

Fronteiras em transformação: modelagem dinâmica espacial da cobertura da terra e influência de variáveis explicativas em áreas protegidas da Amazônia brasileira

Frontiers in transformation: spatial dynamic modeling of land cover and the influence of explanatory variables in protected areas of the Brazilian Amazon

Fronteras en transformación: modelación dinámica espaciales de la cobertura del suelo y la influencia de variables explicativas en áreas protegidas de la Amazonía brasileña

Fabrizio Sousa da Silva

Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Doutorando em Ciências Ambientais pela Universidade Federal do Pará – UFPA. Analista de Geoprocessamento no Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO) da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão (SEMA-MA) e Professor Substituto no Departamento de Geografia da Universidade Estadual do Maranhão – DEGEO/UEMA. professorfabricsousa@gmail.com / <http://orcid.org/0000-0001-6895-6496>

Peter Mann de Toledo

PhD em Geologia pela Universidade do Colorado, Estados Unidos. Pesquisador Titular do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Professor Permanente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Pará – PPGCA/UFPA, em convênio com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Amazônia Oriental) e o Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), e do Programa de Pós-Graduação em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia – PPGEDAM/NUMA/UFPA. peter.toledo@inpe.br / <http://orcid.org/0000-0003-4265-2624>

Aline Maria Meiguins de Lima

Doutora em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido pelo Núcleo de Altos Estudos Amazônicos – NAEA/UFPA. Professora Permanente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará – UFPA, em convênio com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Amazônia Oriental) e o Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG). ameiguins@ufpa.br / <http://orcid.org/0000-0002-0594-0187>

Silas Nogueira de Melo

Doutor em Geografia pela Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Professor Adjunto do Departamento de Geografia (DEGEO) e do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA. silasmelo@professor.uema.br / <http://orcid.org/0000-0003-3363-5208>

Recebido: 26/02/2024; Aceito: 30/03/2024; Publicado: 17/12/2024.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar as mudanças da cobertura da terra, na Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense, inserida em uma Fronteira Agropecuária da Amazônia Brasileira, considerando os anos de 2000, 2010 e 2020. A metodologia exploratória foi utilizada nesta pesquisa, apoiada na modelagem dinâmica espacial, onde se realizou etapas de organização de dados, cálculo de taxas de transição, geração de pesos de evidência de variáveis explicativas, calibração do modelo e validação. Os principais resultados mostram que: a) houve redução nas taxas de transição entre os anos avaliados; b) as variáveis escolhidas permitiram alcançar um índice de similaridade de até 73%; c) a principal classe de destino das transições foi a Pastagem Manejada. Conclui-se que as variáveis escolhidas nesta pesquisa permitiram a construção de um modelo condizente com as transformações nessa fronteira amazônica, seja através da lógica de transformação histórica, seja através dos programas de monitoramento da Amazônia. Este trabalho subsidia a elaboração de cenários alternativos para a área de estudo, tendo em vista a confiabilidade alcançada pelo modelo.

Palavras-chave: Cobertura da Terra; Fronteira; Amazônia Brasileira; Modelagem Dinâmica Espacial.

ABSTRACT

The objective of this work is to analyze the changes in land cover in the Environmental Protection Area of the Baixada Maranhense, inserted in an Agricultural Frontier of the Amazon, considering the years 2000, 2010 and 2020. The methodology used in this research included the use of spatial dynamic modeling, where steps were carried out to organize data, calculate transition rates, generate evidence weights of explanatory variables, model calibration and validation. The main results show that: a) there was a reduction in the transition rates between the years evaluated; b) the chosen variables allowed us to achieve a similarity index of up to 73%; c) the main destination class of the transitions was Managed Pasture. It is concluded that the variables chosen in this research allowed the construction of a model consistent with the transformations in this Amazonian frontier, either through the logic of historical transformation, or through the monitoring programs of the Amazon.

Keywords: Land Cover; Frontier; Brazilian Amazon; Spatial Dynamic Modeling.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es analizar los cambios en la cobertura del suelo en el Área de Protección Ambiental de la Baixada Maranhense, inserta en una Frontera Agrícola de la Amazonía, considerando los años 2000, 2010 y 2020. La metodología utilizada en esta investigación incluyó el uso de modelación dinámica espaciales, donde se llevaron a cabo pasos para organizar los datos, calcular las tasas de transición, generar ponderaciones de evidencia de las variables explicativas, calibración y validación del modelo. Los principales resultados muestran que: a) hubo una reducción en las tasas de transición entre los años evaluados; b) las variables elegidas permitieron alcanzar un índice de similitud de hasta el 73%; c) la principal clase de destino de las transiciones fue el Pastoreo Manejado. Se concluye que las variables escogidas en esta investigación permitieron la construcción de un modelo coherente con las transformaciones en esta frontera amazónica, ya sea a través de la lógica de la transformación histórica, o a través de los programas de monitoreo de la Amazonía.

Palabras clave: Cobertura Terrestre; Frontera; Amazonía Brasileña; Modelación Dinámica Espaciales.

Introdução

Em breve linhas históricas, a região amazônica teve seu desenvolvimento impulsionado como fronteira agrícola, a partir da década de 60, com a diversificação dos espaços antes ocupados por áreas florestais e que cederam lugar a mosaicos de ocupações

espontâneos ou induzidos pelas políticas públicas de incentivo ao crescimento da região (Castro, 2005; Silva; Silva, 2022).

Por outro lado, as intensas mudanças em sua cobertura têm na ação antrópica o motor importante das alterações deste sistema ambiental, e as conversões da cobertura da terra em diferentes usos têm sido motivadas historicamente por diferentes políticas de ordenamento, povoamento e interesses econômicos na região (Prates; Bacha, 2006).

Domingues e Sauer (2021) destacam que “Amazônia é colocada na condição de fronteira” no momento em que a mesma é tratada como fornecedora de produtos florestais, minerais e de hidro-energia. Esta visão pactua com o histórico descrito nos trabalhos de Becker (2004, 2005) com a discussão sobre a mercantilização da natureza e o tratamento da Amazônica como fronteira do capital natural; a autora destaca temas como o “mercado do ar” (créditos de carbono), o mercado da vida (relativo a biodiversidade) e o mercado da água, como agentes propulsores desta relação de trocas financeiras que tradicionalmente não se voltam para população local na mesma intensidade e necessitam de regulação.

No âmbito destas transformações que pressionam os recursos naturais e a cobertura da terra, de acordo com o Serviço de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases do Efeito Estufa – SEEG (2020), somente no ano de 2020, a Amazônia perdeu mais de 10 mil km² de cobertura vegetal e contribuiu com aproximadamente 702,86 MtCO₂ emitidos para a atmosfera. Apesar deste cenário de intensas transformações na cobertura da terra, áreas com algum grau de proteção ambiental também têm coexistido ao longo do tempo neste cenário. As áreas de proteção têm se destacado como relevantes na contenção dessas transformações, sobretudo no que se refere ao desmatamento (Sousa et al., 2023).

N atual conjuntura, verificam-se na Amazônia áreas destinadas a diferentes níveis de proteção, destacando-se Unidades de Conservação (UCs), as quais totalizam 335 áreas, além de 338 Terras Indígenas (Coelho, 2019; Santos et al., 2022). De acordo com Nunes et al. (2015), a depender do grau de restrição da área com algum grau de proteção, a eficácia de contenção do desmatamento também pode variar.

Entre as diferentes categorias de UCs presentes na Amazônia, destacam-se as Áreas de Proteção Ambiental (APAS), as quais podem ser definidas como áreas de uso sustentável (permitido o usufruto racional dos recursos naturais existentes e habitação) ou de proteção integral (de alta restrição), definidas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC (Lei Federal 9985/2000).

Além do aspecto jurídico para a proteção ambiental, iniciativas para o monitoramento das mudanças na cobertura da terra no Brasil também apresentam forte

relevância. Para tanto, iniciativas apoiadas em tecnologia de sensoriamento remoto, surgiram a partir dos anos 80 e destacam-se desde então o PRODES (iniciado em 1988), DETER, TERRACLASS (iniciado em 2008), as quais permitem também o estabelecimento de um panorama de transformações em áreas protegidas.

A condução de políticas de gestão ambiental, principalmente em áreas dotadas de algum grau de proteção, pode receber as contribuições das tendências observadas através das mudanças na cobertura da terra. Nesse sentido, a modelagem dos fenômenos espaciais apresenta-se como importante técnica de colaboração para compreensão do funcionamento de um dado sistema (Soares-Filho, 2002) e/ou fenômeno, colocando-se como ferramenta de decisão, em decorrência da capacidade de responder a questões fundamentais em uma investigação: “Por quê?”, “Quando?” e “Onde?” (Pedrosa; Câmara, 2007).

A tarefa de modelar, de acordo com Briassoulis (2000), corresponde a realizar abstrações ou aproximações de uma dada realidade ou acontecimento, objetivando simplificar relações complexas do mundo real e possibilitar manejo e análise de um dado fenômeno. Soares Filho (1998) acrescenta que tal processo é resultante de hipóteses e predições que permitem uma comparação com o mundo real.

Os Modelos de Mudança de Uso e Cobertura da Terra são modelos destinados a construir cenários hipotéticos, ou mesmo alternativos, para identificar as alterações na cobertura da terra mediante parâmetros definidos pelo usuário (Briassoulis, 2000; Bennediti, 2004; Santos, 2018) bem como permite identificar as forças de influências, ou driving forces, nas áreas de estudo (Aguiar et al., 2015). Tais modelos constituem-se como dinâmicos espaciais, pois são dotados de dimensão temporal e cartográfica (Briassoulis, 2000).

No contexto apresentado, esta pesquisa objetivou avaliar as transformações espaço-temporais da cobertura da terra na Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense, através da Modelagem Dinâmica Espacial de variáveis explicativas e das principais políticas de gestão ambiental aplicadas. Tal escolha decorre de se tratar de área protegida, em ambiente amazônico, antropizado e com ausência de políticas específicas de ordenamento do território.

Metodologia: material e método

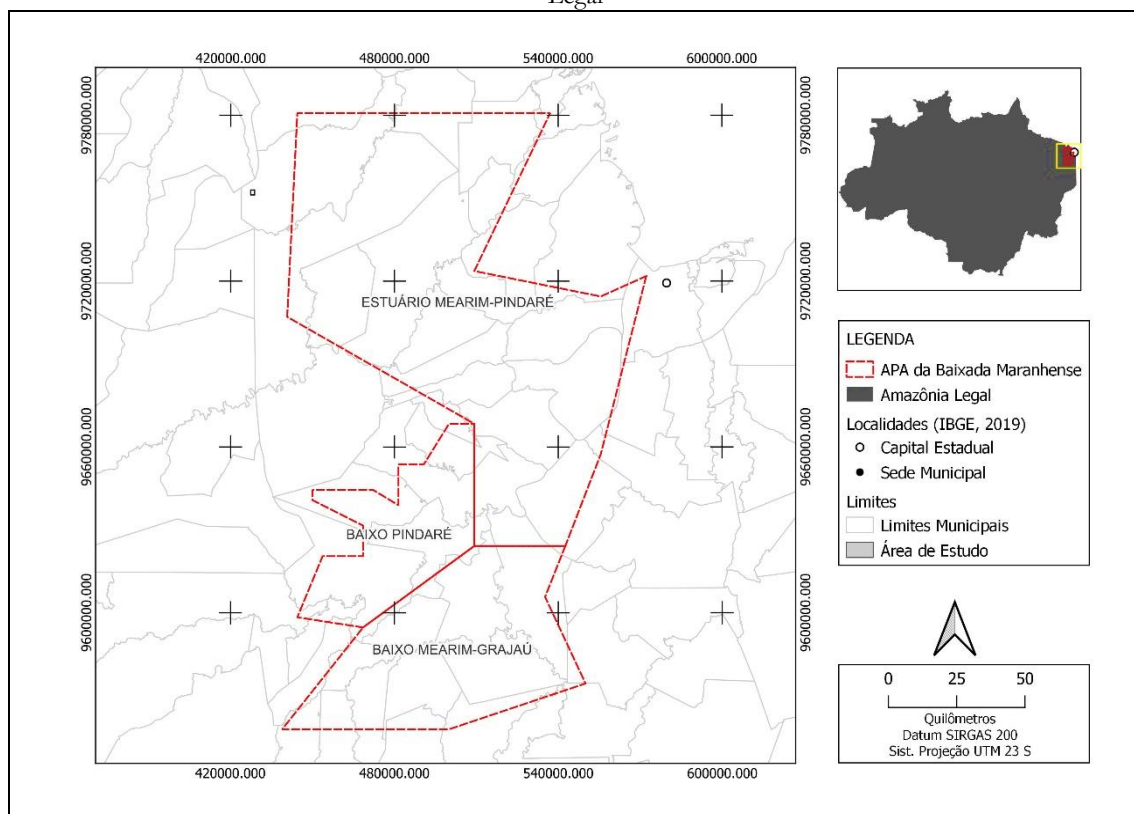
Área de Estudo

Uma porção da Amazônia Brasileira situa-se em território maranhense e apresenta ocupação que remonta aos tempos da colonização portuguesa, caracterizada por um

povoamento das terras férteis dessa região mediante o incentivo à monocultura do algodão e da cana-de-açúcar, além da pecuária (Roland, 2020; Lafontaine, 2011). Atualmente, estima-se que a Amazônia Maranhense contabilize um total de perda de 75% da cobertura de vegetação nativa (Silva Júnior et al., 2020).

O recorte espacial da pesquisa, inserida na Amazônia Maranhense, corresponde aos limites da Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense (APA da Baixada), criada em 1991 (Decreto Lei 11900 de Junho de 1991) e que, a partir da criação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), foi categorizada como sendo de Uso Sustentável, como demonstra a Figura 1. Esta unidade apresenta uma extensão de 1.775.035,6 hectares e posiciona-se no extremo nordeste da Amazônia Brasileira.

Figura 1 – Localização da área de estudo no contexto da Amazônia Legal



Fonte: IBGE (2022). **Elaboração:** Autores (2024).

A área de pesquisa congrega 48 municípios, total ou parcialmente, tal como indica a Figura 1, e tem como objetivos a harmonia entre a manutenção da biodiversidade local, o desenvolvimento sustentável e o usufruto racional dos recursos naturais existentes (Decreto Lei 11900/1991). Para fins de ordenamento e gestão do território, o decreto de criação subdividiu a área em três unidades: Estuário Mearim-Pindaré (porção centro norte), Baixo-Pindaré (porção oeste) e Baixo Mearim-Grajaú (porção sul).

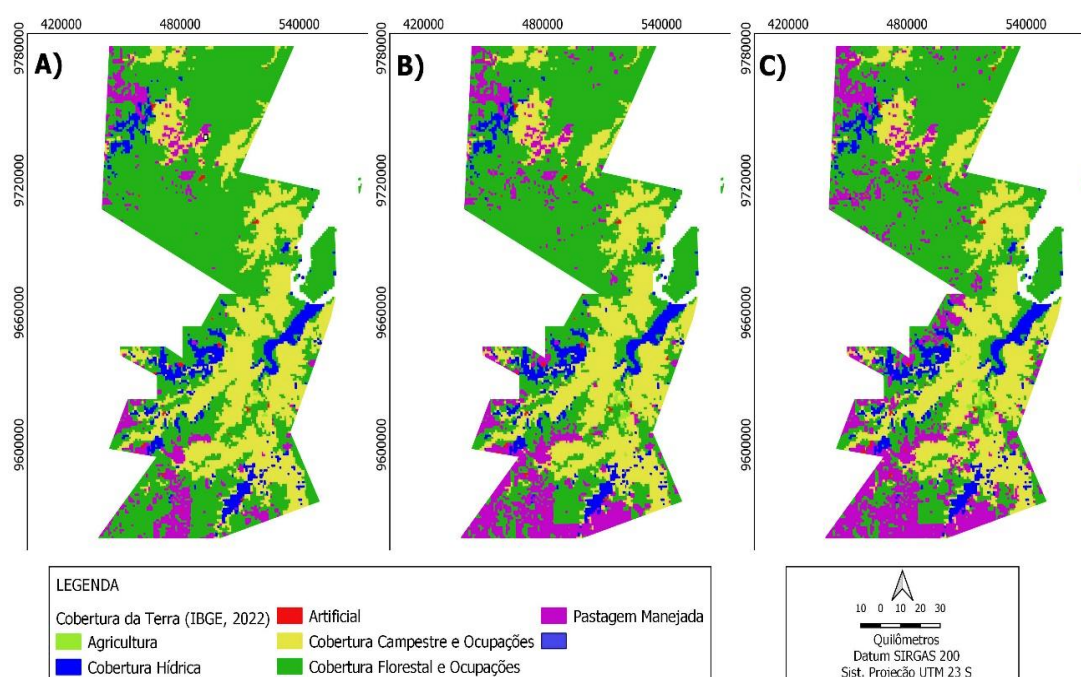
A APA da Baixada é possuidora de uma característica marcante composta pela vasta planície fluviomarinha, com extensas áreas planificadas que são alagadas durante o período de chuvas e favorecem o surgimento de extensos lagos, os quais se conectam aos cursos dos grandes rios também presentes na região. Tais características levaram a área a ser declarada Sítio RAMSAR em 2000 (MMMC, 2024), bem como seus campos inundáveis protegidos pela Constituição Estadual (Maranhão, 1989). Verifica-se ainda um ecossistema riquíssimo dos quais é possível citar fauna e flora diversificada, a presença de manguezais e babaçuais.

Esta pesquisa adotou uma metodologia de caráter exploratória, baseando-se na modelagem dinâmica espacial como ferramental para tal abordagem. As etapas utilizadas desta abordagem são descritas a seguir (nos itens cobertura da terra, variáveis explicativas e modelagem) e seguem a proposta de Soares-Filho (2002).

Cobertura da terra

Os dados da cobertura da terra foram provenientes do Programa Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), iniciado em 2015, e que contempla uma série histórica de 2000 a 2020. Para a área de estudo observaram-se a existência de 8 classes, para as quais aplicou-se uma aglutinação, a saber: as classes Mosaico de Ocupações Florestais e Campestre, foram incorporadas, respectivamente, à Cobertura Florestal e Ocupações e Cobertura Campestre e Ocupações. As demais classes foram mantidas, como constam na Figura 2.

Figura 2 – Uso da terra nos anos de: a) 2000; b) 2010; c) 2020, respectivamente



Fonte: IBGE (2022). **Elaboração:** Autores (2024).

Variáveis Explicativas

As variáveis espaciais explicativas foram, através do Software QGis 3.16, rasterizadas para entrada no ambiente computacional para modelagem, baseado em Autômatos Celulares (CA). Utilizou-se como parâmetro o tamanho de pixel/célula de 500m x 500m, por conta da limitação computacional para o processamento da operação e a extensão espacial da área de estudo.

As variáveis são classificadas em dinâmicas e estáticas (podendo ainda ser: contínuas ou discretas), de acordo com a Tabela 1. Uma variável dinâmica consiste em uma matriz de distâncias euclidianas, gerada para cada classe de uso da terra em cada um dos anos observados. As variáveis estáticas contínuas correspondem aos mapas de distância para os diferentes temas explicativos (tais como como estradas, distância a desmatamentos preexistentes, entre outros). As variáveis estáticas discretas correspondem a dados categóricos como por exemplo, limites de assentamentos, áreas desmatadas, entre outros.

Tabela 1 – Fonte e tipologia das variáveis

Variável	Origem	Tipo da Variável
Clima	ZEE-MA (2022)	Estática Discreta
Declividade	SRTM	Estática Contínua
Altimetria	SRTM	Estática Contínua
Desmatamentos entre 2010 e 2020	PRODES (2022)	Estática Contínua
Lagos	DSG (1980)	Estática Discreta
Rios	DSG (1980)	Estática Contínua
Rodovias Principais	OSM (2022)	Estática Contínua
Estradas Secundárias	OSM (2022)	Estática Contínua
Aptidão dos Solos	ZEE-MA (2022)	Estática Discreta
Sedes Municipais	IBGE (2022)	Estática Contínua
Vegetação	ZEE-MA (2022)	Estática Discreta
Assentamentos	ZEE-MA (2022)	Estática Discreta
Quilombos	ZEE-MA (2022)	Estática Discreta
Terras Indígenas	ZEE-MA (2022)	Estática Discreta
Zoneamento da APA	SEMA (1991)	Estática Discreta
Bacias Hidrográficas	NUGEO/UEMA (2010)	Estática Discreta

Elaboração: Autores (2024).

Modelagem

A modelagem foi realizada através do ambiente para modelagem dinâmica espaço-temporal Dinâmica EGO, baseada em autômato celulares, desenvolvido pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (CSR/UFGM),

(disponível em <https://csr.ufmg.br/dinamica/>), e que suporta as seguintes etapas de trabalho:

i) Identificação das transições:

Foram obtidas as taxas de transição globais (simples) e locais (múltiplas, ou seja, anuais) entre todas as classes, através dos mapas de cobertura da terra (figura 1), para as diferentes classes existentes nos anos avaliados. A identificação de tais taxas ocorreu a partir da análise das matrizes de transição, através do modelo markoviano (BELL; HINOJOSA, 1977), conforme a equação 1.

$$MT^n = V^{1/n} * H^{-1}$$

Em que:

MT: Matriz de transição global ou simples;

H: Autovetores de MT global;

V: Autovalores de MT global;

n: Passos de tempo;

H⁻¹: Matriz inversa dos autovetores de MT global.

ii) Pesos de Evidências:

Esta etapa consistiu em gerar mapas de probabilidade das transições entre as classes de interesse, apoiando-se na probabilidade condicional de Bayes. Essa metodologia assume que a probabilidade de ocorrer um evento e/ou transição entre classes (i-j, em uma matriz de dados) decorre da existência ou inexistência representativa em uma solução combinada de uma evidência/ou variável explicativa, sendo matematicamente descrita em Bonham-Carter (1994) e Goodacre et al. (1993).

Os pesos oriundos desta etapa indicam a relevância da variável em contribuir com a alteração da cobertura da terra. Pesos positivos associam-se à uma contribuição positiva da variável na transição. Já pesos negativos correspondem a uma repulsão e/ou não contribuição da variável em uma dada transição.

iii) Calibração e validação:

A calibração objetivou avaliar a capacidade das variáveis escolhidas e dos parâmetros adotados na simulação dos eventos. Uma análise pareada entre todas as variáveis explicativas foi realizada no Dinamica EGO tomando-se como limiar de corte variáveis correlacionadas com valores superiores 0.6. Optou-se por este limiar visando manter um quantitativo razoável de variáveis capazes de serem exploradas no âmbito da

discussão. O coeficiente de Cramer e o índice de incerteza foram utilizados nessa decisão. A análise de correlação das variáveis é apresentada em anexo.

O Dinamica EGO necessita da configuração de parâmetros adicionais para simulação: o Expander (destinado ao aumento ou redução de áreas relativas a uma classe de cobertura da terra) e Patcher (destinado a gerar novas áreas, ou gerar modificações na paisagem) (Soares-Filho et al., 2002). Tal procedimento é necessário em decorrência das mudanças na paisagem serem fortemente influenciadas também pela vizinhança de cada célula, tendendo a formar padrões espaciais distintos em parâmetros de tamanho, forma e orientação das manchas (Soares-Filho et al., 2007).

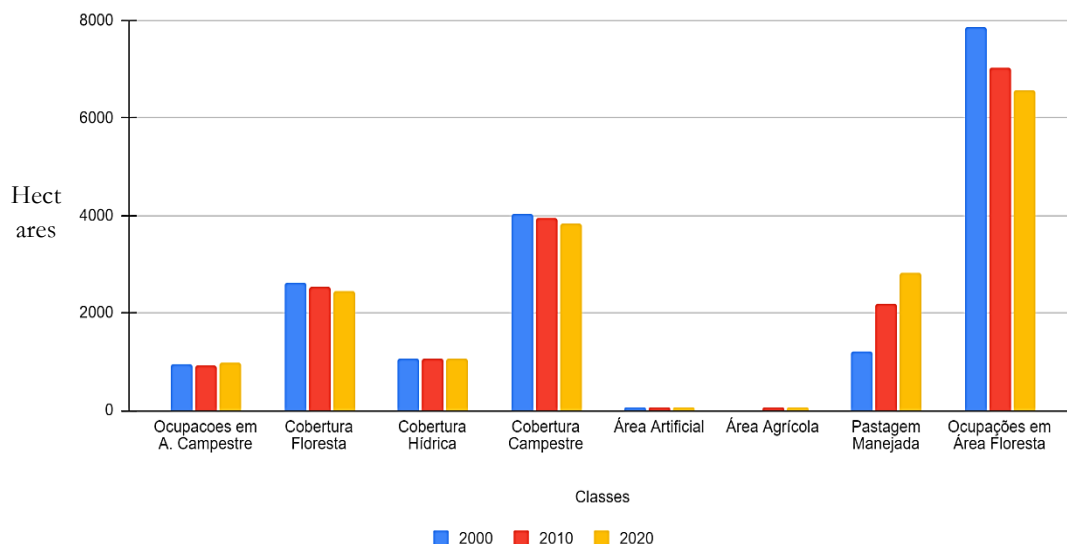
A parametrização adicional supracitada correspondeu: i) ao tamanho médio de manchas de alteração em hectares e; ii) a variância do tamanho de mancha em hectares. Tais parâmetros foram definidos através de tentativa e erro, e foram adotados respectivamente, por tentativa e erro: i) 100 e; ii) 400.

A validação do modelo consistiu em comparar, através do Índice de Similaridade Fuzzy (ISF) de Hagen (2003), o mapa simulado pela modelagem e o mapa real, no Dinamica EGO, considerando janelas de vizinhança (de 1x1 até 11x11). A validação através de janelas decorre do entendimento que mapa real e o mapa simulado não possuirão idêntica correspondência espacial celular. Assim, um bom resultado consiste em um maior índice de similaridade em janelas pequenas, caracterizando uma modelagem adequada entre o real e o simulado.

Resultados e Discussão

O período avaliado apresenta, de acordo com o IBGE (2020), entre 2000 e 2020 redução da classe original Ocupações em Área Florestal ao passo que a classe Pastagem Manejada apresentou crescimento progressivo nos anos 2010 e 2020. Também é possível observar a redução da classe Cobertura Florestal e Cobertura Campestre, entre 2010 e 2020. O ano de 2020, por sua vez, apresenta a Pastagem Manejada (15,9%) com totalidade superior a classe Cobertura Florestal (13,9%).

Figura 3 – Extensão das classes de cobertura da terra entre os anos de 2000 e 2020



Fonte: IBGE (2020).

As taxas de transição global, geradas entre as diferentes classes em 20 anos, apresentam a Pastagem Manejada como sendo a principal classe de destino das mudanças, de modo que tais taxas se apresentam sempre superiores a 1%, como ilustrado na Tabela 2.

Observa-se ainda uma leve redução da conversão Cobertura Florestal e Ocupações Pastagem Manejada de ~ 8% (entre 2000 e 2010) para ~ 6% (entre 2010 e 2020) e que os maiores quantitativos de transição ocorreram da classe Cobertura Florestal e Ocupações e Agricultura para Pastagem Manejada, com valores de ~ 6% no total acumulado do período 2010-2020.

As demais transições entre classes apresentaram taxas inferiores à 1%, de modo que, estas configuram-se sem grande representatividade na dinâmica de alterações da cobertura da terra na área de estudo. Neste sentido, assume-se que a Pastagem Manejada é a principal classe de destino das transições da área de estudo.

Tabela 2 – Taxas de transição entre os anos de 2000, 2010 e 2020

Fonte: Autores (2024).

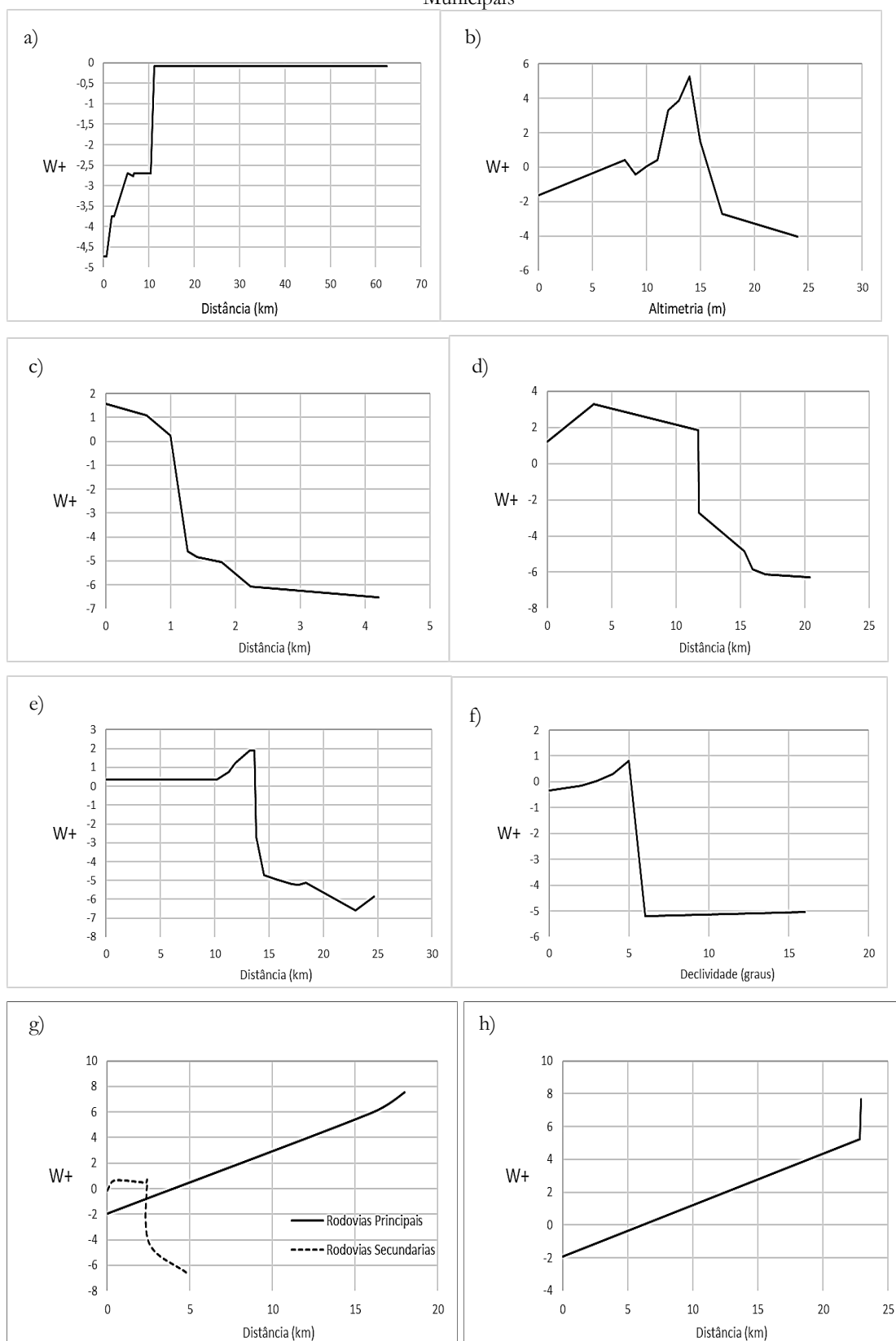
De	Para	Taxa de Transição (2000-2010)	Taxa de Transição (2010-2020)
Floresta e Ocupações	Pastagem	0.0874	0.0621
Agricultura	Pastagem	0,00000	0.0579
Campestre e Ocupações	Pastagem	0.0133	0.0142
Campestre e Ocupações	Agricultura	0.0062	0.0038
Floresta e Ocupações	Urbano	0.0000	0.0011
Floresta e Ocupações	Agricultura	0.0006	0.0006

Pesos de Evidências (W+)

Das variáveis escolhidas para a modelagem, ocorreram correlações entre Áreas Prioritárias e Vegetação, entre Clima e Aptidão, Clima e Subáreas e Subáreas e Aptidão, sendo verificado índice de Cramer superior ao limiar de corte (0,6). Ademais, foram retiradas da análise as seguintes variáveis: “Clima”, “Aptidão” e “Áreas Prioritárias”; manteve-se no modelo apenas a variável “Subáreas”, em decorrência desta ser considerada uma unidade interna de planejamento da área de estudo, definida em seu decreto de criação, bem como priorizou-se a manutenção da variável “Vegetação”, por se tratar de UC de uso sustentável capaz de prover recursos econômicos, além de ser importante em metas de redução de taxas de desmatamento.

Pesos de evidência positivos indicam a relevância da variável, em uma dada faixa de distância, em contribuir com a alteração da cobertura da terra, enquanto pesos negativos representam o contrário. Os pesos de evidência aferidos estão listados por meio das Figuras 4, 5, 6, 7, 8, 9.

Figura 4 – Pesos de Evidência para a transição Agricultura - Pastagem Manejada referente às variáveis: a) Distância de Agricultura à Pastagem Manejada; b) Altimetria; c) Distância a Hidrografias; d) Distância À Lagos; e) Distância a Desmatamentos; f) Declividade; g) Distância à Rodovias; h) Distância às Sedes Municipais



Fonte: Autores (2024).

Para a transição Agricultura – Pastagem Manejada observa-se que quando mais perto a agricultura está da Pastagem Manejada, a relevância é inversa, isso decorre da relação que há entre essas variáveis (Figura 4a) e demonstra que a proximidade entre tais classes não é o principal motor das alterações. Altimetrias até 15 metros (Figura 4b) apresentam-se como relevantes na transição, e os terrenos configurados dessa forma, são atrativos para tal.

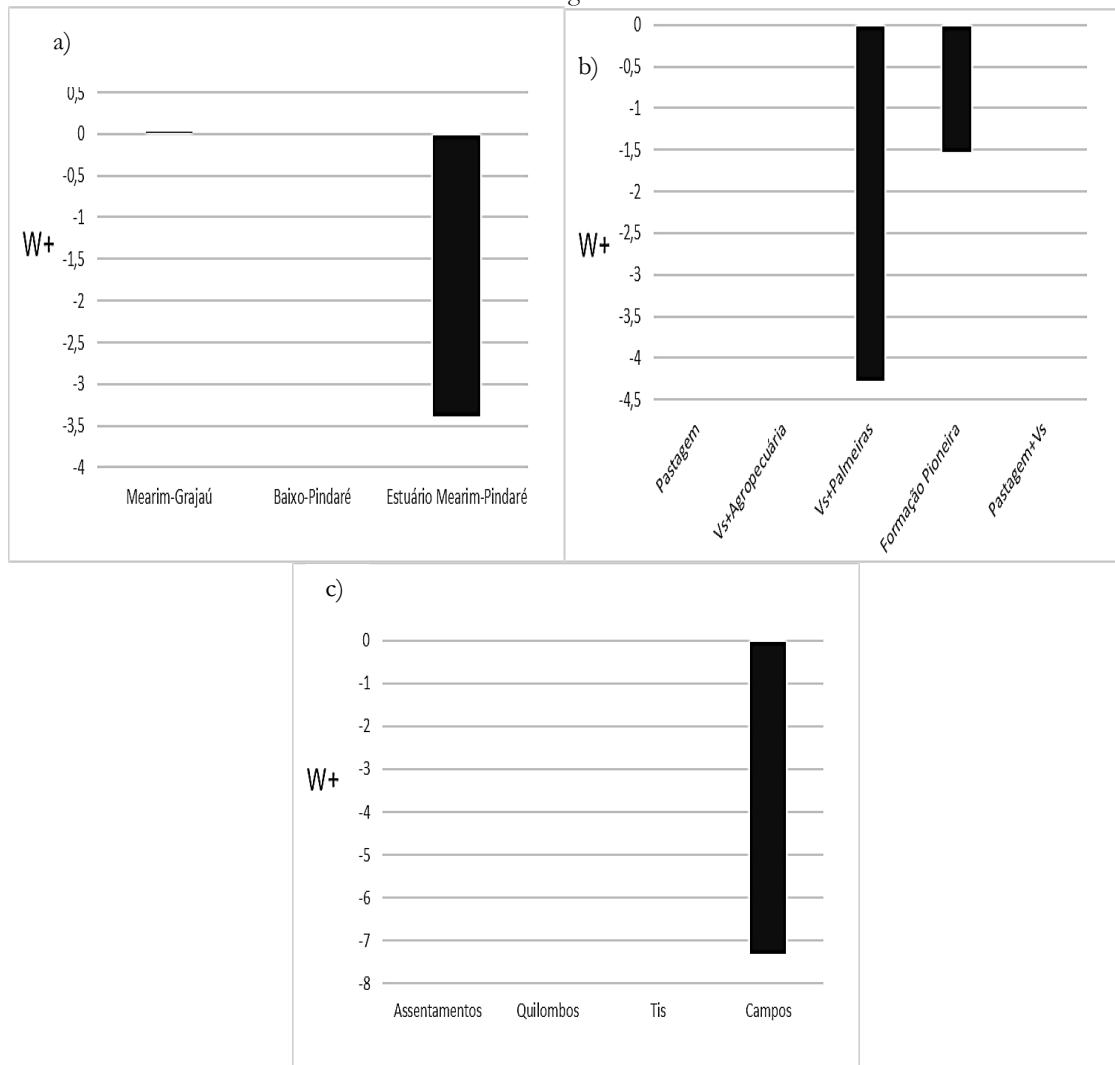
A cobertura Hídrica, composta por rios e lagos, mostra relevância para transição em até 1km (Figura 4c) para rios e até 12 km para lagos (Figura 4d) e mostram a importância destes elementos da paisagem na transformação do uso da terra. Os desmatamentos com até 14 Km de distância de áreas de agricultura são relevantes para a transformação em Pastagem Manejada (Figura 4e).

Ainda sobre a transição Agricultura – Pastagem Manejada, os terrenos não declivosos, com até 5 ° graus, apresentam relevância para transitarem, ao passo que terrenos com declividade superior se mostram desinteressantes para a prática da Pastagem Manejada (Figura 4f). Para as rodovias, o destaque se dá para as secundárias, onde estas apresentam maiores pesos nas menores proximidades (Figura 4g). As sedes municipais apresentam relevância apenas a partir de 5 km de distância, isso em detrimento dessas classes (agricultura e pastagem manejada) apresentarem-se naturalmente distante das áreas urbanas (Figura 4h).

As subáreas Mearim-Grajaú, Baixo-Pindaré e Estuário Mearim-Pindaré apresentam comportamentos diferentes, sendo a primeira possuidora de moderado peso de evidência e mais propensa a transição Agricultura – Pastagem Manejada, em decorrência de ser a área que concentra grandes extensões de Pastagem Manejada. A subárea Baixo-Pindaré não apresenta relevância, nem positiva nem negativa, e a subárea Estuário Mearim-Pindaré mostra-se contrária as transições, como indica a Figura 5a.

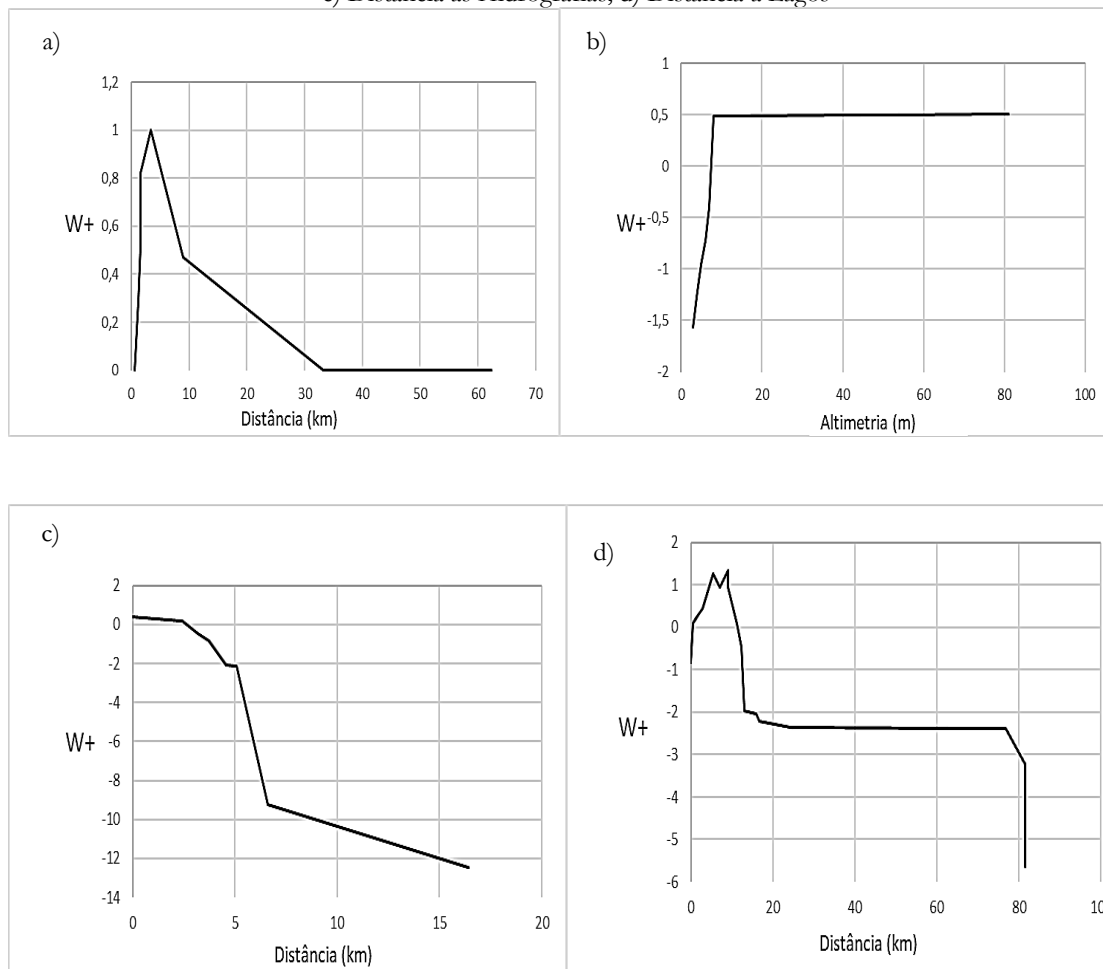
As coberturas vegetais secundárias e formação pioneira mostram pesos negativos para transição (Figura 5b). As variáveis assentamento, quilombos e Tís não apresentaram pesos, em decorrência destas áreas caracteristicamente serem vocacionadas a agricultura de baixo impacto, entretanto os campos inundáveis mostram-se desinteressantes na migração Agricultura – Pastagem Manejada (Figura 5c), isso porque nestas áreas a prática agrícola se dá em pequena escala.

Figura 5 – Pesos de Evidência para a transição Agricultura - Pastagem Manejada referente às variáveis: a) Subáreas; b) Coberturas Vegetais; c) Variáveis categóricas: Assentamentos, Quilombos, Campos e Terras Indígenas



Fonte: Autores (2024).

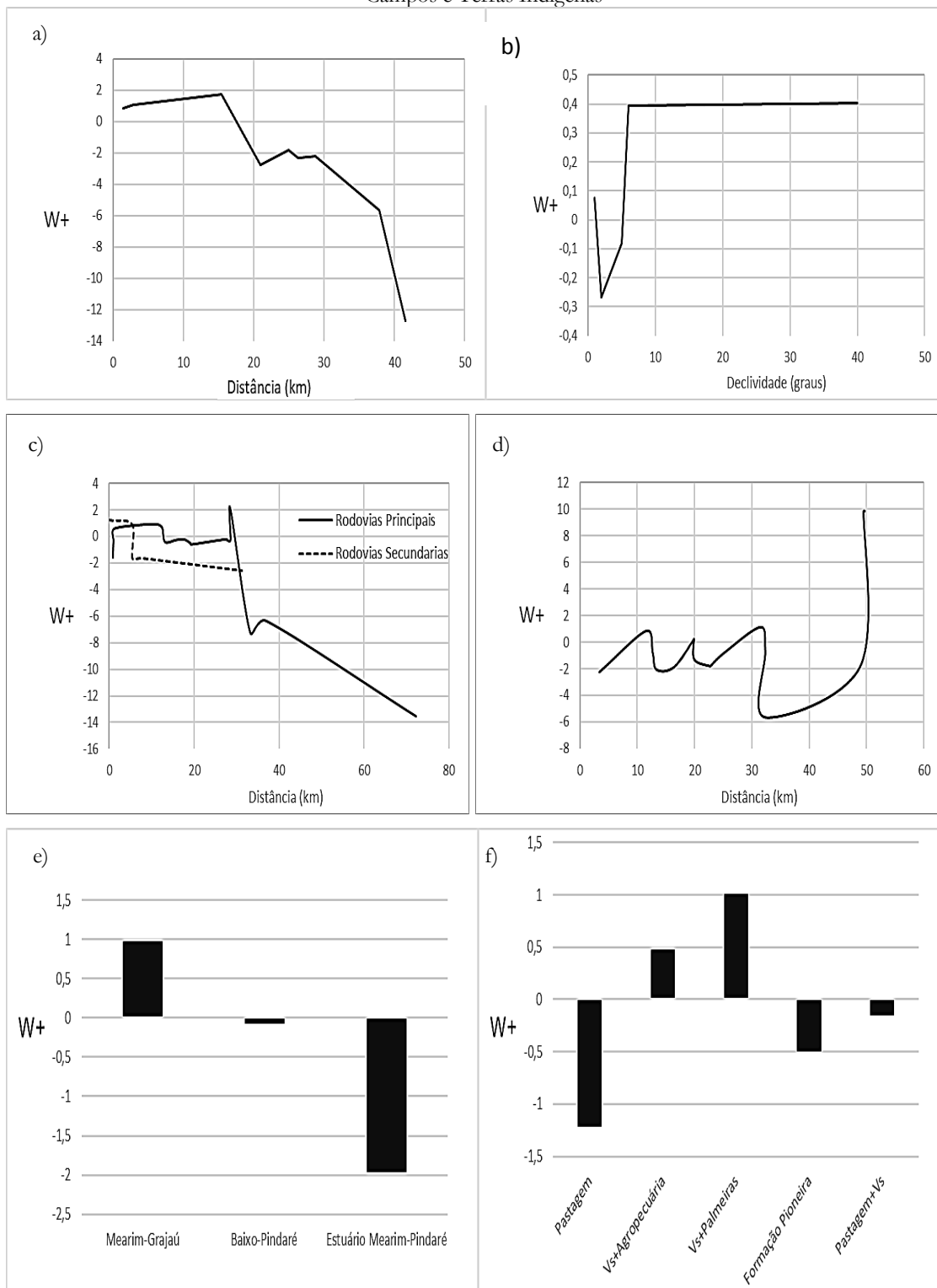
Figura 6 – Pesos de Evidência para a transição Cobertura Campestre e Ocupações - Pastagem Manejada referente às variáveis: a) Distância de Cobertura Campestre e Ocupações à Pastagem Manejada; b) Altimetria; c) Distância as Hidrografias; d) Distância a Lagos

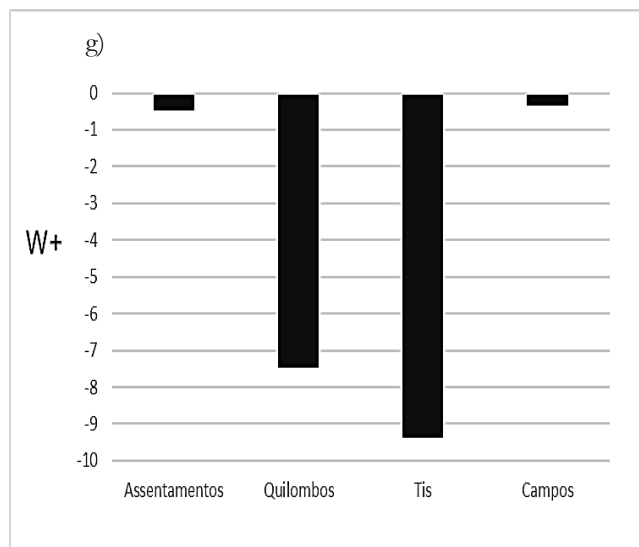


Fonte: Autores (2024).

Para a transição Cobertura Campestre e Ocupações – Pastagem Manejada observa-se que, quando as Coberturas Campestres e Ocupações estão estabelecidas até 30 km de áreas já utilizadas em Pastagem Manejadas, os pesos de evidências mostram-se relevantes, ou seja, com valores positivos para a transição (Figura 6a). Ademais, altimetrias a partir de 8 metros mostram-se como a característica ambiental mais favorável a transição para Pastagem Manejada. metros apresentam-se como relevantes na transição, e os terrenos configurados dessa forma, são atrativos para tal (Figura 6b). A cobertura Hídrica, composta por rios (Figura 6c) e lagos (Figura 6d), mostra relevância para transição em até 2,5 km para rios e até 15 km para lagos, seguindo padrão da transição anterior (Agricultura – Pastagem Manejada).

Figura 7 – Pesos de Evidência para a transição Cobertura Campestre e Ocupações - Pastagem Manejada referente às variáveis: a) Distância a Desmatamentos; b) Declividade; c) Distância à Rodovias; d) Distância às Sedes Municipais; e) Subáreas; f) Coberturas Vegetais; g) Variáveis categóricas: Assentamentos, Quilombos, Campos e Terras Indígenas





Fonte: Autores (2024).

Os desmatamentos existentes até 18 Km de distância Cobertura Campestre e Ocupações são relevantes para a transformação em Pastagem Manejada (Figura 7a). Ainda sobre a transição Cobertura Campestre e Ocupações – Pastagem Manejada, os terrenos não declivosos, com até 5 ° graus ou mais, apresentam relevância para transitarem (Figura 7b). Para as rodovias, rodovias primárias e secundárias, estas apresentam maiores pesos nas menores proximidades (Figura 7c). As sedes municipais (Figura d) apresentam pesos de evidência não muito bem padronizados, isso se deve ao fato de haver Cobertura Campestre e Ocupações próximas as sedes municipais as quais não transitaram para Pastagem Manejada.

As Subáreas Mearim-Grajaú, Baixo-Pindaré e Estuário Mearim-Pindaré apresentam comportamentos diferentes, a primeira mostra peso de evidência positivo e mais propensa a transição Cobertura Campestre e Ocupações – Pastagem Manejada em decorrência de ser a área que concentra grandes extensões de Pastagem Manejada. As Subáreas Baixo-Pindaré Estuário Mearim-Pindaré mostram-se com pesos negativos e sem propensão as transições (Figura 7e).

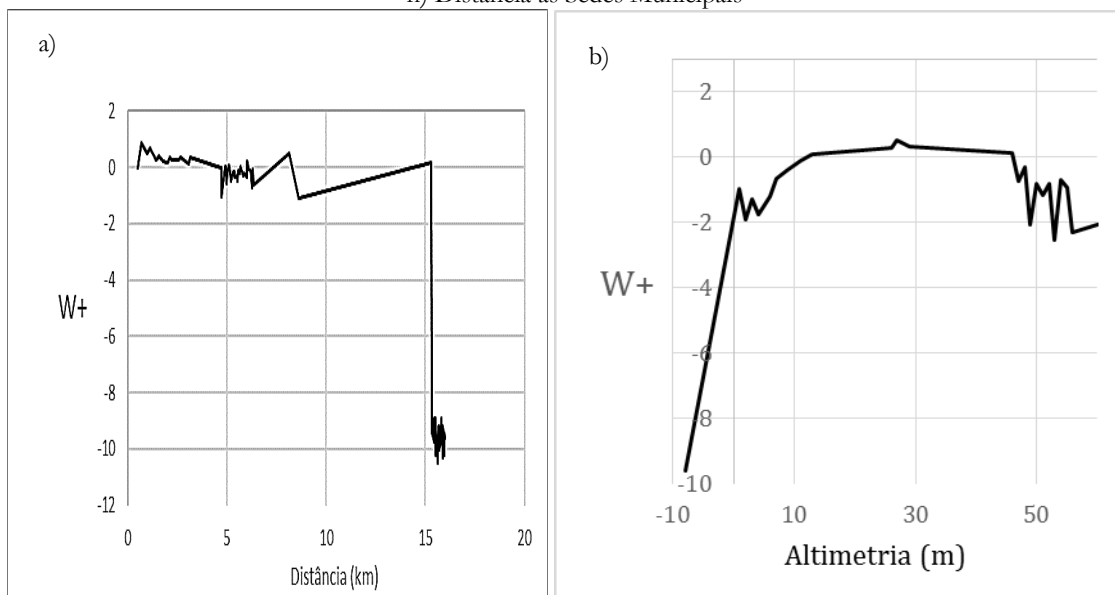
As coberturas vegetais secundárias e de palmeiras apresentam pesos positivos, significando que estas são as coberturas vegetais mais propensas a perda e transformação e áreas de pastejo (Figura 7f). As variáveis assentamento, quilombos, Tís e campos mostram-se como áreas sem grande vocação à transformação para Pastagem Manejada, quando inseridas nas coberturas Campestre e Ocupações (Figura 7g).

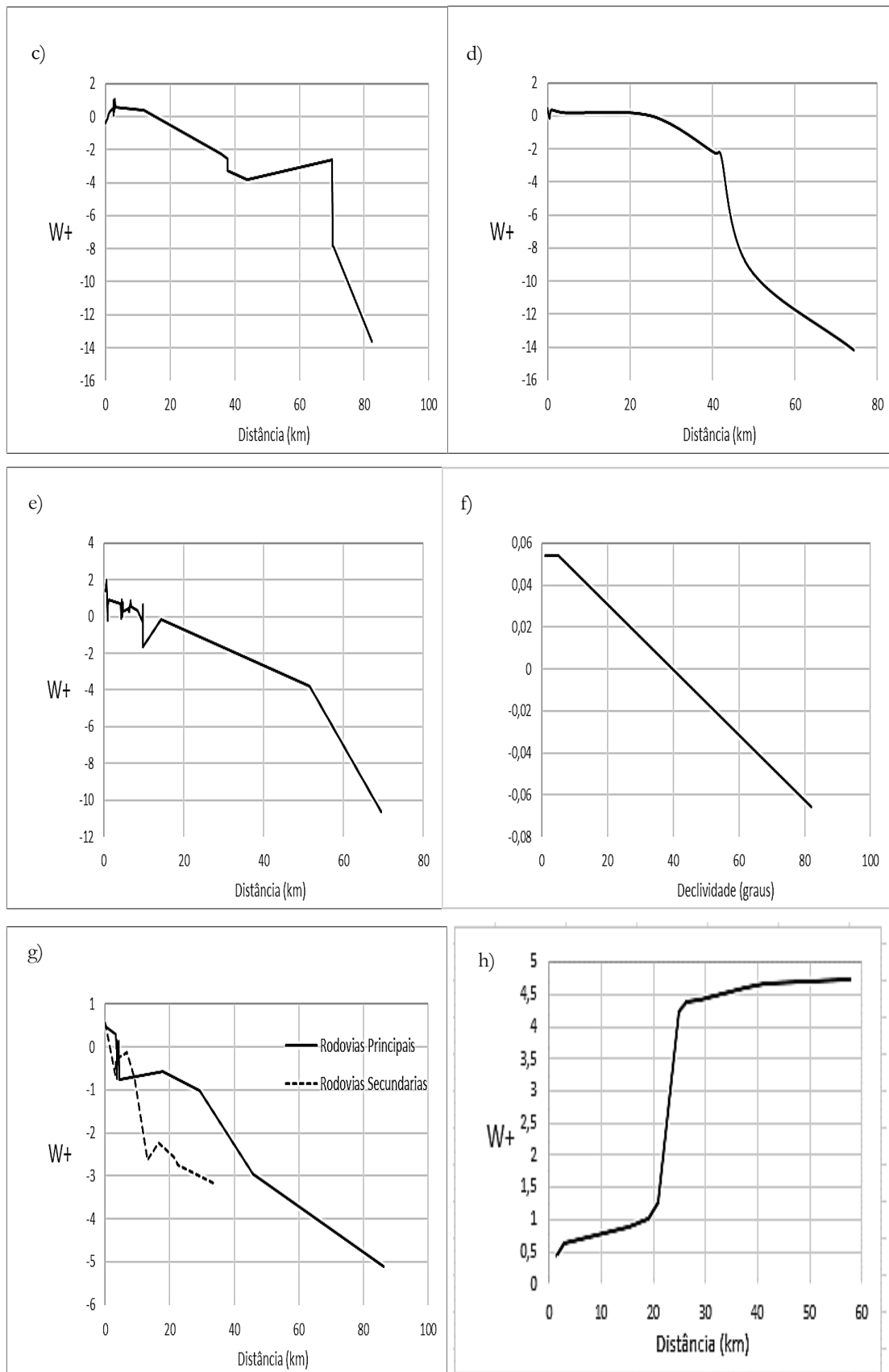
Para a transição Cobertura Florestal e Ocupações – Pastagem Manejada observa-se que, quando as Coberturas Florestais e Ocupações estão estabelecidas até 5 Km de áreas já utilizadas em Pastagem Manejadas, os pesos de evidências mostram-se relevantes, ou seja,

com valores positivos para a transição (Figura 8a). Altimetrias a partir de 10 metros, e inferiores a 50 metros, mostram-se como a característica ambiental mais preferencial a transição para Pastagem Manejada (Figura 8b). A cobertura hídrica, composta por rios (Figura 8c) e lagos (Figura 8d), mostra relevância para transição em até 15 Km para rios e até 20 Km para lagos, seguindo padrão da transição anterior (Cobertura Florestal e Ocupações – Pastagem Manejada).

Os desmatamentos existentes até 10 km de distância Cobertura Florestal e Ocupações são relevantes para a transformação em Pastagem Manejada (Figura 8e). A declividade de até 5 ° graus, apresentam relevância para transitarem (Figura 8f). As rodovias, rodovias primárias e secundárias, apresentam o mesmo padrão de pesos observados nas transições anteriores (Figura 8g). As sedes municipais (Figura 8h) apresentam pesos de evidência claros que mostram que as coberturas florestais mais distantes destas são mais sujeitas a transição.

Figura 8 – Pesos de Evidência para a transição Cobertura Florestal e Ocupações- Pastagem Manejada referente às variáveis: a) Cobertura Florestal e Ocupações à Pastagem Manejada; b) Altimetria; c) Distância a Hidrografias; d) Distância aos Lagos; e) Distância a Desmatamentos; f) Declividade; g) Distância às Rodovias; h) Distância às Sedes Municipais



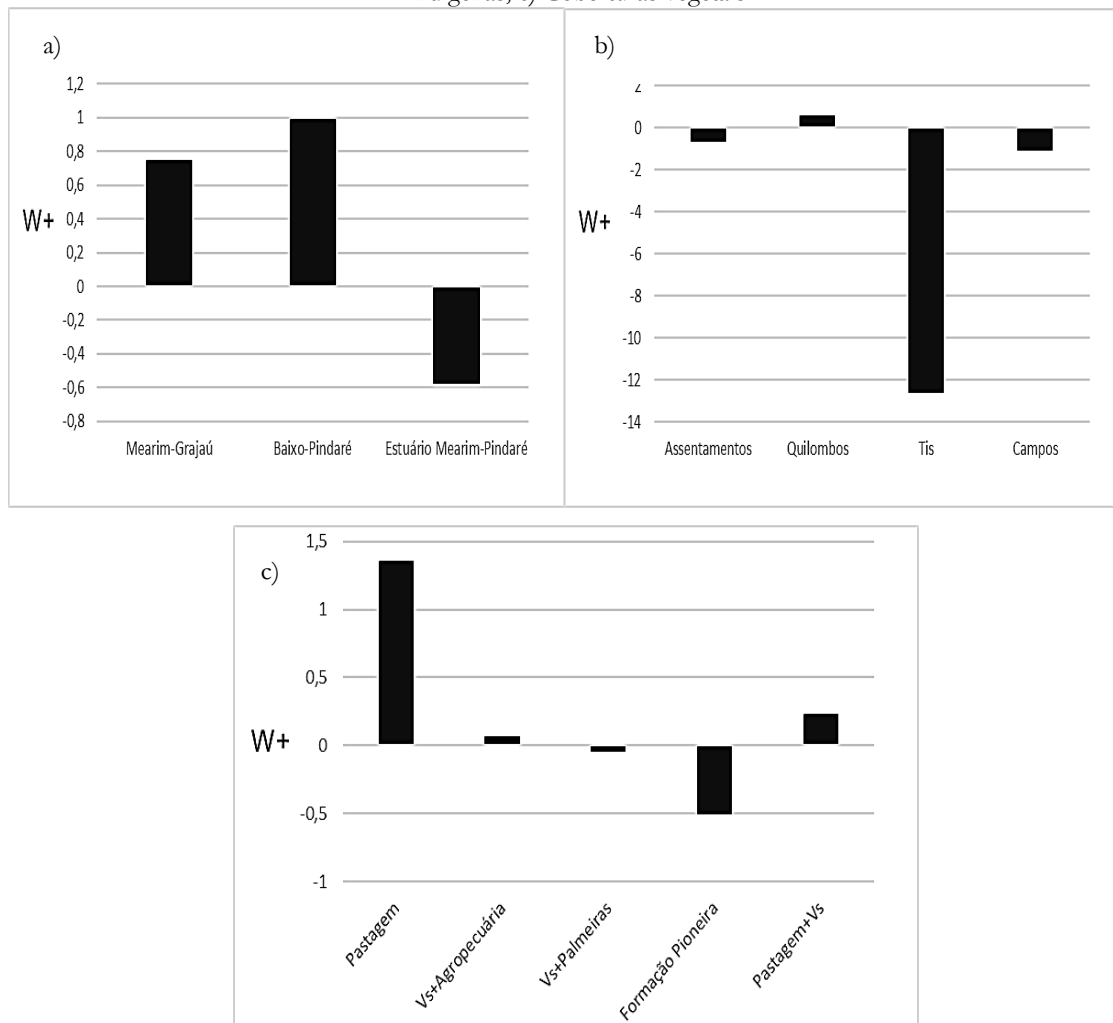


Fonte: Autores (2024).

Para as Subáreas Mearim-Grajaú, Baixo-Pindaré e Estuário Mearim-Pindaré os maiores pesos de evidência na transição Cobertura Florestal e Ocupações – Pastagem

Manejada ocorrem nas duas primeiras, sendo estas as mais pressionadas neste contexto (Figura 9a). As variáveis assentamento, Tís e campos mostram-se como áreas com pesos de evidência negativos, enquanto quilombos apresentam pesos positivos à transformação para Pastagem Manejada, sugerindo alterações de Cobertura Florestal e Ocupações para Pastagem Manejada nestes espaços (Figura 9b).

Figura 9 – Pesos de Evidência para a transição Cobertura Florestal e Ocupações- Pastagem Manejada referente às variáveis: a) Subáreas; b) Variáveis categóricas: Assentamentos, Quilombos, Campos e Terras Indígenas; c) Coberturas vegetais



Fonte: Autores (2024).

As coberturas vegetais mistas de vegetação secundária e agropecuária e vegetação secundária e pastagem apresentam pesos positivos, significando que estas são as coberturas vegetais mais propensas a perda e transformação em áreas de Cobertura Florestal e Ocupações (Figura 9c). Destaca-se que neste contexto o misto vegetação secundária e palmeiras e formação pioneira mostram-se com pesos negativos.

De forma geral, os pesos de evidências destacam a influência e importância do desmatamento pré-existente, ou o contexto histórico de ocupação, como variável relevante em todas as transições, sendo as maiores proximidades portadoras dos pesos mais

significativos. Observa-se uma preferência de proximidade aos recursos hídricos (lagos e rios), seguindo uma lógica amazônica, para as transições de Agricultura para Pastagem Manejada. Já a transição de Cobertura Campestre e Ocupações para Pastagem Manejada, tal preferência é observada para os lagos.

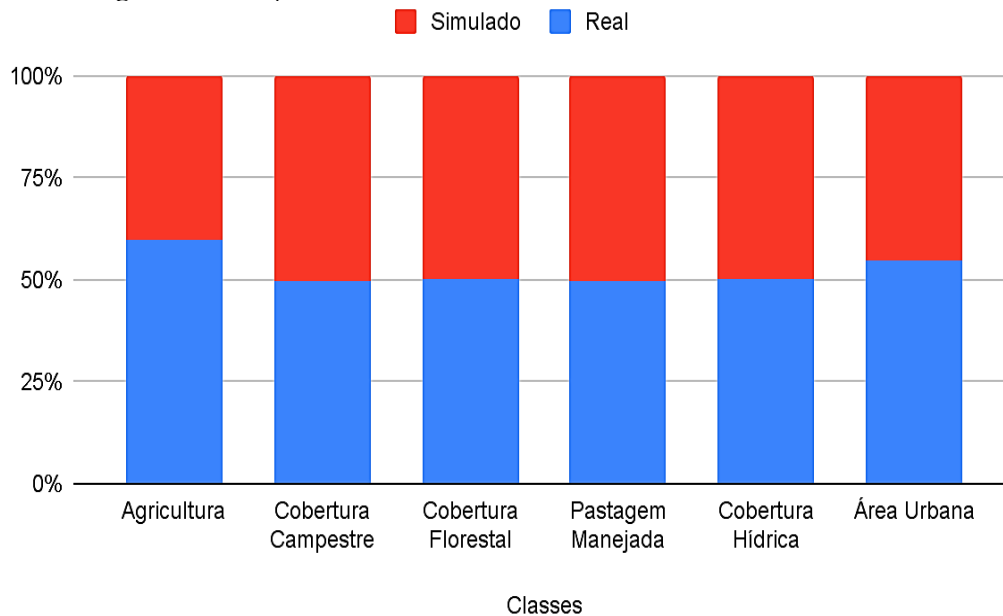
Além disso, áreas com altimetria superiores a 8 metros também se apresentam como preferenciais para transição em todas as classes, mas quando observada a transição de Cobertura Florestal e Ocupações para Pastagem Manejada essa preferência se dá para áreas superiores aos 20 metros; já as subáreas, criadas com o objetivo de gestão do território, apresentam diversidade nas transições, mas destaca-se que a subárea Mearim-Pindaré apresenta valores que repelem todas as transições. É oportuno destacar que essa subárea é a que apresenta a menor dinâmica das mudanças entre os anos observados.

As subáreas Mearim-Grajaú e Baixo-Pindaré apresentam pesos relevantes para transição principalmente de Cobertura Campestre e Ocupações e Cobertura Floresta e Ocupações para Pastagem Manejada. Tais pesos indicam que estas áreas são as mais favoráveis à perda de cobertura vegetal, seguindo as tendências históricas de mudanças na cobertura da terra.

Adequabilidade do Modelo: simulação da cobertura da terra e validação

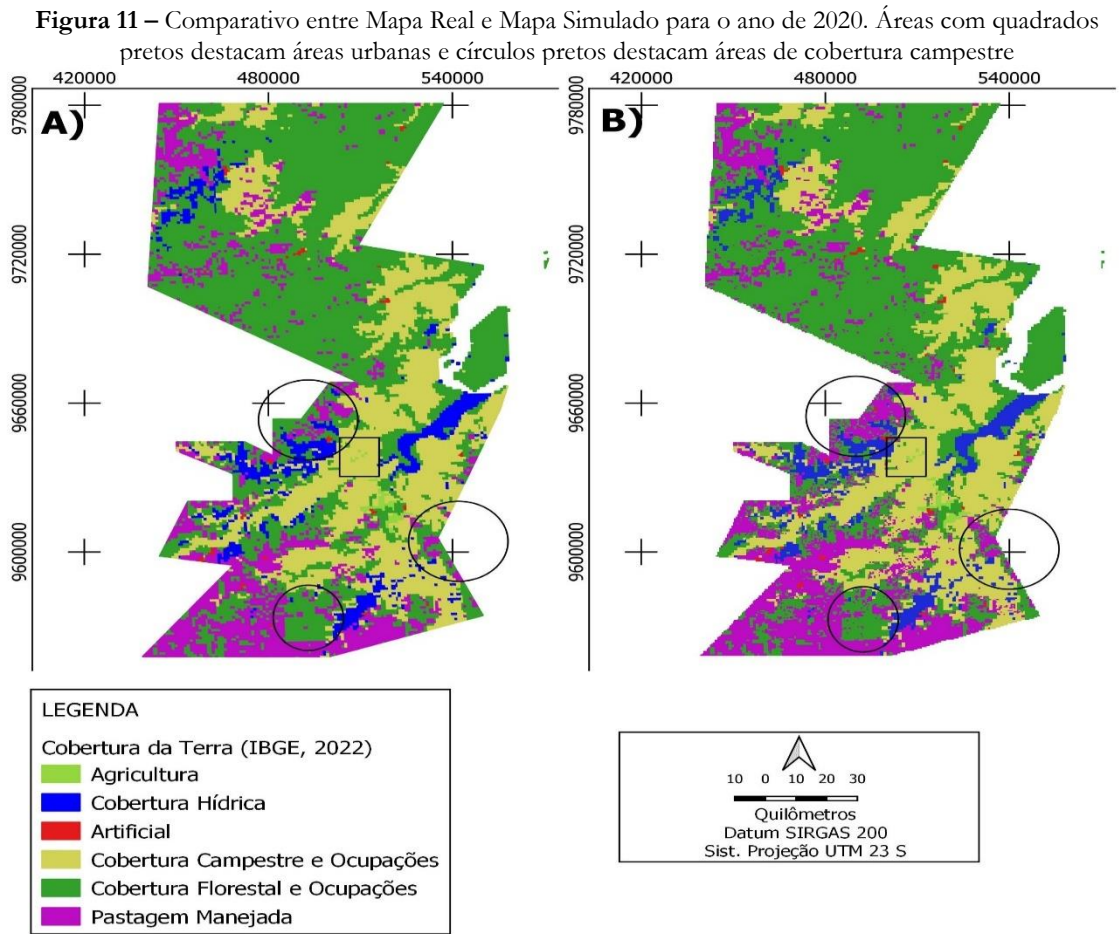
A adequabilidade do modelo, constituído através das variáveis escolhidas nesse trabalho, apresentou limitações no aspecto do quantitativo espacial das classes, quando observado o mapa de referência da Figura 10 (IBGE, 2022). O dado simulado apresentou limitações quantitativas para as classes Artificial (subestimada em ~16%) e Agricultura (subestimada em ~ 33%). As demais classes apresentam superestimação e subestimação inferiores a 1%.

Figura 10 – Comparativo de extensão das classes entre o cenário real e simulado



Fonte: Autores (2024).

Em termos espaciais, os dois dados apresentam manchas fragmentadas, destacando-se Cobertura Florestal e Ocupações e Pastagem Manejada, que podem ser observadas por meio da Figura 11, embora tenham apresentado boa relação de estimação quantitativa. Tais resultados recebem também influência dos parâmetros de expansão de manchas de transição entre as classes disponíveis na ferramenta Dinâmica EGO.



Fonte: IBGE (2022). Elaboração: Autores (2024).

A similaridade estatística mostra que o mapa simulado apresenta similaridade mínima superior a 62% com o mapa real em uma janela de 3x3, conforme descrito na Tabela 2. Tal resultado implica dizer que, em uma janela 3x3, ou seja, 225 ha, a similaridade entre o mapa real e o modelado varia entre ~62% e ~73%.

Tabela 2 – Índice de similaridade com base em diferentes janelas

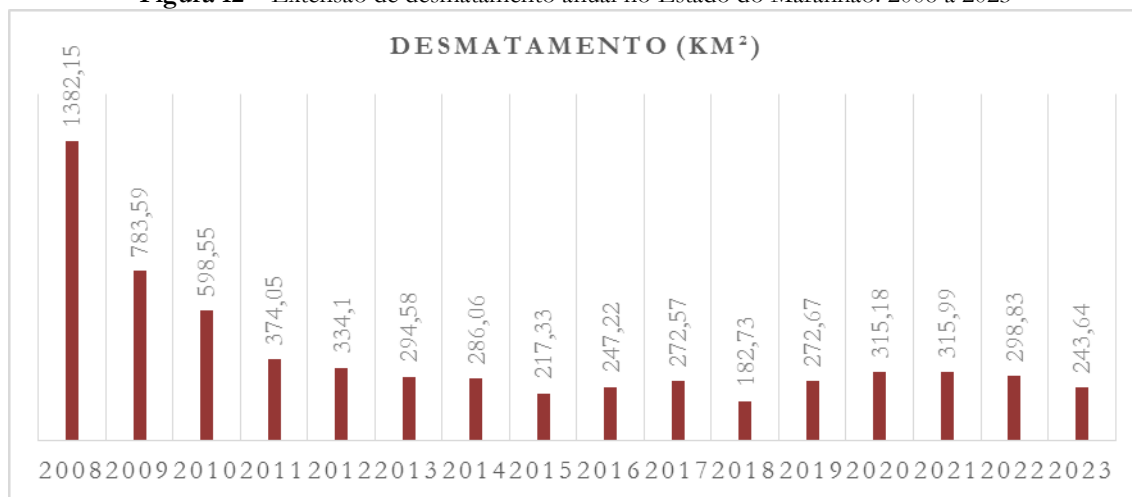
Janela	Mínima Similaridade	Máxima Similaridade
1x1	0,4517	0,4871
3x3	0,6242	0,7349
5x5	0,7033	0,7887
7x7	0,7576	0,8162
9x9	0,8093	0,8318
11x11	0,8445	0,8450

Fonte: Autores (2024).

O desmatamento e as políticas de gestão

Em um contexto regional, entre os anos de 2008 e 2023, de acordo com dados do Portal Terra Brasilis, o Maranhão apresenta-se com variação nos quantitativos anuais de desmatamento, mas que apresentam tendências de queda. O ano de 2020 apresenta-se como o de maior quantitativo após 2009. Ver Figura 12.

Figura 12 – Extensão de desmatamento anual no Estado do Maranhão: 2008 a 2023



Fonte: INPE (2024).

A partir de 2008, entrou em ação a 2ª fase do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) (2009-2011) o qual não incluiu nenhum município da APA da Baixada Maranhense como prioritário. Contudo, do PPCDAm 2ª fase, cita-se o desdobramento para a elaboração dos planos estaduais de combate ao desmatamento (Mello; Artaxo, 2017), os quais apresentam aderência com a diminuição das extensões desmatadas no Maranhão.

Dentro da APA da Baixada, em uma série de 2008 a 2022, conforme detalhado na Figura 13, o ano de 2015, por exemplo, registrou o menor valor da série, quanto ao desmatamento. Tal cenário é compatível com as taxas de transição de classes de interesse observadas na Tabela 1. Nesse período, estava em vigência o 1º Plano de Ação para a Prevenção e o Controle do Desmatamento e das Queimadas no Estado do Maranhão (PPCDQ-MA) 2011-2015 (Decreto nº 27.317, de 14 de abril de 2011).

Figura 13 – Extensão de desmatamento anual na APA da Baixada, entre 2008 e 2023.



Fonte: INPE (2024).

O PPCDQ-MA estabeleceu diferentes pautas relacionadas ao combate do desmatamento. Dentre tais, destaca-se uma pauta relacionada às áreas protegidas, denominada Consolidação do Sistema Estadual de Áreas Protegidas, no qual estavam previstos, entre outras ações: i) Estabelecimento de Plano de Manejo nas UCs então existentes; ii) Investimento em recursos humanos e infraestrutura nas UCs e; iii) Criação dos conselhos de gestão das unidades. Outra pauta, relacionada ao Fortalecimento Institucional, por sua vez estabeleceu, entre outras ações importantes para gestão de áreas protegidas: i) Aumento do quadro de profissionais do órgão estadual ambiental e; ii) Investimentos em infraestrutura e equipamentos.

Apesar de nem todas as pautas previstas no PPCDQ-MA (de 2011) terem de fato sido implementadas, como a implementação do Plano de Manejo da área, é importante destacar que algumas foram efetivadas no âmbito do fortalecimento institucional e que cooperaram para a mudança de condições das taxas de transição e a dinâmica de alteração observada de forma diferente, entre 2000-2010 e 2010-2020. A principal ação nesse sentido foi a reestruturação do órgão gestor ambiental estadual, caracterizado pela reorganização administrativa (Decreto 27.872/2011) e aumento do quadro funcional do órgão gestor ambiental através de concursos públicos em 2007 e 2016.

O uso da terra e a transformação da fronteira

A abordagem de fronteira pode ser traduzida como como uma visão de espaço de interação de múltiplos atores, que são responsáveis pela formação territorial de determinado espaço que considera a relação entre “paisagens, populações, hábitos, instituições, técnicas, até idiomas” (Holanda, 1957).

Rabello (2013) apresenta a Amazônia como uma “fronteira volátil”, produto de um contexto histórico e do embate entre os seus diversos atores, com uma forte responsabilidade do “papel exercido no processo produtivo” que se torna fundamental para compreensão da “direção-dominação” de suas componentes políticas, culturais e econômicas.

Valverde (1083) antecipava a mesma abordagem ao descrever que “toda a política de valorização e desenvolvimento da Amazônia brasileira foi concebida e aplicada em função de interesses estranhos à região”, onde ao traçar o perfil “da hiléia” descreve o quanto historicamente existe o confronto entre o bem natural e o entendimento político de desenvolvimento econômico para região, marcado por diversos ciclos que deixaram cicatrizes ainda expostas ou ampliadas na atualidade.

Conforme aponta Velho (2009), no contexto histórico, o Maranhão vivenciou pelo menos duas fases importantes da expansão agropecuária, com o forte destaque para a frente pecuarista baiana, que seguindo sentido sul-norte, rumo ao Tocantins, foi capaz de penetrar também, já no século XIX, os vales úmidos do Maranhão, correspondentes a Baixada Maranhense.

Em se tratando de uma área protegida, embora a Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense tenha sido instituída somente em 1991 (a partir do Decreto Lei nº 11900/1991), a Constituição do Estado do Maranhão já destacava em seu escopo a importância ambiental da área. O decreto de criação da unidade já indica a sua vocação: Uso Sustentável. A área foi ainda categorizada desta mesma forma, na Lei Federal 9985/2000.

A Lei Federal 9985/2000 determinou a necessidade de implementação de normativas para o ordenamento e uso do solo e dos recursos naturais em Unidades de Conservação categorizadas como de Uso Sustentável. Contudo, das Unidades de Conservação estaduais, inseridas no bioma Amazônia, apenas a APA do Maracanã e o Parque Estadual do Rangedor (localizadas na capital, São Luís) possuem plano de manejo.

Nesse cenário marcado pela ausência de políticas efetivas de gestão, ordenamento do território e possuidor de diferentes objetivos econômicos, se enquadram as taxas de transição observadas na Tabela 1, as quais apresentam consonância com as principais alterações na cobertura da terra observadas até 2020 e destacam o crescimento da classe Pastagem Manejada.

Embora sejam observadas diferentes atividades econômicas ligadas ao uso dos recursos naturais, das quais citam-se: agropecuária, pesca e extrativismo (IMESC, 2008a), as taxas de transformação observadas apresentam relação direta com a pecuária e agricultura que apresentam bons registros de números de negócios (INCRA, 2023). O contexto de

aumento destes rebanhos associa-se ao surgimento de novas pastagens e a tendência de aumento destas.

O rebanho bovino distribui-se com quantitativos variados nos municípios da área, onde verificam-se municípios possuidores de quantitativos de 362 a 93.563 cabeças (SAGRIMA, 2020), sendo os maiores quantitativos observados na porção sul da área de estudo, compreendida como Subárea Mearim-Grajaú.

O rebanho bubalino também apresenta distribuição variada, onde verificam-se municípios com 501 e 20.410 cabeças (IMESC, 2022), sendo os maiores quantitativos registrados nos municípios situados na porção central da área, nas Subáreas Baixo Pindaré e Mearim (Figura 14). Nestas áreas estão as coberturas campestres e campos inundáveis, onde o manejo deste rebanho é histórico.

Figura 14 – Área de pastagem observa ao sul da área de estudo, município de Vitória do Mearim



Fonte: Autores (2024).

A prática agrícola da região é majoritariamente familiar, utilizando-se do tradicional sistema de corte e queima e onde destacam-se a produção de feijão, melancia, milho e arroz (Costa et al., 2021), sendo o arroz de vazante a principal tipologia deste (Farias Filho; Ferraz Júnior, 2009). Esta característica, além de explicar a extensão da classe agricultura, também justifica as baixas taxas de transição e fazem parte da característica de frente agrícola maranhense-paraense, caracterizada pelo baixo nível tecnológico da agricultura, agricultura extensiva e pequenas unidades produtivas (Velho, 2009).

Acevedo Marin (2010) destaca que se observa-se na Amazônia a apropriação dos espaços segundo os “vales de rios e afluentes”, apresentando o contexto dos vales dos rios Tocantins, Capim, Guamá, Acará e Moju no nordeste do Estado do Pará e limite com o

estado do Maranhão. Nestes, a floresta amazônica já apresenta uma transição para o ambiente que vai gradativamente alterar para sudeste em direção ao cerrado e a Leste ao ambiente de bosques abertos característicos das matas de cocais. Neste contexto, “(...) a territorialidade possui uma dimensão histórica por retratar relações complexas e múltiplas sobre a reprodução material e social”, assevera Acevedo Marin (2010, p. 36).

Considerações Finais

O objetivo desta pesquisa foi analisar – com um modelo dinâmico espacial – o processo de mudança da cobertura da terra de uma Área de Proteção Ambiental (APA) da Amazônia por duas décadas. Os resultados indicam que a área apresentou diminuição das taxas de transformação da cobertura do solo, mas manteve o padrão de aumento da cobertura de Pastagem Manejada em detrimento de Coberturas Florestais e Ocupação em todo o período analisado (2000 a 2020).

A leve diminuição das taxas de transição é coincidente com o período de implementação da principal política pública ambiental estadual, o PPCDQ-MA, para o qual também se destacou neste estudo os avanços e limitações deste plano. A interferência de cada variável nos processos de transição, observados pelos pesos de evidência, demonstrou que: 1º) A distância a desmatamentos preexistentes favorece a transição entre classes; 2º) Há uma preferência de proximidade nas transições para Pastagem Manejada quando a área é próxima a Cursos Hídricos; 3º) Localidades com altimetria superior à 8 m são potenciais para conversão de Coberturas Florestais e Ocupação em Pastagens Manejadas e; 4º) As subunidades de gestão apresentam dinâmicas de transição diferenciadas.

No âmbito da modelagem, as variáveis escolhidas como representativas para a modelagem, mostraram-se satisfatórias, havendo uma similaridade entre ~62% e ~73% em uma área de 225 ha, permitindo então que tais variáveis sirvam para elaboração de cenários futuros. Nesta pesquisa, observou-se que a modelagem dinâmica espacial, e as variáveis escolhidas para tal, permitiram identificar que a área pesquisada está consonância com a expansão de uma fronteira agropecuária, seguindo as principais discussões da lógica de transformação da terra nas fronteiras agrícolas da Amazônia.

Destaca-se ainda que, tal fronteira em transformação é integrante de área protegida, a qual, de acordo com os objetivos de sua criação, caminha em sentido diametralmente oposto, com grande destaque para a subárea Mearim-Grajaú. De fato, as poucas políticas de ordenamento e gestão do território carregaram pouca efetividade na contenção das muitas transformações.

Portanto, tendo em vista que o modelo se apresenta com boa validação, recomenda-se para fins de estudo, através das variáveis utilizadas nesta pesquisa, a geração de diferentes cenários de cobertura da terra que levem em consideração abordagens históricas e alternativas para a área de estudo.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) e a Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), no âmbito do projeto “Uso real versus uso formal da terra na Amazônia Maranhense: condicionantes para o desenvolvimento sustentável”, pelo apoio logístico e de infraestrutura durante os trabalhos de campo desta pesquisa.

Referências

- ACEVEDO, M.; ROSA, E. Formação histórica do Pará e territorialidades específicas no vale do rio Tocantins, ilha de Marajó e Calha Norte do rio Amazonas. In: MENEZES, C. R. C.; MONTEIRO, M. de A.; GALVÃO, I. M. F. (Ed.). **Zoneamento ecológico-econômico da Zona Leste e Calha Norte do Estado do Pará**. Belém: Núcleo de Gerenciamento do Programa Pará Rural, 2010. v. 1, cap. 1, p. 25-36.
- BECKER, B. K. A Amazônia e a política ambiental brasileira. **GEOgraphiu**, Ano 6, n. 11, p. 1-14, 2004.
- BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 17-86, 2005.
- BELL, E. J.; HINOJOSA, R. C. Markov analysis of land use change: continuous time and stationary processes. **Socio-Economic Planning Science**, v. 8, p. 13-17, 1977.
- BORDALO, C. A. O paradoxo da água na região das águas: o caso da Amazônia brasileira. Geosp – **Espaço e Tempo (Online)**, v. 21, n. 1, p. 120-137, 2017.
- BRASIL. **Lei Federal nº 9985, de 18 de julho de 2000**. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm>. Acesso em: 15 fev. 2024.
- BRIASSOULIS, H. **Analysis of land use change**: theoretical and modeling approaches. 2000. 145f. Tese (Doutorado em Geografia) – University of Aegean, Lesvos, Grécia, 2000. Disponível em: <<https://researchrepository.wvu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1000&context=rri-web-book>>. Acesso em: 06 jan. 2024.

CASTRO, E. Dinâmica Socioeconômica e desmatamento na Amazônia. **Novos Cadernos NAEA**, v. 8, n. 2, p. 5-39, 2005.

COELHO, A. S. **Políticas públicas e a configuração do bioma Amazônia no Antropoceno**: uma análise do desmatamento em múltiplas escalas de espaço e tempo. 2022. 140 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará, Belém-PA, 2022.

COSTA, T. R. S.; SOUSA, I. B. B. de; MATTOS JUNIOR, J. S. Arroz e mandioca na microrregião da Baixada Maranhense: os impactos na produção e seus impactos socioeconômicos. **Revista Rural & Urbano**, Recife, v. 06, n. 02, p. 118-139, 2021.

DALLA-NORA, E. L. **Modeling the interplay between global and regional drivers on Amazon deforestation**. 2014. 111 f. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.

DOMINGUES, G.; SAUER, S. A grande fronteira: Amazônia e a formação do sistema agroextrativista global. **Revista Katálysis**, v. 24, n. 3, p. 447-458. 2011.

FARIAS FILHO, M. S.; FERRAZ JÚNIOR, A. S. L. A cultura do arroz em sistema de vazante na Baixada Maranhense, periferia do sudeste da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 2, p. 82-91, 2009.

FELDMAN L. Trópico e fronteira na obra de Sérgio Buarque de Holanda. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 30, p. 1-23, 2023.

GOODACRE, A. K.; BONHAM-CARTER, G. F.; AGTERBERG, F. P.; WRIGHT, D. F. A statistical analysis of the spatial association of seismicity with drainage patterns and magnetic anomalies in western Quebec. **Tectonophysics**, v. 217, n. 3/4, p. 285-305, 1993.

HAGEN, A. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 17, n. 3, p. 235-249, 2003. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924646003000416>>. Acesso em: 06 jan. 2024.

HOLANDA, S. B. **Caminhos e Fronteiras**. Rio de Janeiro: José Olympio, 1957.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Monitoramento da Cobertura e uso da terra no Brasil 200 – 2020**. [2022]. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/cobertura-e-uso-da-terra/15831-cobertura-e-uso-da-terra-do-brasil.html?edicao=16022&t=acesso-ao-produto>>. Acesso em: 06 jan. 2024.

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS – IMESC. **Perfil do Maranhão 2006/2007**. 2008. São Luís: IMESC, 2008. v. 1. Disponível em: <<https://imesc.ma.gov.br/src/upload/publicacoes/ab4f63fb911f92ef718e3049c8dd2890.pdf>>. Acesso em: 06 jan. 2024.

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS – IMESC. **Desempenho da pecuária maranhense 2022**. 2023. São Luís: IMESC, 2023. v. 4, n. 1. Disponível em:

<<https://imesc.ma.gov.br/src/upload/publicacoes/bac66681964af5c9eeb357dc998818e1.pdf>>. Acesso em: 06 jan. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA – INCRA. **Relatório de Análise de Mercado de Terras** – RAMT. Brasília, DF: INCRA, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/relatorio-de-analise-de-mercados-de-terras/RAMT__MA_2022.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. COORDENAÇÃO GERAL DE OBSERVAÇÃO DA TERRA. **Programa de monitoramento da Amazônia e demais biomas**. Desmatamento – Amazônia Legal. Disponível em: <<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads>>. Acesso em: 06 jan. 2024.

LAFONTAINE, T. C. **Implicações territoriais e ambientais**: socioeconomia da construção da MA-014 para a Microrregião da Baixada Maranhense. 2011. 112 f. Dissertação de (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Pará, Belém-PA, 2011.

MARANHÃO. **Constituição Estadual do Estado do Maranhão**. 1989. Disponível em: <<https://www.al.ma.leg.br/arquivos/constituicaoma.pdf>>. Acesso: 12 mar. 2024.

MARANHÃO. **Decreto Estadual nº 27.317, de 14 de abril de 2011**. Institui o Plano de Prevenção e Combate ao Desmatamento e Queimadas - PPCDQ. Diário Oficial do Maranhão, São Luís, MA.

MARANHÃO. **Decreto Lei 11900 de Junho de 1991**. Institui a Área de Proteção da Baixada Maranhense. Disponível em: <<https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/A0D00141.pdf>>. Acesso: 12 mar. 2024.

MELLO, N. G. R. de; ARTAXO, P. Evolução do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal. **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**, [S. l.], n. 66, p. 108-129, 2017. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/rieb/article/view/133109>>. Acesso em: 24 fev. 2024.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA – MMAMC. **Sítios RAMSAR Brasileiros**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-ecossistemas/ecossistemas/areas-umidas/sitios-ramsar-brasileiros>>. Acesso em: 24 fev. 2024.

PEDROSA, B. M.; CAMARA, G. Modelagem Dinâmica e Sistemas de Informações Geográficas. IN: MEIRELES [et al.] (Ed). **Geomática** – modelos e aplicações ambientais. Brasília: EMBRAPA, 2007.

PRATES, R. C.; BACHA, C. J. C. Os processos de desenvolvimento e desmatamento da Amazônia. **Economia e Sociedade**, v. 20, n. 3, p. 601-636, dez. 2011.

SANTOS, A. M. Influence of deforestation inside and outside indigenous lands in the Brazilian Amazon Biome. **Regional Environmental Change**, v. 22, n. 2, p. 77, 2022.

SANTOS, L. B. **Modelagem de uso da terra na bacia hidrográfica do Rio Marapanim no nordeste do estado do Pará**. 2018. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará, Belém-PA, 2018.

SEEG. Serviço de Estudo de Emissões de Gases do Efeito Estufa – Observatório do Clima. **Nota Metodológica SEEG 7 – Setor de Mudanças de Uso do Solo e Florestas**. Relatório Técnico, 2020. Disponível em: <https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Nota_Metodologica_SEEG_7_MUT_-_Revisada_Fev_2020.pdf>. Acesso: 25 fev. 2024.

SILVA JUNIOR, C. H. L.; CELENTANO, A. Amazon forest on the edge of collapse in the Maranhão State, Brazil. **Land use Policy**, n. 97, e104806, 2020.

SILVA, V. V.; SILVA, R. G. C. Amazon, Frontier and Protected Areas: dialectic between economic expansion and nature conservation. **Ambiente & Sociedade**, v. 25, p. 1-21, 2022.

SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L. DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **Ecological Modelling**, v. 154, p. 217- 235, 2002. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00059-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00059-5)>. Acesso em: 06 jan. 2024.

SOARES-FILHO, B. S. **Modelagem Dinâmica de paisagem de uma região de fronteira amazônica**. 1998. 285 f. Tese (Doutorado em Transportes) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; ARAÚJO, W. L.; VOLL, E. Modelagem de dinâmica da paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. **Megadiversidade**, v. 3, n. 1/2, p. 74-86, 2007. Disponível em: <https://csr.ufmg.br/modelagem_sistemas_dinamicos/megadiversidade_v3__n1_2__dez_2007.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2024.

SOUSA, M. Importance of protected areas by Brazilian states to reduce deforestation in the Amazon. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 12, n. 5, p. 190, 2023.

VELHO, O. G. **Frente de expansão e estrutura agrária**: estudo do processo de penetração numa área da Transamazônica. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2009, 172p. Disponível em: <<https://static.scielo.org/scielobooks/zjf4z/pdf/velho-9788599662915.pdf>>. Acesso em 06 jan. 2024.

Como citar:

ABNT

SILVA, F. S da; TOLEDO, P. M. de; LIMA, A. M. M. de; MELO, S. N. de. Fronteiras em transformação: modelagem dinâmica espacial da cobertura da terra e influência de variáveis explicativas em áreas protegidas da Amazônia brasileira. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 10, n. 02 (ed. esp.), e23158, 2024. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e23158>>. Acesso em: 16 dez. 2024.

APA

Silva, F. S. da, Toledo, P. M. de, Lima, A. M. M. de, & Melo, S. N. de. Fronteiras em transformação: modelagem dinâmica espacial da cobertura da terra e influência de variáveis explicativas em áreas protegidas da Amazônia brasileira. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 10, n. 02 (ed. esp.), e23158, 2024. Recuperado em 16 dezembro, 2024, de <http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e23158>



This is an open access article under the CC BY Creative Commons 4.0 license.

Copyright © 2024, Universidade Federal do Maranhão.

