



LÓGICA FUZZY APLICADA À IDENTIFICAÇÃO DE LOCAIS ÓTIMOS PARA SISTEMAS AGROFLORESTAIS

Wesley Lopes Pinto^{1*}, Duanne Karine Dos Anjos Colares¹, Hana Saiumy Favacho Dos Santos¹, Jose Maria Franco Santos Junior¹, Camila Vitória Santos de Aquino¹, Yasmim Guedes da Silva¹, Andria Paulina Duda Rodrigues¹, João Gabriel Ferreira Colares¹, Tatiane de Sousa Rocha¹, Antonio Henrique Cordeiro Ramalho¹
Universidade Federal do Oeste do Pará¹.

*lopeswesley031@gmail.com

RESUMO

Os sistemas agroflorestais utilizam a biodiversidade para otimizar o uso dos recursos naturais, fornecendo uma alternativa à agricultura convencional, combinando geração de renda com preservação ambiental. Porém, a sua implantação exige estudos detalhados sobre a aptidão edafoclimática, logística e operacional das áreas para as culturas envolvidas. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo realizar o zoneamento de áreas com aptidão para a implantação de Sistemas Agroflorestais utilizando Cacau (*Theobroma cacao*) e Mogno Africano (*Swietenia ivorensis*) na região do Baixo Amazonas, Pará. Foram consideradas variáveis de temperatura, precipitação, tipo de solo, declividade, uso e ocupação da terra e proximidade de estradas, aplicando-se a lógica fuzzy para integrá-las. Os resultados indicaram que a maior parte da área apresenta limitações (70,99%), sendo classificada como de baixa aptidão ou inapta, principalmente devido à presença de florestas, limitações climáticas e baixa acessibilidade. Áreas com alta e boa aptidão (20,79%) estão concentradas em regiões que combinam condições favoráveis de clima, solo e logística. Destaca-se que variáveis de precipitação e temperatura foram determinantes, uma vez que as exigências dessas espécies são diferentes, o que restringe o cultivo consorciado a zonas que as atendam simultaneamente. A presença de florestas também foi limitante, considerando as restrições impostas pelo Código Florestal e pela Lei de Crimes Ambientais. A proximidade de estradas mostrou-se essencial para a viabilidade do SAF, favorecendo o escoamento da produção. Portanto, o estudo oferece subsídios para o ordenamento territorial, visando aliar a conservação ambiental ao desenvolvimento produtivo sustentável na região.

Palavras-chave: Cultivo integrado; Zoneamento de aptidão; Lógica Fuzzy; Geotecnologias;

INTRODUÇÃO

O estado do Pará sofreu uma perda significativa de 271.735,48 km² de área de floresta nativa, acumulado até o período de 2019. As principais atividades ligadas ao desmatamento são: mineração, pecuária e produção de soja. Atividades estas consideradas extensivas, ou seja, demandam grandes áreas para produção (Coelho e Toledo, 2024). O sistema agroflorestal é um modelo com viés produtivo, que alia a recuperação ambiental e diversificação produtiva, considerando aspectos sociais, econômicos e ecológicos do sistema (Almeida, 2019).

Os sistemas agroflorestais (SAFs) no Pará oferecem um modelo agrícola sustentável, combinando geração de renda com preservação ambiental. Eles utilizam a biodiversidade para otimizar o uso dos recursos naturais, fornecendo uma alternativa à agricultura convencional, ao mesmo tempo em que aumentam a segurança alimentar e apoiam o desenvolvimento econômico na região (Cavalcante et al., 2024).

Deste modo a seguinte pesquisa destinou-se a elaborar um zoneamento de áreas com aptidão para a implantação de sistemas agroflorestais (SAFs) com cacau (*Theobroma sp*) e mogno (*Swietenia sp*) no Baixo Amazonas, na região Oeste do Pará, considerando variáveis edafoclimáticas e ambientais.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido na região do Baixo Amazonas, no estado do Pará, abrangendo os municípios de Alenquer, Almeirim, Belterra, Curuá, Faro, Juruti, Mojuí dos Campos, Monte Alegre, Óbidos, Oriximiná, Prainha, Santarém e Terra Santa (Figura 1).

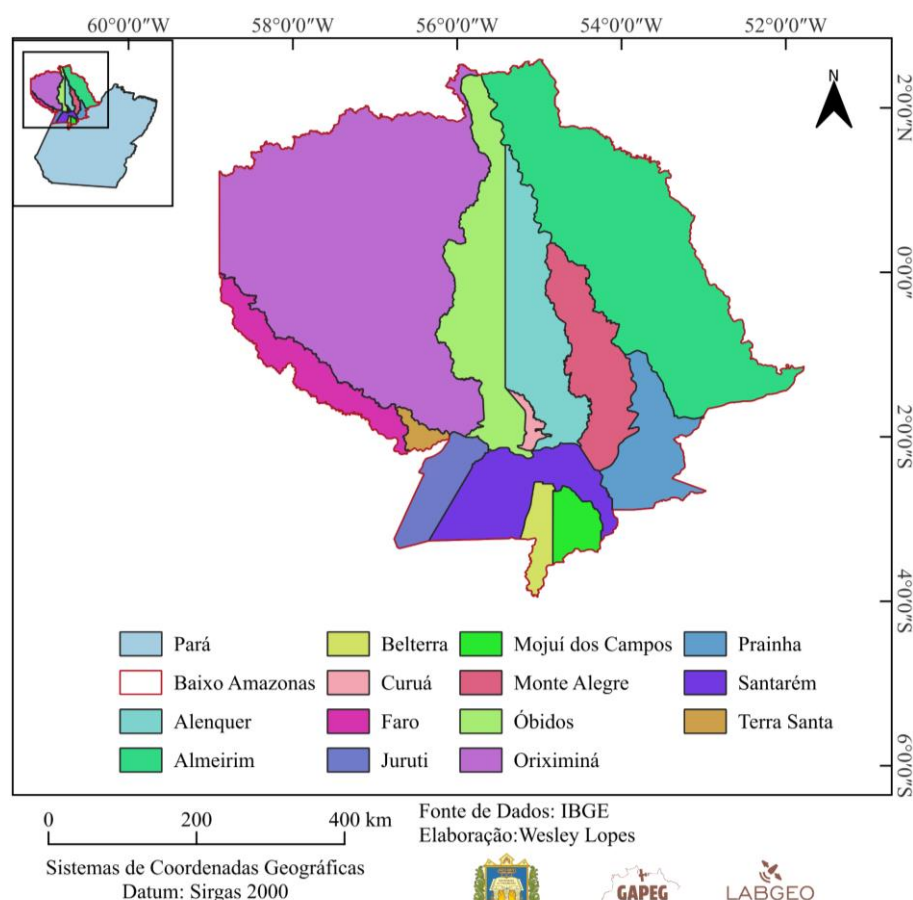


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo

Figure 1: Location map of the study area

Para elaborar o presente trabalho que envolve identificar áreas para o cultivo integrados de Mogno e Cacau na mesorregião do Baixo Amazonas e atingir o objetivo geral destacado pela pesquisa foram adotadas as seguintes etapas metodológicas:

Etapas 1) Pesquisa bibliográfica

Para identificar as condições nas quais as variedades de cacau e mogno se desenvolvem melhor, inicialmente foi feita uma pesquisa bibliográfica para determinar as faixas de temperatura, precipitação, evapotranspiração, tipo de solo, declividade, uso e ocupação do solo e proximidade de estradas.

Tabela 1: Parâmetros Ambientais Ideais para o Cultivo de Cacau e Mogno

Table 1: Ideal Environmental Parameters for Cocoa and Mahogany Cultivation

Variável	Mogno	Cacau
Temperatura	23,5 °C a 29,5 °C	22 °C a 28 °C
Precipitação	1.550 mm a 2.300 mm	1.800 mm a 2.500 mm
Declividade	27°	27°
Proximidade de estradas	5.000 m	5.000 m
Tipos de solo	Argissolo, Latossolo, Neossolo	Nitossolo
Uso e ocupação da terra	Agropecuária (Pastagem, Agricultura, Soja, Cana, Arroz, Algodão, Café, Citrus, Dendê, Silvicultura e Mosaico de usos)	Agropecuária (Pastagem, Agricultura, Soja, Cana, Arroz, Algodão, Café, Citrus, Dendê, Silvicultura e Mosaico de usos)

Etapas 2) Banco de dados

Os dados utilizados neste estudo foram provenientes de diversas fontes confiáveis e apresentam diferentes formatos, escalas e tipos de informação. A precipitação anual foi obtida em formato matricial, com resolução espacial de 1 km, representando a precipitação acumulada anual, a partir da base de dados WorldClim (2025). Da mesma forma, os dados de temperatura anual, também em formato matricial e com a mesma resolução, foram extraídos da mesma fonte e correspondem à temperatura média anual.

As informações referentes ao uso e ocupação da terra foram adquiridas da plataforma MapBiomias (2023), em formato matricial, com resolução espacial de 30 metros, contendo as classes de cobertura da terra. O Modelo Digital de Elevação (MDE), utilizado para a geração da declividade, foi obtido a partir do SRTM (2025), igualmente em formato matricial e com resolução de 30 metros.

Os tipos de solos foram extraídos da base de dados da EMBRAPA (2025), no formato vetorial e com escala de 1 km, representando as diferentes classes de solos. Por fim, a malha viária foi obtida a partir do OpenStreetMaps (2025), em formato vetorial, sendo utilizada para calcular a proximidade de estradas, com resolução espacial de 30 metros.

Etapa 3) Pré-processamento

Todos os procedimentos geográficos foram conduzidos no software QGIS, v. 3.40. Nesta etapa, os dados foram recortados para a área de estudo. Em seguida foram reprojetados para o sistema de coordenadas Albers de Área Equivalente para a América do Sul (ESRI:102033) e submetidos à interpolação espacial por Ponderação de Distância Inversa (IDW) com resolução de 30 metros para garantir a sua padronização.

Etapa 4) Processamento

Em seguida, aplicaram-se as funções de pertinência Fuzzy para transformar os dados em escalas contínuas de aptidão. As variáveis de precipitação acumulada, temperatura média, uso e ocupação a terra e tipos de solos foram submetidas à função de pertinência linear crescente, de modo que quanto maior o valor da variável, maior a aptidão da área para o cultivo. A declividade e a proximidade de estradas, por sua vez, foram tratadas com a função Small, na qual valores superiores ao ponto médio (27° para a declividade; e 5.000 metros para a proximidade de estradas) implicam em uma redução exponencial da aptidão, refletindo as limitações operacionais.

Para viabilizar a identificação das áreas potenciais para o cultivo do SAF, as variáveis foram integradas por meio da técnica de sobreposição Fuzzy Gamma, a qual permite a combinação ponderada das informações. Em seguida, foi calculada a média entre os resultados das duas culturas, a fim de se obter o mapa final de aptidão. Por fim, a camada raster resultante foi convertida para o formato vetorial e reclassificada em níveis de aptidão, definidos da seguinte forma: inapto (0 a 0,2), baixa aptidão (0,2 a 0,4), aptidão regular (0,4 a 0,6), boa aptidão (0,6 a 0,8) e alta aptidão (0,8 a 1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do zoneamento para o cultivo de mogno e cacau, por meio da distribuição espacial das classes alta aptidão, boa aptidão, aptidão regular, baixa aptidão e inapto (Figura 2). No geral a região apresentou 4.962.245,75 km² (14,66%) de área com alta aptidão para o consórcio entre mogno e cacau, as áreas inaptas e baixa aptidão somadas totalizaram 24.048.555,94 km² (70,99%) um expressivo de área possuem limitações severas ou moderadas para o desenvolvimento das culturas avaliadas. As classes boa aptidão (6,14%) e aptidão regular (8,22%), somadas, representam cerca de 14% da área, o que sugere potencial para a implantação dos safes nessas áreas, necessitando de adaptação tecnológica, correções de solo.

Os resultados obtidos demonstram que variáveis como presença de áreas de florestas nativas, proximidade das estradas, além dos regimes de precipitação e temperatura, exerceram influência significativa na definição das classes de aptidão. Áreas ocupadas por florestas nativas tendem a ser classificadas, como inaptas ou de baixa aptidão, em concordância com os critérios de restrição legal e ambiental. De acordo com o código florestal áreas de proteção permanente a supressão de vegetação nativa é proibida, exceto em casos de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, mediante autorização do órgão ambiental (Lei nº 12.651/2012). Na reserva legal é permitido o uso sustentável, incluindo safes, desde que não implique na supressão da vegetação nativa remanescente e que o manejo seja autorizado e tecnicamente adequado (Lei nº 12.651/2012). Vale mencionar a lei de crimes ambientais que condena a supressão de vegetação nativa (Lei nº 9.605/1998).

A variável logística se mostrou de extrema importância, uma vez que as áreas mais próximas de estradas possuem maiores condições para o escoamento da produção e o acesso a insumos. Variáveis como temperatura e precipitação apresentaram grande importância para o zoneamento dado que as classes são diferentes entre o cacau e mogno, limitando o cultivo consorciado a áreas em que sejam favoráveis ao desenvolvimento das espécies.

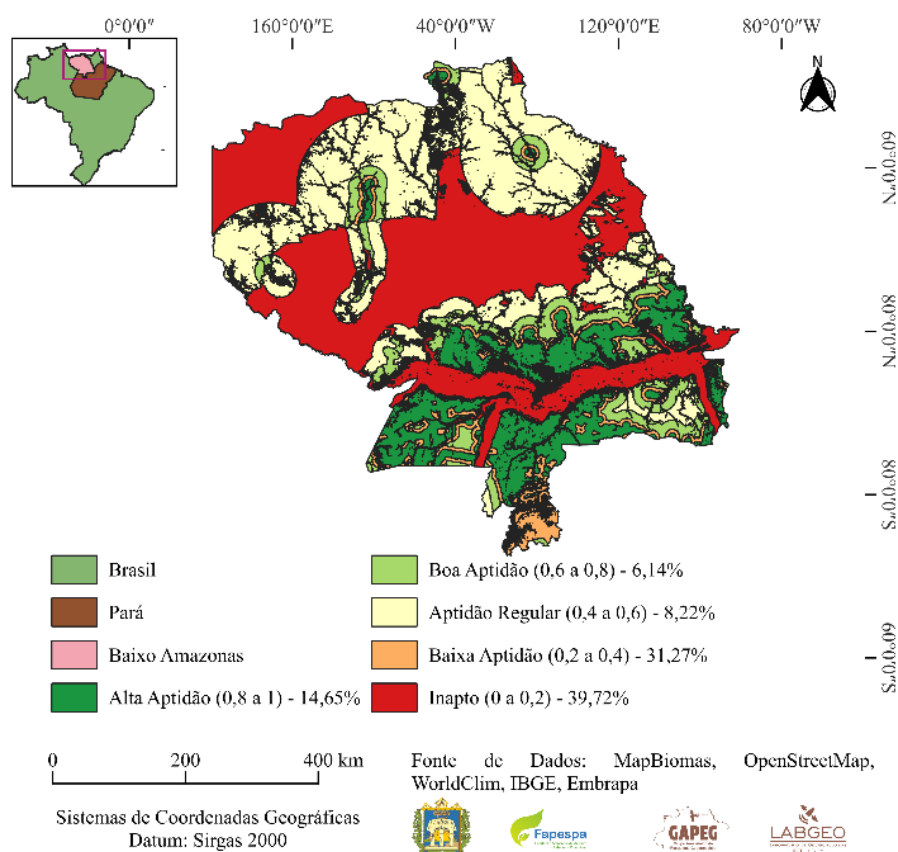


Figura 2: Zoneamento de áreas para o consórcio de mogno e cacau no baixo amazonas
Figure 2: Zoning of areas for the consortium of mahogany and cocoa in the lower Amazon

CONCLUSÕES

- A análise de aptidão evidenciou que a maior parte da área estudada apresenta limitações para o desenvolvimento das culturas analisadas (cacau e mogno), sendo classificada como de baixa aptidão (31,27%) ou inapta (39,72%). Isso se deve principalmente a restrições climáticas (precipitação e temperatura), presença de florestas nativas e baixa acessibilidade.
- As áreas classificadas como de alta aptidão (14,65%) e boa aptidão (6,14%) estão concentradas em regiões específicas que combinam condições favoráveis de clima, solo, relevo e infraestrutura, representando oportunidades para o desenvolvimento sustentável das culturas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA), à Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), ao Instituto de Biodiversidade e Florestas (IBEF), ao Laboratório de Geotecnologias (LABGEO) do IBEF/UFOPA e ao Grupo Amazônico de Pesquisas Geoespaciais (GAPEG).

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o novo Código Florestal brasileiro.
- BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1998.
- ALMEIDA, A. S.(2019).PERCEPÇÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS POR AGRICULTORES FAMILIARES NA AMAZÔNIA ORIENTAL: SUBSÍDIOS PARA A RESTAURAÇÃO FLORESTAL. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) –Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
- CAVALCANTE, IRIS TATIANE; LISBOA, CRISTIANE FERNANDES; FERREIRA DE JESUS, FERNANDA LAMEDE; *ET AL.* SISTEMAS AGROFLORESTAIS COMO ALTERNATIVA DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL PARA A REGIÃO AMAZÔNICA. 2024.
- COELHO, ANDRÉA DOS SANTOS; TOLEDO, PETER MANN DE. PUBLIC POLICIES AND THE DYNAMICS OF FOREST CONVERSION IN THE ANTHROPOCENE OF THE AMAZON PARAENSE. 2024.. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/rdelosv17.n52-006>