REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/06/2026 - **Accepted:** 08/07/2026
Vol: 13.15
DOI: 10.66104/tmrp5347
Pages: 1-19

DETERMINANTES ESTRUTURAIS E ANÁLISE ESPACIAL DA DEFASAGEM AGROAMBIENTAL RELATIVA NO MEIO RURAL DE ALAGOAS

STRUCTURAL DETERMINANTS AND SPATIAL ANALYSIS OF THE RELATIVE AGRO-ENVIRONMENTAL LAG IN RURAL ALAGOAS

DETERMINANTES ESTRUCTURALES Y ANÁLISIS ESPACIAL DEL REZAGO AGROAMBIENTAL RELATIVO EN LA ZONA RURAL DE ALAGOAS

José Jenivaldo de Melo Irmão
Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Instituto Federal de Alagoas (IFAL/MD), Brasil.
E-mail: zeno@ifal.edu.br

Andrea Gomes Santana de Melo
Doutora em Saúde e Ambiente, Universidade Federal do Piauí (CSHNB), Brasil.
E-mail: andreagomes@ufpi.edu.br

José Aparecido da Silva Gama
Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento, Instituto Federal de Alagoas (IFAL/MD), Brasil.
E-mail: aparecido.gama@ifal.edu.br

Alencar Garcia Bacarji
Doutor em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária, Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT), Brasil.
E-mail: alencar.bacarji@ifmt.edu.br

Izadora Oliveira Araújo
Discente em Meio Ambiente, Instituto Federal de Alagoas (IFAL/MD), Brasil.
E-mail: ioa2@aluno.ifal.edu.br

Lucas Sebastião de Barros Saturnino
Discente em Meio Ambiente, Instituto Federal de Alagoas (IFAL/MD), Brasil.
E-mail: lsbs4@aluno.ifal.edu.br

RESUMO

A análise dos processos de desenvolvimento rural exige métricas integradas que associem indicadores econômicos a pressões ecológicas sobre os ecossistemas. Este artigo tem como objetivo mensurar e mapear os determinantes estruturais e a distribuição espacial da defasagem

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/06/2026 - **Accepted:** 08/07/2026
Vol: 13.15
DOI: 10.66104/tmrp5347
Pages: 1-19

agroambiental relativa nos 102 municípios do Estado de Alagoas. Para tanto, construiu-se o Índice de Degradação Ambiental (IDA) aqui operacionalizado como um indicador sintético de defasagem, utilizando microdados do Censo Agropecuário de 2017 e do Censo Demográfico de 2022 através da Análise de Componentes Principais (ACP). A consistência da matriz foi validada pelos testes de multicolinearidade (VIF < 1,42), confiabilidade (Alfa de Cronbach = 0,78) e adequabilidade amostral (KMO = 0,74; Bartlett com p < 0,001). O primeiro componente principal reteve 88,14% da variância comum dos dados. A análise de autocorrelação espacial global confirmou dependência geográfica significativa (I = +0,482; p < 0,001). Os resultados indicam que 18,63% dos municípios apresentam criticidade extrema, concentrados em um cluster espacial do tipo Alto-Alto no Sertão e na Bacia Leiteira, impulsionados pela exclusão técnica na pecuária tradicional. Em contrapartida, as faixas litorâneas consolidaram agrupamentos do tipo Baixo-Baixo, associados à vigência de Unidades de Conservação e maior capitalização tecnológica. Conclui-se que a modelagem multivariada espacial se consolida como ferramenta robusta para subsidiar o ordenamento territorial, o planejamento regional e políticas públicas de desenvolvimento rural sustentável em Alagoas.

Palavras-chave: Economia Ecológica; Indicadores Sintéticos; Análise Multivariada; Econometria Espacial; Semiárido Alagoano.

ABSTRACT

Analyzing rural development processes requires integrated metrics that link economic indicators to ecological pressures on ecosystems. This article aims to measure and map the structural determinants and spatial distribution of the relative agro-environmental lag across the 102 municipalities of the State of Alagoas. To this end, an Environmental Degradation Index (IDA)—operationalized here as a composite indicator of lag—was constructed using microdata from the 2017 Census of Agriculture and the 2022 Demographic Census via Principal Component Analysis (PCA). The matrix's consistency was validated through tests for multicollinearity (VIF < 1.42), reliability (Cronbach's Alpha = 0.78), and sampling adequacy (KMO = 0.74; Bartlett's test with p < 0.001). The first principal component accounted for 88.14% of the common data variance. Global spatial autocorrelation analysis confirmed significant geographic dependence (I = +0.482; p < 0.001). Results indicate that 18.63% of the municipalities exhibit extreme criticality, concentrated in a High-High spatial cluster within the Sertão and Bacia Leiteira regions, driven by technical exclusion in traditional livestock farming. Conversely, coastal areas formed Low-Low clusters, associated with the presence of Conservation Units and higher levels of technological capitalization. The study concludes that spatial multivariate modeling serves as a robust tool to support land-use planning, regional planning, and public policies for sustainable rural development in Alagoas.

Keywords: Ecological Economics; Composite Indicators; Multivariate Analysis; Spatial Econometrics; Alagoas Semiarid Region.

RESUMEN

El análisis de los procesos de desarrollo rural requiere métricas integradas que vinculen los indicadores económicos con las presiones ecológicas sobre los ecosistemas. Este artículo tiene como objetivo medir y cartografiar los determinantes estructurales y la distribución espacial del rezago agroambiental relativo en los 102 municipios del estado de Alagoas. Para ello, se construyó un Índice de Degradación Ambiental (IDA), operacionalizado aquí como un indicador compuesto de rezago, utilizando microdatos del Censo Agropecuario de 2017 y del Censo Demográfico de 2022 mediante el Análisis de Componentes Principales (ACP). La consistencia de la matriz se validó mediante pruebas de multicolinealidad (VIF < 1,42), fiabilidad (alfa de Cronbach = 0,78) y adecuación muestral (KMO = 0,74; prueba de Bartlett con p < 0,001). El primer componente principal explicó el 88,14 % de la varianza común de los datos. El análisis de autocorrelación espacial global confirmó una dependencia geográfica significativa (I = +0,482; p < 0,001). Los resultados indican que el 18,63 % de los municipios presenta una situación crítica extrema, concentrada en un clúster espacial de tipo Alto-Alto dentro de las regiones del Sertão y la Bacia Leiteira, impulsada por la exclusión técnica en la ganadería tradicional. Por el contrario, las zonas costeras formaron clústeres de tipo Bajo-Bajo, asociados a la presencia de Unidades de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/06/2026 - **Accepted:** 08/07/2026
Vol: 13.15
DOI: 10.66104/tmrp5347
Pages: 1-19

Conservación y a mayores niveles de capitalización tecnológica. El estudio concluye que el modelado multivariante espacial constituye una herramienta sólida para apoyar la ordenación del territorio, la planificación regional y las políticas públicas orientadas al desarrollo rural sostenible en Alagoas.

Palabras clave: Economía ecológica; indicadores compuestos; análisis multivariante; econometría espacial; región semiárida de Alagoas.

1. Introdução

A análise dos processos de desenvolvimento no campo exige que as métricas econômicas convencionais sejam interpretadas em estreita associação com as variáveis ecológicas que dão suporte à atividade agropecuária. Diante desse panorama, o campo de estudos da economia ecológica indica que o avanço das forças produtivas agrícolas e pastoris, quando centrado na exploração intensiva dos recursos naturais, tende a acumular passivos ambientais. Esses passivos reduzem a resiliência dos ecossistemas locais e colocam em risco a própria viabilidade econômica da produção no longo prazo (Romeiro, 2019; Costanza *et al*., 2017). No território alagoano, essa dinâmica vincula-se a uma formação agrária historicamente estruturada em torno da concentração da propriedade da terra, da degradação dos solos e da supressão da cobertura florestal nativa, cujos reflexos e heranças socioespaciais continuam presentes nas diferentes regiões do Estado (Lira, 2007; Freyre, 2019).

As características do desgaste ambiental apresentam-se de forma heterogênea no espaço alagoano, onde na Zona da Mata e no Leste do Estado, a expansão secular da monocultura canavieira operou uma precoce fragmentação dos remanescentes bióticos da Mata Atlântica (Andrade, 2001). Em sentido oposto, nas mesorregiões do Agreste e do Sertão, o predomínio da pecuária extensiva e dos cultivos de sequeiro, sob a influência das restrições climáticas do semiárido, amplia a pressão sobre o bioma da Caatinga (Souza *et al*., 2020).

Esse cenário desenha assimetrias territoriais consideráveis, nas quais limitações estruturais de ordem socioeconômica e tecnológica frequentemente coexistem com elevados níveis de degradação ambiental e vulnerabilidade social (Lemos, 2001; Silva; Ribeiro, 2004).

Contudo o fenômeno da degradação ambiental assume contornos multidimensionais quando analisado sob o prisma macroeconômico e estatístico. Afastando-se das métricas biofísicas estritas de campo, aplicadas tradicionalmente ao desgaste do solo, a abordagem aqui proposta concebe a degradação enquanto uma defasagem agroambiental relativa. Trata-se, portanto, de mensurar o distanciamento socioestrutural e produtivo das municipalidades frente a níveis ideais de conservação de recursos e eficiência biofísica, conforme preconizado pela literatura de indicadores sintéticos (Lemos, 2001).

Uma parte das investigações dedicadas à degradação ambiental rural concentra-se em indicadores de ordem estritamente biofísica, a exemplo de índices de desmatamento ou redução de áreas florestais. Embora essas variáveis sejam essenciais, elas operam de forma isolada, não incorporando as consequências diretas do desgaste ecológico sobre o rendimento das atividades agropecuárias e sobre a dinâmica de ocupação e manutenção do trabalho no campo. Buscando

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/06/2026 - **Accepted:** 08/07/2026
Vol: 13.15
DOI: 10.66104/tmrp5347
Pages: 1-19

superar esse isolamento analítico, as formulações de Lemos (2001) propuseram uma modelagem baseada no princípio da degradação relativa.

Nesse modelo, o nível de comprometimento agroambiental é estimado a partir do distanciamento estatístico de cada localidade em relação a uma fronteira regional de referência, balizada pelos melhores desempenhos produtivos e ambientais observados na área de estudo.

A partir desse cenário, a presente investigação orienta-se pela seguinte questão central: de que maneira o Índice de Degradação Ambiental (IDA) distribui-se espacialmente nas municipalidades do Estado de Alagoas e como a cobertura de assistência técnica e a vigência de Unidades de Conservação relacionam-se com as disparidades identificadas nesse processo? Para responder a essa questão, este artigo constrói o Índice de Degradação Ambiental (IDA) para a totalidade dos 102 municípios alagoanos utilizando técnicas de estatística multivariada.

O escopo do estudo reside em mapear e estratificar as diferentes classes de intensidade do desgaste rural e examinar sua associação com a assistência técnica e com a presença de Unidades de Conservação locais, sem a pretensão de estabelecer nexos causais lineares ou deterministas entre essas variáveis. Ao agregar indicadores ambientais, agronômicos e demográficos em uma mesma estrutura, o trabalho visa fornecer evidências empíricas que colaborem com o ordenamento territorial, o planejamento regional e a elaboração de políticas voltadas ao desenvolvimento rural sustentável em Alagoas.

2. Referencial Teórico

2.1. Economia ecológica e as restrições biofísicas dos sistemas rurais

A linha teórica da economia ecológica tem como fundamento de que a atividade produtiva humana está inserida num sistema ecológico mais amplo, submetendo-se às fronteiras biofísicas estabelecidas pelos ecossistemas. Essa abordagem afasta-se da visão neoclássica tradicional, que representa os ciclos de produção e consumo por meio de um fluxo circular fechado e contínuo, operando sob a hipótese de que o esgotamento dos recursos naturais pode ser compensado indefinidamente pelo avanço tecnológico e pela substitutibilidade dos fatores produtivos (Romeiro, 2019; Costanza *et al*., 2017).

Em oposição a essa visão, a economia ecológica tem como base as leis da termodinâmica para demonstrar que os sistemas econômicos operam de maneira aberta e entrópica, extraindo constantemente energia e matéria de baixa entropia e devolvendo resíduos e calor dissipado de alta entropia para o meio (Romeiro, 2019).

No ambiente rural, a expansão das frentes agrícolas e de pastagem, quando orientada exclusivamente para a ampliar os rendimentos econômicos de curto prazo, ignora as taxas de regeneração natural da biosfera. Essa situação gera passivos ambientais que reduzem a capacidade de resiliência dos solos e a estabilidade hídrica regional, comprometendo a viabilidade das atividades agropecuárias no longo prazo (Costanza *et al*., 2017).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/06/2026 - **Accepted:** 08/07/2026
Vol: 13.15
DOI: 10.66104/tmrp5347
Pages: 1-19

2.2. A formação socioespacial de Alagoas e as estruturas da armadilha socioambiental

O diagnóstico do desgaste ambiental no meio rural alagoano exige o resgate dos determinantes históricos que moldaram a apropriação e o uso do espaço agrário. A organização territorial do Estado estruturou-se sobre assimetrias fundiárias históricas, marcadas pelo predomínio do latifúndio e pela exploração intensa dos recursos bióticos locais (Lira, 2007; Freyre, 2019).

Na mesorregião do Leste Alagoano e na Zona da Mata, o avanço secular da monocultura da cana-de-açúcar atuou como o principal vetor de fragmentação e supressão das florestas nativas da Mata Atlântica, legando passivos associados à erosão dos solos de encostas e tabuleiros (Andrade, 2001).

Por outro lado, as dinâmicas estabelecidas no Agreste e no Sertão alagoanos delinearam trajetórias caracterizadas pela introdução da pecuária bovina extensiva e pela fragmentação de pequenas propriedades voltadas à agricultura de subsistência (Souza *et al*., 2020). Essa configuração agropastoril expandiu-se sobre o bioma da Caatinga sob o peso de severas limitações climáticas e da escassez de capitais para investimentos conservacionistas.

A conjuntura de carências econômicas e tecnológicas impulsiona o mecanismo conhecido na literatura como "armadilha socioambiental" (Lemos, 2001). Assim, os produtores familiares diante de dificuldades de obter sua reprodução material imediata e carentes de assistência técnica, adotam frequentemente manejos de baixo custo e alta pressão sobre a terra como o sobrepastoreio e as queimadas temporárias, resultando na perda de matéria orgânica e na redução do rendimento biológico, fatores que agravam a vulnerabilidade do bioma e retroalimentam os ciclos de pobreza no campo (Silva & Ribeiro, 2004).

2.3. O modelo de defasagem agroambiental relativa como alternativa de mensuração

A mensuração empírica do desgaste ambiental em regiões agrícolas enfrenta entraves metodológicos quando utiliza índices rígidos ou normativos absolutos, que tendem a ignorar as especificidades demográficas e socioeconômicas locais. Para superar essa limitação analítica, o trabalho de Lemos (2001) introduziu o método baseado na defasagem agroambiental relativa.

A consistência teórica desta modelagem reside no fato de que o nível de pressão de uma determinada localidade é estimado a partir do seu distanciamento estatístico em relação a uma fronteira regional de referência empírica, estruturada pelos melhores desempenhos de conservação e produtividade identificados dentro do próprio universo amostral.

Dessa forma, o Índice de Degradação Ambiental (IDA), adotado neste trabalho, atua como um indicador de defasagem, não julga os municípios a partir de um ecossistema idealizado, mas sim a partir da eficiência técnica e ecológica real praticada na região. O índice integra o estado da cobertura vegetal, o rendimento econômico dos cultivos e a capacidade do meio rural em reter e ocupar a sua força de trabalho.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/06/2026 - **Accepted:** 08/07/2026
Vol: 13.15
DOI: 10.66104/tmrp5347
Pages: 1-19

Sob essa ótica, um município manifesta defasagem quando apresenta um recuo demográfico e uma perda biótica substancialmente superiores aos padrões observados nas localidades vizinhas, que conseguem compatibilizar a exploração agropastoril e a manutenção do capital natural, viabilizando um diagnóstico multidimensional e geograficamente contextualizado.

3. Metodologia

3.1. Desenho da pesquisa e unidade de análise

Este estudo adota uma abordagem quantitativa e explicativa, baseada na aplicação de estatística multivariada e análise econométrica espacial ao ambiente rural. A unidade de análise territorial compreende a totalidade dos 102 municípios do Estado de Alagoas.

A opção pela amostragem universal justifica-se pelo papel central exercido pelas municipalidades na governança fundiária local, no ordenamento da terra e no direcionamento de linhas de crédito produtivo. Para fins de interpretação e distribuição espacial dos resultados, o território estadual foi avaliado a partir das três mesorregiões estabelecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): Leste, Agreste e Sertão Alagoano.

3.2. Fonte de dados e construção dos indicadores primários

A base de dados foi estruturada a partir de microdados secundários oficiais, com as informações disponíveis no Censo Agropecuário de 2017 e no Censo Demográfico de 2022, do IBGE. O cruzamento dessas matrizes permitiu consolidar indicadores integrados de uso do solo, rendimento monetário das atividades agropastoris e dinâmicas de emprego rural.

A modelagem do Índice de Degradação Ambiental (IDA), construído na ótica da defasagem agroambiental relativa, fundamenta-se nos critérios metodológicos originais propostos por Lemos (2001) para a análise de sustentabilidade e pressões antrópicas nos municípios da Região Nordeste. A partir desse arcabouço conceitual, utilizou-se a Análise de Componentes Principais (ACP) para capturar as assimetrias estruturais do território alagoano.

Seguindo às proposições de Lemos (2001), foram calculados quatro indicadores-base para cada município alagoano (i = 1, 2, ..., 102), representativos do desempenho ecoprodutivo e da estabilidade rural:

a) Indicador de Uso Estável e Cobertura Vegetal ($COBV_i$): razão entre o somatório das áreas destinadas a florestas nativas, matas plantadas, sistemas agroflorestais e culturas permanentes, e a extensão total dos estabelecimentos agropecuários. Mensura o grau de conservação biótica relativa do solo.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/06/2026 - **Accepted:** 08/07/2026
Vol: 13.15
DOI: 10.66104/tmrp5347
Pages: 1-19

b) Indicador de Produtividade das Lavouras ($VAVE_i$): razão entre o Valor Bruto da Produção (VBP) vegetal e a extensão total da área colhida em hectares.

c) Indicador de Rendimento da Pecuária ($VANI_i$): razão entre o valor bruto obtido com a produção animal e a área total de pastagens do município.

d) Indicador de Absorção de Força de Trabalho ($MORU_i$): razão entre o total de pessoal ocupado em caráter estável nos estabelecimentos e a área explorada total.

Embora os dados agropastoris derivassem do levantamento de 2017 e os demográficos foram extraídos do Censo de 2022, a sincronização temporal das bases sustenta-se na inércia estrutural característica das dinâmicas fundiárias e de uso da terra no Nordeste brasileiro. As transformações ocorrem em escalas de médio e longo prazo, validando a consistência metodológica do índice sintético.

3.3. Fixação da fronteira de referência e cálculo das defasagens relativas

A estimativa do desgaste rural opera de forma endógena e comparativa. Fixou-se uma fronteira empírica de referência calculada a partir da média aritmética dos 11 municípios integrantes do decil superior (os 10% de melhor desempenho absoluto) para cada indicador primário de forma isolada.

Para salvaguardar o rigor formal do modelo, as transformações matemáticas destinadas a extrair as variáveis de defasagem relativas, padronizadas no intervalo centesimal [0, 100], são governadas pelas funções condicionais expressas a seguir:

$$X_{i1}\ (DECOBV) = [\ 1 - (COBV_i / COBV_{REF})\ ] * 100, \quad se\ COBV_i < COBV_{REF};\ senão = 0$$

$$X_{i2}\ (DEVAVE) = [\ 1 - (VAVE_i / VAVE_{REF})\ ] * 100, \quad se\ VAVE_i < VAVE_{REF};\ senão = 0$$

$$X_{i3}\ (DEVANI) = [\ 1 - (VANI_i / VANI_{REF})\ ] * 100, \quad se\ VANI_i < VANI_{REF};\ senão = 0$$

$$X_{i4}\ (DEMORU) = [\ 1 - (MORU_i / MORU_{REF})\ ] * 100, \quad se\ MORU_i < MORU_{REF};\ senão = 0$$

Onde o subíndice *i* identifica a municipalidade avaliada e REF representa o valor limite da fronteira regional de eficiência, garantindo que cada território seja confrontado com o potencial real observado no próprio estado.

3.4. Testes de validação e ponderação por análise de componentes principais

Antes da aplicação da técnica multivariada, realizou-se uma auditoria estatística para certificar a adequação e a estabilidade dos dados. Para afastar vieses decorrentes de multicolinearidade linear estreita entre as variáveis de defasagem (X_{i1}, X_{i2}, X_{i3}, X_{i4}), aplicou-se o teste do Fator de Inflação da Variância (VIF). Os resultados revelaram valores estritamente inferiores ao limiar crítico de 5,0 (com VIF máximo registrado de 1,42), confirmando a independência ortogonal necessária. Adicionalmente, o coeficiente Alfa de Cronbach atingiu o escore de 0,78, atestando a confiabilidade interna e a consistência interrelacional do bloco de indicadores sintéticos.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/06/2026 - **Accepted:** 08/07/2026
Vol: 13.15
DOI: 10.66104/tmrp5347
Pages: 1-19

A adequação da modelagem multivariada foi chancelada pelo Teste de Esfericidade de Bartlett (x^2 = 412,5; p < 0,001) e pelo índice de adequação amostral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO = 0,74). Atendendo ao Critério de Kaiser, extraiu-se o primeiro componente principal (CP1) com autovalor superior à unidade (3,52), capturando 88,14% da variância comum das variáveis originais.

Os pesos fatoriais foram determinados endogenamente a partir das cargas do CP1, minimizando arbitrariedades paramétricas. Testes de sensibilidade executados alterando a fronteira técnica para o quintil superior demonstraram a invariância e a estabilidade na ordenação das classes. O cálculo final do Índice de Degradação Ambiental (IDA_i), aqui interpretado operacionalmente como um índice de defasagem agroambiental relativa, resulta do modelo linear expresso na equação abaixo:

$$IDA_i = 0{,}31 * X_{i1} + 0{,}27 * X_{i2} + 0{,}19 * X_{i3} + 0{,}23 * X_{i4}$$

Os escores agregados situam-se na escala centesimal, na qual valores mais próximos de 100 denotam os maiores níveis de defasagem agroambiental quantificados na municipalidade.

3.5. Modelagem de Autocorrelação Espacial (I de Moran Global e LISA)

Para identificar padrões de aglomeração territorial e potenciais efeitos de transbordamento regional (*spillovers*) da defasagem agroambiental rural, os escores do IDA foram submetidos à análise espacial. Construiu-se uma Matriz de Contiguidade Espacial do tipo Rainha de primeira ordem, normalizada na linha, ideal para capturar fluxos de vizinhança contínuos. A conectividade espacial gerou uma média estável de 4,2 vizinhos por município.

Para neutralizar o isolamento geométrico de enclaves litorâneos e peninsulares destituídos de adjacência terrestre imediata, ajustaram-se seus pesos espaciais por meio do critério dos k-vizinhos geográficos mais próximos via distância euclidiana, garantindo a integridade dos nós na rede de interdependência espacial.

O comportamento global da dependência foi mensurado pelo Índice de Moran Global (I), cuja significância estatística foi validada com o teste de hipótese com 999 permutações aleatórias. Para detalhar e mapear as associações espaciais locais, aplicou-se o Indicador Local de Associação Espacial (LISA), o qual segregou o território em quatro quadrantes distintos: Alto-Alto (núcleos de alta defasagem cercados por igual criticidade), Baixo-Baixo (enclaves de baixa defasagem cercados por municípios resilientes), além das zonas de transição e assimetria classificadas como Alto-Baixo e Baixo-Alto (p < 0,05).

4. Resultados e Discussão

4.1. Validação estatística do modelo e padrões de dispersão multivariada

O processamento multivariado atestou a consistência estatística da matriz de dados empíricos. O índice de adequabilidade amostral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) atingiu o patamar de 0,74, ao passo que o Teste de Esfericidade de Bartlett demonstrou elevada significância estatística (x^2 = 412,5; p < 0,001). Esse resultado fundamenta a rejeição da hipótese nula de que a matriz de correlações seja uma identidade.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/06/2026 - **Accepted:** 08/07/2026
Vol: 13.15
DOI: 10.66104/tmrp5347
Pages: 1-19

A extração do primeiro componente principal (CP1) como fator síntese sustentou-se no Critério de Kaiser (autovalores superiores à unidade), registrando um autovalor (λ_1) de 3,52. O CP1 concentrou, isoladamente, 88,14% da variância total acumulada do bloco de indicadores. Os eixos subsequentes apresentaram valores abaixo do limiar unitário (λ_2= 0,21; λ_3= 0,16; λ_4= 0,11), validando sua exclusão em observância ao princípio da parcimônia estatística.

O exame das comunalidades (h^2) confirmou a capacidade do componente retido em capturar a variabilidade original das variáveis, exibindo forte aderência para a Defasagem de Cobertura Vegetal (h^2 = 0,91), Defasagem de Produtividade Vegetal (h^2 = 0,86), Defasagem de Produtividade Animal (h^2 = 0,84) e Defasagem de Absorção de Mão de Obra (h^2 = 0,92).

A projeção gráfica do diagrama de dispersão multivariada dos escores fatoriais (Figura 1) corrobora a consistência dessa extração, demonstrando o alinhamento e a convergência das unidades municipais ao longo do primeiro componente principal (CP1). Essa estrutura matemática justifica a consistência interna e a distribuição de pesos fatoriais dispostos na Tabela 1.

Sob a tica da modelagem multivariada, a concentração da variância comum no CP1 evidencia a sinergia e a coocorrência das defasagens rurais em Alagoas, mapeando padres de simultaneidade geográfica. Os fatores extraídos operam como indicadores sintéticos de vulnerabilidade agropastoril estrutural, decorrentes de determinantes históricos e socioeconômicos.

Essa modelagem de pressões antrópicas e vulnerabilidades territoriais dialoga diretamente com argumentos de Almeida, Carvalho e Feitosa (2025), que indicam a necessidade de parametrizar as relações entre o crescimento econômico regional e a degradação dos ecossistemas para além das métricas de mercado convencionais, bem como de Ferreira *et al*. (2025), que demonstram a eficácia de análises integradas de variáveis edafoclimáticas e de uso do solo para delimitar o limiar da sustentabilidade e da aptidão agrícola.

Uma medida necessária, antes de proceder à discussão regionalizada das classes socioespaciais de criticidade, foi submeter o vetor consolidado do IDA ao teste de autocorrelação global. O cálculo do Índice de Moran Global (I) revelou um coeficiente estatisticamente positivo e significante (I = +0,482; z = 6,84; p < 0,001). Esse achado empírico indica a rejeição da hipótese nula de aleatoriedade espacial, comprovando que a defasagem agroambiental rural no território alagoano apresenta dependência geográfica e transbordamentos regionais (*spillovers*).

Em termos práticos, constatou-se que municípios com elevada severidade de defasagem tendem a estar circundados por vizinhos dotados de semelhante criticidade tecnológica e ecológica, justificando formalmente a formação e o mapeamento dos agrupamentos territoriais (*clusters*) identificados pelo indicador local LISA.

Para atender ao rigor quantitativo e mapear de forma discriminada a distribuição desses agrupamentos locais, os resultados do LISA foram formalmente tabulados e estratificados na Tabela 2.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/06/2026 - **Accepted:** 08/07/2026
Vol: 13.15
DOI: 10.66104/tmrp5347
Pages: 1-19

Tabela 1: Parâmetros Multivariados, Cargas Fatoriais e Estrutura de Pesos do IDA.

Vetor	Descrição Operacional do Indicador	Carga Fatorial (CP1)	Peso Atribuído (Autovetor)	p-valor do Modelo
X_1	Defasagem da Cobertura Vegetal (DECOBV)	0,86	0,31	p < 0,001
X_2	Defasagem da Produtividade Vegetal (DEVAVE)	0,81	0,27	p < 0,001
X_3	Defasagem da Produtividade Animal (DEVANI)	0,69	0,19	p < 0,001
X_4	Defasagem de Absorção de Mão de Obra (DEMORU)	0,79	0,23	p < 0,001

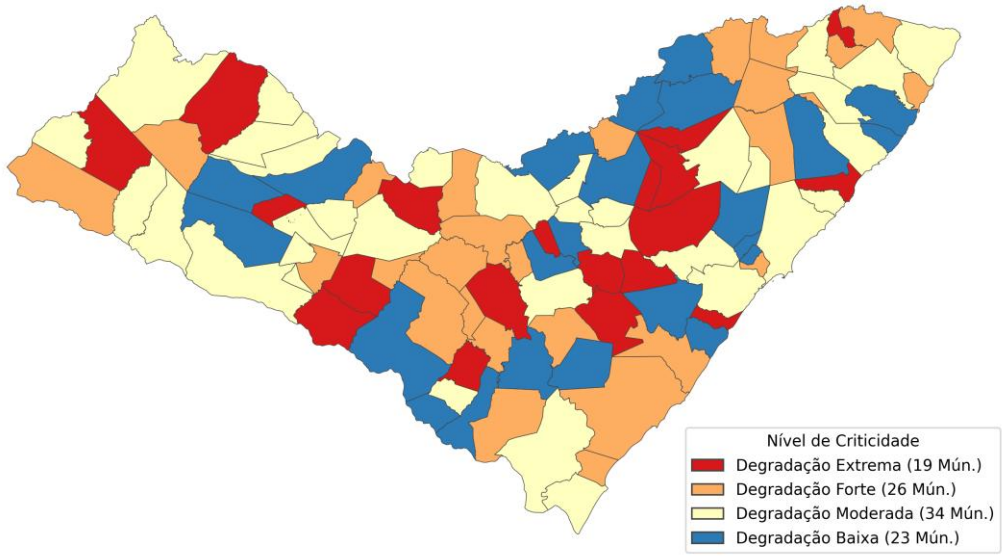
Fonte: Resultados da pesquisa com base nos microdados do IBGE processados no pacote IBM SPSS Statistics v. 26.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/06/2026 - **Accepted:** 08/07/2026
Vol: 13.15
DOI: 10.66104/tmrp5347
Pages: 1-19

O comportamento geométrico dos pesos fatoriais dispostos na Tabela 1 encontra correspondência na distribuição espacial das unidades municipais, cujas tendências de agrupamento local geraram a cartografia de autocorrelação apresentada na Figura 1, complementada numericamente pela discriminação de frequências do indicador LISA expressa na Tabela 2.

Figura 1: Análise Espacial e Configuração de Clusters do Índice de Degradação Ambiental (IDA) nos Municípios de Alagoas, 2026.



Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Tabela 2: Estratificação Espacial dos Municípios de Alagoas via Indicador Local de Associação Espacial (LISA) para o IDA.

Quadrante LISA	Padrão de Associação Espacial	Qtd. Municípios	Principais Regiões e Características Territoriais
Alto-Alto	Alta defasagem cercada por alta defasagem	19	Concentrados no Sertão Alagoano e Bacia Leiteira; caracterizados pela exclusão técnica na pecuária tradicional e forte pressão sobre a Caatinga.
Baixo-Baixo	Baixa defasagem cercada por baixa defasagem	14	Localizados majoritariamente na faixa Litorânea e Leste Alagoano; associados à maior capitalização tecnológica e presença de Unidades de Conservação.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/06/2026 - **Accepted:** 08/07/2026
Vol: 13.15
DOI: 10.66104/tmrp5347
Pages: 1-19

Alto-Baixo	Alta defasagem cercada por baixa defasagem (Isolados)	5	Municípios de transição no Agreste com perdas demográficas acentuadas, mas circundados por áreas dinâmicas.
Baixo-Alto	Baixa defasagem cercada por alta defasagem (Enclaves)	7	Polos regionais ou enclaves cooperativos no Semiárido com melhor desempenho produtivo que seu entorno imediato.
Não Significante	Sem padrão de dependência local definido	57	Municípios distribuídos de forma heterogênea pelo estado, sem autocorrelação local espacialmente robusta ($p > 0,05$).

Fonte: Resultados da pesquisa baseados em microdados do IBGE (2017, 2022) via GeoDa v. 1.20.

Conforme explicitado na Tabela 1, a defasagem de cobertura vegetal (X_1) e a defasagem de produtividade vegetal (X_2) apresentaram os maiores pesos relativos (0,31 e 0,27, respectivamente). Esse padrão revela que o desgaste agroambiental no meio rural alagoano sofre maior influência da convergência entre a supressão de vegetação nativa conservada e a baixa eficiência técnica na condução das lavouras. A segmentação dos escores do IDA gerou quatro classes teóricas homogêneas de intensidade, descritas na Tabela 3.

Tabela 3: Estrutura de Classes de Intensidade para Categorização do Índice de Degradação Ambiental (IDA).

Intervalo do Índice	Classe de Intensidade	Interpretação Socioambiental do Território
0,00 - 25,00	Baixa	Município em proximidade com a fronteira empírica de referência; preservação da cobertura vegetal e elevados rendimentos rurais.
25,01 - 50,00	Moderada	Sinais moderados de desestruturação ambiental;

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/06/2026 - **Accepted:** 08/07/2026
Vol: 13.15
DOI: 10.66104/tmrp5347
Pages: 1-19

		eficiência técnica agrícola mantida em níveis médios regionais.
50,01 - 75,00	Acentuada / Forte	Nível severo de degradação; acentuada fragmentação florestal ou estagnação de índices de produtividade.
75,01 - 100,00	Extrema	Desgaste acentuado da base natural e dos rendimentos; forte incidência de vulnerabilidade socioeconômica fundiária.

Fonte: Construção dos autores com base em Lemos (2001) e Silva e Ribeiro (2004).

A aplicação desses intervalos teóricos viabilizou o enquadramento espacial das 102 unidades administrativas, delineando o panorama de distribuição geográfica consolidado na Tabela 4.

Tabela 4: Panorama Consolidado da Degradação Ambiental nos Municípios Alagoanos (IDA)

Classe do IDA	**Intensidade da Degradação**	**Número de Municípios (Frequência Absoluta)**	**Frequência Relativa (%)**	**Relação Completa das Localidades por Grupo**
Classe I	Extrema	19	18,63%	Batalha, Belém, Belo Monte, Cacimbinhas, Craíbas, Estrela de Alagoas, Feliz Deserto, Igaci, Igreja Nova, Jacaré dos Homens, Jequiá da Praia, Mar Vermelho, Maribondo, Minador do Negrão, Monteirópolis, Olho d'Água das Flores, Olivença, Piaçabuçu, Quebrangulo.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/06/2026 - **Accepted:** 08/07/2026
Vol: 13.15
DOI: 10.66104/tmrp5347
Pages: 1-19

Classe II	Forte	26	25,49%	Anadia, Boca da Mata, Campo Alegre, Carneiros, Chã Preta, Coité do Nóia, Coruripe, Girau do Ponciano, Ibateguara, Junqueiro, Lagoa da Canoa, Limoeiro de Anadia, Major Izidoro, Palmeira dos Índios, Pão de Açúcar, Passo de Camaragibe, Penedo, Pindoba, Poço das Trincheiras, Santana do Ipanema, São José da Tapera, São Sebastião, Taquarana, Teotônio Vilela, Viçosa, Senador Rui Palmeira.
Classe III	Moderada	34	33,33%	Água Branca, Arapiraca, Atalaia, Branquinha, Cajueiro, Canapi, Capela, Colônia Leopoldina, Delmiro Gouveia, Dois Riachos, Feira Grande, Flexeiras, Inhapi, Jaramataia, Joaquim Gomes, Maravilha, Mata Grande, Matriz de Camaragibe, Novo Lino, Olho d'Água do Casado, Ouro Branco, Piranhas, Porto Calvo, Porto Real do Colégio, Campo Grande, São Brás, São Luís do Quitunde, Traipu, União dos Palmares, São José da Laje, Barra de São Miguel, Campestre, Santana do Mundaú, Palestina.
Classe IV	Baixa	23	22,55%	Barra de Santo Antônio, Coqueiro Seco, Japaratinga, Maceió, Maragogi, Marechal Deodoro, Messias, Murici, Pariconha, Paripueira, Pilar, Porto de Pedras, Rio Largo, Santa Luzia do Norte, São Miguel dos Milagres, Satuba, Jacuípe, Jundiá, Tanque d'Arca, Olho d'Água Grande, Paulo Jacinto, São Miguel dos

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/06/2026 - **Accepted:** 08/07/2026
Vol: 13.15
DOI: 10.66104/tmrp5347
Pages: 1-19

				Campos, Roteiro.
TOTAL	**-**	**102**	**100,00%**	**102 Municípios do Estado de Alagoas.**

Fonte: Dados da pesquisa compilados e adaptados (2026).

A estratificação evidenciada na Tabela 4 expõe uma marcante heterogeneidade na distribuição das pressões produtivas pelo território alagoano. alagoano. Essa configuração espacial é detalhada na Tabela 5, que sintetiza, por classe de município, os percentuais de cobertura vegetal nativa, assistência técnica e proximidade de Unidades de Conservação.

Tabela 5: Matriz de Correlação do IDA e Indicadores Socioespaciais por Faixa de Criticidade.

Faixa do IDA	Cobertura Vegetal Nativa (%)	Sem Assistência Técnica (%)	Presença de UCs	Contexto da Estrutura Socioespacial Histórica
Extrema	< 8%	> 85%	Ausente	Regiões de minifúndios descapitalizados ou áreas sob forte pressão de expansão urbana.
Forte	8% a 15%	70% a 85%	Escassa / Fragmentada	Expansão da pecuária bovina tradicional e pressão sobre recursos hídricos.
Moderada	15% a 25%	45% a 70%	Indireta	Monocultura secular da cana-de-açúcar e uso intensivo do solo (Zona da Mata).
Baixa	> 25%	< 45%	Consolidada	Enclaves de preservação legal e dinamismo do setor de serviços e ecoturismo.

Fonte: Dados da pesquisa adaptados (2026).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/06/2026 - **Accepted:** 08/07/2026
Vol: 13.15
DOI: 10.66104/tmrp5347
Pages: 1-19

4.2. O núcleo de intensidade extrema: o estresse produtivo no Semiárido

Conforme a estratificação disposta na Tabela 4, o agrupamento de Intensidade Extrema (Classe I) compreende 19 municípios situados no semiárido alagoano, mapeados espacialmente sob o padrão de aglomeração Alto-Alto no teste LISA (Tabela 2).

O perfil desse estrato evidencia como as dinâmicas de uso do solo na pecuária leiteira tradicional e na agricultura de sequeiro agem sob limitações tecnológicas e baixa densidade de capital. O pastejo contínuo em áreas de pastagens integradas ao bioma Caatinga tende a atuar além da capacidade de suporte local, acelerando a compactação mecânica do solo e reduzindo a resiliência biótica regional.

Na perspectiva da Economia Ecológica, essa configuração espacial indica que a extração de valor econômico de curto prazo associa-se à depreciação de recursos ecológicos que tendem a não ser mensurados pelas contabilidades de mercado convencionais.

A escassez de suporte técnico regular correlaciona-se à adoção de práticas de manejo de baixo custo e alta pressão sobre a terra, condicionando o recuo demográfico no campo e a supressão de cobertura vegetal nativa observados nas localidades desse estrato (Tabela 5).

4.3. Defasagem forte: o cinturão da pecuária tradicional e escassez de suporte técnico

O cinturão de Defasagem Forte que integra o Agreste, o Alto Sertão e o Litoral Sul evidencia o impacto da exclusão técnica associada (Tabela 5) a passivos latifundiários históricos. Nos limites do semiárido, os elevados escores do IDA correlacionam-se diretamente ao fato de mais de 70% dos estabelecimentos operarem sem assistência técnica regular. Na ausência de aportes conservacionistas, o manejo ocorre no uso tradicional do fogo para limpeza e cultivos de subsistência de baixa eficiência, circuito que acelera a degradação do solo e da vegetação.

Em contraste, no Litoral Sul, marcado pelo dinamismo agroindustrial sucroenergético, a defasagem forte assume contornos associados a pressões históricas consolidadas. Embora esses municípios exibam rendimentos por hectare (X_2) superiores à média do Estado, o custo ecológico associado ao desmatamento secular para expansão de plantios e o uso intensivo de insumos químicos resultaram na perda de complexidade biológica dos solos e na fragilização de corpos d'água superficiais. Configura-se, nesses enclaves de alta capitalização, o fenômeno de depreciação contínua do capital natural que os indicadores contábeis tradicionais do setor tendem a omitir (Romeiro, 2019).

Esse cenário converge com os pressupostos analíticos de Andrade (2001), o qual discute como a especialização agroindustrial e o avanço secular de monoculturas extensivas no Nordeste historicamente subestimaram os passivos socioambientais gerados pela supressão e fragmentação dos ecossistemas florestais nativos.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/06/2026 - **Accepted:** 08/07/2026
Vol: 13.15
DOI: 10.66104/tmrp5347
Pages: 1-19

4.4. Defasagem moderada e baixa: faixas de transição e enclaves de preservação legal

A Classe III (Defasagem Moderada) atua predominantemente como uma zona de transição e amortecimento regional. Nesse estrato, que abrange polos dinâmicos como Arapiraca e municípios do Médio Sertão, as defasagens são tracionadas pela dependência de insumos químicos e pela persistência de técnicas tradicionais de manejo. O desgaste observado nessas localidades sinaliza que a expansão das fronteiras econômicas opera próximos aos limites biofísicos da base de recursos regional, exigindo estratégias de transição agroecológica para mitigar os passivos gerados pela saturação do solo.

Por sua vez, as municipalidades classificadas no estrato de Baixa Defasagem (Classe IV) evidenciam dois cenários estruturais distintos no Estado. De um lado, encontram-se as faixas litorâneas e metropolitanas, cujos parâmetros do LISA dispostos na Tabela 2 validaram a consolidação de agrupamentos estáveis do tipo Baixo-Baixo, impulsionados pela vigência consolidada de Unidades de Conservação - UCs (Tabela 5) que contêm legalmente os fatores de desmatamento da Mata Atlântica.

De outro lado, situam-se enclaves agrícolas caracterizados por intensa capitalização e modernização tecnológica. Nestes espaços, a elevada eficiência produtiva por unidade de área atenua temporariamente a necessidade de expansão horizontal sobre os remanescentes florestais, embora demande monitoramento quanto aos impactos biogeoquímicos de longo prazo.

4.5. Limitações e Escopo Potencial do Modelo Multivariado

É importante informar que sendo um construto sintético baseado em dados censitários, o Índice de Defasagem Agroambiental apresenta limitações inerentes à natureza estática das fontes secundárias oficiais. O cruzamento analítico entre o Censo Agropecuário de 2017 e o Censo Demográfico de 2022 apoia-se na inércia estrutural característica das dinâmicas fundiárias e de uso da terra no Nordeste, cujas transformações operam em escalas de médio e longo prazo. Contudo, o índice captura um panorama sincrônico, impossibilitando a mensuração imediata de flutuações climáticas anuais ou de mudanças repentinas na cobertura vegetal provocadas por eventos extremos recentes.

Diante disso, a modelagem fatorial não assume um caráter de nexo causal determinista, atuando como uma ferramenta de diagnóstico e ordenamento territorial. A identificação de dependência geográfica via autocorrelação espacial válida a utilidade do IDA para subsidiar políticas públicas integradas e transfronteiriças, superando o isolamento administrativo municipal.

A inclusão de indicadores dinâmicos de sensoriamento remoto e o emprego de modelos de econometria espacial confirmatória constituem desdobramentos necessários para futuras investigações destinadas a monitorar de forma contínua a evolução temporal das defasagens rurais no estado.

5. Conclusões

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/06/2026 - **Accepted:** 08/07/2026
Vol: 13.15
DOI: 10.66104/tmrp5347
Pages: 1-19

As evidências empíricas obtidas confirmam a viabilidade do IDA como uma métrica sintética de defasagem agroambiental relativa no meio rural alagoano. Ao concentrar a maior parte da variância comum no primeiro componente principal e demonstrar dependência geográfica validada pelo Índice de Moran Global ($I = +0,482$; $p < 0,001$) e pelos clusters Alto-Alto e Baixo-Baixo do LISA, o modelo comprova que o comprometimento da base de recursos naturais apresenta efeitos de transbordamento (*spillovers*) regionalizados no território.

O padrão espacial identificado expõe assimetrias na resiliência ecossistêmica, sugerindo a necessidade de expandir a cobertura da assistência técnica voltada ao manejo conservacionista, consolidar o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) estadual e implementar mecanismos regulatórios de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), focando prioritariamente nos núcleos de vulnerabilidade do semiárido.

Por fim, reconhecendo o caráter sincrônico e censitário desta modelagem, recomenda-se que investigações futuras incorporem modelos confirmatórios de econometria espacial associados a indicadores dinâmicos de sensoriamento remoto, a exemplo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Essa abordagem permitirá monitorar e quantificar, de forma contínua, a evolução temporal das defasagens rurais frente às transformações climáticas regionais.

6. Referências

ALMEIDA, M. G. de; CARVALHO, A. V. de; FEITOSA, J. R. P. Crescimento econômico e degradação do meio ambiente: uma discussão a partir da curva de Kuznets ambiental para o Estado do Pará de 2002 a 2018. **REMUNOM - Revista Multidisciplinar do Nordeste Oriental**, v. 21, n. 3, p. 1-34, 2025. DOI: 10.61164/r8z1kx87.

ANDRADE, M. C. de. **A terra e o homem no Nordeste**: contribuição ao estudo da questão agrária no Nordeste. 7. ed. São Paulo: Cortez, 2001.

COSTANZA, R. *et al*. Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go? **Ecological Economics**, v. 135, p. 1-16, 2017.

FERREIRA, S. L. M. *et al*. Aptidão agrícola e vulnerabilidade ambiental no Baixo Tocantins (PA): análise integrada através de variáveis edafoclimáticas. **REMUNOM - Revista Multidisciplinar do Nordeste Oriental**, v. 19, n. 2, p. 1-18, 2025. DOI: 10.61164/vvc7nh34.

FREYRE, G. **Nordeste**: aspectos da influência da cana-de-açúcar sobre a vida e a paisagem do Nordeste do Brasil. 8. ed. Rio de Janeiro: Global Editora, 2019.

HAIR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 8. ed. Porto Alegre: Bookman, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário 2017**: resultados definitivos. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br. Acesso em: 15 mar. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2022**: agregados por setores censitários - resultados do universo. Rio

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/06/2026 - **Accepted:** 08/07/2026
Vol: 13.15
DOI: 10.66104/tmrp5347
Pages: 1-19

de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br. Acesso em: 15 mar. 2026.

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

OECD/EUROPEAN UNION/EC-JRC. **Handbook on Constructing Composite Indicators**: Methodology and User Guide. Paris: OECD Publishing, 2008.

ROMEIRO, A. R. Economia ecológica versus economia ambiental: uma abordagem termodinâmica e biofísica da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 33, n. 96, p. 101-122, 2019.

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

SOUZA, R. M. de et al. Processos de desertificação e vulnerabilidade hidroclimática na Bacia Leiteira alagoana. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 4, p. 1712-1730, 2020.