



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS SOCIAIS E AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
CURSO DE BACHARELADO EM ADMINISTRAÇÃO

ELSON SOUSA CRUZ RAMOS

***CLUSTERS* AGROPECUÁRIOS NA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO
NORDESTE BRASILEIRO**

BANANEIRAS

2023

ELSON SOUSA CRUZ RAMOS

***CLUSTERS* AGROPECUÁRIOS NA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO
NORDESTE BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Administração pela Universidade Federal
da Paraíba.

Orientadora: Prof. Dr.^a Patrícia Araújo
Amarante

BANANEIRAS

2023

Ficha Catalográfica elaborada na Seção de Processos Técnicos
Biblioteca Setorial de Bananeiras - UFPB/CCHSA
Bibliotecária-Documentalista: Bruna Morais – CRB 15/813

C957c Ramos, Elson Sousa Cruz

Clusters agropecuários e as emissões de gases de efeito estufa nos municípios da região nordeste: uma perspectiva espacial / Elson Sousa Cruz Ramos. – Bananeiras: [s.n], 2023.

37 f.: il.

Orientador.: Patrícia Araújo Amarante.
Monografia (Bacharelado em Administração) - UFPB/CCHSA.

1. Agropecuária. 2. Gases de efeito estufa. 3. Nordeste brasileiro. I. Amarante, Patrícia Araújo. II. Universidade Federal da Paraíba. III. Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias. IV. Título.

UFPB/CCHSA/BS

CDU 658 (043)

**CLUSTERS AGROPECUÁRIOS NA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO
NORDESTE BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Administração pela Universidade Federal da
Paraíba.

Orientadora: Prof. Dr.^a Patrícia Araújo
Amarante

Aprovado em: 17/ 11/2023.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr.(a) Patrícia Araújo Amarante (Orientadora)
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Documento assinado digitalmente
 JOSE CARLOS ARAUJO AMARANTE
Data: 20/11/2023 15:39:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jose Carlos Araújo Amarante (Avaliador)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)



Prof. Dr. Danilo Raimundo de Arruda (Avaliador)
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Ao meu tio Gilmar, que, quando em vida se dedicou a família, pelo companheirismo e amizade, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus por todo os dias de aflição em que foi minha fortaleza.

À minha maravilhosa e melhor mãe do mundo M. Edjane Sousa quem sempre rezou, confiou e me guiou e meu pai Elivalter Ramos conselheiro de vida e minha irmã Eline, que me presenteou com um sobrinho.

Ao meu tio Gilmar de Souza (in memoriam), foi amigo, cliente e inspiração, viu em vida minha entrada na universidade, e agora do céu minha formação.

À minha querida companheira, amiga, namorada e futura esposa Rosana Andrade, quem nunca me deixou desistir dos meus maiores sonhos.

Aos meus familiares que me acolheram na Paraíba, em especial meus avôs maternos Bernadete Nunes e José Gomes e meu avô paterno Augusto Ramos, as minhas tias Geane, Joseane, Rejane.

À Rosilene, Edvalci e Vanderley pelas conversas, amizade e o apoio durante o tempo de curso.

Aos professores do curso de Administração da UFPB do Campus III, em especial Mancinelli Ledo, Luciene Diniz e a minha orientadora Patrícia Amarante, quem confiou em mim por dois anos consecutivos em dois magníficos trabalhos de iniciação à pesquisa.

Aos colegas de classe, Empresa Júnior e, principalmente, aos companheiros de apartamento Bruno e Artur.

RESUMO

CLUSTERS AGROPECUÁRIOS E AS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NOS MUNICÍPIOS DA REGIÃO NORDESTE: UMA PERSPECTIVA ESPACIAL

O presente estudo busca realizar uma análise da distribuição espacial das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Nordeste brasileiro, durante o período de 2010 a 2019. Assim, visa contribuir para o entendimento das emissões de GEE associadas à agricultura e pecuária na região nordestina. As informações geradas têm o potencial de fornecer *insights* valiosos para orientar políticas de mitigação das mudanças climáticas e promover a sustentabilidade. O objetivo principal da pesquisa é identificar os denominados *clusters* agropecuários na região e sua possível relação espacial com essas emissões. Para atingir esse propósito, é adotada uma abordagem espacial que investiga os padrões de contribuição das atividades agropecuárias para as mudanças climáticas na área. Os resultados revelaram que os 20 maiores municípios emissores de gases de efeito estufa provenientes da Agropecuária, dentre os 1.794 são responsáveis por 10,11% de toda a emissão em 2019, e em sua distribuição espacial, a formação de *clusters* agropecuários nesses municípios, predominam práticas agrícolas. Ademais, por meio da utilização do Índice de Moran Global, bem como do Indicador Local de Associação Espacial (LISA), quatro diferentes tipos de associações espaciais são identificados: alto-alto (*high-high*), baixo-baixo (*low-low*), baixo-alto (*low-high*) e alto-baixo (*high-low*). A análise desses padrões aponta para a presença de transbordamentos significativos de GEE em áreas com expansão agrícola no Nordeste.

Palavras-chave: Agropecuária; Gases de Efeito Estufa; Nordeste brasileiro.

AGRICULTURAL CLUSTERS AND GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN THE MUNICIPALITIES OF THE NORTHEAST REGION: A SPATIAL PERSPECTIVE

The present study seeks to carry out an analysis of the spatial distribution of Greenhouse Gas (GHG) emissions in the Brazilian Northeast, during the period from 2010 to 2019. Thus, it aims to contribute to the understanding of GHG emissions associated with agriculture and livestock in the region northeast. The information generated has the potential to provide valuable insights to guide climate change mitigation policies and promote sustainability. The main objective of the research is to identify the so-called agricultural clusters in the region and their possible spatial relationship with these emissions. To achieve this purpose, a spatial approach is adopted that investigates the contribution patterns of agricultural activities to climate change in the area. The results revealed that the 20 largest municipalities emitting greenhouse gases from Agriculture, among the 1,794, are responsible for 10.11% of all emissions in 2019, and in their spatial distribution, the formation of agricultural clusters in these municipalities predominates agricultural practices. Furthermore, through the use of the Global Moran Index, as well as the Local Spatial Association Indicator (LISA), four different types of spatial associations are identified: high-high, low-low, low-high and high-low. Analysis of these patterns points to the presence of significant GHG spillovers in areas with agricultural expansion in the Northeast.

Keywords: Agriculture; Greenhouse gases; Brazilian Northeast.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO DA LITERATURA	11
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	13
3.1. DADOS E VARIÁVEIS	13
3.2. ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS ESPACIAIS	14
4. RESULTADOS.....	16
4.1. PANORAMA GERAL DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA REGIÃO DO NORDESTE	17
4.1.1. Caracterização das emissões por setor.....	17
4.2. EMISSÕES DE GESES DE EFEITO ESTUFA NA AGROPECUÁRIA NA REGIÃO DO NORDESTE	22
4.3. ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DOS GEE NO NORDESTE	29
4.3.1. Descrição dos padrões municipais das emissões dos GEEs.....	29
4.3.2. Análise Exploratória de Dados Espaciais	31
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

O aumento dos chamados "gases de efeito estufa" (GEE) na atmosfera é identificado como uma das principais contribuições para as mudanças climáticas, devido ao seu impacto significativo no potencial de aquecimento global. A concentração de gases de efeito estufa na atmosfera esse que são medidos através de cálculos de valores de Potencial de Aquecimento Global (GWP) e Potencial de Temperatura Global (GTP) derivados dos relatórios do IPCC, atingiu o nível mais alto dos últimos 800 mil anos. Se nada mudar, a previsão para o ano 2100 é um aumento na temperatura média global de 5°C, de acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014).

O setor agropecuário, apesar de seus notáveis benefícios econômicos, tem se destacado como uma fonte preocupante de emissões. Segundo os dados mais recentes do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2023), a produção agropecuária no Brasil emitiu expressivas 601 milhões de toneladas de Dióxido de Carbono (CO₂) em 2021, representando um aumento de 3,8% em relação a 2020, quando foram registradas 579 milhões de toneladas. Esses números alarmantes revelam que cerca de 74% das emissões de poluentes climáticos no Brasil estão ligadas ao setor agropecuário, incluindo emissões decorrentes do desmatamento e de mudanças no uso da terra.

O fenômeno se agrava com o crescente processo de urbanização, aliado ao aumento da densidade demográfica e das atividades econômicas, que têm fomentado a elevação da emissão dos gases de efeito estufa, acarretando efeitos nocivos, tanto ambientais como econômicos.

Na indústria, cada vez mais, empresas buscam associar sua imagem à conscientização ambiental e à preservação dos recursos naturais do planeta. Neste século, a consideração pela questão ambiental transcende o âmbito institucional, indicando uma mudança em direção a uma abordagem mais racional. Importante ressaltar que essas iniciativas não se configuram como uma mera adesão ao movimento verde, mas sim como uma resposta às demandas essenciais de sobrevivência econômica.

Simultaneamente, o impacto ambiental decorrente da agricultura, especialmente no que concerne às emissões de gases de efeito estufa, está ganhando proeminência. Conforme dados do SEEG (2021) Na agricultura houve aumento, de 8%, puxado pela alta expressiva no consumo de fertilizantes nitrogenados (14%) e do volume de calcário nas lavouras (20%).

Especificamente na região Nordeste do Brasil, verifica-se a crescente expansão da agropecuária, impulsionada pela disponibilidade de terras férteis a preços mais acessíveis em

comparação com regiões já consolidadas, como o Centro-Oeste, contribuindo, na mesma medida, para o aumento das emissões de gases de efeito estufa. A região conhecida como Matopiba, composta pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, essa fronteira agrícola nacional, representa aproximadamente 10% da produção total de grãos e fibras do Brasil (Embrapa, 2023).

O estudo sobre as emissões de gases de efeito estufa (GEE) desempenha um papel fundamental não apenas na ampliação do entendimento desse fenômeno, mas também na promoção de políticas de mitigação das emissões provenientes do setor Agropecuário, que se destaca como um dos principais responsáveis pela liberação desses gases nocivos, a exemplo do metano. O metano é um gás especialmente nocivo devido ao seu potencial de aquecimento global vinte e cinco vezes maior que o do dióxido de carbono, bem como a sua vida atmosférica de doze anos, sendo segundo maior gás antropogênico de efeito estufa, atrás do dióxido de carbono. Além disso, o metano é capaz de aumentar o ozônio na troposfera, região da atmosfera onde ocorre o efeito estufa, e aumentar o vapor de água estratosférico, ambos os quais podem aumentar a força radiativa do gás em aproximadamente 70% (Hook; Wright; McBride, 2010).

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo geral analisar o comportamento e a distribuição espacial das atividades agropecuárias nos municípios da região Nordeste em relação às emissões de efeito estufa (GEE) no período de 2010 a 2019. Os objetivos específicos incluem: a) fornecer um panorama da distribuição espacial do setor agropecuário nesses municípios, no que se refere aos estabelecimentos e pessoal ocupado envolvido na atividade, bem como as emissões de GEE associadas; b) investigar a presença de correlações espaciais nas emissões de GEE ou concentrações geográficas significativas (*clusters*), áreas com valores atípicos (*outliers*) e padrões de variação espacial heterogêneos; c) verificar possível influência de interações espaciais entre os agentes envolvidos.

Sucintamente, a forma em que o trabalho foi desenvolvido, consiste na metodologia descritiva da análise da atividade agropecuária no Nordeste, a partir dos dados do inventário nacional, organizados pelo Sistema de Remoções e Emissões de gases de efeito estufa (SEEG), com a abordagem descritiva e qualitativa empregando a Análise Exploratória de Dados Especial (AEDE).

A identificação de agrupamentos ou áreas que apresentam padrões semelhantes, como proposto por Vidigal *et al.* (2018), concede aos produtores rurais a capacidade de compreender o que as propriedades vizinhas estão produzindo, um fator que pode influenciar suas tomadas de decisão. Isso se torna ainda mais relevante, visto que as culturas agrícolas dependem de

recursos naturais que estão distribuídos geograficamente, consolidando a ideia de que a produção ocorre na forma de agrupamentos (*clusters*) espalhados pelo espaço econômico. Portanto, essa abordagem poderá possibilitar o desenvolvimento eficaz de estratégias de mitigação, com um foco específico nas regiões que mais contribuem para as emissões de gases de efeito estufa.

O presente estudo, está estruturado seguindo a abordagem lógica e sequencial iniciando-se com a introdução, contendo o contexto geral sobre o tema, partindo-se, assim, para a revisão da literatura, fornecendo uma visão e base teórica de outros estudos nessa mesma área, seguindo pela metodologia, com os dados e variáveis do estudo e a estratégia empírica dos para encontrar e tratar os resultados, seguido por resultados subdividido, em panorama geral dos GEEs no Nordeste, da agropecuária no nordeste e análise da dinâmica espacial nos GEEs dos municípios do nordeste e considerações finais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Essa seção, destaca o embasamento teórico da presente pesquisa, fornecendo um panorama abrangente e atualizado sobre as emissões de GEEs. O contexto deste estudo, se situará a atenção na emissão de GEEs no Nordeste, principalmente na agropecuária brasileira, um tema crescente, decorrente das crescentes catástrofes ambientais causadas pelos gases nocivos lançados na atmosfera.

Ao explorar as contribuições acadêmicas existentes, se percebe um interesse crescente que tem suscitado consideráveis debates e investigações nos últimos anos, principalmente em países emergentes, conforme relatam, Peters et al. (2012), nos anos 2009 e 2010, o crescimento das emissões foi dominado pelas economias emergentes.

De acordo com Oliveira e rodrigues (2019), entre os 50 principais itens exportados pelo Brasil 12 foram *commodities* provenientes do campo, alimentos processados e óleos de origem vegetal, representando, assim, 25% do volume total exportado, portanto, confirmando o grande protagonismo da Agropecuária brasileira diante do cenário internacional, podendo aumentar ainda mais esse porcentual.

Vidigal et al., (2018) salientam o potencial significativo da Agropecuária brasileira, considerada por ele elemento estratégico para a consolidação do programa de estabilização da economia brasileira, em virtude do efeito multiplicador do complexo agroindustrial no Produto Interno Bruto (PIB).

No que se avalia o Nordeste, onde os solos são predominantemente semiáridos, Oliveira (2015) descreve o intenso processo de degradação e desertificação, é relacionado à atividade agropastoril extensiva em sistemas de manejo convencionais, associada também à mudança de uso da terra, principalmente por meio de queimadas e da retirada de madeira.

Os trabalhos relacionados aos principais biomas na região como o de Gariglio *et al.*, (2010) complementam esse estudo, pois é importante destacar a Caatinga, que compõe grande parte do território e é exclusivamente dessa região, além de possuir enorme biodiversidade endêmica. Apesar da alta densidade populacional humana e das altas taxas de desmatamento, cerca de 50% de sua cobertura vegetal original ainda permanece relativamente intacta, contendo uma característica que abrange uma área de cerca de 844.453 km² do interior da região Nordeste, que corresponde a 11% do território brasileiro (Gariglio *et al.*, 2010)

No Cerrado, os estudos de Carvalho *et al.*, (2015) demonstram que a modernização da Agropecuária, resultou em aumento de produtividade, com aplicações de altas doses de fertilizantes e a expansão para novas áreas, incrementando o desmatamento que, ao longo prazo pode potencializar os agroecossistemas como fonte de GEEs.

Em geral, expansão agrícola impulsionou o rápido desenvolvimento econômico, causando impactos na biodiversidade e na conservação dos serviços ecossistêmicos do país, (Ferreira *et al.*, 2012).

Para Sousa *et al.*, (2012) e Oliveira (2015), a vulnerabilidade da agricultura às alterações climáticas, tornou a pecuária a principal atividade da população rural, sendo a precursora da substituição sistemática da vegetação nativa por áreas de pastagem e responsável por graves problemas ambientais como a perda da biodiversidade, desertificação e a destruição. No entanto, embora a seca possa contribuir para a desertificação, as principais razões ainda estão relacionadas ao avanço do agronegócio que de forma ilegal, como por exemplo em atividade como o sobrepastoreio, aumenta a frequência de incêndios, desflorestação e a sobreexploração das águas subterrâneas.

Alguns estudos como o de Ribeiro *et al.*, (2016) obtiveram resultados em que as mudanças na cobertura da terra não são os principais causadores de emissões significativas no bioma Caatinga, e mostraram a influência das condições edáficas e dos fatores climáticos sobre a produção de gás no solo. Além disso, mostram que, em conjunto, o tipo de cobertura do solo e as condições climáticas podem afetar positivamente a produção de GEEs levando a emissões significativas para a atmosfera.

Importante enfatizar que o estudo de Silva *et al.*, (2015) aponta para uma variabilidade, distribuição e a quantidade de chuvas no Nordeste do Brasil que se constituem como uma característica marcante, principalmente na área do semiárido, onde as chuvas é o principal fator regulador das atividades agrícolas e pecuárias em harmonia.

Marengo, Torres e Alves (2017) citam a provável intensificação das secas extremas, para mostra a importância de medidas proativas para aumentar a resiliência da população aos impactos esperados das secas.

O aumento da preocupação relacionada às mudanças climáticas, oriunda, principalmente, da emissão de gases de efeito estufa, torna-se necessário compreender esses impactos para aplicar de maneira correta medidas de mitigação e sequestro de carbono (De Medeiros, *et al.*, 2021).

Vários autores usados como base desse artigo, a exemplo Brandão, *et al.*, (2012), Sousa *et al.*, (2012) e Oliveira (2015), afirmam as oportunidades de mitigação no setor de agricultura e pecuária são significativas para o Brasil, contudo, as iniciativas de mitigação identificadas dependem de capacitação e mudanças de práticas dos agricultores e pecuaristas, assim como, de investimentos em pesquisa e regulamentação específica para o setor.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O objetivo desta seção é apresentar os procedimentos envolvidos na estratégia empírica adotada por este estudo, tendo em vista analisar a distribuição espacial da atividade agropecuária brasileira e as emissões de gases de efeito estufa, no período de 2010 a 2019. Dessa forma, é realizada uma descrição do banco de dados e das variáveis, assim como da estratégia adotada para a Análise Exploratória de Dados Espaciais.

A metodologia utilizada consiste na aplicação da técnica de Análise Exploratória de dados espaciais, a qual permite avaliar a existência de autocorrelação espacial entre as unidades geográficas, capturando, assim, possíveis efeitos de transbordamento ou de vizinhança que podem decorrer da interação espacial entre os municípios.

3.1 DADOS E VARIÁVEIS

A presente pesquisa compreende um estudo descritivo e quantitativo, e abrange a atividade econômica definida como Agropecuária, conforme categorização do Instituto

Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Especificamente com reação às atividades de pesquisa, inicialmente se faz necessário um reexame da literatura teórica, assim como dos estudos empíricos mais recente sobre o tema, no Brasil e no contexto internacional. Após esse primeiro momento, partiu-se para a coleta tabulação e tratamento dos dados.

O interesse inicial foi realizar a pesquisa com ênfase na atividade agropecuária desenvolvida nos estados brasileiros, para, em seguir, empregar uma análise intrarregional, a exemplo dos municípios. Por outro lado, foi realizada uma divisão na base de dados, analisando-se as emissões dos gases de efeito estufa considerando-se os fatores de emissão para os seguintes processos agropecuários, de acordo com a classificação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC): cultivo de arroz, fermentação entérica, queima de resíduos agrícolas, manejo de dejetos animais e solos manejados, com intuito de verificar a concentração das emissões por fator de emissão.

Para a coleta de informações acerca das emissões de gases de efeito estufa do setor Agropecuário foram utilizadas as estimativas realizadas pelo Sistema de Estimativas de Emissão de Gases de Efeito Estufa (SEEG), para o período de 2010 a 2019. Ressalta-se que o ano de 2019 foi escolhido por conter os dados mais recentes disponibilizados pelo SEEG. As estimativas do SEEG têm como base a metodologia proposta pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) expostas no 3º e no 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópica de Gases de Efeito Estufa, os quais se baseiam nas metodologias desenvolvidas pelo IPCC.

O estudo sobre a distribuição espacial da Agropecuária e as emissões de gases de efeito estufa dessa atividade foi realizado em quatro etapas: (I) A análise descritiva das características do setor agropecuário e das emissões de efeito estufa nos municípios da região do Nordeste; (II) Análise exploratória da distribuição espacial dos estabelecimentos agropecuários em termos das emissões de efeito estufa, buscando identificar possíveis padrões de distribuição espacial nos dados de cada município; (III) Cálculo do Índice de Moran Global; e, (IV) Cálculo do Índice de Associação Espacial Local (LISA).

3.2 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS ESPACIAIS

A análise exploratória de dados espaciais é um ferramental que proporciona a identificação dos denominados *clusters*, ou seja, padrões de concentração ou associação espacial, e os *outliers*, ou regiões atípicas, dentro de determinado espaço geográfico. A

utilização dessa técnica é importante especialmente quando o estudo envolve a utilização de dados municipais, uma vez que, certamente, as economias vizinhas se influenciaram em diferentes aspectos (ANSELIN, 1998). Dessa forma, é importante investigar se as emissões de gases de efeito estufa no território possuem algum grau de dependência espacial, implicando que um determinado município pode depender dos resultados apresentados pelos municípios circunvizinhos. No presente estudo, a dependência ou autocorrelação espacial será examinada por meio de dois testes formais: o *I* de Moran global e o *Local Indicator of Spatial Association* (LISA).

Segundo Almeida (2005), a dependência é facilmente verificável na Agropecuária, uma vez que os produtores rurais têm facilidade em observar o que os vizinhos estão produzindo (Rocha; Parré, 2009). Ainda sobre a análise exploratória de dados espaciais (AEDE), segundo Perobelli *et al.*, (2005), essa está baseada nos aspectos espaciais contidos na base dos dados, portanto, considera tanto a dependência espacial quanto a heterogeneidade espacial (Almeida, 2012).

O teste de autocorrelação, também é chamado de análise de autocorrelação espacial global e é representado pelo valor *I* de Moran. A diferença espacial é representada pelo gráfico de dispersão de Moran (LIN; XU, 2018). Embora não seja estritamente verdadeiro, o valor do *I* de Moran global pode situar-se no intervalo de -1 e 1, com os valores acima de zero associados à correlação espacial positiva e abaixo de zero à correlação espacial negativa (Amarante *et al.*, 2022). O *I* de Moran é formalizado da seguinte forma:

$$I_t = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_{i,t} - \bar{y}_t)(y_{j,t} - \bar{y}_t)}{\sum_{i=1}^n (y_{i,t} - \bar{y}_t)^2}$$

Em que n é a quantidade de municípios, w_{ij} componentes da matriz de pesos espaciais W , y_i, t é o município i no período t e \bar{y}_t as observações médias entre os municípios no período t . A matriz W capta dependência espacial entre os n municípios i . As informações w_{ii} , indicam a ausência de autocorrelação espacial, enquanto w_{ij} sugerem a dependência espacial entre os municípios i e j (Anselin, 1995).

O processo após a análise da autocorrelação global, foi testar a possibilidade da autocorrelação local, detectada por meio do indicador LISA, uma vez que uma inicial detecção de ausência de autocorrelação global pode ocultar possíveis padrões locais nos dados investigados. Ademais, mesmo a captação inicial da presença da autocorrelação global pode

omitir distintos padrões de autocorrelação local (Almeida, 2012). O LISA, para cada município i e período t , é expresso seguinte forma:

$$I_{i,t} = \frac{(y_{i,t} - \bar{y}_t) \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_{j,t} - \bar{y}_t)}{m_0}, \text{ com } m_0 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{i,t} - \bar{y}_t)^2}{n}$$

No caso em que $I_{i,t}$ apresenta um valor positivo, isso indica a presença de agrupamentos ou concentrações de valores semelhantes (altos ou baixos). Por outro lado, uma ocorrência negativa sugere uma aglomeração de observações distintas. Dessa forma, por meio dos resultados do indicador LISA, é possível identificar até quatro padrões de autocorrelação espacial: os agrupamentos do tipo High-High/Alto-Alto (HH), em que um município possui um valor elevado da variável analisada e sua vizinhança também apresenta um valor elevado para essa mesma variável; e Low-Low/Baixo-Baixo (LL), em que um município possui um valor baixo para a variável analisada, com a média de seus municípios vizinhos também sendo baixa para essa variável; e os valores discrepantes do tipo Low-High/Baixo-Alto (LH), em que um município com valor baixo está cercado por municípios em que o valor médio da variável em estudo é alto, e High-Low/Alto-Baixo (HL), em que um município com valor alto tem a média dos municípios contíguos baixa.

Inclusive, é importante destacar que a I de Moran global e LISA requer a definição da matriz de peso espacial, instrumento que estabelece as relações de circunvizinhança nos municípios analisados. No entanto, a escolha e construção dessa matriz não aponta uma concordância na literatura especializada. Comumente, utiliza-se, inicialmente, a matriz de contiguidade, ou do tipo Queen, na qual para a definição dos municípios circunvizinhos leva-se em consideração os limites fronteirios e os vértices, incluindo, assim, todos os pontos comuns. O índice de Moran global (I de Moran) e o LISA foram calculados usando o software de análise espacial Geoda. O tratamento dos dados foi a partir do software de análise de dados Stata.

4 RESULTADOS

Nesta seção será exposta os resultados obtidos de acordos com a metodologia já relatada. Com objetivo de contribuir com observação dos resultados encontrados. Esta parte está organizada da seguinte forma: caracterização do setor e as demais variações nos dados gerais do GEE Nordeste durante a década (4.1); caracterização nos dados do setor da agropecuária e as variações na região durante os anos de 2010 a 2019 (4.2) e verificação da

dinâmica espacial dos gases de efeito estufa nos municípios, identificando possíveis espacialidades relacionadas a problemática (4.3).

4.1 PANORAMA GERAL DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA REGIÃO DO NORDESTE

Nesta parte do estudo será demonstrado por meio de 5 tabelas o panorama das emissões de forma geral, sem excluir as outras atividades antes de adentrar na atividade econômica agropecuária, a fim de obter uma real percepção da relação dessa atividade em relação aos demais setores, partindo inicialmente da caracterização das emissões por setor.

4.1.1 Caracterização das emissões por setor

A Tabela 1, a seguir, apresenta as informações em relação à participação dos cinco principais setores nas emissões de gases de efeito estufa no Nordeste brasileiro em ordem decrescente durante os anos de 2010 e 2019.

Tabela 1 - Emissões do Nordeste por setor entre 2010 e 2019.

Setor	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Mudança de Uso da Terra e Florestas	48,6%	43,4%	49,0%	45,7%	40,3%	39,3%	39,1%	35,4%	32,5%	28,9%
Agropecuária	26,3%	28,2%	23,4%	22,9%	24,0%	24,5%	25,2%	26,5%	29,0%	31,2%
Energia	17,6%	20,0%	19,9%	23,6%	27,5%	27,4%	26,7%	28,5%	28,1%	28,7%
Processos Industriais	5,3%	5,9%	5,5%	5,6%	5,9%	6,5%	6,8%	7,5%	8,3%	8,8%
Resíduos	2,2%	2,5%	2,3%	2,2%	2,4%	2,3%	2,1%	2,1%	2,2%	2,4%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do SEEG.

De acordo com Oliveira (2011) três elementos destacam a importância das emissões e remoções antropogênicas de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira: a expansão das áreas agrícolas mediante práticas de desmatamento e queimadas; a dependência do Brasil em relação à matriz energética baseada principalmente na geração hidroelétrica, resultando em uma menor participação dos setores industrial e de transportes em comparação com a agropecuária; e a significativa dimensão do rebanho brasileiro, conferindo ao país uma posição de liderança na produção e exportação de diversos produtos agropecuários.

Ao analisar a Tabela 1, é notório que a emissão de gases de efeito estufa no Nordeste obteve um aumento significativo nos setores de energia, agropecuária e resíduos, somente o setor de resíduos se obteve estável. Em contrapartida, Mudança de Uso da Terra (MUT) em 2019 obteve uma redução de 20% em relação ao ano de 2010. Isso demonstra que a região está conseguindo controlar significativamente a destruição da mata nativa.

Na agropecuária, a partir 2014, o aumento das emissões por esse setor vem crescendo, fazendo com que seja o setor mais poluente em 2019, antes ocupado pela MUT. Em 2019, as emissões do setor de Agropecuária totalizaram 598,7 milhões de toneladas de CO₂ equivalente, um aumento de 1,1% em relação ao ano de 2018 (SEEG, 2020) no Brasil. Severino (2019) revela sobre o Nordeste que:

As emissões do setor Agropecuário cresceram 19,91% entre os anos de 2002 e 2015. Apesar disso, o setor diminuiu sua participação relativa de 8,50% para 6,73% no período e, as 23,78 milhões de CO₂e relativas ao setor em 2015 representavam pouco mais de 10% das emissões do setor de Mudanças de uso da terra. Isso se verifica, sobretudo, devido ao fato de que o desmatamento na região se relaciona mais à expansão da atividade agrícola e produção de lenha do que com a ampliação da atividade pecuária. (Severino, 2019).

No Nordeste, esse fator pode ser explicado também pelo avanço do agronegócio em expansão na fronteira agrícola na região do Matopiba, que segundo informações do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEIA) (2018) é composta por 336 municípios de quatro estados fronteiriços, sendo 143 do Maranhão, 130 do Tocantins, 33 do Piauí e 30 da Bahia.

Segundo Pereira *et al.*, (2018), essa região vem passando por transformações tanto em características econômicas quanto sociais, consequência da expansão agrícola, além disso, é evidente ainda que políticas de controle do desmatamento carecem de articulação junto à cadeia produtiva da agropecuária, em especial nas regiões da fronteira agrícola, como a Amazônia brasileira e o interior do Nordeste (Serenio *et al.*, 2020).

As emissões causadas por conta do setor de energia no Brasil, assim como no Nordeste, segundo dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2018), também ocupa o terceiro lugar de maior fonte de emissões. Como pode-se observar na Tabela 1, as emissões seguem em crescimento desde 2010. Isso se deve ao crescimento sobretudo do aumento do consumo de gasolina e diesel e da expansão da geração termelétrica, que teve seu ápice durante a escassez de chuvas na crise climática da primeira metade desta década (SEEG, 2018). Segundo Walter (2021), no caso das emissões em energia, os resultados indicados na NDC (contribuição nacionalmente determinada) brasileira, a serem verificados até 2030, são em grande parte alcançáveis por conta do crescimento da geração eólica e solar fotovoltaica.

Lucena, *et al.*, (2016) também afirmam que os cenários de restrição de emissões em seus estudos são favoráveis, por sua vez, mostraram que níveis de emissão inferiores aos de 2010 são tecnologicamente viáveis quando se consideram as emissões da energia previstos até 2050. Segundo Lima *et al.*, (2020), a geração de energia elétrica no Brasil é de origem hídrica,

mas, as alterações no ciclo hidrológico comprometeram a sua capacidade de geração hidrelétrica, sendo necessário ampliar e diversificar o uso de energia renováveis.

Salienta-se que as emissões de cada setor são calculadas com base em estimativas dos subsetores individuais correspondentes. Dessa maneira, é obtido um panorama completo das emissões totais de cada setor. Ao explorar os subsetores, é possível analisar as atividades realizadas e fazer ponderações. A Tabela 2, a seguir, destaca as emissões gerais por subsetor durante 2010 a 2019 na região, destacando, em ordem decrescente, os subsetores com maior nível de emissões.

Tabela 2 – Emissões do Nordeste por subsetor entre 2010 e 2019.

Subsetor	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Alterações de Uso do Solo	44,9%	40,2%	45,2%	42,1%	37,3%	36,3%	36,2%	32,8%	30,1%	26,8%
Emissões pela Queima de Combustíveis	16,8%	19,3%	19,2%	22,8%	26,6%	26,5%	25,8%	27,6%	27,2%	27,8%
Fermentação Entérica	18,0%	19,1%	15,9%	15,6%	16,2%	16,8%	17,2%	17,9%	19,4%	21,0%
Solos Manejados	6,3%	7,0%	5,7%	5,7%	6,1%	5,9%	6,1%	6,7%	7,5%	7,9%
Resíduos Sólidos	2,9%	3,3%	3,2%	3,2%	3,5%	4,0%	4,1%	4,6%	5,2%	5,6%
Resíduos Florestais	3,6%	3,2%	3,7%	3,5%	3,0%	3,0%	3,0%	2,6%	2,4%	2,1%
Efluentes Líquidos	2,4%	2,6%	2,3%	2,3%	2,4%	2,5%	2,7%	2,8%	3,1%	3,2%
Manejo de Dejetos Animais	1,7%	1,8%	1,6%	1,5%	1,5%	1,6%	1,7%	1,8%	2,0%	2,1%
Produtos Minerais	1,4%	1,6%	1,6%	1,6%	1,8%	1,8%	1,6%	1,5%	1,5%	1,7%
Emissões Fugitivas	0,8%	0,7%	0,7%	0,8%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%
Indústria Química	0,4%	0,5%	0,4%	0,3%	0,4%	0,4%	0,4%	0,5%	0,5%	0,5%
Produção de Metais	0,4%	0,4%	0,3%	0,3%	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
Queima de Resíduos Agrícolas	0,1%	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
Cultivo de arroz	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do SEEG.

Na Tabela 2, acima, foi colocado em exposição 10 dos 14 principais subsetores possíveis para essa análise, dentre eles, alterações no solo, emissões pela queima de combustíveis e fermentação entérica contém os valores mais acentuados em relação aos outros. Nesta sessão é possível confirmar a compreensão sobre a diminuição do desmatamento na floresta, uma vez que o setor MUT tem seu subsetor Alteração de uso do Solo, primeiro maior subsetor emissor, com declínio em suas emissões de 44,9% para 26,8%, o maior resultado mitigador dentre os subsetores. Abaixo, na Tabela 3, é analisado as contribuições por Tipo de Uso no período e suas contribuições com a geração de gases poluentes na natureza, destacando-se maiores no topo da tabela.

Tabela 3 – Emissões do Nordeste por Tipo de Uso entre 2010 e 2019.

Tipo de uso	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
fora de Área Protegida	39,4%	34,2%	38,9%	35,5%	31,6%	31,4%	30,2%	28,4%	25,7%	22,3%
Outros	20,5%	21,9%	18,1%	17,8%	18,5%	19,0%	19,6%	20,4%	22,3%	24,0%
NA	10,9%	11,1%	12,2%	15,6%	18,3%	18,0%	16,1%	16,8%	15,6%	15,5%
Rodoviário	9,1%	10,6%	10,5%	10,5%	11,2%	11,1%	11,5%	12,2%	12,6%	13,5%
em Área Protegida	5,6%	6,1%	6,4%	6,7%	5,6%	4,8%	6,0%	4,4%	4,3%	4,6%

Resíduos Sólidos Municipais	2,6%	2,8%	2,7%	2,8%	3,1%	3,5%	3,7%	4,2%	4,8%	5,1%
Deposição de dejetos em pastagem	2,8%	3,0%	2,5%	2,4%	2,5%	2,5%	2,6%	2,7%	2,9%	3,2%
Resíduos Agrícolas	1,1%	1,2%	1,0%	1,0%	1,1%	1,2%	1,0%	1,3%	1,4%	1,5%
Refino de petróleo	1,1%	1,0%	0,9%	1,0%	1,1%	1,2%	1,2%	1,3%	1,3%	1,4%
Aéreo	0,8%	0,9%	0,8%	0,8%	0,8%	0,8%	0,8%	0,8%	0,9%	0,9%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do SEEG.

As gerações dos GEE Fora da Área Protegida, dentre os 43 tipos de uso registradas no SEEG, carrega a maior carga de emissões na década, contudo, é notado o recuo de 17,1% de 2010 a 2019. A classificação “Outros” e “NA” (Não Alocado) são duas outras maiores contribuintes, porém, diferente do tipo de uso, Fora da Área Protegida, elas seguem em crescimento nas emissões de gases de efeito estufa. A Tabela 4, a seguir, exhibe as percentagens das emissões por tipo de animal no Nordeste, alocados na ordem do maior ao menor emissor durante a década.

Tabela 4 – Emissões do Nordeste por tipo de animal entre 2010 e 2019

Tipo de animal	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Floresta primária – Uso agropecuário	31,6%	28,6%	31,9%	30,3%	25,0%	25,7%	26,2%	23,0%	17,5%	17,1%
NA	20,8%	22,6%	22,5%	22,4%	23,2%	23,5%	24,0%	25,0%	26,0%	27,3%
Gado de Corte	14,8%	15,9%	13,3%	13,1%	13,6%	14,7%	15,2%	15,9%	17,1%	18,4%
Floresta secundária – Uso agropecuário	7,7%	6,6%	7,6%	5,9%	6,0%	6,0%	6,2%	5,3%	7,8%	5,3%
Consumo Final Energético	5,1%	5,9%	5,1%	5,0%	5,4%	6,0%	6,8%	7,0%	7,4%	7,6%
Centrais Elétricas de Serviço Público	1,2%	1,1%	2,1%	5,9%	8,6%	8,0%	6,1%	6,8%	5,3%	4,9%
Gado de Leite	5,3%	5,6%	4,4%	4,4%	4,6%	3,9%	3,8%	3,8%	4,2%	4,5%
Vegetação não florestal primária – Uso agropecuário	1,9%	1,7%	1,6%	1,9%	1,5%	1,2%	0,9%	0,9%	1,1%	0,8%
Suínos	1,3%	1,3%	1,1%	1,0%	1,1%	1,2%	1,2%	1,3%	1,4%	1,5%
Floresta primária – Área sem vegetação	0,8%	0,7%	1,1%	1,3%	1,4%	0,9%	0,8%	0,7%	0,4%	0,2%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do SEEG.

Observa-se diante dos dados alocados, uma queda do Uso da Floresta, tanto primária quanto a Secundária no uso Agropecuário, sendo 14,1% somente na primária em relação a 2010, visto constante nas investigações desta pesquisa, pois, na Tabela 1, a Mudança de Uso da Terra e Florestas (MUT) vem caindo ao longo dos anos no Nordeste, atividade que segundo LAL, Rattan (2004), o desmatamento consiste e queima de biomassa e conversão de recursos naturais em ecossistemas agrícolas.

Os números em percentagem são o resultado de 59 classificações de Tipos de Animal, que juntos emitem grande parcela de GEE na natureza. A classificação NA presente na tabela tem a maior taxa de crescimento em porcentagem e logo abaixo, vem o gado de corte, que segundo dados do IPCC (2019) devem ser fortemente prejudicados com o aquecimento global,

pois, é projetado que a pecuária seja afetada negativamente pelas temperaturas altas, dependendo da extensão das mudanças na qualidade da alimentação, propagação de doenças e disponibilidade de recursos hídricos. Todavia, no Nordeste, isso já acontece. De acordo com Freitas et al., (2010) apesar da a exploração da pecuária no Nordeste, as grandes estiadas são causadoras de prejuízos, tanto na perda de animais como na falta de pastagens.

Em constante expansão a emissão por Gado de Corte foi a segunda maior ascensão da Tabela 4, com 4% de crescimento na década, que pode ser explicado pela expansão e intensificação da pecuária. Nesta análise pode-se destacar ainda o gado de leite e suínos, ambas responsáveis por uma parcela considerável em sua atividade.

A atividade econômica Agropecuária, no Nordeste é um dos maiores impulsionadores dos PIB dos municípios, inclusive, no período de 2002 a 2017, a região obteve o crescimento acumulado do PIB de 48,89%, superando os resultados obtidos no Brasil, cuja economia obteve incremento real de 42,48%, ou seja, sendo um dos impulsionadores de renda. Na Tabela 5, a seguir, está representado dados da atividade econômica presente nos dez anos de pesquisa.

Tabela 5 – Emissões por tipo de atividade econômica entre 2010 e 2019

Atividade econômica	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Agropecuária	49,1%	44,1%	49,6%	46,3%	41,1%	40,1%	40,0%	36,4%	33,5%	30,1%
Pecuária	23,5%	25,0%	20,8%	20,3%	21,1%	21,9%	22,4%	23,3%	25,3%	27,4%
Transporte	10,1%	11,8%	11,6%	11,5%	12,2%	12,2%	12,6%	13,4%	14,0%	14,9%
Saneamento Básico	5,1%	5,7%	5,3%	5,4%	5,7%	6,3%	6,6%	7,2%	8,0%	8,6%
Energia Elétrica	1,5%	1,5%	2,5%	6,2%	8,9%	8,4%	6,5%	7,2%	5,7%	5,3%
Agricultura	2,8%	3,2%	2,6%	2,6%	2,9%	2,7%	2,8%	3,2%	3,7%	3,8%
Outras Indústrias	2,3%	2,7%	2,2%	2,1%	2,2%	2,2%	2,5%	2,6%	3,0%	2,9%
Cimento	1,4%	1,6%	1,6%	1,6%	1,8%	2,2%	2,5%	2,3%	2,3%	2,4%
Produção de Combustíveis	1,6%	1,6%	1,4%	1,6%	1,8%	1,8%	1,8%	1,8%	1,8%	1,9%
Residencial	1,5%	1,6%	1,4%	1,4%	1,5%	1,6%	1,6%	1,8%	1,9%	2,0%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do SEEG.

Segundo Leão (2019) em 2017, a região Nordeste atingiu um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 953,21 bilhões. Ao longo do período de 2002 a 2017, o PIB nordestino apresentou um crescimento real de 2,69% ao ano, uma média superior ao aumento observado no conjunto do Brasil, que foi de 2,39% ao ano. Dessa forma, durante esse intervalo, a economia do Nordeste experimentou a terceira maior expansão entre todas as regiões do país.

Na presente Tabela 5, a Agropecuária, nosso objeto de estudo, vem sendo protagonista, desde o início de do tempo cronológico desta pesquisa, aonde chegou a representar significativos 49,1% de toda geração de poluentes nocivos ao meio ambiente no Nordeste, porém, as emissões emitidas pela sua atividade econômica, vem diminuindo e até o ano de 2019, houve queda de 20% nas emissões, enquanto a pecuária, com 27,4%, segunda maior

atividade econômica emissora na década, segue causando e emitindo quantidades cada vez maiores desde 2013, com crescimento de mais de 7%. A agricultura é a atividade de campo que houve crescimento, todavia, segue regular nas suas taxas com números próximos a 3,8%.

4.2 EMISSÕES DE GESES DE EFEITO ESTUFA NA AGROPECUÁRIA NA REGIÃO DO NORDESTE

Na região Nordeste, existe uma diversidade de Biomas, como é possível observar na Figura 1 no mapa do Brasil, representado em cores verde-escuro, rosa, amarelo e verde-claro, quatro Biomas fazem parte da fauna e flora da área estudada, sendo eles Amazônia, cerrado, caatinga e mata atlântica.

Figura 1 – Biomas do Brasil



Fonte: IBGE (2012).

O motivo de ser imprescindível destacar os biomas, é sobre cada um deles tem seu clima, terreno, fauna e flora que pode ser mais favorável ou não a atividade da agropecuária. Segundo Alves et al. (2018), no Brasil, a exploração de pequenos ruminantes, em grande parte, concentra no bioma Caatinga, na região semiárida, onde a vegetação nativa é predominante e serve de base alimentar desses animais, contudo, esta atividade sempre esteve associada ao baixo uso de tecnologias que possam levar à melhoria do sistema produtivo e de seus produtos.

Os esforços para a região da Caatinga são escassos, e de acordo com Santos *et al.*, (2011) a negligência da Caatinga começou publicamente na década de 90, à medida que

informações relacionadas à biodiversidade eram necessárias para apoiar a eleição de áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade e políticas públicas.

Assim como existe o descaso no bioma Caatinga, também existe o outro bioma importante para o Nordeste, que é o Cerrado, onde de acordo com o estudo de Brandão *et al.*, (2014) a ausência de dados anuais para o desmatamento no Cerrado não permitiu identificar a relação da dinâmica deste bioma e a implementação de políticas públicas e não foi possível identificar a evolução do desmatamento neste bioma no período de 2010 a 2012.

São muitos fatores que pode explicar motivos do estado, município ou região emitir tais valores de gases nocivos ao meio ambiente. Nessa sessão são abordados as principais cidades e os prováveis pontos que de acordo com a pesquisa bibliográfica expliquem causas das toneladas de GEE geradas. Na Tabela 6, dentre os 1794 municípios são colocados os 20 maiores emissores de GEE do Nordeste brasileiro, do ano 2010 e ano 2019, com colunas identificando a unidade federativa, geocódigo, nome do município e sua percentagem de contribuição em relação à quantidade de emissão total do ano em ordem decrescente.

Tabela 6 – Principais municípios na geração de GEE no ano de 2010 e 2019.

Território	IBGE	Município	% Ano 2010	Território	IBGE	Município	% Ano 2019
MA	2100055	Açailândia	1,15%	MA	2100055	Açailândia	0,95%
MA	2100600	Amarante do Maranhão	0,54%	MA	2100600	Amarante do Maranhão	0,73%
BA	2928901	São Desidério	0,52%	MA	2110005	Santa Luzia - MA	0,68%
MA	2102002	Bom Jardim - MA	0,51%	BA	2928901	São Desidério	0,64%
MA	2110005	Santa Luzia - MA	0,50%	MA	2104800	Grajaú	0,55%
BA	2915601	Itamaraju	0,49%	MA	2101400	Balsas	0,53%
BA	2921104	Medeiros Neto	0,45%	BA	2918407	Juazeiro	0,53%
BA	2903201	Barreiras	0,44%	BA	2911105	Formosa do Rio Preto	0,51%
BA	2916005	Itanhém	0,43%	BA	2909307	Correntina	0,48%
MA	2102036	Bom Jesus das Selvas	0,41%	BA	2915601	Itamaraju	0,46%
BA	2911808	Guaratinga	0,40%	MA	2102002	Bom Jardim - MA	0,44%
BA	2933307	Vitória da Conquista	0,40%	BA	2903201	Barreiras	0,44%
MA	2104800	Grajaú	0,38%	BA	2916005	Itanhém	0,42%
BA	2911105	Formosa do Rio Preto	0,38%	BA	2911808	Guaratinga	0,41%
BA	2933455	Wanderley	0,38%	MA	2100956	Arame	0,40%
BA	2916807	Itarantim	0,37%	MA	2102325	Buriticupu	0,40%
BA	2916401	Itapetinga	0,36%	BA	2916807	Itarantim	0,40%
MA	2105427	Itinga do Maranhão	0,35%	MA	2109502	Riachão	0,38%
MA	2111763	Senador La Roque	0,35%	MA	2111805	Sítio Novo	0,38%
BA	2909307	Correntina	0,35%	BA	2921104	Medeiros Neto	0,38%
Total			9,16%	Total			10,11%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do SEEG.

Diante da Tabela 6, é notada a presença somente de municípios dos Estados da Bahia e Maranhão tanto no ano de início como no último ano de pesquisa. Ao realizar comparações, em 2010 oito municípios do Maranhão, estão presentes, com quatro dos municípios no top 5. Em 2019 existe uma evolução, o número de municípios dentre os maiores poluentes da região, aumenta com a presença de mais duas cidades, com destaque aos municípios de Balsas que obteve um crescimento de 0,31% em relação a 2010, seguido pelos municípios Amarante do Maranhão (0,19%), Santa Luzia (0,18%), Grajaú (0,17) e Açailândia a única dos destaques a ter um decréscimo de 0,20%. O aumento significativo da cidade de Balsas, cidade que fica ao sul do Maranhão, e tem o terceiro maior PIB do Estado, vem de investimentos, responsáveis por coloca a cidade em primeiro lugar no ranking da Agropecuária diante dos 217 outros municípios que realizam essa atividade econômica, segundo os dados do IBGE (2020). O sul do Maranhão se destaca pela Lavoura Temporária, portanto, não podia diferir em relação as cidades situadas, que tem como cultivos principais soja, algodão e milho (IMESC, 2020).

O único município da Bahia presente entre os cinco maiores é São Desiderio, que apesar de sair do 3º lugar em 2010 para o 4º em 2019, a cidade teve um crescimento de 12% em relação ao ano de 2010 na emissão de GEEs na Agropecuária. A presença em peso dos municípios do Maranhão nesse setor era notável desde o século passado, conforme o estudo de Freitas, *et al.*, (2007), durante os anos de 1970 a 2000, houve um salto tecnológico no setor da Agropecuária que provocou profundas transformações na maneira de produzir do agricultor em todas as regiões brasileiras, e entre elas a o Estado do Maranhão era o único município do Nordeste que se destacava com uma produtividade do trabalho acima de 3,95% ao ano.

No ano de 2015, de acordo com o Instituto Maranhense De Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC) (2020) os 10 municípios que tiveram maior participação no Setor da Agropecuária, no Maranhão foram Balsas; Tasso Fragoso; Açailândia; Riachão; São Raimundo das Mangabeiras; Alto Parnaíba; Sambaíba; Loreto; Carolina; e Buriticupu. A participação desses municípios como Açailândia, Balsas, Riachão, Buriticupu entre os maiores do nordeste se deve muito a participação no setor primário.

Na Tabela 7, abaixo, foi organizado em ordem decrescente os vinte maiores emissores da década, e não houve tantas mudanças em comparação ao *ranking* da Tabela 6, no acumulado de cada município. Importante lembrar, que os municípios possuem suas atribuições como seu tamanho territorial, atividade econômica e clima, que podem ser favoráveis ou não a atividade da agropecuária intensiva, importante observar no qual Bioma a localidade está

presente, pois, contribuíra na análise das próximas etapas da pesquisa na análise da dinâmica espacial dos GEEs.

Tabela 7 – Emissões da Agropecuária no Nordeste por subsetor entre 2010 e 2019.

Território	Município	Geocódigo	Total em Toneladas	Total em %
MA	Açailândia	2100055	8.016061,34	1,10%
MA	Amarante do Maranhão	2100600	4.895.592,88	0,67%
MA	Santa Luzia	2110005	4.550.578,37	0,62%
BA	São Desidério	2928901	4.367.450,39	0,60%
BA	Itamaraju	2915601	3.653.283,53	0,50%
BA	Correntina	2909307	3.502.188,26	0,48%
MA	Bom Jardim	2102002	3.423.008,79	0,47%
MA	Grajaú	104800	3.370.976,66	0,46%
BA	Formosa do Rio Preto	2911105	3.329.879,91	0,46%
BA	Itanhém	2916005	3.226.714,15	0,44%
BA	Medeiros Neto	2921104	3.150.676,98	0,43%
BA	Guaratinga	2911808	3.134.878,13	0,43%
BA	Barreiras	2903201	3.025.589,28	0,41%
BA	Juazeiro	2918407	2.853.336,41	0,39%
BA	Itarantim	2916807	2.838.363,76	0,39%
MA	Bom Jesus das Selvas	2102036	2.750.323,41	0,38%
BA	Vitória da Conquista	2933307	2.690.217,02	0,37%
MA	Zé Doca	2114007	2.607.012,83	0,36%
MA	Itinga do Maranhão	2105427	2.587.619,23	0,35%
MA	Barra do Corda	2101608	2.578.233,71	0,35%
Total			70.551.985,03	9,66%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do SEEG.

O total de gases de efeito estufa emitidos somente por esses vinte municípios atingiu 70.551.985,03 toneladas métricas de GEEs na atmosfera durante os anos de 2010 e 2019, ou seja, dos 1794 municípios, somente esses contribuíram significativamente com 9,66% de poluição ambiental.

A análise dos dados dos principais municípios ajuda a compreender quais atividades são praticadas e contribuir com a conclusão do estudo. O município de Açailândia (MA) representa 1,10% de toda geração de GEE na década, em toneladas geram o dobro de poluição em relação à segunda cidade Amarante do Maranhão. No município de Açailândia a principal atividade econômica é a Pecuária e Lavoura temporária, os destaques ficam com a criação de bovinos, produção de soja e de milho, além da mineração (IMESC, 2020).

Ainda de acordo com dados do IMESC (2020), os municípios, Amarante do Maranhão (MA) e Santa Luzia (MA) que ocupam o segundo e terceiro lugar, são municípios que ficam nas partes oeste e central do estado, onde a pecuária é mais representativa. Além da pecuária Santa Luzia tem também como umas das principais atividades econômica, a lavoura temporária, com o cultivo de milho e mandioca.

Na seguinte análise da Tabela 8, é colocado a prova os subsetores durante à década. É importante enfatizar que de acordo com SANTOS *et al.* (2022), as emissões setoriais são geradas de acordo com estimativas de subsetores individuais para cada setor analisado, portanto, são necessárias as observações afins de compreender nas emissões totais geradas do setor da agropecuária e assim poder entender e descobrir uma possível causa raiz.

Tabela 8 – Emissões da Agropecuária no Nordeste por subsetor entre 2010 e 2019.

Subsetor	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Fermentação Entérica	68,6%	67,8%	67,9%	68,1%	67,6%	68,6%	68,3%	67,4%	66,8%	67,2%
Solos Manejados	23,8%	24,7%	24,6%	24,7%	25,3%	24,1%	24,4%	25,3%	25,9%	25,5%
Manejo de Dejetos Animais	6,6%	6,6%	6,7%	6,4%	6,4%	6,6%	6,7%	6,7%	6,7%	6,8%
Queima de Resíduos Agrícolas	0,5%	0,6%	0,5%	0,5%	0,5%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%
Cultivo de arroz	0,4%	0,3%	0,3%	0,3%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do SEEG.

A Fermentação Entérica de ruminantes, contribui para o aquecimento global devido à emissão de metano (Vasconcelos, 2018), e no setor de agropecuária são contabilizadas as emissões provenientes da digestão realizada pelos rebanhos de animais ruminantes que geram a fermentação entérica, que emite metano o popular “arroto” do boi, do tratamento e disposição que os dejetos desses animais recebem (SEEG, 2023), que durante a década chegou a representar 68,6% em seu maior pico de emissões nos anos de 2010 e 2015.

A segunda maior porcentagem da tabela ficou com Solos Manejados, que segundo dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2020) compõem a maior parte das emissões diretas da Agricultura, que chegaram a corresponder 25,5%, no ano de 2019, porcentagem abaixo dos dados mais recentes da fermentação entérica, sobre as emissões do setor Agropecuário no Brasil em 2021 (29,8%) (SEEG, 2023). A adoção de práticas conservacionistas nesse subsetor, conforme BESEN, *et al.*, (2018) sugere, exemplo adoção do sistema plantio direto e formas de cultivo que possibilitem o uso sustentável do solo se apresenta como medida para mitigação de gases do efeito estufa.

A Tabela 9, a seguir, demonstra as produções da Agropecuária mais nocivas ao meio ambiente na região do Nordeste brasileiro, diante dos dez anos de pesquisa, com as produções de maior emissão de GEE nas primeiras colocações em ordem decrescente.

Tabela 9 – Emissões da Agropecuária no Nordeste por tipo de animal entre 2010 e 2019

Tipo de animal	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Gado de Corte	56,3%	56,3%	57,1%	57,3%	56,8%	60,1%	60,4%	59,8%	59,0%	59,1%
Gado de Leite	20,3%	19,7%	19,0%	19,2%	19,1%	16,1%	15,0%	14,3%	14,3%	14,4%
Suínos	4,8%	4,7%	4,9%	4,5%	4,5%	4,7%	4,8%	4,8%	4,7%	4,7%

Pastagem	3,2%	3,3%	3,6%	3,5%	3,5%	3,5%	3,6%	3,6%	3,5%	3,4%
Ovino	2,4%	2,4%	2,4%	2,4%	2,4%	2,7%	2,9%	3,0%	3,1%	3,3%
Caprino	2,4%	2,4%	2,3%	2,3%	2,3%	2,6%	2,7%	2,9%	3,0%	3,2%
Fertilizantes Sintéticos	1,8%	2,0%	1,9%	2,0%	2,1%	1,8%	2,3%	2,5%	2,5%	2,5%
Uso de Calcário	1,5%	1,9%	1,7%	2,1%	2,4%	1,4%	1,8%	1,8%	2,4%	2,1%
Equino	1,5%	1,4%	1,4%	1,4%	1,3%	1,4%	1,4%	1,5%	1,5%	1,4%
Soja	0,7%	0,8%	0,8%	0,7%	0,8%	1,0%	0,7%	1,2%	1,5%	1,3%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do SEEG.

A análise, se atribuí a Tabela 8 diante de todas as toneladas emitidas serem formadoras do total de GEEs expelido na Agropecuária, portanto, o gado de corte com seus 56,3% é a maior produção na agropecuária, pois, sua produção do nascimento ao abate tem alta significância, sua criação tem um impacto na emissão gases nocivos causados pela fermentação entérica que é geradora de 67,2% causada pela sua formação e de demais animais. Somados, os rebanhos bovinos de corte e de leite em 2013 corresponderam por 73% de CO² das emissões da pecuária.

As informações municipais das emissões por municípios do nordeste, encontradas na Tabela 7, auxiliam e se correlacionam com as porcentagens da Tabela 9, aonde o município de Açailândia – MA, maior emissor de GEEs, possui o maior rebanho bovino do Maranhão com 336.631 cabeças em 2019, com Amarante do Maranhão e Santa Luzia completando o ranking de maiores produtores do Estado (IBGE, 2022).

Segundo dados do SEEG (2023), nas emissões por solo manejados como visto na Tabela 8 são principalmente compostas de Óxido nitroso (N₂O), que tem origem nos dejetos de bovinos de corte, utilizados como fertilizante no pasto, bem como no uso de fertilizantes sintéticos. Além disso, a aplicação de calcário, contribui com emissões e sendo uma fonte de CO₂ como é observado diante da Tabela 9.

A seguir, as emissões por tipo de uso na agropecuária na Tabela 10, durante os anos de estudo com os principais geradores de GEE, a na agropecuária e sua evolução durante esses períodos.

Tabela 10 – Emissões da Agropecuária no Nordeste por tipo de uso entre 2010 e 2019.

Tipo de uso	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Outros	78,0%	77,5%	77,5%	77,7%	77,4%	77,6%	77,9%	77,0%	76,9%	77,0%
Deposição de dejetos em pastagem	10,6%	10,6%	10,6%	10,7%	10,5%	10,4%	10,3%	10,2%	10,1%	10,2%
Resíduos Agrícolas	4,1%	4,4%	4,4%	4,2%	4,6%	4,7%	4,1%	4,9%	5,0%	4,8%
Lixiviação	2,8%	3,0%	2,8%	2,9%	2,9%	2,9%	3,0%	3,2%	3,2%	3,2%
Deposição Atmosférica	1,9%	1,9%	2,0%	1,9%	2,0%	1,9%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%
Fertilizantes Sintéticos	1,3%	1,4%	1,5%	1,4%	1,5%	1,4%	1,6%	1,7%	1,7%	1,7%
Aplicação de resíduos orgânicos	0,5%	0,5%	0,6%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%
Mineralização de Nitrogênio associado a perda de Carbono no solo	0,7%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do SEEG.

A tabela acima, tem como a atividades “Outros” a mais relevante da análise, com 77,0% no último ano, seguido por deposição de dejetos 10,2% e Resíduos agrícolas com 4,8%, que dentro dos demais obteve aumento significativos, seguido por lixiviação e fertilizante sintético. Apesar do aumento dos GEE por parte dos resíduos agrícolas, a queima desse material, segundo Dos Santos, *et al.*, (2022) pode se tornar uma ação importante na redução das emissões, a produção e utilização de biocombustíveis no âmbito veicular, pois, além de pode ser produzido de biomassas como os resíduos agrícolas, também pode diminuir a dependência de combustíveis fósseis como a gasolina e o diesel.

Na Tabela 11, a seguir, é demonstrado qual atividade econômica as emissões de GEEs é predominantemente mais forte no Nordeste brasileiro de acordo com dados do SEEG e o seu comportamento durante a década de pesquisa.

Tabela 11 – Emissões da Agropecuária no Nordeste por atividade econômica entre 2010 e 2019

Atividade econômica	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Agricultura	10,6%	11,3%	11,1%	11,2%	12,0%	10,8%	11,1%	12,1%	12,8%
Pecuária	89,4%	88,7%	88,9%	88,8%	88,0%	89,2%	88,9%	87,9%	87,2%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do SEEG.

Autores como Wardhana, Ihle e Heijman (2017) em seus estudos avaliam que a concentração geográfica da agricultura pode ser interpretada como a formação de agroclusters, que são concentrações regionais e especializações na produção, processamento ou comercialização agrícola, concentração esse muito presente na região da Matopiba.

Todavia, essas concentrações têm uma responsabilidade relativamente baixa em relação as emissões geradas pela Pecuária, que domina emissão de GEE por atividade econômica no Nordeste do Brasil com 87,8%, e apesar de existir uma queda de 1,6% na sua participação nos GEE durante a década, segue sendo estável em representatividade.

Toda a cadeia de criação e manejo de dejetos associada a essa atividade agrícola representa uma ameaça ao meio ambiente, inclusive Nguyen *et al.*, (2013) sugere uma abordagem que combina experimentos de sistema e simulação afim de reduzir significativamente os impactos da produção de gado de corte através da introdução de idades iguais floresta como alternativa de uso da terra em fazendas de gado de corte, uma vez que o desafio relacionado é desenvolver maneiras de entregar as tecnologias para a pecuária em condições de pastoreio extensivo com intervenção humana limitada (Cottle; Nolan; Wiedemann, 2011).

A observação a ser realizada nessa tabela é o comportamento da agricultura em 2015 onde teve seu crescimento interrompido em 2015, pois, o precisamente o mês de setembro foi marcado por estiagem na maior parte do Nordeste brasileiro, com exceção do litoral leste da região, em uma faixa que se estende desde o litoral do Rio Grande do Norte até o extremo sul da Bahia (Martins; Magalhães, 2015) estado aonde concentra a uma das maior produção de grãos com destaque aos municípios de São Desiderio com a agricultura voltada a milho 6.074.022 milhões de toneladas produzidas e Formosa do Rio Preto com a maior produção de soja do Estado com 6.074.022 milhões de toneladas produzidas (IBGE, 2022), ambas regiões pertencentes a Matopiba.

4.3 ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DOS GEE NO NORDESTE

Esta seção fornece informações sobre a distribuição geográfica das Emissões de Gases de Efeito Estufa no setor Agropecuário na região Nordeste durante os anos de 2010 a 2019. Além disso, as análises espaciais realizadas por meio de testes formais de associação espacial, tanto em nível global, como o Índice de Moran (*I* de *Moran*), quanto em nível local, conhecido como *LISA*, através da Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE).

A análise espacial desempenha um papel crucial neste estudo, pois auxilia na identificação de agrupamentos no setor agropecuário que transcendem as fronteiras municipais. Isso sugere a presença de características econômicas que se estendem para além das áreas locais ou que se concentram em determinados locais.

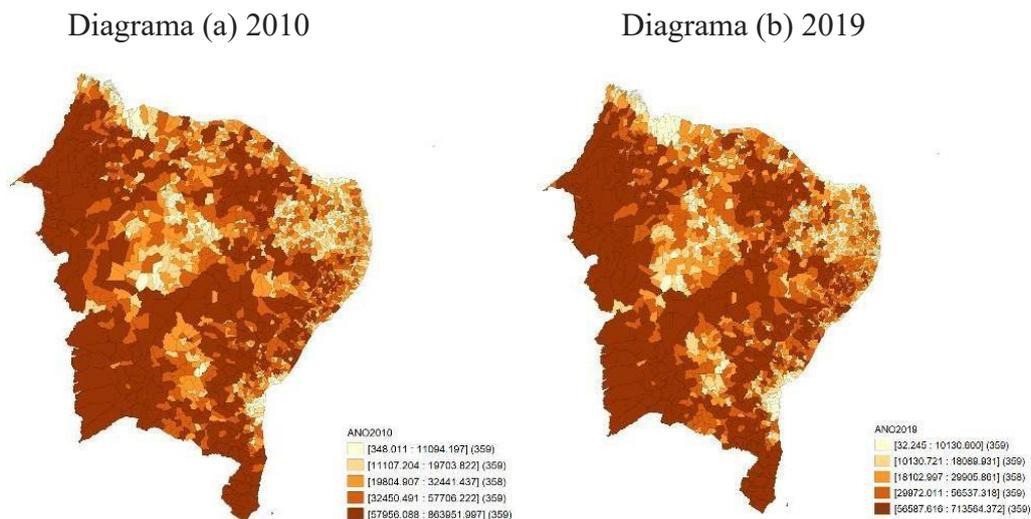
Essa identificação não apenas nos permite visualizar regiões que podem ser potenciais fontes ou amplificadores de emissões (agrupamentos do tipo Low-Low/Baixo-Baixo), mas também nos ajuda a identificar áreas que podem ter um impacto positivo na redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (agrupamentos do tipo High-High/Alto-Alto). Isso ocorre por meio do efeito de transbordamento entre áreas adjacentes, destacando a importância de ações coordenadas em escala regional para abordar as emissões.

4.3.1 Descrição dos padrões municipais das emissões dos GEEs

Nesta seção, é realizada uma análise da distribuição dos gases de efeito estufa nos municípios, com o propósito de conduzir uma investigação preliminar e exploratória dessa dinâmica, visando identificar padrões espaciais nos dados analisados. Para criar os mapas de distribuição espacial, será empregado o método de agrupamento por quantil, que procura manter um número constante de municípios em cada intervalo de valores. Os dados foram divididos em 5 quantis, com aproximadamente 359 municípios em cada grupo.

Nesse contexto, a Figura 2 apresenta a distribuição espacial dos gases de efeito estufa na agropecuária nos municípios em 2010 (Diagrama A) e a distribuição espacial nos municípios em 2019 (Diagrama B), permitindo uma comparação visual das mudanças ao longo do período analisado.

Figura 2: Nordeste –Distribuição espacial Emissão de gases de efeito estufa no setor Agropecuário nos anos de 2010 e 2019.



Fonte: Elaboração própria a partir do software Geoda com base nos dados do SEEG.

Os resultados obtidos, relacionados à distribuição espacial das emissões de gases de efeito estufa no setor agropecuário no Nordeste, sugerem a presença de associações espaciais nos dados analisados, sobretudo nas regiões geográficas do Meio-norte e Sertão. Isso se torna evidente na identificação de municípios que estão agrupados espacialmente em intervalos de valores semelhantes.

Portanto, é de suma importância empregar testes formais para confirmar essa dependência espacial e proporcionar inferências mais robustas sobre esse fenômeno, bem como para compreender o grau de relacionamento entre os municípios vizinhos. Isso é realizado por meio da Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE).

Os testes formais são utilizados para verificar a existência de associação espacial nas variáveis em análise, ou seja, se há aglomerações de municípios com valores semelhantes, conhecidos como "*clusters*", ou se existem municípios com valores extremos, denominados "*outliers* espaciais". Neste contexto, nesta seção, é conduzido dois testes formais: o Índice de Moran Global e o indicador *LISA* local.

4.3.2 Análise Exploratória de Dados Espaciais

O primeiro teste realizado foi o Índice de Moran Global, que teve como objetivo avaliar a aleatoriedade na distribuição dos dados estudados, isto é, verificar se há ou não dependência espacial durante os anos de 2010 e 2019 no setor agropecuário do Nordeste.

Tabela 12: Nordeste- Coeficiente I de Moran Global para emissão de GEE no setor Agropecuário do Nordeste nos anos de 2010 e 2019.

Variáveis	Valor do Índice	P-valor
2010	0,573	0,001
2019	0,597	0,001

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da SEEG e das estimativas calculadas no software Geoda.

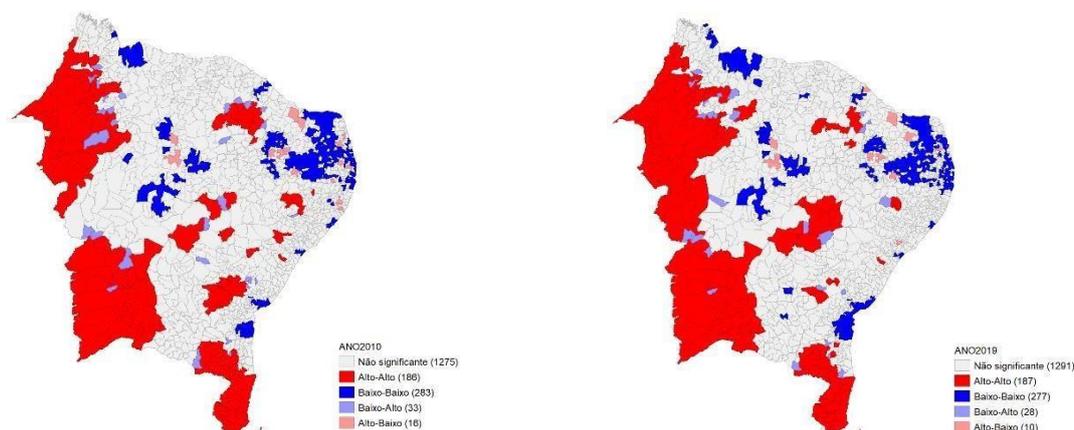
Os resultados do Índice de Moran revelaram coeficientes positivos e significativos estatisticamente para ambas as variáveis, atingindo 0,573, para o ano de 2010, e 0,597, para o ano de 2019. Esses valores indicam uma correlação espacial positiva entre os municípios do Nordeste em relação a ambas as variáveis, confirmando a existência de dependência espacial. É relevante ressaltar que esses valores são estatisticamente significativos com base em 999 permutações aleatórias, conforme detalhado na Tabela 12 acima.

Cada vez mais, os pesquisadores têm feito uso de grandes conjuntos de microdados que têm permitido estudos de aglomeração cada vez mais refinados. Esses conjuntos de dados permitem estimativas mais fiáveis e ajudam a resolver uma variedade de problemas econométricos (ROSENTHAL, *et al.*, 2004). Portanto, para realizar uma análise mais aprofundada dos padrões espaciais e identificar diferentes regimes espaciais, recorreu-se à estatística espacial local, o LISA. Esta métrica avalia a significância local dos processos espaciais presentes nos dados. Nesse contexto, a Figura 3 a seguir apresenta os resultados obtidos com o LISA para o número de emissões de GEE no ano de 2010 (representado no diagrama (a)) e no ano de 2019 (representado no diagrama (b)) na região Nordeste.

Figura 3: Nordeste - LISA para a distribuição espacial dos GEE no setor Agropecuário do Nordeste.

Diagrama (a) 2010

Diagrama (b) 2019



Fonte: Elaboração própria a partir do software Geoda com base nos dados do SEEG.

Os resultados apresentados na Figura 3, representados pelos diagramas (a) e (b), revelam quatro padrões distintos de associação espacial: *high-high* (alto-alto), *low-low* (baixo-baixo), *low-high* (baixo-alto) e *high-low* (alto-baixo). É relevante notar que o primeiro quantil, destacado em cinza, inclui 1.275 municípios em 2010 e 1.291 em 2019, que não apresentam significância estatística nesta análise.

Os outliers do tipo *high-low* são representados por cidades dispersas em várias áreas, incluindo 16 municípios em 2010 e 10 em 2019, com destaques para Mossoró (RN), Elesbão Veloso (PI) e Oeiras (PI). No caso dos outliers do tipo *low-high*, a análise *LISA* identificou 33 municípios em 2010 e 28 em 2019, concentrados principalmente nas zonas Sertão e Meio Norte, com exemplos notáveis em Catolândia (BA), Cândido Sales (BA) e Barreiras (PI). É importante observar que os outliers *high-low* e *low-high* indicam a presença de aglomerações em apenas um município, conhecidas como "ilhas", com atividade econômica circunscrita em seu entorno imediato.

As associações espaciais do tipo *low-low* podem ser interpretadas como regiões onde a atividade econômica é pouco significativa ou mesmo ausente em média, como nos municípios de Canto Buriti (PI), Brejo do Piauí (PI) e São Raimundo Nonato (PI).

É notável que a identificação de clusters *high-high* sugere a presença de transbordamentos e interconexões produtivas entre municípios, por meio de complementaridades e integração, especialmente nos municípios do Maranhão e da Bahia. Como mencionado anteriormente neste estudo, isso está intimamente ligado ao avanço da agropecuária na região da Matopiba, exemplificado pelos municípios de Açailândia (MA), Amarante do Maranhão (MA) e Balsas (MA), regiões que a produção agrícola é crescente e os municípios tem tipos de cultura presente parecidas, além da pecuária, a produção de grão como milho é forte, exemplo presente nos municípios circunvizinhos a cidade de Balsa, maior

produtor no Maranhão, que tem como outro município Tasso Fragoso maior produtor de soja a variável alta assim como o próprio município de acordo com dados do IBGE (2022). O mesmo fenômeno ocorre em São Desidério (BA), Correntina (BA) e Barreiras (BA), municípios localizados entre as duas maiores zonas geográficas do Nordeste, conforme mencionado acima. Essas aglomerações refletem a correlação espacial entre dois ou mais municípios com valores elevados em média para uma variável específica.

Esses resultados evidenciam que as regiões com as maiores emissões de GEE em toneladas de CO² tendem a apresentar transbordamentos, sugerindo uma influência mútua na distribuição espacial. Isso reforça a ideia da dependência espacial e a identificação de padrões espaciais nos dados analisados. Além disso, destacam-se aglomerações com baixos valores médios dos parâmetros analisados, acompanhados por vizinhos com médias igualmente baixas, representados pelos clusters do tipo *Low-Low/Baixo-Baixo*. Por outro lado, também foram identificadas aglomerações que podem impulsionar ainda mais as gerações de emissões brutas pelos clusters do tipo *High-High/Alto-Alto* em seus transbordamentos, nos tipos de culturas segundo a análise feita através de dados do IBGE (2022), presente nos Estados da fronteira agrícola, incluindo o estado do Piauí, a produção de soja e milho são as maiores se tratando do efeito de transbordamento. Esses resultados fornecem insights valiosos para compreender os padrões espaciais das emissões de GEEs e desenvolver estratégias eficazes de mitigação.

É válido destacar que de acordo com GS Silva et al (2022) a agricultura familiar ainda persiste com força na região Nordeste do Brasil, somando a grande maioria dos estabelecimentos e pessoas ocupadas, 76% das propriedades voltadas a estabelecimentos Agropecuários de até 50 hectares, está presente a alta atuação da agricultura familiar, que exercem a função no campo em pequenas propriedades, desempenhando importante papel no meio rural, com a menor quantidade de terra e valor de produção.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo analisar a distribuição espacial do setor agropecuário brasileiro e as emissões de gases de efeito estufa, buscando-se avaliar a contribuição desse setor na mudança dos níveis de concentração das emissões regionais. A metodologia consistiu na aplicação da técnica de Análise Exploratória de dados espaciais, a qual permite avaliar a existências de autocorrelação espacial entre as unidades geográficas, capturando, assim, possíveis efeitos de transbordamento ou de vizinhança que podem decorrer da interação espacial entre os municípios.

O resultado da pesquisa revelou, de maneira geral, um panorama dos municípios nordestinos que sugere um elevado nível de emissões de gases de efeito estufa diante de um potencial da agricultura. Os setores ligados às atividades do campo, geram mais emissões do que o setor de energia. Ademais, embora o desmatamento tenha diminuição em 19,7% no período, a Agropecuária chegou a alcançar um crescimento de 8,3% nas emissões de gases de efeito estufa, entre 2013 e 2019, com contribuições significativas da pecuária, especialmente na fronteira agrícola da Matopiba, uma das maiores regiões produtoras de grão do Brasil. Nessa região, evidenciou-se a alta correlação espacial entre os municípios circunvizinhos, confirmada pelos *clusters* do tipo *high-high*, os quais geram efeitos de transbordamentos nos municípios vizinhos, destacando a importância dos Estados Maranhão e Bahia para esse fenômeno e confirmando a hipótese levantada sobre a correlação espacial dos municípios, principalmente na fronteira agrícola presente no Nordeste.

Dessa forma, a pesquisa contribui não só com a comunidade acadêmica, mas também com a sociedade em geral, sugerindo futuros estudos que visem o desenvolvimento sustentável da atividade econômica agropecuária na região, já impactada por processos de desertificação devido as mudanças climáticas antrópicas.

Além disso, tornam-se necessárias pesquisas que promovam o desenvolvimento de tecnologias de mitigação de GEEs na região, a depender de cada bioma presente, enquanto o setor da agropecuária ainda está em expansão, afim de garantir um desenvolvimento sustentável na região Nordeste, além de investir em estudos sobre metodologias mais eficientes e ágeis, que promovam o uso de fertilizantes orgânicos na agricultura e melhorem a nutrição dos animais na pecuária, com custos mais acessíveis ao mercado.

Outra forma rígida e ajustada de controle de emissões e oriundas das emissões antropológicas é através de políticas públicas que fiscalizem e tenha autorização para punições administrativas através de um órgão fiscalizador que esteja adjunto com o produtor, propondo metas de mitigação de GEEs de acordo com o seu tipo de produção, educando e conscientizando através de bonificações fiscais, atraindo investimentos de empresas que buscam ser reconhecidas como sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Eduardo. Econometria espacial. Campinas–SP. Alínea, v. 31, 2012.

ALVES, A.; RIBEIRO, E.; TOM, L. Modifications in land use for agriculture in Brazil: an analysis of microregions in 1990 and 2016. 2018.

ALVES, Aldivan Rodrigues et al. A caatinga e a oportunidade de mitigação das emissões de gases de efeito estufa pela atividade pastoril. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 11, n. 2, p. 639-661, 2018.

AMARANTE, Patrícia Araújo; DE LIMA, Severino do Ramo Pereira; AMARANTE, José Carlos Araújo. MAPEAMENTO DA AGROPECUÁRIA PARAIBANA COMO INSTRUMENTO NORTEADOR DE POLÍTICAS PÚBLICAS DE DESENVOLVIMENTO LOCAL SUSTENTÁVEL. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 53, n. 4, p. 145-172, 2022.

ANSELIN, L. Local Indicators of Spatial Association – LISA. **Geographical Analysis**, v. 27, n. 2, p. 93-115, Apr. 1995.

ANSELIN, L. Lagrange multiplier test diagnostics for spatial dependence and spatial heterogeneity. **Geographical analysis**, v. 20, n. 1, p. 1-17, 1998.

BEDDINGTON, John R. et al. What next for agriculture after Durban?. **Science**, v. 335, n. 6066, p. 289-290, 2012.

BESSEN, Marcos Renan et al. Soil conservation practices and greenhouse gases emissions in Brazil. **Scientia Agropecuaria**, v. 9, n. 3, p. 429-439, 2018.

BRANDÃO JR, Amintas et al. análise das emissões de GEE no Brasil (1990-2012) mudanças do uso da Terra. 2014.

BRANDÃO, Fernanda Scharnberg et al. O papel do agronegócio brasileiro na redução de emissão de gases de efeito estufa (GEEs). **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 6, n. 1, p. 84-90, 2012.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. MAPA. Projeções do Agronegócio: Brasil 2018/19 a 2028/29 projeções de longo prazo / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. – Brasília: MAPA/ACE, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politicaagricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-doagronegocio-2018-2019-2028-2029>. Acesso em: 19/09/2023

IPCC Climate. Land: An IPCC Special Report on Climate Change. In: Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems. 2019.

CLIFF, Andrew; ORD, Keith. Testing for spatial autocorrelation among regression residuals. **Geographical analysis**, v. 4, n. 3, p. 267-284, 1972.

COTTLE, David J.; NOLAN, John V.; WIEDEMANN, Stephen G. Ruminant enteric methane mitigation: a review. **Animal Production Science**, v. 51, n. 6, p. 491-514, 2011.

DA SILVA, Girliany Santos; AMARANTE, Patrícia Araújo; AMARANTE, José Carlos Araújo. Agricultural clusters and poverty in municipalities in the Northeast Region of Brazil: A spatial perspective. **Journal of Rural Studies**, v. 92, p. 189-205, 2022.

DE CARVALHO, A. M. et al. Avaliação das emissões atmosféricas de gases de efeito estufa na agropecuária. **Embrapa Cerrados-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2015.

DE FREITAS, Silene Maria et al. Contribuições do setor agropecuário para as emissões de gases de efeito estufa no Brasil, 2010-20141.

DE MEDEIROS SILVA, Wallysson Klebson; ABRAHAO, Raphael; JUNIOR, Luiz Moreira Coelho. DINÂMICA E EXPANSÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR E OUTRAS CULTURAS AGRÍCOLAS NA PARAÍBA: UMA ANÁLISE DOS IMPACTOS DOS GASES DE EFEITO ESTUFA. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 52, n. 2, p. 155-174, 2021.

DELMOTTE, Valérie Masson et al. Sumário para formuladores de políticas: Aquecimento global de 1, 5° C. 2018.

Desafios e Oportunidades para Redução das Emissões de Metano no Brasil. Disponível em: <<https://energiaambiente.org.br/produto/desafios-e-oportunidades-para-reducao-das-emissoes-de-metano-no-brasil>>. Acesso em: 22 set. 2023.

DOS SANTOS, Maele Costa et al. PANORAMA DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL: SETORES, SUBSETORES, ATIVIDADES ECONÔMICAS E MUNICÍPIOS. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, n. 40, p. 66-89, 2022.

FERREIRA, Joice et al. Towards environmentally sustainable agriculture in Brazil: challenges and opportunities for applied ecological research. **Journal of Applied Ecology**, v. 49, n. 3, p. 535-541, 2012.

FREITAS, Clailton Ataídes de; BACHA, Carlos José Caetano; FOSSATTI, Daniele Maria. Avaliação do desenvolvimento do setor agropecuário no Brasil: período de 1970 a 2000. **Economia e Sociedade**, v. 16, p. 111-124, 2007.

GARIGLIO, Maria Auxiliadora et al. Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga. 2010.

HOOKE, Sarah E.; WRIGHT, André-Denis G.; MCBRIDE, Brian W. Methanogens: methane producers of the rumen and mitigation strategies. **Archaea**, v. 2010, 2010.

LAL, Rattan. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v. 123, n. 1-2, p. 1-22, 2004.

LEÃO, Hellen Cristina Rodrigues Saraiva. PIB do **Nordeste cresce acima da média Nacional**. 2019.

LIMA, M. A. et al. Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil. **Environmental Development**, v. 33, p. 100504, 2020.

LIN, Boqiang; XU, Bin. Factors affecting CO2 emissions in China's agriculture sector: A quantile regression. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 94, p. 15-27, 2018.

Linha do Tempo» PROCLIMA - Programa Estadual de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/proclima/linha-do-tempo/>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

LUCENA, André FP et al. Climate policy scenarios in Brazil: A multi-model comparison for energy. **Energy Economics**, v. 56, p. 564-574, 2016.

- MARENGO, Jose A.; TORRES, Roger Rodrigues; ALVES, Lincoln Muniz. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, p. 1189-1200, 2017.
- MARTINS, Eduardo Sávio Passos Rodrigues; MAGALHÃES, Antonio Rocha. A seca de 2012-2015 no Nordeste e seus impactos. 2015.
- MCLAIN, Jean ET; MARTENS, Dean A. N₂O production by heterotrophic N transformations in a semiarid soil. **Applied Soil Ecology**, v. 32, n. 2, p. 253-263, 2006.
- MORAN, P. A. The interpretation of statistical maps. **Biometrika**, v. 35, p. 255-260, 1948.
- MORAN, Patrick AP. Notes on continuous stochastic phenomena. **Biometrika**, v. 37, n. 1/2, p. 17-23, 1950.
- NGUYEN, Thi Tuyet Hanh et al. Effect of farming practices for greenhouse gas mitigation and subsequent alternative land use on environmental impacts of beef cattle production systems. **Animal**, v. 7, n. 5, p. 860-869, 2013.
- OGLE, Stephen M. et al. Reducing greenhouse gas emissions and adapting agricultural management for climate change in developing countries: providing the basis for action. **Global change biology**, v. 20, n. 1, p. 1-6, 2014.
- OLIVEIRA, Patrícia Perondi Anchão et al. **Emissão de gases nas atividades pecuárias**. II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais, p. 5-7, 2011.
- OLIVEIRA, Patrícia Perondi Anchão. Gases de efeito estufa em sistemas de produção animal brasileiros e a importância do balanço de carbono para a preservação ambiental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 623-634, 2015.
- OLIVEIRA, Thiago José Arruda; RODRIGUES, Waldecy. Uma análise espacial da estrutura produtiva no interior do Brasil: os clusters do agronegócio. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 50, n. 1, p. 153-170, 2019.
- PACHAURI, Rajendra K. et al. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ipcc, 2014.
- PEREIRA, Caroline Nascimento; PORCIONATO, Gabriela Lanza; CASTRO, César Nunes de. Aspectos socioeconômicos da região do Matopiba. 2018.
- PEROBELLI, Fernando Salgueiro et al. Análise espacial da produtividade do setor agrícola brasileiro: 1991–2003. In: **Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural**. 2003.
- PETERS, Glen P. et al. Rapid growth in CO₂ emissions after the 2008–2009 global financial crisis. **Nature climate change**, v. 2, n. 1, p. 2-4, 2012.
- POTENZA, R. F. et al. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil 1970-2020. **Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG)**, 2023.

Produto Interno Bruto dos Municípios do Estado do Maranhão, São Luís, v. 14, n.1, p. 1-58, 2020

RIBEIRO, Kelly et al. Land cover changes and greenhouse gas emissions in two different soil covers in the Brazilian Caatinga. **Science of the Total Environment**, v. 571, p. 1048-1057, 2016.

ROCHA, Cláudia Bueno; PARRÉ, José Luiz. Estudo da distribuição espacial do setor agropecuário do Rio Grande do Sul. **Análise Econômica**, v. 27, n. 52, 2009.

ROSENTHAL, Stuart S.; STRANGE, William C. Evidence on the nature and sources of agglomeration economies. In: **Handbook of regional and urban economics**. Elsevier, 2004. p. 2119-2171.

SANTOS, Jean Carlos et al. Caatinga: the scientific negligence experienced by a dry tropical forest. **Tropical Conservation Science**, v. 4, n. 3, p. 276-286, 2011.

SEEG - SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. In: Tasso Azevedo (Org.). Base de dados. Brasília: Observatório do Clima, 2020. Disponível em: <<http://seeg.eco.br>>. Acesso em: 02 abr. 2020.

SERENO, Luiz Gustavo Fernandes et al. Crescimento econômico e emissões de gases de efeito estufa: uma análise de cointegração em painel para os estados brasileiros de 2002 a 2015. 2019.

SERENO, Luiz Gustavo Fernandes; ANDRADE, Daniel Caixeta. Perfil regional e setorial das emissões brasileiras de gases de efeito estufa entre 1990 e 2017. **Revibec: revista iberoamericana de economía ecológica**, v. 32, p. 22-46, 2020.

SILVA, G. A.; SOUZA, B. B.; SILVA, E. M. N. Influência do aquecimento global sobre as variáveis climatológicas e índice de conforto térmico no estado da Paraíba, Brasil. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 3, n. 4, p. 116-119, 2015.

Sobre o Tema - Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-matopiba/sobre-o-tema>>. Acesso em: 23 ago. de 2023.

SOUSA, F. P. et al. Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing desertification. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 148, p. 11-21, 2012.

VASCONCELOS, K.; FARINHA, M.; BERNARDO, L.; LAMPERTD, V. N.; GIANEZINI, M.; COSTABM.; COSTAB, J. S.; SOARES FILHO, A.; GENRO, T. C. M.; RUVIARO, C. F. Livestock-derived greenhouse gas emissions in a diversified grazing system in the endangered Pampa biome, Southern Brazil. **Land Use Policy**, v. 75, p. 442-448, 2018.

VIDIGAL, Vinícius Gonçalves; VIDIGAL, Cláudia Bueno Rocha; PARRÉ, José Luiz. Distribuição espacial da produtividade da soja no Rio Grande do Sul: um estudo exploratório. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**, v. 40, n. 2, p. 1-9, 2018.

WALTER, Arnaldo. Emissões de gases de efeito estufa no setor de energia, no Brasil.

WARDHANA, Dadan; IHLE, Rico; HEIJMAN, Wim. Agro-clusters and rural poverty: a spatial perspective for West Java. **Bulletin of Indonesian economic studies**, v. 53, n. 2, p. 161-186, 2017.