



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA RURAL

ANTONIA GISLAYNE MOREIRA ALVES

DEGRADAÇÃO AMBIENTAL E DESENVOLVIMENTO RURAL NO BRASIL

FORTALEZA

2022

ANTONIA GISLAYNE MOREIRA ALVES

DEGRADAÇÃO AMBIENTAL E DESENVOLVIMENTO RURAL NO BRASIL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Rural da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Economia Rural. Área de Concentração: Economia de Recursos Naturais e Política Ambiental (ERNPA).

Orientador: Prof. Dr. Kilmer Coelho Campos

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- A477d Alves, Antonia Gislayne Moreira.
Degradação ambiental e desenvolvimento rural no Brasil / Antonia Gislayne Moreira Alves. – 2022.
73 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, Fortaleza, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Kilmer Coelho Campos .
1. Degradação ambiental. 2. Desenvolvimento rural. 3. Brasil. I. Título.
- CDD 338.1
-

ANTONIA GISLAYNE MOREIRA ALVES

DEGRADAÇÃO AMBIENTAL E DESENVOLVIMENTO RURAL NO BRASIL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Rural da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Economia Rural. Área de Concentração: Economia de Recursos Naturais e Política Ambiental (ERNPA).

Aprovada em: 24/02/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Kilmer Coelho Campos (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José de Jesus Sousa Lemos
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Carlos Alberto Piacenti
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)

AGRADECIMENTOS

Bendigo a Deus por Sua divina providência que me trouxe até aqui e me permite concluir mais uma fase na minha vida. Bendigo a Deus porque em todo o tempo me sustentou e não cansou de demonstrar Sua bondade e, também, ao ter me dado Nossa Senhora de Fátima como luz do Seu auxílio desde o princípio. Bendigo a Deus porque nunca foi somente uma realização profissional, mas muito além... **Ele sempre supera tudo.**

Agradeço aos meus pais, Ademar Alves Neto e Maria da Conceição Moreira Alves, por serem os primeiros a acreditarem em mim e me sustentarem, com amor gratuito, quando não podia recompensá-los por tanto. Agradeço aos meus irmãos, Gislyanne Moreira Alves e Ademar Alves Junior, por serem desde sempre motivação e alegria para que eu pudesse buscar ir mais longe.

A amizade é fonte de alegria e descanso. Agradeço à Lilian Medeiros porque sempre esteve comigo, desde a graduação. À Gércia Cunha, por termos partilhado momentos de alegria, de muitas noites em claro e por ser aquela voz que insiste em me dizer: Você é capaz! E, juntamente com Naiara Ires, Analice Sampaio e Odalice Sampaio termos dividido as contas, as dificuldades, as esperanças: a vida. À Cléssia Lima e Ediglê Alcântara que também fazem parte dos tesouros que encontrei nesse caminho.

Ninguém caminha sozinho e, foi muito importante para que eu chegasse até aqui a amizade, o cuidado e a oração de vocês: Monique Maciel, Nayane Alves, Juliana Beatriz, Karine Medeiros, Ivone Costa e Leiliana Oliveira. Agradeço muito a Deus por ter vocês.

Ao professor Doutor Kilmer Coelho Campos, por ter abraçado o desenvolvimento desse trabalho como orientador, pelos ensinamentos e contribuições. Aos professores doutores José de Jesus Sousa Lemos e Carlos Alberto Piacenti, membros da banca examinadora, pela disponibilidade e colaboração.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Economia Rural e à Universidade Federal do Ceará. Agradeço ainda ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

RESUMO

Diante da preocupação mundial a respeito da intervenção humana sobre o meio ambiente, a degradação ambiental está entre as principais temáticas investigadas devido aos seus prejuízos ambientais, sociais e econômicos. No Brasil, a agropecuária é considerada como uma das atividades que mais ocasionam esse desgaste. A presente dissertação é abordada em dois ensaios. O primeiro, denominado “Degradação ambiental e a agropecuária no Brasil”, teve como objetivo principal mensurar a proporção de degradação ambiental resultante da agropecuária a partir da aplicação do Índice Geral de Degradação Ambiental Agropecuária (IGDAA) e, com base neste, agrupar os municípios similares. Os dados são provenientes do Censo Agropecuário (2017) e aplicadas as técnicas de análise fatorial e *clusters*. Foram encontrados quatro fatores de degradação, a saber: potencial de desgaste do solo pelas tecnologias mecânicas, bioquímicas e pela desinformação (F1), potencial de desgaste do solo, água e saúde pelo não preparo da terra e agrotóxicos (F2), potencial de desgaste do solo pela irrigação e controle de pragas (F3) e, potencial de desgaste ambiental pela atividade pecuária (F4), explicando 72% da variância total dos dados. O Brasil apresentou um índice médio de 0,29, indicando que mais de um quarto de seu território enfrenta problemas de degradação. Os três grupos evidenciaram que mais de 50% dos municípios se enquadram em médio (*cluster 2*) e alto (*cluster 3*) IGDAA, alocados em grande parte nas Regiões Sul e Sudeste. As demais regiões tiveram maior concentração no *cluster 1* (baixo potencial a degradação). Em particular, a distinção no nível de degradação reflete a modernização agrícola das localidades. O segundo ensaio, intitulado “Degradação ambiental e sua relação com o desenvolvimento rural no Brasil”, teve como proposta a análise das relações entre indicadores de degradação ambiental agropecuária e desenvolvimento rural por meio da análise de correlação canônica. Os dados são do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017) e da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (Pnad, 2015). Os resultados apontaram que há uma relação linear entre os dois conjuntos de variáveis e que quatro das dez correlações canônicas geradas são necessárias para descrevê-la. Assim, os indicadores de desenvolvimento rural são importantes para explicar a degradação ambiental. A formação das variáveis canônicas de degradação ambiental foi influenciada, principalmente, pelo uso de mecanização, adubos e corretivos. Além desses indicadores, as maiores correlações entre as variáveis originais e canônicas ocorreu pela utilização de agrotóxicos, irrigação, controle de doenças e parasitas nos animais. A influência das variáveis explicativas (desenvolvimento rural) sobre a dimensão de degradação teve

maiores correlações ligadas ao acesso à diversificação e funcionalidades produtivas pela internet, à pressão demográfica pelo crescimento populacional e o valor da produção por área. A medida de redundância mostrou que 75,93% da variância do conjunto de degradação é explicada pelo desenvolvimento rural. Portanto, mediante as evidências encontradas, conclui-se que tomar conhecimento da realidade acerca da degradação ambiental em virtude da agropecuária bem como sua relação com desenvolvimento rural, é um ponto de partida fundamental para que medidas em vista da mitigação de seus efeitos nocivos possam ser tomadas.

Palavras-chave: degradação ambiental; desenvolvimento rural; Brasil.

ABSTRACT

Faced with the worldwide concern about human intervention on the environment, environmental degradation is among the main themes investigated due to its environmental, social and economic damages. In Brazil, agriculture is considered one of the activities that most cause this wear and tear. The present dissertation is approached in two essays. The first, called “Environmental Degradation and Agriculture in Brazil”, had as main objective to measure the proportion of environmental degradation resulting from agriculture from the application of the General Agricultural Environmental Degradation Index (IGDAA) and, based on this, group the municipalities similar. The data comes from the Agricultural Census (2017) and applied the techniques of factor analysis and clusters. Four degradation factors were found, namely: potential for soil wear by mechanical and biochemical technologies and misinformation (F1), potential for soil wear, water and health due to non-preparation of land and pesticides (F2), potential for wear and tear of soil by irrigation and pest control (F3) and, potential for environmental damage by livestock activity (F4), explaining 72% of the total variance of the data. Brazil presented an average index of 0.29, indicating that more than a quarter of its territory faces degradation problems. The three groups showed that more than 50% of the municipalities fall into the medium (cluster 2) and high (cluster 3) IGDAA, allocated largely in the South and Southeast regions. The other regions had a higher concentration in cluster 1 (low potential for degradation). In particular, the distinction in the level of degradation reflects the agricultural modernization of the localities. The second essay, entitled “Environmental degradation and its relationship with rural development in Brazil”, proposed the analysis of the relationship between agricultural environmental degradation indicators and rural development through canonical correlation analysis. The data are from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE, 2017) and the National Household Sample Survey (Pnad, 2015). The results showed that there is a linear relationship between the two sets of variables and that four of the ten canonical correlations generated are necessary to describe it. Thus, rural development indicators are important to explain environmental degradation. The formation of canonical variables of environmental degradation was mainly influenced by the use of mechanization, fertilizers and correctives. In addition to these indicators, the highest correlations between the original and canonical variables occurred due to the use of pesticides, irrigation, control of diseases and parasites in animals. The influence of the explanatory variables (rural development) on the dimension of degradation had greater correlations linked to access to

diversification and productive functionalities via the internet, to demographic pressure due to population growth and the value of production per area. The redundancy measure showed that 75.93% of the variance of the degradation set is explained by rural development. Therefore, based on the evidence found, it is concluded that becoming aware of the reality about environmental degradation due to agriculture and livestock, as well as its relationship with rural development, is a fundamental starting point for measures to mitigate its harmful effects.

Keywords: environmental degradation; rural development; Brazil.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Indicadores de degradação ambiental agropecuária	25
Quadro 2 – Indicadores de degradação ambiental e desenvolvimento rural	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estatísticas descritivas dos indicadores de degradação ambiental no Brasil, 2017	26
Tabela 2 – Estatísticas descritivas dos indicadores de degradação por região brasileira, 2017	27
Tabela 3 – Fatores extraídos pela análise fatorial via componentes principais	28
Tabela 4 – Cargas fatoriais e comunalidades gerados pela análise fatorial	29
Tabela 5 – Estatísticas descritivas do IGDAAs das regiões brasileiras	32
Tabela 6 – Estatísticas descritivas do IGDAAs para cada unidade federativa (UF) do Brasil	33
Tabela 7 – <i>Clusters</i> do IGDAAs	35
Tabela 8 – Percentual de municípios por <i>cluster</i> de degradação nos estados brasileiros	37
Tabela 9 – Estatísticas descritivas dos indicadores de degradação ambiental no Brasil, 2017	54
Tabela 10 – Estatísticas descritivas dos indicadores de desenvolvimento rural no Brasil, 2017	55
Tabela 11 – Coeficientes de correlação simples entre os indicadores de degradação ambiental e desenvolvimento rural	56
Tabela 12 – Testes de significância das correlações canônicas em conjunto	57
Tabela 13 – Teste de Lambda Wilks individual para cada correlação canônica	57
Tabela 14 – Estatísticas descritivas do IGDAAs das regiões brasileiras	58
Tabela 15 – Cargas canônicas	60
Tabela 16 – Cargas canônicas cruzadas	61
Tabela 17 – Medidas de redundância	62
Tabela 18 – Escores canônicos para as quatro dimensões significantes	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	12
2	DEGRADAÇÃO AMBIENTAL E A AGROPECUÁRIA NO BRASIL	14
2.1	Introdução	14
2.2	Referencial teórico	16
2.2.1	<i>Degradação ambiental e a agropecuária brasileira</i>	16
2.2.2	<i>Efeitos da atividade agropecuária sobre o meio ambiente</i>	19
2.3	Metodologia	21
2.3.1	<i>Análise fatorial</i>	21
2.3.1.1	<i>Índice Geral de Degradação Ambiental Agropecuária (IGDAA)</i>	22
2.3.2	<i>Análise de agrupamento ou clusters</i>	23
2.3.3	<i>Área de estudo, fonte de dados e descrição das variáveis</i>	24
2.4	Resultados e discussão	26
2.4.1	<i>Caracterização dos indicadores de degradação ambiental agropecuária</i>	26
2.4.2	<i>Fatores de degradação ambiental</i>	28
2.4.3	<i>Índice Geral de Degradação Ambiental Agropecuária (IGDAA)</i>	31
2.4.4	<i>Clusters de degradação ambiental</i>	34
2.5	Considerações finais	38
3	DEGRADAÇÃO AMBIENTAL E SUA RELAÇÃO COM O DESENVOLVIMENTO RURAL NO BRASIL	41
3.1	Introdução	41
3.2	Referencial teórico	43
3.2.1	<i>Degradação ambiental e seus fatores condicionantes</i>	43
3.2.2	<i>Relação entre desenvolvimento rural e a degradação ambiental</i>	46
3.3	Metodologia	48
3.3.1	<i>Análise de correlação canônica</i>	48
3.3.2	<i>Área de estudo, fonte de dados e descrição das variáveis</i>	51
3.4	Resultados e discussão	53
3.4.1	<i>Caracterização dos indicadores de degradação ambiental e desenvolvimento rural</i>	53
3.4.2	<i>Análise das relações entre degradação ambiental e desenvolvimento rural</i>	55
3.4.2.1	<i>Grau de correlação canônica entre os grupos de variáveis</i>	56

3.4.2.2	<i>Contribuições e correlações entre variáveis originais e canônicas)</i>	58
3.4.2.3	<i>Influência das variáveis de desenvolvimento rural sobre a degradação ambiental</i>	60
3.5	Considerações finais	64
4	CONCLUSÃO GERAL	66
	REFERÊNCIAS	68
	APÊNDICE A – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DOS INDICADORES AGROPECUÁRIOS	73

1 INTRODUÇÃO GERAL

No mundo inteiro observa-se uma preocupação acerca dos efeitos da intervenção humana sobre a área ambiental, pois acarreta prejuízos ambientais, econômicos e sociais. Com isso, a temática da degradação ambiental está entre as mais importantes pesquisas sobre os impactos naturais. O Brasil é considerado uma potência na oferta de alimentos, por ser detentor de características favoráveis que elevam a capacidade da produção agrícola, nomeadamente possuindo abundante quantidade de água e de terra agriculturáveis, além de ser o país com uma das maiores biodiversidades do planeta. No entanto, para que o país possa atender as demandas socioeconômicas nacionais e internacionais, é necessário que o Estado brasileiro enfrente diversos desafios que lhe são impostos. Por exemplo, no campo, os grandes desafios das ações públicas se concentram, principalmente, em encontrar uma maneira de conciliar o crescimento econômico com a preservação do meio ambiente, ajustado ao uso racional dos recursos naturais (SALES, 2018; BRASIL, 2020).

O setor agropecuário obteve o melhor desempenho na economia brasileira em 2017, com crescimento de 12,5% em relação ao ano anterior. Esse resultado é a maior taxa presente na série histórica iniciada em 1996, conforme levantamento realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pela Confederação de Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA). Em 2018, quando comparado a 2017, o setor agropecuário se manteve crescendo, de modo que o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro avançou em 1% impulsionado pelo crescimento da produção nesse setor (BRASIL, 2020). Apesar dos efeitos econômicos favoráveis, à medida que a produção agropecuária se intensifica, há resultados negativos sobre o meio ambiente, notadamente a degradação. A propósito, o problema da degradação ambiental decorre do emprego das tecnologias e técnicas inadequadas inseridas no processo produtivo tais como a mecanização, irrigação, agrotóxicos, entre outros. Além disso, observa-se que, embora a dimensão ambiental seja um dos aspectos que compõe o desenvolvimento rural das localidades, suas demais dimensões (demográfica, social e econômica) consistem em condicionantes para a ocorrência da deterioração do meio ambiente.

Isto posto, a investigação da proporção de degradação ambiental, no cenário brasileiro, gerada pela atividade agropecuária, bem como sua relação com o desenvolvimento rural é relevante, sobretudo por se tratar de uma ferramenta que pode ser considerada como base para a articulação de políticas públicas, a fim de minimizar os adversos efeitos econômicos, sociais e ambientais. Desse modo, tem-se o seguinte problema de pesquisa: Qual

a proporção da degradação ambiental oriunda da atividade agropecuária no Brasil? Como seus municípios se assemelham quanto a este aspecto? Qual a relação entre esse fenômeno e o desenvolvimento rural?

Com base nesse conjunto de questionamentos, esta pesquisa foi dividida em dois ensaios. O primeiro verificou a dimensão da degradação ambiental causada pela atividade agropecuária praticada no Brasil e agrupou os municípios semelhantes quanto ao potencial de degradação. Para isso, levou-se em consideração indicadores relacionados à modernização agrícola, uma vez que afetam diretamente o meio ambiente. Já no segundo ensaio, o ponto central foi analisar a relação entre a degradação ambiental e o desenvolvimento rural brasileiro. Com efeito, tomam-se dois conjuntos de variáveis característicos do fenômeno da degradação ambiental além de variáveis que expressam a dimensão demográfica, social e econômica do desenvolvimento rural.

2 DEGRADAÇÃO AMBIENTAL E A AGROPECUÁRIA NO BRASIL

Neste ensaio apresenta-se a análise do fenômeno da degradação ambiental decorrente das práticas inseridas na atividade agropecuária no Brasil, sob a ótica de um índice geral de degradação. Para tanto, foi considerado um conjunto de indicadores característicos da agropecuária extraídos do Censo Agropecuário (2017).

2.1 Introdução

Ao longo do século XXI, a qualidade ambiental vem sendo afetada pela evolução de novas tecnologias e técnicas aplicadas no meio produtivo, embora tenham como objetivo contribuir positivamente para a economia e o bem-estar social. No cenário internacional, os debates concentram-se na busca por um modelo de desenvolvimento que tome o crescimento econômico aliado à conservação dos recursos naturais. No Brasil, um dos principais desafios encontrados, para seu desenvolvimento, é o crescimento da produção agropecuária associada à redução de seus efeitos adversos sobre o meio ambiente (SAMBUICHI *et al.*, 2012; PINTO e CORONEL, 2015).

O desempenho produtivo do setor agropecuário vem crescendo constantemente nas últimas décadas e tem conquistado espaço na economia brasileira. A série histórica de 1996 a 2018, realizada pela Confederação de Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), apontou que a agropecuária revelou resultados crescentes em quase todo o período – com exceção de 2009, 2012 e 2016, cuja produção fora afetada por questões climáticas –, obtendo a maior variação anual da série em 2017, com alta correspondente à 12,5%. Em 2019, o agronegócio – impulsionado pelo destaque expressivo de 23,71% do setor pecuário – apresentou um crescimento de 3,81%, em relação a 2018, representando 21,4% do Produto Interno Bruto (PIB) do país (BRASIL, 2019; BRASIL, 2020).

Conforme o Censo Agropecuário de 2017, há no Brasil um total de 5.073.324 unidades agropecuárias. Apesar da redução de 2% (102.312) no número de estabelecimentos em relação ao Censo de 2006, houve um aumento de 5,8% em termos de ocupação territorial, mostrando expressiva participação na área territorial brasileira com uma abrangência equivalente a 351.289.816 hectares (IBGE, 2019). Além da agropecuária ser um setor significativo ao fortalecer a economia doméstica, por exercer um papel socioeconômico importante para o consumo interno – pela geração de empregos, cerca de 37% –, contribui

significativamente para o saldo da balança comercial e aquisição de divisas – correspondendo a 39% das exportações – bem como se destaca mundialmente como fornecedor de alimentos (BINI *et al.*, 2020; BRASIL, 2020).

Apesar dos benefícios econômicos, a agropecuária exerce efeitos significantes na ocorrência de desgastes ambientais, principalmente pelo uso da terra e dos recursos naturais, causando danos no solo, implicando desequilíbrio no clima e disponibilidade de água, tornando necessário conter o avanço da produção sobre áreas naturais (FOLEY *et al.*, 2005 *apud* SAMBUICHI *et al.*, 2012). A produção agropecuária gera degradação à medida que sua intensidade aumenta em decorrência da aplicação de agrotóxicos, pelo uso de mecanização e irrigação, que podem contaminar alimentos – pondo em risco a saúde humana – e causar poluição dos recursos hídricos, do solo e do ar (PINTO e CORONEL, 2015; CAMPOS *et al.*, 2015). Entre 2006 e 2017, constatou-se um aumento expressivo no número de estabelecimentos rurais que aderiram a utilização de agrotóxicos (20,5%), mecanização (49,9%) e de irrigação (52,6%) (IBGE, 2019).

Não obstante, a produção sustentável se faz cada vez mais necessária. Instigar o exercício da produtividade do setor agropecuário mediante a adoção de práticas que permitam a conservação e/ou recuperação de áreas degradadas constitui um grande desafio político, tecnológico e social; e, também está relacionado com a busca pelo desenvolvimento rural no âmbito socioeconômico. É indispensável que os tomadores de decisão, antes de desenvolver qualquer política pública nesse sentido, tomem conhecimento dos efeitos ambientais resultantes dessa produção, levando em conta suas implicações financeiras e econômicas (DIAS *et al.*, 2016 *apud* BINI *et al.*, 2020; BRASIL, 2020). Vale ressaltar que o desempenho da produtividade baseada no uso de práticas, tecnologias e técnicas apropriadas¹, é uma forma de manter uma trajetória de crescimento (COSTA NETO *et al.*, 2008; BINI *et al.*, 2018).

Tendo em vista a problemática existente acerca dos efeitos nocivos da produção agropecuária sobre a questão ambiental, tem-se o seguinte problema de pesquisa: Qual a proporção de degradação ambiental oriunda da atividade agropecuária no Brasil? E como seus municípios se assemelham quanto a este aspecto? Dessa forma, o objetivo principal desse ensaio é verificar a proporção de degradação ambiental no Brasil, utilizando como *proxy* a aplicação de um Índice Geral de Degradação Ambiental Agropecuária (IGDAA) e, com base neste, agrupar os municípios que evidenciam potencial de degradação semelhante.

¹ Como a manutenção de matas ciliares, tecnologias que integrem lavoura e pecuária, plantio direto e rotação de culturas, manejo do solo de modo orgânico (manutenção de cobertura vegetal do solo, adubação verde, cultivo mínimo, plantio direto etc) (ALCÂNTARA e MADEIRA, 2008; CAMPOS *et al.*, 2015).

Especificamente, almeja-se caracterizar os indicadores agropecuários selecionados e, a partir desses, identificar os fatores condicionantes de degradação ambiental; em seguida, mediante a obtenção dos escores fatoriais determinados pelos fatores, auferir a proporção de degradação pelo IGDA. Por fim, verificar como os municípios se assemelham separando-os em grupos.

Conforme Santana e Santos (2021), existe a necessidade de tomar indicadores que possam revelar a realidade, capacidade e desafios referentes à produção de modo sustentável ambientalmente. Com efeito, busca-se contribuir na identificação de aspectos que condicionam a degradação ambiental no Brasil notadamente colaborando com o planejamento e a consequente implementação de ações voltadas ao aumento da produção pautados em critérios de sustentabilidade. Mesmo que outros autores já tenham elaborado um índice de degradação ambiental² para diferentes localidades, ao que se tem consciência nenhum deles considera o território brasileiro, em suas regiões, estados e municípios. De sorte que daí se dá o diferencial desta pesquisa. Em visto disso, utilizam-se dados do Censo Agropecuário 2017 disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); não obstante adotou-se a técnica de análise fatorial e de *clusters*, a fim de simplificar os indicadores selecionados em fatores capazes de explicar a variabilidade das variáveis originais, agrupando os municípios com características similares conforme o grau de degradação.

Este ensaio encontra-se estruturado em quatro seções, além desta introdução. Na seção a seguir, o referencial teórico aborda o fenômeno da degradação ambiental; em seguida, são demonstrados os procedimentos metodológicos adotados no desenvolvimento deste ensaio. Na quarta seção, têm-se os resultados encontrados na pesquisa e suas respectivas discussões. E, finalmente, são apresentadas as considerações finais.

2.2 Referencial teórico

Esta seção apresenta a temática da degradação ambiental derivada da atividade agropecuária e está subdividida em duas partes. Primeiro, tem-se uma contextualização da temática para o caso brasileiro e, em seguida é discutido os reflexos da agropecuária sobre a questão ambiental.

2.2.1 Degradação ambiental e a atividade agropecuária no Brasil

² Como Lemos (2001), Silva e Ribeiro (2004), Fernandes, Cunha e Silva (2005), Cunha *et al.*, (2008), Campos *et al.*, (2015), Pinto e Coronel (2015) e Pinto, Rossato e Coronel (2019).

A própria formação histórica da economia brasileira está atrelada a atividade agrícola, se consolidando como uma atividade fundamental até hoje. O país tende a ser cada vez mais protagonista na oferta mundial de alimento, principalmente porque os maiores produtores nesse ramo se encontram no limite da utilização de suas terras e em sua capacidade de produção. Ao longo do tempo, as áreas destinadas à produção agropecuária podem sofrer alterações econômicas, ambientais, técnicas, dentre outras, podendo então interferir na geração de demandas e oportunidades internas e/ou externas. No campo ambiental, por exemplo, essas alterações resultam no comprometimento do clima, da preservação do solo, da qualidade da água e do ar, da saúde etc (MIRANDA *et al.*, 2020).

A agropecuária, que envolve atividades como agricultura, pecuária e exploração vegetal, está entre as principais produções responsáveis pelo desgaste ambiental no território brasileiro. Considerado como um dos países que mais se destacam por apresentar características propícias para a agricultura – em razão de seu vasto território, água abundante, clima e solo – o Brasil é visto pela sua capacidade de suprir a demanda de alimentos, cujo aumento é devido ao crescimento populacional. Para viabilizar a continuação dessa produção torna-se necessário o uso racional dos recursos naturais, uma vez que estes são limitados (KLEIN *et al.*, 2007 *apud* SAMBUICHI *et al.*, 2012; FEIX e LEUSIN JÚNIOR, 2019; BRASIL, 2020). Tudo o que ocorre com o solo, seja de forma positiva ou negativa, reflete nos demais componentes do meio ambiente (águas, animais, plantas e o homem) (ALCÂNTARA e MADEIRA, 2008).

Caracterizada como “a alteração adversa das características do meio ambiente”, segundo a Política Nacional de Meio Ambiente pela Lei nº 6.938/1981, art. 3º, inciso II, o impacto ambiental resulta da interferência humana causando desequilíbrio natural do ecossistema a partir de qualquer alteração física, química ou biológica, de modo que efeitos negativos incidem sobre as condições sanitárias, saúde e bem-estar social e também na atividade econômica, conforme Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA³ (BRASIL, 2020). Para Gliessman (2001) *apud* Costa Neto *et al.*, (2008), os efeitos resultantes da implantação de certas práticas na atividade agropecuária sobre o meio ambiente e vida humana são desconsiderados no cálculo dos custos econômicos.

O contexto agropecuário brasileiro consiste num ponto estratégico para explorar a responsabilidade social e ambiental (RSA) nas propriedades rurais, uma vez que se espera que haja continuidade no avanço das áreas cultivadas e, por se tratar de um setor que vem sofrendo

³ Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986, art. 1º.

cobranças para que sejam reduzidos seus efeitos negativos, tanto por parte de governos quanto de organizações não governamentais (ONG) (FERREIRA *et al.*, 2015 *apud* BINI *et al.*, 2020). Para tanto, acredita-se ainda que tal perspectiva pode colaborar na diminuição de custos legais, sabendo que os crimes e multas acabam sendo recorrentes no setor agropecuário. Observa-se na literatura que a análise de RSA em relação ao desempenho financeiro mostra-se positivo, proporcionando ganhos de eficiência e melhoras no exercício financeiro (BINI *et al.*, 2020).

O surgimento de propostas auxiliadas pelo uso de indicadores ambientais começou a ser vistas como ferramentas de criação de políticas públicas, considerando a limitação dos recursos naturais, desde o final da década de 1980 (MOURA e BEZERRA, 2016). Nesse contexto, a mensuração de índices contribui como instrumento para tomada de decisão, indo além de quantificar o nível de degradação em determinado campo de estudo (BRAGA *et al.*, 2004 *apud* PINTO e CORONEL, 2015). Visto dessa forma, observa-se que a relação existente entre a atividade agropecuária e a degradação ambiental vem se tornando objeto de pesquisa em várias localidades, embora essa abordagem seja escassa do ponto de vista amplo no Brasil.

O estudo desenvolvido por Lemos (2001) foi pioneiro na construção de um índice capaz de auferir a proporção de degradação ambiental. Aplicando-o na Região Nordeste mediante os dados do Censo Agropecuário (1995/1996), o autor tomou em sua análise indicadores de cunho econômico, biológico e demográfico. Aplicou, inicialmente, a técnica de análise fatorial, vindo a construir dois índices: um Índice Parcial de Degradação Ambiental (IPDA) e um Índice de Degradação Ambiental (IDA). Posteriormente, outros estudos pontuais foram realizados, como Silva e Ribeiro (2004), no Acre; Fernandes, Cunha e Silva (2005), em Minas Gerais; Cunha *et al.*, (2008), na região dos cerrados; Pinto e Coronel (2015), no Rio Grande do Sul, dentre outros. Pinto, Rossato e Coronel (2019), tendo como pano de fundo a América Latina, constataram que a degradação ambiental não é um problema particular do Brasil. Os autores verificaram que a distinção entre o grupo de países de maior (Brasil, Argentina e México) e menor (Nicarágua, Chile e El Salvador) índice ocorreu em razão da intensidade agropecuária brasileira, sendo o maior índice para os países dotados de alta representatividade nesta atividade.

Apesar do avanço, nas últimas décadas, quanto ao entendimento da política ambiental e aplicação de seus critérios, com a criação de conselhos, desenvolvimento e disponibilização de dados ambientais e medidas de caráter legal, o Brasil ainda enfrenta problemas ambientais notáveis. A contraposição entre os avanços e os problemas enfrentados demonstram contradição. A governança engloba, assim, a articulação de processos que envolvam

o planejamento, implementação e acompanhamento de políticas públicas. Por fim, a necessidade de inserir as questões ambientais e sociais no campo das políticas públicas vai muito além da necessidade de haver normas, medidas de cunho corretivo e punitivo (MOURA e BEZERRA, 2016).

2.2.2 Efeitos da atividade agropecuária sobre o meio ambiente

Grosso modo, a interferência humana sempre esteve associada a mudanças sobre o meio ambiente, então pautadas pelo caráter de subsistência no fornecimento de alimento à população. Em face do desenvolvimento tecnológico e de sua conseqüente alteração da ordem social, tal finalidade tomou um novo aspecto: acumular riquezas por meio da expansão da produção e comercialização de produtos, o que acarretou o aumento da exploração dos recursos naturais. No Brasil, os principais problemas ambientais são o desmatamento e as queimadas, em geral, resultantes da atividade agropecuária, que apesar de ser fundamental para a economia do país, promove críticos impactos ao meio ambiente (SOUZA, SANTIN e ALVIM, 2007).

Por outras palavras, os principais impactos decorrentes da atividade agropecuária no meio ambiente – além do desmatamento – estão de igual modo associados à mudança do ecossistema natural em áreas cultivadas e manejo inadequado, levando a mudança no solo e degradação das áreas cultivadas. Ações a partir da aplicação de fogo na abertura da área para cultivo, bem como práticas que usam de modo intensivo o solo pelo método convencional de preparo por meio da aração ou gradação que acabam resultando em compactação e erosão do solo, isto é, danificando sua matéria orgânica. Nesse caso, práticas como plantio direto na palha em curvas de nível e rotação de culturas são indicadas para não implicar em degradação do solo (SAMBUICHI *et al.*, 2012; PRIMAVESI, 1990 *apud* SAMBUICHI *et al.*, 2012).

Outro ponto importante consiste na aplicação demasiada de agrotóxicos e fertilizantes químicos nas lavouras. Com o objetivo de controlar as pragas, acabam provocando poluição na água, lençóis freáticos e solos, além de ser elemento nocivo à saúde humana e aos animais. Dessa forma, por ser causa de preocupação em todo o mundo, são desenvolvidas medidas de regulamentação e técnicas de controle das pragas, principalmente pelo Manejo Integrado de Pragas que considera o controle biológico, químico, físico, entre outros. Investimento em tecnologias geradoras de baixo impacto no meio ambiente e eficientes de modo a minimizar a dependência desses insumos externos na produção ainda não é algo difundido, principalmente pelo pouco interesse dos agentes públicos e privados de pesquisar a

respeito (SAMBUICHI *et al.*, 2012; RIBEIRO, JAIME e VENTURA, 2017; MORIN, 2013 *apud* RIBEIRO, JAIME e VENTURA, 2017).

A atividade agropecuária necessita diretamente do fornecimento de água para o cultivo das lavouras. A irrigação é uma prática que aplica recursos hídricos – não provenientes diretamente da chuva – no solo cultivado e apesar de ter a finalidade de prover água para favorecer o crescimento da produção, o uso intensivo dessa prática compromete o solo através da compactação, que conduz a erosão, salinização e, posteriormente, reduz a produtividade. Outro fator que agrava o mal-uso da irrigação é a diminuição significativa da água para uso doméstico e hidroelétrico, uma vez que a grande quantidade utilizada desse bem não retorna para os mananciais (SAMBUICHI *et al.*, 2012; IBGE, 2019).

A respeito da emissão de gases de efeito estufa (GEE), resultante das atividades econômicas, a agropecuária é a que mais provoca emissões de gases no Brasil. Suas principais causas surgem pela inserção de processos modificadores do solo, como desmatamento, uso de fertilizantes, queima de combustíveis fósseis (pelo uso do maquinário na agricultura) e, ainda, pela emissão direta da pecuária através do processo digestivo dos ruminantes que libera metano (CH₄). Diz-se que a degradação ambiental é considerada uma externalidade negativa à medida que apresenta efeitos negativos sobre o bem-estar social; a emissão de GEE constitui um agravante ao provocar no clima e na biodiversidade (SAMBUICHI *et al.*, 2012; MELO, 2019).

A atividade pecuária consiste num ponto fundamental para oferta brasileira de alimentos de origem animal, principalmente pela produção de carne bovina, suína e de aves e seus derivados (leite, ovos, pescados). Com efeito, a saúde animal e a segurança dos alimentos são pilares estratégicos para a qualidade e a produtividade do setor ao mesmo tempo que se revela um desafio para inovação na redução do uso de antibióticos, da dependência de controle químico e seus resíduos, a resistência genética de bactérias, a contaminação ambiental dos sistemas de produção etc (EMBRAPA, 2022). O uso de antibióticos e pesticidas são vias de entrada para a contaminação do ambiente e por terem solubilidade na água se espalham pela água, solo e são constantemente detectados em amostras de solo, no lençol freático e água superficial. Apesar da relevância da produção pecuária, faz-se necessário considerar os impactos dos resíduos para controle de doença e parasitas nos animais atrelado à busca pela qualidade e sustentabilidade da pecuária (REGITANO e LEAL, 2010).

O termo desenvolvimento sustentável, que é difundido na agropecuária em função de suas consequências sobre o meio ambiente, traz em si a procura por um ideal de sustentabilidade que concilie um modelo de produção com crescimento econômico e que

consERVE OS RECURSOS NATURAIS. Tais práticas contribuem não somente para conservação ambiental como também a construção de sociedades sustentáveis considerando as gerações futuras, a redução da pobreza e da fome. À vista disso, enquadra-se o manejo do solo orgânico, por exemplo, que pressupõe práticas como adubação verde, plantio direto, cultivo mínimo, entre outras. Por fim, a sustentabilidade aliada à responsabilidade social são partes fundamentais a serem consideradas na atividade agropecuária (ALCÂNTARA e MADEIRA, 2008; TELLES e RIGHETTO, 2019).

2.3 Metodologia

A partir da utilização de indicadores agropecuários que contribuem para a ocorrência da degradação ambiental no Brasil, este estudo aplicou um índice capaz de auferir o nível de degradação no Brasil. Para construção do Índice Geral de Degradação Ambiental Agropecuária (IGDAA), é aplicado primeiro a análise fatorial via componentes principais, cujos escores gerados mensuram o índice mencionado. Feito isso, os municípios com índices semelhantes são agrupados pela análise de *clusters*.

2.3.1 Análise fatorial

Pela análise fatorial simplifica-se em fatores um conjunto de variáveis. Da análise de componentes principais, os dados são reduzidos a um conjunto mínimo de fatores necessários capazes de explicar, ao máximo, a variância do grupo de variáveis originais, sendo que o primeiro fator é constituído pelas variáveis que possuem maior correlação e explicam, em maior proporção, a variância da amostra; no próximo fator, estão as variáveis que demonstram o segundo maior nível explicativo e assim sucessivamente (FÁVERO *et al.*, 2009). A equação 1, segundo Mingoti (2005), define em forma matricial a análise fatorial:

$$X_i = a_{ij} F_j + \varepsilon_i \quad (1)$$

em que: $X_i = (X_1, X_2, \dots, X_p)^t$ é um vetor transposto das variáveis aleatórias observáveis; a_{ij} , uma matriz (p x m) de coeficientes fixos com a relação linear de X_i e F_j (cargas fatoriais); $F_j = (F_1, F_2, \dots, F_p)^t$ é um vetor transposto (m < p) de variáveis que descrevem os elementos não observáveis da amostra e, $\varepsilon_i = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p)^t$, um vetor transposto dos erros aleatórios e a variação de X_i não explicada pelos fatores comuns, F_j .

A divergência de valor nas variáveis indica que é necessária a aplicação de um processo de padronização reduzidas as diferenças escalares entre estas. Tal procedimento pode ser expresso do seguinte modo:

$$Z = \frac{(X_i - \bar{X})}{S}, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

sendo que: Z é a variável padronizada; X_i , a variável que será padronizada; \bar{X} , a médias de todas observações e S , o desvio padrão da amostra. Realizada a padronização, X_i pode ser substituída pelo vetor de variáveis padronizadas, Z_i . Reescrevendo a equação 1, tem-se:

$$Z_i = a_{ij} F_j + \varepsilon_i \quad (3)$$

Inicialmente, estimou-se a matriz de correlação das variáveis, a fim de observar se os coeficientes de correlação são relativamente elevados e com significância estatística, de modo que uma quantidade considerável de valores inferiores a 0,3 mostra um indício preliminar de que o uso da análise fatorial pode não ser apropriada, conforme Fávero e Belfiore (2017). Em seguida, o critério raiz latente ou Kaiser foi definido para extração do número de fatores, que se dá com base na variância explicada por cada fator, ou seja, nos autovalores (*eigenvalues*), que possuem valores maiores que um. Em vista da simplificação na interpretação dos fatores, optou-se pelo método de rotação Varimax, uma vez que minimiza o número de variáveis com altas cargas fatoriais⁴ num mesmo fator, sendo o método mais utilizado. Por fim, na estimação dos escores fatoriais, considerou-se o modelo de regressão linear múltipla, que é uma medida criada para cada variável pertencente aos fatores (HAIR JUNIOR *et al.*, 2009).

Para verificar a adequabilidade da técnica em relação aos dados selecionados, foram aplicados os testes de esfericidade de Bartlett e o de Kaiser – Meyer – Olkim (KMO), a saber: o primeiro verifica a hipótese nula de que a matriz de correlação e identidade são iguais, ou seja, se as variáveis originais demonstram correlações significativas – para o uso adequado da técnica é necessário que a hipótese seja rejeitada ao nível de significância de até 5%; o teste KMO examina a correlação parcial entre as variáveis com valores no intervalo entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo a 1 maior o potencial de explicação das variáveis, um valor menor que 0,5 já indica não adequabilidade no uso da técnica (FÁVERO *et al.*, 2009).

2.3.1.1 Índice Geral de Degradação Ambiental Agropecuária (IGDAA)

⁴ Expressam a correlação entre as variáveis originais e os fatores.

Após a execução da análise fatorial, conforme demonstrada no tópico anterior, a obtenção dos fatores possibilitou auferir o nível de degradação ambiental oriunda da agropecuária nas regiões e estados brasileiros. Para isso, utilizou-se como *proxy* a construção do Índice Geral de Degradação Ambiental Agropecuária (IGDAA), inicialmente proposto por Lemos (2001) e modificado por Cunha *et al.*, (2008). Com base nos escores fatoriais gerados pela análise fatorial, o IGDAA é expresso conforme a equação (4):

$$IGDAA_i = \sum_{j=1}^p \frac{\lambda_j}{\sum \lambda_j} F_{ji}^* \quad (4)$$

em que: $IGDAA_i$ é o Índice Geral de Degradação Ambiental Agropecuária para o i -ésimo município brasileiro, λ_j é a j -ésima raiz característica, p o número de fatores obtidos na análise fatorial, F_{ji}^* é o j -ésimo escore fatorial para o i -ésimo município e, $\sum \lambda_j$ é o somatório das raízes características correspondentes aos p fatores extraídos.

Para que os valores dos escores fatoriais (F_{ij}) sejam iguais ou superiores a zero, aplica-se uma transformação trazendo todos para o primeiro quadrante, tornando-os em valores positivos (LEMOS, 2001; CUNHA *et al.*, 2008; PINTO e CORONEL, 2015). Assim, antes de estimar o IGDAA, realiza-se o seguinte procedimento:

$$F_{ji}^* = \frac{(F_{ij} - F_j^{min})}{(F_j^{max} - F_j^{min})} \quad (5)$$

F_{ji}^* são os escores fatoriais do i -ésimo município; F_j^{min} e F_j^{max} são os valores mínimos e máximos, respectivamente, observados dos escores fatoriais para os j -ésimos fatores extraídos da análise fatorial via componentes principais. Por fim, vale ressaltar que, em relação a interpretação do índice (situado no intervalo entre 0 e 1), considera-se que quanto maior seu valor, maior a proporção de degradação ambiental advinda da agropecuária.

2.3.2 Análise de agrupamento ou clusters

A fim de verificar o comportamento semelhante entre os municípios brasileiros em suas regiões e estados quanto ao potencial de degradação ambiental agropecuária, consoante o resultado do IGDAA, foi aplicada a análise de agrupamento ou *clusters*. A técnica estatística de *clusters* possibilita o agrupamento de variáveis que compartilham características comuns, de modo que as distâncias entre os grupos consideram as dissimilaridades entre eles. Assim, busca-

se alocar os municípios em grupos que prevaleçam a homogeneidade interna dentro desses e que sejam grupos heterogêneos entre si (FÁVERO *et al.*, 2009; FÁVERO E BELFIORE, 2017).

Para agrupar os municípios com base em suas similaridades, faz-se necessário tomar uma medida de distância, de modo que, quanto maior a distância menor a semelhança entre estes. A distância aplicada neste estudo é a quadrática euclidiana, ou seja, é medida num espaço n -multidimensional pelo somatório dos quadrados das diferenças entre as observações i e k (MARTINS, CAMPOS e LIMA, 2014). A expressão a seguir demonstra:

$$D_{kl}^2 = \sum (X_{ik} - X_{ik})^2 \quad (7)$$

sendo que: $D_{k,i}$ a medida da distância euclidiana do objeto k e, i o indexador das variáveis.

Faz-se ainda necessário determinar um esquema de aglomeração, que pode ocorrer pelo método hierárquico e não hierárquico: o primeiro permite que o pesquisador avalie e decida a partir do número de grupos formados quantos deseja estudar, uma vez que ordena e caracteriza as observações em centros de agrupamentos que funcionam como sementes iniciais para fornecer *clusters* mais precisos através de um dendograma (esquema em formato de árvore que apresenta uma sequência de agrupamentos); enquanto o segundo parte do número de grupo pré-definidos pelo pesquisador – sendo importante defini-los com base nos objetivos do estudo e da teoria existente – especificando a quantidade de grupos conforme os critérios definidos antes de designar as observações. Para tanto, a combinação dos dois métodos é frequentemente recomendável para potencializar o uso das duas técnicas na formação dos *clusters* (HAIR JUNIOR *et al.*, 2009; FÁVERO E BELFIORE, 2017; CARVALHO *et al.*, 2017).

Portanto, foi aplicado inicialmente o método hierárquico para sugerir o número de *clusters* e, definido o número de agrupamentos, aplicou-se em seguida o método não hierárquico para a interpretação dos grupos encontrados. O método hierárquico ocorreu pelo procedimento Ward (comumente aconselhado quando utilizada a distância quadrática euclidiana), que é baseado em minimizar as perdas associadas a cada grupo. Já no método não hierárquico, as observações serão agrupadas em subconjuntos pelo método k – médias, que é o mais utilizado na literatura (RIBEIRO *et al.*, 2020).

2.3.3 Área de estudo, fonte de dados e descrição das variáveis

A pesquisa abrange como área de estudo o território brasileiro. Compreendendo cinco macrorregiões, Norte, Nordeste, Sul, Sudeste e Centro-Oeste, abrange uma extensão

territorial de 8.510.345,538 km², com população estimada equivalente a 211.755.692 de pessoas (IBGE, 2021). No total, o Brasil soma 5.570 municípios, porém, esta pesquisa considera 86% das 5.563 observações disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) através do Censo Agropecuário (2017), em conformidade com a seleção do conjunto de variáveis definidas.

As variáveis⁵ consideradas como indicadores agropecuários (Quadro 1) refletem a junção das dimensões que influenciam na degradação ambiental mediante as práticas inseridas na agropecuária, como o uso de tecnologia mecânica, bioquímica, hídrico, também defensivos agrícolas bem como a dimensão da ocupação bovina e de acesso à orientação técnica. A escolha das variáveis é fundamentada, principalmente, por Cunha *et al.*, (2008), Campos *et al.*, (2015) e Pinto e Coronel (2015). Vale destacar que foram selecionados indicadores relacionados a modernização agrícola, pois apresentam relação direta com a ocorrência de degradação ambiental (CUNHA *et al.*, 2008).

Quadro 1 – Indicadores de degradação ambiental agropecuária

Variáveis	Descrição
x1 – Corretivos	Proporção de estabelecimentos agropecuários que fez uso de calcário e/ou outros corretivos do pH do solo (%)
x2 – Adubos	Proporção de estabelecimentos agropecuários que fez adubação química (%)
x3 – Tratores	Número de tratores existentes nos estabelecimentos agropecuários (unidades) / Número de estabelecimentos agropecuário (NE)
x4 – Máquinas	Número de máquinas para plantio e colheita existentes nos estabelecimentos agropecuários (unidades) / NE
x5 – Orientação técnica	Proporção dos estabelecimentos agropecuários que não receberam orientação técnica (%)
x6 – Solo	Proporção de estabelecimentos agropecuários que não utilizaram sistema de preparo do solo (%)
x7 – Agrotóxicos	Proporção de estabelecimentos agropecuários que fez uso agrotóxicos (%)
x8 – Irrigação	Proporção de estabelecimentos agropecuários que fez uso de irrigação (%)
x9 – Pragas	Proporção de estabelecimentos agropecuários com controle de doenças e/ou parasitas nos animais (%)
x10 – Bovino	Número de cabeças de bovinos nos estabelecimentos agropecuários (cabeças) / Área dos estabelecimentos (hectares) com pastagens naturais e plantadas

Fonte: Elaboração própria.

⁵ Além destas, foram testadas outras variáveis presentes na literatura existente, como área dos estabelecimentos agropecuários com lavouras, pastagens e matas, valor das despesas realizadas com energia elétrica, combustíveis e lubrificantes, com máquinas e veículos, produção vegetal e animal. No entanto, considerando os critérios da pesquisa e boa adequação na técnica definida foram removidas.

2.4 Resultados e discussão

Nesta seção, são demonstrados e discutidos os resultados da pesquisa. Inicialmente, são caracterizados os indicadores agropecuários no Brasil. Em seguida, os fatores condicionantes de degradação ambiental como resultado da atividade agropecuária obtidos pela análise fatorial via componentes principais. Posteriormente, com base nos escores fatoriais gerados pelos fatores, tem-se o Índice Geral de Degradação Ambiental Agropecuária (IGDAA). E, por fim, o agrupamento dos municípios realizado a partir do IGDAA.

2.4.1 Caracterização dos indicadores de degradação ambiental agropecuária

A Tabela 1, a seguir, apresenta uma caracterização a respeito das evidências iniciais dos indicadores agropecuários no Brasil. De modo geral, observa-se que a maior parte das variáveis exibem forte heterogeneidade, uma vez que os coeficientes de variação (CV) possuem valores superiores a 30% (FÁVERO E BELFIORE, 2017). Já os indicadores que detiveram maiores médias estão relacionados ao número de bovinos por área de pastagens, pela proporção de estabelecimentos agropecuários que não receberam de orientação técnica e com controle de doenças e/ou parasitas nos animais.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas dos indicadores de degradação ambiental no Brasil, 2017

Indicadores	Média	Mínimo	Máximo	CV⁶
x1 - Corretivos	21,17	0	84,47	0,8562
x2 – Adubos	24,76	0	97,18	0,8992
x3 – Tratores	45,41	0	1953	1,4132
x4 - Máquinas	27,11	0	1074	1,6790
x5 - Orientação técnica	69,87	2,02	100,00	0,3343
x6 - Solo	43,61	0,61	100,00	0,5598
x7 – Agrotóxicos	38,07	0	98,82	0,7214
x8 – Irrigação	10,57	0,049	96,81	1,2669
x9 – Pragas	67,89	0,37	100,00	0,3042
x10 – Bovinos	184,80	0,24	385,71	3,2223

Fonte: Resultados da pesquisa.

⁶ Quanto menor seu valor, mais homogêneos são os dados. Por sua vez, quanto maior seu valor, mais heterogêneos. Um CV pode ser considerado baixo quando for inferior a 30%, indicando que o conjunto de dados é homogêneo. E, quando superior a 30%, considera-se heterogêneo (FÁVERO E BELFIORE, 2017).

Em vista de tornar perceptível a realidade de cada indicador no Brasil, uma vez que há diferentes contextos no qual a atividade agropecuária se difunde, como por exemplo as circunstâncias produtivas, tecnológicas e de bioma, a Tabela 2 traz o resultado das médias juntamente com o coeficiente de variação para cada região.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas dos indicadores de degradação por região brasileira, 2017

Indicadores	Norte		Nordeste		Sudeste		Sul		Centro-Oeste	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
x1	9,54	0,97	4,27	1,70	32,97	0,55	27,81	0,48	20,57	0,68
x2	10,77	1,02	10,15	1,47	28,08	0,75	41,85	0,53	21,27	0,65
x3	17,63	1,14	5,94	2,09	62,34	1,39	64,84	0,56	70,21	1,15
x4	6,79	2,03	1,81	4,09	29,25	1,38	50,90	0,85	45,05	1,89
x5	86,10	0,13	89,89	0,11	64,49	0,31	48,65	0,43	74,11	0,24
x6	59,98	0,39	42,28	0,63	49,89	0,42	25,83	0,73	58,84	0,31
x7	25,55	0,77	25,13	0,80	32,69	0,71	66,05	0,38	29,94	0,62
x8	6,74	1,36	10,89	1,18	14,93	1,11	7,92	1,30	4,98	1,28
x9	63,61	0,47	58,34	0,33	68,71	0,30	71,97	0,21	84,53	0,14
x10	215,50	9,32	140,70	2,39	151,30	0,63	286,20	0,64	132,90	0,39

Fonte: Resultados da pesquisa.

De acordo com os resultados evidenciados na Tabela 2, a Região Sul destacou-se, em termos médios, algo em torno de 40% dos indicadores agropecuários. Quanto à distribuição regional, percebeu-se heterogeneidade, dado que o coeficiente de variação foi superior a 0,3. As variáveis referem-se, portanto, à proporção de estabelecimentos que fazem uso de adubação química, agrotóxicos bem como pela presença de máquinas para plantio e colheita, pelo número de bovinos por área com pastagens. Para tanto, o Rio Grande do Sul foi responsável por deter os maiores valores médios nessas variáveis, com 48,74%, 60,37% e 71% dos estabelecimentos que fizeram uso de adubos, agrotóxicos e de máquinas, respectivamente, e com cerca de 325 cabeças de bovinos por hectare com pastagens. Em seguida, o Sudeste obteve destaque no que se refere ao uso de corretivos e de irrigação, de modo que, ambas se distribuem com heterogeneidade na região. No entanto, o Espírito Santo obteve maior média entre os estados da região com 40,02% para x1 e 38,76% para x8.

Já no Centro-Oeste do Brasil, o destaque se deu em decorrência da proporção de estabelecimentos agropecuários que possuem tratores e que fazem controle de doenças e/ou parasitas animais, sendo que, respectivamente, tais variáveis aparecem de forma heterogênea e homogênea em seus estados. O Mato Grosso teve maior média proporcional, com 92% para x3 e 81,24% em relação a x9. O destaque no percentual das propriedades que não receberam

orientação técnica no Nordeste demonstrou homogeneidade, sendo que todos os estados se situaram acima de 80%. Entretanto, o Piauí apresentou maior nível com média aproximada de 95% dos estabelecimentos de seus municípios. Já a Região Norte se destacou quanto ao número de estabelecimentos que não aplicaram sistema de preparo do solo, o estado do Amazonas apresentou maior evidência com média equivalente a 73,9%.

2.4.2 Fatores de degradação ambiental

A verificação da adequabilidade da análise fatorial ao conjunto de dados ocorreu por meio dos testes de esfericidade de Bartlett e Kaiser – Meyer – Olkin (KMO). O valor obtido (17901,196) pelo primeiro teste mostrou-se significativo a 1%, permitindo identificar que as variáveis não são correlacionadas, rejeitando a hipótese nula de que a matriz de correlação é uma matriz identidade, assim, conclui-se que os dados são adequados ao uso da técnica (HAIR JUNIOR *et al.*, 2009). Já o segundo, o KMO, corroborou com o resultado do primeiro teste indicando bom ajuste, apresentando valor equivalente a 0,7627 (FÁVERO *et al.*, 2009). Ademais, a matriz de correlação também foi analisada (APÊNDICE A).

Com a aplicação da análise fatorial operacionalizada via método de componentes principais, pela rotação ortogonal Varimax, em vista de facilitar a interpretação dos fatores e, considerando aqueles que tiveram autovalores superiores a 1 (critério Kaiser), verificou-se que as 10 variáveis formaram quatro fatores de degradação ambiental agropecuária (Tabela 3). No total os fatores explicam 72,54% da variabilidade dos dados, logo, os fatores captam percentual significativo da variância das variáveis originais uma vez que 60% já é tratado como uma proporção satisfatória no campo das ciências sociais (HAIR JUNIOR *et al.*, 2009 *apud* PINTO e CORONEL, 2015).

Tabela 3 – Fatores extraídos pela análise fatorial via componentes principais

Fator	Autovalores	Variância explicada pelo fator (%)	Variância acumulada (%)
1	3,09940	30,99	30,99
2	1,80008	18,00	48,99
3	1,33002	13,30	62,30
4	1,02439	10,24	72,54

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os valores das cargas fatoriais após rotação ortogonal e as comunalidades estão apresentadas na Tabela 4. As variáveis selecionadas para compor cada fator foram aquelas que tiveram maior correlação mediante o valor da carga fatorial, sendo que todas possuem valores maiores que 0,5, conforme destacadas em negrito. As comunalidades apresentam a capacidade conjunta de explicação dos quatro fatores em relação à variância das variáveis originais, sendo o valor mínimo aceitável igual a 0,5. Portanto, observa-se que todos os valores foram acima deste. Vale ressaltar que quanto maior esta, maior tende a ser o poder do indicador agropecuário para explicar a degradação ambiental. Nota-se, por exemplo, que os quatro fatores gerados explicam cerca de 94% da variância total do indicador que trata do número de bovinos por área com pastagens das propriedades agropecuárias.

Tabela 4 – Cargas fatoriais e comunalidades gerados pela análise fatorial

Indicadores Agropecuários	Cargas Fatoriais				Comunalidades
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	
x1 - Corretivos	0,7902	0,1715	0,2575	-0,0334	0,7212
x2 - Adubos	0,5683	0,5162	0,0902	0,0902	0,6029
x3 - Tratores	0,8711	-0,0115	0,0299	0,0066	0,7599
x4 - Máquinas	0,8377	0,1616	-0,1028	0,0557	0,7416
x5 - Orientação técnica	-0,7041	-0,4465	0,1075	-0,0384	0,7082
x6 – Solo	-0,0054	-0,8516	0,0079	0,0298	0,7216
x7 - Agrotóxicos	0,4342	0,7393	0,0479	0,0882	0,7452
x8 - Irrigação	0,0760	0,0683	0,7755	-0,1699	0,6407
x9 - Pragas	0,0206	0,0395	-0,7929	-0,1826	0,6640
x10 - Bovinos	0,0272	0,0246	0,0105	0,9708	0,9440

Fonte: Resultados da pesquisa.

O primeiro fator (F1) está relacionado positivamente com as variáveis que ocasionam degradação ambiental pelo manejo do solo com o uso de corretivo (x1) e adubos químicos (x2), também pelos indicadores que demonstram a presença do maquinário (tratores, plantadeiras e colheitadeiras) (x3 e x4) nos estabelecimentos e, negativamente com a falta de orientação técnica recebida pelos produtores agropecuários (x5). Com maior parcela de explicação da variância entre os quatro fatores encontrados, 30,99%, este fator pode ser caracterizado pelo desgaste ambiental oriundo do *potencial de desgaste do solo pelas tecnologias mecânicas, bioquímicas e pela desinformação*.

Já o segundo fator (F2) é correlacionado de modo positivo pela aplicação de agrotóxicos (x7), que contaminam a água, assim como causam efeitos adversos à saúde humana e, negativamente com a não utilização de um sistema de preparo da terra (x6) culminando em desgaste do solo. Explicando 18%, este fator expressa o *potencial desgaste do solo, água e saúde pelo não preparo da terra e agrotóxicos*.

A degradação do meio ambiente pela proporção de estabelecimentos agropecuários que utilizaram de sistema de irrigação (x8) gerando, conseqüentemente, compactação do solo, salinização, pondo em risco a produtividade da terra etc., bem como aqueles que fazem controle de doenças e/ou parasitas nos animais (x9) foram agrupados no terceiro fator (F3). Concentrando 13,30% da variância total, este fator pode ser designado a partir dos indicadores que contribuem para o *potencial desgaste do solo pela irrigação e controle de pragas*.

Por fim, o quarto fator (F4) foi responsável por explicar 10,24% e reflete o desgaste ambiental decorrente da emissão de gases de efeito estufa, que é resultado do processo digestivo dos bovinos e por sua ocupação sobre as áreas com pastagens, observada pela forte correlação positiva do número de cabeças de bovinos por área natural e plantada das pastagens (x10). Portanto, este último fator representa o *potencial de desgaste ambiental pela atividade pecuária*.

Com base nas cargas fatoriais, foram estimados os escores fatoriais, isto é, uma medida criada para cada observação dentro dos fatores, de modo que reflete a situação de cada município em relação à média da amostra. Notou-se que todos os fatores revelaram situação semelhante no sentido de que menos de 50% da amostra está situada acima da média. Do total de 4.767 municípios, 43,74% no F1 tiveram escores positivos, ou seja, demonstraram potencial de desgaste ambiental pela utilização de máquinas, corretivos e adubos acima da média e que também os produtores não receberam orientação técnica. Já no F2, 46,05% indicaram estar acima da média no uso de agrotóxicos e pela falta de utilização de um sistema de preparo do solo. O F3 mostrou que 41,87% dos municípios possuem valores positivos e apresentam potencial desgaste mediante o uso de sistema de irrigação e pelo controle de pragas. E, por último, no F4 a proporção de observações acima da média; por sua vez com potencial de degradação através da atividade pecuária correspondendo a 41,87%.

Por fim, as dez variáveis aplicadas mediante análise fatorial formaram quatro fatores, a saber: i) *potencial de desgaste do solo pelas tecnologias mecânicas, bioquímicas e pela desinformação*; ii) *potencial de desgaste do solo, água e saúde pelo não preparo da terra e agrotóxicos*; iii) *potencial de desgaste do solo pela irrigação e controle de pragas* e iv)

potencial de desgaste ambiental pela atividade pecuária. Estes apontam características importantes para compreender a disseminação da degradação ambiental consequente da agropecuária. Assim, os escores fatoriais, compreendidos nos fatores de degradação, foram utilizados como base para obtenção do IGDA e estão demonstrados a seguir.

2.4.3 Índice Geral de Degradação Ambiental Agropecuária (IGDA)

O Índice Geral de Degradação Ambiental Agropecuária (IGDA) foi calculado a fim de identificar o percentual de desgaste que a atividade agropecuária exerce nas regiões bem como nos estados brasileiros, a partir da utilização dos escores fatoriais compreendidos em cada fator de degradação ambiental obtido pela análise fatorial, demonstrado anteriormente. O valor do índice pode se situar no intervalo entre 0 e 1, de forma que quanto mais próximo de 1, maior a situação de determinada localidade quanto a degradação.

Na Tabela 5 constam as estatísticas descritivas do IGDA. Nota-se, portanto, que o país apresentou índice médio igual a 0,2917, indicando que pouco mais de um quarto do território brasileiro enfrenta problemas de deterioração do meio ambiente provenientes dos meios e tecnologias aplicados na atividade agropecuária das propriedades. Cabe analisar o índice médio auferido em termos regionais, uma vez que há diferenças entre os contextos na produção agropecuária, como bioma, circunstâncias produtivas e tecnológicas dos produtores além do potencial econômico regional (SANTOS e SANTANA, 2021). Assim, é possível observar que a proporção de degradação nas Regiões Norte, Centro-Oeste e Nordeste revelou padrão similar, sendo estas as Regiões que auferiram os menores índices médios, e demonstraram distribuição homogênea, conforme aponta os coeficientes de variação.

A Região Sul do país apresentou, em média, o maior grau de degradação ambiental, com 0,3288, seguida pelo Sudeste, com 0,3079. Tal resultado corrobora com as evidências encontradas para essas regiões quanto às maiores médias encontradas no país (conforme visto na subseção 2.4.1) em função, principalmente, das variáveis ligadas à modernização agrícola, que por sua vez resulta na incidência de degradação ambiental (CUNHA *et al.*, 2008). Ademais, Teixeira (2005) salienta que o processo de modernização agrícola no Brasil ocorreu de forma concentrada, sendo as Regiões Sul e Sudeste as mais privilegiadas; além de deter o maior acesso a equipamentos e produtos, também tiveram mais acesso ao crédito rural.

Tabela 5 – Estatísticas descritivas do IGDAAs das regiões brasileiras

Região	Média	Mínimo	Máximo	CV
Norte	0,2691	0,2188	0,3763	0,1003
Nordeste	0,2778	0,2116	0,4042	0,0951
Sudeste	0,3079	0,2177	0,4766	0,1538
Sul	0,3288	0,2458	0,4480	0,1024
Centro Oeste	0,2749	0,2195	0,4754	0,1379
Média	0,2917	0,2227	0,4361	0,1179

Fonte: Resultados da pesquisa.

É possível ainda visualizar pela Tabela 5, em conformidade com a Tabela 6, a seguir, que o Rio Grande do Sul apresentou maior média no Sul do Brasil, compreendendo o IGDAAs máximo da região, refletindo assim o peso da atividade agropecuária na economia do estado, do qual a produção de máquinas agrícolas, que também se trata de um importante produtor e fornecedor no território nacional, indica vantagem para o desempenho produtivo e de inovação local (FEIX e LEUSIN JÚNIOR, 2019). Em termos dos fatores de degradação ambiental, a saber, o potencial desgaste do solo pelas tecnologias mecânicas, bioquímicas e pela desinformação (F1); potencial desgaste do solo, água e saúde humana pelo não preparo da terra e agrotóxicos (F2); potencial desgaste do solo pela irrigação e controle de pragas (F3) e potencial desgaste ambiental pela atividade pecuária (F4), notou-se que a totalidade dos municípios gaúchos demonstraram estar acima da média nacional, conforme os escores fatoriais. Para tanto, o município de Capiiravi do Sul que obteve o maior índice do estado também apresentou o escore máximo no F1, enquanto no F2, F3 e F4 o destaque foi para Lagoão, Canoas e Nova Roma do Sul, na devida ordem.

Tabela 6 – Estatísticas descritivas do IGDA para cada unidade federativa (UF) do Brasil

Região	UF	Média	Mínimo	Máximo	CV
Norte	Rondônia (RO)	0,2672	0,2243	0,3257	0,0903
	Acre (AC)	0,2545	0,2280	0,2813	0,0520
	Amazonas (AM)	0,2806	0,2442	0,3763	0,0989
	Roraima (RR)	0,2658	0,2300	0,3381	0,0934
	Pará (PA)	0,2739	0,2188	0,3637	0,1272
	Amapá (AP)	0,2847	0,2538	0,3089	0,0680
	Tocantins (TO)	0,2624	0,2289	0,3242	0,0656
Nordeste	Maranhão (MA)	0,2634	0,2184	0,3379	0,0673
	Piauí (PI)	0,2642	0,2258	0,3366	0,0659
	Ceará (CE)	0,2765	0,2216	0,3372	0,0766
	Rio Grande do Norte (RN)	0,2859	0,2116	0,3674	0,0898
	Paraíba (PB)	0,2818	0,2274	0,3627	0,0850
	Pernambuco (PE)	0,2872	0,2310	0,3902	0,1088
	Alagoas (AL)	0,2852	0,2442	0,3546	0,0862
	Sergipe (SE)	0,2891	0,2460	0,3858	0,0820
Bahia (BA)	0,2794	0,2297	0,4042	0,1060	
Sudeste	Minas Gerais (MG)	0,2900	0,2177	0,4557	0,1316
	Espírito Santo (ES)	0,3561	0,2622	0,4556	0,1385
	Rio de Janeiro (RJ)	0,2888	0,2353	0,4354	0,1557
	São Paulo (SP)	0,3281	0,2296	0,4766	0,1406
Sul	Paraná (PR)	0,3258	0,2496	0,4188	0,1121
	Santa Catarina (SC)	0,3197	0,2458	0,4290	0,0933
	Rio Grande do Sul (RS)	0,3366	0,2487	0,4480	0,0942
Centro-Oeste	Mato Grosso do Sul (MS)	0,2802	0,2344	0,3676	0,0997
	Mato Grosso (MT)	0,2815	0,2195	0,4754	0,1784
	Goiás (GO)	0,2688	0,2226	0,4496	0,1117
	Distrito Federal (DF)	0,3829	0,3829	0,3829	-

Fonte: Resultados da pesquisa.

Na Tabela 6, observa-se que no Sudeste – o segundo maior grau de degradação no Brasil em termos regionais –, o Espírito Santo obteve maior percentual estadual médio do IGDA. A agropecuária está entre os principais componentes da economia dos municípios do estado. O setor agrícola é o que mais demanda água, de modo que cerca de 80% do volume das águas captadas são utilizadas para a irrigação de culturas, principalmente no norte do estado (BATALHA, 2019). Tal evidência corrobora com o destaque nacional do Espírito Santo no indicador de irrigação. Entretanto, Pontal, município pertencente ao estado de São Paulo, revelou maior índice do país e, conseqüentemente da região. Além do mais, no que tange aos fatores de degradação encontrados, foi observado que os municípios paulistas Américo Brasiliense, Ibiúna e Serrana obtiveram os maiores escores fatoriais no primeiro, terceiro e quarto fator, respectivamente. O F1 está associado ao potencial de desgaste ambiental pelo uso

de maquinário, adubos e corretivos e pela falta de orientação técnica, o F3 é impulsionado pela utilização de sistema de irrigação e de controle de doenças animais; no F4, pela prática da atividade pecuária. Já Marataízes, no Espírito Santo, se destacou pelo potencial desgaste consequente do uso de agrotóxicos e pela falta de preparo da terra (F2).

Na Região Norte, que apresentou o menor índice médio regional (0,2621), o estado do Amapá obteve, em termos médios, o maior IGDA. No entanto, o maior índice da Região correspondeu a 0,3763 pertencendo ao município de Iranduba, no Amazonas. Em relação aos fatores que condicionam a incidência de degradação ambiental, no F1 e F2 os municípios de Alvorada e Combinado, ambos em Tocantins, revelaram os maiores escores positivos, isto é, mostraram-se acima da média. No F3, destacou-se Curuçá, no Pará, enquanto no F4 correspondeu ao município de São Gabriel da Cachoeira (AM). Apesar de ter sido constatado o menor índice médio regional no Norte, notou-se que o menor índice auferido no Brasil corresponde a 0,2116 e está localizado em Ipueira, no estado do Rio Grande do Norte, que pertence à Região Nordeste. Ao se analisar os escores fatoriais de cada fator, a Bahia foi o estado nordestino que mais se destacou por estar situado acima da média, sendo Luís Eduardo Magalhães, no primeiro fator, Saubara, no segundo fator, e Morros, no terceiro fator.

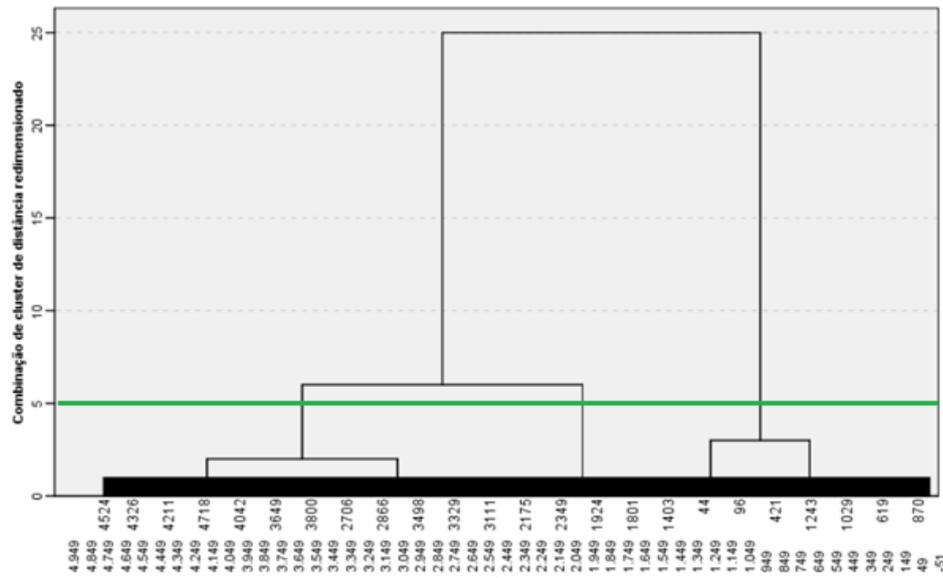
Diante do exposto, pode-se inferir que apesar de todos os estados brasileiros ter apresentado homogeneidade em relação às variáveis selecionadas, conforme coeficiente de variação inferior a 30%, é perceptível que o acesso aos indicadores apresenta divergência quando se trata do reflexo desses em relação à degradação, principalmente quando verificado em termos regionais no Brasil. Ademais, tomando o resultado do índice, o IGDA foi analisado distribuindo-o em grupos homogêneos, porém divergentes entre si no que diz respeito ao potencial de degradação ambiental agropecuária, apresentado a seguir.

2.4.4 Clusters de degradação ambiental

Para análise da classificação de degradação ambiental decorrente da agropecuária no Brasil em relação ao IGDA, foi empregada a análise de agrupamento ou *cluster*. Inicialmente, a determinação do número de grupos ocorreu pela aplicação do método hierárquico pelo procedimento Ward (método de variância mínima) combinado com distância quadrática euclidiana. Assim sendo, tal definição se deu com base na distância observada no diagrama em árvore (dendograma) (Figura 1). A reta horizontal, na cor verde, traçada na Figura

abaixo marca o maior número de ramificações observadas. As linhas verticais que cruzam a linha verde indicam a quantidade de *clusters* que devem ser formados, isto é, três.

Figura 1 – Dendograma



Fonte: Resultados da pesquisa.

Uma vez que foi definida a quantidade de *clusters* aplicou-se a análise de agrupamento pelo método não hierárquico, por meio do procedimento k-médias com medida de distância quadrática euclidiana. A Tabela 7 exhibe o agrupamento dos municípios conforme sua similaridade no que se refere ao IGDA. Assim, o resultado dos grupos enquadra-se em três faixas que foram consideradas em nível baixo, médio e alto do IGDA, de modo que estes expressam o grau de degradação ambiental agropecuária e, por sua vez, reflete o potencial desgaste ambiental dos agrupamentos.

Tabela 7 – *Clusters* do IGDA

<i>Clusters</i>	IGDA	IGDA médio	Nº de municípios
1 – Baixo	0,0000 — 0,2881	0,2635	2.276
2 – Médio	0,2881 — 0,3426	0,3126	1.712
3 – Alto	0,3428 — 1,0000	0,3726	779

Fonte: Resultados da pesquisa.

O *cluster* 1, caracterizado por aqueles municípios que foram classificados como baixo potencial à degradação ambiental, reuniu 48% da amostra e apresentou IGDA médio de 0,2635. Norte, Nordeste e Centro-Oeste concentraram a maior parcela de suas localidades nesse grupo (Tabela 8). Tal evidência reflete a menor intensidade da atividade agropecuária

nessas regiões quando comparadas às demais. Além disso, especialmente o Norte e o Nordeste possuem participação baixa no setor industrial, além de consistir nas regiões menos modernas. Sobretudo em relação à modernização da agricultura, o Nordeste ainda se caracteriza pelo atraso tecnológico, pela precariedade de capacitação e capitalização, por adversidades de cunho climático e pela escassez de políticas agrícolas que resolvam tais problemas (SILVA, 2019; LISBINSKI *et al.*, 2021). Os menores índices encontrados correspondem a 0,2116, 0,2177 e 0,2184 para Ipueira (RN), São Sebastião do Rio Preto (MG) e Junco do Maranhão (MA), respectivamente. Por outro lado, os maiores valores encontrados do IGDA foram de 0,2881, para Álvares Machado (SP), e 0,2880, para Navegantes (SP), Pérola (PR) e Colônia do Gurguéia (PI).

A composição do *cluster 2*, que aponta potencial médio de degradação ambiental, concentrou 36% da amostra. Com IGDA médio do grupo igual a 0,3136, os índices mínimos encontrados correspondem a 0,2881 para Almino Afonso (RN) e São Miguel do Tocantins (TO), seguido por 0,2882 para Sucupira (TO) e os municípios cearenses Morada Nova e Cruz. Já os maiores índices localizam-se em Santa Cruz do Sul (RS) e Caçador (SC) ambos com 0,3426; logo após destacou-se o município mineiro de Araguari e os demais pertencentes ao Rio Grande do Sul, a saber Novo Barreiro, Serafina Corrêa e Vista Alegre do Prata, com índice de 0,3425. Em termos regionais, o Sul e Sudeste do Brasil apresentaram grande quantidade de seus municípios englobadas nesse grupo, em média com 58% e 36%, respectivamente (Tabela 9). Assim, esse resultado coincide, em parte, com os incentivos recebidos acerca da modernização agrícola, que por sua vez, ocasiona efeitos ambientais negativos. Em média nacional, essas regiões apresentaram valores expressivos no uso de indicadores agropecuários, a saber: corretivos, adubos, mecanização, agrotóxicos, irrigação, assim como no efetivo bovino.

O *cluster 3*, com maior potencial de degradação ambiental, apresentou IGDA médio de 0,3726 e, contabilizou 16% das observações. Conforme mostra a Tabela 8, a seguir, também neste grupo grande parte das localidades do Sul e Sudeste do Brasil sobressaiu o percentual de municípios enquadrados das demais regiões. Tais evidências indicam, conseqüentemente, o peso da atividade agropecuária que potencializa o desgaste ambiental. Além disso, o Sudeste é destaque no que tange a presença do setor industrial e também dispõe de vantagens competitivas no setor agropecuário (como a rede de pesquisa e inovação tecnológica, com o maior número de instituições e universidades federais) em relação às outras regiões (CASTRO, 2014; LISBINSKI *et al.*, 2021). O menor índice encontrado apresentou valor de 0,3428 para Serrania e Matias Cardoso, ambos pertencentes ao estado de Minas Gerais,

Lagoa Vermelha no Rio Grande do Sul e em Monte Alegre do Sul que fica no estado de São Paulo. Em contrapartida, o maior índice está localizado em Pontal – SP (0,4766), em seguida, tem-se Ipiranga do Norte – MT (0,4754) e Sapezal – MT (0,4727).

Tabela 8 – Percentual de municípios por *cluster* de degradação nos estados brasileiros

Regiões	UF	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Norte	RO	79%	21%	0%
	AC	100%	0%	0%
	AM	78%	16%	5%
	RR	93%	7%	0%
	PA	67%	28%	4%
	AP	58%	42%	0%
	TO	91%	9%	0%
	Média	81%	18%	1%
Nordeste	MA	94%	6%	0%
	PI	90%	10%	0%
	CE	74%	26%	0%
	RN	59%	36%	5%
	PB	67%	30%	3%
	PE	62%	29%	9%
	AL	62%	35%	3%
	SE	52%	45%	4%
	BA	68%	28%	4%
Média	70%	27%	3%	
Sudeste	MG	54%	35%	11%
	ES	10%	36%	54%
	RJ	62%	27%	11%
	SP	21%	46%	33%
	Média	37%	36%	27%
Sul	PR	17%	52%	31%
	SC	12%	71%	18%
	RS	6%	51%	43%
	Média	12%	58%	31%
Centro-Oeste	MS	69%	29%	3%
	MT	73%	16%	11%
	GO	82%	16%	2%
	Média	74%	20%	5%

Fonte: Resultados da pesquisa.

Ademais, as regiões que se destacaram em médio e alto potencial de degradação ambiental, ou seja, Sul e Sudeste, são consideradas como as mais modernas, do ponto de vista

agrícola e possuem os melhores índices de produtividade da terra e também do trabalho. (FELEMA, RAIHER e FERREIRA, 2013; SILVA, 2019). Na Tabela 8, verificou-se que os maiores IGDAAs (*cluster 3*) concentraram-se, principalmente, no estado do Rio Grande do Sul (43% dos municípios), e no Espírito Santo (54%). Enquanto no agrupamento com índices de nível médio (*cluster 2*), foram observados que mais de 50% dos municípios que compõem os estados do Sul estão alocados nesse *cluster* e que no Sudeste o maior percentual corresponde a São Paulo, com 46%. Portanto, percebe-se que 52% dos municípios brasileiros demonstraram médio e alto potencial de degradação. Logo, sabendo que quanto mais intensa for a atividade agropecuária mais intensa são suas consequências sobre o meio ambiente, se faz necessário que ações de recuperação e minimização de seus efeitos sejam tomadas em consonância com o aumento da produtividade, que é fundamental para a economia brasileira.

Por fim, nos últimos anos, o Brasil tem se apresentado com grande potencial agrícola e crescimento constante como resultado, em especial, do uso técnicas e equipamentos modernos. Para tanto, há baixos percentuais de práticas adequadas de conservação ambiental presentes nos estabelecimentos agropecuários, a saber: 18,66% fazem a rotação em culturas, 8,92% praticam o plantio em nível e apenas 9,31% utilizaram suas áreas com matas e/ou florestas e 3,9% protegem e/ou conservam encostas. Para tanto, o Sul e Sudeste estão entre os melhores percentuais, sendo 18,09%, 45,63% e 11,44%, respectivamente para a Região Sul e, 25,83%, 18,80 e 6,16%, na devida ordem, para o Sudeste. Ainda assim, estes tiveram os maiores percentuais de degradação do país. Na ocupação das áreas com matas, o Nordeste obteve maior média, 12,35%. Por outro lado, essa mesma região está entre os menores percentuais em plantio em nível (2,61%), rotação das culturas (14,20%) e conservação das encostas (0,63%). Além disso, grande parte não teve acesso à orientação técnica seja por parte de órgãos públicos e/ou de origem privada (78%) (Censo Agropecuário, 2017).

2.5 Considerações finais

O objetivo principal deste ensaio foi verificar a proporção de degradação ambiental no Brasil utilizando como *proxy* a construção de um Índice Geral de Degradação Ambiental Agropecuária (IGDAA) e, com base neste, agrupar os municípios que apresentam potencial de degradação semelhante. Para isso, considerando um conjunto de dez indicadores agropecuários extraídos do Censo Agropecuário 2017, utilizou-se a técnica estatística multivariada de análise fatorial para construção do IGDAA e a análise de *cluster* para agrupar os municípios.

Os resultados apresentaram quatro fatores de degradação ambiental, a saber: Fator 1, apontou o potencial desgaste do solo pelas tecnologias mecânicas, bioquímicas e pela desinformação, explica 30,99%; Fator 2, o potencial de desgaste do solo, água e saúde humana pelo não preparo da terra e agrotóxicos, com 18% de explicação; Fator 3, indica o potencial de desgaste do solo pela irrigação e controle de pragas, explica 13,30% e, o Fator 4, potencial desgaste ambiental pela atividade pecuária, explicando 10,24%. Portanto, tais fatores explicaram 72,35% da variância total dos dados.

A identificação de tais fatores possibilitou a construção do IGDA por meio dos escores fatoriais. Notou-se que o Brasil apresentou IGDA médio igual a 0,2917, ou seja, pouco mais de um quarto do território brasileiro enfrenta problemas com desgaste do meio ambiente decorrente dos meios e tecnologias utilizados pelos estabelecimentos na atividade agropecuária. Em termos regionais, o Sul do país obteve maior índice médio de degradação ambiental, correspondente a 0,3288, seguido pelo Sudeste, com 0,3079. Tais resultados corroboram com o fato de se tratarem das regiões que demonstram avanço quanto à modernização agrícola e, conseqüentemente, no uso de tecnologias e técnicas que geram efeitos adversos sobre o meio ambiente.

A partir desse resultado, foram gerados três grupos homogêneos, com baixo (48% dos municípios), médio (36%) e alto (16%) IGDA. Verificou-se que as Regiões Sul e Sudeste apontaram os piores índices (*cluster* 3), sendo que o maior índice está localizado em Pontal – SP (0,4766); em seguida, tem-se Ipiranga do Norte – MT (0,4754) e Sapezal – MT (0,4727). Já os melhores índices (*cluster* 1), concentram-se no Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Os menores índices encontrados correspondem a 0,2116, 0,2177 e 0,2184 para Ipueira (RN), São Sebastião do Rio Preto (MG) e Junco do Maranhão (MA), respectivamente. Dessa forma, as Regiões Sul e Sudeste apresentaram maior tendência para o agravamento da degradação ambiental. Em contrapartida, as demais regiões demonstram índices menores.

Os resultados apontam que mais de 50% da amostra é constituída por municípios que estão em situação de médio e elevado estágio de degradação ambiental. À vista disso, é relevante investigar as causas provenientes da agropecuária, pois contribui para melhor compreensão e colabora com o desenvolvimento de ações que visem promover a redução da degradação das áreas com alto índice, além de servir para minimizar os efeitos naquelas que se encaminham para atingir tal nível. Ações que incentivem pesquisas por instrumentos que tenham o intuito de estimular a produtividade agropecuária – uma vez que esse setor consiste num pilar importante da economia do país – aliada à conservação dos recursos naturais, se trata

de uma ferramenta importante a ser inserida no campo das políticas públicas, além de ações associadas à ampliação de informação aos agricultores. Ademais, medidas como plantio direto, manutenção de matas ciliares, rotação de culturas bem como acesso a crédito para tecnologias adequadas são exemplos de instrumentos.

Por fim, considerando que há constantes mudanças, quanto às tecnologias e técnicas, no contexto em que as atividades agropecuárias estão inseridas, sugere-se que publicações futuras tenham em vista tal perspectiva, considerando as demais variáveis que esta pesquisa não aplicou. Além do mais, este estudo limitou-se a utilização de uma única fonte de dados, o Censo Agropecuário bem como de um único período de tempo, 2017. Assim sendo, recomenda-se também o uso de outras bases de informações e outros períodos de tempo que possam agregar ainda mais o conhecimento da realidade acerca do fenômeno da degradação ambiental, sobretudo mediante a atividade agropecuária.

3 DEGRADAÇÃO AMBIENTAL E SUA RELAÇÃO COM O DESENVOLVIMENTO RURAL NO BRASIL

Neste ensaio apresenta-se a análise da relação entre o fenômeno da degradação ambiental e o desenvolvimento rural no Brasil. Para isto, foi abordado dois conjuntos de variáveis que caracterizam cada dimensão com base em dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017) e Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (Pnad, 2015).

3.1 Introdução

No decorrer do século XXI, o debate mundial acerca da degradação ambiental apresenta caráter pertinente, uma vez que os recursos naturais são finitos e essenciais à vida e ao bem-estar humano. No Brasil, na década de 1960, a modernização agrícola teve início com o processo de revolução verde, do qual um conjunto de estratégias foram inseridas em vista do aumento da produção. Por sua vez, o desenvolvimento de inovações tecnológicas, dentre as quais destacam-se o uso de insumos químicos, mecanização, irrigação e outras, são responsáveis por causar prejuízos sociais, econômicos e ambientais (PINTO E CORONEL, 2015; COSTA, 2016).

Do ponto de vista humano, o meio ambiente é uma fonte de energia que proporciona sua sobrevivência e desenvolvimento. No entanto, a intervenção humana, o crescimento populacional e a introdução de práticas inadequadas no campo causam problemas ambientais (PINTO E CORONEL, 2015). A degradação ambiental pode ser compreendida pela relação de alterações e deteriorações ocorridas no uso dos recursos naturais por intermédio do homem em atividades econômicas nos aspectos populacionais, biológicos, e pela redução da qualidade de vida (LEMOS, 2001; DIAS, 1998 *apud* SALES, 2018).

No Brasil, apesar da atividade agropecuária constituir parte fundamental da economia interna do país – promovendo empregos e geração de renda – e possuir papel importante no fornecimento de alimentos para a população mundial, ela é responsável por gerar várias alterações ambientais, entre as quais destacam-se a poluição do solo, da água e do ar, colocando em risco a saúde pública (CAMPOS *et al.*, 2015; BRASIL, 2020). Além disso, considerando a degradação do meio ambiente derivada da exploração agropecuária, pode-se

concluir que a proximidade entre as localidades rurais e o exercício dessa atividade apresentam relação com o processo de desenvolvimento rural (PINTO, 2014).

O conceito de desenvolvimento rural passou por diversas mudanças no decorrer do tempo, no entanto, seu principal sentido permanece o mesmo. Assim, entende-se essa ideia como a busca pelo equilíbrio entre melhorias nas condições de vida e bem-estar social, preservação do meio ambiente e a promoção do dinamismo econômico (KAGEYAMA, 2006 *apud* SOUZA, 2019). Trata-se de um processo que abrange múltiplos setores, contendo as vertentes ambientais juntamente com a social, econômica e a demográfica. O termo socioeconômico está associado ao alcance da elevação e estabilidade da renda familiar. A esfera demográfica abarca características relativas às distâncias econômicas, segundo o isolamento territorial e acessibilidade em geral, de modo que quanto menor o isolamento, maior a diversificação e as múltiplas funcionalidade das atividades produtivas (KAGEYAMA, 2004 *apud* SOUZA, 2019).

No que se refere a temática ambiental, ao considerar o desdobramento de sua deterioração, pode-se observar evidências que vão além da relação existente com o setor econômico, no sentido de que tal deterioração também é resultado de questões sociais e demográficas, visto que a alocação dos indivíduos acerca do trabalho e moradia apresentam relação direta com esse fenômeno. Isto se dá em consequência da dinâmica resultante do inadequado modo de utilização dos recursos naturais, juntamente com divergências na percepção do olhar de cada indivíduo quanto ao meio em que vive, além da contribuição, consciente ou não, de possíveis externalidades decorrentes do processo produtivo. Isto posto, é perceptível a influência das dimensões de desenvolvimento rural sobre o encadeamento da degradação ambiental (LEMOS, 2001; PINTO, 2014).

Dada a notoriedade das dimensões que compõem o desenvolvimento rural sobre a ocorrência de degradação ambiental, torna relevante o estudo de suas relações. Dessa forma, o problema de pesquisa consiste no seguinte questionamento: Qual a relação existente entre a degradação ambiental e o desenvolvimento rural no Brasil? Com base nessa problemática, o presente ensaio tem como objetivo principal analisar as relações entre indicadores de degradação ambiental e de desenvolvimento rural no Brasil. Especificamente, realiza-se uma caracterização dos indicadores de degradação ambiental e desenvolvimento rural; em seguida, verifica-se o grau de correlação canônica a partir das variáveis analisadas; identificam-se as contribuições e correlações entre variáveis originais e canônicas; e, por fim, analisa-se a influência das variáveis de desenvolvimento rural sobre a degradação ambiental.

Para o alcance dos resultados os dados foram extraídos por meio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017) e Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (Pnad, 2015). Verificada a escassez de pesquisas que abordam a relação entre esses dois campos, o avanço desse trabalho se dá por relacionar o fenômeno da degradação ambiental ao processo de desenvolvimento rural no Brasil. Nessa perspectiva, busca-se colaborar com a literatura e com futuras articulações de ações governamentais que considerem a relação inerente à dinâmica dessas dimensões.

Além dessa introdução, o presente ensaio é composto de quatro seções. Na segunda seção, o referencial teórico explana os determinantes da degradação ambiental bem com a relação desse fenômeno com o desenvolvimento rural. A terceira seção descreve os procedimentos metodológicos. Em seguida, a quarta seção reporta os resultados e discussões. E, por último, as considerações finais.

3.2 Referencial teórico

Esta seção apresenta a temática da degradação ambiental, primeiramente, sob a ótica de seus determinantes e, a posteriori, é explanado seus aspectos relacionados a questão do desenvolvimento rural.

3.2.1 Degradação ambiental e seus fatores condicionantes

A preocupação mundial a respeito da pressão que os recursos naturais vêm sofrendo tem sido constante. Ao longo do tempo, a inclusão de alguns procedimentos no processo produtivo da agricultura gera resultados com efeitos graves sobre a qualidade ambiental, ocasionando, por exemplo, mudanças climáticas, no solo, na disponibilidade de água e na limitação do estoque de terra para produção. Com o crescimento constante da atividade agropecuária no Brasil – que possui potencial condição de ofertar alimentos e biocombustível mundialmente -, a necessidade de um modelo que considere o crescimento econômico em consonância com a preservação ambiental se faz ainda mais necessário. Além de ganhos econômicos, espera-se também benefícios voltados para o bem-estar social da população (SAMBUICHI *et al.*, 2012).

A compreensão do termo degradação ambiental surge como resultado de práticas tomadas pelos agentes econômicos e sociais. Essas práticas se caracterizam como fatores

determinantes, principalmente por aquelas executadas dentro da dinâmica de atividades produtivas, da qual a agropecuária assume lugar de destaque. A modernização da agricultura é considerada uma causa significativa desse fenômeno. O uso inadequado de tecnologias e técnicas agressivas ao meio ambiente, tais como fertilizantes, agrotóxicos, irrigação, desmatamento, mecanização, queimadas etc., geram consequências adversas (PINTO, 2014). Portanto, o desgaste ambiental consiste num desequilíbrio do ecossistema como resultado da interferência humana (BRASIL, 2020).

Como já mencionado, a degradação das áreas ambientais pela agricultura traz várias consequências. O ponto inicial se dá, geralmente, pelo desmatamento e pela substituição da vegetação por outro tipo de cultivo, e isso leva a perda de fertilidade do solo caso os nutrientes retirados não sejam reinsertidos. Outro dano pode se dar pela irrigação. O uso de água com alto teor de sais e ausência de drenagem levam à salinização. Também o uso de maquinário pesado pode provocar a compactação dos solos. E como aspecto mais danoso, a degradação do solo, ocorre quando as terras apresentam queda na capacidade de produção, podendo ser esse efeito, irreversível (SAMPAIO, ARAÚJO e SAMPAIO, 2005).

Segundo Lemos (2001), um estágio avançado da degradação do meio ambiente é a desertificação. Sampaio, Araújo e Sampaio (2005) apontam fases das principais consequências derivadas da desertificação mediante a degradação do solo. Na primeira fase acontece a própria degradação dos solos. A segunda é caracterizada pela diminuição na quantidade de terras produtivas, da produtividade e maior custo de produção. Já na terceira, observa-se a redução das áreas agrícolas, dos rebanhos e da atividade agropecuária, acompanhado ainda da perda de competitividade. A quarta compreende a diminuição da renda e do emprego. Por fim, na quinta fase, constata-se redução da condição de vida.

Outros pontos negativos surgem, por exemplo, em decorrência das queimadas. A aplicação de fogo gera compactação e erosão do solo e, além disso, danifica a matéria orgânica. Já os recursos hídricos usados intensamente na irrigação induzem a erosão, compactação e salinização. Um outro importante fator deriva-se do uso intensivo e inadequado de agrotóxicos e fertilizantes, uma vez que esses provocam a contaminação dos produtos cultivados, do ar, do solo e dos produtos nas lavouras e pastagens que, conseqüentemente, gera preocupação à saúde dos consumidores e também dos que estão presentes na localidade onde esses produtos são aplicados (SAMBUICHI *et al.*, 2012).

A agropecuária é considerada a atividade que mais emite gases de efeito estufa (GEE) no Brasil. Esse efeito decorre, principalmente, pelo desmatamento e processo produtivo

a partir da liberação do gás metano e de carbono (CO₂), pela pecuária e práticas de manejo de solo, respectivamente. Conseqüentemente, ocorrem mudanças climáticas e na biodiversidade e, no caso brasileiro, algumas técnicas são consideradas como solução para reduzir a emissão de CO₂ e GEE; a saber, a agricultura conservacionista (AC), aumento de florestas plantadas, recuperação de pastagens, fixação biológica de nitrogênio e pela intensificação da integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) (SAMBUICHI *et al.*, 2012; TELLES e RIGHETTO, 2019).

A pecuária como um dos elos da atividade agropecuária é instrumento estratégico para a oferta brasileira de alimentos de origem animal (carne bovina, suína, aves, leite, ovos), portanto a saúde dos animais se faz importante para garantir produtividade com qualidade. No entanto, o controle de doenças e parasitas nos animais requer uso de antibióticos e pesticidas que por sua vez incidem efeitos sobre o ambiente, pois seus resíduos, por exemplo, acabam contaminando o solo, a água superficial, o lençol freático. Deste modo, trata-se de um desafio necessário a busca por vias que garantam a qualidade da produção com o controle adequado da saúde animal em consonância com a sustentabilidade nesse setor (REGITANO e LEAL, 2010; EMBRAPA, 2022).

Outro fator que apresenta relação com o desgaste ambiental, segundo a literatura, é a pobreza. Lemos (2001), afirma que a falta de acesso à informação, ao crédito e à tecnologia adequada levam as pessoas pobres a agredirem os recursos naturais, de forma consciente ou não, como estratégia de sobrevivência. Finco, Waquil e Mattos (2004) atestam que a associação entre estes dois aspectos é discutida na literatura sob diversos enfoques, sendo que alguns decorrem de forma limitada, uma vez que há uma diversidade de fatores que compõe a própria dinâmica desses. Seria o caso, por exemplo, de tratar a condição de pobreza do ponto de vista da renda e a degradação ambiental pela erosão do solo. Contudo, observa-se a existência de um círculo vicioso que sugere a diminuição da degradação do meio ambiente como resultado da redução da pobreza e vice-versa.

Considerando o aspecto ambiental em termos do desenvolvimento das localidades rurais, tem-se o uso dos recursos naturais nas condições mais gerais e as conseqüências relacionadas a questões econômicas e populacionais. Logo, por um lado, a dimensão ambiental determina o desenvolvimento rural, e por outro, essa dimensão também é impactada pelas demais vertentes do desenvolvimento no meio rural, em razão da proximidade das localidades rurais com a presença da atividade agropecuária, o que implica, conseqüentemente, em contribuição para a degradação ambiental. Assim, é possível compreender que existe uma

ligação entre esses fenômenos, o ambiental e o processo inerente ao desenvolvimento rural (CONTERATO, SCHNEIDER e WAQUIL, 2007; PINTO, 2014).

3.2.2 Relação entre desenvolvimento rural e a degradação ambiental

No Brasil, a partir da década de 1960, começou a ser inserido no desenvolvimento rural o processo de modernização agrícola de acordo com os princípios da revolução verde. Esses princípios são baseados na inovação tecnológica e aumento da produtividade a partir do uso de mecanização, insumos químicos, irrigação e outros. Como resultado, ocorreram várias transformações de cunho social, econômico e ambiental no espaço rural. Em termos sociais, tais efeitos se referem à concentração de propriedade, maiores disparidades de renda e redução da qualidade de vida no meio rural, por exemplo. No sentido ambiental, houve transformações como consequência da monocultura, principalmente pelo uso intensivo de adubos inorgânicos e agrotóxicos que levaram a contaminação dos recursos ambientais (COSTA, 2016).

Em diversos países, ao longo do século XX, a questão do desenvolvimento tanto agrícola quanto rural foram compreendidos como sinônimos, uma vez que ao buscar formas de promover o desenvolvimento de localidades rurais eram considerados meios de produzir melhorias nas atividades produtivas. É no tocante dessa simultaneidade que surge a promoção do papel estatal em impelir o desenvolvimento rural, a princípio, por meio de múltiplas dimensões que pudessem condicionar a modernização da agricultura. Posteriormente, essa ideia foi superada pela incorporação também de fatores sociais e ambientais (CASTRO e PEREIRA, 2020). Lobão e Staduto (2018) afirmam, a partir da constatação de Mattei (1999), que a condição de pobreza permaneceu na maioria das localidades que houve avanço no processo de modernização agrícola, e que se teve início a compreensão segundo a qual os fatores de desenvolvimento rural vão além do aspecto agrícola, sendo então considerada a estrutura socioeconômica e ambiental do meio rural.

Em seu caráter multidimensional, o desenvolvimento rural caracteriza-se por ser um processo que resulta de ações articuladas, buscando melhorar as condições de vida e bem-estar da população rural juntamente com o aumento de renda a partir de mudanças socioeconômicas. Nesses termos, a valoração dos recursos naturais deve ser considerada como uma condição necessária para ocasionar melhoria de vida nas localidades rurais. Ademais, este é formado pela dimensão ambiental, demográfica, social e econômica. Do ponto de vista do meio ambiente, apesar deste ser um dos determinantes do desenvolvimento rural, tem-se que os

demais componentes de desenvolvimento incidem efeitos que proporcionam degradação ambiental, haja vista a proximidade entre o âmbito rural com aqueles que possuem presença de atividades econômicas, como a agropecuária (SHNEIDER, 2004; PINTO, 2014; LOBÃO e STADUTO, 2018).

Como dito, embora a dimensão ambiental seja um dos elementos do desenvolvimento rural, suas demais dimensões exercem efeitos que agravam a degradação deste meio. A questão demográfica está vinculada aos aspectos tanto mais gerais quanto específicos da população, e abrange a relação entre a proporção de áreas com o número de pessoas e trabalhadores na agropecuária, de modo que, quanto maior o número populacional e de trabalhadores, menor será a capacidade da área suportá-las conforme maior for seu estágio de degradação. Os aspectos sociais estão associados às variáveis de qualidade de vida e bem-estar da população, sejam diretamente ou indiretamente. Em termos de degradação ambiental, a questão social está ligada, especialmente, pela interferência humana na utilização dos recursos naturais, do qual sua ação se dá a partir do ponto de vista de cada um, consciente ou não das consequências negativas e positivas que podem gerar, como o desflorestamento e agricultura predatória (LEMOS, 2001; CONTERATO, SCHNEIDER e WAQUIL, 2007; PINTO, 2014).

A conjuntura econômica do desenvolvimento rural inclui indicadores que demonstram a relação entre os indivíduos e a localidade como um todo, como elementos de renda, produtividade e estratégias de financiamento. A relação entre degradação ambiental e pobreza é um dos elementos resultantes dessa conjuntura. A insuficiência de renda, nesse caso, pode incidir sobre carência de informação, de crédito e tecnologia adequada, bem como a condição de pobreza pode ser expressa pela quantidade de terra que possui para cultivo da agricultura. Tudo isso, não obstante o foco de aumentar a produtividade sem considerar a preservação ambiental, com uso de métodos e práticas que proporcionam o aumento da produção a curto prazo sem considerar os efeitos negativos sobre o meio ambiente também a longo prazo (FINCO, WAQUIL e MATTOS, 2004; CONTERATO, SCHNEIDER e WAQUIL, 2007; PINTO, 2014).

Para que se possa existir uma sustentabilidade econômica atrelada ao uso sustentável dos recursos naturais em áreas de pobreza, isto é, para que o desenvolvimento rural ocorra de modo sustentável nessas áreas, é imprescindível a atuação estatal. Aspectos relacionados a quantidade e qualidade da terra, educação em geral, bem como o uso de forma racional dos recursos naturais (em vista de que o estoque desse não seja danificado) trata-se de uma importante conduta que o Estado deve intervir por meio de acesso gratuito à orientação

técnica, extensão rural, promoção de conhecimento científico no que tange a tecnologias e práticas adequadas (LEMOS, 2012).

Por fim, o exercício da atividade agropecuária tem em si uma dinâmica naturalmente ligada a aspectos que modificam o meio em que essa atividade está inserida e busca, especialmente, atender a demanda de mercado (PINTO, 2014). Assim, a degradação como resultado da agropecuária no desenvolvimento rural das localidades contribui, de fato, para a compreensão de que, apesar da importância dessa atividade na economia, é indispensável a adoção de práticas adequadas que conciliem a produção e a preservação do meio ambiente. O uso do solo de modo sustentável contribui positivamente para sua qualidade, compreendendo melhorias químicas, biológica e físicas. Com efeito, a agroecologia é um caminho alternativo e refere-se a um modelo que busca aperfeiçoar o processo produtivo de forma integrada com a dimensão socioambiental, além de considerar o aumento da produtividade econômica (ALCÂNTARA e MADEIRA, 2008; ALTIERI e NICHOLLS, 2000 *apud* PINTO, 2014).

3.3 Metodologia

Tomando como base dois conjuntos de indicadores que caracterizam a degradação ambiental e o desenvolvimento rural no Brasil, este estudo analisou a relação entre os dois grupos por meio do procedimento estatístico de análise de correlação canônica.

3.3.1 Análise de correlação canônica

A análise de correlação canônica (ACC) faz parte de um conjunto de técnicas de análise multivariada de dados. Com o objetivo de examinar simultaneamente a relação entre múltiplas variáveis dependentes e independentes, a técnica permite identificar e quantificar a associação entre os dois grupos. O procedimento da ACC envolve o desenvolvimento de uma combinação linear em pares de variáveis, chamadas variáveis canônicas, fornecendo a correlação máxima entre esses (HAIR JUNIOR *et al.*, 2009; KROTH e NEDUZIAK, 2020).

De acordo com Fávero e Belfiore (2017), o modelo geral de ACC pode ser descrito com a seguinte estrutura:

$$Y_1 \dots Y_p = f(X_1 \dots X_p) \quad (1)$$

em que Y_j ($j = 1, \dots, q$) e X_s ($s = 1, \dots, p$) indicam as variáveis dependentes (degradação ambiental) e independentes (desenvolvimento rural) do modelo, respectivamente.

A partir da expressão (1), conforme Sharma (1996) *apud* Fávero e Belfiore (2017), decorre um par de variáveis novas, u_1 e v_1 , que são as variáveis denominadas canônicas e da correlação entre estas surge a correlação canônica. Essas podem ser assim especificadas:

$$u_{1i} = a_{11} \cdot Y_{1i} + a_{12} \cdot Y_{2i} + \dots + a_{1p} \cdot Y_{pi} \quad (2)$$

e

$$v_{1i} = b_{11} \cdot X_{1i} + b_{12} \cdot X_{2i} + \dots + b_{1q} \cdot X_{qi} \quad (3)$$

em que u_1 refere-se a combinação linear das variáveis dependentes e, v_1 , as independentes. Os pesos ou coeficientes canônicos, $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1p}, b_{11}, b_{12}, \dots, b_{1q}$, são estimados das funções lineares para cada observação i da amostra, conforme a maximização da correlação entre os dois grupos de dados.

Outro par de variáveis (u_2 e v_2) pode ser calculado a partir da estimação de novos parâmetros, de modo que a correlação entre esses sejam a máxima possível e, respeitando a correlação igual à zero entre o primeiro (u_1 e v_1) e o segundo (u_2 e v_2) par obtido. O segundo par de variáveis, u_2 e v_2 , se expressa da seguinte forma:

$$u_{2i} = a_{21} \cdot Y_{1i} + a_{22} \cdot Y_{2i} + \dots + a_{2p} \cdot Y_{pi} \quad (4)$$

e

$$v_{2i} = b_{21} \cdot X_{1i} + b_{22} \cdot X_{2i} + \dots + b_{2q} \cdot X_{qi} \quad (5)$$

Seguindo a mesma lógica mostrada anteriormente, pode-se calcular outras duas variáveis, u_m e v_m , para cada observação considerando a estimação de novos parâmetros desde que também a correlação entre estes seja a máxima possível. Para tanto, a correlação entre u_m e qualquer outra variável u , assim como entre v_m e qualquer outra v , deve ser igual a zero. Assim, tem-se:

$$u_{mi} = a_{m1} \cdot Y_{1i} + a_{m2} \cdot Y_{2i} + \dots + a_{mp} \cdot Y_{pi} \quad (6)$$

e

$$v_{mi} = b_{m1} \cdot X_{1i} + b_{m2} \cdot X_{2i} + \dots + b_{mq} \cdot X_{qi} \quad (7)$$

sendo que m corresponde a quantidade de correlações canônicas; p ao número de variáveis dependentes e q as variáveis explicativas. Dados os dois grupos de variáveis, a partir da combinação linear das “ p ” e “ q ” variáveis que formam cada grupo, o número máximo de correlações canônicas “ m ” que será formado pelo $\min(p, q)$. Com aplicação ACC, uma grande quantidade de variáveis é reduzida em duas combinações lineares que apresentam a correlação

máxima entre si e facilitam a interpretação (FÁVERO e BELFIORE, 2017; KROTH e NEDUZIAK, 2020).

Para verificar a significância obtida da estatística das correlações canônicas, alguns testes por meio da estatística F foram aplicados, a saber: Wilk's Lambda, Pilai's trace e Lawley-Hotelling trace, cujas hipóteses nulas afirmam que não há linearidade entre dois vetores de variáveis, logo que a determinado nível de significância as correlações canônicas equivalem à zero. Vale ressaltar que o Wilks' lambda é o teste mais utilizado devido a sua apresentação mais geral e avalia conjuntamente a significância das raízes canônicas (PROTÁSIO *et al.*, 2012; FÁVERO e BELFIORE, 2017; KROTH e NEDUZIAK, 2020).

Feito isso, procede-se analisando os coeficientes padronizados das variáveis canônicas, que fornecem quanto uma variável original padronizada contribui para formação da variável canônica. Posteriormente, as correlações simples entre as variáveis canônicas e originais (também chamadas cargas canônicas) possibilitaram identificar quais variáveis observadas são relevantes para a formação da variável canônica, ou seja, que tiveram maior correlação. Por sua vez, as cargas canônicas elevadas ao quadrado fornecem a proporção de variação da variável original em relação a variável canônica dentro de um determinado grupo. A relação entre os grupos gerados foi identificada pelas cargas canônicas cruzadas, isto é, a correlação entre as variáveis originais e as canônicas pertencente ao grupo oposto, sendo o meio mais utilizado nesse sentido (FÁVERO e BELFIORE, 2017; NEISSE e HONGYU, 2017; ROCHA e CAMPOS, 2021).

Por fim, a medida de redundância (MR) expressa a proporção de variância máxima que as variáveis originais explicam cada par de variáveis canônicas. Portanto, a MR pode ser auferida do seguinte modo:

$$MR_{u_k, v_k} = [\overline{\text{var}(Y, u_k)}] \cdot c_k^2, k=1, 2, \dots, m \quad (8)$$

em que MR_{u_k, v_k} é a medida de redundância equivalente a proporção de variância de uma variável canônica; u_k que é explicada por uma variável canônica; v_k , dada sua respectiva correlação canônica, c_k . E, $\overline{\text{var}(Y, u_k)}$ corresponde à variância média nas variáveis Y que é explicada por u_k , podendo ser assim obtida:

$$\overline{\text{var}(Y, u_k)} = \frac{\sum_{s=1}^p \text{corr}_{sk}^2}{p}, s=1, 2, \dots, p \quad (9)$$

sendo que corr_{sk} é a carga canônica. Portanto, substituindo a expressão acima, a equação (8) pode ser reescrita como:

$$MR_{u_k, v_k} = \left(\frac{\sum_{s=1}^p cor_{s_k}^2}{p} \right) \cdot c_k^2, \quad s=1, 2, \dots, p \quad (10)$$

Assim sendo, a MR decorre do produto entre a média da variância e a variância compartilhada entre u_k e v_k (correlação canônica quadrada ou raiz canônica). Portanto, a medida de redundância total (MRT) consiste na variância total explicada em uma dimensão de variáveis dependentes por outra dimensão de variáveis explicativas e é apresentada da seguinte forma (FÁVERO e BELFIORE, 2017):

$$MRT_{Y,X} = \sum_{k=1}^m MR_{u_k, v_k} \quad (11)$$

sendo que $MRT_{Y,X}$ corresponde a medida de redundância total das variáveis Y.

Ademais, foram analisados os escores canônicos das combinações lineares (variáveis canônicas), a fim de identificar quais observações apresentam maior e menor resultado nas dimensões canônicas.

3.3.2 Área de estudo, fonte de dados e descrição das variáveis

A fim de identificar e quantificar a associação entre dois grupos de variáveis, sendo um relacionado a degradação ambiental (variáveis múltiplas dependentes) e outro ao desenvolvimento rural (variáveis múltiplas independentes) nas unidades federativas do Brasil, foi selecionado um conjunto de indicadores que corresponde às características próprias de cada dimensão (Quadro 2)⁷. Para tanto, os dados foram obtidos do Censo Agropecuário, Estimativas da população e Área territorial disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), bem como da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (Pnad, 2015). Os dados foram ponderados em relação ao número de estabelecimentos agropecuários (NE), pela área total dos estabelecimentos (AE) e área utilizada com pastagens naturais e plantadas, ambas em hectares.

⁷ Outras variáveis indicadas pela literatura também foram testadas, mas retiradas por apresentarem insignificância estatística no procedimento da ACC, tais como: número de veículos (motos, automóveis, caminhões etc.) existentes nos estabelecimentos agropecuários, proporção de domicílios rurais com acesso ao sistema de abastecimento de água do tipo rede geral - água encanada, e que não receberam orientação técnica.

Quadro 2 – Indicadores de degradação ambiental e desenvolvimento rural.

Dimensão	Variáveis	Descrição
Degradação ambiental	Y1. Solo	Nº de estabelecimentos agropecuários que não utilizaram sistema de preparo do solo (Unidades)/Nº de estabelecimentos (NE)
	Y2. Corretivos	Nº de estabelecimentos agropecuários que fez uso de calcário e/ou outros corretivos do pH do solo (Unidades)/NE
	Y3. Adubos	Nº de estabelecimentos agropecuários que fez adubação química (Unidades) / NE
	Y4. Irrigação	Nº de estabelecimentos agropecuários com uso de irrigação (Unidades)/NE
	Y5. Agrotóxicos	Nº de estabelecimentos agropecuários que usaram agrotóxicos (Unidades)/NE
	Y6. Pragas	Nº de estabelecimentos agropecuários com controle de doenças e/ou parasitas nos animais (Unidades)/NE
	Y7. Tratores	Nº de tratores existentes nos estabelecimentos agropecuários (unidades) / Número de estabelecimentos agropecuário (NE)
	Y8. Plantadeiras	Nº de plantadeiras existentes nos estabelecimentos agropecuários (unidades)/NE
	Y9. Colheitadeiras	Nº de colheitadeiras existentes nos estabelecimentos agropecuários (unidades)/NE
	Y10. Bovinos	Nº de cabeças de bovinos nos estabelecimentos agropecuários (cabeças)/Área dos estabelecimentos (hectares) com pastagens naturais e plantadas
Desenvolvimento rural	X1. DensDemográfica	Densidade demográfica (habitantes/Km2)
	X2. Pessoal	Proporção de pessoal ocupado nos estabelecimentos agropecuários (%)
	X3. Internet	Proporção de estabelecimentos com acesso à internet (%)
	X4. Energia	Proporção de estabelecimentos com existência de energia elétrica (%)
	X5. FossaSéptica	Proporção de domicílios rurais com acesso a esgotamento sanitário do tipo fossa séptica (%)
	X6. Lixo	Proporção de domicílios rurais com acesso a serviço de coleta de lixo doméstico (%)
	X7. Escolaridade	Proporção de produtores e cônjuges que sabem ler e escrever (%)
	X8. VBP/AE	Valor bruto da produção agropecuária por estabelecimento agropecuário (R\$)/AE
	X9. VBP/Pessoal	Valor bruto da produção agropecuária por pessoal ocupado na agropecuária (R\$/Pessoal)
	X10. Financiamento	Proporção dos estabelecimentos agropecuários que obtiveram financiamento de programas de crédito (%)
	X11. Comercialização	Proporção de estabelecimentos que produzem com a finalidade de comércio/escambo (%)

Fonte: Elaborado pela autora.

No primeiro grupo, de degradação ambiental, as variáveis foram selecionadas com base, principalmente, nas pesquisas de Cunha *et al.*, (2008), Pinto (2014), Pinto e Coronel (2015) e Campos *et al.*, (2015). Tal conjunto de variáveis foi definido, pois reflete diversos aspectos que contribuem para o desgaste do meio ambiente, a saber: não preparação da terra,

uso de tecnologias de cunho hídrico, mecânica e de defensivos agrícolas, ocupação das áreas com bovinos. Desse modo, a maior parte das variáveis selecionadas relaciona-se com a modernização agrícola, uma vez que esta possui direta relação com a ocorrência de degradação ambiental (CUNHA *et al.*, 2008).

No segundo grupo de desenvolvimento rural, as variáveis foram selecionadas e embasadas em pesquisas relativas ao tema. Tais variáveis foram utilizadas para auferir, principalmente, os fatores determinantes do desenvolvimento rural, bem como sua proporção em diversos pontos de estudos. Com efeito, essa pesquisa fundamenta-se especialmente em Conterato, Schneider e Waquil (2007), Estege (2011), Souza (2019), Caldeira e Parré (2020). Ademais, foi considerado o cunho multidimensional que envolve essa dimensão, a saber: a dimensão demográfica contendo também suas características ligadas ao isolamento territorial (X1 a X3), aos aspectos sociais (X4 a X7) e econômicos (X8 a X11).

3.4 Resultados e discussão

Nesta seção estão os resultados da pesquisa. Inicialmente, os indicadores de degradação ambiental e de desenvolvimento rural no Brasil são caracterizados. Em seguida, são abordadas as relações entre os dois conjuntos de variáveis a partir da análise de correlação canônica.

3.4.1 Caracterização dos indicadores de degradação ambiental e desenvolvimento rural

A Tabela 9 retrata as estatísticas descritivas dos indicadores de degradação ambiental nas unidades federativas do Brasil. A princípio se percebe que a maioria das variáveis nos estados brasileiros se apresenta de modo heterogêneo, que segundo Fávero e Belfiore (2017) o coeficiente de variação superior a 30% indica heterogeneidade no conjunto de dados.

Tabela 9 – Estatísticas descritivas dos indicadores de degradação ambiental no Brasil, 2017

Variáveis	Média	Mínimo	Máximo	Coefficiente de variação
Solo	0,4800	0,1745	0,7695	0,3663
Corretivos	0,1536	0,0110	0,6073	0,9774
Adubos	0,1745	0,0180	0,5499	0,8686
Irrigação	0,1205	0,0302	0,5197	0,9606
Agrotóxicos	0,3253	0,1146	0,7067	0,5313
Pragas	0,6126	0,2249	0,8732	0,2700
Tratores	0,2531	0,0153	0,9302	1,0860
Plantadeiras	0,0656	0,0016	0,2963	1,3115
Colheitadeiras	0,0319	0,0004	0,1328	1,3090
Bovinos	1,0733	0,0811	2,0906	0,4020

Fonte: Resultados da pesquisa.

No que diz respeito a degradação ambiental, percebe-se que os indicadores com maiores médias e, portanto, mais presentes nas unidades federativas estão relacionados ao número de estabelecimentos agropecuários que fizeram controle de doenças e/ou parasitas nos animais (61,26%), que não fizeram preparo do solo (48%) e utilizaram agrotóxicos (32,53%). Notou-se que Amazonas foi o estado que deteve menor percentual de propriedades que fazem controle de parasitas nos animais e usam agrotóxicos, mas que teve maior quantidade quanto a não preparação do solo. Em contrapartida, destacou-se os estados de Goiás, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, respectivamente.

Ainda no que tange aos indicadores de degradação, a existência nos estabelecimentos de máquinas para colheita e plantio apresentaram menor média, com 3,19% e 6,56% na devida ordem. Quanto a proporção de colhedeadas, Mato Grosso captou maior quantidade e o estado do Ceará o menor, em termos médios. Já em relação a máquinas para plantio, Rio Grande do Sul teve destaque enquanto Paraíba teve menor percentual. Outra variável que se encaixou entre as menores médias no país foi a irrigação, com 12,05%, sendo que o Distrito Federal concentrou percentual máximo (51,96%) seguido pelo Espírito Santo (43,30%) e o menor coube ao Acre (3,03%).

A Tabela 10 apresenta as estatísticas descritivas referentes aos indicadores de desenvolvimento rural nas unidades federativas do Brasil. Assim como no primeiro conjunto de variáveis exposto, nota-se que na maior parte das variáveis há heterogeneidade, uma vez que grande quantidade dos coeficientes de variação observados são superiores a 30% (FÁVERO e BELFIORE, 2017).

Tabela 10 – Estatísticas descritivas dos indicadores de desenvolvimento rural no Brasil, 2017

Variáveis	Média	Mínimo	Máximo	Coefficiente de variação
Dens.Demográfica	75,22	2,33	525,85	0,1719
Pess.Ocupado	3,19	2,35	4,42	0,5211
Internet	28,90	11,04	76,71	0,1424
Energia	82,46	52,54	98,36	0,5984
FossaSéptica	35,51	0	93,70	0,6132
Lixo	34,04	12,40	78,80	0,1806
Escolaridade	79,02	55,43	97,21	0,8066
VBP/AE	1,35	0,23	4,05	1,0785
VBP/Pessoal	31,43	5,31	138,82	0,2338
Financiamento	45,48	29,91	68,20	0,3628
Comercialização	63,54	16,46	94,43	0,3663

Fonte: Resultados da pesquisa.

Em relação a dimensão demográfica do desenvolvimento rural, cerca de 75 pessoas por km² foi a média nacional encontrada pela densidade demográfica, sendo que o Distrito Federal obteve resultado máximo e, Roraima, o mínimo. No que tange ao isolamento territorial, 28,9% dos estabelecimentos possuem acesso à internet. Já em aspectos sociais, notou-se que Santa Catarina possui o maior percentual de produtores que sabem ler e escrever ao passo que Alagoas demonstrou o valor mínimo, para uma média nacional de 79%.

Concluindo, no que se refere ainda a Tabela 10, com relação a dimensão econômica do desenvolvimento rural no Brasil, o valor da produção agropecuária por área foi em média R\$1,35/ha, em que o maior volume foi identificado no Distrito Federal e em São Paulo e, por outro lado, o menor em Amapá. Já o valor da produção por pessoa ocupada foi em média R\$31,43/pessoa com maior máximo para o estado do Mato Grosso e menor para a Paraíba. Por fim, foi verificado que 63% dos estabelecimentos agropecuários tem como finalidade principal da produção a comercialização, em que se concentra no Espírito Santo o percentual máximo e o mínimo no Piauí.

3.4.2 *Análise das relações entre degradação ambiental e desenvolvimento rural*

Tomando os dez indicadores de degradação ambiental e onze de desenvolvimento rural, os resultados da análise de correlação canônica são demonstrados a seguir. Primeiro, o grau de correlação entre os grupos de variáveis é abordado com base no resultado dos testes; em seguida, a análise entre as variáveis originais e canônicas se dá pelos coeficientes padronizados e das cargas canônicas e, por fim, a influência de um grupo sobre o outro é dada pelas cargas canônicas cruzadas e pela medida de redundância.

3.4.2.1 Grau de correlação canônica entre os grupos de variáveis

A análise preliminar dos coeficientes de correlação simples entre as variáveis (Tabela 11) mostrou forte correlação positiva entre os indicadores econômicos (consideradas no tocante multidimensional do desenvolvimento), isto é, do valor da produção agropecuária por hectare, valor da produção agropecuária por pessoa bem como a comercialização da produção e os financiamentos obtidos pelos produtores, quanto a degradação do meio ambiente em decorrência do uso de corretivos, adubos químicos, agrotóxicos, mecanização, pelo controle de pragas e também pelo efetivo bovino. Tais evidências corroboram com a literatura existente que afirma que aspectos ligados a modernização agrícola e, por sua vez do desenvolvimento rural, estão entre os fatores condicionantes que afetam o meio ambiente (CUNHA *et al.*, 2008).

Tabela 11 – Coeficientes de correlação simples entre os indicadores de degradação ambiental e desenvolvimento rural

	Solo	Corret	Adub	Irrigaç	Agrot	Pragas	Trator	Planta	Colhet	Bovin
Dens.Dem	-0,398	0,604	0,108	0,763	0,180	-0,055	0,222	0,081	0,062	0,139
Pess.Ocup.	0,304	0,367	-0,112	0,253	-0,209	-0,197	0,328	0,101	0,187	-0,069
Internet	-0,565	0,832	0,605	0,630	0,665	0,305	0,661	0,576	0,517	0,486
Energia	-0,519	0,529	0,481	0,324	0,648	0,704	0,566	0,516	0,518	0,359
Foss.Séptic	-0,273	0,635	0,350	0,499	0,519	0,142	0,449	0,414	0,334	0,340
Pr.Lixo	-0,529	0,646	0,583	0,471	0,565	0,176	0,539	0,457	0,381	0,549
Escolarid.	0,074	0,796	0,593	0,275	0,522	0,395	0,797	0,717	0,707	0,533
VBP/AE	-0,519	0,824	0,703	0,515	0,723	0,201	0,708	0,643	0,572	0,605
VBP/Pess.	0,0001	0,464	0,356	-0,079	0,315	0,620	0,841	0,7596	0,905	0,334
Financia.	-0,560	0,447	0,676	0,225	0,671	0,296	0,383	0,465	0,358	0,459
Comercial.	0,095	0,691	0,665	0,335	0,448	0,185	0,6064	0,502	0,499	0,519

Fonte: Resultados da pesquisa.

A análise de correlação canônica (ACC) gerou dez correlações canônicas, em conformidade com o número mínimo de variáveis entre os dois grupos, ou seja, correspondente a quantidade de variáveis de degradação. Inicialmente, foi verificada a significância estatística de todas as correlações canônicas por meio da estatística F dos testes estatísticos multivariados Wilks' Lambda, Pillai's trace e Lawley-Hotelling trace, conforme expressos na Tabela 12. A avaliação conjunta das correlações canônicas demonstrou nível de significância a 1%, rejeitando as hipóteses nulas segundo as quais os dois vetores de variáveis não são relacionados linearmente. Com efeito, há uma relação linear entre os indicadores que compõem a degradação ambiental e de desenvolvimento rural.

Tabela 12 – Testes de significância das correlações canônicas em conjunto

	Estatística	F	Prob>F
Wilks' lambda	0,000045	6,3848	0,000
Pillai's trace	6,0978	2,1309	0,000
Lawley-Hotelling trace	525,909	20,0802	0,000

Fonte: Resultados da pesquisa.

A verificação da significância estatística específica para cada correlação canônica ocorreu pelo teste de Wilks' Lambda (Tabela 13) e demonstra os resultados individuais do teste. As evidências apontaram que as quatro primeiras dimensões possuem significância estatística inferior ao nível de 1%. No entanto, levando-se em consideração que para uma dimensão ser significativa estatisticamente Prob>F deve ser menor que 0,05, as demais não apresentaram significância. Portanto, a hipótese de que existe correlação entre degradação ambiental e o desenvolvimento rural é confirmada, conclui-se que somente as quatro primeiras correlações canônicas são necessárias para descrever essa relação.

Tabela 13 – Teste de Lambda Wilks individual para cada correlação canônica

	Correlação Canônica (R)	Raiz Canônica (R²)	Estatística	F	Prob>F
1ª Correlação Canônica	0,9989	0,9978	0,000045	6,3848	0,0000
2ª Correlação Canônica	0,9887	0,9775	0,01962	3,8118	0,0000
3ª Correlação Canônica	0,9795	0,9594	0,00009	2,8508	0,0000
4ª Correlação Canônica	0,9664	0,9339	0,00215	2,0446	0,0046
5ª Correlação Canônica	0,8772	0,7695	0,03253	1,2898	0,1928
6ª Correlação Canônica	0,7711	0,5946	0,14115	0,9683	0,5291
7ª Correlação Canônica	0,6622	0,4385	0,34812	0,7632	0,7383
8ª Correlação Canônica	0,5135	0,2637	0,61996	0,5725	0,8488
9ª Correlação Canônica	0,3506	0,1229	0,84192	0,4193	0,8599
10ª Correlação Canônica	0,2003	0,0401	0,95988	0,3135	0,7356

Fonte: Resultados da pesquisa.

Uma vez que foi identificada relação linear entre os dois conjuntos de variáveis, se faz importante analisar o grau de correlação entre esses, cujos resultados também estão expostos na Tabela 13. Para tanto, o grau de correlação entre as correlações canônicas pode ser observado mediante as raízes canônicas (R²), também denominadas de autovalores. Observou-se que as quatro primeiras correlações apresentaram alto coeficiente de correlação, com R² igual a 99,78%, 97,75%, 95,94% e 93,39%, respectivamente, sendo que além de mostrarem autovalor elevado tiveram significância estatística no teste individual. Consequentemente, os resultados enfatizam a primeira dimensão, uma vez que aponta maior percentual de variância entre si, para os dois conjuntos de indicadores.

3.4.2.2 Contribuições e correlações entre variáveis originais e canônicas

Considerando as quatro dimensões significativas, a Tabela 14 indica os coeficientes canônicos padronizados que revelam a influência das variáveis originais padronizadas na formação da variável canônica. Para tanto, estão destacados em negrito os coeficientes com maiores valores (em módulo). Observa-se que na primeira dimensão, a variável número de tratores por estabelecimento, utilização de adubos, número de colhedeadas e uso de corretivos mais contribuíram para formação das variáveis canônicas u_1 , u_2 , u_3 e u_4 , na devida ordem. Já na dimensão de desenvolvimento as variáveis canônicas v_1 , v_2 , v_3 e v_4 tiveram maior contribuição da proporção de propriedades agropecuárias que tem a comercialização como finalidade principal, o valor da produção por área dos estabelecimentos e por pessoal ocupado e, pelos domicílios rurais que tem acesso a coleta de lixo doméstico, respectivamente.

Tabela 14 – Coeficientes padronizados das variáveis canônicas

Degradação ambiental	Variáveis canônicas			
	u_1	u_2	u_3	u_4
Solo	-0,3615	0,0142	-0,5989	0,5487
Corretivos	0,1992	0,7368	0,3449	1,4878
Adubos	-0,4856	0,7673	-0,0735	-0,5086
Irrigação	0,4785	-0,6137	0,0716	-0,3317
Agrotóxicos	-0,1487	0,3022	0,0612	0,0118
Pragas	0,1556	-0,2389	0,0164	-0,4116
Tratores	0,6753	-0,5936	-0,0908	-1,1789
Plantadeiras	-0,3472	0,0928	0,0133	1,2129
Colheitadeiras	0,2414	-0,0955	-1,0564	-0,3217
Bovinos	0,2623	0,0431	0,2448	-0,2458
Desenvolvimento Rural	v_1	v_2	v_3	v_4
Dens.Demográfica	0,2114	-0,1709	0,1474	1,0788
Pess.Ocupado	0,1547	0,0035	0,0385	0,3032
Internet	0,6740	-0,5041	0,3867	-0,2100
Energia	0,1875	-0,1691	0,3108	-0,7263
FossaSéptica	-0,1694	0,2593	-0,1341	-0,0297
Lixo	0,6251	-1,1166	0,1328	-1,6901
Escolaridade	0,7051	-0,6873	-0,0113	0,8288
VBP/AE	-0,2559	1,1774	0,0021	0,4563
VBP/Pessoal	0,1321	-0,0959	-1,0252	-0,3063
Financiamento	-0,4728	1,0761	-0,1066	0,7833
Comercialização	-0,8076	1,1377	-0,1410	-0,0130

Fonte: Resultados da pesquisa.

Na Tabela 15 estão expressas as cargas canônicas, isto é, as correlações entre cada variável canônica e suas variáveis originais. Pode-se inferir que as variáveis referentes a utilização de corretivos do solo, tratores e sistema de irrigação apresentaram maiores correlações com a variável canônica u_1 (aspectos da degradação ambiental). Para tanto, nota-se a presença do sinal positivo nos três indicadores, podendo-se considerar que há agravamento na ocorrência de degradação ambiental à medida que aumenta na utilização desses aspectos inseridos na atividade agropecuária.

Em relação a segunda variável canônica, u_2 , a utilização de adubos e agrotóxicos e o número de bovinos por área de pastagens tiveram as maiores correlações positivas com a degradação. Em u_3 , as variáveis ligadas à mecanização (tratores, plantadeiras e colhedoras) tiveram destaque mesmo com correlação negativa, pois o que interessa é a maior magnitude em módulo das cargas canônicas. Enquanto em u_4 , o destaque corresponde ao controle de pragas nos animais, o uso de irrigação e não preparo do solo.

Na variável canônica v_1 , que abarca características do desenvolvimento rural, as maiores correlações estão ligadas aos aspectos demográficos no que se refere a questões de acessibilidade, pela proporção de domicílios rurais com acesso à internet e, segundo a densidade demográfica. Além desses, destacou-se o valor da produção agropecuária por estabelecimento agropecuário em relação a área, em hectares, das propriedades agropecuárias. Para tanto, todos esses mostraram que com aumento desses indicadores há crescimento do desenvolvimento nas localidades rurais, uma vez que se notou sinal positivo.

No que tange a segunda correlação desse grupo, v_2 , é possível perceber que a proporção de financiamento adquiridos pelos estabelecimentos agropecuários apresenta maior correlação nessa variável, seguido pelo valor da produção por área, em hectares e pela comercialização. Já em v_3 , notaram-se as maiores correlações em relação ao valor da produção por pessoal ocupado, densidade demográfica e percentual de pessoal ocupados nos estabelecimentos agropecuários, ao passo que em v_4 também se destacou este último.

Tabela 15 – Cargas canônicas

Degradação ambiental	Cargas canônicas			
	<i>u1</i>	<i>u2</i>	<i>u3</i>	<i>u4</i>
Solo	-0,4227	-0,1973	-0,4257	0,4605
Corretivos	0,7828	0,4847	-0,0395	0,3381
Adubos	0,2372	0,9152	-0,1130	-0,1702
Irrigação	0,5708	0,1517	0,4791	0,3920
Agrotóxicos	0,3874	0,7280	0,0211	-0,2723
Pragas	0,4010	0,0112	-0,3797	-0,5563
Tratores	0,7318	0,3606	-0,5179	-0,1204
Plantadeiras	0,5498	0,4748	-0,5123	-0,1551
Colheitadeiras	0,5689	0,3617	-0,6739	-0,1768
Bovinos	0,3281	0,5507	-0,1272	-0,2092
Desenvolvimento rural	<i>v1</i>	<i>v2</i>	<i>v3</i>	<i>v4</i>
Dens.Demográfica	0,7156	-0,0028	0,4619	0,1848
Pess.Ocupado	0,3534	-0,1906	-0,2938	0,4721
Internet	0,8258	0,4484	0,1963	-0,0750
Energia	0,6512	0,2605	0,0295	-0,4442
FossaSéptica	0,5693	0,3070	0,1248	0,1872
Lixo	0,6476	0,4698	0,2627	-0,1921
Escolaridade	0,5592	0,4908	-0,4435	0,2536
VBP/AE	0,7335	0,6105	0,1179	-0,0507
VBP/Pessoal	0,5420	0,1114	-0,7995	-0,1633
Financiamento	0,3214	0,6431	0,2127	-0,2998
Comercialização	0,3953	0,5734	-0,2675	0,1713

Fonte: Resultados da pesquisa.

Por fim, considerando a análise das Tabelas 14 e 15, houve uma pequena divergência entre as variáveis que mais influenciaram na formação das variáveis canônicas e as que tiveram maiores correlações nas duas dimensões em questão, degradação e desenvolvimento. No primeiro grupo, de degradação ambiental, todas as variáveis que obtiveram maior coeficiente padronizado estão enquadradas entre as que mais se destacaram quanto às cargas canônicas, com exceção de *u4*. No entanto, no outro grupo, de desenvolvimento rural, as correlações observadas nas cargas canônicas das variáveis de maior influência tanto em *v1* quanto *v4* não correspondem a variável de destaque na Tabela 14, de coeficientes padronizados. Por fim, vale salientar que o resultado das cargas canônicas apresenta a formação da variável canônica de modo mais estável.

3.4.2.3 Influência das variáveis de desenvolvimento rural sobre a degradação ambiental

A Tabela 16 aborda as cargas canônicas cruzadas das dimensões significantes, indicando a correlação entre as variáveis originais e a variável canônica referente ao grupo oposto. As cargas canônicas cruzadas apresentaram comportamentos semelhantes em relação às cargas canônicas em si em ambos os grupos, seguindo a mesma tendência sendo que apenas algumas variáveis tiveram valores inferiores ou superiores (conforme apresentado no tópico anterior (3.4.2.2)). Portanto, quanto a primeira variável canônica de desenvolvimento rural, observa-se que este tende a crescer à medida que os indicadores de degradação ambiental também aumentam, principalmente quanto maior for o uso de corretivos, irrigação e de tratores de acordo com as correlações observadas, uma vez que a modernização agrícola, pela inovação tecnológica, aumento da produtividade e a partir do uso de mecanização, possui relação intrínseca. Já na segunda variável canônica, a correlação positiva ocorre pelo aumento no uso de adubos, agrotóxicos e pela presença de bovino nas áreas de pastagens.

Tabela 16 – Cargas canônicas cruzadas

Degradação ambiental	Cargas canônicas cruzadas			
	v1	v2	v3	v4
Solo	-0,4271	-0,1951	-0,4169	0,4450
Corretivos	0,7819	0,4792	-0,0387	0,3267
Adubos	0,2369	0,9049	-0,1106	-0,1645
Irrigação	0,5702	0,1500	0,4693	0,3788
Agrotóxicos	0,3870	0,7197	0,0207	-0,2631
Pragas	0,4005	0,0111	-0,3719	-0,5376
Tratores	0,7310	0,3565	-0,5073	-0,1163
Plantadeiras	0,5492	0,4694	-0,5018	-0,1499
Colheitadeiras	0,5682	0,3576	-0,6601	-0,1709
Bovinos	0,3277	0,5445	-0,1246	-0,2021
Desenvolvimento rural	u1	u2	u3	u4
Dens.Demográfica	0,7148	-0,0028	0,4524	0,1786
Pess.Ocupado	0,3530	-0,1885	-0,2877	0,4562
Internet	0,8248	0,4433	0,1923	-0,0725
Energia	0,6505	0,2576	0,0289	-0,4293
FossaSéptica	0,5686	0,3035	0,1223	0,1809
Lixo	0,6468	0,4645	0,2573	-0,1857
Escolaridade	0,5586	0,4852	-0,4450	0,2451
VBP/AE	0,7327	0,6036	0,1155	-0,0490
VBP/Pessoal	0,5414	0,1101	-0,7831	-0,1579
Financiamento	0,3210	0,6358	0,2083	-0,2898
Comercialização	0,3948	0,5669	-0,2620	0,1656

Fonte: Resultados da pesquisa.

Observou-se ainda pela Tabela 16, na primeira carga canônica cruzada de degradação ambiental, que quanto maior for o desempenho dos indicadores de desenvolvimento rural maior tende a ser os danos no meio ambiente, especialmente em termos demográficos pela acessibilidade, que contribui para maior diversificação e múltiplas funcionalidades da atividade produtiva, bem como pelo número de pessoas por área que reduz a capacidade da área de suportá-los, conforme cresce seu estágio de desgaste. Além do mais, ao aumento do valor da produção, por área, também é estimulado potencialmente por práticas de modernização agrícola e que geram efeitos adversos no solo, ar e recursos hídricos. Na segunda variável canônica cruzada, há comportamento na mesma direção nas variáveis ligadas obtenção de financiamento, valor da produção agropecuária por área e pelo número de estabelecimentos que destinam sua produção principalmente para comercialização.

Na Tabela 17 se tem a medida de redundância (MR) para as quatro correlações canônicas significativas. Além disso, são demonstradas a média da variância e a raiz canônica (R^2) ou correlação canônica ao quadrado, ambas necessárias para mensuração dessa medida. Ademais, também pode ser observado a medida de redundância total (MRT) que resulta do somatório das medidas de redundância.

Tabela 17 – Medidas de redundância

Correlação canônica	Média da variância	R^2	MR
1 ^a	0,2754	0,9978	0,2747
2 ^a	0,2454	0,9775	0,2399
3 ^a	0,1571	0,9594	0,1507
4 ^a	0,1006	0,9339	0,0940
		Total	0,7593

Fonte: Resultados da pesquisa.

A primeira correlação canônica apresenta uma MR igual à 0,2747 e mostra que 27,47% da variância nas variáveis dependentes (degradação ambiental) são geradas pelas variáveis explicativas (desenvolvimento rural). Já a segunda, terceira e quarta correlações indicam que 23,99%, 15,07% e 9,4% da variância em Y são explicadas pelas variáveis X, respectivamente. Além disso, conforme expresso na Tabela 17, tem-se uma MRT igual à 0,7593. Isto é, as variáveis de desenvolvimento rural influenciam 75,93% da variância das variáveis de degradação ambiental, sendo que a primeira variável canônica é responsável pela maior parcela. Isto posto, esse resultado demonstra que, em grande parte, as variáveis que caracterizam o desenvolvimento das localidades rurais estão associadas a questões ligadas a meios que ocasionam a deterioração do meio ambiente no Brasil.

Os escores canônicos possibilitam identificar quais observações apresentaram maior e menor valor nas dimensões canônicas analisadas. Desse modo, a Tabela 18 demonstra tais valores para as quatro dimensões significativas e, portanto, suficientes para descrever a relação entre degradação ambiental e o desenvolvimento rural no Brasil. No que se refere aos valores máximos e mínimos no primeiro par canônico, respectivamente, destacou-se o Distrito Federal e Sergipe na primeira variável canônica, u_1 , de degradação ambiental. Ao passo que o Distrito Federal e o estado do Pará se destacaram, na mesma ordem, para primeira variável canônica da dimensão relacionada ao desenvolvimento rural.

No segundo par canônico, o Espírito Santo e o Rio Grande do Norte obtiveram o valor máximo e mínimo, na devida ordem, em ambas as variáveis canônicas. Já na terceira correlação canônica, coube ao Distrito Federal o maior escore e o menor para o Mato Grosso, tanto na variável canônica de degradação quanto de desenvolvimento. Por fim, na última dimensão canônica, o escore canônico máximo correspondeu ao Amazonas e o mínimo para o Rio Grande do Norte nas duas variáveis canônicas, isto é, u_4 e v_4 .

Tabela 18 – Escores canônicos para as quatro dimensões significantes

	Variável canônica	Mínimo	Máximo
1° correlação canônica	u_1	-1,094	3,403
	v_1	-1,110	3,380
2° correlação canônica	u_2	-1,218	2,394
	v_2	-1,161	2,247
3° correlação canônica	u_3	-3,110	1,477
	v_3	-3,254	1,499
4° correlação canônica	u_4	-2,002	1,962
	v_4	-2,002	1,962

Fonte: Resultados da pesquisa.

Diante dos resultados encontrados, observa-se que apesar dos aspectos ambientais serem uma dimensão relevante para o desenvolvimento das localidades rurais, as práticas de modernização agrícola inerentes ao processo produtivo da atividade agropecuária estimulam o crescimento econômico dessas e em contrapartida implica na ocorrência de deterioração de uma de suas esferas principais, o meio ambiente. Visto que a dimensão de desenvolvimento vai além do desempenho econômico e abarca característica de bem-estar social e ambiental, se pode considerar que esta última característica não tem sido bem amparada devido aos meios inadequados (irrigação, corretivos, agrotóxicos, mecanização, entre outros).

Assim sendo, ressalta-se o fato de que as dimensões que contribuem para que haja desenvolvimento nas localidades rurais estão associadas à ocorrência de degradação ambiental

à medida que um conjunto de elementos que preservam o meio ambiente não são asseguradas. Não obstante ao estímulo do crescimento da atividade econômica, práticas que conciliem produtividade e conservação dos recursos naturais devem ser consideradas e executadas. Pode-se concluir, por assim dizer, que uma condição está diretamente relacionada a outra, uma vez que os recursos naturais são limitados e a viabilidade para uma trajetória de crescimento na produção de atividades agriculturáveis depende de suas condições, como a qualidade do solo e, conseqüentemente interfere na qualidade de vida da população presente e futura.

3.5 Considerações finais

Com o objetivo principal de analisar a relação existente um conjunto de indicadores que caracterizam a degradação ambiental (variáveis múltiplas dependentes) e de desenvolvimento rural (variáveis múltiplas independentes) no Brasil, foi aplicado o procedimento de análise de correlação canônica. Para isso, utilizaram-se dados extraídos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017) e da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (Pnad, 2015).

Os resultados encontrados apontam que há uma relação linear entre os dois conjuntos de variáveis, de desenvolvimento rural e degradação ambiental, de modo que, das dez correlações canônicas geradas, apenas quatro são necessárias para descrever a relação entre esses, com percentual de variância compartilhada entre si correspondentes à 99,78%, 97,75%, 95,94% e 93,39%. Conseqüentemente, a primeira dimensão canônica enfatiza máxima proporção de variação, podendo-se concluir que as variáveis independentes são importantes no que concerne as variáveis dependentes.

Observou-se que as variáveis canônicas de degradação ambiental foram formadas influenciadas, principalmente, pelo número de tratores e colhedoras nos estabelecimentos agropecuários bem como pela utilização de adubos e corretivos. Além desses indicadores, as maiores correlações identificadas entre as variáveis canônicas e originais estão ligadas ao uso de agrotóxicos, irrigação e o controle de doenças e parasitas nos animais. Quanto ao desenvolvimento rural, as variáveis canônicas foram influenciadas em maior parcela pela comercialização e valor da produção dos estabelecimentos agropecuários por área e por pessoal ocupado e também pelo acesso à coleta de lixo. Ademais, essas variáveis apresentaram também as maiores correlações juntamente com o acesso à internet e ao financiamento.

No que tange a correlação da variável canônica de degradação ambiental, observou-se que quanto maior for o desempenho dos indicadores de desenvolvimento maior tende a ser os danos ambientais, principalmente em relação a acessibilidade à internet, que possibilita maior diversificação e funcionalidades produtivas; a densidade demográfica, em que um aumento populacional gera redução da capacidade da área suporta-lo, conforme seu estágio de degradação; e o aumento do valor da produção por área, que é potencialmente estimulado pela introdução de instrumentos ligados a modernização agrícola. Ademais, obteve-se um índice de redundância total igual a 0,7593. Portanto, 75,93% da variância do conjunto de variáveis de degradação são influenciados pelos indicadores que caracterizam o desenvolvimento rural, sendo que a primeira correlação canônica é responsável por 27,47% dessa variância.

Mediante as evidências expostas, recomenda-se que a ação estatal considere o efeito dos indicadores de desenvolvimento rural sobre a ocorrência de degradação ambiental no Brasil. Isto é, que as políticas públicas atuem na promoção do desenvolvimento das localidades rurais considerando ações articuladas que possam impelir melhorias nas atividades econômicas em vista do aumento da produtividade com meios apropriados para tal, contemplando, por sua vez, também a estrutura social e ambiental. Nestes termos, é indispensável incrementar práticas e tecnologias que pressuponham a valoração dos recursos naturais, como o plantio direto, a rotação de culturas, a manutenção de matas ciliares e tecnologias que possam integrar a pecuária e lavoura. Ademais, o fornecimento de orientação técnica e crédito pode suprir a carência de informação e tecnologia adequada, principalmente, para a população em condição de pobreza.

Ao final deste trabalho, sugere-se que trabalhos futuros considerando a relação inerente à degradação ambiental e desenvolvimento rural possam avançar no estudo dos indicadores que caracterizam cada dimensão, seja em âmbitos nacional, regional ou estadual. Além do mais, propõe-se que pesquisas comparativas, com mais de um período, possam ser realizadas em vista de analisar como a associação entre os dois grupos ocorreu no tempo. Finalmente, indica-se que outras fontes de dados possam ser explanadas.

4 CONCLUSÃO GERAL

A degradação ambiental é considerada um fenômeno mundialmente preocupante e, no cenário brasileiro a atividade agropecuária corresponde a um dos fatores significantes na contribuição para tal problema. Mesmo se tratando de um pilar importante para economia do País, o setor agropecuário gera efeitos negativos sobre a dimensão ambiental consequente de suas tecnologias e técnicas utilizadas. Além disso, apesar de essa ser uma das principais esferas do desenvolvimento rural, acaba por sofrer efeitos decorrentes da dimensão demográfica e socioeconômica que também compõe o desenvolvimento. No intuito de melhor abordar essa temática, a dissertação é composta de dois ensaios.

O primeiro ensaio, denominado “Degradação ambiental e a agropecuária no Brasil”, objetivou mensurar a proporção de degradação ambiental decorrente da agropecuária pela aplicação de um Índice de Degradação Ambiental Agropecuária (IGDAA) e agrupar os municípios com potencial similar de degradação. Para isso, utilizaram-se os dados do Censo Agropecuário (2017) e as técnicas estatísticas de análise fatorial e *cluster*. Como resultado, foram gerados quatro fatores de degradação ambiental que juntos explicaram 72% da variância total dos dados, a saber potencial desgaste do solo pelas tecnologias mecânicas, bioquímicas e pela desinformação (F1), potencial desgaste do solo, água e saúde pelo não preparo da terra e agrotóxicos (F2), potencial desgaste do solo pela irrigação e controle de pragas (F3) e, potencial desgaste ambiental pela atividade pecuária (F4).

Com base nos escores fatoriais gerados pelos fatores calculou-se o IGDAA. Como resultado, obteve-se um índice médio para o Brasil igual a 29%. Em termos regionais, o Norte, Centro-Oeste e Nordeste tiveram os menores índices médios, enquanto o Sudeste e o Sul obtiveram os maiores. No que se refere aos *clusters* de degradação formados, as Regiões Sul e Sudeste concentraram grande parte de seus municípios no *cluster* 3, que apresenta maior potencial a degradação. Já as demais regiões tiveram maior percentual de seus municípios enquadrados no *cluster* 1, que indica baixo potencial quanto a degradação. Sobretudo, a modernização agrícola foi importante para distinguir o nível de degradação das localidades.

Já o segundo ensaio, intitulado “Degradação ambiental e sua relação com o desenvolvimento rural no Brasil”, objetivou analisar as relações entre um conjunto de indicadores de degradação ambiental (variáveis múltiplas dependentes) e de desenvolvimento rural (variáveis múltiplas independentes). Para tanto, foram utilizados dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017) e da Pesquisa Nacional por Amostra de

Domicílio (Pnad, 2015) e aplicada a técnica de estatística multivariada de análise de correlação canônica. Os resultados evidenciaram que há uma relação linear entre os dois grupos de variáveis e que quatro correlações canônicas foram necessárias para descrevê-la, sendo que a primeira correlação possui a maior proporção de variância compartilhada (99,78%) e enfatiza que o conjunto de variáveis independentes são relevantes para explicar as variáveis dependentes.

As variáveis canônicas de degradação ambiental foram formadas influenciadas, sobretudo, pela presença de mecanização (tratores e colhedeiças) e uso de adubos e corretivos. Além desses, as maiores correlações entre variáveis canônicas e originais foram com a utilização de agrotóxicos, irrigação e controle de parasitas nos animais. Quanto às correlações com os indicadores de desenvolvimento rural, constatou-se que quanto maior for a acessibilidade à internet, à densidade demográfica e o valor da produção por área, maiores os danos ambientais em consequência, respectivamente, da maior diversificação e funcionalidades produtivas, a pressão demográfica em áreas degradadas e pelo uso de meios referentes a modernização agrícola. Finalmente, a medida de redundância demonstrou que 75,93% da variância dos indicadores de degradação são explicadas pelas variáveis de desenvolvimento rural. Para tanto, 27,47% dessa variância parte da primeira correlação canônica.

Desse modo, conhecer a realidade brasileira acerca da degradação ambiental decorrente da agropecuária bem como sua relação com o desenvolvimento das localidades rurais consiste num ponto fundamental, principalmente, para a partir disso estimular a criação de ações para mitigar seus efeitos nocivos sobre o meio ambiente. Portanto, trata-se de estruturar e implementar políticas voltadas para a recuperação das áreas que já se apresentam com alta na degradação, além de servir como ferramenta para minimizar os efeitos naquelas que se encaminham para atingir tal nível, conforme as circunstâncias de cada localidade. Ações governamentais associadas à ampliação de informação aos agricultores assim como da sociedade, que promova o desenvolvimento sustentável em todas suas dimensões (social, ambiental, econômica) são bases importantes para garantir qualidade de vida para geração presente e futura. Ademais, tais medidas podem ser pertinentes para que os órgãos públicos possam estimular a ação privada, contribuindo positivamente para que essas tomem decisões que considerem a questão ambiental.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, F. A.; MADEIRA, N. R. **Manejo do solo no sistema de produção orgânica de hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. Circular Técnica.

BATALHA, R. M. **Crimes ambientais no norte do Espírito Santo: com ênfase em degradação**. 2019. 63f. Monografia (Especialista em Gestão Ambiental) – Pós-Graduação *Lato Sensu* em Gestão Ambiental, Instituto Federal do Espírito Santo, Nova Venécia, 2019.

BINI, D. A.; MIRANDA, S. H. F.; VIAN, C. E. F.; PINTO, L. F. G. A dimensão econômica da sustentabilidade na agropecuária brasileira. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 95-105, 2018.

BINI, D. A.; MIRANDA S. H. G.; PINTO, L. F. G.; VIAN, C. E. F.; AMARAL, L. F. A relação entre a responsabilidade social e ambiental e a performance financeira na produção agropecuária: o caso da política de crédito de uma instituição financeira. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 58, n. 4, p. 1-19, 2020.

BRASIL. CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA, Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil e Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz. (CEPEA/CNA/FEALQ). **PIB do agronegócio encerra 2019 com alta de 3,81%**. 2020. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/releases/pib-agro-cepea-pib-do-agronegocio-encerra-2019-com-alta-de-3-81.aspx>. Acesso em: 01 jul. 2020.

BRASIL. CONFEDERAÇÃO DE AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. (CNA). **Com crescimento modesto, PIB da Agropecuária apresenta alta de 0,1% em 2018**. 2019. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/boletins-tecnicos/com-crescimento-modesto-pib-da-agropecuaria-apresenta-alta-de-0-1-em-2018>. Acesso em: 01 jul. 2020.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. (CONAMA). **Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Disponível em: <https://www.suape.pe.gov.br/pt/publicacoes/245-resolucao/1335-resolucao-conama-n-01-1986?layout=publicacoes>. Acesso em: 10 jul. 2020.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm. Acesso em: 10 jul. 2020

BRASIL. TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. (TCU). **Agricultura e Desenvolvimento Rural**. Disponível em: <https://portal.tcu.gov.br/desenvolvimento-nacional/agricultura-e-desenvolvimento-rural.htm>. 2020. Acesso em: várias datas.

CALDEIRA, C.; PARRÉ, J. L. Diversificação agropecuária e desenvolvimento rural no bioma cerrado. **Revista Americana de Empreendedorismo e Inovação**, Paranaguá, v. 2, n. 1, p. 344-359, 2020.

CAMPOS, S. A. C.; FERREIRA, M. D. P.; COELHO, A. B.; LIMA, J. E. Degradação ambiental agropecuária no bioma caatinga. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 46, n. 3, p. 155-170, 2015.

CARVALHO, A. X. Y.; ALBUQUERQUE, P. H. M.; LAURETO, C. R.; MOREIRA, G. C. C.; BASSO, G. G.; GUIMARÃES, L. F. D.; PENA, M. G. **Clusterização espacial e não espacial: um estudo aplicado à agropecuária brasileira**. Rio de Janeiro: Ipea, mar. 2017. Texto para discussão n. 2279.

CASTRO, C. N. **A agropecuária na Região Sudeste: limitações e desafios futuros**. Rio de Janeiro: Ipea, abr. 2014. Texto para discussão n. 1952.

CASTRO, C. N.; PEREIRA, C. N. **Estado e desenvolvimento rural**. Rio de Janeiro: Ipea, jun. 2020. Texto para discussão n. 2564.

CONTERATO, M. A.; SCHNEIDER, S.; WAQUIL, P. D. Desenvolvimento rural no Estado do Rio Grande do Sul: uma análise multidimensional de suas desigualdades regionais. **Redes**, Santa Cruz do Sul, v. 12, n. 2, p. 163-195, 2007.

COSTA, D. J. **Desenvolvimento rural brasileiro: uma análise a partir da construção de um índice multidimensional**. 2016. 120 f. Dissertação (Mestrado em economia) – Programa de Pós-Graduação em Economia do Desenvolvimento, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

COSTA NETO, J. P.; FERNANDES, R. T.; LEMOS, J. J. S.; CHAGAS, E. Degradação ambiental e condições socioeconômicas do município de Vitória do Mearim – Maranhão. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 39, n. 2, p. 306-327, 2008.

CUNHA, N. R. S.; LIMA, J. E.; GOMES, M. F. M.; BRAGA, M. J. A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos cerrados, Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 46, n. 2, p. 291-323, 2008.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sanidade animal**. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/portfolio/sanidade-animais>. Acesso em: 30 jan. 2022.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P.; SILVA, F. L.; CHAN, B. L. **Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões**. 10. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. **Manual de análise de dados**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

FEIX, R. D.; LEUSIN JÚNIOR, S. **Painel do agronegócio no Rio Grande do Sul — 2019**. Porto Alegre: SEPLAG, Departamento de Economia e Estatística, 2019.

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

FERNANDES, E. A.; CUNHA, N. R. S.; SILVA, R. G. Degradação ambiental no estado de Minas Gerais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 1, p. 179-198, 2005.

FINCO, M. V. A.; WAQUIL, P. D.; MATTOS, E. J. Evidências da relação entre pobreza e degradação ambiental no espaço rural do Rio Grande do Sul. **Ensaio FEE**, Porto Alegre, v. 25, n. 1, p.249-276, 2004.

HAIR JUNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2017**: resultados definitivos. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama**. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>. Acesso em: 30 jun. 2021.

KROTH, D. C.; NEDUZIAK, L. C. R. As relações entre despesas públicas e indicadores de saúde: uma análise de correlação canônica para os estados brasileiros. **Revista de Economia**, Curitiba, v. 41, n. 74, p. 51-84, 2020.

LEMOS, J. J. S. Níveis de degradação no Nordeste brasileiro. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 32, n. 3, p. 406-429, 2001.

LEMOS, J. J. S. **Mapa da exclusão social no Brasil**: radiografia de um país assimetricamente pobre. 3. ed. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2012.

LISBINSKI, F. C.; TORRES, R.; SANTOS, P. S.; BEZERRA, É. C. D. Análise espacial da degradação ambiental nas regiões geográficas imediatas brasileiras. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 52, n. 1, p. 185-203, 2021.

LOBÃO, M. S. P.; STADUTO, J. A. R. Perspectivas sobre o desenvolvimento rural brasileiro: notas teóricas. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba, v. 39, n. 135, p. 13-27, 2018.

MARTINS, E. A.; CAMPOS, K. C.; LIMA, P. V. P. S. Índice de modernização agrícola no estado do Piauí. *In*: ARAÚJO, J. A.; REIS, J. N. P.; PAULO, E. M.; MANAL, A. (Orgs.). **Desafios da sustentabilidade no semiárido nordestino**. Fortaleza: Editora RDS, 2014. p. 139-154.

MELO, S. C. O. **Atividade econômica, produção de energia e as emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 2019. 41f. Dissertação (Mestrado em Economia do Setor Público) - Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

MINGOTI, S.A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

MIRANDA, R. A. Breve história da agropecuária brasileira. *In*: LANDAU, E. C.; SILVA, G. A.; MOURA, L.; HIRSCH, A.; GUIMARÃES, D. P. (Orgs.). **Dinâmica da produção**

agropecuária e da paisagem natural no brasil nas últimas décadas. Distrito Federal: EMBRAPA, 2020. p. 31-57.

MOURA, A. S, BEZERRA, M. C. Governança e sustentabilidade das políticas públicas no Brasil. *In: MOURA, A. M. M. (Org). Governança ambiental no Brasil: instituições, atores e políticas públicas.* Brasília: Ipea, 2016. p. 91-110.

NEISSE, A. C.; HONGYU, K. Variáveis psicológicas e desempenho acadêmico: uma análise da existência de correlação canônica. **Engineering and Science**, Cuiabá, v. 2, n. 6, p. 76-86, 2017.

PINTO, N. G. M. **Degradação ambiental nos municípios do Rio Grande do Sul e relação com os fatores de desenvolvimento rural.** 2014. 118 f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

PINTO, N. G. M.; CORONEL, D. A. Degradação ambiental nos municípios do Rio Grande do Sul e relação com os fatores de desenvolvimento rural. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 53, n. 02, p. 271-288, 2015.

PINTO, N. G. M.; ROSSATO, V. P.; CORONEL, D. A. Degradação ambiental agropecuária na América Latina: uma abordagem de índices nos países da região. **Desenvolvimento em Questão**, Ijuí, v. 17, n. 46, p. 218-235, 2019.

REGITANO, J. B.; LEAL, R. M. P. Comportamento e impacto ambiental de antibióticos usados na produção animal brasileira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 601-616, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/dDjDvwX4QkSpBJVdrv6WrkN/?lang=pt#>. Acesso em: 10 jan. 2022.

PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; NEVES, T. A.; VIEIRA, C. M. M. Análise de correlação canônica entre características da madeira e do carvão vegetal de eucalyptus. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 317-326, 2012.

RIBEIRO, H.; JAIME, P. C.; VENTURA, D. Alimentação e sustentabilidade. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 31, n. 89, p. 185-198, 2017.

RIBEIRO, L. C. S.; LÔBO, A. S.; SILVA, L. D.; ANDRADE, N. F. S. Padrões de crescimento econômico dos municípios do MATOPIBA. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, online, v. 58, n. 3, p. 1-17, 2020.

ROCHA, T. V.; CAMPOS, K. C. Perfil modernizador do agricultor no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 106-117, 2021.

SALES, A. P. **Ensaio sobre degradação ambiental na América Latina e no rural brasileiro.** 2018. 70 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

SAMBUICHI, R. H. R.; OLIVEIRA, M. A. C.; SILVA, A. P. M.; LUEDEMANN, G. A. **sustentabilidade ambiental da agropecuária brasileira: impactos, políticas públicas e desafio**. Brasília: Ipea, out. 2012. Texto para discussão n. 1782.

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia**, Recife, v. 22, n. 1, p. 90-112, 2005.

SANTANA, A. S.; SANTOS, G. R. Os Agricultores e seus estabelecimentos: dados e índices selecionados do censo agropecuário de 2017. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, Rio de Janeiro: Ipea, n. 23, p. 195-209, 2021. Edição Especial Agricultura 2020.

SANTOS, G. R.; SANTANA, A. S. Panorama da diversidade produtiva e de renda na agropecuária brasileira: uma breve incursão nos dados do censo de 2017. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, Rio de Janeiro: Ipea, n. 23, p. 59-71, 2021. Edição Especial Agricultura 2020.

SHNEIDER, S. A abordagem territorial do desenvolvimento rural e suas articulações externas. **Sociologias**, Porto Alegre, v. 6, n. 11, p. 88-125, 2004.

SILVA, R. G.; RIBEIRO, C. G. Análise da degradação ambiental na Amazônia Ocidental: um estudo de caso dos municípios do Acre. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 1, p. 91-110, 2004.

SILVA, R. P. **Modernização da agropecuária brasileira: progresso econômico e heterogeneidade produtiva**. 2019. 94f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

SOUZA, O. T.; SANTIN, M. F.; ALVIM, A. M. Desenvolvimento, agropecuária e meio ambiente no Brasil: instrumentos e possibilidades de reconciliação. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 15, n. 15, p. 57-65, 2007.

SOUZA, R. P. O desenvolvimento rural no Estado do Rio de Janeiro a partir de uma análise multidimensional. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 109-126, 2019.

STEGE, A. L. **Desenvolvimento rural nas microrregiões do Brasil: um estudo multidimensional**. 2011. 137 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Econômicas) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Econômicas, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011.

TEIXEIRA, J. C. Modernização da agricultura no Brasil: impactos econômicos, sociais e ambientais. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas**, Três Lagoas, v. 2, n. 2, p. 21-42, 2005.

TELLES, T. S.; RIGHETTO, A. J. Crescimento da agropecuária e sustentabilidade ambiental. In: VIEIRA FILHO, J. E. R. (Org.). **Diagnóstico e desafios da agricultura brasileira**. Rio de Janeiro: Ipea, 2019. p. 89-113.

**APÊNDICE A – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DOS INDICADORES
AGROPECUÁRIOS**

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
x1	1									
x2	-0,6006* 0,0000	1								
x3	0,5648* 0,0000	0,3703*	1							
x4	0,5176* 0,0000	0,4784* 0,0000	0,7571* 0,0000	1						
x5	0,6126* 0,0000	-0,5256* 0,0000	-0,5238* 0,0000	-0,5770* 0,0000	1					
x6	-0,1212* 0,0776	-0,2825* 0,0000	-0,1525* 0,0000	-0,2574* 0,0000	0,3166* 0,0795	1				
x7	0,4399* 0,0000	0,6240* 0,0000	0,3492* 0,0000	0,4431* 0,0000	-0,6141* 0,0000	-0,4455* 0,0000	1			
x8	0,2448* 0,0000	0,0044 0,7594	0,1121* 0,0000	-0,0097 0,5046	-0,0591* 0,0000	-0,0786* 0,0000	0,0865* 0,0000	1		
x9	-0,1004* 0,0000	-0,1041* 0,0000	-0,0260 0,0729	0,0216 0,1358	-0,1353* 0,0000	-0,0256 0,0776	-0,0254 0,0795	-0,2618* 0,0000	1	
x10	0,0223 0,1241	0,0442* 0,0023	0,0423* 0,0035	0,0636* 0,0000	-0,0844* 0,0000	-0,0228* 0,1155	0,0852* 0,0000	-0,0223* 0,1243	-0,0553* 0,0001	1

Fonte: Resultados da pesquisa.