



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA CULTIVO DE SOJA NO NORDESTE PARAENSE A PARTIR DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Caroline da Silva

Monografia de conclusão de curso apresentado na disciplina SER-300 Introdução ao Geoprocessamento, sob responsabilidade dos docentes Profa. Dra. Silvana Amaral Kampel e pelo Prof. Dr. Marcos Adami.

INPE
São José dos Campos
2024

RESUMO

A expansão da fronteira agrícola no norte do Brasil tem sido marcada por um aumento significativo do desmatamento, ameaçando ecossistemas e a dinâmica socioeconômica local. No estado do Pará, a soja tem se expandido em uma velocidade acima da média do país, alterando as paisagens do bioma amazônico. Este estudo tem como objetivo principal identificar áreas potenciais para o cultivo de soja nos municípios de Cametá e Mocajuba, visando compreender espacialmente quais locais a soja tem maior chance de ser introduzida. A metodologia baseou-se na análise multicritério e no Processo Analítico Hierárquico. Os municípios apresentaram 40,7% de sua área nas classes de potencial alto e muito alto para o cultivo da soja, indicando ser um local propício para a introdução e estabelecimento dessa cultura agrícola. A metodologia permitiu a integração de múltiplos critérios relevantes, e a obtenção de índices que demonstram a consistência no julgamento dos critérios.

Palavras-chave: Soja. Análise Multicritério. AHP. Pará.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1 - Fluxograma da metodologia utilizada no trabalho.	2
Figura 2 - Localização dos municípios de Cametá e Mocajuba.	3
Figura 3 - Uso e cobertura da terra de Mocajuba e Cametá em 2020.	9
Figura 4 - Classe de solos presentes nos municípios de Mocajuba e Cametá.	12
Figura 5 - Classe de declividade nos municípios de Mocajuba e Cametá.	14
Figura 6 - Tamanho das propriedades rurais dos municípios de Cametá e Mocajuba.	15
Figura 7 - Estradas oficiais que atravessam os municípios de Cametá e Mocajuba.	17
Figura 8- Distância de estradas oficiais nos municípios de Cametá e Mocajuba.	17
Figura 9 - Estradas não oficiais que atravessam os municípios de Cametá e Mocajuba.	19
Figura 10 - Distância de estradas não oficiais nos municípios de Cametá e Mocajuba.	19
Figura 11 - Distribuição de estabelecimentos rurais nos municípios de Cametá e Mocajuba.	20
Figura 12 - Concentração de estabelecimentos rurais nos municípios de Cametá e Mocajuba.	21
Figura 13 - Áreas potenciais para cultivo de soja em Cametá e Mocajuba.	23

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 1 - Folhas do Topodata que abrangem a área de estudo.	4
Tabela 2 - Escala de julgamento.	7
Tabela 3 - Índice de Aleatoriedade.	8
Tabela 4 - Classes de uso e cobertura da terra e pesos atribuídos.	10
Tabela 5 - Classes de tipo de solo e pesos atribuídos.	12
Tabela 6 - Classes de declividade e pesos atribuídos.	14
Tabela 7 - Classes de tamanho da propriedade e pesos atribuídos.	16
Tabela 8 - Classes de distância de estradas oficiais e pesos atribuídos.	18
Tabela 9 - Classes de distância de estradas oficiais e pesos atribuídos.	20
Tabela 10 - Comparação pareada entre os critérios de potencial para o cultivo de soja.	22
Tabela 11 - Peso dos critérios de potencial para o cultivo de soja.	22

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AHP	Processo de Análise Hierárquico
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CNEFE	Cadastro Nacional de Estabelecimentos para Fins Estatísticos
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LISS	Laboratório de Integração em Sistemas Socioambientais

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
2 METODOLOGIA	2
2.1 Área de estudo	2
2.2 Seleção dos critérios	3
2.3 Aquisição dos dados	3
2.4 Normalização dos critérios	5
2.5 Processo de Análise Hierárquico	6
2.6 Obtenção do mapa de potencial de cultivo de soja	8
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
3.1 Caracterização ambiental e de infraestrutura baseada nos critérios estabelecidos	9
3.1.1 Uso e cobertura da terra	9
3.1.2 Tipo de solo	11
3.1.3 Declividade	13
3.1.4 Tamanho da propriedade rural	15
3.1.5 Distância de estradas oficiais	16
3.1.7 Concentração de estabelecimentos rurais	20
3.2 Mapa final de potencial de cultivo de soja	21
4 CONCLUSÃO	24

1 INTRODUÇÃO

A soja é atualmente o principal produto de exportação do Brasil. Sua produção no país na safra de 2022/2023 foi de 154,6 milhões de hectares, com área plantada de 44,08 milhões de hectares (CONAB, 2024). Apesar de sua importância econômica, essa atividade agrícola tende a transformar paisagens agrícolas, substituindo culturas diversificadas que sustentam pequenas propriedades rurais. Essa transformação não exerce pressão somente sobre agricultores de pequena escala e povos tradicionais, mas também provoca um aumento no desmatamento, contaminação da água e solo, erosão, perda de biodiversidade, entre outros processos que degradam o meio ambiente (GOMES, 2019).

Um processo recente de expansão da fronteira agrícola tem ocorrido no norte do país, no bioma amazônico (Wesz Junior *et al*, 2021). O estado do Pará apresentou entre 2008 a 2018 um aumento de 694,61% na área plantada de soja, contra 63,89% do Brasil, avançando frequentemente sobre áreas de vegetação nativa (Araújo, 2021). Foi implantada em 2015, no Pará, a Instrução Normativa nomeada “Lei Juquira”, criada para controlar a supressão da vegetação florestal secundária (PARÁ, 2015). Essa legislação, entretanto, tem se mostrado ineficaz diante da pressão do agronegócio. A fragilidade na implementação e fiscalização da lei permite que vastas áreas de vegetação florestal secundária sejam suprimidas e convertidas em outros usos (Magalhães *et al*, 2023).

Evidências de campo coletadas pelo Laboratório de Investigação em Sistemas Socioambientais, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, em novembro de 2023, indicam o movimento de introdução da soja na região nordeste do Pará, nos municípios de Cametá e Mocajuba. Questionários aplicados para produtores locais expõem o processo de compra de terras, desmatamento de grandes áreas de vegetação secundária e a calagem do solo. Além disso, imagens de drone coletadas revelam extensas áreas desmatadas, algo incomum na região, corroborando com evidências que indicam a introdução da soja na região. Nesse contexto, dado o impacto da chegada de uma monocultura na dinâmica socioeconômica e ambiental na região, este trabalho tem como objetivo principal a identificação de áreas potenciais para o cultivo de soja nos

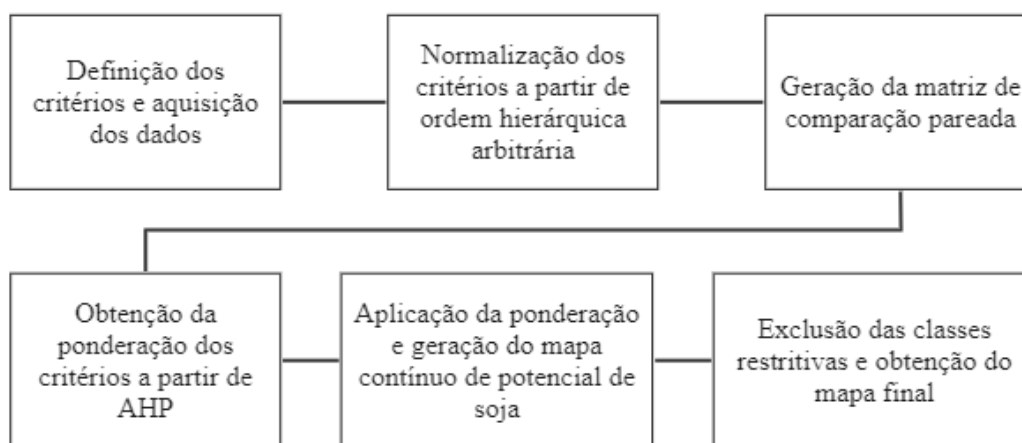
municípios de Cameté e Mocajuba, visando identificar em quais áreas essa cultura tem maior chance de se instalar.

2 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos adotados no trabalho foram divididos em seis etapas, a fim de obter um mapa de potencial de cultivo de soja (Figura 1). A primeira etapa consiste na definição dos critérios que compõem a análise, escolhidos a partir de discussão com especialistas e investigação bibliográfica. A segunda etapa consiste na normalização dos critérios qualitativos e quantitativos, atribuindo-os a mesma escala numérica, a partir de ordem hierárquica arbitrária.

Na terceira etapa foi realizada a geração da matriz de comparação pareada dos critérios, baseada no Processo de Análise Hierárquico (AHP). A quarta etapa consiste nos cálculos realizados a partir da matriz de comparação pareada para a obtenção da ponderação dos critérios estabelecidos, além de índices como o de consistência do julgamento. Na quinta etapa aplicou-se a ponderação às camadas normalizadas e, por fim, na sexta etapa, houve a exclusão das classes restritivas e reclassificação do mapa contínuo para a obtenção do mapa temático de potencial de cultivo de soja.

Figura 1 - Fluxograma da metodologia utilizada no trabalho.

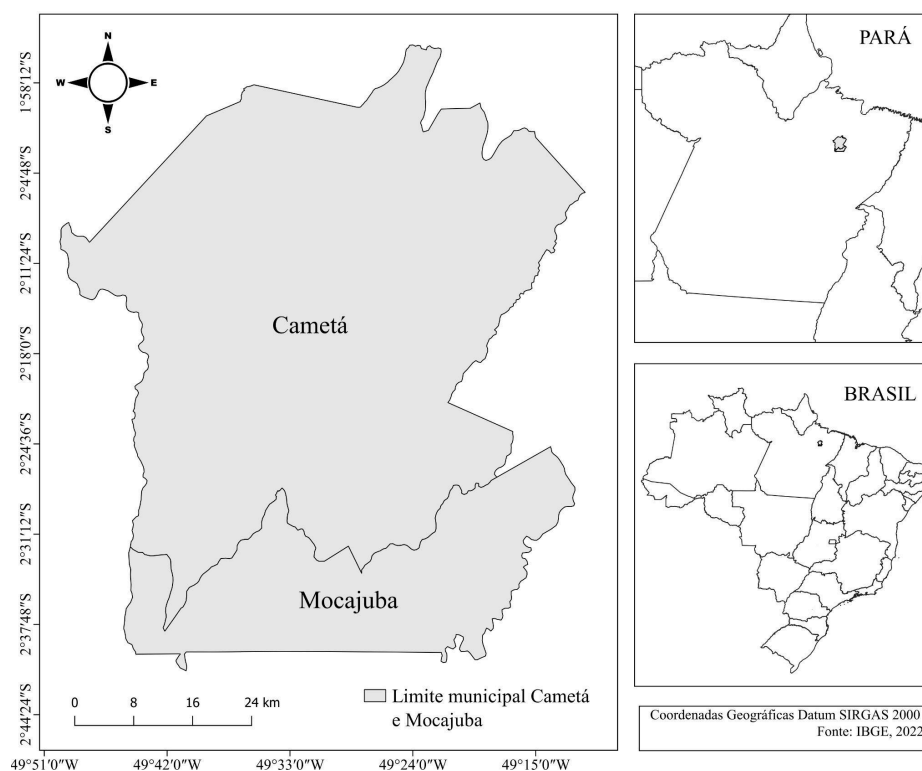


Fonte: Elaborado pelo autor.

2.1 Área de estudo

Os municípios de Cametá e Mocajuba estão localizados no nordeste do estado do Pará (Figura 2), a 200 km ao sul de Belém. Cametá e Mocajuba possuem, respectivamente, uma área de 308.136,7 e 87.117,1 hectares, com uma população de, respectivamente, 134.184 e 27.198 habitantes (IBGE, 2024). A economia dos municípios é baseada na produção agrícola de açaí, mandioca e pimenta-do-reino, provenientes, sobretudo, de agricultura de pequena escala (IBGE, 2023).

Figura 2 - Localização dos municípios de Cametá e Mocajuba.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2 Seleção dos critérios

Os critérios foram selecionados a partir da consulta de especialistas do Laboratório de Investigação em Sistemas Socioeconômicos (LISS), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os critérios, hierarquizados, baseado na sua contribuição para o potencial de cultivo de soja, são: uso e cobertura da terra, declividade, tipo de solo, distância de estradas oficiais, tamanho da propriedade, concentração de estabelecimentos rurais e distância de estradas não oficiais.

2.3 Aquisição dos dados

Os dados de uso e cobertura da terra foram obtidos através do projeto TerraClass, do INPE. Foi utilizado o dado de classificação mais recente, do ano de 2020, com resolução de 30 metros, obtido através do endereço eletrônico: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>. O dado foi disponibilizado em 2022, em formato raster.

Para os dados de estradas oficiais e não oficiais, utilizou-se a base do Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON). Os dados são de 2012 e disponibilizados em formato vetorial através da plataforma: <https://imazongeo.org.br/#/>.

Dados de declividade foram obtidos através do projeto Topodata, do ano de 2011, do INPE. Os dados são disponibilizados em formato raster, com resolução de 30 metros, através de folhas compatíveis com a articulação 1:250.000, disponíveis no endereço eletrônico: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/aceso.php>. Para este trabalho, foi utilizado o produto de declividade do Topodata classificado a partir da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (1999), com cinco classes referentes à porcentagem de declividade. Dado a abrangência da área de estudo, foram utilizadas as seguintes folhas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Folhas do Topodata que abrangem a área de estudo.

Folhas utilizadas:
01S51
01S495
02S51
02S495

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto à pedologia, foram utilizados os dados de classes de solos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados foram atualizados em 2023 e disponibilizados em formato vetorial na escala de 1:250.000, através do endereço: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/.

Os dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR) são disponibilizados pelo Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR). A obtenção dos dados se deu através do endereço eletrônico: <https://www.car.gov.br/publico/estados/downloads>. Utilizou-se dados do tamanho do imóvel, em formato vetorial, disponibilizados em 2024.

Para os dados de concentração de estabelecimentos rurais, a partir do Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos (CNEFE), optou-se pela utilização dos dados do censo demográfico de 2022, disponibilizados pelo IBGE. Esses dados referem-se aos endereços georreferenciados de domicílios e estabelecimentos e são disponibilizados em formato vetorial através do endereço: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/38734-cadastro-nacional-de-enderecos-para-fins-estatisticos.html?=&t=downloads>.

Por fim, os dados referentes à divisão político-administrativa do Brasil foram obtidos pelo IBGE, disponibilizada no ano de 2022, através do endereço: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Os dados estão disponíveis em formato vetorial, em escala 1:250.000.

2.4 Normalização dos critérios

Após a aquisição dos dados foi aplicado uma reprojeção nas camadas para o Datum SIRGAS 2000 em sistema de coordenadas geográficas (EPSG: 4674), visando a padronização dos dados para a geração do mapa final. Quando necessário informações de área, as camadas foram reprojatadas para o sistema projetado de coordenadas, no Datum SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG: 31982).

Com os dados no mesmo sistema de coordenadas e Datum, foi realizada a etapa de normalização, que atribui a todos os dados, quantitativo ou qualitativo, a mesma escala de valor. Para a normalização dos critérios, utilizou-se ordem hierárquica arbitrária, atribuindo valores entre 1 e 3 a partir da reclassificação das camadas. Quanto maior o valor, maior sua contribuição para o potencial de cultivo de soja. O procedimento foi realizado utilizando o software QGIS na versão 3.36.3, e as camadas vetoriais foram convertidas em formato matricial, em pixels de 30 metros.

Para os dados de uso e cobertura da terra, foram agrupadas as classes de pastagem herbácea e arbustiva/arbórea. Além disso, foram excluídas as classes de corpos d'água, área urbanizada e não floresta, classificadas como restritivas para o cultivo de soja.

Os dados de tamanho da propriedade foram obtidos a partir da classificação dos polígonos do CAR. A classificação dos tamanhos é baseada na Lei 8.629/1993 (BRASIL, 1993), e considera o módulo fiscal, unidade que varia de acordo com o município. As classes são:

- Minifúndio: imóvel rural com área inferior a fração mínima de parcelamento;
- Pequena propriedade: imóvel com área entre a fração mínima de parcelamento e 4 módulos fiscais;
- Média propriedade: imóvel rural de área superior a 4 e até 15 módulos fiscais;
- Grande propriedade: imóvel rural de área superior a 15 módulos fiscais.

O módulo fiscal nos municípios de Cameté e Mocajuba é de 70 hectares, e a fração mínima de parcelamento é de 3 hectares (MDA, 2024). Para classificar os polígonos conforme o tamanho das propriedades, utilizou-se o complemento Q-CleanCAR (Matias *et al.*, 2022) no QGIS. Este complemento trata os dados, removendo sobreposições de polígonos de imóveis rurais do CAR e classificando-os por tamanho, conforme estabelecido na legislação.

A distância de estradas oficiais e não oficiais foi calculada a partir da distância euclidiana dos pixels de estrada. Como produto, obteve-se duas camadas raster com a distância em metros, que foi reclassificada a partir de intervalo de cinco quilômetros para aplicação dos pesos. Distâncias menores de estradas possuem maior contribuição para o potencial de cultivo de soja, possuindo maior peso.

Para o dado de concentração de estabelecimentos rurais, foram extraídos os pontos obtidos no CNEFE, classificados como estabelecimentos rurais, e aplicou-se uma estimativa de densidade Kernel. Desta maneira, como resultado, obteve-se um mapa de calor, que foi normalizado de 1 a 3, e indica a concentração de estabelecimentos rurais. Os valores maiores indicam menor concentração de estabelecimentos, com maior contribuição ao potencial de cultivo de soja.

2.5 Processo de Análise Hierárquico

O Processo de Análise Hierárquico (AHP) é um metodologia de decisão multicritério desenvolvida por Thomas L. Saaty entre 1971 a 1975. É baseada em comparação pareada dos critérios estabelecidos, julgados e colocados em escala de prioridade por especialistas. As comparações são realizadas a partir de uma escala de julgamento, que indica quanto um elemento é mais significativo que outro em relação a um determinado critério (Tabela 2), aplicados em uma matriz com os critérios (Saaty, 1977, 1987).

Tabela 2 - Escala de julgamento.

Intensidade da importância	Definição	Explicação
1	Importância igual	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada de um sob o outro	Uma atividade é levemente mais favorável em relação à outra
5	Importância forte	Uma atividade é fortemente mais favorável em relação à outra
7	Importância muito forte	Uma atividade é muito fortemente mais favorável em relação à outra
9	Importância extrema	Uma atividade é ligeiramente mais favorável em relação à outra
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas atividades

Fonte: Adaptado de Saaty (1977).

Uma das principais preocupações do AHP é a consistência dos julgamentos. Para isso, é realizado a validação dos julgamentos, através do $\lambda_{m\acute{a}x}$, Índice de Consistência e a Razão de Consistência. O $\lambda_{m\acute{a}x}$ é calculado pela média dos valores de lambda obtidos a partir das diferenças entre os produtos vetoriais e os pesos (autovetores) dos critérios e subcritérios. A proximidade do valor de $\lambda_{m\acute{a}x}$ com a ordem da matriz indica a consistência do modelo (Saaty, 1987).

O Índice de Consistência determina o grau de consistência do preenchimento da matriz pareada, dado pela Equação 2.

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad \text{Eq. 2}$$

A Razão de Consistência (RC) associa o IC com um Índice de Aleatoriedade (IA), conforme a Equação 3. O IA é estabelecido a partir do número de variáveis estabelecidos, a partir da Tabela 3.

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad \text{Eq. 3}$$

Tabela 3 - Índice de Aleatoriedade.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice de Aleatoriedade	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Fonte: Adaptado de Saaty (1987).

Valores de RC acima de 10% indicam que os julgamentos devem ser revistos, enquanto valores inferiores indicam que existe uma boa consistência no julgamento (Saaty, 1987).

2.6 Obtenção do mapa de potencial de cultivo de soja

Além das classes corpos d'água, área urbanizada e não floresta, classificadas como caráter restritivo para o cultivo da soja, obtidas da camada de uso e cobertura da terra, foram incluídas as ilhas do rio Tocantins. As ilhas foram obtidas a partir da vetorização da camada de uso e cobertura da terra, e, após esse passo, foram rasterizadas e incluídas na camada raster com todas as áreas de restrição. Nessa camada, as áreas aptas possuem valor 1 e as áreas restritivas valor 0.

Com as camadas normalizadas e a obtenção dos pesos dos critérios, obtidos a partir da matriz de comparação pareada, foi realizada a multiplicação de cada critério por seu peso, e pela camada de caráter restritivo. Essa operação foi realizada utilizando a **calculadora raster**, por meio da Equação 1, baseada em Monteiro Neto *et al.* (2021).

$$(\sum x * Wi) * \beta \quad \text{Eq. 1}$$

Onde: $\sum x$ é o somatório dos critérios normalizados (x), W_i é o peso de cada critério, e β é a camada de caráter restritivo.

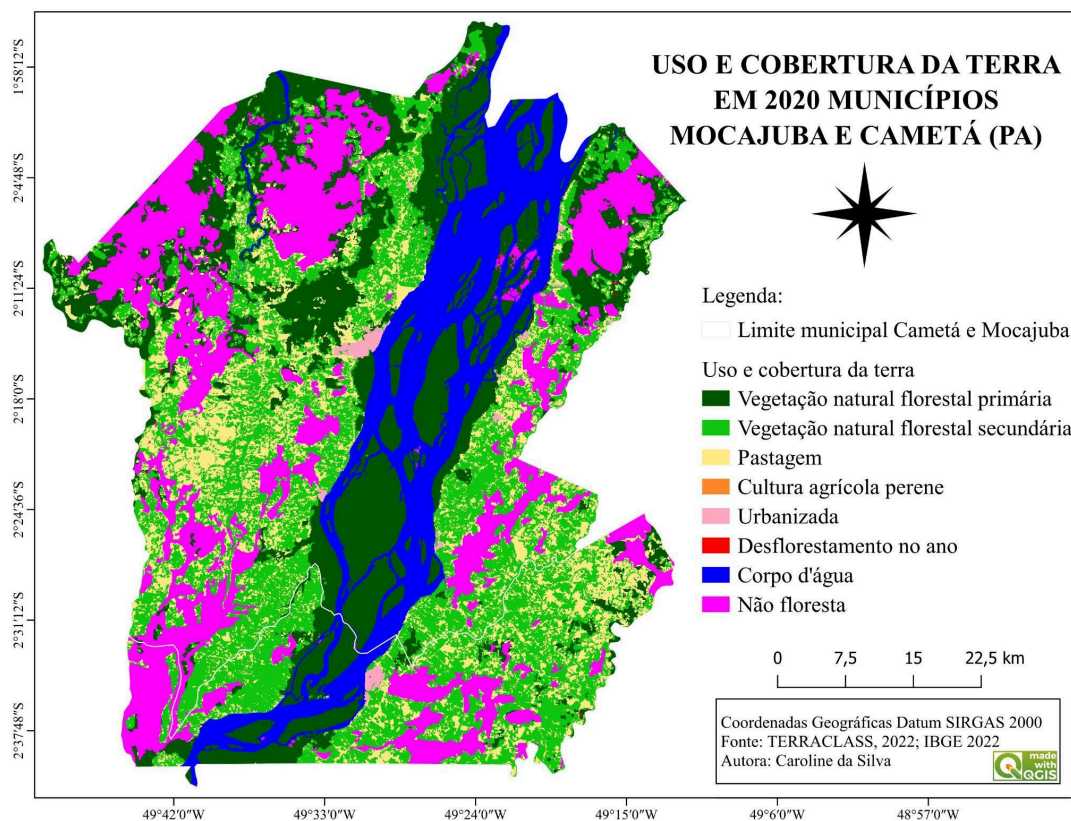
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização ambiental e de infraestrutura baseada nos critérios estabelecidos

3.1.1 Uso e cobertura da terra

A Figura 3 apresenta a distribuição de uso e cobertura da terra para os municípios de Mocajuba e Cametá. As classes presentes no município são: vegetação natural florestal primária, vegetação natural florestal secundária, pastagem, cultura perene, área urbanizada, corpo d'água, desflorestamento no ano e não floresta.

Figura 3 - Uso e cobertura da terra de Mocajuba e Cametá em 2020.



Fonte: Adaptado de TerraClass (2022) e IBGE (2022).

Para a atribuição de pesos, considerou-se as classes de caráter não restritivo, aptas para a introdução da soja na área de estudo. São elas: vegetação natural florestal secundária, pastagem, vegetação natural florestal primária, cultura agrícola e deflorestamento no ano. Os valores atribuídos estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Classes de uso e cobertura da terra e pesos atribuídos.

Classe	Peso
Vegetação natural florestal secundária	3
Pastagem	2,3
Vegetação primária, cultura agrícola perene e deflorestamento no ano	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

A classe de vegetação natural florestal secundária é a de maior ocorrência na área de estudo, ocupando uma área de 27,41%. Apesar da proteção ambiental das florestas secundárias previstas pela “Lei Juquira”, sancionada pelo estado do Pará, essas áreas ainda sofrem forte supressão. Magalhães *et al.* (2023) apontam a fragilidade do sistema de fiscalização ambiental do estado, visto que mais de 80% dos municípios analisados pelo estudo apresentaram aumento do desmatamento da vegetação secundária após a implementação da lei. Os autores ainda apontam a dinamicidade dessas áreas, especialmente em estágio inicial de regeneração, que sofre influência de diferentes usos do solo, aumentando a frequência de supressão.

A soja é uma commodity, apresentando baixo custo de exportação e alto custo de investimento inicial para aquisição de maquinário, correção do solo e outros insumos. Desta forma, necessita de uma extensa área para sua rentabilidade. Para a classe de vegetação secundária, portanto, foi atribuído o maior peso, dado sua extensão e a facilidade de conversão, visto que é considerada uma área sem contribuição econômica significativa, o que justifica sua seleção preferencial para o cultivo de soja.

A pastagem ocupa, nos municípios de Cameté e Mocajuba, 13,65% da área total. As áreas de pastagem se localizam, sobretudo, entre as áreas de vegetação secundária. Para essa classe foi atribuído um peso intermediário, dado sua facilidade de conversão para o uso agrícola, embora exista um uso econômico associado.

A classe de vegetação natural florestal primária localiza-se majoritariamente nas áreas de margem e nas ilhas do rio Tocantins e representa 24,27% da área total da área de estudo. A drenagem anastomosada do rio caracteriza a formação de ilhas, que ocorrem sob um regime de inundação (Silva *et al.*, 2002). Para a classe de vegetação primária atribuiu-se um baixo peso, visto que sua alta presença próxima à áreas de inundação e proteção legislativa ambiental permanente não favorecem a introdução da soja na região. Além disso, para as ilhas formadas pelo rio Tocantins aplicou-se um caráter restritivo devido sua inaptidão de cultivo.

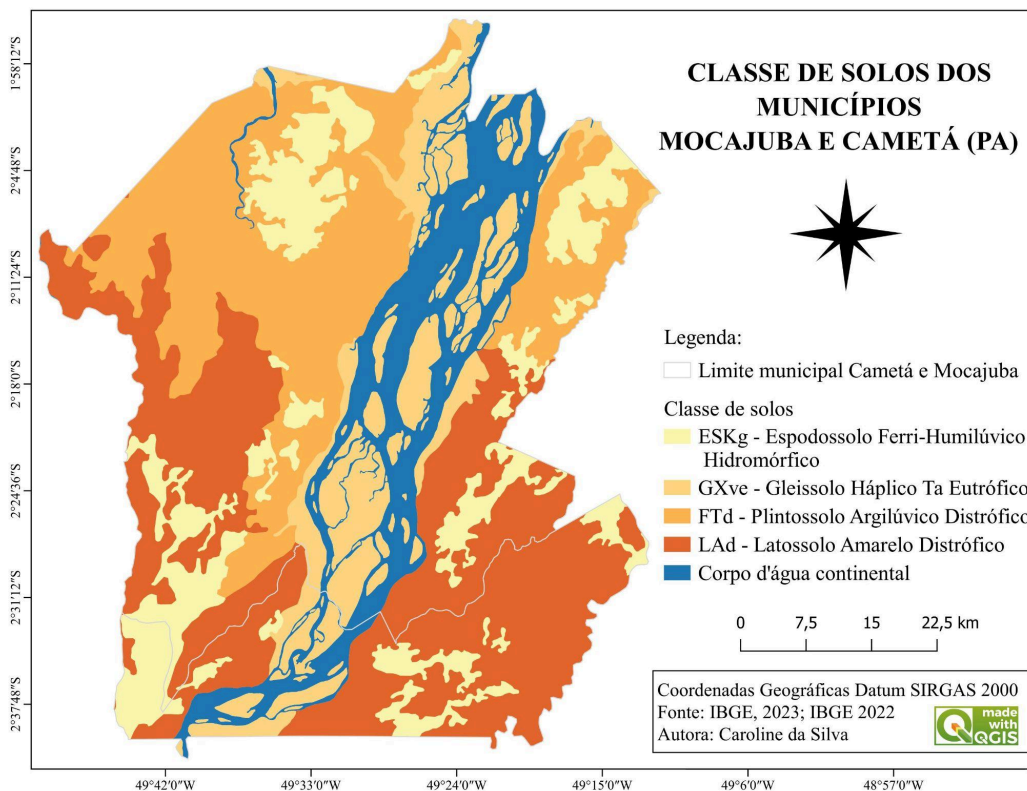
A partir de análise visual e investigação bibliográfica, constatou-se que a classe classificada pelo TerraClass como “não floresta” refere-se a áreas de campinas. Elas abrangem 20,79% da área de estudo, com uma distribuição fragmentada. No Baixo Tocantins essas áreas são conhecidas como “Campos de Natureza”, caracterizados pelos solos arenosos e presença de diversas espécies de vegetação endêmica herbácea-arbustiva (Silva, 2018). Dado a pressão antrópica nessas áreas devido à extração de areia para a construção civil (Ferreira *et al.*, 2013), e, aliado às características deste solo arenoso, pobre em nutrientes e de alta acidez, optou-se por utilizar essa classe como um critério restritivo.

As classes de corpo d’água e urbanizada possuem, respectivamente, 13,33 e 0,52% de ocupação na área de estudo. Foram consideradas como caráter restritivo dado sua inviabilidade de conversão de usos.

3.1.2 Tipo de solo

Os solos de ocorrência na área de estudo são: Espodossolo Ferri-Humilúvico, Gleissolo Háplico, Plintossolo Argilúvico e Latossolo Amarelo (Figura 4). A Tabela 5 apresenta os pesos atribuídos para as classes de solo.

Figura 4 - Classe de solos presentes nos municípios de Mocajuba e Cametá.



Fonte: Adaptado de IBGE (2022; 2023).

Tabela 5 - Classes de tipo de solo e pesos atribuídos.

Classe	Peso
Latossolo Amarelo	3
Plintossolo Argilúvico	2
Espodossolo Ferri-Humilúvico e Gleissolo Háptico	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os gleissolos ocorrem em áreas permanentemente ou periodicamente alagadas, como em margens de rios, ilhas, grandes planícies, etc. Possui coloração acinzentada, azulada ou esverdeada devido ao processo de gleização (IBGE, 2015). Para essa classe, foi atribuído um baixo peso devido à limitação agrícola causada pela má drenagem do solo e pela frequente ocorrência em áreas de preservação permanente (EMBRAPA, 2022).

Os espodossolos possuem predominantemente textura argilosa e gênese proveniente de materiais arenoquartzosos. Em particular, os Espodossolos Ferri-Humilúvicos

Hidromórficos espessoarênicos possuem textura arenosa até profundidade de, pelo menos, 100 cm, tornando-os suscetíveis à erosão e pouco férteis (EMBRAPA, 2022). Essa classe de solo ocorre predominantemente nos Campos de Natureza, áreas de uso e cobertura da terra de restrição para o presente estudo, entretanto, por uma diferença de escala, ainda existe a presença desses solos em outros usos e coberturas. Para esses casos, foi atribuído um baixo peso para essa classe.

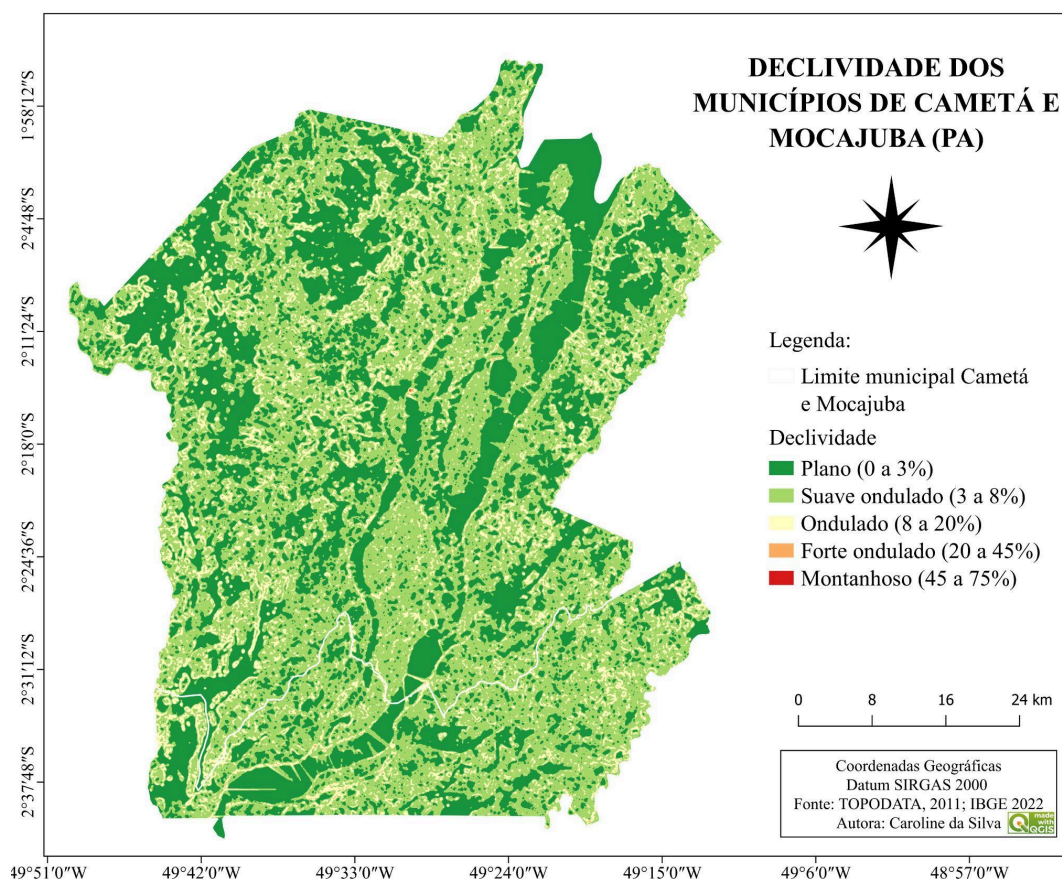
Os plintossolos são caracterizados pela presença de horizonte plíntico, formado pela segregação localizada de ferro, que atua como agente de cimentação, e pela má drenagem. Os Plintossolos Argilúvicos Distróficos, apesar da baixa fertilidade natural e alta acidez, por sua presença em relevo com baixa declividade, permite o uso de maquinário agrícola, e possui potencial agrícola quando aplicado manejo adequado (IBGE, 2015; EMBRAPA, 2022). Foi atribuído peso intermediário para essa classe, dado sua viabilidade agrícola, ainda que com necessidade de correção do solo.

Os latossolos são caracterizados por sua profundidade e estágio avançado de intemperização. São os solos com maior ocorrência no território brasileiro e largamente utilizados para a produção de grãos. Os Latossolos Amarelos possuem boa drenagem, com textura argilosa, baixo potencial de erosão, e, apesar de sua baixa fertilidade natural, possui potencial agrícola se aplicado o manejo adequado (EMBRAPA, 2018, 2022). Logo, para esta classe, foi atribuído um peso mais alto.

3.1.3 Declividade

A Figura 5 apresenta as classes de declividade do município de Cameté e Mocajuba, de acordo com a classificação da Embrapa (1999), baseada na porcentagem da declividade. As classes presentes na área de estudo são: plano (0 a 3%), suave ondulado (3 a 8%), ondulado (8 a 20%), forte ondulado (20 a 45%) e montanhoso (45 a 75%).

Figura 5 - Classe de declividade nos municípios de Mocajuba e Cametá.



Fonte: Adaptado de Topodata (2011) e IBGE (2022).

Dado a atual utilização da mecanização no cultivo de soja, os maiores pesos, que contribuem para o potencial de cultivo de soja, foram atribuídos às classes de menor declividade (Tabela 6). Áreas de topografia plana ou suavemente ondulada são mais favoráveis ao cultivo de soja dado, sobretudo, a facilidade de mecanização e o controle da erosão (EMBRAPA, 2005).

Tabela 6 - Classes de declividade e pesos atribuídos.

Classe	Peso
Plano	3
Suave ondulado	2,5
Ondulado	2
Forte ondulado a montanhoso	1

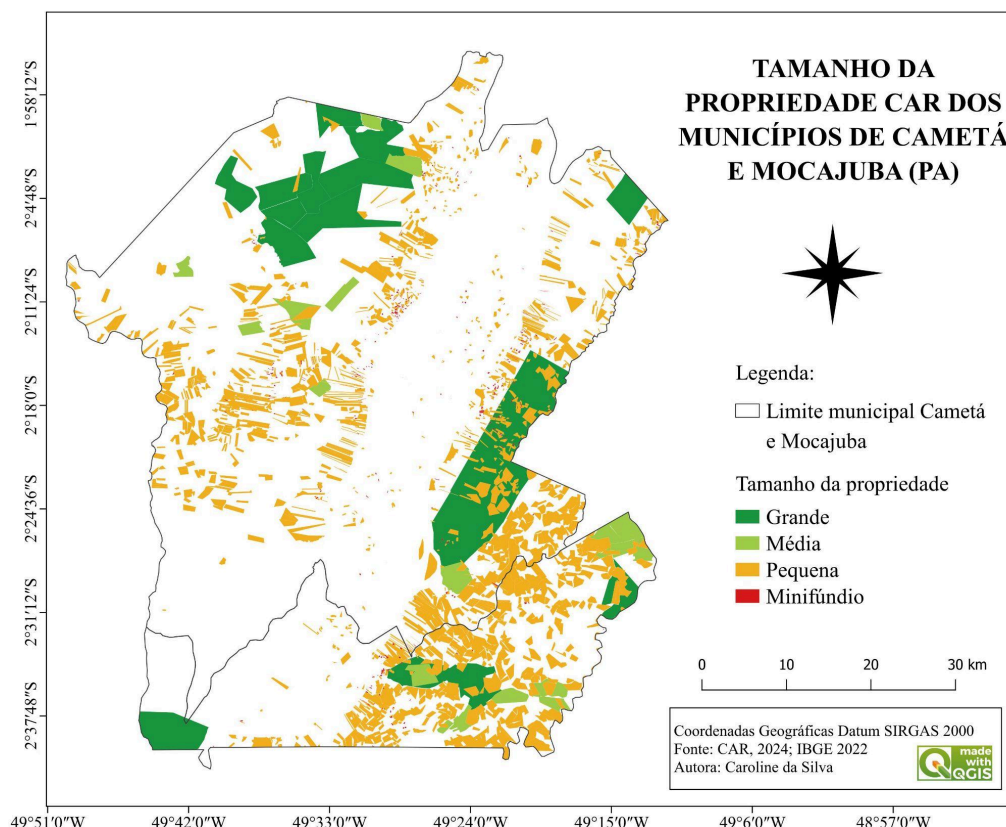
Fonte: Elaborado pelo autor.

As classes de maior ocorrência na área de estudo são a suave ondulada, com 50,57% da área total, seguida pela plana, com 37,57%. Juntas, correspondem a 88,14% da área total dos municípios, cerca de 348.373 hectares. A terceira classe de maior ocorrência é a ondulada (11,79%), seguida da classe forte ondulada (0,07%), e montanhosa (0,001%).

3.1.4 Tamanho da propriedade rural

Nos municípios foram encontrados 2.591 imóveis rurais cadastrados no CAR, constituindo uma área de 119.013,27 hectares. Eles foram classificados de acordo com o tamanho da propriedade, entre: grande, média, pequena e minifúndio (Figura 6).

Figura 6 - Tamanho das propriedades rurais dos municípios de Cameté e Mocajuba.



Fonte: Adaptado de SICAR (2024) e IBGE (2022).

Para atribuição de pesos, foi considerado como classe de maior contribuição ao potencial de cultivo de soja as propriedades classificadas como grandes (Tabela 7). Devido à extensão de área necessária para a rentabilidade do cultivo da soja, a compra de grandes propriedades é mais facilitada em termos burocráticos do que a aquisição de

várias propriedades menores para alcançar a área necessária. As propriedades de tamanho médio foram consideradas como peso intermediário, enquanto as pequenas e minifúndios, de menor peso.

Tabela 7 - Classes de tamanho da propriedade e pesos atribuídos.

Classe	Peso
Grande	3
Média	2
Pequena e minifúndio	1

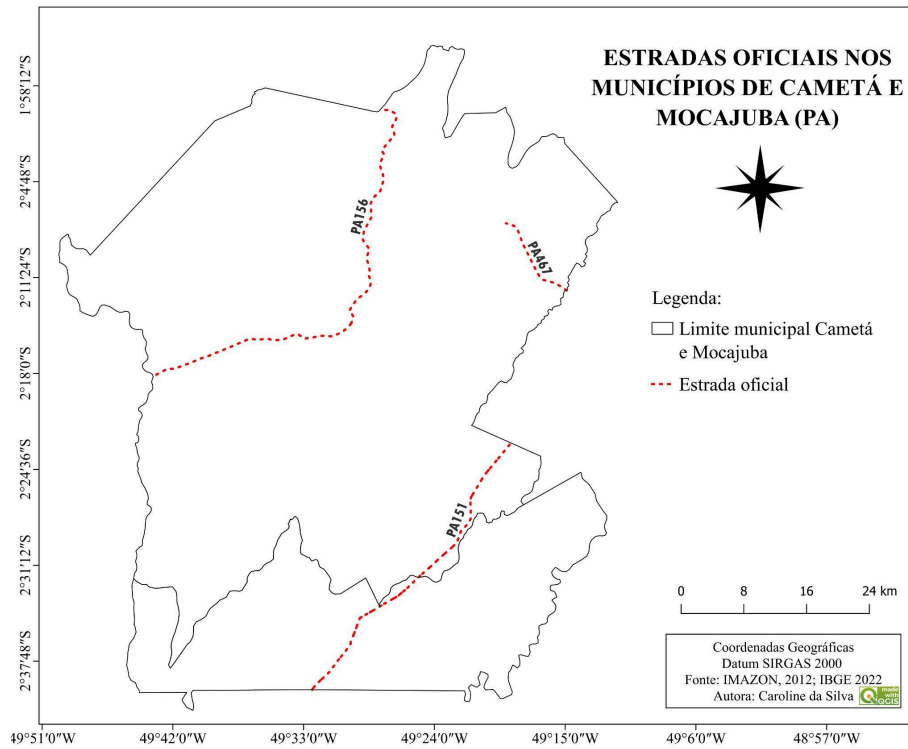
Fonte: Elaborado pelo autor.

As propriedades rurais da classe grande ocupam uma área de 44.153,9 hectares, correspondendo a 37% da área total de propriedades. A classe de média propriedade rural ocupa 9.252,2 hectares e 7,77% da área. Por fim, as classes de tamanho pequeno e minifúndio são as de maior ocorrência, ocupando, juntas, uma área de 65.617,2 hectares e 55,12% da área das propriedades rurais.

3.1.5 Distância de estradas oficiais

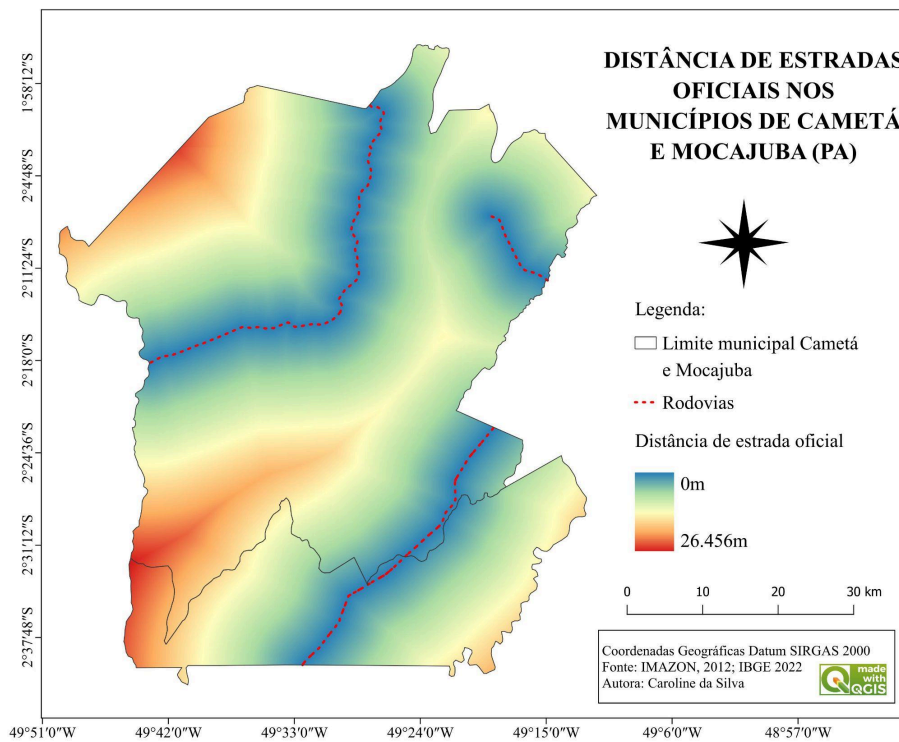
As estradas oficiais de Cameté e Mocajuba são compostas por três rodovias estaduais: PA-151, PA-156 e PA-467 (Figura 7). A Figura 8 apresenta a distância da área de estudo em relação às rodovias, que variam de 0 a 26,45 km.

Figura 7 - Estradas oficiais que atravessam os municípios de Cameté e Mocajuba.



Fonte: Adaptado de IMAZON (2012) e IBGE (2022).

Figura 8- Distância de estradas oficiais nos municípios de Cameté e Mocajuba.



Fonte: Adaptado de IMAZON (2012) e IBGE (2022).

Para a atribuição de pesos, a partir da necessidade do escoamento da produção de soja, foram priorizadas as menores distâncias como de maior contribuição para o potencial de cultivo de soja. As classes de distância das rodovias foram divididas em cinco, onde a classe de 0 a 5 km possui maior peso, e a classe acima de 20 km possui o menor peso (Tabela 8).

Tabela 8 - Classes de distância de estradas oficiais e pesos atribuídos.

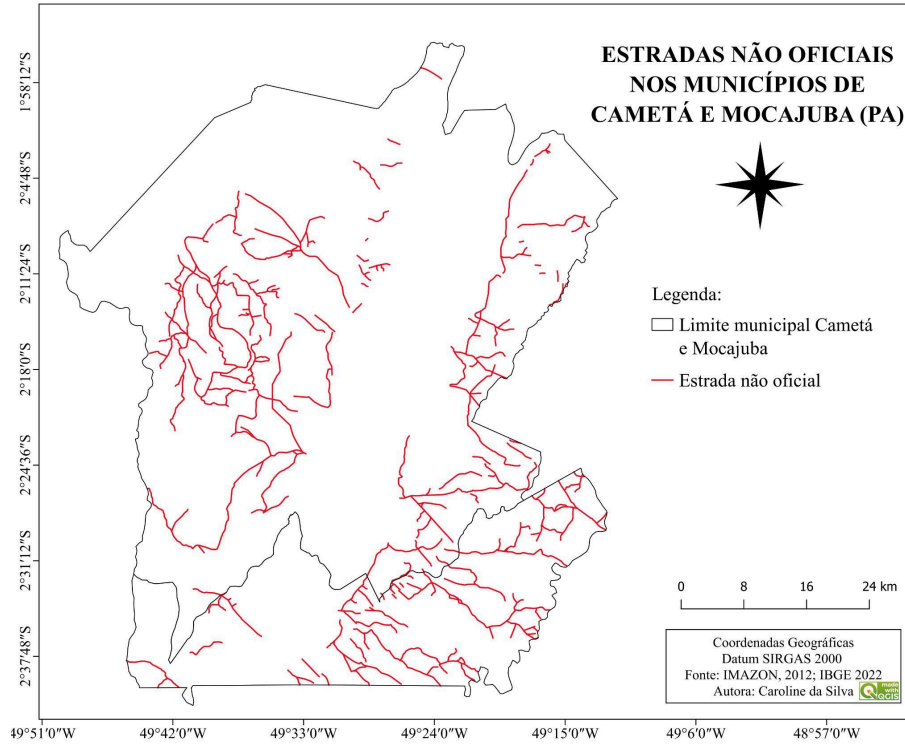
Classe	Peso
0 a 5 km	3
5 a 10 km	2,5
10 a 15 km	2
15 a 20 km	1,5
Acima de 20 km	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.6 Distância de estradas não oficiais

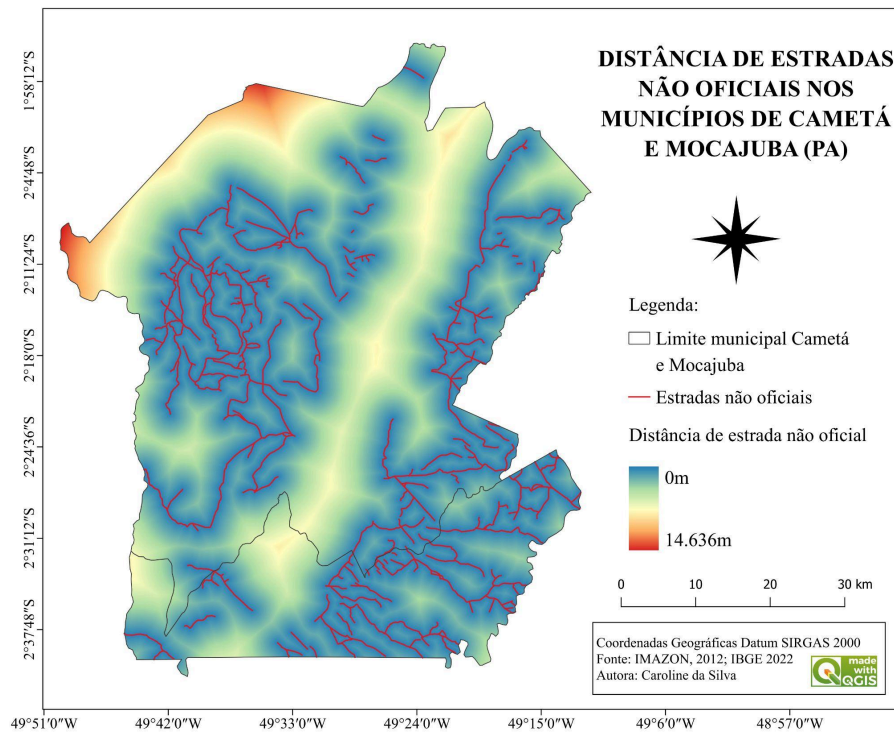
Os municípios de estudo apresentam, no geral, uma alta capilaridade de estradas não oficiais, distribuídas ao longo de quase toda a área de estudo (Figura 9). A Figura 10 apresenta a distância da área de estudo em relação às estradas não oficiais, que variam de 0 a 14,63 km.

Figura 9 - Estradas não oficiais que atravessam os municípios de Cametá e Mocajuba.



Fonte: Adaptado de IMAZON (2012) e IBGE (2022).

Figura 10 - Distância de estradas não oficiais nos municípios de Cametá e Mocajuba.



Fonte: Adaptado de IMAZON (2012) e IBGE (2022).

Para atribuir pesos com base na necessidade de escoamento da produção de soja, assim como para as estradas oficiais, priorizou-se as menores distâncias, visto que elas favorecem o transporte do grão até as estradas oficiais, de melhor infraestrutura. As classes de distância das estradas não oficiais foram divididas em três categorias, onde a classe de 0 a 5 km recebe o maior peso, enquanto a classe acima de 10 a 15 km recebe o menor peso (Tabela 9).

Tabela 9 - Classes de distância de estradas oficiais e pesos atribuídos.

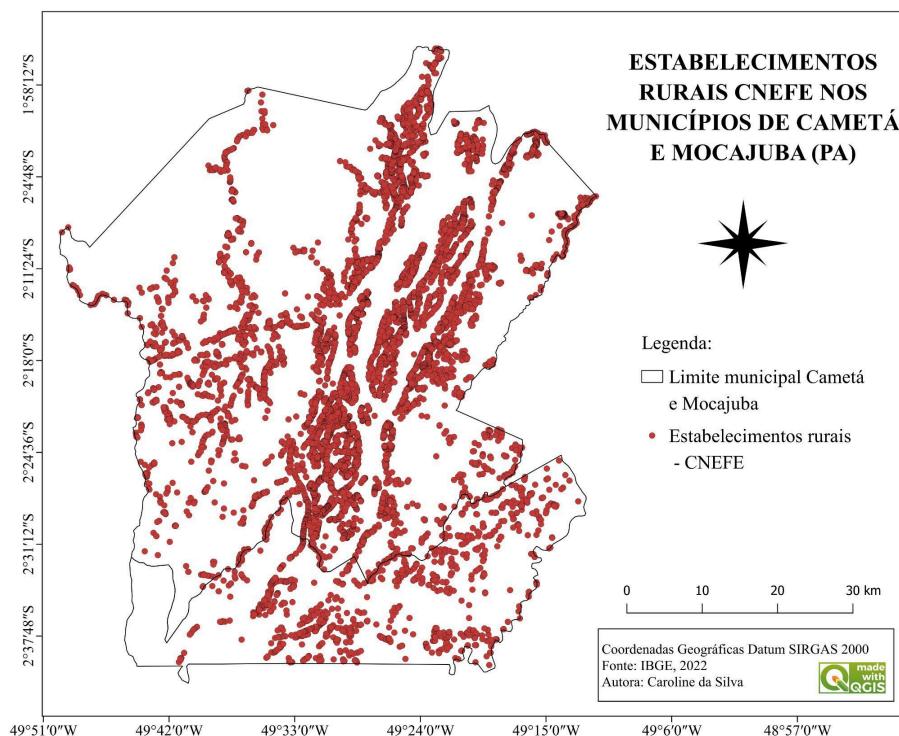
Classe	Peso
0 a 5 km	3
5 a 10 km	2
10 a 15 km	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.7 Concentração de estabelecimentos rurais

Nos municípios analisados, existe a presença de 12.309 estabelecimentos rurais, localizados, sobretudo, ao longo do rio Tocantins e suas margens (Figura 11).

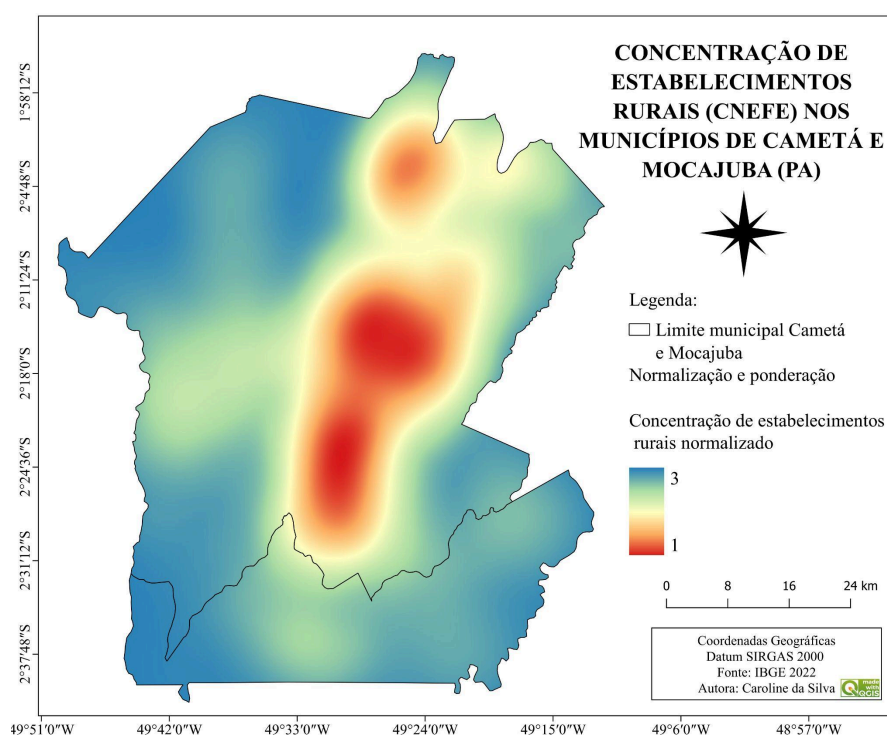
Figura 11 - Distribuição de estabelecimentos rurais nos municípios de Cametá e Mocajuba.



Fonte: Adaptado de IBGE (2022).

A Figura 12 apresenta a concentração dos estabelecimentos rurais, a partir da estimativa de densidade de Kernel, com valores normalizados de 1 a 3. Os valores mais altos representam menor concentração de estabelecimentos, e maior contribuição ao potencial de cultivo de soja. A utilização deste dado complementa a informação sobre o tamanho da propriedade rural, uma vez que a menor concentração de estabelecimentos sugere que, na decisão de compra de terras, serão provavelmente priorizadas áreas menos densamente ocupadas.

Figura 12 - Concentração de estabelecimentos rurais nos municípios de Cametá e Mocajuba.



Fonte: Adaptado de IBGE (2022).

3.2 Mapa final de potencial de cultivo de soja

Para a geração do mapa de potencial de soja, foi preenchida a matriz de comparação pareada entre os critérios estabelecidos (Tabela 10), indicando a importância de um critério sob o outro.

Tabela 10 - Comparação pareada entre os critérios de potencial para o cultivo de soja.

Critérios	Uso e cobertura da terra	Declividade	Tipo de solo	Distância de estradas oficiais	CAR	CNEFE	Distância de estradas não oficiais
Uso e cobertura da terra	1	3	4	5	6	6	8
Declividade	0,33	1	2	3	5	5	7
Tipo de solo	0,25	0,33	1	2	4	4	6
Distância de estradas oficiais	0,2	0,5	0,5	1	3	3	5
CAR	0,17	0,2	0,25	0,33	1	2	4
CNEFE	0,17	0,20	0,25	0,33	0,5	1	3
Distância de estradas não oficiais	0,13	0,14	0,17	0,20	0,25	0,33	1
Validação	$\lambda_{\text{máx}} = 7,22$		IC = 0,03		RC = 0,02		

Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor de razão de consistência foi de 0,02, indicando uma boa consistência no julgamento. O resultado da ponderação dos critérios (Tabela 11) foi obtido a partir da matriz de comparação pareada e representa a importância do critério para o potencial de cultivo de soja. Desta maneira, o critério mais relevante é o de uso e cobertura da terra e o de menor relevância é a distância de estradas não oficiais.

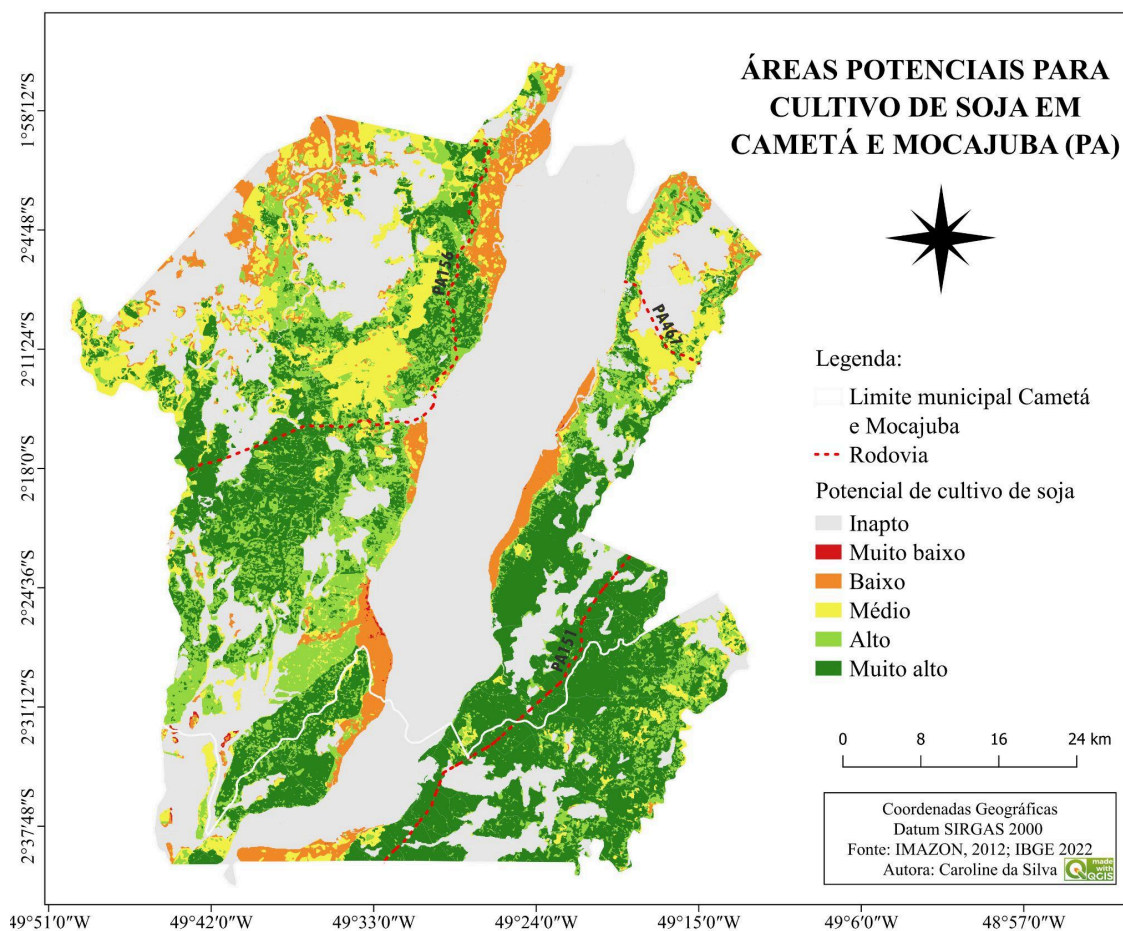
Tabela 11 - Peso dos critérios de potencial para o cultivo de soja.

Critérios	Pesos
Uso e cobertura da terra	0,3197
Declividade	0,2260
Tipo de solo	0,1703
Distância de estradas oficiais	0,1327
CAR	0,0770
CNEFE	0,0528
Distância de estradas não oficiais	0,0215

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da ponderação dos critérios, obteve-se um mapa de valores contínuos das áreas potenciais para o cultivo de soja nos municípios, variando de 1 a 3, de acordo com a escala de normalização aplicada aos critérios. Os menores valores representam menor potencial, e valores maiores apresentam maior potencial. Posteriormente, foi realizada a inclusão das classes restritivas e a reclassificação para um mapa temático final (Figura 13), com as classes de potencial: inapto (0), muito baixo (1-1,35), baixo (1,35-1,7), médio (1,7-2,05), alto (2,05-2,4) e muito alto (2,4-3).

Figura 13 - Áreas potenciais para cultivo de soja em Cametá e Mocajuba.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A classe inapta representa 41,94% da área total, sobretudo em função da extensão do rio Tocantins e dos Campos de Natureza. A classe de potencial muito baixo representa 0,09% da área, com polígonos localizados à sudoeste, com ocorrência de vegetação florestal primária e de gleissolos e espodosolos. Os baixos pesos desses subcritérios,

aliado ao alto peso da ponderação dos critérios implicou na classe de potencial muito baixo.

A classe de potencial muito baixo ocupa 6,13% da área, com ocorrência, sobretudo, às margens do rio Tocantins, relacionado à ocorrência de vegetação florestal primária, gleissolos e alta concentração de estabelecimentos rurais. A classe média representa 10,14% da área, com ocorrência de maior predominância a norte, nas porções a leste e oeste do rio Tocantins.

A classe de potencial alto corresponde a 14,08% da área total, com ocorrência distribuída ao longo dos municípios. Na margem oeste do rio Tocantins apresenta uma maior concentração, sobretudo na porção centro-sul. Essa área está relacionada à ocorrência de vegetação florestal secundária, plintossolos, baixa concentração de estabelecimentos rurais e proximidade com estradas não oficiais.

Áreas da classe de potencial muito alto ocupam 26,61% do total, com a maior ocorrência à sudeste. Além da classe inapta, é a classe de maior frequência. Essa área está associada a fatores como proximidade a estradas oficiais e não oficiais, presença de vegetação florestal secundária e pastagem, predominância de Latossolos, baixa densidade de estabelecimentos rurais e algumas grandes propriedades. Desta maneira, a combinação desses fatores favorece o cultivo de soja nesta região.

4 CONCLUSÃO

Os municípios de Cametá e Mocajuba apresentam 40,7% de sua área nas classes de alto e muito alto potencial de cultivo de soja a partir dos critérios estabelecidos, indicando ser um local propício para a introdução e estabelecimento da soja. Características como alta capilaridade de estradas, terreno plano, baixos valores da terra, entre outros fatores, favorecem a entrada da soja na região.

Os resultados evidenciam a necessidade de atenção à proteção da vegetação secundária nos municípios, especialmente frente ao desmatamento crescente associado à expansão da soja no Pará. Evidências de desmatamento e a pressão sobre a vegetação nativa indicam que as políticas atuais, como a Instrução Normativa “Lei Juquira”, são insuficientes e necessitam de reforço na implementação e fiscalização. A chegada dessa

monocultura, além de impactar a biodiversidade e intensificar problemas ambientais, impacta na dinâmica socioeconômica, afetando os pequenos produtores.

A utilização da análise multicritério e do Processo de Análise Hierárquico (AHP) revelou-se uma metodologia adequada para a identificação de áreas potenciais para o cultivo. A metodologia permitiu a integração de múltiplos critérios relevantes, e a obtenção de índices que demonstram a consistência no julgamento dos critérios. Para futuras pesquisas, sugerimos a incorporação de novos critérios, como a inclusão do dado HAND, obtido do TerraHidro, para melhorar a precisão na avaliação da topografia e sua influência na aptidão agrícola. Além disso, a consulta com um número maior de especialistas, com conhecimento da dinâmica da soja na região, é recomendada para o estabelecimento de critérios que contribuam para o cultivo da soja e obtenção de julgamentos mais precisos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, R. A. Amazônia brasileira: um estudo do agronegócio da soja no Pará no período de 2008 a 2018. **Educação Ambiental em Ação**, v. 19, n. 73, 2021.

BRASIL. Lei Nº 8.629, de 25 de fevereiro de 1993. Dispõe sobre a regulamentação dos dispositivos constitucionais relativos à reforma agrária, previstos no Capítulo III, Título VII, da Constituição Federal. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1993. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8629.htm. Acesso em: 23 maio 2024

CONAB. **Safra histórica de grãos**. 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras#gr%C3%A3os-2>. Acesso em: 05 maio 2024.

EMBRAPA. **Solos Tropicais**. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais>. Acesso em: 03 maio 2024.

FERREIRA, L. V.; CHAVES, P. P.; CUNHA, D. A.; ROSÁRIO, A. S.; PAROLIN, P. A extração ilegal de areia como causa do desaparecimento de campinas e campinaranas no estado do Pará, Brasil. **Pesquisas, Botânica**, v. 64, p. 157-173, 2013. Disponível em: https://www.anchietano.unisinos.br/publicacoes/botanica/volumes/064/10_ferreira%20e%20parolin.pdf. Acesso em: 20 mar. 2024.

GOMES, C. S. Impactos da expansão do agronegócio brasileiro na conservação dos recursos naturais. **Cadernos do Leste**, v. 19, n. 19, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/caderleste/article/view/13160/10396>. Acesso em: 25 maio 2024.

IBGE. **Cidades e Estados do Brasil**. 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 maio 2024.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2022**. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html>. Acesso em: 07 maio 2024.

IBGE. **Malhas territoriais**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>. Acesso em: 07 maio 2024.

IMAZON. **Dados de estrada. 2012**. Disponível em: <https://imazongeo.org.br/#/>. Acesso em: 28 mar. 2024.

MAGALHÃES, D. S.; SILVA-JUNIOR, C. H., HADDAD, I., ARAGÃO, L. E. O., ANDERSON, L. O., ESCADA, M. I. S.; SILVA JÚNIOR, J. F. Inefetividade da “Lei Juquira” na redução do desmatamento de florestas secundárias no Pará. In: ANAIS DO XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2023, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos, INPE, 2023. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/inefetividade-da-lei-juquira-na-reducao-do-desmatamento-de-florestas-secundarias?lang=pt-br> Acesso em: 29 Mai. 2024.

MATIAS, M. R.; MILARE, G.; ESCADA, M. I. S.; MONTEIRO, A. M. V. Q-CleanCAR: Um complemento QGIS para remoção guiada de sobreposições de polígonos de imóveis rurais do Cadastro Ambiental Rural (CAR). **GEOINFO**, 2022.

Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA). **Módulo Fiscal**. 2024. Disponível: <https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/modulo-fiscal>. Acesso em: 10 maio 2024.

MONTEIRO NETO, A.; BARBOSA, I. C. C.; SANTOS, A. M. S.; MENEZES, P. M. M.; FIEL, L. G.; SOUSA, M. C.; BATISTA, L. M.; RODRIGUES, R. R. L.; COSTA, L. G. S. Análise multicritérios como ferramenta de identificação de áreas aptas à expansão da dendeicultura na bacia hidrográfica do Rio Acará, PA. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.8, p.584-607, 2021. Disponível em: <https://sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/6092/3183>. Acesso em: 05 maio 2024.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of mathematical psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0022249677900335?fr=RR-7&ref=pdf_download&rr=88b37d9a1ded27fd. Acesso em: 30 mar. 2024.

SAATY, R. W. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. **Mathematical modelling**, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0270025587904738?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=88b37da0482127fd. Acesso em: 30 mar. 2024.

SILVA, L. G. T.; SILVA, B. N. R.; RODRIGUES, T. E. **Análise fisiográfica das várzeas do Baixo Tocantins: uma contribuição ao manejo e desenvolvimento dos sistemas de uso da terra.** 2002. Disponível em:
<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/664182>. Acesso em: 25 maio 2024.

SILVA, C. L. B. **Cyperaceae Juss. nos campos de natureza de Cametá, Pará, Amazônia, Brasil.** 2018. Dissertação de mestrado. UFRA/Campus Belém. Disponível em:
<http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/bitstream/123456789/921/1/CYPERACEAE%20JUS S.%20NOS%20CAMPOS%20DE%20NATUREZA%20DE%20CAMET%C3%81....o.pdf>. Acesso em: 20 maio 2024.

WESZ JUNIOR, V. J.; KATO, K; LEÃO, A. R.; LEÃO, S. A.; LIMA, M. S. B. Dinâmicas recentes do agronegócio no Oeste do Pará (Brasil): expansão da soja e estruturação de corredores logísticos. **Mundo agrario**, v. 22, n. 50, p. 174-174, 2021. Disponível em:
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1515-5994202100020017. Acesso em: 13 maio 202

