

ÍNDICE DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL AGROPECUÁRIA: UM ESTUDO NOS MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO NORTE

AGRICULTURAL ENVIRONMENTAL DEGRADATION INDEX: A STUDY IN THE MUNICIPALITIES OF RIO GRANDE DO NORTE

ÍNDICE DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL AGRÍCOLA: UN ESTUDIO EN LOS MUNICIPIOS DE RIO GRANDE DO NORTE

DOI 10.33360/RGN.2318-2695.2025.i1.p.154-169

Antonia Gislayne Moreira Alves
Universidade Federal do Ceará
gislaynealves22@gmail.com

Kilmer Coelho Campos
Universidade Federal do Ceará
kilmer@ufc.br

Gércia Cunha De Lima
Universidade Federal do Ceará
gerciacunhalima13@gmail.com

RESUMO

Este estudo teve como objetivo verificar o nível de degradação ambiental nos municípios do Estado do Rio Grande do Norte, usando como proxy o cálculo do Índice de Degradação Ambiental Agropecuária (IDAA). Para isso, aplicou-se o método de análise fatorial. Para investigar a similaridade entre os municípios potiguares, conforme sua propensão à degradação, utilizou-se a análise de cluster. Os dados foram extraídos do Censo Agropecuário de 2017. Os resultados mostraram que o Estado apresentou um índice médio de 25,59%, ou seja, cerca de um quarto da amostra mostra tendência à degradação ambiental. Entretanto, a maioria dos municípios se enquadraram em níveis baixos (38%) e médios (41%), ao passo que 21% revelaram índices altos. Os gastos com defensivos agrícolas, combustíveis e lubrificantes estão entre os principais indicadores que induz a deterioração do meio ambiente. Conclui-se que tomar conhecimento dos efeitos adversos dos meios utilizados no exercício da atividade agropecuária é fundamental para estimular estratégias, especialmente por parte do setor público, que equilibrem o aumento da produtividade e a conservação ambiental.

Palavras-chave: Degradação Ambiental. Análise Fatorial. Análise de Clusters. Ação Governamental.

ABSTRACT

This study aimed to verify the level of environmental degradation in the municipalities of the State of Rio Grande do Norte, using the calculation of the Agricultural Environmental Degradation Index (IDAA) as a proxy. For this, the factor analysis method was applied. To investigate the similarity between the municipalities of Rio Grande do Norte, according to their propensity for degradation, cluster analysis was used. The data were extracted from the 2017 Agricultural Census. The results showed that the State presented an average index of 25.59%, that is, about a quarter of the sample shows a tendency towards environmental degradation. However, most municipalities fell into low (38%) and medium (41%) levels, while 21% revealed high rates. Expenditure on agricultural pesticides, fuels and lubricants are among the main indicators that induce environmental deterioration. It is concluded that becoming aware of the adverse effects of the means used in agricultural activity is essential to encourage strategies, especially on the part of the public sector, that balance increased productivity and environmental conservation.

Keywords: Environmental Degradation. Factor Analysis. Cluster Analysis. Government Action



RESUMEN

El objetivo de este estudio fue verificar el nivel de degradación ambiental en los municipios del estado de Rio Grande do Norte, utilizando como proxy el cálculo del Índice de Degradación Ambiental Agrícola (IDAA). Para ello, se aplicó el método de análisis factorial. El análisis de conglomerados se utilizó para investigar la similitud entre los municipios de Rio Grande do Norte, de acuerdo con su propensión a la degradación. Los datos se tomaron del Censo Agropecuario de 2017. Los resultados mostraron que el estado tenía un índice medio del 25,59%, es decir, alrededor de una cuarta parte de la muestra era propensa a la degradación ambiental. Sin embargo, la mayoría de los municipios se ubicó en los niveles bajo (38%) y medio (41%), mientras que el 21% mostró índices altos. El gasto en pesticidas, combustibles y lubricantes se encuentra entre los principales indicadores que inducen al deterioro medioambiental. La conclusión es que ser consciente de los efectos adversos de los medios utilizados para llevar a cabo las actividades agrícolas es fundamental para estimular estrategias, especialmente por parte del sector público, que equilibren el aumento de la productividad con la conservación del medio ambiente.

Palabras clave: Degradación ambiental. Análisis factorial. Análisis de conglomerados. Acción gubernamental.

1.INTRODUÇÃO

A qualidade ambiental tem se tornado um dos principais temas de debate no século XXI, sobretudo devido ao aumento da preocupação com os efeitos decorrentes do avanço das tecnologias e técnicas aplicadas a produção econômica. No Brasil, a atividade agropecuária é uma das principais responsáveis por problemas ambientais, resultado de um conjunto de transformações inerentes a esse setor. Práticas como a aplicação de agrotóxicos e fertilizantes, o uso de irrigação e mecanização estão entre os fatores que contribuem para poluição dos recursos hídricos, do solo e do ar. Essas práticas também apresentam riscos à saúde humana. Dessa forma, a intensificação da produção agropecuária está relacionada com o aumento da degradação ambiental, tornando necessário medidas estratégicas mais sustentáveis (PINTO e CORONEL, 2015; CAMPOS et al., 2015; PINTO, 2013).

A degradação ambiental, resultante da interferência humana, surge quando o equilíbrio natural de um ecossistema é alterado. Tal interferência torna-se contraditória, pois a humanidade depende diretamente dos recursos naturais para sua sobrevivência e desenvolvimento. No entanto, a atividade econômica, principalmente pelo uso intensivo da terra e dos recursos, provoca desgastes significativos ao meio ambiente. A produção agropecuária, pilar fundamental do agronegócio e da economia brasileira, exemplifica essa dinâmica. Nas últimas décadas, o setor tem crescido graças a modernização da agricultura e pelo uso intensivo de insumos e máquinas. Contudo, esse avanço intensifica o dilema da eficiência produtiva muitas vezes em detrimento da conservação ambiental (CÔRREA, 2019; SAMBUICHI et al., 2012; COSTA NETO et al., 2008).

O termo sustentabilidade ganhou destaque após a constatação dos efeitos negativos causados pela intensificação do uso de maquinário e produtos agroquímicos na atividade agrícola mundial sobre o meio ambiente. Para que a agricultura seja uma atividade realmente sustentável, é necessário que os agentes econômicos reconheçam que essa atividade vai além da geração de



rendimentos de curto prazo, sendo fundamental para preservação do meio ambiente e da qualidade de vida humana. Nesse sentido, é essencial que os órgãos competentes desenvolvam ações consistentes com ênfase no longo prazo (COSTA NETO et al., 2008).

No Brasil, a produtividade do setor agropecuário tem crescido continuamente nas últimas décadas. Em 2023, conforme divulgado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária, a economia nacional cresceu 15%, impulsionado pela agricultura, o que se sobressaiu numa série histórica iniciada em 1995. Esse aumento resultou em um crescimento de 2,9% no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro em comparação ao ano anterior, de acordo com os dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Diante dessa realidade, as pesquisas científicas reforçam as discussões acadêmicas sobre as práticas que comprometem o uso sustentável dos recursos naturais. A mensuração de índices desempenha um papel importante na quantificação da degradação ambiental, com objetivo de não apenas descrever uma situação, mas também como uma ferramenta estratégica para tomada de decisões (BRAGA et al., 2004 apud PINTO e CORONEL, 2015). Nesse sentido, essa pesquisa procura contribuir com os estudos para o cenário nordestino a respeito da temática da degradação do meio ambiente, principalmente, ao considerar especificamente o Estado do Rio Grande do Norte.

Dito isso, a fim de verificar o nível de degradação ambiental nos municípios do Rio Grande do Norte, este estudo utilizou como proxy a cálculo do Índice de Degradação Ambiental Agropecuária (IDAA). Para atingir esse o objetivo, adotou-se o método de análise fatorial. Após isso, aplicou-se a técnica de análise de cluster para investigar a similaridade entre os municípios potiguares em relação ao nível de degradação. Os dados são de origem secundária e foram extraídos do Censo Agropecuário disponibilizado pelo IBGE, referente ao ano de 2017.

Esse trabalho divide-se em cinco seções, iniciando-se com esta introdução. A segunda seção, apresenta uma revisão de teórica acerca da temática da degradação ambiental agropecuária e, em seguida, aponta pesquisas realizadas na área. Na terceira seção, são detalhados os procedimentos metodológicos adotados. Na quarta, são expostos os resultados e discussões. Por fim, as considerações finais e referências bibliográficas.

2. REVISÃO TEÓRICA SOBRE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL AGROPECUÁRIA

Nesta seção será apresentado, inicialmente, uma contextualização a respeito do tema central, a degradação ambiental. Em seguida, será abordado evidências empíricas na área que embasam a realização dessa pesquisa.



2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NO BRASIL

A Política Nacional de Meio Ambiente, instituída pela Lei nº 6.938/1981, define degradação ambiental como “a alteração adversa das características do meio ambiente” (Art. 3º, inciso II). No que diz respeito a impacto ambiental, o artigo da Resolução nº 001/1986 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) define que se trata de “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas”. Esses impactos podem afetar a saúde, as condições sanitárias, o bem-estar da população e as atividades socioeconômicas.

A degradação ambiental é resultado de práticas que provocam deterioração do meio ambiente. Entre os principais responsáveis estão: o uso intensivo do solo, que danifica a matéria orgânica e compacta o terreno devido maquinário pesado; o uso de agrotóxicos, que poluem o meio ambiente e prejudicam a saúde humana; a utilização excessiva e inadequada de fertilizantes, que debilita a qualidade do solo a longo prazo; a irrigação, que pode comprometer a hidrografia, com a poluição de rios, lagos e provocar erosão; e, a manipulação de genomas para aumentar a produtividade das plantas, geralmente associada ao uso intensivo de agrotóxico e fertilizantes (GLIESSMAN, 2005 apud em PINTO e CORONEL, 2013).

Rodrigues et al. (2016) explica que a degradação ambiental, considerada uma externalidade negativa sobre os recursos naturais, pode ser entendida como resultado da ineficiência de três fatores: a decisão dos gestores, pobreza e crescimento econômico. A má gestão compromete o bem-estar social, enquanto a pobreza, marcada pela desigualdade, diminui a sensibilização para preservação ambiental, apontando que são necessárias melhorias na condição de vida. Por sua vez, o crescimento da econômico nem sempre é acompanhado por maior conscientização ambiental, além do alto nível de industrialização agrava a poluição, a pressão demográfica, entre outros efeitos negativos.

No Brasil, a relação entre renda e degradação ambiental, especialmente no contexto da pobreza e do crescimento rural, está associado a fatores de desenvolvimento humano, como a consciência à degradação do meio ambiente, saúde, educação e variações na renda (RODRIGUES et al., 2016). Para Bini et al. (2018), a sustentabilidade é uma alternativa eficaz para minimizar os impactos das atividades econômicas, substituindo práticas nocivas, como a utilização de produtos químicos que contaminam a água e provocam riscos à saúde humana. Além disso, a produção sustentável é cada vez mais essencial. Ao citar Nassar et al. (2010), destacam que a sustentabilidade é uma via fundamental para garantir o crescimento contínuo da atividade agropecuária.

Segundo Gliessman (2001) citado por Costa Neto et al., (2008), o cálculo dos custos econômicos das atividades agrícolas ignora os efeitos gerados no meio ambiente e na vida humana.



Políticas voltadas para exportação e atração de investimentos estrangeiros em países pobres afetam diretamente a capacidade dos agricultores de produzir de modo sustentável. O principal desafio encontrado para favorecer a sustentabilidade está nas diferentes óticas dos agentes envolvidos - agricultores, comunidade, país e mundo. Nesse contexto, o equilíbrio exige a aplicação de ações técnicas que considerem as necessidades humanas presentes e futuras (REIJNTJES et al., 1994 apud COSTA NETO et al., 2008).

A sustentabilidade abrange não apenas a dimensão ambiental, mas também a socioeconômica, com base no uso responsável dos recursos naturais e na reparação dos ecossistemas. Na dimensão social, há necessidade de garantir aos cidadãos o acesso ao mínimo necessário, para erradicar a pobreza. Já na dimensão econômica, pressupõe-se o aumento da produção e consumo eficiente, fundamentada numa economia que poupa os recursos naturais e incorpora inovações tecnológicas (GIOVANNONI e FABIETTI, 2013 apud BINI et al., 2018). Como ferramenta contra a degradação, práticas e técnicas sustentáveis consiste numa alternativa socioproductiva no setor agrícola (SOUZA, 2011 apud PINTO e CORONEL, 2013).

Recomendações políticas que incentivem a sustentabilidade nas propriedades rurais são fundamentais, desde que não comprometam o desempenho econômico. A percepção dos agricultores aliado à sua disponibilidade financeira e técnica, é essencial para planejamento e adoção de práticas produtivas sustentáveis. O apoio governamental, por meio de ações de grupos produtores e iniciativas locais, pode gerar resultados mais efetivos. Embora a assistência técnica tenha impacto positivo, sua eficácia pode ser limitada para os produtores com baixo nível de renda. As políticas agrícolas de crédito oferecem alternativas importantes, propiciando a adoção práticas como o plantio direto, sistemas de integração de lavouras, pecuária e floresta, recuperação das pastagens e tratamento de dejetos (BINI et al., 2018).

2.2 EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS SOBRE A DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

A busca por uma boa governança é um desafio significativo, especialmente no contexto da relação entre degradação ambiental e atividade agropecuária, que vem ganhando atenção crescente nas pesquisas científicas. Estudos realizados em diversas localidades, como nos Estados do Rio Grande do Sul (PINTO e CORONEL, 2015), Minas Gerais (FERNANDES, CUNHA e SILVA, 2005) e Acre (SILVA e RIBEIRO, 2004) e também na região Nordeste (LEMONS, 2011), procuraram analisar e compreender essa relação. Nesse sentido, a literatura apresenta evidências empíricas e propõe a elaboração de índices para mensurar a degradação ambiental de modo mais preciso.

Lemos (2001) foi o primeiro a criar o Índice de Degradação (ID), desenvolvido como uma extensão do índice de desertificação criado pelo próprio autor. Utilizando dados do Censo



Agropecuário, referentes aos anos de 1995/1996 e mapeando todos os estados da região Nordeste, considerou indicadores econômicos, biológicos e demográficos aplicando a técnica de análise fatorial. Em seguida, construiu um Índice Parcial de Degradação Ambiental (IPDAA) e posteriormente, o Índice de Degradação Ambiental (IDA). Os resultados evidenciaram que mais de 50% dos municípios estudados apresentaram degradação ambiental superior a 80%, com a Bahia sendo o estado que apresentou maior índice de degradação e Pernambuco o menor.

A contribuição de Lemos (2001) para a literatura serviu de base para diversos estudos subsequentes. Em uma pesquisa realizado em Minas Gerais, Fernandes, Cunha e Silva (2005) aplicaram a técnica de análise fatorial para identificar o nível de degradação do estado, agrupando os municípios em clusters a partir da similaridade entre eles. Os resultados indicaram um índice médio de degradação de 86%, com mais de 40% dos municípios apresentando um índice igual a 1. Observou-se que o cluster 1 apresentou um nível médio elevado de degradação, enquanto o cluster 5 registrou uma situação relativamente melhor. Concluiu-se que um número significativo de municípios enfrenta altos níveis de degradação.

Silva e Ribeiro (2004) também utilizaram da elaboração do ID para avaliar o estágio de degradação ambiental nos municípios do Acre. Os resultados apontaram um índice médio de 30,74%. Dois municípios, Cruzeiro do Sul e Mâncio Lima, apresentaram índice mínimo igual a zero, refletindo melhor estágio de conservação. Em contrapartida, o município de Manoel Urbano registrou o ID máximo de 1,8%, evidenciando que o Estado também possui áreas com altos níveis de degradação ambiental.

Pinto e Coronel (2015) buscaram analisar o impacto do desenvolvimento rural impactava sobre o padrão de degradação ambiental agropecuária nos municípios do Rio Grande do Sul. Para isso, aplicaram um modelo de regressão com dados em painel, utilizando do método de efeitos fixos para examinar os determinantes do desenvolvimento em relação ao índice de degradação. Os resultados demonstraram um índice foi elevado, com as maiores médias concentradas na mesorregião central. Os autores concluíram que os efeitos dos fatores analisados são divergentes: os coeficientes da relação entre o índice e os determinantes foram positivos para variáveis relacionados à moradia, educação, corretivos da produção e energia rural. Em contraste, fatores associados à estrutura, desempenho e área de produção agropecuária, econômica e financeira tiveram coeficientes negativos.

Reconhecendo que a degradação ambiental é um problema global, Pinto, Rossato e Coronel (2019) realizaram um estudo sobre a América Latina. A mensuração da degradação, por meio de um índice, mostrou um valor médio foi de 8,25%. Os países com menores índices foram Nicarágua, Chile e El Salvador, enquanto o Brasil, Argentina e México se destacaram pelos maiores níveis de



degradação. A principal diferença entre esses grupos foi a intensidade da atividade agropecuária, sendo que os países com menores índices tiveram uma baixa representatividade desse setor.

Moura e Bezerra (2016) destacam que a degradação ambiental no Brasil não é um caso isolado, abrangendo a perda da biodiversidade, queimadas e a deterioração do solo e da água. Para enfrentar esses desafios, é fundamental que as ações não dependam somente do Estado, mas que envolva toda a sociedade. O planejamento sustentável requer a articulação de políticas públicas que considerem fatores como licenciamento ambiental e fiscalização, indo além de medidas corretivas e punitivas.

3. METODOLOGIA

Essa seção apresentará, inicialmente, os procedimentos metodológicos adotados para obtenção dos objetivos desse estudo. Vale ressaltar que o cálculo da mensuração do grau de degradação ambiental nos municípios é fundamentado, principalmente, pelo estudo de Pinto e Coronel (2015), Pinto e Coronel (2014) e Lemos (2001). Em seguida, é apresentado o objeto de estudo, as variáveis e a fonte de dados.

3.1 ANÁLISE FATORIAL

O objetivo principal da análise fatorial é simplificar um conjunto de variáveis, reduzindo-os a um número menor fatores. Utilizando a análise de componentes principais, os dados são condensados nos fatores mínimos necessários que explicam a variância máxima apresentada pelas variáveis originais. O primeiro fator, formado pelas variáveis mais correlacionadas, captura a maior parte da variância da amostra, seguido pelo segundo fator e assim por diante (FÁVERO et al., 2009).

De acordo com Mingoti (2005) apud Pinto e Coronel (2015), o modelo de análise fatorial em forma matricial se expressa conforme Equação 1, abaixo:

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

sendo que: $X_i = (X_1, X_2, \dots, X_p)^t$ representa um vetor transposto das variáveis aleatórias observáveis; a_{ij} consiste numa matriz (pxm) de coeficientes fixos que demonstram 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 $\varepsilon_i = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p)^t$ é um vetor transposto dos erros aleatórios e a variação de X_i não explicada pelos fatores comuns, F_j .

A variação nos valores das variáveis torna necessário a padronização, a fim de reduzir as diferenças de escala entre elas. Esse processo pode ser observado da seguinte forma:



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

Na equação acima, Z , corresponde à variável padronizada; X_i , a variável a ser padronizada; \bar{X}_i , a médias de todas as observações e S , o desvio padrão da amostra. Feita a padronização, a variável X_i podem ser substituídas pelo vetor de variáveis padronizadas, Z_i . Reescrevendo a equação 1, tem-se:

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

Neste estudo, a extração do número de fatores foi baseada no critério de raiz latente (critério de Kaiser), considerando os autovalores (eigenvalores) superiores a um. Os autovalores representam a variância que cada fator explica. Para simplificar a interpretação dos fatores gerados, foi aplicado o método de rotação ortogonal Varimax¹, que minimiza o número de variáveis com cargas fatoriais elevadas em um mesmo fator, sendo o método mais utilizado (FÁVERO et al., 2009). As cargas fatoriais indicam a correlação entre os fatores e as variáveis originais, sendo um ponto chave para compreensão dos resultados. A variável é atribuída a um fator com base na maior carga fatorial² associada. Já as comunalidades³ permitem analisar a proporção da variância total explicada por cada variável original em relação ao conjunto de variáveis consideradas, sendo calculadas pelo somatório dos quadrados das cargas fatoriais (HAIR et al., 2009).

A adequação da amostra foi verificada, inicialmente, por meio do teste de esfericidade de Bartlett, que avalia a hipótese nula de que a matriz de correlação equivale a uma matriz identidade, ou seja, que as variáveis originais não apresentam correlações significativas⁴. Em seguida, foi aplicado o teste Kaiser – Meyer – Olkin (KMO), que avalia a correlação parcial entre as variáveis, fornecendo valores entre 0 e 1. Quanto mais próximo de zero, maior a indicação de que a técnica não se ajusta bem aos dados, sendo que valores inferiores a 0,5 indicam que a amostra não é adequada para análise fatorial. Por fim, a Medida de Adequação da Amostra (*Measure of Sampling Adequacy – MSA*), avalia a adequação de cada variável individualmente, fornecendo uma matriz Antiimagem de correlações. O valor da diagonal principal dessa matriz indica se a análise fatorial deve prosseguir. Caso uma variável apresente um valor inferior a 0,5, isso sugere que ela pode não se ajustar bem à estrutura formada pelas demais variáveis (FÁVERO et al., 2009).

¹ Segundo HAIR et al. (2009), não há um critério analítico que considere vantajoso usar um determinado método de rotação em detrimento de outro

² Critério de significância a partir do tamanho da amostra: Para 100 observações, a carga fatorial deve ser de no mínimo 0,55 (HAIR et al., 2009).

³ Comunalidades menores que 0,5 indicam baixo nível de explicação (HAIR et al., 2009).

⁴ Para que a técnica seja considerada adequada, essa hipótese deve ser rejeitada, com um nível de significância de até 5% (FÁVERO et al., 2009).



Feito isto, os escores fatoriais são estimados. Os escores fatoriais representam medidas calculadas para cada variável associada aos fatores extraídos na análise fatorial (HAIR et al., 2009). Com base nesses escores, é construído o Índice Parcial de Degradação Ambiental Agropecuária (IPDAA), detalhado a seguir.

3.1.1 Índice de Degradação Ambiental Agropecuária (IDAA)

Para obter o Índice de Degradação Ambiental Agropecuária (IDAA), é preciso seguir duas etapas: Análise fatorial e a construção do IPDAA. Após realizar a análise fatorial, é possível calcular o IPDAA. Segundo Lemos (2001), esse processo é definido da seguinte forma:

$$IPDAA_i = (F_{i1}^2 + F_{i2}^2 + \dots + F_{in}^2)^{1/2} \quad (4).$$

Na qual $IPDAA_i$ é o Índice Parcial de Degradação Ambiental Agropecuária para o i -ésimo município do RN e F_{ij} consiste nos escores fatoriais estimados, a partir da análise fatorial via componentes principais.

Espera-se que os escores fatoriais de cada município tenham uma distribuição simétrica em torno da média zero, com metade dos valores positivos e a outra metade negativa. No entanto, como o cálculo do índice implica em elevar os escores ao quadrado, os municípios que possuem escores negativos altos poderiam ter sua magnitude aumentada de forma indevida. Para evitar esse efeito, é preciso transformar os escores, assegurando que todos fiquem positivos e posicionados no primeiro quadrante. Essa transformação deve ser feita antes da estimativa do IPDAA, seguindo o procedimento matemático abaixo:

$$F_{ij} = \frac{(F - F_{min})}{(F_{max} - F_{min})} \quad (5).$$

em que: F_{ij} , são os escores fatoriais do i -ésimo município; F_{min} e F_{max} são, respectivamente, os valores mínimos e máximos observados dos escores fatoriais para os municípios, conforme estimados pela análise fatorial via componentes principais.

Após essa transformação os escores fatoriais ficam ajustados dentro do intervalo entre 0 e 1. Segundo Lemos (2001), esse resultado deve ser utilizado apenas para comparar o nível de degradação ambiental agropecuária entre os municípios, formando um ranking. Para estimar o percentual de degradação, utiliza-se o IDAA:

$$IDAA_i = \sum_{j=1}^n P_j X_i \quad (6).$$

no qual: $IDAA_i$ é o Índice de Degradação Ambiental Agropecuária para o i -ésimo município; P_j , são os pesos dos j -ésimos escores fatoriais estimados através de regressão múltipla, sendo o IPDAA a variável dependente e as variáveis explicativas os escores fatoriais usados na criação do IPDAA.



3.2 ANÁLISE DE CLUSTERS

Para agrupar os municípios com características semelhantes em relação ao IDAA, foi utilizada a análise de cluster ou agrupamento. Segundo Fávero et al. (2009), essa técnica estatística de interdependência permite formar homogêneos com base em características comuns. A distância entre os municípios reflete o grau de dissimilaridade: quanto maior a distância, menor a similaridade entre eles. Neste estudo, foi adotada a distância quadrática euclidiana. De acordo com Martins, Campos e Lima (2014), essa distância é calculada pelo somatório dos quadrados das diferenças entre as observações k e i em um espaço n -multidimensional, conforme expresso a seguir:

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

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

Para agrupar as observações em subconjuntos, foi utilizado método k – médias, um método não hierárquico que reúne as observações com base em uma medida de semelhança definida. Segundo Fernau e Samson (1990) apud Fernandes et al. (2005), a escolha do número de grupos é uma decisão subjetiva, cabendo ao pesquisador definir esse critério. Nesse estudo, optou-se por três grupos para classificar os níveis de degradação como baixo, médio e alto.

3.3 ÁREA DE ESTUDO, DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS E FONTE DE DADOS

A área de estudo é o Estado do Rio Grande do Norte, que compõe um dos nove estados da região Nordeste do Brasil, e abrange 167 municípios. No entanto, esta pesquisa considerou 109 deles, representando cerca de 65% do total. A eliminação de alguns municípios ocorreu devido à presença de dados ausentes (missings) no banco de dados.

As variáveis utilizadas como indicadores agropecuários (Tabela 1) consideram diversos aspectos, como uso da terra, assistência técnica, meio ambiente, tecnologias empregadas (defensivos agrícolas, hídrica, energia elétrica e mecanização) e a produtividade vegetal. Elas são descritas de acordo com a área dos estabelecimentos em hectares (HE), o número total de estabelecimentos (NE) e o montante de despesas em mil reais (R\$). Esse último fator é analisado para estimar o custo efetivo, partindo do pressuposto de que custos mais elevados apontam maior uso de tecnologias. Ademais, os dados utilizados foram extraídos do Censo Agropecuário de 2017.

Para minimizar as diferenças no tamanho dos estabelecimentos agropecuários, todas as variáveis foram calculadas em razão da área aproveitável (AA). De acordo com Hoffmann (1992) apud Cunha et al. (2008), a área aproveitável corresponde a soma das áreas destinadas a lavouras



permanentes e temporárias, pastagens naturais e plantadas, matas naturais e plantadas, além das áreas em pousio e em descanso de solos.

Tabela 1 – Indicadores Agropecuários.

Variáveis	Descrição
x1	Área dos estabelecimentos agropecuários, com lavouras permanentes e temporárias (HE) / AA
x2	Área dos estabelecimentos agropecuários, com pastagens naturais e plantadas (HE) / AA
x3	Área dos estabelecimentos agropecuários, com matas naturais e plantadas (HE) / AA
x4	Número de estabelecimentos agropecuários que recebeu orientação técnica (NE) / AA
x5	Número de estabelecimentos agropecuários que não utilizaram sistema de preparo do solo (NE) / AA
x6	Área total irrigada dos estabelecimentos agropecuários (HE) / AA
x7	Valor das despesas realizadas pelos estabelecimentos agropecuários com adubos e corretivos (R\$) / AA
x8	Valor das despesas realizadas pelos estabelecimentos agropecuários com agrotóxicos (R\$) / AA
x9	Valor das despesas realizadas pelos estabelecimentos agropecuários com energia elétrica (R\$) / AA
x10	Valor das despesas realizadas pelos estabelecimentos agropecuários com combustíveis e lubrificantes (R\$) / AA
x11	Valor da produção vegetal dos estabelecimentos agropecuários (R\$) / AA
x12	Número total de tratores e máquinas (plantadeiras e colheitadeiras) existentes nos estabelecimentos agropecuários (NE) / AA

Fonte: Elaborado pelos autores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção, são apresentados e discutidos os resultados da pesquisa. Primeiro, são expostos os fatores relacionados a degradação ambiental agropecuária. Posteriormente, é analisado o índice de degradação nos municípios potiguares, além do agrupamento deles com base no grau de similaridade, conforme descrito a seguir.

4.1 FATORES DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL AGROPECUÁRIA

Para verificar a adequabilidade da análise fatorial, foram aplicados três testes. O teste de esfericidade de Bartlett foi significativo a 1%, indicando que a matriz de correlação não é uma matriz identidade e que os dados são apropriados para técnica (HAIR et al., 2009). O teste KMO apresentou um valor de 0,7952, confirmando a adequação dos dados. Por fim, o MSA mostrou um valor igual a 1 para todas as variáveis, indicando que estão bem estruturadas (FÁVERO et al., 2009).

A aplicação da análise fatorial via componentes principais, com rotação ortogonal Varimax, revelou que as 12 variáveis formaram três fatores de degradação ambiental agropecuária, demonstrado na Tabela 2 abaixo, todos com autovalores superiores a 1. Esses fatores explicam



74,92% da variabilidade dos dados, sendo que no campo das ciências sociais esse percentual é considerado satisfatório a partir de 60% (HAIR et al., 2009 apud PINTO e CORONEL, 2015). A contribuição de cada fator para a explicação total foi de 49,42%, 13,4% e 12,03%, respectivamente.

Tabela 2 – Fatores de Degradação Ambiental Agropecuária e suas cargas fatoriais e comunalidades por indicador agropecuário nos municípios do Rio Grande do Norte, 2017.

Variáveis	Cargas Fatoriais			Comunalidades
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	
x1	0,4429	0,7081	-0,0709	0,7026
x2	-0,343	-0,1733	-0,7738	0,7464
x3	-0,1305	-0,1547	0,872	0,8013
x4	-0,0726	0,7447	-0,1272	0,5760
x5	-0,0754	0,6624	0,1976	0,4835
x6	0,8403	0,1124	0,0563	0,7219
x7	0,9255	-0,0477	-0,0273	0,8596
x8	0,932	0,0089	0,0513	0,8713
x9	0,9023	0,2093	0,0632	0,8619
x10	0,9188	0,015	0,0455	0,8465
x11	0,9377	0,068	0,0746	0,8895
x12	0,7871	0,0609	-0,0786	0,6294

Fonte: Elaborado pelos autores. Resultados da pesquisa (2017).

A Tabela 2, acima, mostra as cargas fatoriais e as comunalidades das variáveis relacionadas em cada um dos três fatores. As comunalidades, que representam o quanto os fatores explicam as variáveis, são próximas e superiores a 0,5, indicando que a variância das variáveis é bem captada pelos fatores, de acordo Pinto e Coronel (2015) são valores satisfatórios. As variáveis que mais contribuem para a formação de cada fator possuem cargas fatoriais acima de 0,6 (em módulo), destacados em negrito.

Ainda na Tabela 2, nota-se que o Fator 1 é composto pelas variáveis x6, x7, x8, x9, x10, x11 e x12, todas com cargas fatoriais positivas e acima de 0,7, indicando uma forte correlação com o fator. Esse fator está associado a tecnologia hídrica (x6), uso de defensivos agrícolas (x6, x7 e x8), produtividade vegetal (x11) e tecnologias mecânicas (x12). O Fator 2 engloba as variáveis x1, x4 e x5, relacionadas ao uso da terra, abrangendo áreas das lavouras naturais e plantadas (x1), assistência técnica (x4) e práticas de conservação do solo (x4). Todas as cargas fatoriais são positivas, reforçando a conexão entre essas variáveis. Por fim, o terceiro fator é composto por x2 e x3. A variável x2 mostra uma associação negativa, indicando uma relação inversa os outros dois fatores. Esse fator está relacionado ao uso das áreas de pastagens (x2) e matas (x3).

4.2 ÍNDICE DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL AGROPECUÁRIA (IDAA)



Após aplicação da análise fatorial, foi construído o IPDAA. Em seguida, realizou-se a regressão múltipla, atribuindo pesos de 0,3020, 0,3609 e 0,4562 aos escores fatoriais. Com esses pesos, foi calculado o IDAA para mensurar o nível de degradação ambiental na região estudada. É importante destacar que, quanto mais próximo de 1, maior o nível de degradação do município.

O nível médio de degradação no Estado foi de 25,59%, indicando baixa representatividade, já que pouco mais de um quarto da amostra apresenta problemas de degradação. Apesar do crescimento de 6,5% no setor agropecuário durante o período analisado⁵, o uso de inovações tecnológicas ainda é considerado baixo, principalmente em comparação ao cenário nacional (LOCATEL, 2018). O índice máximo registrado foi de 63,61% em São Miguel, enquanto o mínimo foi de 7,13% em Santa Cruz.

4.3 CLUSTERS DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL AGROPECUÁRIA

Encontrada a proporção de degradação ambiental, os municípios potiguares foram classificados com base em características semelhantes, utilizando a análise de clusters pelo método de k – médias (não hierárquico). A Tabela 3, a seguir, mostra o agrupamento dos municípios por sua similaridade acerca do IDAA. Assim, foram classificados por grau de degradação ambiental (baixo, médio e alto) e reflete o potencial desgaste ambiental por grupo.

Tabela 3 – Clusters do IDAA

<i>Clusters</i>	IDAA	IDAA Médio	Nº de municípios
1 – Baixo	0,00 a 0,20	0,1469	41
2 – Médio	0,21 a 0,34	0,2640	45
3 – Alto	0,35 a 1,00	0,4342	23

Fonte: Elaborado pelos autores. Resultados da pesquisa (2017).

Conforme mostrado na Tabela 3 acima o cluster 1, que inclui 38% dos municípios do Estado, tem baixa propensão a degradação ambiental (0,00 a 0,20) com IDAA médio de 0,1469. Os municípios de Santa Cruz e Sítio Novo se destacaram com menores índices, ambos com 0,07. As características comuns desse grupo estão associadas aos indicadores de área irrigada (x6) e mecanização total (x12), que possuem relação negativa. O cluster 2, formado por 41% dos municípios, apresenta propensão média à degradação (0,21 a 0,34). Os municípios com maior representatividade foram Nísia Floresta, São José do Mipibu e Apodi, com índices de 0,34%, 0,33% e 0,32%, respectivamente. O cluster 3, com 21% dos municípios, registrou os maiores níveis de degradação ambiental do estado (0,35 a 1,00) com índice médio de 0,4342. São Miguel teve o maior

⁵ Agora RN, IBGE. Disponível em: <https://agorarn.com.br/economia/setor-agropecuario-do-rn-registrou-crescimento-de-65-em-2017-diz-ibge/>



IDAA, com 63%, seguido por Venha-Ver (57%) e Doutor Severiano (51%). Os indicadores desse grupo apresentaram relação positiva com: área das lavouras (x1), matas (x3), despesas com adubos e corretivos de solo (x7), agrotóxicos (x8), energia (x9), combustível e lubrificantes (x10), produtividade vegetal (x11), orientação técnica (x4) e práticas de conservação do solo (x5). O único indicador com relação negativa foi a área das pastagens (x2).

Embora os clusters 1 e 2 mostrem níveis baixos e médios de degradação ambiental, há uma diferença significativa em relação ao cluster 3, que apresenta uma relação direta com os indicadores que provocam degradação, conforme apontado pela literatura. Isso destaca que, apesar do progresso tecnológico e do uso de maquinário no Estado, a atividade agropecuária não deve ser impulsionada à custa do meio ambiente. É fundamental que os agentes econômicos reconheçam a importância da preservação e contribuam para essa causa.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como principal objetivo verificar o nível de degradação ambiental associada a atividade agropecuária nos municípios do Estado do Rio Grande do Norte com base no cálculo do Índice de Degradação Ambiental Agropecuária (IDAA), utilizando dados do Censo Agropecuário de 2017 e os métodos de cluster fatorial e de cluster.

Com base nos resultados do IDAA, o Estado apresentou uma taxa média de 25,59%. Em outras palavras, aproximadamente um quarto da amostra mostra tendência à degradação ambiental. Os municípios foram agrupados em três clusters com características similares, de acordo com sua propensão a deterioração do meio ambiente. Os achados apontaram que a maior parte dos municípios se encaixa em níveis baixos (38%) e médios (41%), enquanto um grupo apresentou índices elevados (21%). Os gastos com defensivos agrícolas, combustíveis e lubrificantes estão entre os principais indicadores responsáveis por elevar o nível de degradação.

A investigação dessas causas é essencial para compreensão dos efeitos das práticas adotadas no setor agropecuário e auxiliar no desenvolvimento de estratégias que minimizem a degradação sobre o meio ambiente. Os resultados enfatizam a necessidade de políticas públicas que equilibrem a produtividade agrícola e a sustentabilidade, por meio da implementação de medidas que incentivem a conscientização ambiental e o acesso à informação para os produtores rurais. Além disso, tais políticas podem influenciar positivamente o setor privado, orientando decisões estratégicas antes da instalação de empreendimentos e na definição do seu modo de funcionamento.

Concluímos que a pesquisa foi importante para o campo acadêmico ao demonstrar o nível da degradação ambiental nos municípios potiguares com base no Censo Agropecuário mais recente disponibilizado pelo IBGE, de 2017. No entanto, há limitações. Futuras pesquisas podem



aprofundar o estudo desse fenômeno incluindo variáveis socioeconômicas, como qualidade de vida e desigualdade de renda, e análise temporais para verificar tendências. Ademais, sugere-se a análise comparativa entre os estados da região.

REFERÊNCIAS

- BINI, D. A.; MIRANDA, S. H. G.; VIAN, C. E. F.; PINTO, L. F. G. A dimensão econômica da sustentabilidade na agropecuária brasileira. **Revista de Política Agrícola**, 27(2), p. 95-105, 2018.
- CAMPOS, S. A. C.; FERREIRA, M. D. P.; COELHO, A. B.; LIMA, J. E. Degradação ambiental agropecuária no bioma caatinga. **Revista Econômica do Nordeste**, 46(3), p. 155-170, 2015.
- CÔRREA, R. G. F. **Gestão integrada de riscos no agronegócio: um modelo para sistemas integrados de produção agropecuária**. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 2019. Disponível: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/192790>
- COSTA NETO, J. P. C.; 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**, 39(2), 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**, 46(2), 291-323. 2008.
- 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.
- FERNANDES, E. A.; CUNHA, N. R. S.; SILVA, R. G. Degradação ambiental no Estado de Minas Gerais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 43(1), 178-198, 2005.
- 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.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2019). **Conheça cidades e estados do Brasil**. Recuperado em 17 dezembro, 2019, de <https://cidades.ibge.gov.br/>
- Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981 (1981). Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília: Congresso Nacional.
- LEMOS, J. J. S. Níveis de degradação no Nordeste brasileiro. **Revista Econômica do Nordeste**, 32(3), 406-429, 2001.
- LOCATEL, C. D. Uso do território e agricultura no Rio Grande do Norte: materialidades e estruturas. Confins – Revue franco-brésilienne de géographie/**Revista Franco-Brasileira de Geografia**, 34, 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** (pp. 139-154). Fortaleza: Editora RDS, 2014.



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. PIB. Crescimento da economia brasileira é impulsionado pela alta de 15% da agropecuária em 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/crescimento-da-economia-brasileira-e-impulsionado-pela-alta-de-15-da-agropecuaria-em-2023#:~:text=Puxando%20o%20crescimento%20da%20economia,R%24%2010%2C9%20trilh%C3%B5es.> Acesso em: 20 dez. 2024.

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

MOURA, A. M. M. Trajetória da Política Ambiental Federal no Brasil. In: Moura, A. M. M. de (Orgs). **Governança ambiental no Brasil: instituições, atores e políticas públicas** (pp. 13-43). Brasília: IPEA, 2016.

COSTA NETO, J. P. C.; 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**, 39(2), 306-327, 2008.

PINTO, N. G. M.; CORONEL, D. A. A degradação ambiental no Brasil: uma análise das evidências empíricas. *Revista acadêmica de economia - Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 188, 1-11, 2013.

PINTO, N. G. M.; CORONEL, D. A. Degradação ambiental do Rio Grande do Sul: uma análise dos municípios e mesorregiões. **Revista Brasileira de Agroecologia**, 9(1), 3-17, 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**, 53(2), 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**, 17(46), 218-235, 2019.

Resolução n.º 001, de 23 de janeiro de 1986 (1986). Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Diário Oficial da União. Brasília, DF: CONAMA.

RODRIGUES, L. A.; CUNHA, D. A.; BRITO, L. M.; PIRES, M. V. Pobreza, crescimento econômico e degradação ambiental no meio urbano brasileiro. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, 26(1), 11-24, 2016.

SAMBUICHI, R. H. R.; OLIVEIRA, M. A. C.; SILVA, A. P. M.; LUEDEMANN, G. A. **Sustentabilidade Ambiental da Agropecuária Brasileira: impactos, políticas públicas e desafios** [Texto para discussão, Nº 1782]. Brasília, DF: IPEA, 2012.

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**, 42(1), 91-110, 2004.