

A INFLUÊNCIA DO CRÉDITO RURAL NA CONSERVAÇÃO DO BIOMA AMAZÔNICO *THE INFLUENCE OF RURAL CREDIT ON THE CONSERVATION OF THE AMAZON BIOME*

Paulo Guilherme Alarcon Fernandes
Professor doutor colaborador da Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR)
pauloguilhermealarc2@gmail.com

José Luiz Parré
Professor Titular da Universidade Estadual de Maringá (UEM)
jlparre@uem.br

GT04. Questão ambiental, agroecologia e sustentabilidade

Resumo

O avanço do desmatamento no bioma amazônico preocupa a sociedade contemporânea, ao passo que o crédito rural desempenha a função estimular as atividades agropecuárias da região. Recentemente, esforços têm sido realizados para conter o avanço sobre a floresta, como a restrição ao acesso de crédito rural. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi identificar os principais determinantes do desflorestamento e analisar os efeitos das medidas restritivas ao acesso do crédito rural no bioma amazônico, além de investigar como essas linhas de financiamento podem incentivar práticas ligadas à sustentabilidade. Para tal, foi aplicado o método de Regressão Ponderada Geograficamente (RPG) no ano de 2021. Foi encontrado que em grande parte dos municípios, a relação entre a taxa de desmatamento e os valores contratados mediante o crédito rural é negativa enquanto para a quantidade de bovinos, positiva. Desta forma, a variável contribui para a preservação florestal da região, acusando a eficiência da Resolução 3.545, de 29 de fevereiro de 2008 que limitou os recursos financeiros da agropecuária ligados ao desflorestamento e foi revogada em 1º de maio de 2021. O achado está ligado ao maior emprego de escopos produtivos que combinam os conceitos de sustentabilidade. Como possível extensão do estudo, recomenda-se ampliar o espaço temporal para possibilitar a captação de efeitos que ocorrem ao longo do tempo.

Palavras-chave: Desmatamento; Atividades agropecuárias; Sustentabilidade; Recursos financeiros; Agropecuária.

Abstract

The advancement of deforestation in the Amazon biome is a concern for contemporary society, while rural credit plays the role of stimulating agricultural and livestock activities in the region. Recently, efforts have been made to curb the expansion into the forest, such as restrictions on access to rural credit. In this context, the objective of this study was to identify the main determinants of deforestation and analyze the effects of restrictive measures on access to rural credit in the Amazon biome, as well as to investigate how these lines of financing can encourage practices related to sustainability. To this end, the Geographically Weighted Regression (GWR) method was applied for the year 2021. It was found that in a large portion of the municipalities, the relationship between the deforestation rate and the amounts contracted through rural credit is negative, while for the number of cattle, it is positive. Thus, the variable contributes to the forest preservation of the region, indicating the effectiveness of Resolution 3,545 of February 29, 2008, which limited financial resources for agriculture and livestock linked to deforestation and was repealed on May 1, 2021. This finding is associated with the increased use of productive scopes that incorporate sustainability concepts. As a possible extension of the study, it is recommended to expand the time frame in order to capture effects that occur over time.

Key words: Deforestation; Agricultural and livestock activities; Sustainability; Financial resources; Agriculture and livestock.

1. Introdução

O desmatamento na Amazônia, promovido pela agropecuária é uma objeção ambiental e socioeconômico. Em 2021, o estado do Pará perdeu 5.238 km² de floresta, impactando a biodiversidade, a qualidade da água e contribuindo para as mudanças climáticas. Apesar do crescimento econômico gerado pela agropecuária, seus impactos ambientais demandam medidas

mitigadoras. À vista disso, políticas públicas e instrumentos financeiros, como o crédito rural, têm sido empregados para estimular práticas sustentáveis. A Resolução 3.545, de 29 de fevereiro de 2008 (Brasil, 2008), estabeleceu critérios ambientais para a concessão de crédito rural na Amazônia, buscando reduzir o desmatamento. Contudo, sua revogação em maio de 2021 gera questionamentos sobre os impactos dessa medida e alternativas para equilibrar desenvolvimento econômico e conservação ambiental (Brasil, 2008; INPE, 2022).

A teoria de Coase (1960), oferece uma perspectiva para compreender essa dinâmica. Os problemas de externalidades, como poluição ou desmatamento, não devem ser vistos apenas como ações prejudiciais de um agente a outro, mas como um problema de escolha entre custos recíprocos. No caso amazônico, a agropecuária impulsiona a economia, mas gera custos ambientais. Se os direitos de propriedade e as transações de mercado fossem plenamente eficientes e sem custos, os agentes econômicos poderiam negociar soluções sustentáveis sem necessidade de regulação estatal. Porém, a ausência de governança adequada, fiscalização insuficiente e barreiras institucionais impedem que tais negociações aconteçam de maneira eficiente. Portanto, a revogação da Resolução 3.545, de 29 de fevereiro de 2008 (Brasil, 2008), pode ter reduzido a capacidade de internalizar esses custos ambientais, tornando a intervenção regulatória necessária para evitar que o crédito rural atue como um incentivo ao desmatamento.

O desmatamento do bioma amazônico é discutido na comunidade científica, que aponta riscos ecossistêmicos e os efeitos não sustentáveis dessa prática. Além da extração ilegal de madeira, fatores como os preços agrícolas e as políticas públicas influenciam as taxas de desmatamento. Apesar da redução da biodiversidade, a agropecuária proporciona elevação da renda local. Para solucionar essa dicotomia, propõem-se meios produtivos sustentáveis, como o extrativismo orgânico, que permite a exploração dos recursos naturais sem comprometer a floresta (Celentano *et al.*, 2018; Ferreira e Coelho, 2015; Oliveira *et al.*, 2011; Ticktin, 2004).

Nesse sentido, diferentes governos adotam estratégias diversas para conter o desmatamento. Enquanto políticas ambientais e Organizações Não Governamentais (ONGs) contribuem para a redução do desflorestamento, governos liberais tendem a incentivar a exploração ao garantir direitos individuais sobre as terras. Independentemente da política ambiental adotada, há esforços globais para preservar as florestas devido aos efeitos negativos do desmatamento, como o aumento da temperatura global. Entretanto, análises sobre os impactos do desmatamento podem ser distorcidas quando não consideram fatores como densidade populacional, área de floresta remanescente e preços internacionais do setor agropecuário (Wehkamp *et al.*, 2018; Motel, Pirard e Combes, 2009).

O crédito rural pode impulsionar o desmatamento ao viabilizar a conversão da vegetação nativa em áreas agropecuárias. Para conter esse avanço, a Resolução 3.545, de 29 de fevereiro de 2008 (Brasil, 2008), determinava requisitos ambientais para a concessão de empréstimos, incentivando práticas sustentáveis, como a recuperação de pastagens degradadas. Não obstante, sua revogação em 2021 levanta preocupações sobre a flexibilização do acesso ao crédito e seus impactos na preservação da floresta (Brasil, 2008; Fernandes e Rondina Neto, 2022; Assunção *et al.*, 2020; Feltran-Barbieri e Féres, 2021).

É relevante ressaltar que, mesmo com incentivos legais, o desenvolvimento sustentável pode acarretar custos, incluindo a necessidade de abrir novas estradas, estabelecer normas sobre direito de propriedade e crescimento populacional. Apesar dos desafios associados a tais questões, o crescimento econômico sustentável pode ser alcançado. O escopo produtivo orgânico, por exemplo, demonstra como é possível unir prosperidade financeira com conservação ambiental (Jusys, 2016; Saraiva *et al.*, 2020).

Partindo da premissa de que o crédito rural contribui positivamente para a promoção da agropecuária sustentável no bioma amazônico, esta investigação analisou seus impactos na sustentabilidade, examinando a relação entre a concessão de crédito e a taxa de desmatamento após a revogação da Resolução 3.545, de 29 de fevereiro de 2008 (Brasil, 2008). Para isso, foi empregada a Regressão Ponderada Geograficamente (RPG) a fim de avaliar os efeitos locais do crédito rural em cada município. O estudo propôs estratégias para equilibrar o crescimento econômico e a conservação

ambiental, incentivando o financiamento de práticas sustentáveis, como a recuperação de pastagens e a agricultura orgânica.

A investigação está estruturada em cinco etapas. A primeira consiste na introdução. Em seguida, apresenta-se a fundamentação teórica, baseada em uma revisão de literatura. Na terceira seção, são descritos o material e métodos utilizados. A discussão dos resultados é abordada na quarta etapa, e, por fim, o trabalho é encerrado com as considerações finais e recomendações para possíveis extensões desta pesquisa no futuro.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Há registros de estudos sobre economia e sustentabilidade que abordam o desenvolvimento econômico aliado à preservação ambiental, buscando explorar a formulação de políticas públicas que conciliem ambos. No Brasil, o avanço agropecuário entra em conflito com a demanda social pela preservação do bioma amazônico. Nessa mesma lógica, compreender fatores como governança, comércio e recursos financeiros auxilia na apreciação desse tema. Por esse motivo, a revisão de literatura e as aplicações realizadas pelos pesquisadores sobre a temática estão expostas nas próximas subseções. Inicialmente, apresentam-se as contribuições em torno do tema e, em seguida, as aplicações utilizadas para a obtenção desses achados.

2.1 Economia e Sustentabilidade

A literatura que aborda a relação entre governança e redução do desflorestamento apresenta resultados diversos, incluindo achados positivos, inconclusivos e negativos. Em um estudo conduzido por Wehkamp *et al.* (2018), por exemplo, os pesquisadores investigaram o nível de governança e as medidas específicas adotadas pelos governos. Os autores identificaram que as políticas de deflorestamento mudam de acordo com o tipo de governo. Esse achado evidenciou diferenças na forma como os agentes centrais conduzem a administração pública, sugerindo que os contextos políticos podem influenciar os resultados ambientais.

A governança, contudo, pode impactar não apenas o desmatamento, mas também as políticas de comércio exterior. No contexto brasileiro, o país se destaca como um dos maiores produtores e exportadores mundiais de carne bovina. A atividade de abate de gado está diretamente atrelada aos preços internacionais, de modo que o aumento desses preços estimula a expansão do rebanho no país. Conforme apontado por Zu Ermgassen *et al.* (2020), as exportações brasileiras de carne bovina figuram entre os principais vetores do desmatamento da Amazônia. A interação entre fatores econômicos, ambientais e comerciais, portanto, ressalta a necessidade de abordagens integradas para enfrentar as questões associados à produção agropecuária e ao comércio internacional.

Entre os fatores que podem ocasionar o desflorestamento, a agricultura se destaca como um dos principais. Nos países em desenvolvimento, o aumento da demanda por produtos agropecuários é frequentemente visto como uma oportunidade de gerar mais divisas. Nesse cenário, áreas de mata nativa, como a Amazônia, são visadas para expansão da produção agrícola. Embora existam esforços para manter a mata virgem, condições econômicas desencorajam a imposição de restrições às atividades rurais, evidenciando os obstáculos de conciliar a preservação ambiental com a geração de renda (Leblois, Damette e Wolfersberger, 2017).

Sob esse prisma, o estudo de Pfaff *et al.* (2015) discute a associação entre desenvolvimento econômico e a pressão sobre o uso da terra, enfatizando que áreas protegidas enfrentam menor incentivo ao desmatamento em virtude das legislações que as regem. Ao mesmo tempo, áreas próximas a rodovias e centros urbanos se apresentam mais suscetíveis à exploração. Comumente, as localidades onde o transporte é facilitado e menos dispendioso acabam sendo as primeiras a sofrerem degradação (Souza-Rodrigues, 2019). Nesse sentido,

Souza-Rodrigues (2019) destaca a função de políticas que imponham restrições ao uso da terra, tais como a seleção de pontos de mata fechada para facilitar ações de controle e fiscalização. Portanto, ainda que as medidas regulatórias voltadas à sustentabilidade e à mitigação de impactos ambientais decorrentes do desenvolvimento econômico mostrem eficácia, elas nem sempre se refletem plenamente na realidade.

A questão da mudança climática, uma das preocupações ligadas ao desmatamento, tem atraído atenção mundial. No Brasil, as alterações na floresta amazônica afetam diretamente a qualidade de vida da população, conforme sinalizado por Balboni *et al.* (2023). Esses autores enfatizaram que o desflorestamento em países em desenvolvimento, juntamente com externalidades como o aumento da poluição e a redução do bem-estar social, adquiriu relevância na literatura econômica. Um exemplo pode ser observado no estudo de Prem, Saavedra e Vargas (2020), segundo o qual o fim da guerra na Colômbia favoreceu a redução do desflorestamento na região amazônica do país, evidenciando as interações socioeconômicas, políticas e ambientais inerentes às florestas tropicais.

Desta maneira, o panorama da agricultura brasileira, predominantemente controlada por corporações multinacionais, apresenta elevada concentração de mercado em poucas empresas. Como consequência, há uma distribuição desigual do crédito rural não direcionado, com apenas uma pequena parcela destinada às famílias rurais, que costumam promover práticas de cultivo mais sustentáveis. Desse modo, a agroecologia surge como alternativa às atividades agropecuárias que não demandam desflorestamento, tal como salientam Santos *et al.* (2014). Ademais, Medina e Santos (2017) apontaram que menos de 20% do crédito rural contratado alcança as famílias rurais, o que restringe a adoção de métodos mais sustentáveis em áreas de desmatamento e expõe a carência de ações políticas focadas a esse grupo. Por fim, reforça-se a possibilidade de evitar ou diminuir o desflorestamento por meio do incentivo, via crédito, aos participantes da agricultura familiar, contribuindo para a conservação ambiental e o desenvolvimento econômico de forma equilibrada.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Nesta etapa, argumenta-se em torno dos materiais empregados nessa pesquisa como as variáveis que compõem a equação econômica base, as suas respectivas fontes e unidades de medida. Adicionalmente, o motivo da escolha do regressor e dos regressores também foi explicado. Além disso, o modelo econométrico espacial decomposto completa a seção como o método aderente ao objetivo e aplicado aos dados.

3.1 Análise da situação do desmatamento na Amazônia

Para esta pesquisa, foram selecionados os 559 municípios que compõem o bioma amazônico, como indicado na Figura 1. Esses municípios estão distribuídos nos estados do Acre, Amazonas, Roraima, Rondônia, Mato Grosso, Pará, Amapá, Maranhão e Tocantins. Destacando que, devido à presença do bioma do cerrado nos estados do Maranhão e Tocantins, e a cobertura do estado do Mato Grosso em partes da Amazônia, do Cerrado e do Pantanal, algumas áreas destes três estados não foram incluídas no estudo.

Figura 1. Municípios inseridos no bioma amazônico



Fonte: realizado pelo autor com base nos dados do IBGE.

A coleta dos dados foi realizada de diversas fontes com unidades de medida diferentes, conforme descrito na Tabela 1. As variáveis monetárias tiveram seus valores ajustados para dezembro de 2021 com o auxílio do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Para a exposição de informações e aplicação de métodos, foram usados programas de acesso livre, tais como Geoda, QGIS e R.

Ainda na Tabela 1, os valores das variáveis explicativas de cada município foram divididos pelo número de habitantes, visando remover algum possível viés decorrente do tamanho geográfico da localidade. Porém, a taxa de desmatamento florestal foi obtida considerando a variação percentual do desmatamento do bioma amazônico entre 2020 e 2021. Além disso, coletou-se as informações dos regressores para o ano de 2021 por representar o momento em que a Resolução 3.545, de 29 de fevereiro de 2008 (Brasil, 2008), foi revogada. Por fim, com o intuito de reduzir a variância das observações, aplicou-se o logaritmo natural em todos os termos independentes.

Tabela 1. Descrição das variáveis selecionadas para o modelo econômico

Variável	Descrição	Medida	Fonte
des	Taxa da área desflorestada	%	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
piba	Produto Interno Bruto da agropecuária por município	R\$	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)
cred	Crédito contratado para atividades rurais de custeio e investimento	R\$	Banco Central do Brasil (BACEN)

milho	Milho colhido por município	Tonelada	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)
soja	Soja colhida por município	Tonelada	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)
gado	Cabeças de gado por município	Unidade	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)
flo	Área de floresta por município	Km ²	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
nflo	Área de não-floresta por município	Km ²	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
hid	Área de superfície coberta por água por município	Km ²	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Nota: realizado pelos autores.

A taxa de desflorestamento, *des*, reflete o espaço em quilômetros onde ocorreu a remoção da vegetação natural. Esta foi selecionada como o termo dependente, porque se visou identificar os fatores que influenciaram a redução da floresta amazônica, similar ao regressor utilizado por Santos *et al.* (2021). Na sequência, a primeira variável explicativa incluída foi *piba*, que indica o Produto Interno Bruto (PIB) agropecuário de cada município selecionado, expressando o valor total em reais gerado pela atividade agrícola e pecuária na região. Acreditou-se que seu efeito fosse positivo, dado que a agricultura convencional demanda espaço para suas operações, como indicado por Trigueiro, Nabout e Tassarolo (2020), que usaram o PIB, e Santos *et al.* (2021), que empregaram o PIB ponderado pela população.

O crédito rural, *cred*, é um regressor bastante utilizado na literatura, adotado também por Santos *et al.* (2021), Trigueiro, Nabout e Tassarolo (2020), e Assunção, Gandour, Rocha e Rocha (2020). Esperou-se que os valores monetários, obtidos da Estatística Bancária Mensal por município (ESTBAN) do BACEN, direcionados às atividades rurais estimulassem o desmatamento, pois a agropecuária é conhecida por utilizar recursos naturais. Portanto, uma relação positiva entre o crédito rural e o desmatamento no bioma amazônico foi pressuposta. Tanto *milho*, toneladas de milho, quanto *soja*, toneladas de soja, são termos incluídos por representarem a agricultura e estarem presentes na região. Dado que ambas exigem espaço para o cultivo, um efeito positivo no desmatamento foi aguardado. Enquanto Santos *et al.* (2021) e Trigueiro, Nabout e Tassarolo (2020) consideraram os produtos agrícolas de maneira agregada, nesta investigação se optou por separar as duas principais culturas, buscando captar efeitos distintos.

O número de cabeças de gado, *gado*, é outro termo independente comum na literatura. A criação de gado é estimulada pelos preços internacionais e pela desvalorização cambial, o que beneficia as exportações. Isso proporciona aos agropecuaristas o incentivo de expandir seus rebanhos em busca de maior renda, tornando a região da Amazônia um alvo atrativo. A quantidade de cabeças de gado foi incluída em outras pesquisas como possível fator causador de desflorestamento, incluindo Assunção, Gandour, Rocha e Rocha (2020), Feltran-Barbieri e Féres (2021), Trigueiro, Nabout e Tassarolo (2020), e Santos *et al.* (2021), demonstrando sua relevância nesta abordagem.

Novidades, as variáveis, *flo*, área de floresta, *nflo*, área de não-floresta, e *hid*, área coberta por água, não foram encontradas na literatura base dessa pesquisa. A partir disto, antecipou-se um impacto positivo para *flo*, considerando que uma maior extensão de floresta poderia sugerir maior potencial de desmatamento. Em contrapartida, previu-se um efeito oposto para *nflo*, partindo da suposição de que uma menor quantidade de árvores disponíveis resultaria em um nível inferior de desmatamento. Por fim, relação negativa entre *hid* e *des* foi aguardada,

seguindo o mesmo raciocínio de *nflo*, uma vez que maior cobertura de água pode limitar a capacidade de uso da terra para a agropecuária. O propósito ao observar *hid* era de descobrir qualquer relação entre a área percentual desmatada e os recursos hídricos dos municípios, como lagos e rios.

3.2 Teoria e metodologia da Regressão Ponderada Geograficamente

Como se desejou verificar as causas do desmatamento do bioma amazônico por município com foco nas variáveis selecionadas, optou-se pelo método da RPG para compreender a dinâmica do desflorestamento. O conceito da RPG foi inicialmente introduzido por Goodchild e Longley (1987). Nessa ocasião, os estudiosos discutiram o potencial de utilizar sistemas de informações geográficas em dados espaciais e enfatizaram a possível heterogeneidade das regressões, delineando os princípios básicos da RPG e suas aplicações.

A RPG foi definida por Fotheringham, Brunson e Charlton (2002) e Brunson, Fotheringham e Charlton (1996). Para cada localização específica i , o modelo da RPG pode ser escrito como na Eq. (1):

$$y_i = \beta_{0i} + \sum_{j=1}^p \beta_{ji} x_{ji} + e_i \quad (1)$$

em que: y_i é a variável de resposta para a localização i , β_{0i} é o intercepto que varia espacialmente em i , β_{ji} é o coeficiente de regressão da variável preditora j na localização i , x_{ji} é o valor da variável preditora j na localização i e e_i é o termo de erro para a localização i .

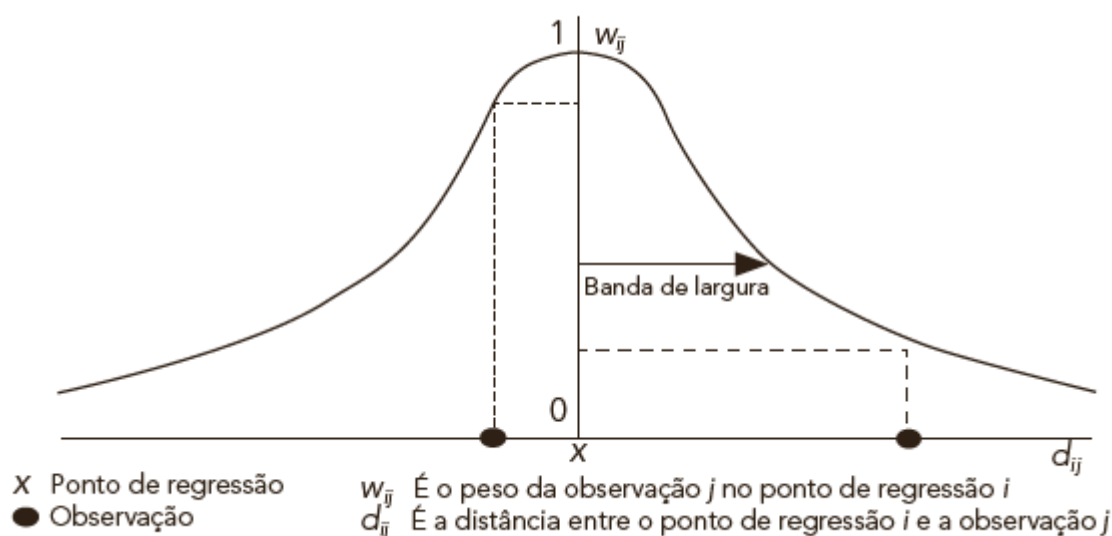
Para Almeida (2012) e Marconato, Parré e Coelho (2020), a RPG cria uma sucessão de regressões lineares, estimadas para cada localidade, utilizando subamostras ponderadas pela distância. São incluídos pesos às observações com base em um ponto de referência conhecido como ponto de calibragem, sendo que quanto mais próxima dessa referência for a observação, maior é sua importância. A partir da Eq. (2), pode-se estimar os coeficientes locais como:

$$y_i = \beta_0(u_i v_i) + \sum_{j=1}^p \beta_{ji}(u_i v_i) x_{ji} + e_i \quad (2)$$

em que $(u_i v_i)$ representam as coordenadas do ponto i no espaço, e $\beta_{ji}(u_i v_i)$, o coeficiente local i . E o termo de erro, e_i , segue uma distribuição normal com média zero e variância constante. Desta forma, a RPG gera um coeficiente para cada região i a partir da distância do ponto focal que se baseia a regressão.

Característica distinta da RPG, a largura da banda foca na suavização dos coeficientes locais, quanto maior for a banda, maior será a suavização dos coeficientes locais, porque mais observações serão selecionadas em torno do ponto de calibragem. Ou seja, quanto menor for a banda, maior será a heterogeneidade nos resultados, pois menos observações serão utilizadas em torno da referência, a Figura 2 representa essa ideia.

Figura 2. Representação da largura da banda de uma RPG



Fonte: adaptado pelos autores com base em Fotheringham *et al.* (2002).

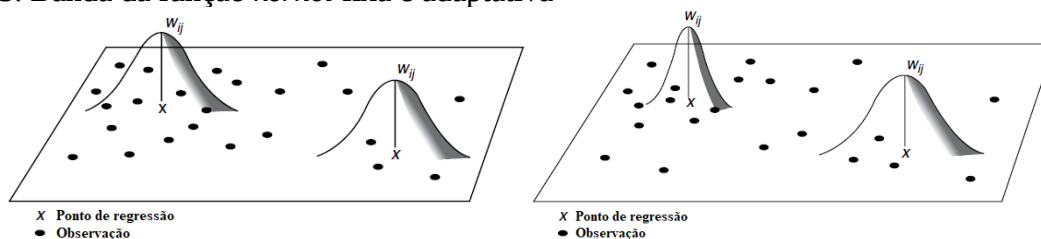
A técnica utiliza uma função de ponderação usada para atribuir pesos mais altos às observações próximas e pesos mais baixos às observações distantes. O peso atribuído a cada observação é tipicamente definido usando uma função *kernel*, a observação j em relação à localização i é dado pela Eq. (3):

$$W_{ij} = K\left(\frac{d_{ij}}{h_i}\right) \quad (3)$$

em que $K(.)$ é a função de *kernel*, d_{ij} é a distância entre a localização i e a observação j , h_i é o parâmetro de largura de banda para a localização i que determina o tamanho do município local.

Podendo assumir os tipos de banda fixa ou adaptativa, deve-se selecionar a classe mais aderente aos dados. Em razão disso, a função *kernel* do tipo fixo pode ser redundante a depender da subamostra, são comumente aplicados em regiões densas em dados, considerando o elevado número de observações para a calibragem. O *kernel* fixo é ineficiente em regiões em que os dados são escassos, podendo ser menor que o necessário para a calibração dos coeficientes locais. De outra maneira, o *kernel* adaptativo expande as áreas em que as observações são escassas e se encolhe nas áreas em que as observações são abundantes, isto é, em regiões de alta densidade de dados. A diferença entre os tipos de banda é mostrada na Figura 3 (Fotheringham *et al.* 2002).

Figura 3. Banda da função *kernel* fixa e adaptativa



Nota: adaptado pelo autor com base em Fotheringham *et al.* (2002).

A largura de banda h_i é essencial na RPG, pois determina a extensão espacial do local para cada observação. Alguns métodos podem ser usados para selecionar uma largura de banda apropriada, como o Critério de Informação de Akaike (AIC) ou a Validação Cruzada (VC). O procedimento é estimado separadamente para cada localização, permitindo que os coeficientes de regressão variem espacialmente, oferecendo informações sobre como as relações entre as variáveis mudam no espaço de acordo com o recorte selecionado. Então, os modelos locais são estimados com base na largura de banda escolhida e na função de ponderação espacial.

3.3 Modelagem econométrica

Gerando uma sequência de regressões lineares, a RPG estima cada área empregando subamostras ponderadas pela distância, Almeida (2012). Afirma-se que a atribuição de pesos às observações individuais ocorre a partir de um ponto focal e a influência das observações reduz quanto mais distante estiverem desta referência. A representação da Eq. (4) estimada:

$$\begin{aligned} des_i = & \beta_o(u_i, v_i) + \rho(u_i, v_i)des_i^* + credito\beta_1(u_i, v_i) + piba\beta_2(u_i, v_i) \\ & + milho\beta_3(u_i, v_i) + soja\beta_4(u_i, v_i) + gado\beta_5(u_i, v_i) \\ & + flo\beta_6(u_i, v_i) + nflo\beta_7(u_i, v_i) + hid\beta_8(u_i, v_i) + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (4)$$

em que o termo (u_i, v_i) representa as coordenadas no espaço da localidade i , des_i^* representa a média da taxa de desmatamento dos 10 municípios mais próximos de i , ε_i é o termo de erro aleatório e o ρ , $credito\beta_1$, $piba\beta_2$, $milho\beta_3$, $soja\beta_4$, $gado\beta_5$, $flo\beta_6$, $nflo\beta_7$ e $hid\beta_8$ são os coeficientes a serem estimados.

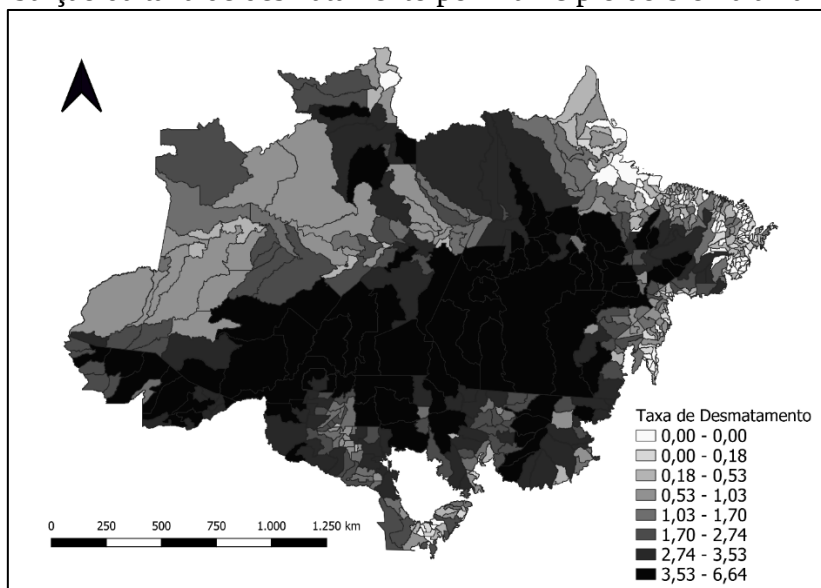
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo dos resultados do método selecionado e aplicado estão expostos e interpretados nesta parte da investigação. Adicionalmente, o debate dos achados em comparação aos da literatura base foram incluídos com o intuito de acusar e justificar suas diferenças e similaridades, além de destacar os pontos em que houve avanços científicos na temática.

4.1 Exame e aplicação de modelos espaciais

Antes da inferência estatística, precisa-se entender a dinâmica espacial do desmatamento no bioma amazônico. O regressando, a taxa de desmatamento por localidade, está exposta na Figura 4 em termos percentuais. O município de Altamira, o único na categoria com 6,64% de desflorestamento, está situado no estado do Pará e representa a maior área desflorestada. Também é possível visualizar que as regiões de maiores taxas estão concentradas nas áreas centrais do bioma amazônico, ocorrendo menor exploração da mata nas fronteiras. Segundo dados do IBGE (2023), Altamira é próspera na agropecuária e, no ano de 2021, contou com quase um milhão de cabeças de gado em seu território. Em conclusão, o agrupamento que inicia no Maranhão e Pará e vai em direção aos estados do Mato Grosso, Rondônia e Acre, é conhecido como o cinturão do desmatamento e se destaca como a área de maior nível de desflorestamento em todo o recorte (Domingues e Bermann, 2012).

Figura 4. Distribuição da taxa de desmatamento por município do bioma amazônico



Fonte: realizado pelo autor com base nos dados do INPE.

Compreendidos os focos do desflorestamento, buscou-se, por meio da RPG, verificar a significância dos termos regressores em cada município, adotando a taxa de desmatamento como dependente, uma vez que os resultados podem variar conforme a localidade. Por conseguinte, a RPG foi selecionada para explicar o grau de influência dos termos explicativos na taxa de desmatamento do bioma amazônico.

No teste que verifica a existência de autocorrelação espacial global, a hipótese nula é de aleatoriedade espacial. A partir disso, rejeitou-se a hipótese nula apontando autocorrelação espacial, Tabela 2. A verificação foi realizada a partir dos resíduos de uma regressão estimada por Máxima Verossimilhança (MV), porque, de acordo com Almeida (2012), é preferível a MV ou o Método dos Momentos Generalizados (GMM), em comparação ao método de estimação dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) quando há correlação espacial nos dados. Por fim, como o coeficiente encontrado foi de 0,5866, a autocorrelação espacial é positiva, indicando que as interações municipais acontecem de maneira positiva no contexto global.

Tabela 2. Resumo dos resultados do teste I de Moran Global

Valores	I de Moran Global	Expectativa	Variância
	0,5866***	-0,0095	0,0007

Nota: realizado pelo autor.

Legenda: “*” = significativo a 10%; “**” = significativo a 5%; “***” = significativo a 1%.

Embora parte das variáveis utilizadas neste estudo já tenha sido utilizada em outras pesquisas, ainda foi necessário verificar a qualidade destas no modelo proposto. Para tal, o Fator de Inflação de Variância (FIV), foi adotado com o intuito de identificar a presença de multicolinearidade, como apresentado na Tabela 3. Observou-se que nenhum regressor exhibe problemas de elevada colinearidade. É exaltado que os termos relacionados à quantidade produzida de milho, *milho*, e de soja, *soja*, apresentaram valores mais elevados no teste, mas não indicam problema de colinearidade.

Tabela 3. Resultados do teste FIV para multicolinearidade

Variáveis	FIV
-----------	-----

cred	1.169531
piba	1.174509
milho	5.628415
soja	5.555475
gado	1.450330
flo	1.327409
nflo	1.053562
hid	1.283648

Fonte: realizado pelo autor com base nos resultados da pesquisa.

Ainda avaliando a qualidade das variáveis estudadas, expôs-se algumas informações descritivas em logaritmo natural na Tabela 4. A amplitude, a média e o desvio padrão, acusa a qualidade dos dados para a inferência estatística que busca disponibilizar informações que representem a realidade. A boa aderência é percebida nos desvios-padrão baixos, assim como a amplitude em que, apenas no crédito rural, indicou valor máximo elevado em comparação aos outros regressores, da mesma forma que a média e o desvio padrão. A maioria dos termos mostraram valor mínimo igual a zero, isto é causado devido às suas características que não permitem valores negativos. Em conclusão, os valores revelam qualidade para a aplicação do método proposto.

Tabela 4. Análise descritiva das variáveis

Variáveis	Média	Desvio padrão	Máximo	Mínimo
des	1,5577	1,5682	6,6420	0,0000
cred	12,2700	3,2607	19,4000	0,0000
piba	4,0098	2,3857	12,118	0,2427
milho	0,8502	1,2482	5,8391	0,0000
soja	0,8087	1,3991	5,4304	0,0000
gado	2,9706	1,5605	6,7870	0,0002
flo	0,2604	0,5116	4,9151	0,0000
nflo	0,0691	0,1247	0,6792	0,0000
hid	0,0327	0,0884	1,2886	0,0000

Nota: realizado pelo autor com base nos resultados da pesquisa.

Na sequência, após a análise descritiva, estimou-se o modelo linear por MV, Tabela 5. Nesse contexto, o crédito rural, *cred*, mostrou-se associado negativamente ao desmatamento, o que sugere que, no período e região de análise, o uso de recursos financeiros não contribuiu para o desflorestamento. Esse resultado ratifica os efeitos da Resolução 3.545, de 29 de fevereiro de 2008 (Brasil, 2008), e corrobora os achados de Assunção, Gandour, Rocha e Rocha (2020). Contudo, a *soja* apresentou impacto positivo, assim como a área coberta por floresta, *flo*. Tais resultados eram esperados, pois o cultivo de soja pode demandar expansão de áreas para aumento produtivo e, no caso de *flo*, quanto maior a quantidade de floresta disponível, maior se torna a viabilidade de retirada de mata para atividades ligadas ao campo. Em contrapartida, o contrário ocorre com *nflo*, quanto menor for o espaço para desmatar, menor tende a ser o estímulo para o desmate. Da mesma forma, a área coberta por água, fundamentada na Lei n. 12.651/2012, Brasil (2012), também funciona como limitador do desflorestamento; quanto maior for o território de rios e lagos, *hid*, menor será a superfície passível de conversão florestal. Em suma, os resultados corroboram a literatura existente.

Tabela 5. Resumo dos resultados do modelo global estimado por MV

Variáveis	Coeficiente
Intercepto	1,8496***
cred	-0,5772***
piba	0,0194
milho	-0,0511
soja	0,1793*
gado	0,0495
flo	1,2319***
nflo	-1,2421**
hid	-4,6337***

Fonte: realizado pelo autor com base nos resultados da pesquisa.

Legenda: “***” = significância de 1%, “**” = significância de 5%, “*” = significância de 10%.

Depois da estimação por MV, determinou-se a quantidade ótima de vizinhos para cada localização, também conhecida como largura de banda, antes da aplicação da RPG. Esta foi definida por meio da função *kernel* que pode ser fixa ou adaptativa. No caso de uma configuração fixa, a amostragem é regular, enquanto na adaptativa, o formato distributivo é irregular. Na Tabela 6, foi testada a aderência com base na Validação Cruzada (CV) e no Kernel Gaussiano (G) com base no teste formulado por Leung, Mei e Zhang (2000) em que a menor pontuação indica o modelo adequado. Sendo assim, as saídas contidas na Tabela 6 mostram que a largura de banda mais aderente aos dados é o Kernel Gaussiano Adaptativo, isto é, a banda será maior em áreas de observações escassas e menor nas densas.

Tabela 6. Os resultados do teste de escolha da banda para a RPG

Método	Kernel	Tipo	RMSE
CV	Gaussian	Adaptativo	0,8763
CV	Bisquare	Adaptativo	0,9066
CV	Gaussian	Fixo	0,9204
CV	Bisquare	Fixo	1,0135
AIC	Gaussian	Adaptativo	1540,95
AIC	Bisquare	Adaptativo	1470,18
AIC	Gaussian	Fixo	1438,25
AIC	Bisquare	Fixo	1610,97

Nota: realizado pelo autor com base nos resultados da pesquisa.

Legenda: RMSE = Desvio quadrático médio.

Estimado o modelo por MV e RPG, Leung, Mei e Zhang (2000) propuseram outro teste para averiguar a qualidade da RPG em comparação a MV. Contrasta-se a Soma dos Quadrados dos Resíduos (SQR) entre as duas propostas, sendo que o menor valor indica o modelo de regressão preferível. Foi identificado um SQR de 206,193 para a RPG e 1084,833 para a MV, acusando a preferência da RPG. Adicionalmente, a significância a 1% do teste *F* confirma que há diferença estatística entre os procedimentos. Desta forma, sustenta-se que a RPG é mais aderente aos dados. Além disso, no teste de significância da variância dos regressores da RPG, Tabela 7, apenas o *cred*, *soja*, *gado* e *flo* apresentam relevância estatística para estimar o desmatamento do bioma amazônico, foram analisadas por esse motivo.

Tabela 7. Resumo do teste da significância da variância dos regressores

Variável	Estatística F	Denominador	Numerador
Intercepto	3,0108***	113,2428	391,66

cred	1,4977**	94,1286	391,66
piba	0,4643	89,4040	391,66
milho	1,0071	22,2549	391,66
soja	1,4139*	22,8953	391,66
gado	2.9536***	79.6935	391,66
flo	2,3185***	47,9869	391,66
nflo	0,5585	9,1292	391,66
hid	0,6685	16,4725	391,66

Nota: realizado pelos autores.

Legenda: “***” = significância de 1%, “**” = significância de 5%, “*” = significância de 10%.

Com base nos resultados apresentados, conclui-se que a RPG se apresentou a abordagem mais adequada para analisar as dinâmicas espaciais do desmatamento no bioma amazônico, superando a MV em termos de aderência aos dados. A metodologia revelou que variáveis como crédito rural, produção de soja, quantidade de cabeças de gado e área florestal exercem influência significativa sobre as taxas de desmatamento, destacando os fatores econômicos e ambientais na configuração do problema.

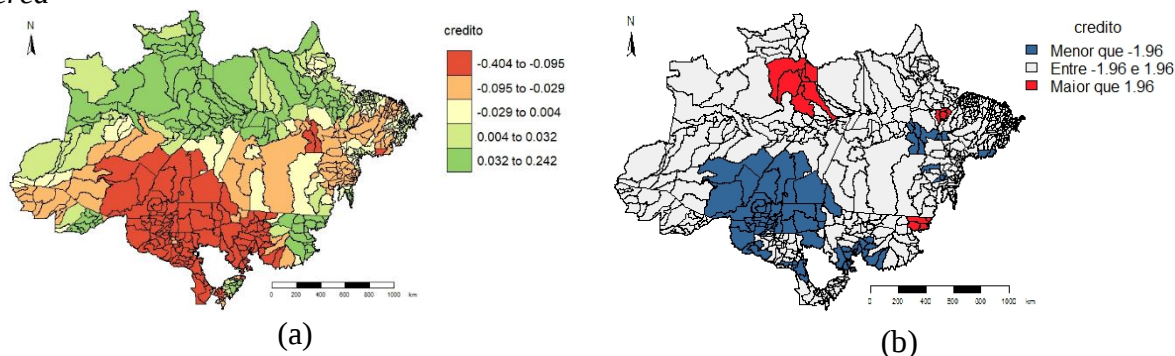
4.2 Impactos regionais do crédito rural no desmatamento

Como os resultados da RPG mostraram que as variáveis explicativas de *crédito*, *soja*, *gado* e *flo* foram as únicas estatisticamente significativas para explicar a taxa de desmatamento do bioma amazônico, em função disso, a inferência se concentrou nos resultados destes regressores. A começar pelos empréstimos de crédito rural, Figura 5 (a) – termo também empregado por Assunção, Gandour, Rocha e Rocha (2020) –, observa-se que, na maior parte das observações, os coeficientes são negativos. Isso indica uma relação inversa entre a taxa de desmatamento e o nível de contratação de empréstimos rurais; ou seja, quanto maior o valor dos empréstimos, menor a taxa de desmatamento. Logo, o crédito tem contribuído negativamente para o desflorestamento, corroborando os achados de Assunção, Gandour, Rocha e Rocha (2020), que identificaram uma redução no uso das linhas de financiamento rural destinadas a atividades de desarborização. Deste jeito, os efeitos positivos da Resolução 3.545, de 29 de fevereiro de 2008 (Brasil, 2008), como a disponibilização de financiamento apenas para atividades não ligadas ao desmatamento, são ratificados.

A partir dos valores dos coeficientes, foi aplicado o teste *t* a 5%, o qual evidenciou a significância estatística dos resultados. Na Figura 5 (a) são apresentados os valores dos coeficientes, e na Figura 5 (b) constam aqueles que exibiram significância estatística. Deste modo, compararam-se os valores de todos os coeficientes com aqueles que efetivamente se mostraram estatisticamente significativos, evidenciando sua relevância para explicar a contratação de crédito rural no bioma amazônico.

Na maioria dos municípios que apresentaram coeficientes estatisticamente significativos na Figura 5 (b), constatou-se uma relação negativa com o crédito rural, sugerindo que as linhas de financiamento para atividades agropecuárias não contribuem para o desmatamento. Em contrapartida, há alguns pequenos agrupamentos em que a relação ainda é positiva, o que sugere que a Resolução 3.545, de 29 de fevereiro de 2008 (Brasil, 2008), trouxe benefícios, embora não de forma plena. Nesse sentido, recomenda-se a manutenção ou até mesmo a intensificação da política restritiva.

Figura 5. Valor dos coeficientes estimados e do teste *t* a 5% de significância para a variável *cred*



Fonte: realizado pelo autor com base nos dados da pesquisa.

Nota: (a) representa os valores dos coeficientes da variável *cred*; (b) representa os valores do teste *t* da variável *cred*.

O município de Presidente Figueiredo (AM) registrou um acréscimo de 15% no desmatamento em comparação ao ano de 2020, além de ter recebido aproximadamente 15 milhões de reais em crédito rural. Entretanto, nenhum dos municípios localizados no agrupamento ao norte do recorte da Figura 5 (b) – Presidente Figueiredo (AM), Urucará (AM), Caracaraí (RR), São Luiz (RR), Rorainópolis (RR), São João da Baliza (RR) e Caroebe (RR) – cultivou soja no período analisado. Isso sugere que o desmatamento nesses locais não está relacionado ao cultivo da soja, mas ao de outras culturas como o arroz e a mandioca.

Todavia, existe uma ligação entre o desmatamento e a quantidade de cabeças de gado, como observado em Rorainópolis, que registrou 54% de desmatamento e possui 81.767 cabeças de gado. Em Caroebe, com 37,3% de desmatamento, há 81.233 cabeças de gado, enquanto Caracaraí, com 22,7% de desmatamento, apresenta 47.766 cabeças. Esses dados indicam que o desmatamento está associado à pecuária, que demanda a conversão de áreas florestais em pastagens. Além disso, essa dinâmica é facilitada pelo fato de esses municípios ainda apresentarem extensas áreas florestais disponíveis, o que viabiliza a expansão das atividades rurais, como demonstram os territórios de Rorainópolis, 23.815 km², e Caroebe, 10.803 km².

Outro aspecto pertinente revelado é a falta de diversificação de atividades econômicas na região, evidenciando uma dependência da pecuária como principal geradora de renda rural. Logo, a principal justificativa para o desmatamento nesses locais é a conversão de florestas em pastagens destinadas à criação de gado. Em suma, o crédito rural tem exercido valiosa incumbência nesses municípios, mas está sendo majoritariamente direcionado para atividades ligadas à pecuária, que não seguem os princípios da Resolução 3.545, de 29 de fevereiro de 2008 (Brasil, 2008). Isso exprime que a política de crédito rural não está sendo plenamente cumprida em toda a região, já que os recursos têm fomentado o desmatamento.

Embora o grupo formado por Presidente Figueiredo (AM), Urucará (AM), Caracaraí (RR), São Luiz (RR), Rorainópolis (RR), São João da Baliza (RR) e Caroebe (RR) também produza itens como mel de abelha, açaí e dendê, observa-se a expansão de atividades menos alinhadas aos princípios agroecológicos, como o cultivo de cana-de-açúcar e a criação de gado, reforçando a conexão positiva entre o desmatamento e o uso do crédito rural na região.

Em relação a outros dois agrupamentos menores destacados em vermelho na Figura 5 (b) e localizados mais próximos ao Cerrado, um deles é formado por Cametá (PA), Oeiras do Pará (PA), Limoeiro do Ajuru (PA) e Igarapé-Miri (PA). Este apresenta características semelhantes ao outro agrupamento menor, localizado mais ao sul, composto por Vila Rica (MT), Confresa (MT) e Santa Terezinha (MT). Nessas localidades, foi registrada a presença de cultivo de soja, evidenciando que o crédito rural tem contribuído para o desmatamento tanto pela expansão da soja quanto pela criação de gado.

No agrupamento de Cametá, Oeiras do Pará, Limoeiro do Ajuru e Igarapé-Miri, destaca-se ainda uma elevada produção de cacau, em comparação com outras áreas de significância positiva identificadas na Figura 6 (b). Embora o cacau possa ser extraído de forma orgânica, a presença de cabeças de gado sugere que o manejo dessas atividades não está sendo realizado de maneira alinhada à Resolução 3.545, de 29 de fevereiro de 2008 (Brasil, 2008).

Por sua vez, no recorte formado por Vila Rica, Confresa e Santa Terezinha, não foram registradas atividades relacionadas ao açaí ou ao cacau. Ainda assim, há presença de borracha, que poderia ser extraída de forma orgânica. Com isso, o destaque recai sobre o cultivo em larga escala de soja e milho, além de considerável quantidade de cabeças de gado, justificando a relação positiva entre o crédito rural e o desmatamento na região.

Já na área em que a relação entre o crédito rural e o desmatamento é negativa, destacada em azul na Figura 5 (b), observa-se um caso diferente, como em Porto Velho, capital de Rondônia. Nessa cidade e em suas adjacências, prevalecem culturas agropecuárias mais alinhadas aos princípios agroecológicos. Em Porto Velho, por exemplo, destacam-se a produção de mel de abelha, com 5.000 kg em 2021, e açaí, que é um exemplo de extrativismo orgânico, com 642 toneladas produzidas, de acordo com as definições de Landau *et al.* (2020). Esses elementos ajudam a explicar os resultados apresentados na Figura 5 (b), que indicam atividades sustentáveis no município.

Em conclusão, a análise da Figura 5, revelou variações nos valores dos coeficientes entre os municípios. Entretanto, foi necessário verificar a significância estatística desses resultados, independentemente dos regressores em questão. Mesmo que uma localidade apresente um coeficiente positivo, este pode não ser estatisticamente relevante de acordo com os critérios adotados. Portanto, apenas as regiões que passaram no teste de significância estatística foram exploradas.

Em síntese, houve heterogeneidade nos resultados das variáveis, não sendo possível identificar qualquer padrão uniforme entre os regressores, com exceção de *flo*. Além disso, propõe-se o Extrativismo Sustentável Orgânico (EXT) como alternativa para alocar o crédito rural, pois o EXT combina os conceitos de extrativismo sustentável e agricultura orgânica. Essa prática consiste na coleta de recursos naturais sem comprometer sua recuperação a longo prazo, isto é, de maneira sustentável e sem o uso de produtos químicos sintéticos. O EXT é classificado como um escopo produtivo do método orgânico de cultivo e pode auxiliar os agropecuaristas do bioma amazônico a desenvolver a região por meio do emprego de recursos financeiros destinados ao meio rural, sem promover o desmatamento. Ademais, define-se escopo produtivo como o conjunto de atividades, processos e recursos necessários para produzir bens ou serviços em um determinado contexto (Ticktin, 2004; Landau *et al.*, 2020).

Em resumo, as variáveis explicativas *cred*, *soja*, *gado* e *flo* foram estatisticamente significativas para explicar a taxa de desmatamento no bioma amazônico. O crédito rural apresentou, na maioria dos casos, uma relação negativa com o desmatamento, sugerindo que as restrições impostas pela Resolução 3.545, de 29 de fevereiro de 2008 (Brasil, 2008), têm contribuído para a redução da derrubada de árvores. Contudo, há exceções, onde o financiamento foi direcionado para atividades agropecuárias associadas ao desflorestamento, como na pecuária extensiva. Em alguns municípios, a criação de gado causou desmatamento, indicando que a conversão de florestas em pastagens é um dos motivos que elevam as taxas de desflorestamento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo contribuiu com a literatura identificando os fatores que influenciam as taxas de desmatamento, tanto positivamente como negativamente, num contexto espacial. Além disso, foi identificado diferentes padrões no recorte que não expõem uniformidade. Desta forma, propôs-se tratar cada município considerando as suas especificidades. À vista disso, as

localidades de maior taxa de desmatamento apresentaram comportamento diferente das demais de menor nível, isto mostra a atuação do fluxo de empréstimos de crédito rural, da quantidade em toneladas de soja, do número de cabeças de gado e da área coberta por floresta na desarborização do bioma amazônico.

Após o estabelecimento da Resolução 3.545, de 29 de fevereiro de 2008 (Brasil, 2008), que objetivou restringir o acesso aos financiamentos rurais para conter o desflorestamento da floresta amazônica, percebeu-se menor grau de desmatamento mediante atividades que utilizam os recursos financeiros voltados para a agropecuária. Sendo o acesso ao crédito rural um impulsionador do avanço agropecuário, foi apontado que a resolução vem sendo efetiva, pois a maior parte dos municípios que apresentaram significância estatística e estão localizados na região focal do desmatamento, mostraram relação inversa dos efeitos do uso do crédito rural sobre o desflorestamento. Tanto que se identificou um agrupamento de localidades em que o maior uso de recursos rurais causou menor nível de desmatamento.

A criação de gado está presente no bioma amazônico e, assim como a produção de soja, exige recursos financeiros para sua realização. Apesar das restrições, o número de cabeças de gado não foi impactado pela Resolução 3.545, de 29 de fevereiro de 2008 (Brasil, 2008) da mesma forma e proporção que o crédito rural. Isto posto, em alguns municípios, o aumento na quantidade de gado contribuiu para o incremento da taxa de desmatamento, uma vez que, em áreas onde o desmatamento ainda não havia ocorrido em maior escala, a presença de gado incentivou essa prática. Nesse contexto, a recuperação de pastagens pode justificar a redução do desmatamento em regiões onde a criação de gado é uma atividade agropecuária predominante.

Atividade sustentável presente na região do bioma amazônica, o EXT, combina características do extrativismo sustentável e agricultura orgânica. Esse é um escopo produtivo que se extrai os benefícios da mata sem desflorestar. Dentre os produtos que estão presentes no território e são extraídos de maneira sustentável estão o açaí, a castanha-do-Brasil, o cupuaçu e o guaraná. Com isso, esse método de produção justifica o uso dos recursos financeiros voltados ao setor rural de maneira que não haja contribuição positiva ao desmatamento.

Por fim, esta investigação corrobora com a literatura e contribui apontando que a taxa de desmatamento foi afetada negativamente pelo nível de crédito rural e positivamente pela quantidade de cabeça de gado. Assim, destinar recursos financeiros ao meio rural para atividades sustentáveis pode representar ser uma alternativa viável para a preservação da floresta, proporcionando benefícios sociais que não comprometam significativamente o bioma e promovam o desenvolvimento econômico. Além disso, a produção voltada para práticas agroecológicas, como a agricultura orgânica, permite essa integração. Para o futuro, recomenda-se uma análise temporal mais abrangente para capturar os efeitos espaciais ao longo do tempo.

6. REFERÊNCIAS

ANSELIN, L. Local indicators of spatial association - LISA. **Geographical analysis**, v. 27, n. 2, p. 93-115, 1995. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>. Acesso em: 01 jan. 2025.

ALMEIDA, E. **Econometria Espacial Aplicada**. Editora Alínea, 2012.

ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R.; ROCHA, R. The effect of rural credit on deforestation: Evidence from the Brazilian Amazon. **The Economic Journal**, v. 130, n. 626, p. 290-330, 2020. Disponível em: <https://academic.oup.com/ej/article/130/626/290/5637860>. Acesso em: 01 jan. 2025.

BALBONI, C.; BERMAN, A.; BURGESS, R.; OLKEN, B. A. The economics of tropical deforestation. **Annual Review of Economics**, v. 15, p. 723-754, 2023. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-economics-090622-024705>. Acesso em: 01 jan. 2025.

BRASIL. Resolução nº 3.545, de 29 de fevereiro de 2008. **Dispõe sobre normas para concessão de crédito rural no contexto da Política Nacional sobre Mudança do Clima**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 mar. 2008. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/pre/normativos/res/2008/pdf/res_3545_v1_o.pdf. Acesso em: 01 jan. 2025.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 maio 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 01 jan. 2025.

BRUNSDON, C.; FOTHERINGHAM, A. S.; CHARLTON, M. Geographically weighted regression: a method for exploring spatial nonstationarity. **Geographical Analysis**, v. 28, n. 4, p. 281-298, 1996. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1538-4632.1996.tb00936.x>. Acesso em: 01 jan. 2025.

CELENTANO, D.; MIRANDA, M.V.; MENDONÇA, E.N.; ROUSSEAU, G.X.; MUNIZ, F.H.; LOCH, V.D.C.; VARGA, I.V.D.; FREITAS, L.; ARAÚJO, P.; NARVAES, I.D.S.; ADAMI, M. Desmatamento, degradação e violência no "Mosaico Gurupi" - A região mais ameaçada da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 32, p. 315-339, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/FWCqjflCzcwQGdJn5bRkBrs>. Acesso em: 01 jan. 2025.

COASE, R. H. The problem of social cost. **Journal of Law and Economics**, v. 3, n. 1, p. 1-44, 1960.

DOMINGUES, M. S.; BERMANN, C. O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. **Ambiente & sociedade**, v. 15, p. 1-22, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/tykKcbYvdnsX5CHcH97qNcd/?lang=pt>. Acesso em: 01 jan. 2025.

FELTRAN-BARBIERI, R.; FÉRES, J. G. Degraded pastures in Brazil: improving livestock production and forest restoration. **Royal Society Open Science**, v. 8, n. 7, 2021. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rsos.201854>. Acesso em: 01 jan. 2025.

FERNANDES, P. G. A.; NETO, A. R. Crédito rural no paraná: uma análise municipal para o período entre 2013 e 2018. **Revista Paranaense de Desenvolvimento - RPD**, v. 43, n. 142, 2022. Disponível em: <https://ipardes.emnuvens.com.br/revistaparanaense/article/view/1220>. Acesso em: 01 jan. 2025.

FERREIRA, M. D. P.; COELHO, A. B. Desmatamento Recente nos Estados da Amazônia Legal: uma análise da contribuição dos preços agrícolas e das políticas governamentais.

Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 53, p. 91-108, 2015. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/resr/a/ytxBkpWPXVP7t4XhXQKt4jh/>. Acesso em: 01 jan. 2025.

FOTHERINGHAM, A. S.; BRUNSDON, C.; CHARLTON, M. Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships. **John Wiley & Sons**, 2023. Disponível em: <https://www.wiley.com/en-us/Geographically+Weighted+Regression%3A+The+Analysis+of+Spatially+Varying+Relationships+-p-9780471496168>. Acesso em: 01 jan. 2025.

GOODCHILD, M. F.; LONGLEY, J. A. T. The geographical information system and the future of spatial data analysis in social science. **Journal of Regional Science**, v. 27, n. 4, p. 403-406, 1987.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2023. **Altamita**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/altamira/pesquisa/18/0?ano=2021>. Acesso em: 01 jan. 2025.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2022. **A taxa consolidada de desmatamento por corte raso para os nove Estados da Amazônia Legal em 2021 foi de 13.038 km²**. Disponível em: https://www.gov.br/inpe/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/nota-tecnica-prodes/NotaTecnica_consolidado_PRODES_2021_rev.pdf. Acesso em: 01 jan. 2025.

LANDAU, E. C.; DA SILVA, G. A.; MATRANGOLO, W.; PEDROSA, M. W. Variação geográfica do uso de agricultura orgânica. **Dinâmica da Produção Agropecuária e da Paisagem Natural no Brasil nas Últimas Décadas**, 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/214963/1/Cap53-AgriculturaOrganica.pdf>. Acesso em: 01 jan. 2025.

JUSYS, T. Fundamental causes and spatial heterogeneity of deforestation in Legal Amazon. **Applied Geography**, v. 75, p. 188-199, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143622816303599>. Acesso em: 01 jan. 2025.

LEBLOIS, A.; DAMETTE, O.; WOLFERSBERGER, J. What has driven deforestation in developing countries since the 2000s? Evidence from new remote-sensing data. **World Development**, v. 92, p. 82-102, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305750X16305411>. Acesso em: 01 jan. 2025.

LEUNG, Y.; MEI, C. L.; ZHANG, W. X. Statistical tests for spatial nonstationarity based on the geographically weighted regression model. **Environment and Planning A**, v. 32, n. 1, p. 9-32, 2000. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1068/a3162>. Acesso em: 01 jan. 2025.

MARCONATO, M; PARRÉ, J. L.; COELHO, M. H. Análise fiscal dos municípios brasileiros no ano de 2016, a partir do modelo RPG. **Revista de Economia Mackenzie**, v. 17, n. 1, p. 11-41, 2020. Disponível em: <https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/rem/article/view/12685>. Acesso em: 01 jan. 2025.

MEDINA, G.; SANTOS, A. P. Curbing enthusiasm for Brazilian agribusiness: The use of actor-specific assessments to transform sustainable development on the ground. **Applied Geography**, v. 85, p. 101-112, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143622816302879>. Acesso em: 01 jan. 2025.

MOTEL, P. C.; PIRARD, R.; COMBES, J. L. A methodology to estimate impacts of domestic policies on deforestation: Compensated Successful Efforts for “avoided deforestation” (REDD). **Ecological economics**, v. 68, n. 3, p. 680-691, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921800908002577>. Acesso em: 01 jan. 2025.

OLIVEIRA, R. C. D.; ALMEIDA, E.; FREGUGLIA, R. D. S.; BARRETO, R. C. S. Desmatamento e crescimento econômico no Brasil: uma análise da curva de Kuznets ambiental para a Amazônia legal. **Revista de economia e sociologia rural**, v. 49, p. 709-739, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/6XXhymQGJLJsnRZKwYNDw9S/?lang=pt>. Acesso em: 01 jan. 2025.

PREM, M.; SAAVEDRA, S.; VARGAS, J. F. End-of-conflict deforestation: Evidence from Colombia’s peace agreement. **World Development**, v. 129, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305750X19305017>. Acesso em: 01 jan. 2025.

PFAFF, A.; ROBALINO, J.; HERRERA, D.; SANDOVAL, C. Protected areas’ impacts on Brazilian Amazon deforestation: examining conservation–development interactions to inform planning. **PloS one**, v. 10, n. 7, 2015. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0129460>. Acesso em: 01 jan. 2025.

SANTOS, A. M.; da SILVA, C. F. A.; de ALMEIDA JUNIOR, P. M.; RUDKE, A. P.; de MELO, S. N. Deforestation drivers in the Brazilian Amazon: Assessing new spatial predictors. **Journal of environmental management**, v. 294, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479721010823>. Acesso em: 01 jan. 2025.

SANTOS, C. F. D.; SIQUEIRA, E. S.; ARAÚJO, I. T. D.; MAIA, Z. M. G. A agroecologia como perspectiva de sustentabilidade na agricultura familiar. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, p. 33-52, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/Q8YfrW7m6mLWBWBcmcbKKrQ/?lang=pt>. Acesso em: 01 jan. 2025.

SARAIWA, M. B.; FERREIRA, M. D. P.; da CUNHA, D. A.; DANIEL, L. P.; HOMMA, A. K. O.; PIRES, G. F. Forest regeneration in the Brazilian Amazon: Public policies and economic conditions. **Journal of cleaner production**, v. 269, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620324719>. Acesso em: 01 jan. 2025.

SOUZA-RODRIGUES, E. Deforestation in the Amazon: A unified framework for estimation and policy analysis. **The Review of Economic Studies**, v. 86, n. 6, p. 2713-2744, 2019.

Disponível em: <https://academic.oup.com/restud/article-abstract/86/6/2713/5232206>. Acesso em: 01 jan. 2025.

TICKTIN, T. The ecological implications of harvesting non-timber forest products. **Journal of Applied Ecology**, v. 41, n. 1, p. 11-21, 2004. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2664.2004.00859.x>. Acesso em: 01 jan. 2025.

TRIGUEIRO, W. R.; NABOUT, J. C.; TESSAROLO, G. Uncovering the spatial variability of recent deforestation drivers in the Brazilian Cerrado. **Journal of Environmental Management**, v. 275, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479720311671>. Acesso em: 01 jan. 2025.

WEHKAMP, J.; KOCH, N.; LÜBBERS, S.; FUSS, S. Governance and deforestation - a meta-analysis in economics. **Ecological economics**, v. 144, p. 214-227, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921800916315427>. Acesso em: 01 jan. 2025.

ZU ERMGASSEN, E. K.; GODAR, J.; LATHUILLIÈRE, M. J.; LÖFGREN, P.; GARDNER, T.; VASCONCELOS, A.; MEYFROIDT, P. The origin, supply chain, and deforestation risk of Brazil's beef exports. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 50, p. 31770-31779. 2020. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.2003270117>. Acesso em: 01 jan. 2025.

