



Análise temporal do uso e cobertura da terra em relação à expansão da soja no município de Paragominas-PA

Ruricksson Progênio da Conceição ^I
Carlos Eduardo Aguiar de Souza Costa ^{II}
Mayke Feitosa Progênio ^{III}
Joana Alicia Pantoja Lima ^{IV}

Resumo

A Amazônia vem sofrendo modificações constantes no uso e cobertura da terra ao longo dos anos e cada vez mais desencadeia ações como o desmatamento para abertura de novas áreas agrícolas que impactam diretamente o remanescente de vegetação nativa da região amazônica, principalmente no estado do Pará. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi analisar a dinâmica de uso e cobertura da terra, em relação à expansão da produção de soja em Paragominas (PA), localizado no sudeste paraense. Realizou-se uma análise temporal com mapas elaborados a partir de dados adquiridos na plataforma MapBiomas, sendo separadas as feições respectivas a cada uso do solo. Foram desenvolvidas tabelas de mudanças de classes para os anos de 2008, 2014 e 2019, sendo que estas mostraram que apesar do crescimento das áreas de plantio de soja, a maior porcentagem de mudanças ocorreu em relação à pastagem, evidenciando que a abertura de novas áreas para plantio foi mínima. Verificou-se também que houve uma forte transição de áreas de pastagem para o plantio de soja e que isso está ligado ao custo e localização.

Palavras-chave: Molusce; Desmatamento; Geoprocessamento.

Código JEL: Q18; Q56; R00.

^I Engenheiro Agrônomo especialista em Geoprocessamento pela PUC-MG e em Gestão de Negócios pela BBI of Chicago.
E-mail: ruricksson.conceicao@tucurui.ufpa.br
<https://orcid.org/0009-0008-1290-5188>

^{II} Doutor em Engenharia Civil (Área: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) pela Universidade Federal do Pará.
E-mail: cecosta@ufpa.br
<https://orcid.org/0000-0002-7238-6892>

^{III} Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará.
E-mail: maykefeitosa@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1547-7018>

^{IV} Engenheira Sanitária e Ambiental Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Norte do Paraná.
E-mail: joana.lima@cameta.ufpa.br
<https://orcid.org/0000-0001-6050-3652>



Temporal analysis of land use and cover in relation to soybean expansion in the municipality of Paragominas-PA

Abstract

The Amazon has experienced constant changes in land use and land cover over the years, increasingly driven by actions such as deforestation to create new agricultural areas which directly impact the remaining native vegetation, particularly in the state of Pará. Therefore, this study's aim was to analyze the dynamics of land use and coverage, in relation to the expansion of soybean production in Paragominas, located in the southeast of Pará. A temporal analysis was carried out with maps prepared from data acquired on the MapBiomas platform, with features corresponding to each land use class separated. Class change tables were developed for the period of 2008, 2014 and 2019, showing that, despite the growth in soybean planting areas, the highest percentage of changes occurred in relation to pasture, indicating that the opening of new areas for planting was minimal. It was also found that there was a strong transition from pasture areas to soybean planting and that this is linked to cost and location.

Keywords: Molusce; Deforestation; Geoprocessing.

Introdução

A Amazônia passou por grandes transformações no seu uso e cobertura do solo devido à expansão das suas atividades econômicas, e entender essa dinâmica possibilita a identificação dos processos ligados a essas modificações e quais atividades econômicas impactam diretamente o meio ambiente, visto que as transformações intensificadas por ações antrópicas ocasionam impactos de ordem econômica, social, ambiental e cultural, alterando todo o ecossistema presente na região (Araújo; Barbosa Júnior; Santos, 2023; Furtado *et al.*, 2020).

O estado do Pará é um dos principais estados da região Norte que sofreram diversas modificações devido à modificação das atividades econômicas, neste caso a migração da pecuária para a agricultura, especialmente para o plantio de soja, onde muitos municípios do estado passaram a produzir grãos (Chiacchio; Sousa, 2024).

A economia do município de Paragominas é baseada na extração madeireira, pecuária e produção de grãos (Venceslau; Silva, 2021). Em 2018, a região paraense, na qual o município está inserido, foi responsável por 85,16% da produção de soja, além disso, obteve uma média de produtividade de 3.516 t.ha⁻¹, ultrapassando a média brasileira de 3.377 toneladas (IBGE, 2018). Esse crescimento agrícola ainda continua, no entanto, nas áreas incorporadas na produção de grãos, as quais são áreas que anteriormente eram destinadas a atividades pecuárias.

Como toda e qualquer modificação no meio ambiente desencadeia impactos em vários âmbitos e escalas, observa-se que a pressão agrícola em direção à região



Norte, ocasionou impactos diretos em relação à taxa de desmatamento no Bioma Amazônico, que obteve um aumento exorbitante, sendo necessária a intervenção do Governo Federal por meio da operação Arco de Fogo, que visou ampliar e intensificar a fiscalização do desmatamento na Amazônia (Britto; Herrera; Rebolças, 2024; Galvão, 2013).

Uma das medidas elaboradas pelo estado do Pará foi incorporar a política do ICMS verde ou ecológico, que consiste no repasse de impostos aos municípios que adotam ou promovem condutas compatíveis com a defesa do meio ambiente, incentivando a redução do desmatamento no estado (Pará, 2009).

O município de Paragominas adotou essa iniciativa e ganhou o status de município verde, no entanto, o crescimento da produção agrícola na região vem aumentando, sendo importante entender essa dinâmica e se essa progressividade está pressionando o remanescente de vegetação nativa do município.

Dessa forma, mapear o crescimento da produção de soja no município de Paragominas, permite identificar as principais zonas de transição, analisar possíveis focos de desmatamento e auxiliar na formação de um banco de dados. Atualmente, com os dados disponibilizados dentro da plataforma do MapBiomas e a facilidade de análise em um sistema SIG aberto como o QGIS, realizar esses estudos se mostra imperativo para estudos da progressão do desmatamento no bioma Amazônico (Amorim, 2015).

O uso das geotecnologias tem sido bastante empregado em estudos referentes às alterações na paisagem, em função da sua capacidade de auxiliar na análise das modificações do uso e ocupação do solo e na mensuração dos impactos ocasionados mediante à transição de uma atividade para a outra, visto que é uma importante ferramenta que faz uso de imagens de satélite para identificar as mudanças ocasionadas em determinada área (Ribeiro; Vidal, 2024).

Nesse contexto, este trabalho tem por objetivo, analisar a dinâmica de alteração do uso e cobertura da terra, em relação à expansão da produção de soja no município de Paragominas-PA, por meio de uma análise temporal dos anos 2008, 2014 e 2019 com base nas imagens disponibilizadas na plataforma MapBiomas com utilização do plugin molusce.

Revisão de Literatura

O cenário da Agricultura no Brasil

A agricultura é uma das principais atividades econômicas do Brasil, sendo responsável por grande parte do desenvolvimento e da implementação de tecnologias no país, visto sua importância na economia brasileira, evidenciada no produto interno bruto (PIB), já que o agronegócio é responsável por um quarto do total, dividido entre atividades relacionadas a agricultura e a pecuária (Saccaro



Junior; Vieira Filho, 2018; Trentin, 2023). Além do setor ser responsável por 40% das exportações brasileiras, também é fundamental para o abastecimento interno de todas as regiões do país (Vieira filho; Fishlow, 2017).

A soja é a principal contribuinte no aumento do PIB, de acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Brasil, 2020a), a produção do grão chegou a 135,409 milhões de toneladas com produtividade de 3.379 kg.ha⁻¹. Além disso, a alta demanda do mercado internacional e o aumento do preço da moeda norte americana, fizeram com que a saca de soja chegasse ao preço de R\$ 180,00 (Adjemian; Smith; He, 2021), incentivando os agricultores a expandirem suas áreas e até mesmo alterar seu tipo de produção.

Essas atividades causam modificações na paisagem acarretando impactos de natureza econômica, social, cultural e ambiental (Araújo; Barbosa Júnior; Santos, 2023), além de exercer grande pressão sobre as florestas nativas, afirmado nos dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Brasil, 2021), no qual houve um aumento de 51% na taxa de desmatamento na Amazônia, comparado ao ano de 2019 no mesmo período. Além disso, de acordo com o IBAMA (Brasil, 2020b), o Pará concentrou 44% de toda área desmatada na Amazônia legal entre fevereiro e março do mesmo ano. Desta forma, percebe-se que o aumento da demanda externa pela oleaginosa, ocasionou um aumento na supressão de florestas, com a necessidade de novas áreas destinadas à produção do grão.

A Amazônia tem se tornando um grande produtor de soja, cada vez mais expandindo sua produção e assim, modificando o uso da terra, uma vez que áreas anteriormente dedicadas a outros tipos de atividades como a pecuária, foram convertidas em áreas de plantio de soja. O estado do Pará é um dos estados que fazem parte da Amazônia legal que mais expandiu sua área de plantio sendo multiplicada por dez, outros estados como Rondônia, Roraima e Tocantins triplicaram sua produção, logo é inegável que a soja deixou de ser concentrada no estado do Mato Grosso e tem se expandido cada vez mais para a região Norte, devido a fatores ligados à disponibilidade de área, qualidade da terra e principalmente a incentivos que a região proporciona (Fuchs, 2020; Lima, 2020).

Com isso, o estado do Pará vem deixando de ser um estado extrativista, e se tornando uma potência em produção agrícola, assim gerando impactos ambientais no decorrer dessa expansão. Todavia a questão do desmatamento da Amazônia brasileira se torna desigual entre os estados e seus municípios. Segundo Mazutti (2019), alguns pontos necessitam serem mais explorados, como quais fatores são mais atuantes para explicar o desmatamento em cada região.

O Geoprocessamento na área da Agricultura

A técnica de geoprocessamento é definida pelo conjunto de métodos teóricos e computacionais, relacionados com coleta, armazenamento e



processamento de dados georreferenciados, logo, possuem posição específica no globo por meio de suas coordenadas (Zaidan, 2017). Os modelos gerados por dados geoprocessados permitem ao agricultor, acessar dados importantes da área auxiliando na tomada de decisão (Waldner *et al.*, 2021).

Obter informações como declividade, hidrografia, acessos de escoamento como rodovias, ferrovias e rios, permitem ao produtor rural opções de escolha ao comprar uma propriedade. De acordo com Xavier *et al.* (2021), as informações de dados matriciais e vetoriais manipulados em ambiente SIG, possibilitaram gerar informações a respeito do potencial do município de Lagoa Grande para implantação de pivô central, onde foi identificado que 75% da área territorial do município é apta a este sistema. A utilização desses dados integrados ao banco de dados meteorológicos permite que estudos futuros sobre zonas aptas a irrigação possam ser realizados.

Além disso, o geoprocessamento pode ser utilizado na detecção de zonas de aptidões agrícolas, por meio do cruzamento de informações que favorecem a produção de determinada cultura, como foi realizado no trabalho de Sulzbach, Gonçalves e Andrade (2019), no qual, por meio do cruzamento de dados de declividade, rodovias, hidrografia, tipo de solo e distância do centro urbano do município de Anáí, foi identificado 28,21% de áreas aptas a produção de café. Já no estudo desenvolvido por Ferreira e Ferreira Neto (2018), foi possível identificar e classificar pastagens em diferentes processos de degradação por meio da cobertura vegetal da pastagem, além do seu processo de evolução ao longo do tempo de acordo com a taxa de lotação animal, demonstrando que o geoprocessamento pode funcionar como uma ferramenta para zoneamento agrícola e também auxiliar na gestão e no processo de tomada de decisão.

Processamento digital de imagens e sensoriamento remoto

O processo de aquisição de dados por meio do sensoriamento remoto é caracterizado por duas fases: a obtenção de dados, que se refere à detecção e registro de informação, e a fase de análise dos dados, na qual, estes recebem tratamento e a informação será extraída (Chuvieco, 2020). As imagens obtidas pelos satélites são compostas por pixels, e estes podem ser identificados por meio do processo de classificação, esse método baseia-se na distinção dos alvos de acordo com seus comportamentos espectrais (Cavalcante; Fernandes, 2018). Cada pixel é associado a uma feição terrestre, obtendo-se, no resultado, a extração das informações da área de estudo. Sendo assim, é indispensável em projetos de classificação e mapeamento envolvendo dados obtidos por sensoriamento remoto (Ari, 2023).

O projeto MapBiomas possui em sua plataforma um acervo de coleções com mapas classificados pixel a pixel para todas as regiões do Brasil, tendo como base



as imagens do satélite Landsat, com resolução espacial de 30 metros. A série temporal possui mais de 30 anos, nela, esses dados são agrupados e, para cada ano é montado um mosaico representando o comportamento destes pixels, depois de agrupados é utilizado um classificador chamado *Random forest*, que é baseado em *machine learning*, com amostras dos alvos a serem classificados, e por fim, gerando o produto final, que são os mapas de uso do solo.

A utilização dessas técnicas é muito empregada em estudos de impactos ambientais, ou verificando o desenvolvimento de regiões inseridas em determinados biomas, como no trabalho de Soares (2020) que verificou a proposição de áreas prioritárias à restauração florestal, além de utilizar a análise multicritério em ambiente SIG para categorizar espaços de prioridades para restauração florestal. Desse mesmo modo, no trabalho de Machado *et al.* (2021), foi utilizado a classificação de imagens juntamente com a análise multitemporal do solo para detecção do avanço do desmatamento em Monte Negro, Rondônia, onde foi observado que 9% da área total do município sofreu desmatamento, e 92% desse desflorestamento sofreu transição para pastagem.

Metodologia

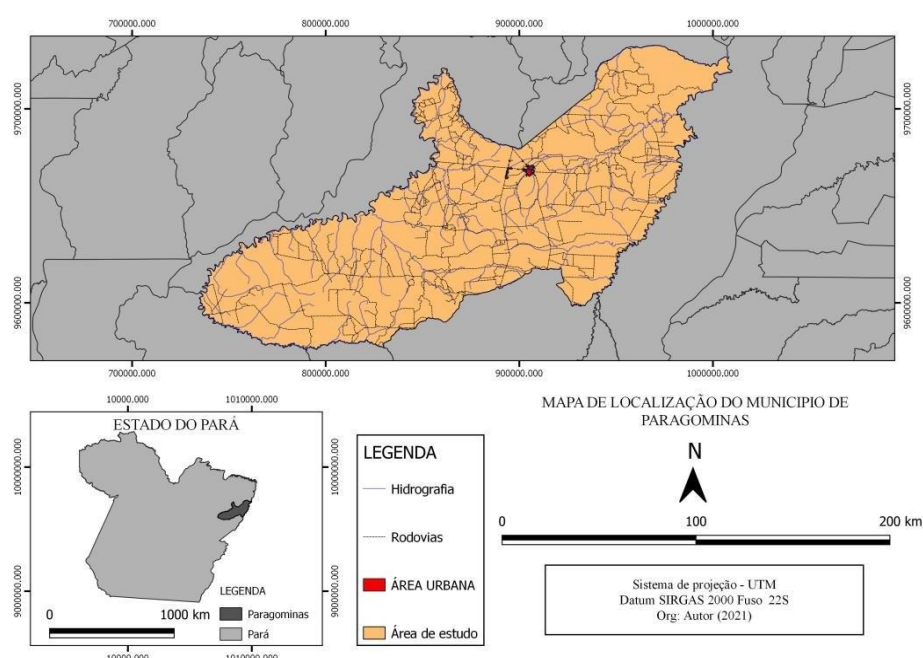
Este trabalho apresenta um estudo de caso, em que são apresentados produtos cartográficos, para a análise temporal do uso e cobertura da terra, em relação à expansão da agricultura no município de Paragominas, localizado no sudeste do estado do Pará, utilizando técnicas de processamento digital de imagens e sensoriamento remoto.

Para isto, em 3 etapas, foi empregado o software de Processamento digital de imagens e Sensoriamento Remoto Quantum Gis versão 2.18.18, sendo utilizado para a análise dos dados rasterizados o *plug-in Molusce (Modules for Land Use Evaluation)*.

Área de estudo

O mapa da área de estudo apresentado é elaborado utilizando técnicas da semiologia gráfica apresentadas por Bertin (1967) que objetivam a melhor visualização e comunicação. A tarefa essencial da semiologia gráfica visa uma utilização racional da linguagem cartográfica obedecendo às três relações fundamentais da informação: Diversidade (\neq), Ordem (O), Proporcionalidade (Q). Assim, neste trabalho, o ambiente geográfico é o município de Paragominas no estado do Pará apresentado no mapa da Figura 1.

Figura 1 – Mapa da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Dessa maneira, as informações da área de estudo, basicamente, com a variação visual de forma, tamanho, orientação, cor, valor e granulação permitem localizar, ordenar e organizar a área geográfica estudada. Para isso, princípios cartográficos relacionados à semiologia gráfica, projeção cartográfica, sistema de coordenadas e escalas, destacados por Rosette e Menezes (2011) foram seguidos.

O município de Paragominas se encontra no sudeste paraense, de acordo com o IBGE (2021) a população estimada é de 115.838 habitantes, com um PIB per capita de 36.952,54 reais e área total de 19.342,565 km², sendo o 11º município com maior área territorial do estado e representando 0,38% do território da Amazônia Legal, sendo sua economia diretamente ligada ao agronegócio e a mineração.

No ano de 2020 teve sua maior produção de soja totalizando 526.050 toneladas da oleaginosa. Além de grãos, o município é forte na pecuária com um rebanho de 357.189 cabeças de gado, sendo o 18º município produtor de gado do estado do Pará. Também é responsável por uma parcela da produção de madeira plantada do estado, totalizando 42.263 ha de área plantada que produz 728.446 m³ de madeira ao ano.

Em relação à mineração, o município tem introduzida em seu território a empresa Hydro, que teve o início de suas atividades em 2007 produzindo 16 milhões de toneladas de minério por ano. Desde então, são transportados cerca de 11,4 milhões de toneladas de bauxita por mineroduto até o município de Barcarena de onde segue a via marítima até o destino.



Pré-Processamento

As imagens foram obtidas no site MapBiomas, especificamente dos mapas de coleções, das quais foi utilizada a coleção 5. Os dados de topografia foram adquiridos no site TOPODATA, sendo utilizados os arquivos de modelo digital de elevação (MDE) da coleção. Os dados vetoriais de rodovias foram adquiridos no site do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte) na seção *geo downloads shapefile*. Já os dados de hidrografia foram obtidos na base hidrográfica estadual da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do estado do Pará (SEMAS-PA). Escolheu-se a formação do banco de dados com as coleções do MapBiomas para os anos 2008, 2014 e 2019.

Os dados do MapBiomas fornecem informações detalhadas sobre as mudanças na cobertura do solo e uso da terra para os anos de 2008, 2014 e 2019, o que permite uma análise temporal das dinâmicas ambientais. A inclusão dos modelos digitais de elevação do TOPODATA enriquece essa análise ao oferecer uma perspectiva sobre o relevo da região, enquanto os dados de rodovias do DNIT ajudam a avaliar a interação entre a infraestrutura de transporte e as mudanças no uso da terra. Além disso, os dados hidrológicos da SEMAS-PA são essenciais para compreender como as alterações na cobertura do solo afetam a hidrografia local. Essa integração de diferentes fontes de dados possibilita uma visão abrangente e detalhada das mudanças ambientais e sua relação com fatores topográficos e infraestruturais.

Reclassificação das imagens e Rasterização de dados vetoriais

As imagens obtidas no MapBiomas seguem a classificação disponibilizada pela coleção 5, na qual as cinco classes disponíveis são subdivididas. Desta forma, foi necessário fazer uma reclassificação, evidenciando as feições soja e pastagem. Para os dados vetoriais de hidrografia e rodovias, foi necessário realizar a rasterização pelo plugin converter *vetor para raster*, após este procedimento foi utilizado o *plugin proximity* para gerar raster de proximidade.

Além disso, após a rasterização dos dados vetoriais de hidrografia e rodovias, a utilização do plugin *proximity* permitiu criar camadas de proximidade que destacam a influência dessas feições sobre o entorno, facilitando a análise espacial detalhada. Esse processo é essencial para entender como a proximidade das rodovias e dos corpos d'água pode impactar o uso da terra, especialmente no contexto das classes de soja e pastagem identificadas na reclassificação. A reclassificação das imagens do MapBiomas, focada nessas feições específicas, e a integração com os dados rasterizados garantem uma análise mais precisa e contextualizada das mudanças na cobertura do solo e sua relação com as infraestruturas e características naturais da região.



Reprojeção/reamostragem de pixel e Recorte área

De posse de todos os dados em formato *raster geotiff* e fusionados, foi realizada a reprojeção das imagens no sistema de referência *Albers*, assim como a reamostragem dos pixels na resolução espacial de 30 metros.

Para inserção dos dados na ferramenta *molusce*, é importante que todos estejam padronizados, principalmente em relação à contagem dos pixels nas colunas. Logo, se deve verificar nas propriedades das imagens se as numerações são equivalentes, identificadas como *path and rows*. Foi utilizada a feição do município alvo do estudo como camada máscara, assim feito o recorte utilizando a ferramenta recortar pela extensão da máscara.

Após a reprojeção e reamostragem dos dados rasterizados para o sistema de referência *Albers* e a resolução espacial de 30 metros, garantiu-se que todas as imagens estivessem corretamente alinhadas e padronizadas. A padronização da contagem de pixels é crucial para a análise no *Molusce*, pois permite uma comparação precisa entre diferentes camadas de dados. A validação das propriedades das imagens, verificando se as numerações de *path and rows* são equivalentes, assegura que não haja discrepâncias que possam comprometer a análise.

Utilizando a feição do município alvo como camada máscara, foi possível realizar um recorte preciso, restringindo a área de interesse e facilitando a análise focalizada. Esse procedimento não apenas melhora a acuracidade dos dados, mas também otimiza o processamento e análise dentro da ferramenta *Molusce*, assegurando que os resultados sejam relevantes e específicos para o contexto do estudo.

Carta imagem

Após a padronização dos arquivos raster, foram elaboradas as imagens para processamento dentro do plugin de análise *molusce*.

Na terceira etapa, foi realizada a elaboração de produtos cartográficos e suas respectivas análises dentro do *molusce*. Onde foram inseridos os dados de uso do solo do município de Paragominas nos anos 2008 e 2014 junto com o modelo digital de elevação (MDE) e os dados de hidrografia e rodovias. Após o término, e adquiridas as tabelas de mudanças, foi realizado o mesmo procedimento, porém analisando as imagens de 2014 e 2019.

Com os dados devidamente preparados e padronizados, a próxima fase envolveu o uso do plugin *Molusce* para gerar produtos cartográficos detalhados. Essa etapa incluiu a integração dos dados de uso do solo de Paragominas para os anos de 2008 e 2014, combinados com o modelo digital de elevação (MDE), e as camadas de hidrografia e rodovias. O *Molusce* possibilitou a análise dessas camadas, destacando as mudanças no uso da terra e suas relações com as características



topográficas e infraestruturais. A análise das tabelas de mudanças forneceu *insights* sobre a dinâmica espacial e temporal, permitindo uma compreensão detalhada das transformações ocorridas entre os dois períodos analisados.

Na sequência, a análise foi estendida para os anos de 2014 e 2019, aplicando o mesmo procedimento de processamento e integração de dados. A comparação entre esses períodos adicionais forneceu uma visão mais abrangente das tendências de mudança no uso do solo, permitindo identificar padrões e avaliar a continuidade ou alteração das dinâmicas observadas anteriormente. A geração de produtos cartográficos atualizados e a análise comparativa entre os diferentes períodos ajudaram a esclarecer a evolução das características do território ao longo do tempo, enriquecendo a compreensão dos fatores que influenciam as mudanças ambientais e auxiliando na tomada de decisões para o planejamento e gestão territorial.

Pós-Processamento

As classificações dos mapas foram feitas seguindo a tabela de classificação do próprio MapBiomas, todavia, para este estudo foi utilizado apenas as classes majoritárias, com exceção da classe agricultura, que foi subdividida separando as classes pastagem e soja, alvos deste estudo. Desta forma, as imagens de 2008, 2014 e 2019 foram reclassificadas, sendo as classes divididas na seguinte ordem: 1. Formação natural não florestal, 2. Agricultura, 3. Pastagem, 4. Soja, 5. Antropismo, 6. Corpos D'Água e 7. Formação Florestal. A reclassificação foi feita por meio da ferramenta *reclass for table*, onde as classes foram agrupadas seguindo os códigos de classe da legenda da coleção cinco do MapBiomas.

Os dados vetoriais de rios e rodovias precisaram ser rasterizados para serem utilizados no *plugin molusce*, tendo em vista que o mesmo só trabalha com dados *geotiff*. Após o processo de masterização pela ferramenta “converter vetor em raster”, ambas as feições geradas foram analisadas pelo *plugin proximity*, onde foi gerado dados de proximidade utilizando a distância euclidiana, onde o raster resultante é utilizado para determinar as áreas adequadas que estão a certa distância da camada de entrada.

Ao final desta etapa, todos os dados já estavam em formato *geotiff*, sendo necessário verificar todas as projeções, resolução espacial, assim como a padronização das colunas (*path and rows*), conforme descrito no trabalho de Kamaraj e Rangarajan (2022). Assim, foi realizado a reprojeção das imagens na projeção equivalente de *Albers*, com as resoluções adequadas para 30 metros, conforme a resolução espacial do MDE e os mapas de uso do solo do MapBiomas. Em seguida, para padronização das colunas, foi realizado o recorte da área usando como máscara a feição do município alvo do estudo, obtido no banco de dados geográficos do IBGE.



O *plugin molusce* é uma extensão disponível para o QGIS 2.0 e suas versões superiores, ele analisa, modela e simula mudanças no uso da terra. Nele, são geradas tabelas de mudanças de área e matrizes de transição para diferentes épocas dos anos. O primeiro passo dessa etapa foi preencher os dados de entrada (mapas de mudança do solo), posteriormente, os dados de topografia, rodovias e hidrografia, após isso, foi realizado o procedimento de checagem de geometria, logo, se as etapas de pré-processamento foram seguidas o plugin não irá relatar erro.

Após este processo, na aba “*área changes*”, é necessário selecionar a unidade de medida e iniciar o modelo. Por fim, a extensão irá gerar a tabela de mudança e a matriz de transição, que posteriormente, pode ser copiada e avaliada em planilha eletrônica. Os resultados são exibidos por meio de tabelas cruzadas, mostrando a possibilidade de transição de uso da terra, além disso, os mapas classificados mostram as mudanças ocorridas ao longo do tempo.

Análise de Resultados

Mudanças no uso do solo

O início do desenvolvimento econômico de Paragominas teve como base a exploração madeireira e posteriormente à bovinocultura. Segundo Almeida e Vieira (2008), essas atividades econômicas se iniciaram em diferentes épocas, ocasionando impactos sociais e ambientais ao município. De acordo com Venceslau e Silva (2021) entre os anos de 1983 a 1992, o município foi considerado o maior produtor de bovinos do estado, tendo em vista que as áreas abertas pela extração madeireira posteriormente tornaram-se pasto para o desenvolvimento da pecuária.

Todavia, este cenário sofreu mudanças após iniciativas do Governo Federal para controle do desmatamento com a operação arco de fogo em 2008 (Britto; Herrera; Rebolças, 2024). Desde então, o município vem sofrendo mudanças em relação ao uso da terra, conforme mostrado na Tabela 1.



Tabela 1 – Mudanças de classe para os anos 2008 e 2014.

Nome	2008 (km ²)	2014 (km ²)	Mudanças (km ²)
Formação natural não florestal	5,84	6,88	1,04
Agricultura	68,6	263,51	194,91
Pastagem	6042,5	5138,9	-903,61
Soja	115,67	481,71	366,04
Área antropizada	48,89	64,5	15,61
Corpos d'água	67,77	54,82	-12,95
Floresta	12988, 75	13327, 70	338,95

Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com a Tabela 1, foram gerados os valores referentes a cada classe para os anos 2008 e 2014, com isso, observa-se que as principais mudanças ocorreram nas classes agricultura, pastagem e soja.

Pode-se notar também, a perda de área para classe pastagem, 903,61km, e o ganho em área para a classe soja de 366,04 km assim como em floresta de 338,95 km. Com base nesses dados, percebe-se a transição entre as feições pastagem e soja, refletindo a economia do município. Corroborando com estes dados, tem-se que a partir de 2008 os produtores de gado tenderam a mudar seu sistema de produção, abandonando a pecuária e transitando para produção de cereais.

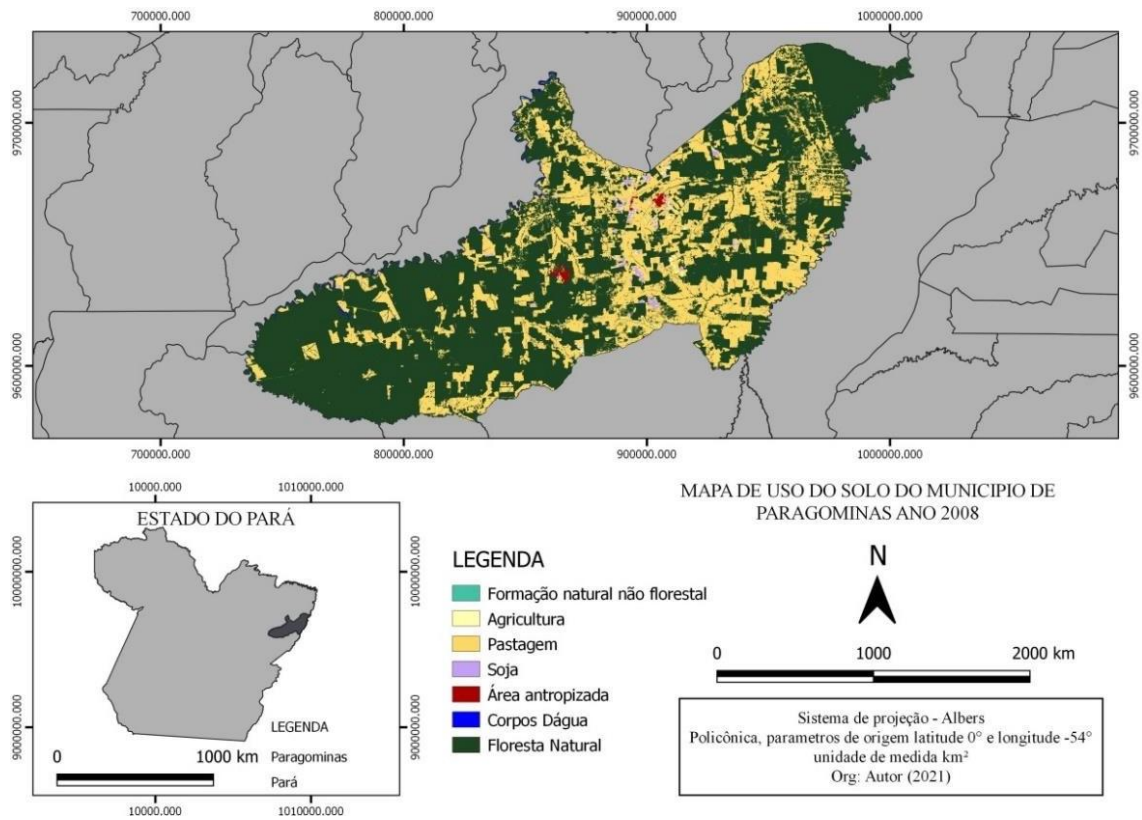
Araújo, Barbosa Júnior e Santos (2023) abordaram em seu estudo sobre a fronteira agrícola na microrregião de Paragominas que a transição da atividade pecuária para a soja foi perceptível e intensificada a partir dos anos 2000, mas que desde a década de 90 que a soja era inserida na região com aumento significativo a cada ano. A causa dessa expansão e substituição de atividade está ligada ao custo e a localização, sendo viável o escoamento do grão.

Outra pesquisa que destaca as mudanças de atividade é a de Sauer e Pietrafesa (2013), que destaca o crescente e acelerado ritmo de produção da soja no estado do Pará e como incentivos fiscais, tanto a nível estadual como federal, foram cruciais para a ampliação e a modificação da cultura presente na região.

No ano de 2008 as áreas de pastagem representavam 32,24% da área total do município e, no ano de 2014, passaram a representar 26,57%, ou seja, uma perda de mais de 4% da área de pastagem, assim como os ganhos de 1,89% de área na classe soja e 1,75% na classe floresta, totalizando em 2014 a classe soja com 0,60% do território e a classe floresta com 68,91%. É importante notar que, devido ao endurecimento das políticas ambientais no município, nesse período de 6 anos, não

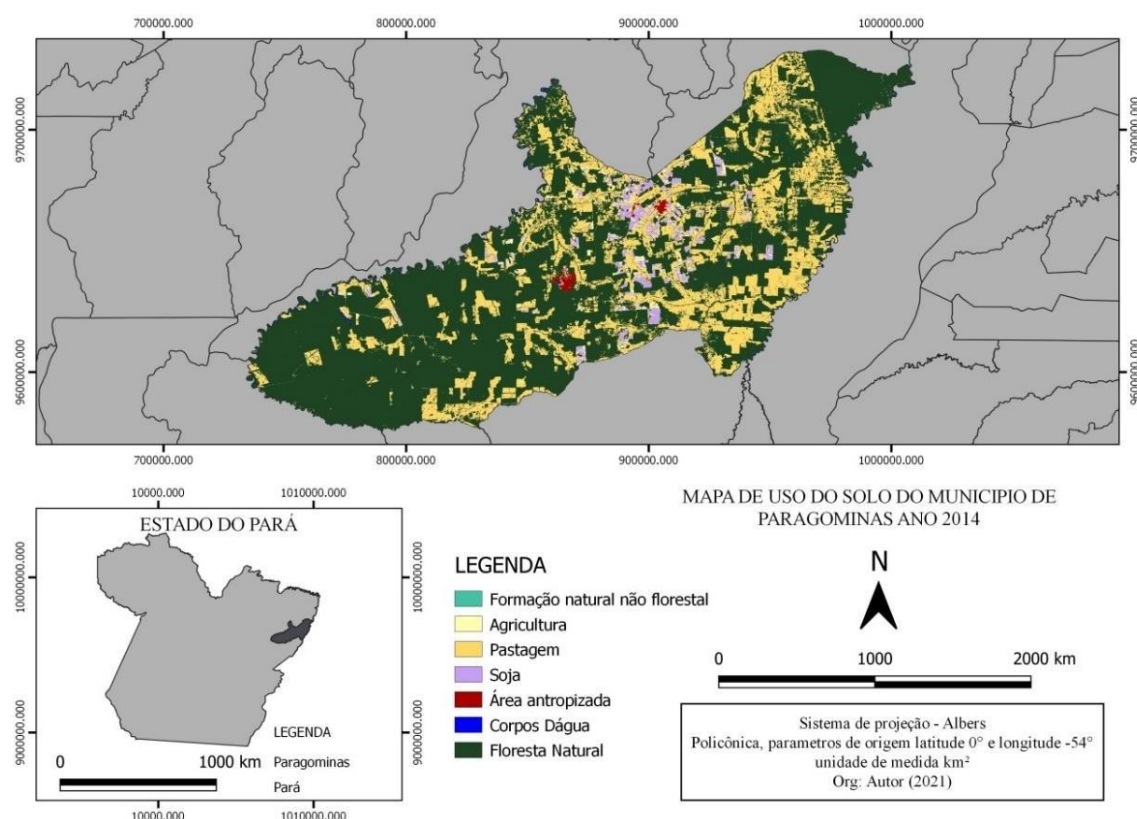
houve supressão de áreas, mantendo-se preservada quase que 70% das áreas de floresta do município como pode ser observado nas Figuras 2 e 3.

Figura 2 – Mapa de uso do solo município de Paragominas ano 2008.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 3 – Mapa de uso do solo município de Paragominas ano 2014.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Resultados mais evidentes foram observados ao avaliar os anos de 2014 e 2019, onde os ganhos da classe soja duplicaram em relação ao ano de 2014, como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 – Mudanças de classes para o ano 2014 e 2019.

Nome	2014 (km ²)	2019 (km ²)	Mudanças (km ²)
Formação natural não florestal	6,88	5,58	-1,31
Agricultura	263,51	206,53	-56,98
Pastagem	5138,9	4764,1	-374,79
Soja	481,71	1102	620,31
Área antropizada	64,5	56,34	-8,16
Corpos d'água	54,82	67,64	12,81
Floresta	13327,7	13135,81	-191,89

Fonte: Elaborado pelos autores.



A classe soja teve um ganho de 620,31 km de área em relação a 2008, não só isso como a classe pastagem e a classe agricultura tiveram reduções de 374,79 km e 56,98 km, respectivamente. De acordo com os dados do IBGE (2019), Paragominas produziu 486.000 toneladas de soja nesse dado ano, comparado com 2014 que produziu 121.800 toneladas da oleaginosa. Em contrapartida, pode-se observar a perda de 191,89 km na classe floresta, podendo estar relacionada com a abertura de novas áreas para plantio, devido à classe soja ter sido a única a obter ganhos neste ano.

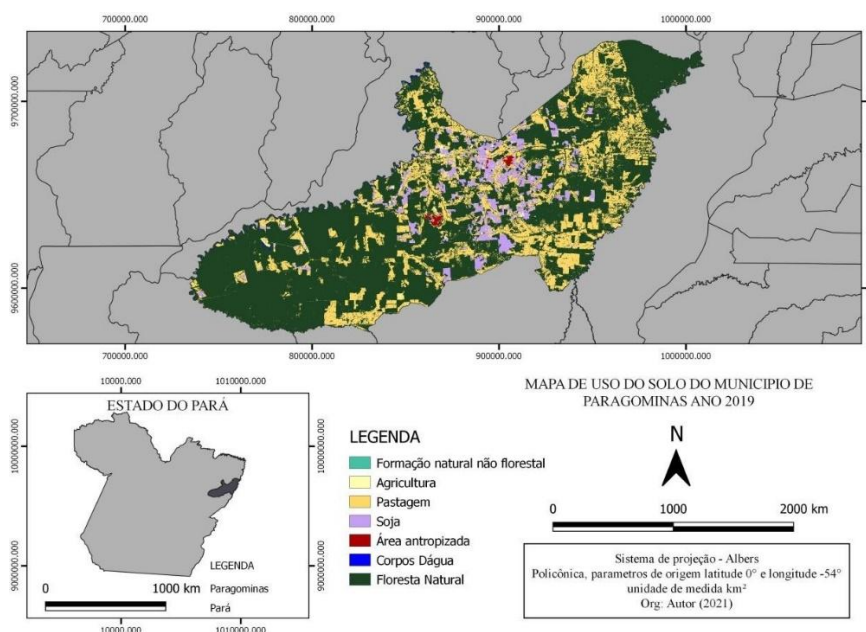
Essa transição tão evidente na soja em 2019 está ligada à crescente demanda pelo grão no mercado externo, assim como o aumento do dólar, que no ano de 2019 chegou a 4,29 R\$ e continuou em ascendência para os anos seguintes. Todavia, existe uma grande correlação na transição das classes soja e pastagem, para futuras pesquisas, seria interessante analisar o nível dessas correlações, e como ele se comporta ao longo do tempo, Tendo em vista que a transição de pastagem para produção de soja é corriqueira.

No intervalo de 5 anos de 2014 para 2019 a classe pastagem perdeu 1,93% de sua área total, em contrapartida a classe soja obteve um aumento de 3,20% de sua área. Comparando com 2008 cuja área total era de 0,60% do território do município de Paragominas, em 2019 a área total da mesma passou a 5,70%, evidenciando o aumento da produção de soja na região.

Diante disso, verificou-se que as principais transições ocorreram nas áreas de mosaico de pastagem para a classe soja (Figura 4). Em relação aos dados de MDE, rodovias e hidrografia, a correlação com a transição das feições foi considerada fraca pelo coeficiente de Pearson, onde o valor obtido foi de 0,27, 0,01 e 0,08 respectivamente. Para Cohen (2013), valores até 0,29 são considerados fracos; escores entre 0,30 e 0,49 são considerados médios; e valores entre 0,50 e 1 são interpretados como fortes. Neste trabalho, a classificação utilizada foi a proposta por Dancey e Reidy (2018), na qual os autores estabelecem uma correlação fraca para valores variando até 0,39; correlação média de 0,40 a 0,69; e correlação forte de 0,70 a 1.

Segundo Vieira (2012), a presença de correlação estatística não garante que haja relação causal, isto é, relação de causa e efeito entre os conjuntos de dados, mas pode-se inferir diversas teses. Assim, a correlação entre duas variáveis pode resultar, também, da interferência de outras variáveis não conhecidas no estudo. Todavia, isso não significa que não há relação linear entre as variáveis.

Figura 4 – Mapa de uso do solo município de Paragominas ano 2019.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Conclusão

A introdução e promoção da cultura da soja no município de Paragominas manteve-se em ascensão desde o ano de 2008. É de suma importância entender a dinâmica de uso e ocupação do solo, visto que a região era predominantemente mantida por atividades de pecuária, logo, observar a transição da classe pastagem para soja foi crucial para notar a correlação com demais culturas e como elas impactam o meio econômico, social e ambiental da região.

Nos anos analisados, foi perceptível as modificações e transições entre a pastagem para a cultura de soja, visto que a área ocupada por essa referida cultura teve um aumento de mais de 5% entre 2008 e 2019.

Sendo assim, os resultados alcançados neste estudo mostraram-se satisfatórios, pois foram capazes de compreender as mudanças ocorridas no município ao longo dos anos e identificar as transições que ocorrem entre as feições pastagem e soja.

Os resultados desta pesquisa podem contribuir com um estudo mais detalhado dos processos de transição das classes de solo em Paragominas. Assim como a metodologia pode ser aplicada para estudos em outras áreas. Como continuidade do estudo, outras extensões dentro do *molusce* poderiam ser empregadas, como a análise multicritério ou até o uso de Redes Neurais Artificiais



(ANN) para realização de modelagens futuras e prever como esses processos de transição se comportariam e em quais outros fatores podem se correlacionar com a expansão da soja ao longo do tempo.

Referências

ADJEMIAN, M. K.; SMITH, A.; HE, W. Estimating the market effect of a trade war: the case of soybean tariffs. *Food Policy*, Amsterdam, v. 105, p. 102-152, Dec. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2021.102152>.

ALMEIDA, A. S.; VIEIRA, I. C. G. Dinâmica da cobertura vegetal e uso da terra no município de São Francisco do Pará (Pará, Brasil) com o uso da técnica de sensoriamento remoto. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais*, Belém, v. 3, n. 1, p. 81-92, jan./abr. 2008. Disponível em: http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-81142008000100005#:~:text=Este%20trabalho%20enfatiza%20a%20integra%C3%A7%C3%A3o%20da%20t%C3%A9cnica%20de,uso%20da%20terra%20com%20mais%20de%20um%20s%C3%A9culo. Acesso em: 15 out. 2021.

AMORIM, J. A. F. Análise e modelação da mudança da ocupação do solo: caso de estudo da bacia hidrográfica do Rio Vez. 2015. Dissertação (Mestrado em) – Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Viana do Castelo, 2015. Disponível em: http://repositorio.ipvc.pt/bitstream/20.500.11960/1441/1/Joana_Amorim_13854.pdf. Acesso em: 15 out. 2021.

ARAÚJO, R. A.; BARBOSA JÚNIOR, I. O.; SANTOS, G. G. O avanço da fronteira agrícola na Amazônia Oriental: uma análise do uso e cobertura do solo nos municípios produtores da soja da microrregião de Paragominas-PA. *Caderno de Geografia*, Belo Horizonte, v. 33, n. 73, p. 658-688, abr./jun. 2023. DOI: <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2023v33n73p658>.

ARI, A. Multipath feature fusion for hyperspectral image classification based on hybrid 3D/2D CNN and squeeze-excitation network. *Earth Science Informatics*, Berlin, v. 16, n. 1, p. 175-191, Jan. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12145-022-00929-x>.

BERTIN, J. *Sémiologie graphique*. Paris: Mouton, 1967.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. A taxa consolidada de desmatamento por corte raso para os nove estados da Amazônia Legal em 2020. São José dos Campos: INPE, 2021. Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5811. Acesso em: 15 out. 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar. Companhia Nacional de Abastecimento. Produção de grãos da safra 2020/21 segue como



maior da história: 268,9 milhões de toneladas. Brasília, DF: CONAB, 2020a. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3691-producao-de-graos-da-safra-2020-21-segue-como-maior-da-historia-268-9-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 15 out. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. Ibama combate desmatamento na Terra Indígena Tembé (PA). Brasília, DF: IBAMA, 2020b. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/noticias/436-2018/1501-ibama-combate-desmatamento-na-terra%20%20-indigena-tembe-pa-e-apreende-1-8-mil-m-de-madeira-extraida-ilegalmente>. Acesso em: 15 out. 2021.

BRITTO, G. V.; HERRERA, J. A.; REBOLÇAS, A. O. Dinâmicas de uso da terra em assentamentos rurais no município de Pacajá: um exemplo de política pública como fator desordenador do espaço agrário. *Contribuciones a Las Ciencias Sociales*, Deerfield Beach, v. 17, n. 3, p. 1-21, mar. 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.55905/revconv.17n.3-350>.

CAVALCANTE, M. D. L.; FERNANDES, R. T. V. Geoprocessamento aplicado a análise de erosão costeira no delta do Piranhas-Açu/RN. 2018. 10 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/4780>. Acesso em: 15 out. 2021

CHIACCHIO, M. A.; SOUSA, A. L. A expansão da soja e os efeitos no mercado de terras na Amazônia. *Geografia em Questão*, Marechal Cândido Rondon, v. 17, n. 2, p. 147-168, abr. 2024. DOI: <https://doi.org/10.48075/geoq.v17i02.29126>.

CHUVIECO, E. Fundamentos do sensoriamento remoto por satélite: uma abordagem ambiental. 3. ed. Boca Raton: Imprensa Crc, 2020.

COHEN, J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. London: Routledge, 2013.

DANCEY, C.; REIDY, J. Estatística sem matemática para psicologia-7. Porto Alegre: Penso Editora, 2018.

FERREIRA, G. C. V.; FERREIRA NETO, J. A. Usos de geoprocessamento na avaliação de degradação de pastagens no assentamento ilha do coco, Nova Xavantina-Mato Grosso, Brasil. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 140-148, abr. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.13083/reveng.v26i2.894>.

FUCHS, V. B. Chinese-driven frontier expansion in the Amazon: four axes of pressure caused by the growing demand for soy trade. *Civitas*, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 16-31, maio 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.15448/1984-7289.2020.1.34656>.



FURTADO, L. G.; *et al.* Transformações do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Murucupi, Barcarena, Pará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 13, n. 5, p. 2340-2354, out. 2020. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.5.p2340-2354>.

GALVÃO, I. M. F. Da fronteira à sustentabilidade?: o caso de Paragominas-PA. 2013. 89 f. Dissertação (Mestrado em Gestão dos Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429506482>.

IBGE. Censos 2019: inovações e impactos nos sistemas de informações estatísticas e geográficas do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

IBGE. Censos 2021: inovações e impactos nos sistemas de informações estatísticas e geográficas do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

IBGE. Produção agrícola municipal: área plantada, produção e produtividade de soja, 2002- 2017. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>. Acesso em: 15 out. 2021.

KAMARAJ, M.; RANGARAJAN, S. Predicting the future land use and land cover changes for Bhavani basin, Tamil Nadu, India, using QGIS MOLUSCE plugin. *Environmental Science And Pollution Research*, New York, v. 29, n. 57, p. 86337-86348, Feb. 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-021-17904-6>.

LIMA, M. S. B. Expansão da cadeia da soja na Amazônia Setentrional: os casos de Roraima e Amapá. *Boletim de Geografia*, Maringá, v. 38, n. 2, p. 79-93, dez. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/bolgeogr.v38i2.42576>.

MACHADO, C. G.; *et. al.* Análise da evolução do desmatamento na região amazônica através de imagens de satélite. *In*: GROSS, J. A. *Geografia por sensoriamento remoto*. Canoas: Mérida, 2021. p. 23-33. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/mp.978-65-991393-8-3.c2>.

MAZUTTI, A. J. M. Acumulação por desapossamento: o caso do polígono dos castanhais, Amazônia brasileira. 2019. 195 f. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas Territoriais e Sociedade na Amazônia) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, 2019. Disponível em: https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=8071340#. Acesso em: 15 out. 2021.

PARÁ. Decreto estadual n. 1.697, de 5 de junho de 2009. Institui o plano de prevenção, controle e alternativas ao desmatamento do Estado do Pará, e dá outras providências. Belém: Secretaria do Meio Ambiente e Sustentabilidade, 2009. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/2009/06/05/9701/>. Acesso em: 15 out. 2021.



RIBEIRO, D. F.; VIDAL, B. S. Análise espaço-temporal das transformações na paisagem no município de Borba/AM, entre os anos de 1985 e 2020. *Revista Geopolítica Transfronteiriça*, Manaus, v. 8, n. 1, p. 17-30, mar. 2024. Disponível em: <https://periodicos.uea.edu.br/index.php/revistageotransfronteirica/article/view/3395>. Acesso em: 19 jun. 2024.

ROSETTE, A. C.; MENEZES, P. M. L. Erros comuns na cartografia temática. Rio de Janeiro: UFRJ, 2011.

SACCARO JÚNIOR, N. L.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Agricultura e sustentabilidade: esforços brasileiros para mitigação dos problemas climáticos. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/8492>. Acesso em: 10 jul. 2018.

SAUER, S.; PIETRAFESA, J. P. Novas fronteiras agrícolas na Amazônia: expansão da soja como expressão das agroestratégias no Pará. *Acta Geográfica*, Boa Vista, p. 245-264, mar. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5654/actageo2013.0003.0013>.

SOARES, D. R. Proposição de áreas prioritárias à restauração florestal visando o redesenho da paisagem na Amazônia Mato-grossense. 2020. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) – Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2020. Disponível: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/12877>. Acesso em: 15 out. 2021.

SULZBACH, F. M.; GONÇALVES, M. G. B.; ANDRADE, A. M. Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas propícias ao cultivo de café (*coffea arabica* L.) no município de Unaí MG. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 19., 2019, Santos. *Anais eletrônicos [...]*. Santos: INPE, 2019. p. 1007-1010. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2019/10.24.15.39/doc/97837.pdf>. Acesso em: 15 out. 2021.

TRENTIN, I. C. L. Tendências para a agricultura familiar no sul do Brasil. Zenodo, Genève, v. 32, n. 2, p. 234-255, abr./jun. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/ZENODO.8075480>.

VENCESLAU, B. V.; SILVA, D. C. C. A constituição de um ambiente de negócios em áreas de desmatamento. *Oidles*, Málaga, v. 15, n. 30, p. 62-79, jun. 2021. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9081154>. Acesso em: 19 jun. 2024.

VIEIRA, S. Estatística básica. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; FISHLOW, A. Agricultura e indústria no Brasil: inovação e competitividade. Brasília, DF: Ipea, 2017.



WALDNER, F.; *et al.* Detect, consolidate, delineate: scalable mapping of field boundaries using satellite images. *Remote Sensing*, Basel, v. 13, n. 11, p. 2197, June 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/rs13112197>.

XAVIER, C. J.; *et al.* Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas aptas para implantação de pivôs centrais. *Research, Society and Development*, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 8, p. 1-13, set. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17038>.

ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento: conceitos e definições. *Revista de Geografia-PPGEO-UFJF*, Juiz de Fora, v. 7, n. 2, p. 196-201, jul./dez. 2017. DOI: <https://doi.org/10.34019/2236-837X.2017.v7.18073>.

Recebido em: 11/07/2024
Aprovado em: 05/10/2024