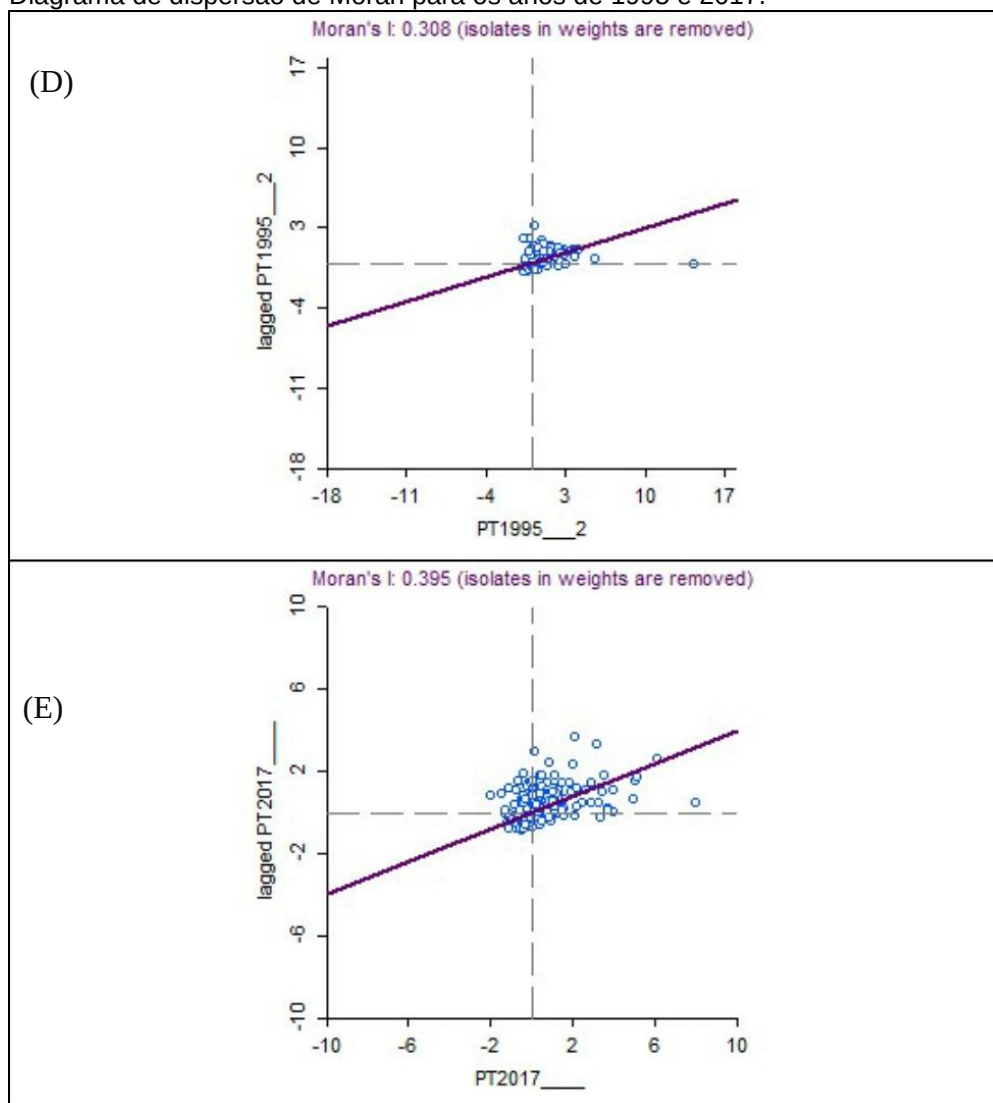
Fonte: A autora.

Nota: (***) valores significativos a 1% após 999 permutações.

Os valores para o I de Moran Global foram positivos e estatisticamente significativos para todas as matrizes, indicando a presença de autocorrelação espacial positiva, o que significa que a produtividade agropecuária sofre influência do espaço. Um valor positivo (negativo) do I de Moran Global significa que microrregiões com altos (baixos) valores de produtividade agropecuária estão circuncidadas por microrregiões que também possuem altos (baixos) valores da produtividade agropecuária.

Na Figura 11 pode se verificar os diagramas de dispersão de Moran para a produtividade agropecuária para os anos de 1995 e 2017 utilizando a matriz rainha, visto que essa matriz apresentou o maior valor para o I de Moran Global.

Figura 11: Diagrama de dispersão de Moran para os anos de 1995 e 2017.



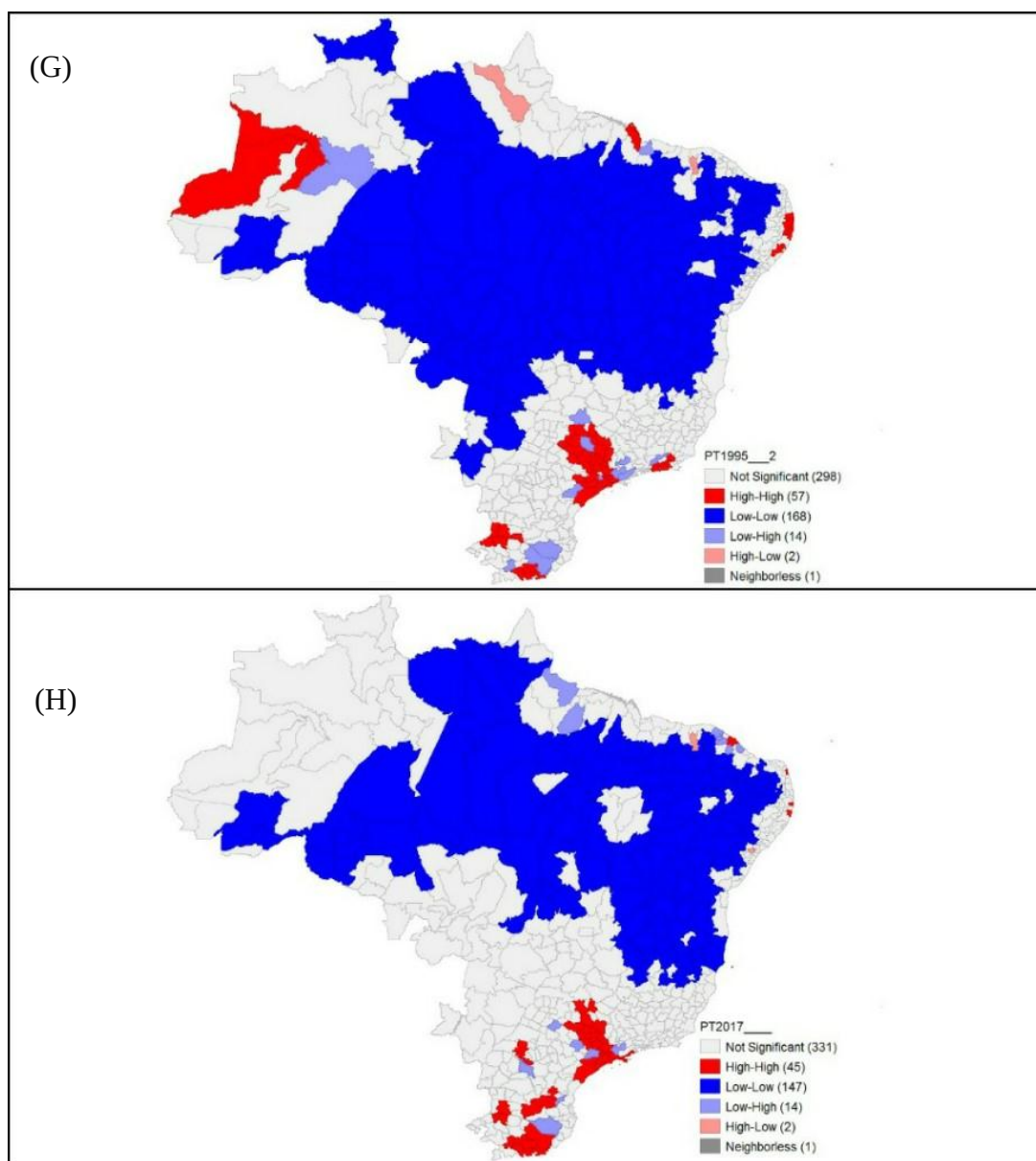
Fonte: A autora.

Após o cálculo do I e Moran Global calculou-se o I de Moran Local e se construiu o mapa *clusters LISA*²¹, o qual é apresentado pela Figura 12. Verifica-se uma forte aglomeração do tipo Baixo-Baixo na região Norte e Nordeste, onde estão presentes os biomas de Amazônia, Cerrado e Caatinga. Estes clusters foram diminuindo com o passar dos anos. Em 1995 havia um cluster do tipo AA no bioma de Amazônia que se dissipou ao longo do tempo. Já em 2017 pode-se verificar a presença de um cluster AA

²¹O mapa de cluster LISA foi construído utilizando a matriz de peso do tipo rainha. Utilizou-se esta matriz porque a mesma gerou um dos maiores valores de I de Moran calculados para os resíduos das regressões, seguindo o procedimento exposto em Almeida (2012) adaptado de Baumont (2004).

no Bioma de Mata Atlântica, compreendendo principalmente as regiões Sul e Sudeste incluindo maiores números de microrregiões que em relação aos anos anteriores. De modo geral verificam-se clusters baixo-baixo nas regiões Norte e Nordeste nos biomas da Amazônia, Caatinga e Cerrado. O cluster alto-alto pode ser verificado nos biomas de Mata Atlântica e de Cerrado.

Figura 12: Mapa de *clusters LISA* da produtividade agropecuária para os anos de 1995 e 2017



Fonte: A autora.

Nota: os valores se apresentaram significativos a 1% após 999 permutações.

Com intuito de uma melhor visualização da dependência espacial da variável dependente do modelo econométrico espacial, a Tabela 7 apresenta os valores do I de Moran Global da taxa de crescimento da produtividade agropecuária do período de 1995 e 2017.

Tabela 7: I de Moran Global da taxa de crescimento da produtividade agropecuária para os anos de 1995 e 2017

PERÍODO	MATRIZES						
	RAINHA	TORRE	4 VIZ	5 VIZ	7 VIZ	10 VIZ	15 VIZ
1995-2017	0.385***	0.384***	0.369***	0.360***	0.352***	0.338***	0.297***

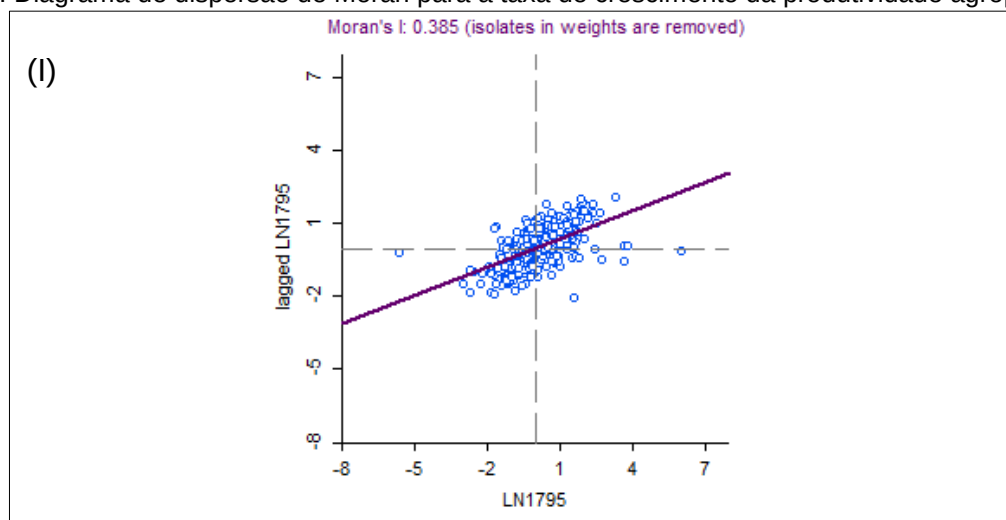
Fonte: A autora.

Nota: (***) valores significativos a 1% após 999 permutações.

A taxa de crescimento da produtividade agropecuária apresentou valores positivos e significativos do I de Moran em todas as matrizes de ponderação espacial. Esse resultado indica que microrregiões com taxas de crescimento da produtividade agropecuária alta (baixas) são vizinhas de microrregiões com altas (baixas) taxas de crescimento da produtividade agropecuária. A matriz que resultou o maior valor de I de Moran Global da taxa de crescimento da produtividade agropecuária foi a matriz rainha.

A Figura 13 apresenta o diagrama de dispersão de Moran para a taxa de crescimento da produtividade agropecuária, utilizando a matriz de ponderação espacial do tipo rainha.

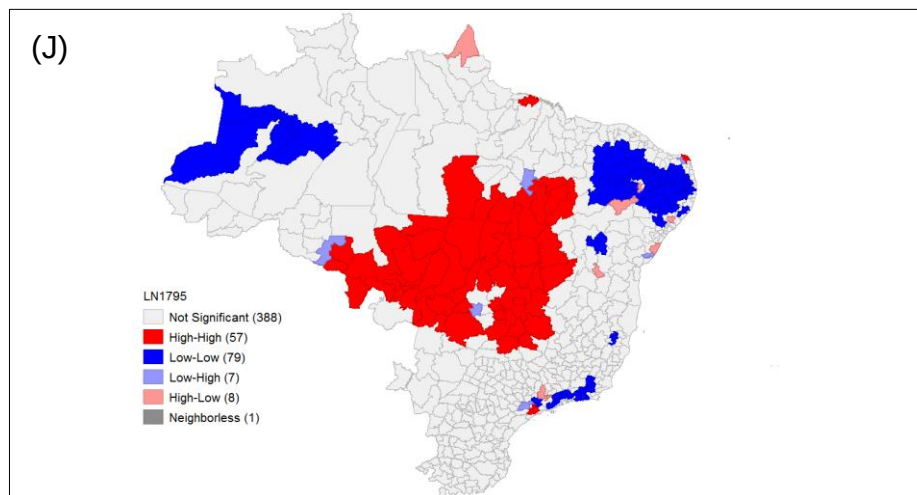
Figura 13: Diagrama de dispersão de Moran para a taxa de crescimento da produtividade agropecuária.



Fonte: A autora.

A Figura 14 representa o mapa de *cluster LISA*²² onde se podem verificar as microrregiões que apresentam concentração da taxa de crescimento da produtividade agropecuária.

Figura 14: Mapa de *clusters LISA* da taxa de crescimento da produtividade agropecuária entre os anos de 1995 e 2017



Fonte: A autora.

Nota: os valores se apresentaram significativos a 1% após 999 permutações.

Pode se verificar uma concentração do tipo alto-alto (AA) nas microrregiões pertencentes ao bioma de Cerrado e um cluster do tipo baixo-baixo (BB) formado por microrregiões do bioma de Caatinga, a oeste da Amazônia e algumas microrregiões no bioma de Mata Atlântica, mais especificamente na região Sudeste com classificação de BB.

Esses resultados são condizentes com os apresentados na Tabela 4 e na Figura 7 onde a maior taxa de variação da produtividade agropecuária foi observada para o Cerrado com um valor de 151,40%, enquanto o bioma de Caatinga apresentou uma taxa de variação da produtividade agropecuária negativa, com valor de -2,04%.

Na Tabela 8 encontra-se o valor do I de Moran Global Bivariado para taxa de crescimento da produtividade e para a produtividade agropecuária do ano de 1995.

²²O mapa de cluster LISA foi construído utilizando a matriz de peso do tipo rainha. Utilizou-se esta matriz porque a mesma gerou um dos maiores valores de I de Moran calculados para os resíduos das regressões, seguindo o procedimento exposto em Almeida (2012) adaptado de Baumont (2004).

Tabela 8: I de Moran Global bivariado da taxa de crescimento da produtividade agropecuária e da produtividade agropecuária de 1995

PERÍODO	MATRIZES						
	RAINHA	TORRE	4 VIZ	5 VIZ	7 VIZ	10 VIZ	15 VIZ
1995-2017	-0,104***	-0,103***	-0,095***	-0,094***	-0,096***	-0,099***	-0,097***

Fonte: A autora.

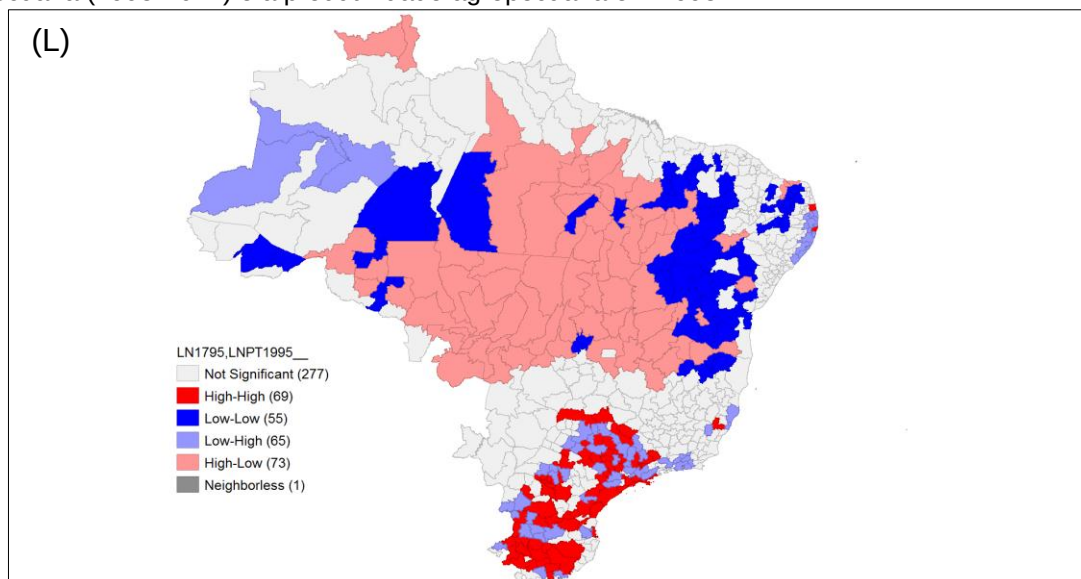
Nota: (***) valores significativos a 1% após 999 permutações.

O I de Moran bivariado se apresentou com sinal negativo e significativo, o que indica que microrregiões com altas taxas de crescimento da produtividade são circuncidadas por microrregiões que possuíam uma produtividade agropecuária baixa em 1995, e microrregiões com taxas de produtividade baixas são vizinhas de microrregiões que tinham produtividade agropecuária alta em 1995. Esse resultado é compatível com a teoria proposta na convergência, onde se afirmar que regiões mais pobres inicialmente possuem um crescimento mais rápido do que aquelas regiões que possuem melhores valores, ou seja, regiões mais pobres crescem mais rápido que regiões mais ricas.

A Figura 15 apresenta o mapa de cluster LISA²³ para o I de Moran Local Bivariado utilizando como variáveis a taxa de crescimento da agropecuária e a produtividade agropecuária em 1995.

²³O mapa de cluster LISA foi construído utilizando a matriz de peso do tipo rainha. Utilizou-se esta matriz porque a mesma gerou um dos maiores valores de I de Moran calculados para os resíduos das regressões, seguindo o procedimento exposto em Almeida (2012) adaptado de Baumont (2004).

Figura 15: Mapa de *clusters LISA para o I de Moran Local Bivariado* entre a taxa de crescimento da agropecuária (1995-2017) e a produtividade agropecuária em 1995



Fonte: A autora.

Nota: os valores se apresentaram significativos a 1% após 999 permutações.

Com base na Figura 15 pode-se observar um grande cluster do tipo Alto-Baixo na região do Cerrado, isto é, microrregiões com uma elevada taxa de crescimento da produtividade estão rodeadas por microrregiões com baixa produtividade em 1995. Este bioma apresentou a maior taxa de variação da produtividade agropecuária.

Já no bioma de Caatinga pode se verificar a existência de um cluster do tipo Baixo-Baixo, isto é, microrregiões com uma baixa taxa de crescimento da produtividade agrícola estão rodeadas por microrregiões com baixa produtividade em 1995, corroborando com os resultados apresentado anteriormente.

No bioma de Mata Atlântica se identifica clusters do tipo Alto-Alto e Baixo-Alto. Cluster do tipo Alto-Alto diz respeito a microrregiões que apresentaram uma elevada taxa de crescimento da produtividade e estão rodeadas por microrregiões com alta produtividade em 1995. Já clusters do tipo Baixo-Alto diz respeito a microrregiões que apresentaram uma baixa taxa de crescimento da produtividade e estão rodeadas por microrregiões com alta produtividade em 1995.

Em resumo o bioma da Caatinga apresenta produtividade agropecuária fraca e o cenário nesse bioma não se alterou, enquanto no bioma da Mata Atlântica na região Sul e Sudeste a produtividade agropecuária detinha bons valores e ao longo dos anos possui crescimento.

O bioma de destaque é o bioma de Cerrado que de início apresentava valores baixos de produtividade agropecuária, mas que ao longo do período observado foi se tornando representativo e ganhando grande destaque. A mudança ocorrida nesse cenário pode ser atribuída em partes aos frutos colhidos desde a época da Revolução Verde, através das criações da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER), das pesquisas realizadas pelas universidades públicas e privadas, que foram com aos longos dos anos desenvolvendo melhores sementes, agrotóxicos, fertilizantes, manejos de solo, etc., que resultaram com que esse bioma passasse a ser um grande produtor principalmente de grãos (PAULA; BONELLI, 1997, FRANCP, 2001, ALVES, 2010, DOSSA; SEGATTO, 2010).

A EMBRAPA é uma empresa vinculada ao Ministério da Agricultura e Abastecimento, os objetivos da EMBRAPA são inúmeros e dentre eles pode se citar: o planejamento, supervisão, orientação, controle e execução de atividades de pesquisa agropecuária cujo objetivo final é o desenvolvimento das atividades relacionadas ao meio rural (FRANCO, 2001).

A atuação da EMBRAPA é realizada através de 37 Centros de Pesquisa, três Centros de Serviços e 15 unidades Centrais (FRANCO, 2001). Dentre os 37 Centros de Pesquisa, um deles é direcionado exclusivamente para pesquisas relacionadas ao Cerrado, chamado Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado (CPAC), criado em 1975. É através desse órgão e das pesquisas realizadas pelas universidades brasileiras que se desenvolveram técnicas de adubação, inovações sobre manejos de solos e controles de pragas dentre inúmeras outras tecnologias que contribuíam para que o Cerrado apresentasse valores de produtividade crescentes ao longo dos anos (FRANCO, 2001).

Com base em todos os resultados anteriores verificou-se que a produtividade agropecuária brasileira apresentou melhorias ao longo dos anos para quase todos os biomas, sendo a exceção o bioma de Caatinga. A melhoria no desempenho da produtividade pode levar a um processo de convergência o que acarretará a diminuição das diferenças de produtividade agropecuária entre as microrregiões brasileiras,

gerando com o passar dos anos um processo de homogeneização da produtividade entre as regiões.

Conforme já abordado, será testado a existência ou não de um processo de convergência da produtividade agropecuária entre as microrregiões do Brasil para os anos de 1995 e 2017, controlando a dependência espacial com uso da econometria espacial e a heterogeneidade espacial, através da utilização de regimes espacial.

5.4 RESULTADOS ECONOMÉTRICOS DOS MODELOS DE CONVERGÊNCIA DA PRODUTIVIDADE AGROPECUÁRIA

Com a produção agropecuária apresentando crescimento ao longo dos anos, espera-se que para determinadas microrregiões ocorra o processo de convergência da produtividade agrícola, ou seja, que os diferenciais de produtividade agropecuária diminuam ao longo do tempo. A partir de agora serão apresentados os resultados econométricos dos modelos de convergência absoluta e condicional para Brasil como todo e por regimes espaciais, através do método de mínimos quadrados ordinários e através de modelos de econometria espacial. O intuito de se estimar modelos econométricos espaciais com regimes espaciais é tratar tanto a dependência espacial quanto a heterogeneidade espacial.

5.4.1 Resultados Econométricos do Modelo de Convergência Absoluta

A Tabela 9 apresenta a estatística descritiva das variáveis utilizadas no modelo econométrico para todas as 558 microrregiões brasileiras. No apêndice desta pesquisa encontram-se as estatísticas descritivas destas variáveis para cada bioma.

Tabela 9: Estatística descritiva das variáveis utilizadas no modelo econométrico para todas as microrregiões

Variável	Média	Variância	Desvio Padrão	Coefficiente Variação	Máximo	Mínimo
$\frac{PT_{2017}}{PT_{1995}}$	2,32	64,02	8,00	3,44	179,43	-2,67
$AREA_{1995}$	514210,6	34929444	591011,4	1,1493	4997308	16.891
ASS_TEC_{1995}	0,231	0,044	0,209	0,904	0,265	0
$CRED_{1995}$	93,973	35165,04	187,523	1,995	2574373	0
$TRATOR_{1995}$	0,299	0,234	0,484	1,610	3,475	0
$GINI_{1995}$	0,755	0,009	0,097	0,129	0,954	0,442
$IRRI_{1995}$	0,073	0,011	0,105	1,440	0,870	0
L_{1995}	0,106	0,017	0,132	1,243	1,718	0,001
$SOLO_{1995}$	0,192	0,048	0,219	1,144	0,832	0
$AREA_{2017}$	467635,3	346303475	588475,6	1,2584	4238285	13
ASS_TEC_{2017}	0,243	0,032	0,180	0,738	0,827	0,011
$CRED_{2017}$	14396,85	233040975	152656,8	10,603	2648,678	0
$TRATOR_{2017}$	0,512	0,582	0,763	1,488	7,480	0
$GINI_{2017}$	0,782	0,007	0,085	0,108	0,973	0,498
$IRRI_{2017}$	0,115	0,015	0,124	1,082	0,832	0,004
L_{2017}	0,142	0,044	0,210	1,482	2,799	0,002
$SOLO_{2017}$	0,529	0,045	0,212	0,400	0,965	0,001

Fonte: A autora.

A média de crescimento de produtividade agropecuária para o Brasil é de 2,32 toneladas por hectares, verificando no bioma de Amazônia a maior média da taxa de crescimento sendo de 3,34 e a menor no bioma de Caatinga com 1,51 (Resultados que podem ser observados no Apêndice A, Tabela 21).

As maiores disparidades da média podem ser verificadas nos biomas de Mata Atlântica, um resultado derivado do fato desse bioma se estender por uma grande proporção de terras e ser influenciado por diversas características ambientais, já que predomina desde a região Sul do Brasil até a região Nordeste.

O valor máximo de taxa de crescimento da produtividade para o país foi de 179,43 enquanto para o mínimo de -2,67 toneladas por hectares, indicando uma grande

heterogeneidade da agropecuária entre as microrregiões brasileiras. Dentre as variáveis explicativas para o ano de 2017 se verificam maiores médias que em relação a 1995.

A maior média de áreas exploradas em 2017 é encontrada no bioma de Cerrado, já as maiores médias de propriedades com irrigação, trabalhadores por hectares e propriedades que praticam algum tipo de conservação de solos em 2017 são verificadas no bioma de Caatinga, por fim as maiores médias de propriedades que receberam algum tipo de assistência técnica e tratores por hectares são observada no bioma de Mata Atlântica.

A variabilidade das variáveis observada através do coeficiente de variação demonstra que há mais heterogeneidade nas variáveis em 2017, do que em 1995 a variável crédito apresentou em 2017 um valor de coeficiente de variação cerca de 5 vezes maior que em relação a 1995 (WARICK; NIELSEN, 1980, FROGBROOK *et al.*, 2002)

Na medida em que se identifica uma média da taxa de crescimento da produtividade agropecuária positiva para as microrregiões brasileiras, testa-se a existência ou não de um processo de convergência da produtividade agropecuária entre as microrregiões brasileiras, primeiramente estimou-se um modelo de convergência absoluta da produtividade agropecuária para o Brasil como um todo, desconsiderando apenas as microrregiões dos biomas Pampa e Pantanal, sendo um total de 540 microrregião na estimação do modelo, cujos resultados podem ser verificados na Tabela 10.

Tabela 10: Resultados econométricos do modelo não espacial para o Brasil

Variáveis/ Testes	Brasil
α	1,990*** (0,1387)
β	-0,165*** (0,0215)
<i>AIC</i>	848,600
<i>SC</i>	857,183
I de Moran dos Resíduos	0,3040 {0,0000}

Fonte: A autora.

Notas: *** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%, valores em parênteses correspondem ao desvio padrão e valores em colchetes correspondem ao o valor da probabilidade do teste.

Jarque-Bera: 1.036,543 {0,000}; Breusch-Pagan: 69,975 {0,000}; Koenker-Basset: 16,318 {0,000}.

Os resultados apresentados na Tabela 10 são referentes ao modelo de mínimos quadrados ordinários (MQO) corrigidos já para heterocedasticidade. Observa-se que há um processo de convergência da produtividade agropecuária no país, o qual é demonstrado através do valor negativo e estatisticamente significativo do parâmetro β , ou seja, a produtividade agropecuária para as 558 microrregiões brasileiras apresenta um processo de convergência absoluta.

Como foi identificada dependência espacial nos resíduos, através do teste do I de Moran dos resíduos (ver Tabela 10), onde seu valor se apresentou um resultado positivo e significativo a 1%, um modelo econométrico que busque controlar essa dependência é necessário, desse modo testaram se os modelos de defasagem espacial (SAR), de erro autorregressivo espacial (SEM), Durbin espacial (SDM), Durbin espacial do erro (SDEM).

Será apresentado apenas o resultado do modelo de erro autorregressivo espacial (SEM), pois foi o modelo que apresentou o menor valor do critério de Akaike e Schwarz, os demais modelos estão representados no Apêndice. Como foram encontrados erros não normais na estimação do modelo descrito na Tabela 10, os resultados para o modelo de erro autorregressivo (SEM) encontrados na Tabela 11, foram estimados utilizando o método generalizado dos momentos (GMM) propostos por Kelejian e Prucha (1999), pois prescinde da hipótese da normalidade do erro.

Tabela 11: Resultados econométricos do modelo de erro espacial para o Brasil

Variáveis/ Testes	Brasil
α	2,303*** (0,166)
β	-0,215*** (0,025)
λ	0,4540*** (0,037)
AIC	759,699
SC	768,283

Fonte: A autora.

Notas: *** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%, valores em parênteses correspondem ao desvio padrão. Estimada com matriz 4 vizinhos, dado que foi a matriz que apresentou o melhor e maior valor de I de Moran dos resíduos.

Pelo modelo de erro autorregressivo pode-se verificar que o parâmetro que capta a convergência β , se mostrou novamente negativo e estatisticamente significativo comprovando mais uma vez um processo de convergência da produtividade agropecuária. O parâmetro λ que capta a dependência espacial se apresentou positivo e estatisticamente significativo, o que demonstra que um choque aleatório em uma região se propaga para as demais regiões.

Esse choque aleatório se trata de variáveis que podem influenciar no modelo, mas que não estão incluídas como variáveis explicativas. Um exemplo de um choque aleatório que pode influenciar no processo de convergência é a descoberta de uma maneira alternativa de plantio, esse acontecimento não está incluso no modelo, porém pode ocorrer e vai gerar resultados tanto na produtividade da localidade onde foi descoberto quanto nas produtividades das regiões vizinhas.

O modelo não apresentou heterocedasticidade, uma vez que o valor do teste de White foi de 6,5570, não rejeitando a hipótese nula da presença de homocedasticidade ao nível de significância de 5%.

Esses resultados são semelhantes aos encontrados nos trabalhos de Lopes (2004), Almeida, Perobelli e Ferreira (2008), Fochezatto e Stulp (2008), Spohr e Freitas (2011), Lopes e Paula (2013), Saith e Kamitani (2016) e Baricelo (2019).

Visto que as produções agropecuárias são influenciadas pela localidade em que se encontram e por fatores tais como solo, precipitação, vegetação etc., realizou-se o teste de Chow Espacial para verificar se existe instabilidade estrutural espacial, ou seja, se existe a necessidade de se estimar um modelo de convergência para cada um dos quatro biomas brasileiros considerados (Amazônia, Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica), capturando possíveis impactos que o ambiente pode gerar no desenvolvimento da produtividade. A Tabela 12 apresenta os resultados para o teste de Chow Espacial.

Tabela 12: Teste de Chow Espacial e diagnóstico de dependência espacial do modelo econométrico não espacial e com regimes espaciais para convergência absoluta

Teste de Chow Espacial		
Variáveis	Valor	Probabilidade
α	28,311	0,000
β	18,237	0,000
Teste Global	95,582	0,000
I de Moran dos Resíduos	0,3040	0,000

Fonte: A autora.

O teste Global se apresentou altamente significativo o que evidencia a presença de instabilidade estrutural espacial, resultando na necessidade da utilização de modelos diferenciados para cada regime e não apenas um modelo para o Brasil como todo.

Dado o resultado acima, estimou-se o modelo de convergência absoluta da produtividade agropecuária para cada bioma encontrado no país exceto para o Pantanal e Pampa como mencionada nos capítulos anteriores, sendo um total de 4 diferentes biomas. Os resultados para tal estimação se encontram na Tabela 13.

Tabela 13: Resultados econométricos do modelo não espacial com regimes espaciais

Variáveis/ Testes	Amazônia	Cerrado	Caatinga	Mata Atlântica
α	2,4894*** (0,2986)	2,6573*** (0,2417)	0,3792 (0,3792)	2,4638*** (0,2992)
β	-0,2476*** (0,0511)	-0,2433*** (0,0408)	0,0556 (0,0641)	-0,2252*** (0,0424)
AIC	97,922	140,807	170,363	362,388
SC	102,476	146,226	175,938	369,324
Teste Jarque-Bera	3,308 {0,1913}	1,459 {0,4821}	1234,808 {0,000}	1343,687 {0,000}
Teste Breusch-Pagan	0,230 {0,6315}	10,181 {0,0014}	10,460 {0,0012}	72,703 {0,0000}
Teste Koenker-Basset	0,192 {0,6612}	11,547 {0,0007}	1,252 {0,2633}	10,687 {0,0011}

Fonte: A autora.

Notas: *** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%, valores em parênteses correspondem ao desvio padrão e valores em colchetes correspondem ao o valor da probabilidade do teste.

Este modelo foi estimado utilizando o método de mínimos quadrados ordinários (MQO), que nos permite obter um valor de β_h para cada um dos 4 biomas brasileiros controlando a heterogeneidade espacial.

A Tabela 13 apresenta o teste de normalidade dos resíduos (Jarque-Bera) e os testes de heterocedasticidade (Breusch-Pagan e Koenker-Basset²⁴). O teste de Jarque-Bera apresentou um valor estatisticamente significativo para os biomas de Caatinga e Mata Atlântica o que indica a não normalidade dos resíduos. Já os testes de Breusch-Pagan e Koenker-Basset foram significativos para Cerrado e Mata Atlântica indicando a presença de heterocedasticidade, ou seja, a variância do termo de erro não é constante.

²⁴Tanto o teste de Breusch-Pagan quanto o de Koenker-Basset são utilizados para identificar a presença de heterocedasticidade, o que diferencia os dois testes é que o teste de Koenker-Basset (KB) é aplicável mesmo em casos de modelos em que termo de erro não é distribuído normalmente (GUJARATI; PORTER, 2011).

Vale mencionar que dado a estimação do MQO e a detecção da presença de heterocedasticidade, estimou-se novamente o modelo corrigindo esse problema através do erro padrão robusto ou correção de White, assim os resultados observados na Tabela 13 já estão corrigidos para heterocedasticidade.

Analizando o coeficiente que capta a convergência, ou seja o β , constata-se que ele foi negativo e estatisticamente significativo para os biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica o que comprova que para as microrregiões encontradas nestes bioma o processo de convergência está ocorrendo, já o bioma de Caatinga apresentou um valor para o parâmetro beta positivo e não significativo o que demonstra que entre as microrregiões pertencentes ao bioma da Caatinga não se identifica um processo de convergência.

Dado que a heterogeneidade espacial está sendo controlada através dos regimes espaciais, a dependência espacial será controlada através dos modelos de econometria espacial. Novamente serão testados os modelos de defasagem espacial (SAR), erro autorregressivo espacial (SEM), Durbin espacial (SDM) e Durbin espacial do erro (SDEM).

Na Tabela 14 encontram-se os resultados do modelo econométrico de erro autorregressivo espacial ou modelo SEM²⁵. Como foram encontrados resíduos normais para os regimes Amazônia e Cerrado o modelo econométrico de erro espacial com regime espacial foi estimado utilizando o método da máxima verossimilhança. Já os regimes Caatinga e Mata Atlântica apresentaram erros não normais, por conta disto o modelo para os biomas Caatinga e Mata Atlântica foram estimados utilizando o método generalizado dos momentos (GMM) propostos por Kelejian e Prucha (1999), pois prescinde da hipótese da normalidade do erro.

A Tabela 14 apresenta os resultados econométricos do modelo de erro autorregressivo espacial com regimes espaciais corrigidos para os problemas de não normalidades e heterocedasticidade²⁶.

²⁵Escolhido segundo critérios de Akaike e de Schwarz. Resultados dos demais modelos encontram-se no Apêndice.

²⁶O teste de White para todos os regimes apresentou um valor qui-quadrado calculado, menor que o valor crítico do qui-quadrado ao nível de significância de 5%, indicando para todos os regimes a variância dos termos de erro são homocedásticas.

Tabela 14: Resultados econométricos do modelo de erro autorregressivo espacial com regimes espaciais

Variáveis/ Testes	Amazônia	Cerrado	Caatinga	Mata Atlântica
α	2,4003*** (0,3394)	2,5455*** (0,3503)	0,4700 (0,3954)	3,1566*** (0,2861)
β	-0,2335*** (0,0568)	-0,2229*** (0,0596)	0,0393 (0,0667)	-0,3241*** (0,0405)
λ		0,3870*** (0,0425)		
AIC		718,780		
SC		753,113		

Fonte: A autora.

Notas: *** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%, valores em parênteses correspondem ao desvio padrão. Estimada com matriz 4 vizinhos, dado que foi a matriz que apresentou o melhor e maior valor de I de Moran dos resíduos.

A convergência se confirmou nos biomas de Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica, os valores dos parâmetros β que capta a convergência foram maiores no modelo de erro autorregressivo espacial em relação ao modelo de mínimos quadrados ordinários, para a Mata Atlântica o valor de $-0,2252$ passou a ser $-0,3241$, para a Caatinga novamente o parâmetro β que capta o processo de convergência não se apresentou significativos, indicando novamente que esse bioma não apresenta um processo de convergência da produtividade agropecuária.

Os valores do parâmetro que capta a convergência são diferenciados para cada bioma, assim confirma-se que a convergência não ocorre de maneira igual para cada localidade, desse modo uma abordagem que trate o Brasil como todo, deixa de lado as diferenças entre as localidades ou em outras palavras a heterogeneidade espacial, que acaba por influenciar no comportamento da convergência.

O parâmetro λ que capta a dependência espacial entre as variáveis não modeladas no modelo, apresentou um sinal positivo e estatisticamente significativo, o que significa que um choque aleatório em determinado bioma se propaga para os

demais e contribui positivamente com a produtividade agropecuária. Assim um valor positivo e significativo para o λ indica que ocorre um transbordamento do efeito espacial entre os biomas, verificado pelo termo de erro, onde se incluem todos os fatores não modelados, incluindo possíveis choques.

5.4.2 Resultados do Modelo de Convergência Condicional

As localidades possuem diferentes estruturas e características como, por exemplo, diferenças na tecnologia, capital, trabalho etc., uma análise apenas absoluta não é robusta, desse modo com a ideia de tornar os resultados acerca da convergência mais robustos inclui-se variáveis explicativas e buscou-se verificar quais são os impactos que estas possuem na convergência da produtividade agropecuária.

As variáveis estão mensuradas em diferenças e logaritmizadas como já citado no capítulo 3, com intuito de se verificar o desenvolvimento das variáveis ao longo do tempo.

A Tabela 15 apresenta os resultados econométricos para o modelo de convergência condicional para as 540²⁷ microrregiões do Brasil, estimado através do Método de Mínimos Quadrados Ordinários.

²⁷18 microrregiões foram excluídas referentes aos biomas de Pampa e Pantanal.

Tabela 15: Resultados econométricos do modelo não espacial para o Brasil

Variáveis/ Testes	Brasil
α	2,9193*** (0,1861)
β	-0,2756*** (0,0234)
<i>LNAREA</i>	0,0019 (0,0044)
<i>LNASS_TEC</i>	-0,0071 (0,0132)
<i>LNCRED</i>	0,0269 (0,0130)
<i>LNTRATOR</i>	0,1471*** (0,0146)
<i>LNGINI</i>	-0,0229* (0,0122)
<i>LNIRRI</i>	0,0121 (0,0122)
<i>LNL</i>	-0,0039 (0,0130)
<i>LNSOLO</i>	0,0136 (0,0218)
AIC	729,205
SC	772,121
I de Moran dos Resíduos	0,1557***

Fonte: A autora.

Notas: *** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%, valores em parênteses correspondem ao desvio padrão e valores em colchetes correspondem ao o valor da probabilidade do teste.

Teste de Jarque-Bera: 1.149,789 {0,000}; Teste de Breusch-Pagan: 133,448 {0,000}; Teste de Koenker-Basset: 29,474 {0,005}

Na Tabela 15 pode-se verificar que o Brasil apresenta um processo de convergência condicional (β) que foi significativo a 1%, já para as variáveis que buscam explicar à convergência o trator por hectares (LNTRATOR) se mostrou positivo e estatisticamente significativo, indicando que aumentos do número de tratores contribuem para aumentos de produtividade agropecuária, já o Gini da terra (LNGINI)

apresentou um sinal negativo e foi estatisticamente significativo a 10%, indicando que quanto maior a concentração de terras menor é a produtividade agropecuária, possível explicação para esse resultado é a relação das terras e das agriculturas familiares.

Em 2017 cerca de 77% do total dos estabelecimentos agropecuários foram classificados como agricultura familiar, do total de áreas encontradas na agropecuária a agricultura familiar detinha apenas 23% das áreas, empregava 67% do total de mão de obra nesse setor e cooperou com 23% no total de produção agropecuária. Desse modo verifica-se a importância da agricultura familiar, que produz em poucas terras valores significativo (GUINZIROLI; BUAINAIN; SABBATO, 2012, SCHNEIDER; CASSOL, 2013, PICOLOTTO, 2014, RAIHER *et al.*, 2016, BRASIL, 2020).

O modelo de convergência condicional para o Brasil apresentou erros não normais indicados através do valor significativo do teste de Jarque-Bera e também a presença de heterocedasticidade verificada através do teste de Koenker-Basset. Dado isso os resultados retratados na Tabela 15 já estão corrigidos para a heterocedasticidade através da correção de White.

Em resumo para as microrregiões as variáveis que influenciam na produtividade e contribuem para a ocorrência de convergência da produtividade agropecuária são número de tratores e Gini da terra, esse resultado vai de encontro ao de Raiher *et al.*, (2016), onde se observou que o percentual de tratores por hectares possuíam uma influência positiva e significativa nos incrementos de produtividade agropecuária da região Sul do Brasil, sendo essa região uma das mais produtivas do país.

Uma vez que se identificou dependência espacial entre os resíduos para o modelo de convergência condicional, observado através do valor positivo e significativo do I de Moran dos resíduos (valor de 0,1557), estimou-se os modelos de convergência condicional espacial para controle da dependência espacial testando-se os modelos de defasagem espacial (SAR), erro autorregressivo espacial (SEM), modelo regressivo cruzado espacial (SLX), Durbin espacial (SDM) e Durbin do Erro espacial (SDEM).

O modelo foi escolhido utilizando os critérios de Akaike e Schwartz, onde o melhor modelo é o modelo de erro autorregressivo espacial, os resultados para o modelo de erro ou modelo SEM podem ser verificados na Tabela 16, os resultados para os demais modelos se encontram no Apêndice.

A estimação foi realizada através do Método Generalizado dos Momentos (GMM), dado que se identificou uma distribuição do erro não normal, observada no teste de Jarque-Bera, que se apresentou significativo.

Tabela 16: Resultados econométricos do modelo de erro autorregressivo espacial para o Brasil

Variáveis/ Testes	Brasil
α	2,9954*** (0,1927)
β	-0,2822*** (0,0250)
<i>LNAREA</i>	-0,0020 (0,0046)
<i>LNASS_TEC</i>	-0,0051 (0,0130)
<i>LNCRED</i>	0,0181 (0,0131)
<i>LNTRATOR</i>	0,1323*** (0,0153)
<i>LNGINI</i>	-0,0237** (0,0120)
<i>LNIRRI</i>	0,0174 (0,0123)
<i>LNL</i>	0,0078 (0,0130)
<i>LNSOLO</i>	0,0218 (0,0224)
λ	0,3092*** (0,0493)
AIC	699,603
SC	742,519

Fonte: A autora.

Notas: *** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%, valores em parênteses correspondem ao desvio padrão. Estimada com matriz 4 vizinhos, dado que foi a matriz que apresentou o melhor e maior valor de I de Moran dos resíduos.

O coeficiente que capta a convergência apresentou um valor negativo e significativo a 1%, as variáveis tratores por hectares (LNTRATOR) e gini (LNGINI) se mostraram significativas e positivas, indicando que para o Brasil como todo, aumentos da quantidade de tratores por hectares levam a uma maior produtividade e maior concentração de terras leva a menores taxas de crescimento da produtividade.

Esses resultados foram semelhantes aos encontrados em Ekbom (1998), Ohiambo, Nyangito e Nzuma (2004), Costa *et al.*, (2013), Pavan (2013), Raiher *et al.*, (2016) e Albuquerque (2020), onde se verificou que a área explorada e a quantidade de tratores são fatores que geram influências positivas no crescimento da produtividade agropecuária.

O modelo de erro autorregressivo (SEM) de convergência condicional da produtividade agropecuária para as microrregiões brasileiras não apresenta heterocedasticidade, esse resultado confirmou-se através do teste de White, onde o valor qui-quadrado calculado foi menor que o valor qui-quadrado encontrado a 5% de significância, indicando a não ocorrência de heterocedasticidade.

Considerando a situação já citada no modelo absoluto, que existe heterogeneidade espacial entre os biomas, é necessário a construção de um modelo que capte essa heterogeneidade espacial. Realiza-se novamente o teste de Chow agora para o modelo de convergência condicional, seus resultados estão reportados na Tabela 17.

Tabela 17: Teste de Chow Espacial e diagnóstico de dependência espacial do modelo econométrico não espacial e com regimes espaciais.

Variáveis	Teste de Chow Espacial	Valor	Probabilidade
α		18,192	0,0004
β		20,491	0,0001
LNAREA		2,595	0,0458
LNASS_TEC		0,401	0,9400
LNCRED		27,839	0,0000
LNTRAT		0,092	0,9928
LNGINI		1,663	0,6451
LNIRRI		5,229	0,1557
LNL		6,878	0,0759
LNSOLO		2,726	0,4358
Teste Global		93,622	0,000

Fonte: A autora.

O teste de Chow confirmou a necessidade do uso de um modelo por regimes espaciais, apresentando um valor do teste global altamente significativo, desse modo

estimou-se um modelo MQO por regimes espaciais. Os resultados para esse modelo se encontram na Tabela 18.

Tabela 18: Resultados econométricos não espacial com regimes espaciais

Variáveis/ Testes	Amazônia	Cerrado	Caatinga	Mata Atlântica
α	3,7251*** (0,4202)	3,0610*** (0,4114)	1,282** (0,4969)	3,603*** (0,3410)
β	-0,3479*** (0,0556)	-0,3189*** (0,0487)	-0,0097 (0,0689)	-0,3478*** (0,0421)
<i>LNAREA</i>	-0,0165* (0,0090)	0,0047 (0,0113)	0,0058 (0,0168)	-0,0015 (0,0070)
<i>LNASS_TEC</i>	-0,0166 (0,0312)	-0,0129 (0,0270)	-0,0150 (0,0350)	0,0019 (0,0196)
<i>LNCRED</i>	0,0647** (0,0320)	0,0650** (0,0330)	-0,0596*** (0,0225)	0,0928*** (0,0212)
<i>LNTRATOR</i>	0,1134*** (0,0322)	0,1233*** (0,0390)	0,1259*** (0,0344)	0,1161*** (0,0249)
<i>LNGINI</i>	-0,0211 (0,0281)	-0,0365 (0,0301)	0,0033 (0,0222)	0,0067 (0,0224)
<i>LNIRRI</i>	0,0540 (0,0482)	0,0212 (0,0234)	0,0758** (0,0290)	0,0033 (0,0170)
<i>LNL</i>	0,0058 (0,0260)	-0,0710** (0,0294)	0,0013 (0,0256)	0,0309 (0,0240)
<i>LNSOLO</i>	0,0243 (0,0632)	-0,0281 (0,0450)	-0,0217 (0,0805)	0,0552* (0,0284)
AIC	85,050	128,715	160,814	317,069
SC	107,817	155,811	188,689	351,750
Teste Jarque-Bera	13,302 {0,0013}	10,673 {0,0048}	803,493 {0,0000}	1.010,132 {0,0000}
Teste Breusch-Pagan	19,136 {0,0241}	16,543 {0,0564}	76,365 {0,0000}	57,923 {0,0000}
Teste de Koenker-Basset	9,866 {0,3614}	9,459 {0,3960}	11,226 {0,2606}	9,578 {0,3857}

Fonte: A autora.

Notas: *** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%, valores em parênteses correspondem ao desvio padrão e valores em colchetes correspondem ao o valor da probabilidade do teste.

Novamente como no caso da convergência absoluta por regimes espaciais a Caatinga não apresentou um processo de convergência, esse bioma apresentou uma taxa de variação da produtividade agropecuária negativa para esse período. Diversos são os fatores que podem estar contribuindo para que se encontre nesse bioma um mau desempenho agrícola, esses fatores negativos são, por exemplo, o falta de infraestrutura que as microrregiões que compõem esse bioma estão sujeitas, os fatores ambientais que caracterizam esse bioma, devido ao fato de se encontrar uma localidade que tem uma temperatura relativamente alta e um precipitação baixa, ocasionando nessa região grande estresse hídrico, dentre outros fatores que acabam influenciando negativamente na produtividade desse bioma.

As demais regiões apresentaram processos de convergência, cujo parâmetro β que capta a convergência se mostrou altamente significativo, esses resultados são compatíveis com os resultados encontrados em outras pesquisas, como em Castro, Almeida e Lima (2015), Raiher et al., (2016), Cardozo e Schaab (2019), Albuquerque (2020) e Hybner, Parré e Afonso (2020).

O trabalho de Cardozo, Schaab e Parre (2019) comprovou a existência de um processo de convergência do café na região Sudeste, já o trabalho de Raiher et al., (2016) e Hybner, Parré e Afonso (2020) identificaram a existência de um processo de convergência da produtividade agropecuária entre as microrregiões do Sul do Brasil essas regiões estão localizadas onde predomina o bioma de Mata Atlântica que de acordo com o parâmetro β observado na Tabela 18, se mostrou negativo e estatisticamente significativo apresentando no período de 1995 e 2017, um processo de convergência da produtividade agropecuária.

Lopes e Paula (2013) verificam que existia na região Norte um processo de convergência agropecuária o que também foi identificado nessa pesquisa através do valor negativo e significativo do β encontrado para o Bioma da Amazônia. Já Albuquerque (2020) encontrou em seu estudo convergência da produtividade agrícola para a região Nordeste, porém observando a Tabela 18 verifica-se a não ocorrência de convergência na Caatinga, que é o bioma que predomina em maior proporção na região Nordeste.

Castro, Almeida e Lima (2015) comprovaram a existência de um processo de convergência da produtividade da soja para a região Centro-Oeste e Sul, na região Centro-Oeste se encontra o bioma de Cerrado, que apresentou um valor de β negativo e significativo indicando convergência.

Dentre as variáveis explicativas o trator por hectares apresentou valores positivos e significativos para todos os regimes, o crédito para o bioma de Caatinga foi negativo e significativa, porém para essa região não se identificou um processo de convergência, para os demais biomas o crédito apresentou sinal positivo e foi significativo indicando que exerce uma influência positiva para que o processo de convergência ocorra.

A variável irrigação foi significativa para o bioma de Caatinga que não apresentou convergência, o trabalho se apresentou negativo e significativo para o Cerrado, a área total explorada foi negativa e significativa para a Amazônia e por fim o solo foi positivo e significativo para o bioma de Mata Atlântica.

Todos os regimes apresentaram erros não normais, identificados pelo valor significativo do teste Jarque-Bera o que resultou na estimação do modelo utilizando o Método Generalizados dos Momentos (GMM) e as variâncias dos erros para todos os regimes foram homocedásticas, dispensando qualquer tipo de correção de heterocedasticidade.

Posto que os dados apresentam certo grau de dependência espacial, verificado através do valor do I de Moran encontrado na Tabela 15 estimou-se modelos de econometria espacial a fim de controlar a dependência espacial encontrada. Para isso foram testados os modelos de defasagem espacial (SAR), erro autorregressivo espacial (SEM), modelo regressivo cruzado espacial (SLX), modelo de Durbin espacial (SDM) e modelo de Durbin espacial do erro (SDEM).

Novamente o critério utilizado para a escolha do modelo foram os critérios de Akaike e Schwartz, resultando como melhor modelo o modelo de erro autorregressivo espacial ou modelo SEM seus resultados estão representados na Tabela 19, os resultados para o demais modelos podem ser verificados no apêndice.

Tabela 19: Resultados econométricos do modelo de erro autorregressivo espacial com regimes espaciais

Variáveis/ Testes	Amazônia	Cerrado	Caatinga	Mata Atlântica
α	4,7417*** (0,4510)	3,0256*** (0,0486)	1,4081*** (0,4760)	3,7443*** (0,0351)
β	-0,3445*** (0,0586)	-0,3070*** (0,0537)	-0,0256 (0,0670)	-0,3668** (0,1193)
<i>LNAREA</i>	-0,0177* (0,0097)	-0,0029 (0,0121)	0,0001 (0,0156)	-0,0020 (0,0070)
<i>LNASS_TEC</i>	-0,0141 (0,0318)	-0,0173 (0,0278)	-0,0060 (0,0333)	-0,0001 (0,0181)
<i>LNCRED</i>	0,0643* (0,0337)	0,0571* (0,0337)	-0,0568*** (0,0212)	0,0814*** (0,0283)
<i>LNTRATOR</i>	0,1044*** (0,0331)	0,1209*** (0,0411)	0,1267*** (0,0332)	0,1106*** (0,0236)
<i>LNGINI</i>	-0,0093 (0,0287)	-0,0329 (0,0308)	-0,0063 (0,0212)	0,0085 (0,0285)
<i>LNIRRI</i>	0,0568 (0,0519)	0,0231 (0,0241)	0,0660** (0,0269)	0,0068 (0,0162)
<i>LNL</i>	0,0069 (0,0269)	-0,0604* (0,0311)	0,0094 (0,0246)	0,0293 (0,0223)
<i>LNSOLO</i>	0,0295 (0,0655)	-0,0290 (0,0480)	0,0054 (0,0767)	0,0577*** (0,0269)
λ		0,2110*** (0,0553)		
AIC		685,552		
SC		857,214		

Fonte: A autora.

Notas: *** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%, valores em parênteses correspondem ao desvio padrão.

Dado que o modelo SEM (modelo de erro autorregressivo espacial) se apresentou como melhor modelo para essa análise, tem-se um parâmetro λ positivo indicando que choques aleatórios de uma região exercem influência positiva nas regiões vizinhas. Esse choque aleatório mencionado remete ao choque encontrado no Modelo de Solow original, chamado de resíduo de Solow que se trata basicamente da tecnologia. Nesse modelo a tecnologia pode ser representada por novas sementes, métodos, de plantios, adubação, irrigação, etc. Assim, dado a ocorrência de qualquer choque

aleatório, por exemplo, utilização de novos métodos de plantio, nova variedade de sementes, etc., ocorridos em um bioma, os resultados que esse choque terá, serão transbordados para os demais biomas, contribuindo desse modo para que a produtividade agropecuária aumente.

Todos os regimes foram estimados através do método generalizado dos momentos (GMM), propostos por Kelejian e Prucha (1999), devido a falta da normalidade dos erros, pois para esse método de estimação prescinde hipótese da normalidade do erro.

A convergência foi identificada para os biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica confirmando mais uma vez que não ocorre no bioma de Caatinga a existência de convergência. A variável área total explorada (LNAREA) apresentou sinal negativo e significativo para o bioma de Amazônia e para a Caatinga esse resultado foi semelhante ao encontrado por Raiher (2016), cujo a análise foi realizada para a região Sul e apresentou um valor de área negativo e significativo a 10%.

A variável crédito (LNCRED) foi negativa novamente para a Caatinga e positiva e significativa para os demais biomas, a variável trator (LNTRATOR) apresentou sinal positivo e foi significativa para todos os biomas, e pôr fim a variável conservação de solo (LNSOLO) foi significativa para o bioma de Mata Atlântica. Esses resultados confirmam os encontrados em outras pesquisas.

No Trabalho de Raiher *et al.*, (2016) realizado para a região Sul identificou-se um processo de convergência da produtividade agropecuária e as variáveis significativas foram tratores e área. A região Sul é composta em partes pelo bioma de Mata Atlântica que apresentou o processo de convergência da produtividade agropecuária, apresentando área total explorada (LNAREA) negativa e significativa e tratores por hectares (LNTRATOR) positivo e significativo, sendo compatível com os resultados encontrados por Raiher *et al.*, (2016).

Já a pesquisa de Hybner, Parré e Afonso identificou o crédito como uma variável positiva e significativa a 10%, resultado semelhante ao encontrado para os biomas Amazônia e Cerrado, já para a Mata Atlântica o crédito foi positivo e significativo a 1%.

Em resumo tem-se como variáveis relevantes para o incremento da produtividade o número de tratores por hectares (LNTRATOR), área total explorada

(LNAREA), o crédito (LNCRED), a mão de obra por hectares (LNL) e conservação do solo (LNSOLO). Esses resultados acerca das variáveis que influenciam na produtividade são compatíveis com os trabalhos que buscam definir os determinantes da agropecuária, assim esse resultado foi de encontro aos resultados identificados nos trabalhos Ekbohm (1998), Odhiambo, Nyangito e Nzuma (2004), Oleyenyo (2008), Brigatte (2010), Costa *et al.*, (2013) e Pavan (2013), Raiher *et al.*, (2016), Baricello (2019), Albuquerque (2020) e Hybner, Parré e Afonso (2020).

As variáveis do modelo de convergência condicional por regimes apresentam diferenças em suas influências se comparados com o modelo de convergência condicional para o Brasil, comprova-se que para cada localidade existem diferentes repostas tanto da convergência quanto das variáveis que exercem certo grau de influência na produtividade, assim a localidade é importante para o processo de convergência da produtividade agrícola, visto que suas características ambientais captadas pelo bioma geram variações de resultados entre os regimes.

No longo prazo as regiões com características estruturais semelhantes tenderão a convergir para um mesmo nível de produtividade agropecuária dentro de seu bioma, isso foi confirmado pela presença da convergência nos regimes. Para as microrregiões que compõe a Caatinga não se identificou um processo de convergência, essa região sofre com grandes problemas hídricos, infertilidade de solo e grandes degradações que são por vezes irreversíveis derivando da utilização da Caatinga como pastagem extensiva (LIRA *et al.*, 2012), esses fatores influenciam negativamente na produtividade agropecuária da região, resultando em um mau desempenho dessa localidade nas produções.

Como foi identificado um processo de convergência para os biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica a velocidade da convergência e a meia-vida²⁸ foram calculadas para cada um desses biomas. A meia-vida é o tempo aproximado que os biomas levariam para reduzir suas diferenças de produtividade alcançando o valor médio. Os resultados podem ser verificados na Tabela 20.

²⁸A velocidade de convergência é calculada por $\theta = \ln(\beta+1) - T$, onde T é o período analisado; já a meia vida é obtida por meio de $MV = \ln(2) / \theta$. Para maiores detalhes ver Rey e Montury (1999).

Tabela 20: Resultados da velocidade e meia-vida para os biomas de Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica:

BIOMAS	Amazônia	Cerrado	Mata Atlântica
Velocidade da Convergência absoluta	0,0115	0,0109	0,0170
Meia-Vida absoluta	59,9516	63,2167	40,6994
Velocidade da Convergência Condicional	0,0183	0,0159	0,0198
meia-Vida condicional	37,7462	43,4722	34,8872

Fonte: A autora.

Como o melhor modelo é o de erro espacial, não é necessário realizar nenhum cálculo ou interpretação adicional nos conceitos de Velocidade de Convergência e de Meia-Vida, pois toda a dependência espacial concentra-se no termo de erro. Deste modo verifica-se que o Bioma de Mata Atlântica é o que apresentou o menor valor de meia-vida considerando suas características estruturais, indicando que as microrregiões desse bioma levaram cerca de 34 anos para alcançar a produtividade média da região diminuindo suas diferenças, nota-se que para a convergência absoluta essa região levará cerca de 40 anos, assim quando se pondera as características estruturais da localidade o tempo para que as microrregiões produzam na média no bioma Amazônia se reduz cerca de 6 anos.

Para o bioma Cerrado o tempo para que as microrregiões alcancem a produtividade média é de cerca de 63 anos quando se aborda a convergência absoluta, já para a convergência condicional o tempo se reduz para 43 anos, por fim para a Amazônia tem-se cerca de 60 anos para convergência absoluta e para a convergência condicional o tempo que levará para que as microrregiões produzam na média do bioma é de cerca de 37 anos.

Concluindo a hipótese da ocorrência de um processo de convergência para as microrregiões brasileiras entre os anos de 1995 e 2017 é confirmada através dos resultados obtidos nessa pesquisa, porém como na literatura encontram-se diversos trabalhos que abordam o tema convergência principalmente a convergência absoluta para o país ou para determinadas regiões do país, buscou-se diferenciar o estudo, através da estimação de um modelo de convergência da produtividade agropecuária por regimes espaciais onde esses regimes são separados por biomas.

Tais biomas exceto a Caatinga apresentaram processos de convergência da agropecuária, o que demonstra que entre as microrregiões do Amazônia, do Cerrado e da Mata Atlântica as diferenças da produtividade agropecuária estão tendendo a diminuir ao longo dos anos, porém de maneira diferenciadas para cada bioma.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo do período analisado o Brasil apresentou um crescimento da produtividade agropecuária, passando de uma produção de 509,88 reais por hectares em 1995 para 858,09 reais por hectares em 2017, resultando em um crescimento de 68,26%. Entre as regiões, o maior crescimento da produtividade agropecuária pode ser observado na região Centro-Oeste que apresentou uma variação percentual entre os anos de 1995 e 2017 de 212,60%. A região que apresentou o menor crescimento da produtividade agrícola foi a região Nordeste com uma variação de 20,394%, cujo valor da produtividade agropecuária em 1995 para essa região era de 204,95 reais por hectares passando a ser em 2017 de 362,02 reais por hectares.

Analisado os biomas verifica-se que o bioma de Cerrado é o que detêm a maior taxa de variação da produtividade agropecuária (151,40%), saindo de um valor em 1995 de 356,66 reais por hectares passando a ser 896,65 reais por hectares em 2017.

Esse desempenho do Cerrado pode ser atribuído a diversos fatores que contribuem positivamente com o desempenho agropecuário, dentre eles pode se citar: a declividade propicia do solo existente nesse bioma, que facilita a inserção de máquinas no campo e as pesquisas desenvolvidas principalmente pelas universidades e pela EMBRAPA com o desenvolvimento de sementes, agrotóxicos e fertilizantes propícios para esse bioma.

O bioma Caatinga não apresentou crescimento no período resultando em uma variação percentual negativa de 2,049%, onde o valor da produtividade agropecuária em 1995 era de 325,66 reais por hectares caindo para 318,98 reais por hectares em 2017. Esse bioma é marcado por diversas características desfavoráveis para as produções agrícolas, por se tratar de uma região de clima árido com elevadas temperaturas e escassez de chuvas. A EMBRAPA desenvolve pesquisas nesse bioma com intuito de entender as características do bioma e das plantas que ali habitam, com objetivo de encontrar maneiras sustentáveis para sua exploração (EMBRAPA, 2020e).

Como o caminho do desenvolvimento de pesquisas é lento, já que primeiramente precisa se conhecer a região, entender seus problemas para depois formular uma possível solução, imaginar a Caatinga como uma referência de produtividade agropecuária não é em curto prazo algo relevante. Mas com o desenvolvimento de

novas tecnologias cada vez melhores e de estudos específicos pode se tornar uma realidade no futuro.

Mesmo o bioma de Cerrado apresentando as maiores taxas de crescimento de produtividade agropecuária é o bioma de Mata Atlântica que detêm o maior valor de produtividade, obtendo um valor de 1.506,65 reais por hectares em 2017. O bioma de Mata Atlântica está presente em regiões muito produtivas do país como o Sul e o Sudeste, que são regiões que possuíam desde 1995 os maiores valores da produtividade agropecuária.

Apesar dos biomas de Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal apresentarem crescimento da produtividade agropecuária positivo, esse crescimento não ocorre de maneira homogênea, encontram-se microrregiões com produtividades elevadas e outras microrregiões com produtividades menores, onde pode se verificar uma grande concentração de microrregiões com baixas produtividades nas regiões Norte e Nordeste que compreendem os biomas de Amazônia, Cerrado e Caatinga.

É visível também a presença de concentração de microrregiões com maiores taxas de crescimento da produtividade agropecuária no bioma de Cerrado, e as menores no bioma de Caatinga.

Devido a heterogeneidade da produtividade agropecuária entre as microrregiões pertencentes a cada bioma buscou-se verificar se os diferenciais de produtividade agropecuária estão diminuindo ao longo do tempo, para isso testou a existência ou não de um processo de convergência beta absoluta e condicional entre as microrregiões brasileiras, separando as microrregiões por regimes construídos através dos biomas, cuja ideia é captar a heterogeneidade espacial encontrada em cada localidade e que acabam por gerar diferenças nas produções.

Para o Brasil como todo o processo de convergência (β) foi identificado tanto para o modelo absoluto quanto para o modelo condicional. A variável tratores por hectares (LNTRAT) foi significativa e positiva, demonstrando que incrementos de tratores no campo resultam para o país como todo em aumentos na produtividade. O Gini da terra (LNGINI) também se apresentou significativo com sinal negativo, indicando que quanto maior é a concentração de terras entre as microrregiões brasileiras menores são os desempenhos agropecuários, e esse resultado pode ser explicado através dos

valores encontrados para a agricultura familiar brasileira, que desempenha um importante papel econômico.

O melhor modelo espacial para o país foi o modelo de erro autorregressivo espacial, que apresentou um valor do parâmetro que capta a dependência espacial positivo e significativo, indicando que choques aleatórios em uma microrregião, ou seja, fatores não modelados de uma microrregião influenciam a produtividade agropecuária de outra microrregião, esses choques podem ser, por exemplos, a descoberta de uma nova maneira de plantio, uma nova semente ou técnica aplicada ao campo, que são primeiramente testadas em uma região, mas depois acabam se dissipando pelas demais.

Visto que o teste de Chow se mostrou significativo, confirmando a necessidade da formulação de um modelo que considere diferentes respostas para as diferentes localidades, testou-se a hipótese de convergência para os biomas de Amazônia, Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica.

Por meio deste modelo confirmou-se a ocorrência de um processo de convergência para os biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica, ou seja, as diferenças nas produtividades das microrregiões pertencentes a estes biomas estão tendendo a diminuir e se aproximam de uma média local. Já para o bioma de Caatinga não se identificou a ocorrência do processo de convergência, resultando em um parâmetro β que capta a convergência não significativo.

Para os regimes identificou-se também certo grau de dependência espacial, que foi controlado novamente através do modelo de erro autorregressivo espacial, pois dentre os demais foi o melhor. O parâmetro que capta a dependência (λ) é positivo e significativo indicando que choques aleatórios em uma região se propagam pelas demais regiões vizinhas e contribuem positivamente para valores maiores de produtividade agropecuária.

Dentre as variáveis explicativas inseridas no modelo condicional por regimes espaciais a área total explorada (LNAREA), o crédito (LNCRED), o número de tratores por hectares (LNTRAT), a proporção de estabelecimentos que praticam algum tipo de prática de conservação de solo (LNSOLO) e o trabalho (LNL) por hectares foram significativos, porém as influências dessas variáveis por biomas são diferenciadas,

encontrando para alguns deles variáveis significativas e para outros não, o que demonstra que as respostas de cada localidade são diferentes, confirmando mais uma vez que as diferenças espaciais exercem grande influência nas produções agropecuárias e resultam em diferentes respostas.

O crédito (LNCRED) foi positivo e significativo para os biomas de Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica o que demonstra que a maior disponibilidade de crédito nesses biomas resulta em maior produtividade agropecuária, assim programas do governo que busquem fornecer crédito aos produtores com taxas de juros menores e facilitações de pagamento podem influenciar positivamente na elevação das produtividades agropecuárias, resultando em maior homogeneidade de produção com o tempo.

A variável trator por hectares (LNTRAT) foi positiva e significativa por todos os biomas, assim quanto maior o número de tratores e maior a potências desses melhor será o desempenho agrícola, essa é uma consequência da modernização que é inserida no trabalho rural.

A variável mão de obra por hectares (LNL) foi apenas significativa no bioma de Cerrado e o sinal apresentado foi negativo, indicando que quanto maior o número de pessoas trabalhando por hectares menor é a produtividade, uma possível explicação para tal resultado nesse bioma, é que essa região vem apresentando altas taxas de desenvolvimento com grandes inserções tecnológicas tanto de sementes, agrotóxicos, fertilizantes quanto de maquinarias.

Assim uma microrregião pertencente ao Cerrado com alto nível de mão de obra rural, indica um baixo desenvolvimento tecnológico, onde as lavouras necessitam de trabalho braçal sendo esse menos produtivo, já que não possuem máquinas suficientes. Desse modo atribui-se maiores valores de mão de obra a menor desempenho agropecuário, sendo consequência de menor desenvolvimento tecnológico aplicado ao meio rural.

Por fim a variável proporção de estabelecimentos que praticam algum tipo de prática de conservação de solo (LNSOLO) foi positiva e significativa para o bioma de Mata Atlântica. Como foi mencionado anteriormente, bioma de Mata Atlântica é um dos biomas mais degradados do país, onde se comporta a maior proporção da população

brasileira, assim uma possível explicação para esse resultado é que práticas que levem ao cuidado dos solos contribuem para que esse bioma seja menos degradado mantendo o mínimo possível de fertilidade dos solos.

Uma vez confirmado a existência de um processo de convergência para os biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica, foram calculadas a velocidade da convergência e a meia-vida, indicando que as microrregiões de cada bioma apresentaram diferenças no tempo que levarão para reduzir suas disparidades.

A Amazônia levará cerca de 37 anos para diminuir as diferenças de produtividade, a Mata Atlântica cerca de 34 anos e o Cerrado cerca de 43 anos, esses valores equivalentes ao cálculo da meia-vida do modelo condicional.

Com estes resultados é possível identificar quais regiões possuem as menores produtividades e através de políticas públicas (tais como: políticas de capacitação dos agricultores, políticas que aumentem o crédito agrícola que foi uma das variáveis significativa e positiva para todos os biomas) promover o incremento desta produtividade agropecuária, outro fator relevante é que com esses resultados pode se ter uma base de como a produção é influenciada pela localidade que se encontra e aos fatores ambientais ao qual está exposta.

Assim, os incentivos as pesquisa devem ser vários, já que é com as pesquisas que se podem desenvolver culturas mais resistentes e propícias a fatores climáticos extremos como deficiência hídrica e melhoramentos de solos em localidades que possuem baixas fertilidades, consequentemente diminuindo as diferenças encontradas nas produções agropecuárias do país.

Os resultados desta pesquisa não acabam sobre as discussões acerca do tema. Assim como sugestão para trabalhos futuros, poderia se verificar como está distribuída a produtividade agropecuária no bioma de Caatinga, que foi o bioma que não apresentou convergência da produtividade agropecuária, assim se verificaria se existem microrregiões nesse bioma que apresentaram boas produtividades ou se todas as regiões produzem pouco.

REFERÊNCIAS

- ABRAMOVITZ, M. Catching up, forging ahead, and falling behind. **Journal of Economic history**, Cambridge (USA), v.46, n.2, p.385-406, 1986.
- ALBUQUERQUE, W. M. **Análise de convergência espacial de produtividade agrícola aplicada à região Nordeste do Brasil e aos municípios do Estado do Ceará**. 2020. Dissertação (Economia Rural) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.
- ALEXIADIS, S. Convergence in agriculture: evidence from the european regions. **Agricultural Economics Review**, Thessaloniki, v.11, n.2, p.1-13, 2010.
- ALMEIDA, E. **Econometria espacial**. Campinas–SP: Alínea, 2012.
- ALMEIDA, E. P. C.; SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J. **Latossolos Vermelho – Amarelos**. [2020]. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000g05ip3qr02wx5ok0q43a0r3t5vjo4.html. Acesso em: 10 nov. 2020.
- ALMEIDA, E. S.; PEROBELLI, F. S.; FERREIRA, P, G, C. Existe convergência espacial da produtividade agrícola no Brasil? **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v.46, n.01, p.031-052, jan/mar. 2008.
- ALMEIDA, M. A. S.; GUANZIROLI, C. E. Análise exploratória espacial e convergência condicional das taxas de crimes em Minas Gerais nos anos 2000. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 41., 2014, Florianópolis- SC. **Anais [...]** Florianópolis- SC: ANPEC, 2014.
- ALSTON, J. M. The benefits from agricultural research and development, innovation, and productivity growth. **OECD library**, Califórnia, n.31, 2010.
- ALVES, E. D. A. Embrapa: um caso bem-sucedido de inovação institucional. Área de Informação da Sede-Artigo em periódico indexado. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, p.65-73, 2010.
- AMARAL, D. F. **Análise da expansão da fronteira agrícola e do desflorestamento no bioma Amazônia dos estados de Mato Grosso, Pará e Rondônia**. 2018. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.
- ANDRADES, T. O.; GANIMI, R. N. Revolução verde e a apropriação capitalista. **CES Revista**, Juiz de Fora, v.21, p.43-56, 2007.
- ANSELIN, L. **Spatial econometrics: methods and models**. Boston: Kluwer Academic, 1988.

ARAUJO FILHO, J. A.; CARVALHO, F. C. **Desenvolvimento sustentado da caatinga**. Brasília: Embrapa Caprinos e Ovinos-Circular, 1997. (INFOTECA-E, n.13).

ASSIS, R. L.; ROMEIRO, A. R. Agroecologia e agricultura orgânica: controvérsias e tendências. **Desenvolvimento e meio ambiente**, Curitiba, n.6, p.67-80, 2002.

BACHA, C. J. C. **Economia e política agrícola no Brasil**. 2. ed. São Paulo: Atlas: 2012.

BARICELO, L. G. **Dinâmica e convergência da produtividade total dos fatores na agropecuária brasileira entre 1975 e 2006**. 2019. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

BARRO, R. J.; SALA-I-MARTIN, X. Convergence across states and regions. **Brookings papers on economic activity**, New Haven, n.629, p.107-182, 1991.

BARRO, R. J.; SALA-I-MARTIN, X. Convergence. **Journal of political Economy**, Chicago, v.100, n.2, p.223-251, 1992.

BARRO, R. J.; SALA-I-MARTIN, X. Economic growth and convergence across the United States. **National Bureau of Economic Research**, Cambridge, n.3419, 1990.

BARRO, R. J.; SALA-I-MARTIN, X. **Economic growth**. Cambridge: MIT Press, 1995.

BARRO, R. J.; SALA-I-MARTIN, X.; XAVIER, I. **Economic growth**. Cambridge: MIT Press, 2004.

BATISTELLA, P.; LAZARETTI, L. R.; PRESOTTO, E.; TEIXEIRA, F. O.; FREITAS, C. A. Avaliação do processo de convergência da produtividade agrícola: uma análise espacial nos municípios gaúchos. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, v.17, n.3, p.462-484, 2019.

BAUMONT, C. **Spatial effects in housing price models: do housing prices capitalize urban development policies in the agglomeration of Dijon**. 2004. Dissertation (Economic) - Laboratoire d'économie et de gestion (LEG), Clermont-Ferrand- Auvérnia, 2004.

BEZERRA, L. M. C.; CLEPS JR, J. O desenvolvimento agrícola da região centro-oeste e as transformações no espaço agrário do estado de goiás. **Caminhos de geografia**, Brasília, v.5, n.12, 2004.

BRASIL. Ministério da agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agricultura Familiar**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/agricultura-familiar/agricultura-familiar-1>. Acesso em: 25 fev. 2021.

BRASIL. Ministério Do Meio Ambiente: **Migração**. 2009. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/fnma/_publicacao/1_publicacao22112010060206.pdf. Acesso em: 15 out. 2020.

- BRIGATTE, H. Determinantes do produto e da produtividade total dos fatores da agropecuária brasileira. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v.19, n.2, p.5-13, 2010.
- CAMPOS, S. A. C.; COELHO, A. B.; GOMES, A. P. Influência das condições ambientais e ação antrópica sobre a eficiência produtiva agropecuária em Minas Gerais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v.50, n.3, p.563-576, 2012.
- CARDOZO, D. P.; LAS SCHAAB, L.; PARRÉ, J. L. Análise espacial da produtividade do café na região Sudeste do Brasil: 1990-2015. **Revista Economia Ensaios**, Uberlândia, v.34, n.1, 2019.
- CASTRO, C. N. D. A agricultura no Nordeste brasileiro: oportunidades e limitações ao desenvolvimento. **Texto para Discussão IPEA**, Rio de Janeiro, n.1786, 2012.
- CASTRO, C. N. D. **A agropecuária na região Norte: oportunidades e limitações ao desenvolvimento**. Rio de Janeiro: IPEA, 2013.
- CASTRO, L. S.; ALMEIDA, E. S.; LIMA, J. E. A convergência espacial da produtividade de soja no Brasil: o caso das regiões Centro-Oeste e Sul. **Revista ESPACIOS**, Caracas, v.36, n.21, 2015.
- CASTRO, A. F. P. Escassez alimentar no Brasil. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, p.12-12, 24 abr. 1968.
- CLEMENTS, F.E. **Dynamics of Vegetation**. New York: The H.W. Wilson Co, 1949.
- CONTERATO, M. A.; SCHNEIDER, S.; FERNANDES, L. L.; LIBARDONI, P. J.; BARBOSA, G.; SILVA, M. M. D.; BAUER, C. **O Impacto do consumo intermediário na agricultura: uma análise comparativa entre agricultura familiar e não familiar: Brasil e regiões Nordeste e Sul**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2013
- CORAZZA, G.; MARTINELLI JÚNIOR, O. Agricultura e questão agrária na história do pensamento econômico. **Revista Teoria e Evidência Econômica**, Passo Fundo, v.10, n.19, p.9, 2002.
- COSTA, C. C. M.; ALMEIDA, A. L. T.; FERREIRA, M. A. M.; SILVA, E. A. Determinantes do desenvolvimento do setor agropecuário nos municípios. **Revista de Administração**, São Paulo, v.48, n.2, p.295-309, 2013.
- COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta Botanica Brasílica**, Brasília, v.20, n.1, p.13-23, 2006.
- DESTINOBLÉS, A. G.; ARCE, J. H. El modelo de crecimiento de Solow. **Red Aportes**, Cidade do México, v.06, n.17, 2001.
- DOMAR, E. D. Capital expansion, rate of growth, and employment. **Econometrica, Journal of the Econometric Society**, New Havens, v.14, n.2, p.137-147, 1946.

DOSSA, A. A.; SEGATTO, A. P. Pesquisas cooperativas entre universidades e institutos públicos no setor agropecuário brasileiro: um estudo na Embrapa. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v.44, n.6, p.1327-1352, 2010.

EDGERTON, M. D. Increasing crop productivity to meet global needs for feed, food, and fuel. **Plant physiology**, Missouri, v.149, n.1, p.7-13, 2009.

EKBOM, A. Some determinants to agricultural productivity: An application to the Kenyan highlands. In: **WORLD CONGRESS OF ENVIRONMENTAL AND RESOURCE ECONOMISTS**, 1., 1998, Venice, Italy. **Anais [...]** Venice, Italy, 1998. p.25-27.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Biomass**: Mata Atlântica. 2020a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/web/rede-ilpf/bioma/mata-atlantica#:~:text=Nos%20estados%20de%20S%C3%A3o%20Paulo,corte%20e%20leite%2C%20entre%20outros>. Acesso em: 10 jul. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Contando ciência na web**: Amazônia. 2020b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/contando-ciencia/bioma-amazonia>. Acesso em: 15 jul. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Contando ciência na web**: caatinga. 2020c. Disponível em: <https://www.embrapa.br/contando-ciencia/bioma-caatinga>. Acesso em: 15 jul. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Contando ciência na web**: cerrado. 2020d. Disponível em: <https://www.embrapa.br/contando-ciencia/bioma-Cerrado>. Acesso em: 15 jul. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Contando ciência na web**: mata atlântica. 2020e. Disponível em: <https://www.embrapa.br/contando-ciencia/bioma-mata-atlantica>. Acesso em: 15 jul. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Contando ciência na web**: pampa. 2020f. Disponível em: <https://www.embrapa.br/contando-ciencia/bioma-pampa>. Acesso em: 15 jul. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Contando ciência na web**: pantanal. 2020g. Disponível em: <https://www.embrapa.br/contando-ciencia/bioma-pantanal>. Acesso em: 15 jul. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – PANTANAL. **Pesquisa, Desenvolvimento, Inovação**: Pecuária e Pantanal. 2020h. Disponível em: <https://www.embrapa.br/pantanal/pecuaria-do-pantanal>. Acesso em: 15 jul. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Calendário Agrícola**. 2005. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/676210/1/CalendarioAgricola.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2020.

EMPRESA RASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Notícias Embrapa**. 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18708656/riquezas-da-mata-branca>. Acesso em: 01 nov. 2020.

EMPRESA RASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

FALEIRO, F. G.; SOUSA, E. D. S. **Pesquisa, desenvolvimento e inovação para o Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007.

FELDENS, F. **O Homem a Agricultura a História**. 1. ed. Lajeado/RS: Univates, 2018.

FELEMA, J.; RAIHER, A. P.; FERREIRA, C. R. Agropecuária brasileira: desempenho regional e determinantes de produtividade. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v.51, n.3, p.555-573, 2013.

FOCHEZATTO, A.; STÜLP, V. J. Análise da convergência da produtividade da mão-de-obra agropecuária entre os estados brasileiros: aplicação de matrizes de Markov, 1990-2000. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v.46, n.3, p.739-765, 2008.

FOSTER, A. D.; ROSENZWEIG, M. R. Agricultural productivity growth, rural economic diversity, and economic reforms: India, 1970–2000. **Economic Development and Cultural Change**, Chicago, v.52, n.3, p.509-542, 2004.

FRANCO, J. B. S. O papel da EMBRAPA nas transformações do Cerrado. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.2, n.3, 2001.

FRENKEL, J. C.; SILVEIRA, J. M. D. C. Tarifas, preços e a estrutura industrial dos insumos agrícolas: o caso dos defensivos. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, Brasília, n.412, 1996.

FROGBROOK, Z. L.; OLIVER, M. A.; SALAH, M.; ELLIS, R. H. Exploring the spatial relations between cereal yield and soil chemical properties and the implications for sampling. **Soil Use and Management**, Madison, v.18, n.1, p.1-9, 2002.

FULGINITI, L. E.; PERRIN, R. K. Agricultural productivity in developing countries. **Agricultural economics**, Lincoln, v.19, n.1-2, p.45-51, 1998.

GALANOPOULOS, K.; LINDBERG, E.; SURRY, Y. R.; MATTAS, K. Agricultural productivity growth in the Mediterranean and tests of convergence among countries. **Age. consearch**, Creta, n.736, 2006.

GALON, L.; TIRONI, S. P.; ROCHA, A. A.; SOARES, E. R.; CONCENÇO, G.; ALBERTO, C. M. Influência dos fatores abióticos na produtividade da cultura do milho. **Revista Tropica: Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v.4, n.3, p.18, 2011.

GALOR, O. Convergence? Inferences from theoretical models. **The Economic Journal**, Oxford, v.106, n.437, p.1056-1069, 1996.

GASQUES, J. G.; BASTOS, E. T.; BACCHI, M. R. P.; VALDES, C. **Produtividade total dos fatores e transformações da agricultura brasileira**: análise dos dados dos censos agropecuários. Brasília: IPEA, 2010. p.19-44.

GASQUES, J. G. O.; VIEIRA FILHO, J. E. R. O.; NAVARRO, Z. O. **A agricultura brasileira**: desempenho, desafios e perspectivas. Brasília: Repositório IPEA, 2010.

GERSCHENCRON, A. **Economic Background in Historical Perspective**, en “**The Progress of Undeveloped Areas**”. Chicago: University of Chicago Press, 1959.

GOLLIN, D. Agricultural productivity and economic growth. **Handbook of agricultural economics**, Newark, v.4, p.3825-3866, 2010.

GOMES, E. G. Uso de modelos DEA em agricultura: revisão da literatura. **ENGEVISTA**, Brasília, v.10, n.1, p.27-51, 2008.

GOVERNO DO BRASIL. **Faturamento da agropecuária brasileira bate recorde em 2019**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/financas-impostos-e-gestao-publica/2020/01/faturamento-da-agropecuaria-brasileira-bate-recorde-em-2019>. Acesso em: 08 jan. 2021.

GOVERNO DO BRASIL. **PIB no setor agropecuário cresce 1,3 % em 2019**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/financas-impostos-e-gestao-publica/2020/03/pib-do-setor-agropecuario-cresce-1-3-em-2019#:~:text=O%20PIB%20brasileiro%2C%20que%20%C3%A9,%2C1%25%20frente%20a%202018.&text=A%20participa%C3%A7%C3%A3o%20das%20atividades%20econ%C3%B4micas,9%25%20do%20setor%20de%20servi%C3%A7os>. Acesso em: 24 fev. 2021.

GUANZIROLI, C. E.; BUAINAIN, A. M.; DI SABBATO, A. Dez anos de evolução da agricultura familiar no Brasil:(1996 e 2006). **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v.50, n.2, p.351-370, 2012.

GUERVA, M. C. Dynamics of European agricultural productivity: An analysis of regional convergence. **Review of Agricultural and Environmental Studies-Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement (RAEStud)**, St. Paul, v.92, n.906, p.237-258, 2011.

HAMULCZUK, M. Total factor productivity convergence in the EU agriculture. In: COMPETITIVENESS OF AGRO-FOOD AND ENVIRONMENTAL ECONOMY, FACULTY OF AGRO-FOOD AND ENVIRONMENTAL ECONOMICS-BUCHAREST UNIVERSITY OF ECONOMIC STUDIES. Bucharest, 2015. **Anais [...]** Bucharest, 2015.

HARROD, R. F. An essay in dynamic theory. **The economic journal**, Oxford, v.49, n.193, p.14-33, 1939.

HAYAMI, Y.; RUTTAN, V. W. Agricultural productivity differences among countries. **The American economic review**, Bucharest, v.60, n.5, p.895-911, 1970.

HOFFMAN, R. **Modernização e produtividade da agropecuária brasileira em 332 microrregiões do Brasil, 1975e 1980**. Piracicaba: Esalq, 1990.

HOFFMANN, R.; KAGEYAMA, A. A.; QUEDA, O. Inovações tecnológicas e transformações recentes na agricultura brasileira. **Relatório de Pesquisa**, Piracicaba, 1985.

HOLSTAK, D. **Avaliação da produtividade e eficiência de construtoras brasileiras por meio de Índices Malmquist De TFP**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

HOMMA, A. K. O. Amazônia: como aproveitar os benefícios da destruição?. **Estudos avançados**, São Paulo, v.19, n.54, p.115-135, 2005.

HYBNER, B. R.; PARRÉ, J. L.; AFONSO, J. F. Convergência da produtividade total dos fatores da agropecuária no Sul do Brasil. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v.29, n.4, p.47, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário 2017**. 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuário/censo-agropecuário-2017>. Acesso em: 20 jan. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010**. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=microdados>. Acesso em: 12 fev. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Metodologia do censo demográfico de 1980**. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Metodologia do censo demográfico 2000 / IBGE**. Rio de Janeiro: IBGE, 2003. (Relatórios metodológicos, v.25).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Metodologia do censo demográfico 2010 / IBGE**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. (Relatórios metodológicos, v.41).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Problemas climáticos fazem safra de grão cair 5,2 em 2005**. 2006. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/13139-asi-problemas-climaticos-fazem-safra-de-graos-cair-52-em-2005#:~:text=na%20Tabela%20abaixo,-,Pelo%20segundo%20ano%20consecutivo%2C%20condi%C3%A7%C3%B5es%20clim%C3%A1ticas%20desfavor%C3%A1veis%20%E2%80%93%20especificamente%20a%20falta,a%20de%202003%2C%20ano%20da>. Acesso em: 21 nov. 2020.

IRZ, X.; LIN, L.; THIRTLE, C.; WIGGINS, S. Agricultural productivity growth and poverty alleviation. **Development policy review**, Malden, v.19, n.4, p.449-466, 2001.

JAKIEVICIUS, M. **Matas Ciliares e o Meio Ambiente Rural**: uma proposta de trabalho para educadores. São Paulo: SMA/CEA, 2011.

JONES, C.; VOLLRATH, D. **Introdução à teoria do crescimento econômico**. Rio de Janeiro (RJ). Elsevier Brasil, 2016. v.2.

KAGEYAMA, A.; SILVA, J. G. Os resultados da modernização agrícola dos anos 70. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v.13 n.03, p.537-559, set/dez. 1983.

KALECKI, M. Unemployment in under developed countries. Indian journal of labour economics. **Essays on developing countries**, Harvester, v.3, n.2, p.59-61, 1960.

KHUSH, G. S. Green revolution: the way forward. **Nature reviews genetics**, Londres, v.2, n.10, p.815-822, 2001.

KUZNETS, S. **Toward o theory of economic growth with refleccions on the economic growth of nations**. New York: Norton, 1968.

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A.; SANTANA, D. P. Clima e solo. In: CRUZ, J. C. **Cultivo do milho**. 5. ed. Sete Lagoas (MG): Embrapa milho, 2009. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 1).

LAZZARI, F. M.; SOUZA, A. S. Revolução verde: impactos sobre os conhecimentos tradicionais. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITO E CONTEMPORANEIDADE: MÍDIAS E DIREITOS DA SOCIEDADE EM REDE, 4., 2017, Santa Maria-RS. **Anais [...]** Santa Maria-RS, 2017.

LEWIS, W. A. **Theory of economic growth**. Routledge, 2013.

LI, G.; ZHENG, X.; ZHANG, L. Study of agricultural productivity and its convergence across China's regions. **Review of Regional Studies**, Morgantown, v.38, n.3, p.361-379, 2008.

LIRA, R. B., DIAS, N. S.; ALVES, S. M., BRITO, R. F.; SOUSA NETO, O. N. Efeitos dos sistemas de cultivo e manejo da caatinga através da análise dos indicadores químicos de qualidade do solo na produção agrícola em Apodi, RN. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.25, n.3, p.18-24, 2012.

LOBÃO, M. S. P. Notas sobre a economia rural da região norte brasileira. **RDE-Revista de Desenvolvimento Econômico**, Salvador, v.3, n.41, 2019.

LOPES, A. S.; Guilherme, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. **Fertilidade do solo**, Lavras, p.2-64, 2007.

LOPES, J. L. **Avaliação do processo de convergência da produtividade da terra na agricultura brasileira no período de 1960 a 2001**. 2004. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LOPES, M. L. B.; DE PAULA, R. B. S. M. Convergência da produtividade da terra e do trabalho no setor agropecuário da Região Norte do Brasil. **SÉRIE ESTUDOS DE IMPACTOS DO FNO**, Belém, v.3, 2013.

LOUREIRO, F. E. L.; MELAMED, R. G.; FIGUEIREDO NETO, J. D. **Fertilizantes agroindústria & sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009.

MAGALHÃES, W.; CREMON, C.; MAPELI, N. C.; SILVA, W. M.; CARVALHO, J. M.; MOTA, M. S. Determinação da resistência do solo a penetração sob temas de cultivo em um Latossolo sob Bioma Pantanal. **Agrarian**, Dourados, v.2, n.6, p.21-32, 2009.

MALTHUS, T. R. **An Essay on the Principle of Population**. Suwanee (GA). 12th Media Services, 1872.

MARTIN, W.; MITRA, D. Productivity growth and convergence in agriculture versus manufacturing. **Economic Development and Cultural Change**, Ithaka, v.49, n.2, p.403-422, 2001.

MATOS, A. K. V. Revolução verde, biotecnologia e tecnologias alternativas. **Cadernos da FUCAMP**, Monte Carmelo (MG), v.10, n.12, p.1-17, 2011.

MATOS, P. F.; PESSOA, V. L. S. A modernização da agricultura no Brasil e os novos usos do território. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, v.2, n.22, p.290-322, 2011.

MELLOR, J. W. **Agriculture on the Road to Industrialization**. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 1995.

MUCINA, L. Biome: evolution of a crucial ecological and biogeographical concept. **New Phytologist**, Stellenbosch, v.222, n.1, p.97-114, 2019.

MUNOZ HERNANDEZ, R. J.; SILVEIRA, R. I. Efeitos da saturação por bases, relações Ca: Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea mays* L.). **Scientia Agrícola**, São Paulo, v.55, n1, p.79-85, 1998.

MURTAZA, M.; MASOOD, T. Inter-District Variations in Agricultural Productivity in India. **Agricultural Economics Research Review**, Nova Delhi (Índia), v.33, n.2, p.219-228, 2020.

OCTAVIANO, C. Muito além da tecnologia: os impactos da Revolução Verde. **ComCiência**, Campinas, n.120, 2010.

ODHIAMBO, W.; NYANGITO, H. O.; NZUMA, J. Sources and determinants of agricultural growth and productivity in Kenya. **Kenya Institute for Public Policy Research and Analysis**, Nairobi, n.34, 2004.

OLESEN, J. E.; BINDI, M. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. **European journal of agronomy**, Amsterdam, v.16, n.4, p.239-262, 2002.

- OLIVEIRA, M. **A evolução da produtividade no Cerrado**. 2013. Disponível em: <http://www.pioneersementes.com.br/media-center/artigos/160/a-evolucao-da-produtividade-no-cerrado#:~:text=Tomando%20a%20produ%C3%A7%C3%A3o%20dos%20principais,do%20total%20nacional%20no%20per%C3%ADodo>. Acesso em: 22 out. 2020.
- OLUJENYO, F. O. The determinants of agricultural production and profitability in Akoko Land, Ondo-State, Nigeria. **Journal of social Sciences**, Madhya Pradesh, v.4, n.1, p.37-41, 2008.
- PADDOCK, W. **Famine-1975!** America's decision: who will survive? Boston (MA): Boston Little Brown, 1967.
- PARAGUAS, F. J.; DEY, M. M. Aquaculture productivity convergence in India: a spatial econometric perspective. **Agricultural Economics Research Review**, Nova Delhi, v.19, p.121-134, 2006.
- PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, 2015.
- PATEL, R. The long green revolution. **The Journal of Peasant Studies**, Londres, v.40, n.1, p.1-63, 2013.
- PAUDEL, K. P.; SAMBIDI, P. R.; SULGHAM, A. K. A Theoretical Development and Empirical Test on the Convergence of Agricultural Productivity in the USA. **Agricultural and Applied Economics Association**, Colorado, n.377, 2004.
- PAULA, E. G. D. S.; BONELLI, R. O papel do estado na pesquisa agrícola no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.14, n.1, p.9-56, 1997.
- PAVAN, L. S. **Os determinantes da produtividade agrícola dos municípios paranaenses: uma análise de dados espaciais**. 2013. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.
- PEROBELLI, F. S.; ALMEIDA, E. S. D.; ALVIM, M. I. D. S. A.; FERREIRA, P. G. C. Produtividade do setor agrícola brasileiro (1991-2003): uma análise espacial. **Nova economia**, Belo Horizonte, v.17, n.1, p.65-91, 2008.
- PICOLOTTO, E. L. Os atores da construção da categoria agricultura familiar no Brasil. **Revista de economia e sociologia rural**, Brasília, v.52, p.63-84, 2014.
- PINGALI, P. L. Green revolution: impacts, limits, and the path ahead. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Brasília, v.109, n.31, p.12302-12308, 2012.
- QUEIROZ, T.; BATALHA, M. **Modelo de sistema de custeio para propriedades agrícolas familiares**. Rio de Janeiro: ENEGEP - encontro nacional de engenharia de produção, 2004.

QUESNAY, FRANÇOIS. "Fermiers". In: Rolf Kurz (org.) **Quesnay**. São Paulo: Ática, 1984. (Coleção Grandes Cientistas Sociais).

RAHMAN, S. Regional productivity and convergence in Bangladesh agriculture. **The Journal of Developing Areas**, Baltimore, v.41, n.1, p.221-236, 2007.

RAIHER, A. P.; OLIVEIRA, R. A. D.; CARMO, A. S. S. D.; STEGE, A. L. Convergência da Produtividade Agropecuária do Sul do Brasil: uma análise espacial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v.54, n.3, p.517-536, 2016.

REY, S. J.; MONTOURI, B. D. US regional income convergence: a spatial econometric perspective. **Regional studies**, São Diego, v.33, n.2, p.143-156, 1999.

REZITIS, A. N. Agricultural productivity convergence across Europe and the United States of America. **Applied Economics Letters**, Londres, v.12, n.7, p.443-446, 2005.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado**. Brasília: Embrapa, 1998. p.89-166.

RICARDO, D. **Principles of political economy and taxation**. New York: Dover Publications, 1891.

ROCHA, J. D. S. **Leucena**. Brasília: Embrapa, 2013. (INFOTECA-E).

ROSTOW, W. W. The stages of economic growth. **The economic history review**, New York, v.12, n.1, p.1-16, 1959.

SAITH, W.; KAMITANI, E. L. T. Convergência e dinâmica agropecuária: uma análise espacial entre os anos de 1990 e 2013. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, v.14, n.1, 2, 3, 2016.

SALA-I-MARTIN, X. The world distribution of income: falling poverty and convergence, period. **The Quarterly Journal of Economics**, Oxford, v.121, n.2, p.351-397, 2006.

SALA-I-MARTIN, X. X. The classical approach to convergence analysis. **The economic journal**, Oxford, n.117, p.1019-1036, 1996.

SANÉN, N. E. A.; ROMERO, L. Q.; HERNÁNDEZ, R. R. Convergencia espacial y concentración regional agrícola en México 1970-2003 - Problemas del Desarrollo. **Revista Latinoamericana de Economía**, Cidade do México, v.38, n.149, p.79-111, 2007.

SANT'ANA, D. M. **Atividades produtivas**. 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/154234/1/Nosso-Pampa-Desconhecido-2.pdf>. Acesso em: 22 nov.2020.

SCHNEIDER, S.; CASSOL, A. **A agricultura familiar no Brasil**. Porto Alegre: RIMISP, 2013. (Relatório de Pesquisa FIDA POBREZA Y DESIGUALDAD).

SCHUH, G. E. Algumas observações sobre o desenvolvimento da agricultura no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v.26, n.4, p.207-226, 1972.

SCHUH, G. E. The new macroeconomics of agriculture. **American journal of agricultural Economics**, State College, v.58, n.5, p.802-811, 1976.

SERRA, L. S.; MENDES, M. R. F.; SOARES, M.; MONTEIRO, I. P. Revolução Verde: reflexões acerca da questão dos agrotóxicos. **Revista Científica do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável da UNDB**, São Luís (MA), v.1, n.4, 2016.

SHELFORD, V. E. The relative merits of the life zone and biome concepts. **The Wilson Bulletin**, Michigan, v.57, n.4, p.248-252, 1945.

SILVA, M. D. Os cultivos florestais do pampa, no sul do rio grande do sul: desafios, perdas e perspectivas frente ao avanço de novas fronteiras agrícolas. **Floresta**, [s.l.], v.42, n.1, p.215-226, 2012.

SMITH, A. **A riqueza das nações investigação sobre sua natureza e suas causas**. São Paulo: Abril Cultural, 1983. (v.2).

SOLOW, R. M. Technical change and the aggregate production function. **The review of Economics and Statistics**, Cambridge, v.39, n.3, p.312-320, 1957.

SOUZA, C. A.; SOUZA, J. B. Pantanal mato-grossense: origem, evolução e as características atuais. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros Seção**, Três Lagoas, n.11, p.34-54, 2010.

SPOHR, G.; FREITAS, C. A. D. Teste da Convergência do PIB Per capita da Agropecuária no Brasil entre 1980 e 2004. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v.49, n.2, p.341-368, 2011.

STEGE, A. L. **Análise da intensidade agrícola dos municípios de alguns estados brasileiros nos anos de 2000 e 2010**. 2015. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

STUMPF, E. T.; ROMANO, C. M.; BARBIERI, R. L.; HEIDEN, G.; FISCHER, S. Z.; CORRÊA, L. B. Características ornamentais de plantas do Bioma Pampa. **Ornamental Horticulture**, Petrolina, v.15, n.1, p., 2009.

TEIXEIRA, R. F. A. P.; BERTELLA, M. A. Distribuição Espaço-Temporal da Produtividade Média do Café em Minas Gerais: 1997-2006. **Análise Econômica**, Porto Alegre, v.33, n.63, p.1- 25, 2015.

URGESSA, T. The determinants of agricultural productivity and rural household income in Ethiopia. **Ethiopian Journal of Economics**, Addis Ababa, v.24, n.2, p.63-91, 2015.

VASCONCELLOS, C. A.; ALVES, V. M. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; PITTA, G. V. E. **Nutrição e adubação do milho visando obtenção do minimilho**. Brasília: EMBRAPA, 2001. (INFOTECA-E).

VAZ, A. M. R.; BALTAZAR, N. C. O processo de ocupação do território brasileiro: do período colonial à revolução verde. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOGRAFIA DA UAEIGEO/UFG/RC, 4., 2019, Catalão. **Anais [...]** Catalão, 2019.

VILELA, E. F.; CALLEGARO, G. M.; FERNANDES, G. W. **Biomass e agricultura: oportunidades e desafios**. Rio de Janeiro: Vertente, 2019.

VILLASCHI, A. Anos 90: uma década perdida para o sistema nacional de inovação brasileiro? **São Paulo em perspectiva**, São Paulo, v.19, n.2, p.3-20, 2005.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980.

APÊNDICE A – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS DO MODELO.

Tabela 21: Estatísticas descritivas das variáveis: área total explorada, proporção de estabelecimentos com assistência técnica, proporção de estabelecimentos que realizam algum tipo de conservação solo, proporção de estabelecimentos com irrigação, trabalhador por hectares, tratores por hectares, crédito por hectares e Gini da Terra para os anos de 1995 e 2017.

(continua)

AMAZÔNIA						
Variável	Média	Variância	Desvio-Padrão	Coefficiente De variação	Máximo	Mínimo
$\frac{PT_{2017}}{PT_{1995}}$	3,34	5,48	2,34	0,70	13,78	-1,67
$AREA_{1995}$	641739,7	36816957	606769,8	0,940	3562605	3193,19
ASS_TEC_{1995}	0,080	0,007	0,085	0,987	0,408	0,001
$CRED_{1995}$	19,608	623,254	24,965	1,268	159,347	0
$TRATOR_{1995}$	0,030	0,002	0,053	1,742	0,305	0
$GINI_{1995}$	0,764	0,011	0,107	0,141	0,946	0,446
$IRRI_{1995}$	0,008	0,000	0,016	1,857	0,119	0
L_{1995}	0,132	0,070	0,266	2,009	1,718	0,006
$SOLO_{1995}$	0,010	0,000	0,022	2,059	0,167	0
$AREA_{2017}$	724957,6	58103775	762258,3	1,051	3640014	2649
ASS_TEC_{2017}	0,014	0,005	0,072	0,634	0,365	0,011
$CRED_{2017}$	2141,69	0,027	8757,22	4,0889	61206,28	0
$TRATOR_{2017}$	0,2106	0,016	0,128	1,199	0,868	0
$GINI_{2017}$	0,791	0,007	0,086	0,109	0,954	0,554
$IRRI_{2017}$	0,067	0,007	0,084	1,250	0,483	0,004

Tabela 21: Estatísticas descritivas das variáveis: área total explorada, proporção de estabelecimentos com assistência técnica, proporção de estabelecimentos que realizam algum tipo de conservação solo, proporção de estabelecimentos com irrigação, trabalhador por hectares, tratores por hectares, crédito por hectares e Gini da Terra para os anos de 1995 e 2017.

(Continuação)

AMAZÔNIA						
Variável	Média	Variância	Desvio- Padrão	Coefficiente De variação	Máximo	Mínimo
L_{2017}	0,204	0,180	0,424	2,076	2,799	0,007
$SOLO_{2017}$	0,3087	0,027	0,164	0,532	0,091	0,001
(continua)						
CERRADO						
Variável	Média	Variância	Desvio- Padrão	Coefficiente De variação	Máximo	Mínimo
$\frac{PT_{2017}}{PT_{1995}}$	3,01	7,96	2,82	0,93	20,50	-1,80
$AREA_{1995}$	990550	59239332	769670,9	0,777	3759,38	51740,23
ASS_TEC_{1995}	0,306	0,047	0,217	0,709	0,819	0
$CRED_{1995}$	104,655	56797,54	2383223	2,277	196224	0
$TRATOR_{1995}$	0,107	0,106	0,326	1,465	1,921	0
$GINI_{1995}$	0,740	0,007	0,087	0,115	0,954	0,607
$IRRI_{1995}$	0,039	0,005	1,325	1,325	0,583	0
L_{1995}	0,027	0,007	0,084	1,775	0,772	0,002
$SOLO_{1995}$	0,155	0,059	0,243	1,030	0,828	0
$AREA_{2017}$	900202,5	544340729	737794,5	0,819	3509068	37067
ASS_TEC_{2017}	0,256	0,029	0,171	0,670	0,769	0,016
$CRED_{2017}$	2625,096	19649222	14017,57	5,3398	126786,3	19220,92
$TRATOR_{2017}$	0,310	0,090	0,301	0,971	1,683	0,037

Tabela 21: Estatísticas descritivas das variáveis: área total explorada, proporção de estabelecimentos com assistência técnica, proporção de estabelecimentos que realizam algum tipo de conservação solo, proporção de estabelecimentos com irrigação, trabalhador por hectares, tratores por hectares, crédito por hectares e Gini da Terra para os anos de 1995 e 2017.

(Continuação)

CERRADO						
Variável	Média	Variância	Desvio-Padrão	Coefficiente De variação	Máximo	Mínimo
$GINI_{2017}$	0,808	0,004	0,068	0,085	0,968	0,658
$IRRI_{2017}$	0,084	0,007	0,084	0,988	0,519	0,008
L_{2017}	0,057	0,010	0,103	1,823	0,900	0,003
$SOLO_{2017}$	0,480	0,028	0,168	0,350	0,817	0,024
CAATINGA						
Variável	Média	Variância	Desvio-Padrão	Coefficiente De variação	Máximo	Mínimo
$\frac{PT_{2017}}{PT_{1995}}$	1,51	13,28	3,64	2,40	30,10	-1,37
$AREA_{1995}$	342956	96671407	310920,3	0,906	134,915	15918,49
ASS_TEC_{1995}	0,048	0,002	0,051	1,044	0,331	0
$CRED_{1995}$	37,22	1950,212	44,16	1,186	342,83	0
$TRATOR_{1995}$	0,045	0,001	44,16	1,186	0,316	0
$GINI_{1995}$	0,812	0,003	0,055	0,649	0,055	0,033
$IRRI_{1995}$	0,063	0,006	0,080	1,206	0,387	0
L_{1995}	0,138	0,009	0,097	0,699	0,536	0,026
$SOLO_{1995}$	0,076	0,018	0,136	1,206	0,387	0
$AREA_{2017}$	252743,1	57286139	239345,2	0,9469	1121404	4852
ASS_TEC_{2017}	0,113	0,005	0,076	0,675	0,455	0,018
$CRED_{2017}$	17868,43	14905489	122088	6,832	1177442	14,446

Tabela 21: Estatísticas descritivas das variáveis: área total explorada, proporção de estabelecimentos com assistência técnica, proporção de estabelecimentos que realizam algum tipo de conservação solo, proporção de estabelecimentos com irrigação, trabalhador por hectares, tratores por hectares, crédito por hectares e Gini da Terra para os anos de 1995 e 2017.

(Continuação)

CAATINGA						
Variável	Média	Variância	Desvio-Padrão	Coefficiente De variação	Máximo	Mínimo
$TRATOR_{2017}$	0,110	0,010	0,100	0,904	0,543	0
$GINI_{2017}$	0,798	0,003	0,060	0,075	0,912	0,640
$IRRI_{2017}$	0,105	0,006	0,079	0,759	0,446	0,006
L_{2017}	0,201	0,020	0,141	0,702	0,747	0,029
$SOLO_{2017}$	0,630	0,038	0,195	0,310	0,962	0,123
MATA ATLÂNTICA						
Variável	Média	Variância	Desvio-Padrão	Coefficiente De variação	Máximo	Mínimo
$\frac{PT_{2017}}{PT_{1995}}$	2,44	138,44	11,76	4,80	179,43	-1,27
$AREA_{1995}$	290954,2	91006647	301673,1	1,036	2113046	16,891
ASS_TEC_{1995}	0,327	0,040	0,202	0,618	1,265	0,011
$CRED_{1995}$	141,097	49409,91	222,28	1,575	2648,67	0
$TRATOR_{1995}$	0,544	0,381	0,617	1,133	3,475	0
$GINI_{1995}$	0,719	0,010	0,103	0,143	0,938	0,442
$IRRI_{1995}$	0,104	0,017	0,133	1,283	0,870	0
L_{1995}	0,115	0,008	0,094	0,823	1,006	0,013
$SOLO_{1995}$	0,285	0,049	0,221	0,777	0,832	0
$AREA_{2017}$	248209,8	76697967	282308,3	1,137	2438823	13
ASS_TEC_{2017}	248209,8	76697967	282308,3	1,137	2438823	13

Tabela 21: Estatísticas descritivas das variáveis: área total explorada, proporção de estabelecimentos com assistência técnica, proporção de estabelecimentos que realizam algum tipo de conservação solo, proporção de estabelecimentos com irrigação, trabalhador por hectares, tratores por hectares, crédito por hectares e Gini da Terra para os anos de 1995 e 2017.

(Continuação)

MATA ATLÂNTICA						
Variável	Média	Variância	Desvio-Padrão	Coeficiente De variação	Máximo	Mínimo
$CRED_{2017}$	22903,62	471672488	217180,2	9,4823	2574373	0
$TRATOR_{2017}$	0,931	0,983	0,991	1,064	7,485	0
$GINI_{2017}$	0,759	0,009	0,098	0,129	0,973	0,498
$IRRI_{2017}$	0,150	0,025	0,159	1,055	0,832	0,010
L_{2017}	0,141	0,028	0,167	1,187	2,153	0,020
$SOLO_{2017}$	0,557	0,040	0,200	0,359	0,965	0,0110
PAMPA						
Variável	Média	Variância	Desvio-Padrão	Coeficiente De variação	Máximo	Mínimo
$\frac{PT_{2017}}{PT_{1995}}$	1,90	0,23	0,48	0,25	3,02	1,26
$AREA_{1995}$	850743,7	35064044	592149	0,6960	2577925	240633,8
ASS_TEC_{1995}	0,298	0,025	0,159	0,534	0,065	0
$CRED_{1995}$	96,823	4290,523	65,502	0,676	229,243	0
$TRATOR_{1995}$	0,368	0,037	0,194	0,529	0,662	0,061
$GINI_{1995}$	0,763	0,001	0,042	0,055	0,867	0,680
$IRRI_{1995}$	0,094	0,002	0,052	0,552	0,170	0
L_{1995}	0,039	0,000	0,022	0,575	0,074	0,012
$SOLO_{1995}$	0,224	0,019	0,138	0,618	0,526	0
$AREA_{2017}$	829647,1	37828509	615048,9	0,741	2619805	213202

Tabela 21: Estatísticas descritivas das variáveis: área total explorada, proporção de estabelecimentos com assistência técnica, proporção de estabelecimentos que realizam algum tipo de conservação solo, proporção de estabelecimentos com irrigação, trabalhador por hectares, tratores por hectares, crédito por hectares e Gini da Terra para os anos de 1995 e 2017.

(Continuação)

PAMPA						
Variável	Média	Variância	Desvio-Padrão	Coefficiente De variação	Máximo	Mínimo
<i>ASS_TEC</i> ₂₀₁₇	0,373	0,009	0,096	0,257	0,539	0,236
<i>CRED</i> ₂₀₁₇	976,447	527599,9	726,360	0,743	3243,59	357,730
<i>TRATOR</i> ₂₀₁₇	0,651	0,140	0,374	0,574	0,275	0,247
<i>GINI</i> ₂₀₁₇	0,790	0,001	0,035	0,045	0,862	0,707
<i>IRRI</i> ₂₀₁₇	0,097	0,002	0,053	0,555	0,200	0,021
<i>L</i> ₂₀₁₇	0,040	0,000	0,024	0,614	0,084	0,012
<i>SOLO</i> ₂₀₁₇	0,729	0,014	0,021	0,166	0,884	0,530
PANTANAL						
Variável	Média	Variância	Desvio-Padrão	Coefficiente De variação	Máximo	Mínimo
$\frac{PT_{2017}}{PT_{1995}}$	1,56	0,07	0,27	0,17	1,87	1,36
<i>AREA</i> ₁₉₉₅	2633716	4,249	20611361	0,782	4997308	1208435
<i>ASS_TEC</i> ₁₉₉₅	0,371	0,012	0,111	0,299	4997308	1208435
<i>CRED</i> ₁₉₉₅	14,676	143,334	11,972	0,815	26,462	2,526
<i>TRATOR</i> ₁₉₉₅	0,060	0,001	0,039	NA	0,097	0,019
<i>GINI</i> ₁₉₉₅	0,824	0,008	0,090	0,110	0,016	0,735
<i>IRRI</i> ₁₉₉₅	0,044	0,000	0,030	0,697	0,078	0,019
<i>L</i> ₁₉₉₅	0,008	0,000	0,008	1,005	0,018	0,001
<i>SOLO</i> ₁₉₉₅	0,009	1,007	0,003	0,325	0,011	0,006

Tabela 21: Estatísticas descritivas das variáveis: área total explorada, proporção de estabelecimentos com assistência técnica, proporção de estabelecimentos que realizam algum tipo de conservação solo, proporção de estabelecimentos com irrigação, trabalhador por hectares, tratores por hectares, crédito por hectares e Gini da Terra para os anos de 1995 e 2017.

(Conclusão)

PANTANAL						
Variável	Média	Variância	Desvio- Padrão	Coeficiente De variação	Máximo	Mínimo
<i>AREA</i> ₂₀₁₇	2407260	2,548	1596296	0,663	4238285	1308248
<i>ASS_TEC</i> ₂₀₁₇	0,239	0,004	0,065	0,275	0,315	0,199
<i>CRED</i> ₂₀₁₇	278,742	89711,29	299,518	1,074	621,958	70,210
<i>TRATOR</i> ₂₀₁₇	0,080	0,002	0,051	NA	0,134	0,031
<i>GINI</i> ₂₀₁₇	0,851	0,001	0,040	0,048	0,897	0,820
<i>IRRI</i> ₂₀₁₇	0,450	0,016	0,129	0,286	0,594	0,342
<i>L</i> ₂₀₁₇	0,008	0,002	0,051	NA	0,134	0,031
<i>SOLO</i> ₂₀₁₇	0,046	0,001	0,041	0,889	0,094	0,021

Fonte: A autora.

APÊNDICE B: RESULTADOS DOS MODELOS DE CONVERGÊNCIA ABSOLUTA PARA O BRASIL E POR REGIMES ESPACIAIS.

Tabela 22 : Resultados econométricos dos modelos de defasagem espacial, de Durbin espacial e Durbin Espacial do Erro

Variáveis/ Testes	SAR	DURBIN ESPACIAL	DURBIN ESPACIAL DO ERRO
α	3,194*** (0,485)	3,420*** (0,645)	2,185*** (0,235)
β	-0,225*** (0,036)	-0,192** (0,043)	-0,224*** (0,028)
ρ	-0,873*** (0,324)		
λ			0,4513*** (0,0383)
$W \ln P T 1995$		-0,059 (0,064)	0,028 (0,037)
AIC	784,962	781,181	761,318
SC	797,836	798,347	774,193

Fonte: A autora.

Notas: *** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%, valores em parênteses correspondem ao desvio padrão

Tabela 23: Resultado econométricos do modelo de defasagem espacial com regimes espaciais

Variáveis/ Testes	Amazônia	Cerrado	Caatinga	Mata Atlântica
α	1,9224*** (0,3094)	1,8510*** (0,2766)	0,7865 (0,8027)	2,6712** (1,0679)
β	-0,2100*** (0,0510)	-0,1718*** (0,0433)	0,0608 (0,1236)	-0,1775* (0,1066)
ρ		-0,6080 (0,4920)		
AIC		740,619		
SC		779,243		

Fonte: A autora..

Nota: *** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%, valores em parênteses correspondem ao desvio padrão.

Tabela 24: Resultado econométricos do modelo de Durbin espacial com regimes espaciais

(Continua)

Variáveis/ Testes	Amazônia	Cerrado	Caatinga	Mata Atlântica
α	1,7172*** (0,4740)	1,7262*** (0,3134)	-0,0506 (0,5568)	2,4330*** (0,3724)
β	-0,2324*** (0,0667)	-0,2261*** (0,0870)	-0,0132 (0,0860)	-0,2243*** (0,0453)
$W \ln P T 1995$	0,0564 (0,1051)	0,0737 (0,1005)	0,1476 (0,1203)	0,0101 (0,0476)

Tabela 24: Resultado econométricos do modelo de Durbin espacial com regimes espaciais

Variáveis/ Testes	(Conclusão)			
	Amazônia	Cerrado	Caatinga	Mata Atlântica
ρ		-0,0517 (0,1736)		
AIC		745,510		
SC		801,300		

Fonte: A autora.

Notas: *** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%, valores em parênteses correspondem ao desvio padrão .

Tabela 25: Resultado econométricos do modelo de Durbin espacial do erro com regimes espaciais

Variáveis/ Testes	Amazônia	Cerrado	Caatinga	Mata Atlântica
α	2,2861*** (0,6092)	2,5538*** (0,4952)	-0,5721 (0,9204)	3,5288*** (0,0453)
β	-0,2368*** (0,0621)	-0,2169*** (0,0818)	-0,0215 (0,1013)	-0,3209*** (0,0407)
$W \ln PT1995$	0,0227 (0,1114)	-0,0072 (0,1117)	0,2939 (0,1602)	-0,0571 (0,0474)
λ		0,4007*** (0,0411)		
AIC		719,070		
SC		770,569		

Fonte: A autora.

Notas: *** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%, valores em parênteses correspondem ao desvio padrão.

APÊNDICE C – RESULTADOS DOS MODELOS DE CONVERGÊNCIA CONDICIONAL PARA O BRASIL E POR REGIMES ESPACIAIS.

Tabela 26: Resultados econométricos do modelo de convergência condicional de defasagem espacial para o Brasil.

Variáveis/ Testes	Brasil
α	2,607*** (0,2359)
β	-0,2543*** (0,0249)
<i>LNAREA</i>	-0,0010 (0,0045)
<i>LNASS_TEC</i>	-0,006* (0,0128)
<i>LNCRED</i>	0,0223* (0,0128)
<i>LNTRATOR</i>	0,1316*** (0,0160)
<i>LNGINI</i>	-0,0206* (0,0118)
<i>LNIRRI</i>	0,0145 (0,0118)
<i>LNL</i>	0,0014 (0,0128)
<i>LNSOLO</i>	0,0171 (0,0211)
ρ	0,1994** (0,0981)
AIC	703,277
SC	750,484

Fonte: A autora.

Notas: *** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%, valores em parênteses correspondem ao desvio padrão

Tabela 27: Resultados econométricos do modelo regressivo cruzado espacial de convergência condicional espacial para o Brasil.

Variáveis/ Testes	(Contínua)
	Brasil
α	2,956*** (0,2334)
β	-0,2916*** (0,0257)
<i>LNAREA</i>	-0,0053 (0,0054)
<i>LNASS_TEC</i>	-0,0117 (0,0138)
<i>LNCRED</i>	0,0100 (0,0140)
<i>LNTRATOR</i>	0,0976*** (0,0180)
<i>LNGINI</i>	-0,0154 (0,0128)
<i>LNIRRI</i>	0,0219* (0,0129)
<i>LNL</i>	0,0046 (0,0137)
<i>LNSOLO</i>	0,0210 (0,0240)
<i>WLNAREA</i>	0,0671*** (0,0256)
<i>WLNASS_TEC</i>	-0,0053 (0,0263)
<i>WLNCRED</i>	0,0671*** (0,0256)
<i>WLNTRATOR</i>	0,0929*** (0,0281)
<i>WLNGINI</i>	0,0235 (0,0253)
<i>WLNIRRI</i>	-0,0251 (0,0227)

Tabela 27: Resultados econométricos do modelo regressivo cruzado espacial de convergência condicional espacial para o Brasil.

(Conclusão)

Variáveis/ Testes	Brasil
<i>WLNL</i>	-0,0554** (0,0257)
<i>WLNSOLO</i>	-0,0439 (0,0450)
AIC	713,369
SC	790,617

Fonte: A autora.

Notas: *** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%, valores em parênteses correspondem ao desvio padrão.

Tabela 28: Resultados econométricos do modelo de durbin espacial de convergência condicional para o brasil.

(Contínua)	
Variáveis/ Testes	Brasil
α	2,9911*** (0,2920)
β	-0,2940*** (0,0283)
<i>LNAREA</i>	-0,0051 (0,0054)
<i>LNASS_TEC</i>	-0,0119 (0,0136)
<i>LNCRED</i>	0,0103 (0,0139)
<i>LNTRATOR</i>	0,0981*** (0,0180)
<i>LNGINI</i>	-0,0155 (0,0126)
<i>LNIRRI</i>	0,0218* (0,0128)
<i>LNL</i>	0,0043 (0,0137)
<i>LNSOLO</i>	0,0206 (0,0238)
<i>WLNAREA</i>	0,0179** (0,0087)
<i>WLNASS_TEC</i>	-0,0061 (0,0263)
<i>WLNCRED</i>	0,0677*** (0,0255)
<i>WLNTRATOR</i>	0,0957*** (0,0313)
<i>WLNGINI</i>	0,0244 (0,0255)
<i>WLNIRRI</i>	-0,0253 (0,0224)
<i>WLNL</i>	-0,0567** (0,0262)

Tabela 28: Resultados econométricos do modelo de durbin espacial de convergência condicional para o brasil.

(Conclusão)	
Variáveis/ Testes	Brasil
<i>WLNSOLO</i>	-0,0439 (0,0444)
ρ	-0,2160 (0,1126)
AIC	699,203
SC	780,743

Fonte: A autora.

Notas: *** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%, valores em parênteses correspondem ao desvio padrão.

Tabela 29 : Resultados econométricos do modelo de durbin espacial do erro de convergência condicional para o brasil.

(Contínua)	
Variáveis/ Testes	Brasil
α	3,0509*** (0,2518)
β	-0,3015*** (0,0270)
<i>LNAREA</i>	-0,0071 (0,0050)
<i>LNASS_TEC</i>	-0,0101 (0,0130)
<i>LNCRED</i>	0,0110 (0,0132)
<i>LNTRATOR</i>	0,0986*** (0,0167)
<i>LNGINI</i>	-0,0136** (0,0122)
<i>LNIRRI</i>	0,0219 (0,0122)
<i>LNL</i>	0,0089 (0,0129)
<i>LNSOLO</i>	0,0248 (0,0226)
<i>WLNAREA</i>	0,0150* (0,0089)
<i>WLNASS_TEC</i>	0,0090 (0,0272)
<i>WLNCRED</i>	0,0663*** (0,0273)
<i>WLNTRATOR</i>	0,0803*** (0,0291)
<i>WLNGINI</i>	0,0046 (0,0273)
<i>WLNIRRI</i>	-0,0235 (0,0239)
<i>WLNL</i>	-0,0400 (0,0271)

Tabela 29 : Resultados econométricos do modelo de durbin espacial do erro de convergência condicional para o brasil.

(Conclusão)	
Variáveis/ Testes	Brasil
<i>WLNSOLO</i>	-0,0494 (0,0473)
λ	0,2718*** (0,0473)
AIC	690,640
SC	767,888

Fonte: A autora.

Notas: *** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%, valores em parênteses correspondem ao desvio padrão.

Tabela 30: Resultados econométricos do modelo de defasagem espacial com regimes espaciais

Variáveis/ Testes	Amazônia	Cerrado	Caatinga	Mata Atlântica
α	3,0509*** (0,5248)	2,1753*** (0,4109)	1,0975 (0,9271)	3,3981*** (0,8409)
β	-0,3008*** (0,0536)	-0,2295*** (0,0461)	-0,0196 (0,1175)	-0,3601*** (0,1051)
LNAREA	-0,0195*** (0,0102)	-0,0012 (0,0090)	0,0019 (0,0114)	-0,0038 (0,0072)
LNASS_TEC	0,0017 (0,0266)	-0,0246 (0,0220)	-0,0044 (0,0271)	0,0019 (0,0190)
LNCREC	0,0551** (0,0258)	0,0442 (0,0282)	-0,0512** (0,0205)	0,0727*** (0,0294)
LNTRATOR	0,0922*** (0,0307)	0,1114*** (0,0313)	0,1147** (0,0474)	0,0995*** (0,0245)
LNGINI	-0,0104 (0,0225)	-0,0218 (0,0287)	-0,0048 (0,0136)	0,0122 (0,0257)
LNIRRI	0,0520 (0,0482)	0,0242 (0,0173)	0,0657** (0,0309)	0,0043 (0,0123)
LNL	0,0048 (0,0231)	-0,0529** (0,0245)	0,0133 (0,0232)	0,0358 (0,0231)
LNSOLO	0,0026 (0,0438)	-0,0268 (0,0369)	0,0022 (0,556)	0,0587** (0,0240)
ρ		0,3517*** (0,0953)		
AIC		685,709		

Fonte: A autora.

Nota: *** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%, valores em parênteses correspondem ao desvio padrão.

Tabela 31: Resultados econométricos do modelo regressivo cruzado espacial com regimes espaciais

(Continua)				
Variáveis/ Testes	Amazônia	Cerrado	Caatinga	Mata Atlântica
α	3,9305*** (0,6288)	2,1983*** (0,7409)	0,8559 (0,6739)	4,3506*** (0,3815)
β	-0,3428*** (0,0759)	-0,2937*** (0,0652)	0,0422 (0,0733)	-0,4170*** (0,0415)
LNAREA	-0,02565** (0,0117)	-0,0058 (0,0160)	-0,0037 (0,0163)	-0,0036 (0,0078)
LNASS_TEC	-0,0000 (0,0368)	-0,0331 (0,0300)	-0,0003 (0,0374)	0,0011 (0,0192)
LNCREC	0,0599 (0,0406)	0,0567 (0,0346)	-0,0584** (0,0236)	0,0329 (0,0234)
LNTRATOR	0,1020*** (0,0380)	0,0743 (0,0614)	0,1152*** (0,0377)	0,0738*** (0,0274)
LNGINI	-0,0028 (0,0325)	-0,0331 (0,0331)	0,0043 (0,0236)	0,0099 (0,0215)
LNIRRI	0,0878 (0,0641)	0,0129 (0,0264)	0,0759*** (0,0287)	0,0128 (0,0183)
LNL	-0,0022 (0,0328)	-0,0213 (0,0355)	0,0186 (0,0263)	0,0254 (0,0243)
LNSOLO	0,0301 (0,0699)	-0,0655 (0,0571)	0,0044 (0,0914)	0,0342 (0,0290)
WLNAREA	0,0052 (0,0240)	0,0570** (0,0234)	0,0916*** (0,0329)	-0,0157 (0,0130)
WLNASS_TEC	0,0565 (0,0788)	-0,0046 (0,0624)	-0,0204 (0,0828)	0,0293 (0,0389)
WLNCRED	0,0278 (0,0773)	0,1749** (0,0743)	0,0280 (0,0455)	0,1599*** (0,0446)
WLNTRAT	0,1445* (0,0871)	0,0799 (0,1025)	0,0099 (0,0673)	0,0514 (0,0452)
WLNGINI	0,0349 (0,0886)	-0,0084 (0,0750)	-0,0050 (0,0443)	-0,0198 (0,0444)
WLNIRRI	-0,0439 (0,1017)	-0,0526 (0,0497)	0,1306** (0,0644)	-0,0276 (0,0316)

Tabela 31: Resultados econométricos do modelo regressivo cruzado espacial com regimes espaciais
(Conclusão)

Variáveis/ Testes	Amazônia	Cerrado	Caatinga	Mata Atlântica
WLNL	-0,0727 (0,0798)	-0,2110*** (0,0644)	-0,0975** (0,0548)	0,0909** (0,0439)
WLNSOLO	-0,1517 (0,1602)	0,0014 (0,1141)	-0,2195 (0,1484)	0,0663 (0,0626)
AIC		686,629		
SC		995,622		

Fonte: A autora.

Nota: *** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%, valores em parênteses correspondem ao desvio padrão.

Tabela 32: Resultados econométricos do modelo de Durbin espacial com regimes espaciais

(Continua)

Variáveis/ Testes	Amazônia	Cerrado	Caatinga	Mata Atlântica
α	3,6175*** (0,6194)	1,9632*** (0,7047)	0,7429 (0,0694)	4,2149*** (0,3651)
β	-0,3294*** (0,0710)	-0,2634*** (0,0638)	0,0388 (0,0680)	-0,4161*** (0,0385)
LNAREA	-0,0262*** (0,0109)	-0,0048 (0,0149)	-0,0056 (0,0152)	-0,0041 (0,0072)
LNASS_TEC	0,0042 (0,0342)	-0,0343 (0,0279)	0,0048 (0,0348)	0,0007 (0,0178)
LNCREC	0,0566 (0,0377)	0,0487 (0,0325)	-0,0566*** (0,0219)	0,0320 (0,0217)
LNTRATOR	0,0953*** (0,0355)	0,0773 (0,0569)	0,1169*** (0,0349)	0,0730*** (0,0254)
LNGINI	0,0017 (0,0303)	-0,0274 (0,0309)	-0,0009 (0,0220)	0,0113 (0,0200)
LNIRRI	0,0874 (0,0595)	0,0141 (0,0245)	0,0724*** (0,0267)	0,0129 (0,0170)
LNL	-0,0031 (0,0284)	-0,0188 (0,0329)	0,0233 (0,0245)	0,0258 (0,0225)
LNSOLO	0,0283 (0,0652)	-0,0652 (0,0529)	0,0148 (0,0851)	0,0385 (0,0270)
WLNAREA	0,0089 (0,0224)	0,0492** (0,0223)	0,0937*** (0,0306)	-0,0159 (0,0121)
WLNASS_TEC	0,0584 (0,0731)	-0,0067 (0,0579)	-0,0075 (0,0773)	0,0321 (0,0361)
WLNCRED	0,0365 (0,0719)	0,1660** (0,0691)	0,0318 (0,0423)	0,1428*** (0,0429)
WLNTRAT	0,1249 (0,0818)	0,0699 (0,0952)	-0,0105 (0,0639)	0,0382 (0,0428)
WLNGINI	0,0508 (0,0828)	0,0073 (0,0695)	-0,0138 (0,0414)	-0,0128 (0,0414)
WLNIRRI	-0,0404 (0,0943)	-0,0461 (0,0463)	0,1121* (0,0609)	-0,0291 (0,0293)

Tabela 32: Resultados econométricos do modelo de Durbin espacial com regimes espaciais

(Conclusão)

Variáveis/ Testes	Amazônia	Cerrado	Caatinga	Mata Atlântica
WLNL	-0,0802 (0,0742)	-0,1973*** (0,0618)	-0,0870* (0,0513)	0,0922** (0,0407)
WLNSOLO	-0,1716 (0,0742)	0,0168 (0,1063)	-0,2039 (0,1380)	0,0540 (0,0582)
ρ		0,1496 (0,1000)		
AIC		685,671		
SC		998,956		

Fonte: A autora.

Nota: *** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%, valores em parênteses correspondem ao desvio padrão.

Tabela 33: Resultados econométricos do modelo de Durbin espacial do erro com regimes espaciais
(Continua)

Variáveis/ Testes	Amazônia	Cerrado	Caatinga	Mata Atlântica
α	3,9619*** (0,6123)	2,1634*** (0,7066)	9556 (0,6398)	4,4471*** (0,3623)
β	-0,3462*** (0,0716)	-0,2871*** (0,0656)	0,0299 (0,0691)	-0,4261*** (0,0388)
LNAREA	-0,0253*** (0,0110)	-0,0036 (0,0146)	-0,0053 (0,0150)	-0,0045 (0,0071)
LNASS_TEC	0,0014 (0,0339)	-0,0339 (0,0278)	0,0040 (0,0343)	0,0006 (0,0176)
LNCREC	0,0586 (0,0375)	0,0565* (0,0320)	-0,0552** (0,0215)	0,0332 (0,0216)
LNTRATOR	0,0991*** (0,0349)	0,0783 (0,0560)	0,1171*** (0,0346)	0,0751*** (0,0250)
LNGINI	0,0036 (0,0299)	-0,0301 (0,0306)	-0,0001 (0,0219)	-0,0111 (0,0198)
LNIRRI	0,0885 (0,0587)	0,0126 (0,0246)	0,0716*** (0,0264)	0,0131 (0,0167)
LNL	-0,0010 (0,0279)	-0,0243 (0,0326)	0,0211 (0,0244)	0,0272 (0,0222)
LNSOLO	0,0283 (0,0643)	-0,0665 (0,0519)	0,0113 (0,0832)	0,0393 (0,0267)
WLNAREA	0,0059 (0,0227)	0,0545** (0,0219)	0,0994*** (0,0312)	-0,0162 (0,0126)
WLNASS_TEC	0,0579 (0,0750)	-0,0086 (0,0587)	-0,0071 (0,0779)	0,0337 (0,0367)
WLNCREC	0,0333 (0,0726)	0,1699** (0,0698)	0,0348 (0,0438)	0,1572*** (0,0432)
WLNTRAT	0,1327 (0,0823)	0,0795 (0,959)	0,0120 (0,0636)	0,0497 (0,0437)
WLNGINI	0,0441 (0,0827)	0,0063 (0,1068)	-0,0199 (0,0422)	-0,0217 (0,0427)
WLNIRRI	-0,0405 (0,0965)	-0,0523 (0,0467)	0,1224** (0,0618)	-0,0276 (0,0300)

Tabela 33: Resultados econométricos do modelo de Durbin espacial do erro com regimes espaciais

Variáveis/ Testes	(Conclusão)			
	Amazônia	Cerrado	Caatinga	Mata Atlântica
WLNL	-0,0703 (0,0733)	-0,2181*** (0,0613)	-0,0904* (0,0526)	0,0996** (0,0422)
WLNSOLO	-0,1580 (0,1517)	0,0063 (0,1068)	-0,2080 (0,1400)	0,0637 (0,0595)
λ		0,1298*** (0,0603)		
AIC		680,735		
SC		989,728		

Fonte: A autora.

Nota: *** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%, valores em parênteses correspondem ao desvio padrão.