



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS - PPGCIFA**

**ESTIMATIVAS DO AVANÇO DO DESFLORESTAMENTO NOS
MUNICÍPIOS DE IRANDUBA E MANACAPURU, AMAZONAS,
POR MEIO DA MODELAGEM ESPACIAL**

NOELI ALINE PARTICCELLI MOREIRA

Manaus – Amazonas

2014



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS - PPGCIFA**

NOELI ALINE PARTICCELLI MOREIRA

**ESTIMATIVAS DO AVANÇO DO DESFLORESTAMENTO NOS
MUNICÍPIOS DE IRANDUBA E MANACAPURU, AMAZONAS,
POR MEIO DA MODELAGEM ESPACIAL**

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais - PPGCIFA, da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais, área de concentração em Conservação da Natureza.

Orientador: Prof. Dr. Lizit Alencar da Costa

Manaus – Amazonas

2014

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

M838e Moreira, Noeli Aline Particelli
ESTIMATIVAS DO AVANÇO DO DESFLORESTAMENTO NOS
MUNICÍPIOS DE IRANDUBÁ E MANACAPURU, AMAZONAS,
POR MEIO DA MODELAGEM ESPACIAL / Noeli Aline Particelli
Moreira. 2015
57 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Lizit Alencar da Costa
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. Prodes. 2. Desflorestamento. 3. Modelagem Dinâmica. 4.
Sistema de Informações Geográficas. I. Costa, Lizit Alencar da II.
Universidade Federal do Amazonas III. Título



PARECER

Defesa nº160

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, da Faculdade de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Amazonas, após arguir da mestranda **NOELI ALINE PARTICCELI MOREIRA**, em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado **"ESTIMATIVAS DO AVANÇO DO DESFLORESTAMENTO NOS MUNICÍPIOS DE IRANDUBA E MANACAPURU, AMAZONAS, POR MEIO DA MODELAGEM ESPACIAL"** é de parecer favorável à APROVAÇÃO da mestranda habilitando-a ao título de Mestre "*Magister Scientiae*" em Ciências Florestais e Ambientais, na área de concentração em **CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS (CIFA)**.

Professor Doutor Lizit Alencar da Costa
Professor da Faculdade de Ciências Agrária da Universidade Federal do Amazonas
Presidente da banca examinadora

Pesquisador Doutor Carlos Benedito Santana da Silva Soares
Pesquisador do Sistema de Proteção da Amazônia
Primeiro examinador

Professora Doutora Rosana Barbosa de Castro
Professora da Faculdade de Ciências Agrária da Universidade Federal do Amazonas
Segunda examinadora

Manaus, 08 de julho de 2014.



Prof. Dr. Marciel José Ferreira
Coordenador do Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais e Ambientais - PPG-CIFA

DEDICATÓRIA

“Aos meus familiares, que mesmo distantes sempre acreditaram em minha formação, e aos meus professores e amigos, que sempre presente me incentivaram a permanecer nesta jornada...”

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos anjinhos, por me manterem forte nesta difícil e maravilhosa jornada acadêmica;

Agradeço a Universidade Federal do Amazonas e seu Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, pela oportunidade proporcionada e pela infraestrutura de apoio.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela bolsa de mestrado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Lizit Alencar da Costa pela paciência, pela credibilidade e auxílio em me orientar nesta proposta de trabalho;

Agradeço à Prof. Dr. Cláudia Almeida pelos ensinamentos durante a realização da disciplina de Modelagem Espacial, INPE, uma pessoa incrivelmente dedicada ao seu trabalho.

Sou grata a Cláudia Vitell por me incentivar na realização desta pesquisa na área de modelagem e a Aurora Yanay por me ajudar diretamente no processamento dos dados.

A meus familiares, Maria Lucia Particcelli, Alex Moreira e irmão Júnior, que mesmo distante sempre torceram e acreditaram em minha carreira;

A minha querida e eterna “vôva” (*in memoriam*) pelos momentos maravilhosos e inesquecíveis;

Aos meus tios, Elaine Moreira e Vincenzo Lauriola, Júlia, Chiara e Bárbara, que sempre me incentivaram a não abaixar a cabeça e seguir confiante em meus propósitos;

Ao meu namorado e companheiro, Alã Moreira, “Keri”, pelo apoio e compreensão nos momentos alegres e difíceis;

A todos os amigos, Maria Antonia, Mônica, Eliezer Litaiff, Alex Leão, Cléo Ohana, Francielli Campagnoli, Filipe Eduardo, Estela Rebouças e família, que direta e indiretamente contribuíram em minha pesquisa e ensinamentos do cotidiano;

A todos, meu sincero agradecimento!!!!

RESUMO

O avanço do desflorestamento no estado do Amazonas, ligadas a preocupações atuais da sustentabilidade do desenvolvimento e ao balanço das questões ambientais envolvidas motivam pesquisas relacionadas à construção de cenários futuros para várias regiões no Brasil e no mundo. Neste contexto, a presente pesquisa pretende simular as tendências de evolução do desflorestamento nos municípios de Iranduba e Manacapuru, Amazonas, a partir de variáveis físicas (estradas, APA, RDS e hidrografia), analisando os padrões do desflorestamento do ano de 2000 a 2012 e realizando a projeção futura até o ano de 2024, através de suas alocações espaciais e suas taxas quantitativas. Para tanto foram utilizados como base para análise do desflorestamento dados do Programa de Desflorestamento de Monitoramento do Desmatamento da Amazônia – PRODES, gerenciado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE que tem como finalidade calcular taxas de desmatamento para a Amazônia. A partir seleção de atributos do mosaico Prodes, do ano de 2012, foram selecionadas as classes de interesse (desflorestamento anual, floresta, hidrografia e não floresta), as quais permitiram a construção do mapa de cobertura da área bem como a transição de floresta para desflorestamento no período de 2000 a 2012. Os mapas de uso inicial e final no software Dinâmica Ego possibilitaram a partir do modelo markoviano, possibilitaram as probabilidades de transição de floresta para desflorestamento do ano de 2012 até o ano de 2024. As variáveis físicas estradas e hidrografia se mostraram ser colaboradoras deste processo ao longo do tempo. Os resultados da simulação foram validados espacialmente pelo índice de similaridade de Fuzzy e se mostraram satisfatórios na simulação. Medidas relacionadas à gestão dos recursos naturais, ordenamento territorial, políticas públicas e futuras estratégias de Conservação são necessárias para os municípios de Iranduba e Manacapuru.

Palavras-Chave: PRODES, Desflorestamento, Modelagem Dinâmica, Sistema de Informações Geográficas.

ABSTRACT

The advance of deforestation in Amazonas state, linked to current concerns of sustainable development and the evaluation of environmental issues involved motivate research related to construction of future scenarios for various regions in Brazil and worldwide. In this context, this research aims to simulate the trends of deforestation in the municipalities of Iranduba and Manacapuru, Amazonas, from physical variables (roads, APA, RDS and Hydrography), analyzing the patterns of deforestation in the year 2000-2012 and performing future projection until the year 2024, through their spatial allocations and its quantitative rates. For both were used as a basis for analysis of deforestation Programme Data Monitoring Deforestation of the Amazon - Prodes, managed by the National Institute for Space Research - INPE which aims to calculate rates of deforestation for the Amazon. From selecting attributes Mosaic Prodes the year 2012, the classes of interest (annual deforestation, forest hydrology and not forest), which allowed the construction of the coverage map of the area as well as the transition from forest to have been selected deforestation in the period 2000-2012. Statements of initial and final use in software Ego allowed Dynamics from the Markov model enabled the transition probabilities of forest to deforestation of the year 2012 until the year 2024. Roads Physical variables and hydrographic proved to be contributors in this process over time. The simulation results were validated by spatially Fuzzy similarity index and proved satisfactory in the simulation. Measures related to the management of natural resources, land use planning, public policy and future conservation strategies are needed for the area municipalities of Iranduba and Manacapuru.

Key-words: PRODES, Deforestation, Dynamic Modeling, Geographic information systems.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1: Página de acesso para download dos dados vetoriais do PRODES/INPE.....	4
Figura 2: Desflorestamento acumulado até o ano de 2012 no estado do Amazonas.....	5
Figura 3: Desflorestamento acumulado até o ano de 2012 nos municípios de Iranduba e Manacapuru - Amazonas.....	6
Figura 4: Estrutura básica de um sistema de informações geográficas.....	7
Figura 5: Tipos de Modelos.....	8
Figura 6: Exemplo de Filtro Espacial.....	11
Figura 7: Área desmatada da Floresta em dois instantes de tempo, t e t'	12
Figura 8: Área de Estudo, municípios de Iranduba e Manacapuru, ambos localizados no estado do Amazonas.....	14
Figura 9: Processo de degradação ambiental em Iranduba. Fonte: (SOUZA, 2002).....	15
Figura 10. Fluxograma das seleções dos atributos de interesse do Mosaico Prodes/ INPE do ano de 2012.....	18
Figura 11. Fluxograma de execução no software SRING.....	19
Figura 12: Mapa de variáveis estáticas a serem utilizadas no processo de modelagem no software Dinâmica-Ego.....	20
Figura 13: Modelo criado para salvar dados de entrada no formato <i>ERS</i>	21
Figura 14: Modelo para calcular a matriz de transição da classe floresta para desflorestamento.....	22
Figura 15: Modelo para criação do cubo de variáveis a serem utilizados na modelagem.....	22
Figura 16: Interface gráfica para realização do fatiamento no Dinâmica Ego, calculando os pesos de evidência das variáveis independentes.....	23
Figura 17: Interface gráfica para calculo dos pesos de evidência no Dinâmica Ego.....	24
Figura 18: Interface gráfica para a calibração do modelo no Dinâmica Ego.....	25
Figura 19: Interface gráfica para a execução do modelo de simulação de probabilidade e paisagem anual no Dinâmica Ego.....	25
Figura 20. Fluxograma das etapas realizadas no software Dinâmica EGO.....	26
Figura 21: Mapa de desflorestamento dos municípios de Iranduba e Manacapuru comparados com o ano de 2000 acumulado até o ano de 2012.....	27
Figura 22: Distribuição espacial das áreas de desflorestamento no intervalo de 4 anos para a área de estudo.....	28

Figura 23: Distribuição espacial das áreas de desflorestamento no intervalo de 4 anos com maior escala para a parte A.....	29
Figura 24: Distribuição espacial das áreas de desflorestamento no intervalo de 4 anos com maior escala para a parte B.....	30
Figura 25: Distribuição espacial das áreas de desflorestamento no intervalo de 4 anos com maior escala para a parte C.....	31
Figura 26: Taxa de desflorestamento anual em km ² para o município de Iranduba (ano de 2000 acumulado).....	32
Figura 27: Taxa de desflorestamento anual em km ² para o município de Manacapuru (ano de 2000 acumulado).	33
Figura 28: Mapa de uso inicial para modelagem no software Dinâmica Ego, referente ao ano de 2000.....	35
Figura 29: Mapa de uso final para modelagem no software Dinâmica Ego, referente ao ano de 2012.....	36
Figura 30: Weights Coefficient obtidos para distância à áreas já desflorestadas.....	37
Figura 31: Weights Coefficient obtidos para distância à Sede do Município.	38
Figura 32: Weights Coefficient obtidos para distância à estradas.....	38
Figura 33: Weights Coefficient obtidos para distância à hidrografia.....	39
Figura 34: Comparação dos mapas de uso real e simulado pela modelagem, referente ao ano de 2012.....	42
Figura 35: Variação do índice de similaridade fuzzy (ISF), em função de diferentes tamanho de janelas de amostragem comparando o mapa de uso real e simulado.	43
Figura 36: Simulação do avanço de desflorestamento na área de estudo dos anos de 2013 a 2024.	45
Figura 37: Mapa de simulação do desflorestamento em intervalos de 4 anos para os municípios de Iranduba e Manacapuru.....	46
Figura 38: Mapa de simulação do desflorestamento em intervalos de 4 anos para a parte A em maior escala.	46
Figura 39: Mapa de simulação do desflorestamento em intervalos de 4 anos para a parte B em maior escala.....	47
Figura 40: Mapa de simulação do desflorestamento em intervalos de 4 anos para a parte C em maior escala.....	50

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Resumo do modelo Empírico de Cadeias a ser utilizado (CÂMARA & BIANCA, 2006).	10
Tabela 2: Área total de desflorestamento dos anos de 2000 a 2012, nos municípios de Iranduba e Manacapuru.	28
Tabela 3: Incremento relativo ao desflorestamento no município de Iranduba e Manacapuru.	28
Tabela 4: Taxas históricas de desflorestamento dos anos de 2000 (acumulado) a 2012.	32
Tabela 5: Taxas de mudanças de uso e cobertura utilizadas para modelagem em km ² .	36
Tabela 6: Taxas de floresta e desflorestamento utilizadas para modelagem em % relativa à área total do município.	36
Tabela 7: Variáveis independentes utilizadas para o cálculo de faixas de distância.	39
Tabela 8: Apresentação dos dados de análise exploratória de variáveis através dos índices Crammer, Contigency e Join Information.	40
Tabela 9: Análise quantitativa dos cenários futuros de desflorestamento por município.	50
Tabela 10: Taxa de probabilidade de aumento de desflorestamento em % relativa ao tamanho de desflorestamento de 2012 para o ano de 2024.	50
Tabela 11: Taxa de probabilidade da perda de floresta do ano de 2012 até o ano de 2024.	51

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 PRESSUPOSTO DA PESQUISA	2
2. OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1 DESFLORESTAMENTO PRODES-INPE	4
3.2 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	6
3.2.1 Modelagem Dinâmica Espacial	7
3.2.1.1 Modelos	8
3.2.1.2 Modelos Empíricos	9
3.2.1.3 Cadeias de Markov	9
3.2.1.4 Espaço e Tempo na Modelagem Espacial	10
4. MATERIAL E MÉTODOS	13
4.1 ÁREA DE ESTUDO	13
4.2 DESFLORESTAMENTO EM IRADUBA E MANACAPURU	14
4.3 MATERIAIS UTILIZADOS	16
4.4 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	16
5. RESULTADOS	27
5.1 ANÁLISE MULTITEMPORAL PRODES/INPE	27
5.2 MODELAGEM ESPACIAL PARA OS ANOS DE 2016, 2020 E 2024	34
5.3 PROJEÇÃO FUTURA DO DESFLORESTAMENTO	44
6. CONCLUSÕES	53

1. INTRODUÇÃO

Na Amazônia Brasileira aproximadamente 90% do desmatamento tem ocorrido dentro de um buffer de 100 km ao longo de estradas construídas pelo governo federal, Alves (2002).

Processos significativos de conversão nos padrões de uso da terra têm sido verificados no município de Iranduba e Manacapuru, ambos localizados no estado do Amazonas, devido à incorporação da ponte Rio-Negro que interliga tais municípios à capital do estado, Manaus. Ocupação irregular, comércio ilegal de lotes, abertura de ramal clandestino, extração ilegal madeireira, dentre outros, tem sido os principais problemas identificados antes da inauguração da referida ponte.

Estima-se que, nos próximos dez anos, o município de Iranduba terá algo em torno de 30.000 para 140.000 habitantes. Segundo dados de 2009, do Governo do Estado, Iranduba ultrapassou o limite máximo de desmatamento e foi o primeiro a superar no Amazonas, o limite de 20% de desmate permitido pelo Código Florestal. O fato pode ser atribuído às olarias que ao longo destes mais de trinta anos, desmataram para retirar lenha que foram utilizados em seus fornos, além deste fator, a especulação imobiliária, devido a construção da ponte interligando à Capital, Manaus, pode agravar o quadro. Hoje a situação é mais preocupante do que naquelas cidades localizados no Sul do Amazonas que, no passado, foram denunciados como campeões em desmatamento.

Estas mudanças na cobertura florestal têm importantes implicações quanto à perda de biodiversidade e outros serviços ambientais, emissão de gases que contribuem para o efeito estufa e à prosperidade da sociedade da Amazônia em longo prazo. Nessa perspectiva, um importante desafio para a comunidade científica consiste em simular os efeitos da infra-estrutura de transporte nos padrões regionais de mudanças de uso e cobertura do solo.

Apesar do avanço do desflorestamento estar concentrado na região sul do estado do Amazonas, proporções relativas de remoção da vegetação (desflorestamento) estão sendo identificadas nos limites confrontantes à Capital, Manaus.

Modelos de simulação se tornaram recentemente um promissor campo de pesquisa, recebendo atenção por parte dos pesquisadores de diversas áreas. Uma especial classe de modelos de simulação é representada pelos modelos espaciais que simulam mudança dos atributos do meio ambiente através do território geográfico. O uso de tais modelos visam auxiliar o entendimento dos mecanismos causais e processos

ambientais, e assim determinar como eles evoluem diante de um conjunto de circunstâncias (SOARES FILHO et al.,2003)

Nesta concepção, o presente trabalho tem como finalidade realizar um estudo temporal, nos municípios de Iranduba e Manacapuru, das áreas que sofreram processos de desflorestamento, até o ano de 2012 e, simular o desflorestamento futuro, entre o período de 2012 a 2024, utilizando a ferramenta de modelagem espacial.

1.1 PRESSUPOSTO DA PESQUISA

Pressupõe-se que, por meio da análise multitemporal do ambiente e com o auxílio de ferramentas de Modelagem e Sistema de Informações Geográficas – SIG será possível o desenvolvimento de uma projeção do avanço do desflorestamento nas áreas em estudo, até o ano de 2024, possibilitando assim, compreender os futuros processos de mudança de cobertura do solo, auxiliando a gestão dos recursos naturais e ordenamento territorial destes municípios.

Tal estudo tem como finalidade compreender as futuras mudanças e a partir disso, apoiar as estratégias de conservação nas áreas estudadas.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o avanço do desflorestamento até o ano de 2012 e, realizar a projeção futura da transição de floresta para desmatamento, até o ano de 2024, possibilitando assim, realizar a quantificação de áreas futuras a serem desflorestadas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Realizar um estudo multitemporal de desflorestamento dos anos de 2000 a 2012 para os municípios de Iranduba e Manacapuru;
- ii. Aplicar a modelagem espacial para os anos de 2016, 2020 e 2024;
- iii. Identificar as principais áreas prováveis de desflorestamento até o ano de 2024 através da confecção de mapas de transição da classe floresta para desflorestamento;

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 DESFLORESTAMENTO PRODES-INPE

O Projeto de Monitoramento do Desmatamento da Amazônia - PRODES é gerenciado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e tem como finalidade calcular taxas de desmatamento para a Amazônia. Teve seu início no ano de 1998 no chamado Prodes Analógico, encerrado em 2001. A partir de 2003, o INPE passou a adotar o processo de interpretação assistida pelo computador para o cálculo da taxa de desmatamento na Amazônia, chamado de programa Prodes Digital para distingui-lo do processo anterior. Assim, os dados resultantes das interpretações são organizados em formatos *raster*, vetorial e tabulares e disponibilizados no sítio do projeto, como demonstrado pela figura 1, estando aberto para toda a comunidade científica (INPE, 2006).

The screenshot displays the PRODES website interface. At the top, there is a header with the logo of the Ministério da Ciência e Tecnologia and the PRODES logo. Below the header, there is a navigation bar with options like 'Recompôr', 'Imagem Satélite', 'Cartografia', 'Mapas Temáticos', and 'Tamanho da Tela'. The main content area is divided into several sections. On the left, there are search and consultation forms for individual censuses and state-level mosaics. The central part of the page shows a satellite map of the Amazon region with a grid overlay, indicating the location of the state-level mosaics. On the right, there is a sidebar titled 'TRANSFERÊNCIA DE DADOS - Mosaicos Estaduais' which lists download options for different file formats (geotiff, Spring, Shape) and provides links to download the data for the year 2012 in the state of Amazonas (AM). The sidebar also includes explanatory text about the data format and resolution.

Figura 1: Página de acesso para download dos dados vetoriais do PRODES/INPE.

A principal vantagem deste procedimento está na precisão do georreferenciamento dos polígonos de desflorestamento, de forma a produzir um banco de dados geográfico multitemporal, tendo em vista que, este mosaico contém em seus atributos informações como ano de ocorrência e classes de cobertura (desflorestamento, floresta, não floresta, resíduo e nuvem).

Vale lembrar ainda que o INPE passou a divulgar os mapas digitais que descrevem o desmatamento da Amazônia apenas a partir de 2003. Até então, esta informação era restrita e não acessível mesmo a outros órgãos do governo, o que teve

graves consequências, pois reduziu muito a capacidade do governo e da sociedade em combater o desmatamento.

A metodologia de interpretação de imagens, adotada para o projeto PRODES, consiste nas seguintes etapas: seleção de imagens com menor cobertura de nuvens e com data de aquisição a mais próxima o possível da data de referência para o cálculo de taxa de desmatamento (1º de agosto), georreferenciamento das imagens, transformação dos dados radiométricos das imagens em imagens de componente de cena (vegetação, solo e sombra) pela aplicação de algoritmo de mistura espectral para concentrar a informação sobre o desmatamento em uma a duas imagens, segmentação em campos homogêneos das imagens dos componentes solo e sombra, classificação não supervisionada e por campos das imagens de solo e de sombra, mapeamento das classes não-supervisionadas em classes informativas (desmatamento do ano, floresta, etc), edição do resultado do mapeamento de classes e elaboração de mosaicos das cartas temáticas de cada Unidade Federativa.

As figuras de número 2 e 3 demonstram respectivamente dados acumulados para o estado do Amazonas e para os municípios estudados, referente à base de dados geográficos do Projeto PRODES, que estão disponíveis para *download* no site: www.inpe.br/Prodesdigital.

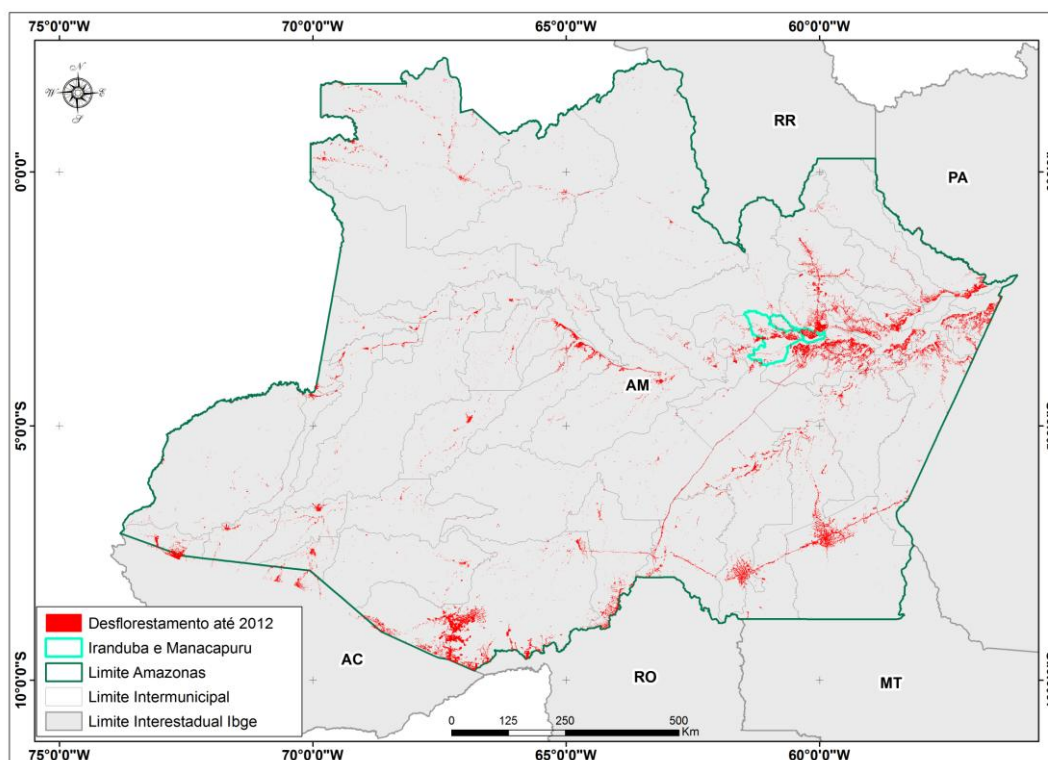


Figura 2: Desflorestamento acumulado até o ano de 2012 no estado do Amazonas.

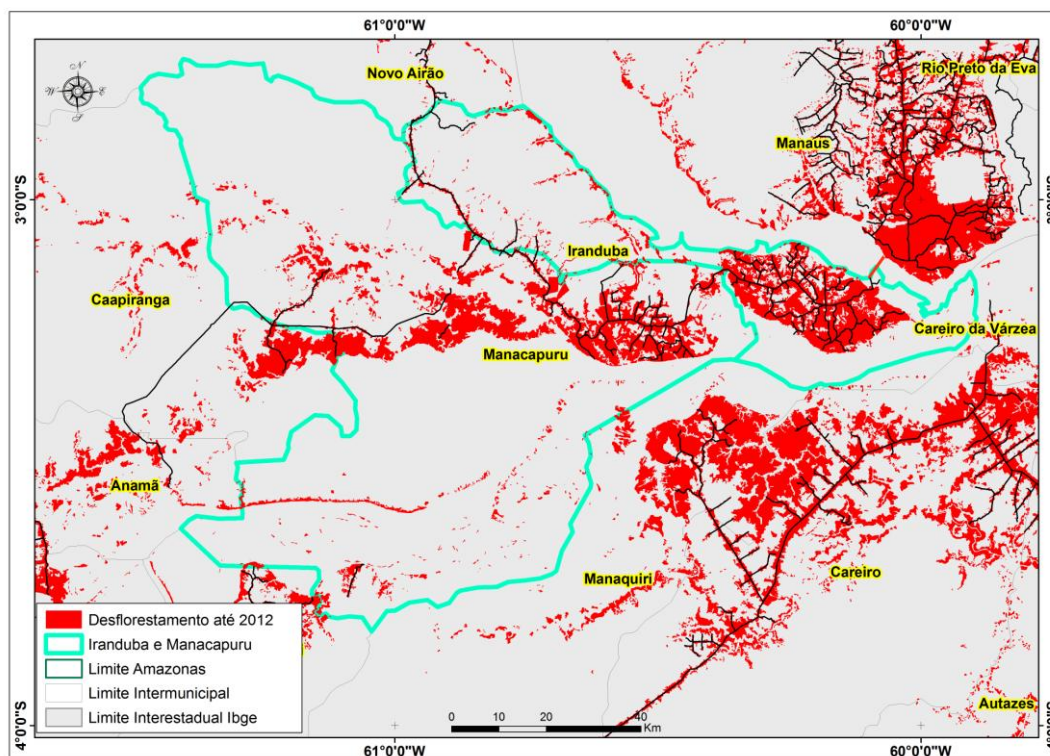


Figura 3: Desflorestamento acumulado até o ano de 2012 nos municípios de Iranduba e Manacapuru - Amazonas.

Fonte: PRODES/INPE.

3.2 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Um Sistema de Informação Geográfica-SIG é um sistema que reúne hardware, software, dados e pessoal treinado com a finalidade de possibilitar a captura, gerenciamento, manipulação, análise, modelagem e visualização de dados espacialmente referenciados com o objetivo de prover apoio à tomada de decisões em atividades de gerenciamento e planejamento (Costa, 2001).

Segundo Costa (2001), existem pelo menos três grandes maneiras de se utilizar um SIG:

- como ferramenta para a produção de cartas;
- como suporte para a análise espacial de fenômenos e
- como uma banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Moreira (2005) considera que um SIG é composto de cinco componentes independentes, porém interligados uns aos outros através de funções específicas, sendo eles: interface, entrada e integração de dados, funções de consulta e análise espacial,

visualização e plotagem e banco de dados geográficos. Na figura 4 temos a representação básica de um SIG.

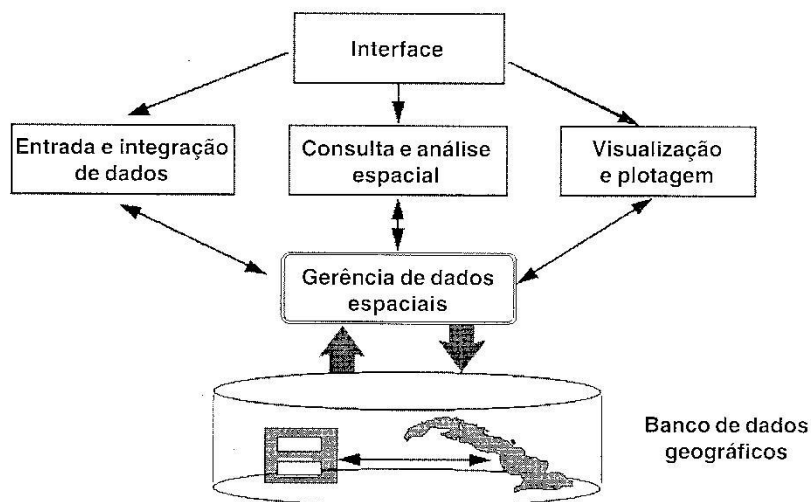


Figura 4: Estrutura básica de um sistema de informações geográficas.
Fonte: Moreira (2005), adaptada de Câmara e Medeiros (1996)

3.2.1 Modelagem Dinâmica Espacial

A atual geração de SIG configura uma tecnologia estabelecida para armazenar, organizar, recuperar e modificar informações sobre a distribuição espacial de recursos naturais, dados geo-demográficos, redes de utilidade pública e muitos outros tipos de dados localizados na superfície da terra. Nesta área, um dos principais desafios para os próximos anos é transformar estes sistemas, essencialmente estáticos, em ferramentas capazes de prover representações realistas de processos espaço-temporais. A modelagem de grande quantidade de processos físicos, em aplicações como Geomorfologia, Estudos Climáticos, Dinâmica Populacional e Impacto Ambiental, requer que os SIG tenham capacidade de representar os tipos de processos dinâmicos encontrados em estudos de sistemas físicos e sócio-econômicos. (CÂMARA & BIANCA, 2006).

Na definição de Burrough, “um modelo espacial dinâmico é uma representação matemática de um processo do mundo real em que uma localização na superfície terrestre muda em resposta a variações em suas forças direcionadoras”.

Várias ferramentas em geotecnologia são utilizadas para mapear e modelar fenômenos espaciais. Entre estas, a simulação de sistemas auxilia o entendimento dos fatores que induzem o desenvolvimento do fenômeno, bem como permite representar

cenários diversos de possibilidades futuras, segundo quadros socioeconômicos, políticos e ambientais diferentes (SOARES FILHO et al., 2001).

3.2.1.1 Modelos

Modelos espaciais dinâmicos descrevem a evolução de padrões espaciais de um sistema ao longo do tempo. A figura 5 demonstra os tipos de modelos associados a suas subdivisões. Segundo LAMBIN, 1994 citado por CÂMARA & PEDROSA, 2002, o modelo de um fenômeno deve responder às seguintes questões:

- Quais variáveis ambientais e culturais contribuem para explicar o fenômeno, e quais são os processos ecológicos e sócio-econômicos existentes por trás do fenômeno?
- Como o processo evolui?
- Onde ocorrem os fenômenos?

Estas questões chaves podem ser identificadas como as clássicas “Por quê?”, “Quando?” e “Onde?”. Um modelo que responde a estas questões é capaz de descrever quantitativamente um fenômeno e prever sua evolução, integrando suas escalas temporal e espacial (CÂMARA & BIANCA, 2006).

Um modelo é constituído de pelo menos três elementos: variáveis, relacionamentos e processos. Ao se construir um modelo, dependendo do objetivo, pode-se dar ênfase a um ou outro destes elementos. Nesta visão, os modelos podem ser classificados em empíricos e de sistemas. Modelos empíricos focalizam os relacionamentos entre as variáveis do modelo, a partir da suposição de que os relacionamentos observados no passado continuarão no futuro. Modelos de sistemas são descrições matemáticas de processos complexos que interagem entre si, enfatizando as interações entre todos os componentes de um sistema (LAMBIN, 1994 citado por CÂMARA & PEDROSA, 2002).

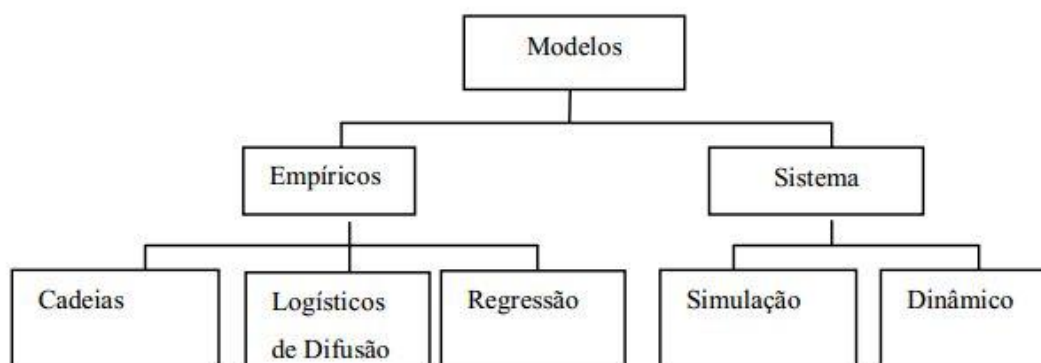


Figura 5: Tipos de Modelos.

Fonte: Adaptado de Câmara e Pedrosa, 2002.

3.2.1.2 Modelos Empíricos

De acordo com Câmara & Pedrosa (2002) os modelos empíricos, em sua dimensão procedural, possuem três componentes chaves: uma configuração inicial, uma função de mudança e uma configuração de saída. A configuração inicial de um modelo dinâmico pode ser obtida através de dados históricos do fenômeno em estudo, chamados de séries temporais. Neste caso, equações diferenciais (totais ou parciais) que incluem pelo menos um termo derivado no tempo podem ser utilizadas para representar o modelo e o processo é classificado como determinístico. Quando variáveis aleatórias são utilizadas para explicar um sistema o processo é classificado como estocástico-probabilístico. Modelos empíricos são caracterizados pela simplicidade dos modelos matemáticos empregados e pelo número reduzido de variáveis envolvidas. Estes modelos são eficientes em fazer previsões, embora apresentem limitações em abordar a evolução espacial e identificar os aspectos causais do sistema.

3.2.1.3 Cadeias de Markov

Cadeias de Markov são modelos matemáticos para descrever processos estocásticos e podem denotadas por:

$$\Pi(t+1) = P_n \cdot \Pi(t)$$

onde $\Pi(t)$ é o estado do sistema no tempo t , $\Pi(t+1)$ é o estado do sistema após o instante $t+1$ e P_n são os estados passíveis de acontecer, que são representados em matrizes de possibilidades de transição. Essas matrizes de transição representam a possibilidade de um determinado estado i permanecer o mesmo ou mudar para o estado j durante o instante de tempo $t \rightarrow t+1$. As probabilidades de transição são usualmente derivadas de amostras relativas a um certo instante de tempo. Cadeias de Markov de 1ª ordem assumem que o estado futuro do sistema depende apenas do seu estado presente e das possibilidades de transição, sendo independente da trajetória que o levou àquele estado (estados em um tempo $t-1$). Este modelo não ignora o passado, mas assume que toda a informação do passado está concentrada no presente estado do sistema. Desta forma, as interações são instantâneas, sendo irrelevante o tempo de permanência das variáveis em cada estado (Soares Filho 1998).

Outra característica das cadeias de Markov é que as probabilidades de transição não mudam com o tempo, o que o caracteriza como um processo estacionário. As

principais vantagens das cadeias de Markov, demonstrados pela tabela 1 são a simplicidade operacional e matemática do modelo aliadas à facilidade com que podem ser aplicadas a dados provenientes de sensoriamento remoto e implementadas em GIS. Outra grande vantagem é o fato de não necessitar de grande quantidade de dados antigos para prever o futuro. As principais limitações das cadeias de markov incluem o fato do modelo não explicar o fenômeno (Por quê?) e ser limitado na resposta espacial (Onde), entretanto o modelo pode fazer previsões (Quando) desde que os processos sejam estacionários (CÂMARA & BIANCA, 2006).

Tabela 1: Resumo do modelo Empírico de Cadeias a ser utilizado (CÂMARA & BIANCA, 2006).

Modelo	Por quê?	Quando?	Onde?
Cadeia Markov	Não pode explicar a razão de um fenômeno por ser um processo estocástico e não suportar a inclusão de variáveis exógenas.	Pode-se prever a evolução de processos estacionários.	Pode-se prever distribuições espaciais de elementos do modelo se for combinado com SIG.

Pela diversidade de formas de representação apresentadas, pode-se concluir que não existe uma solução única para modelar fenômenos espaciais dinâmicos. A solução ideal para cada caso deve ser buscada tentando responder o porquê, onde e quando de cada fenômeno, através da integração das escalas temporal e espacial articuladas com o modelo matemático definido para descrever o fenômeno e prever sua evolução. Cadeias de Markov, modelos logísticos de Difusão e Regressão são eficientes em modelar processos estacionários. Estes modelos utilizam equações matemáticas simples e requerem poucos dados, além de serem compatíveis com o formato de dados oriundos de fontes de sensoriamento remoto e, como consequência, facilmente implementados em SIG (CÂMARA & BIANCA, 2006).

Diferentes modelos servem a diferentes propósitos, logo eles não são excludentes, mas sim complementares. Nesta perspectiva, Lambin (1994) sugere que, ao se construir um modelo, deve-se fazê-lo de forma gradual, começando por Cadeias de Markov, que são os mais simples, e ir incorporando novos elementos (variáveis exógenas) e funções (determinísticas) ao projeto.

3.2.1.4 Espaço e Tempo na Modelagem Espacial

A abstração fundamental na maior parte dos SIGs atuais é o conceito de mapa, fortemente relacionado com noções cartográficas e, portanto, do espaço absoluto. Em

processos dinâmicos a noção de espaço relativo e próximo são fundamentais para estabelecer e representar fluxos e conexões entre entidades do sistema (CÂMARA & BIANCA, 2006).

O espaço é o conceito chave na Ciência da informação espacial. Tradicionalmente, os geógrafos fazem uma distinção entre os conceitos de espaço absoluto e espaço relativo. “Espaço absoluto, também chamado Cartesiano ou Newtoniano, é um container de coisas e eventos, uma estrutura para localizar pontos, trajetórias e objetos. Espaço relativo, ou Leibnitziano, é o espaço constituído pelas relações espaciais entre coisas e eventos” (COUCLELIS 1997).

Em um espaço relativo, a análise espacial é compreendida como a relação entre os usos de cobertura e uso do local e suas conectividades pelas suas proximidades espaciais (grafos).

Algumas operações espaciais disponíveis em SIG como filtros espaciais, por exemplo, utilizam a noção de espaço próximo de forma limitada. No filtro espacial, o estado de uma célula (um pixel de uma imagem) é modificado com base nos estados das demais células em sua vizinhança, definida através de uma máscara. A seguir são apresentados um exemplo de filtro espacial e o estado de uma célula qualquer antes e após a aplicação do filtro espacial (CÂMARA & BIANCA, 2006).

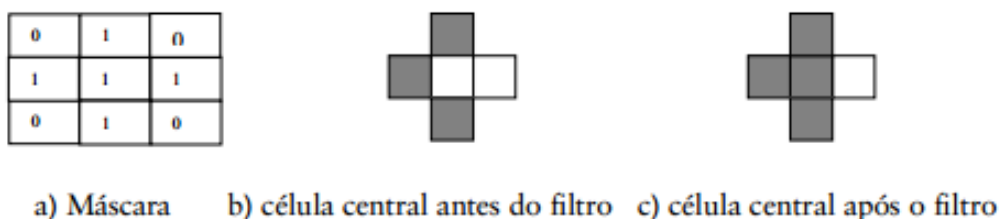


Figura 6: Exemplo de Filtro Espacial.

Com relação à variação temporal duas possibilidades podem ser consideradas: tempo contínuo e discreto. Uma variável temporal contínua é usada em processos que demandam medidas de tempo com níveis arbitrários de precisão. Por exemplo, a expansão da área de desmatamento de uma floresta entre dois instantes de tempo medidos pode ser interpolada. A Figura 7 apresenta mapas de uma área desmatada em dois instantes t e t' . Se necessário, pode-se gerar um novo mapa para representar a área desmatada entre os instantes t e t' porque este processo é contínuo no tempo.

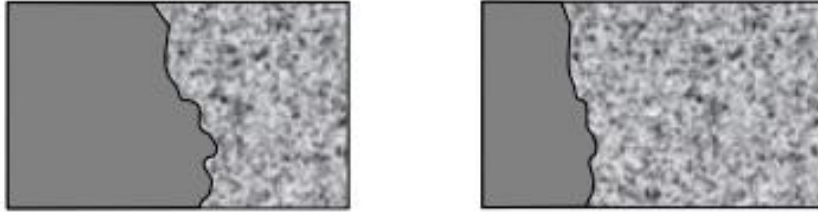


Figura 7: Área desmatada da Floresta em dois instantes de tempo, t e t' .
Fonte: (CÂMARA & BIANCA, 2006).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

Os municípios de Iranduba e Manacapuru, especializados pela figura 8, estão localizados no Estado do Amazonas, Região Norte do Brasil e juntos totalizam uma área de 9.555,00 km² para estudo.

Manacapuru está localizado na 7^a sub-região no médio Amazonas. Sua sede Municipal encontra-se à margem esquerda do Rio Solimões na confluência com a foz do pequeno rio que dá nome ao município. Sua área territorial é de 7.367,9 km². Distante de Manaus, capital do Estado, apenas 68 quilômetros em linha reta ou 55 milhas por via fluvial, seus municípios limítrofes são: Novo Airão, ao norte; Beruri, ao sul; a leste situam-se Iranduba e Manaquiri; e a oeste ficam os municípios de Anamá e Caapiranga. Manacapuru, de acordo com dados do IBGE (2011), 85.141 habitantes e extensão territorial de 7.330,075 km².

Iranduba possui uma população de 40.781 habitantes, com uma densidade demográfica de 18,42 hab/km², e área total de 2.224,250 km² (IBGE, 2011). Tem como municípios confrontantes Careiro, Manaquiri, Manacapuru, Novo Airão e Manaus. O município de Iranduba, situado no estado do Amazonas, localiza-se à margem esquerda do Rio Solimões, no encontro deste com o Rio Negro. No ano de 2013, O IBGE apontou que Iranduba chegou a uma população estimada em 44.503 pessoas.

Em se tratando de rodovias, a área de estudo abrange a AM-070 (extensão de 98,54 km) pavimentada há mais tempo (+ 1978). Ela interliga o município de Iranduba a Manacapuru. A AM-352, pavimentada há menos tempo, possui uma extensão de 80 km e foi finalizada em 2005, interligando o município de Manacapuru a Novo Airão. Estas duas rodovias são uma das mais importantes do estado, pois interligam quatro municípios (Manaus, Iranduba, Manacapuru e Novo Airão), além de vários ramais, proporcionando o escoamento principalmente de produtos cerâmicos (mineração de argila), hortifrutigranjeiros e madeireiros. Essas estradas estão inseridas na Área de Proteção Ambiental (APA) Margem Esquerda Rio Negro que fica entre o rio Negro (água preta) e Solimões (água branca), área de ecótono importante (MOREIRA et al. 2009).

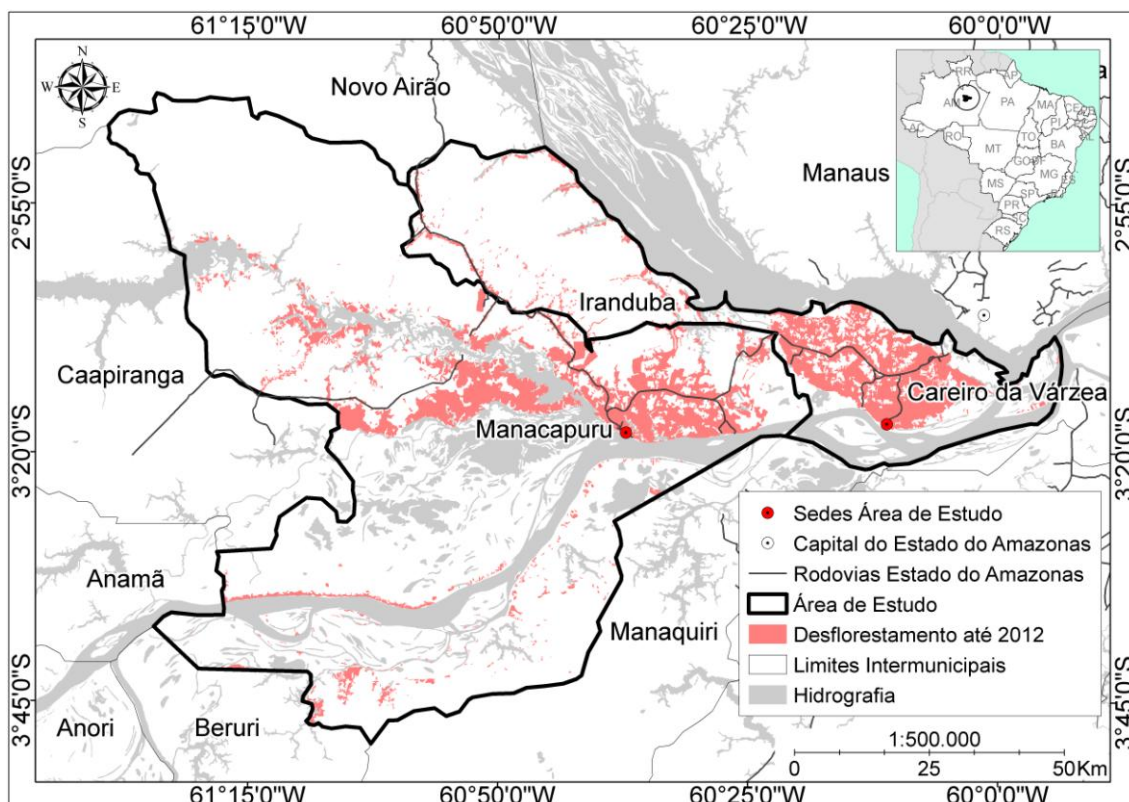


Figura 8: Área de Estudo, municípios de Iranduba e Manacapuru, ambos localizados no estado do Amazonas.

4.2 DESFLORESTAMENTO EM IRADUBA E MANACAPURU

Os municípios de Iranduba e Manacapuru são os maiores consumidores de lenha no estado do Amazonas, sendo responsável pelo atendimento quase que total da demanda por tijolos e telhas para a construção civil da cidade de Manaus. Até o ano de 2008, todo o recurso florestal utilizado provém de áreas de florestas primárias ou secundárias, havendo poucas iniciativas do setor primário ou dos agricultores para implantação de plantações racionais (SOUZA et al., 2008).

De acordo com Souza, 2008, estes dois municípios apresentam altas taxas de desmatamento comparados se comparado com a média do estado do Amazonas (2,07%). Em 1987, o Município de Iranduba já apresentava um índice de desmatamento de 13,39% de seu território, e Manacapuru 4,6 %. Nesse mesmo ano, o Estado do Amazonas apresentava taxa de desflorestamento de 1,26%. Até 2007 Iranduba já possuía 20% de seu território desflorestado e, Manacapuru 10%.

Esses dados nos apresentam um quadro no qual esses municípios apresentam índices de desmatamento extremamente altos quando comparados à taxa do Estado.

Este cenário parece estar relacionado às atividades econômicas desenvolvidas nesses municípios, como o pólo oleiro e os fornecedores de hortigranjeiros à cidade de

Manaus. As linhas de produção do segmento cerâmico-oleiro de Iranduba e Manacapuru, composto por cerca de 32 empresas, limitam-se à fabricação de tijolos 8 (oito) furos, esporadicamente tijolos maciços para consumo das próprias olarias e telhas - tipo plan, Portuguesa, Colonial e Romana. A produção é da ordem de 100 milhões de tijolos por ano, no qual 25% produzidos em Manacapuru e 75% em Iranduba (AZEVEDO et al. 2002).

De acordo com Azevedo, 2002, a supressão de vegetação e decapeamento (retirada da cobertura florestal), exemplificadas pela figura 9, ocorrem em dois momentos:

- Para o desenvolvimento do poço de lavra torna-se inevitável a retirada da camada superficial do solo (horizonte A), implicando na destruição da cobertura vegetal, macro e microfloras associadas, sem que se observe a devida preocupação em estocar o solo para futuro emprego na reposição de áreas lavradas;
- Grandes áreas de floresta são cortadas para produção de lenha, usada como matéria energética na queima dos produtos das olarias, sem o devido controle e/ou um programa de reflorestamento desenvolvido pelos empresários de maneira voluntária ou imposta.



Figura 9: Processo de degradação ambiental em Iranduba. Fonte: (SOUZA, 2002)

O inchaço populacional da cidade de Manaus, a ponte interligando Manaus a Iranduba – Manacapuru - Novo Airão, asfaltamento da BR – 319, extensão da zona franca de Manaus para Iranduba e gasoduto Coari - Manaus e o aumento da mineração de argila pela demanda de tijolos dos grandes centros, podem potencializar o desflorestamento e assim agravar a degradação ambiental nessa região (MOREIRA et al. 2009).

Algumas pesquisas realizadas pela Embrapa Amazônia apontem uma alternativa sustentável à utilização de madeira, oriunda de florestas nativas, para a produção de lenha nos pólos oleiros desses dois municípios, através do plantio de *Acacia mangium* e *Acacia auriculiformis* as quais apresentaram boas condições ambientais para o cultivo na área de estudo, além de apresentarem resultados com maiores rendimentos em relação à produção de tijolos.

4.3 MATERIAIS UTILIZADOS

Para análise do desflorestamento na área de estudo dos anos de 2000 a 2012, foram utilizados dados do Projeto PRODES (Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. O referente projeto disponibiliza um mosaico anual dos locais de ocorrência de desflorestamento (floresta para desmatamento). As taxas anuais foram retirados do site <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodes.php>, através de download dos mosaicos do estado do Amazonas em formato *shapefile* referente ao ano de 2012.

a) **Dados Vetoriais e Matriciais**

- Estradas: IMAZOM;
- Limites Interestaduais e Intermunicipais: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE;
- Mosaico Prodes/INPE ano de referência 2012: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE;
- Hidrografia: Atributo de Hidrografia do Mosaico Prodes/INPE do ano de 2012.

b) **Softwares:**

- ArcGis 9.3 - ERSI
- Dinâmica-EGO 2.4.1: Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais.

4.4 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O procedimento metodológico adotado nesta fase inclui três etapas: 1) Levantamento dos dados disponíveis; 2) Processamento dos dados; 3) Análise dos dados e confecção dos mapas.

1) Levantamento dos dados disponíveis

Esta fase compreendeu a triagem das informações bibliográficas e cartográficas necessárias e úteis à pesquisa, que foram de suma importância para garantir a qualidade dos produtos gerados. Envolveu a aquisição de dados disponíveis vetoriais e matriciais. Estas informações representam as características do meio físico e meio biótico. Além destas, serão foram também trabalhos escritos e disponíveis em formatos analógico e digital sobre a área de estudo.

2) Processamento dos dados

- **Etapa 1: Processamento no software ArcGis 9.3 - ESRI**

Esta etapa foi realizada após o levantamento de dados disponíveis sobre a área de estudo.

Foram adotados como referência para os dados geográficos nessa pesquisa o Sistema de Projeção Lat/Long, Datum Horizontal SAD 69 (*South American Datum 1969*). Sendo assim, todos os dados que originalmente possuíam Datum e projeção diferentes do estabelecido, foram convertidos para padrão adotado antes do armazenamento no banco de dados geográfico.

Em um momento inicial foi necessária a construção de um sistema de informações geográficas - SIG com dados multitemporais dos mosaicos PRODES, o que possibilitou assim o processamento vetorial das classes de interesse (floresta e desflorestamento). Foi realizado o *download* do mosaico estadual consolidado do ano de 2012 e, realizado o corte do mesmo para delimitá-los à área de estudo (Iranduba e Manacapuru).

Na etapa inicial, de pré-processamento, realizou-se as seleções das classes de interesse (floresta e desflorestamento) do mosaico PRODES do ano de 2012. Para isso os polígonos do mosaico foram separados por ano e unificados novamente para os intervalos de tempo de interesse.

Para realizar a construção do mosaico de interesse do ano de 2000, foi realizada uma seleção dos polígonos da classe desflorestamento dos anos de 1997 (acumulado) e 2000. Para a construção da classe floresta em 2000 foram separados as classes de desflorestamento dos anos de 2001 a 2012 e assim unificados com a classe floresta de 2012.

Para o mapa de uso final no ano de 2012 foi realizada uma seleção dos polígonos de desflorestamento do mosaico PRODES dos anos de 2001 a 2012 e da classe floresta para o ano de 2012. Este ano será utilizado como ano base para análise das mudanças de desflorestamento futuro, nos intervalos de tempo de 04 (quatro anos), podendo assim realizar a modelagem das futuras alterações na classe floresta para a classe desflorestamento para os anos de 2016, 2020 e 2024. A Figura 10, indica as etapas de seleção das classes PRODES para cada ano de interesse.

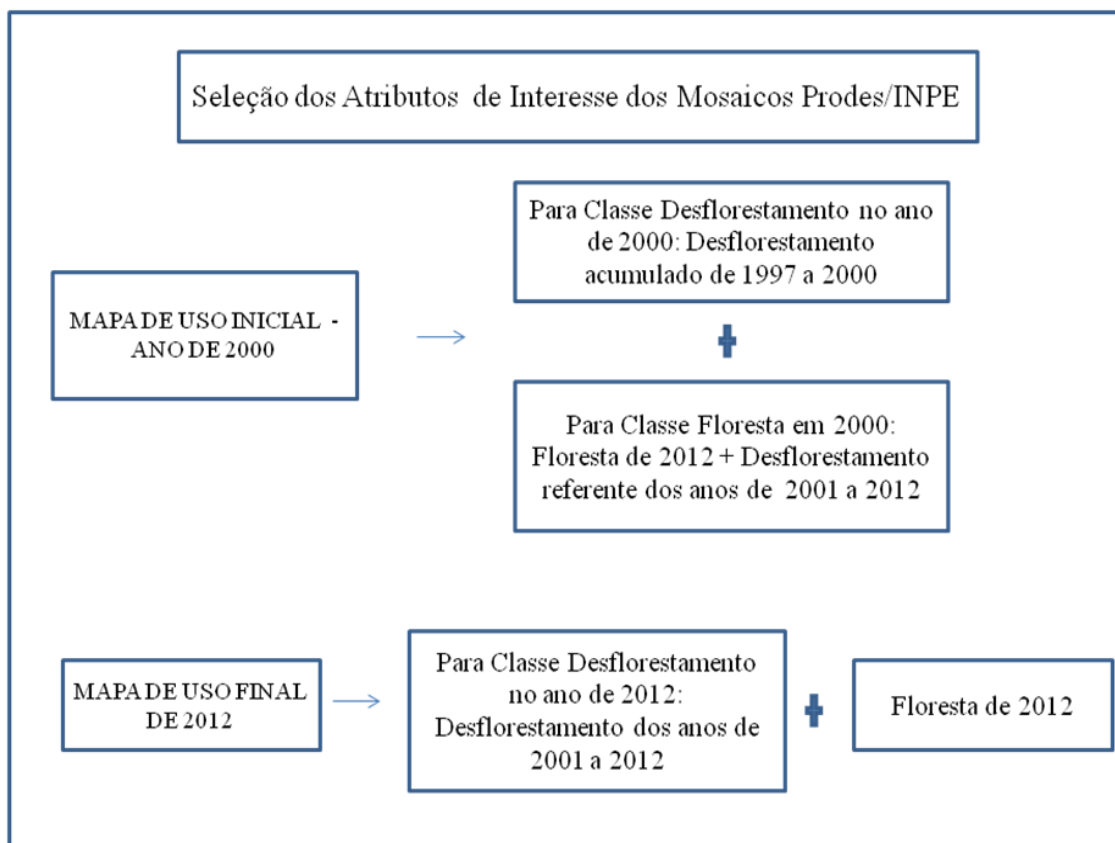


Figura 10. Fluxograma das seleções dos atributos de interesse do Mosaico Prodes/ INPE do ano de 2012.

Tais classes de interesse foram processadas no software ArcGis 9.3, com a finalidade de selecionar os vetores de cada categoria de classes para cada ano de interesse.

Realizou-se também a seleção dos atributos hidrografia e da classe não-floresta, ambos do mosaico Prodes, com a finalidade de unificação dos mesmos nos mapas de uso tanto para o ano de 2000 (inicial) quanto para o ano de 2012 (final).

Ainda no software ArcGis 9.3, realizou-se o processamento de rasterização tanto do mapa de uso inicial (2000) quanto do mapa de uso final (2012) o que possibilitou a entrada dos dados no software de modelagem Dinâmica Ego.

Para o tratamento dos shapefiles de variáveis estáticas foi realizado inicialmente o recorte de cada tema para a área de estudo. Posteriormente foi realizado o processo de rasterização destas variáveis, citadas neste trabalho para entrada no software de modelagem.

Para a análise quantitativa dos valores em Km², correspondentes às áreas de desflorestamento ano a ano tanto para Iranduba como para Manacapuru, foi realizado o cálculo de cada polígono de cada classe de interesse e por ano correspondente. Tais valores, para obtenção dos gráficos de desflorestamento anuais demonstrados nos resultados, foram realizados através de tabela dinâmica no Microsoft Office Excel 2007, o que possibilitou a obtenção das somatórias dos valores por ano e por município.

A figura de número 11 indica as etapas de processamento do mosaico do Prodes.

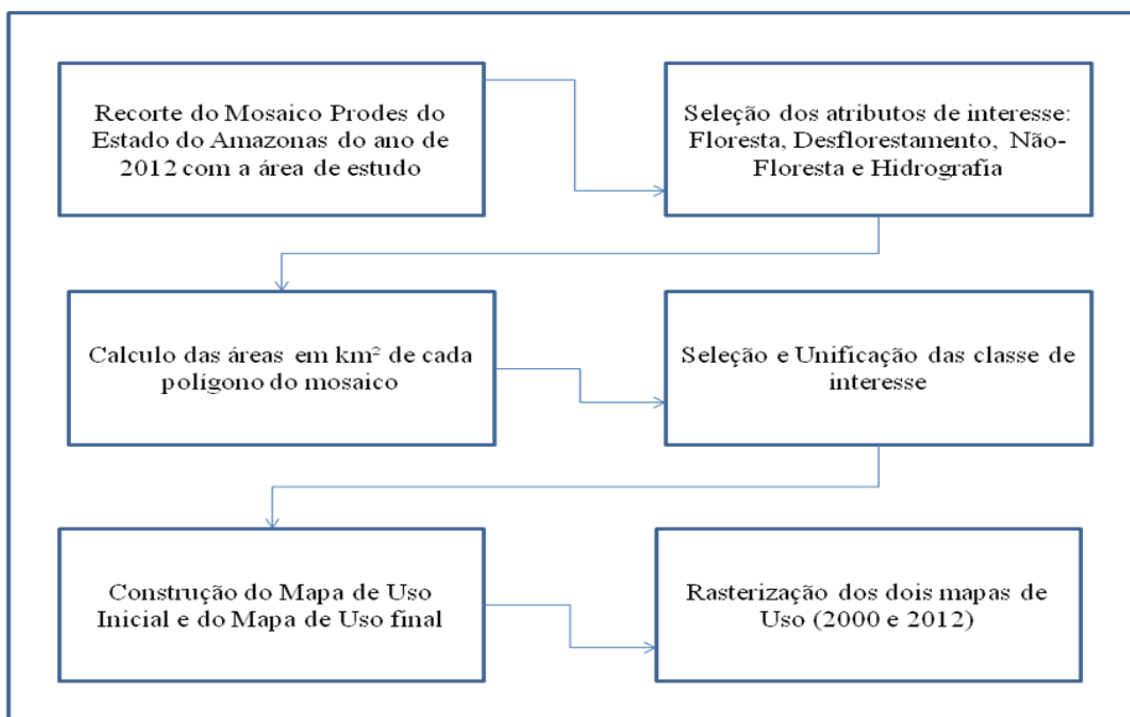


Figura 11. Fluxograma de execução no software SRING.

Após etapas de pré-processamento dos dados, foi utilizado o mosaico em *raster* de cada ano, oriundos do ArcGis 9.3, e processados posteriormente no software Dinâmica Ego.

Para a modelagem será utilizado o software Dinâmica -EGO para realização do processamento. As variáveis de proximidades a serem consideradas no presente estudo e visualizadas na figura 12, serão:

- Distância ao centro dos municípios (Sede), - A;
- Hidrografia - B;

- APA M. D Paduari-Solimões - C;
- Áreas já desflorestadas- incluídas diretamente no modelo;
- Estradas - D;
- Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Negro - E.

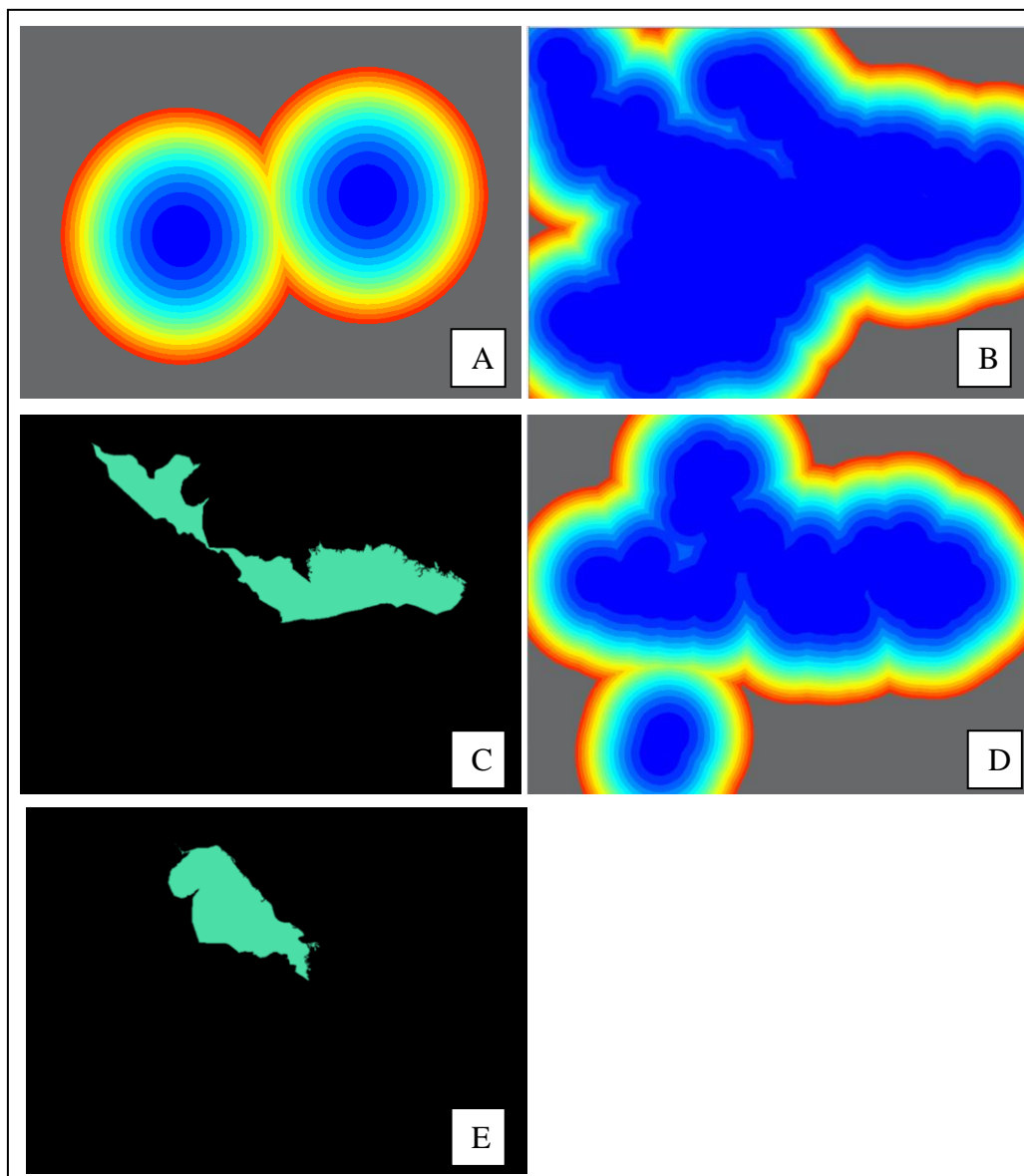


Figura 12: Mapa de variáveis estáticas a serem utilizadas no processo de modelagem no software Dinâmica-Ego.

- **Etapa 2: Software DINÂMICA-EGO**

No software Dinâmica Ego, inicialmente foi criado um modelo de entrada dos dados de formato .tif para saída no formato .ers. Isso foi necessário devido o software de modelagem trabalhar com maior facilidade com dados desta extensão (ers). O modelo construído para tratamento dos dados oriundos do ArcGis 9.3 bem como sua interface

gráfica pode ser verificado na Figura 13. Os dados transformados do formato .tif para formato .ers foram: Hidrografia, Sede Municipal, Estradas, Área de Proteção Ambiental da Margem Direita do Rio Negro, Setor Paduari-Solimões e Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Negro.

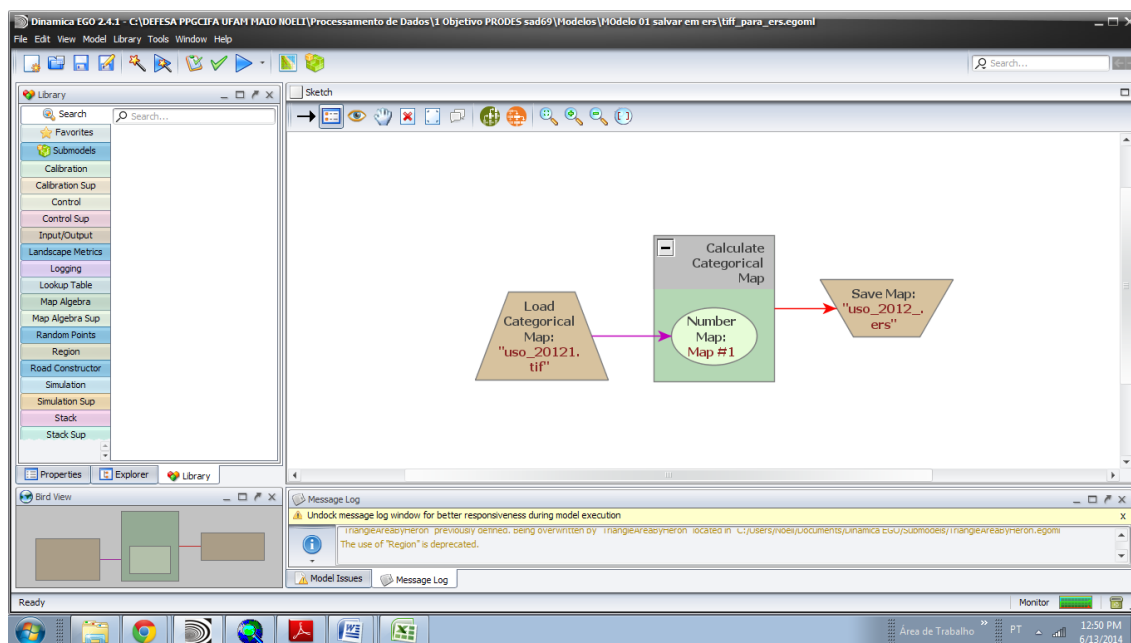


Figura 13: Modelo criado para salvar dados de entrada no formato ERS.

Depois de realizada a conversão das extensões pelo modelo demonstrado na figura acima, foi realizado o primeiro passo para a modelagem dos cenários futuros, utilizando o modelo denominado *Transition Matrix Calculation*. Este modelo calculou a matriz de transição da classe floresta para desflorestamento, analisando o mapa de uso inicial bem como o mapa de uso final. Os produtos deste modelo demonstrado pela figura 14 foram a taxa anual de desflorestamento (multiple steps) e a taxa final de desflorestamento (single step), que corresponde a 12 anos levando em consideração o ano de 2000 a 2012. Foi inserido no functor *Transition Rates* o número 12 por se tratar de uma diferença de 12 anos do ano de 2000 (inicial) até 2012 (final). Os produtos desta modelagem serão utilizados pelo próprio software para análises seguintes. A taxa de uso de 12 anos gerada neste modelo foi de 5% da classe 1 (floresta) para classe 4 (desflorestamento).

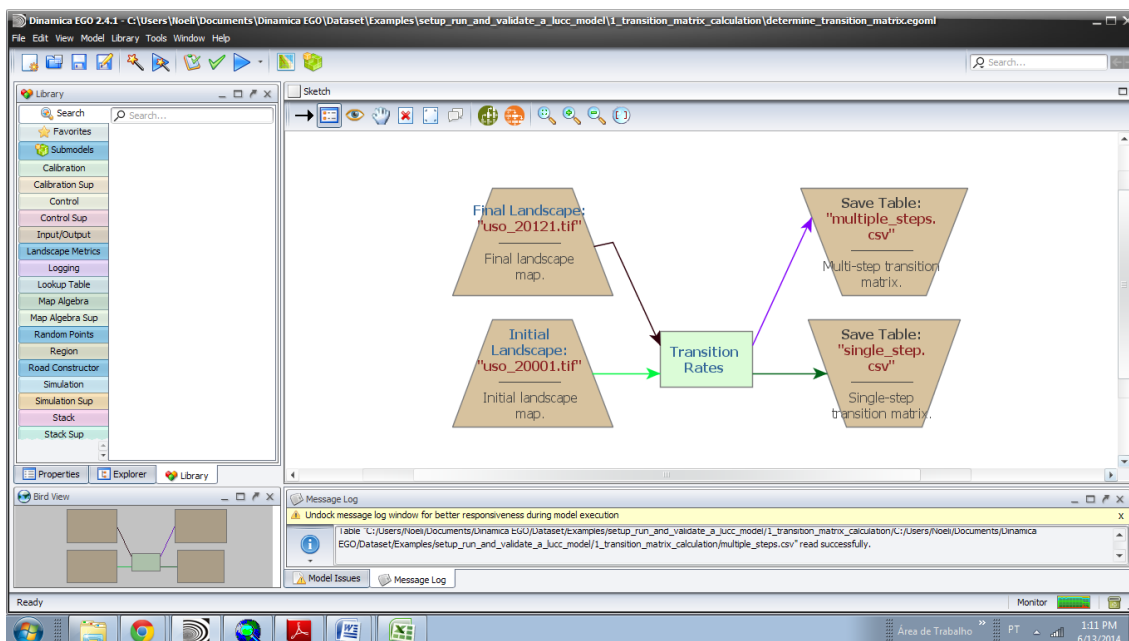


Figura 14: Modelo para calcular a matriz de transição da classe floresta para desflorestamento.

Foi realizada posteriormente a criação do cubo de variáveis estáticas para utilização nos próximos passos de modelagem no software Dinâmica Ego. Os dados de entrada no modelo para criação do cubo foram: Hidrografia, Sede Municipal, Estradas, APA e RDS, todos no formato .ers. Este modelo unifica as variáveis a serem utilizadas no processo de simulação. O modelo utilizado para criação do cubo pode ser observado na Figura 15.

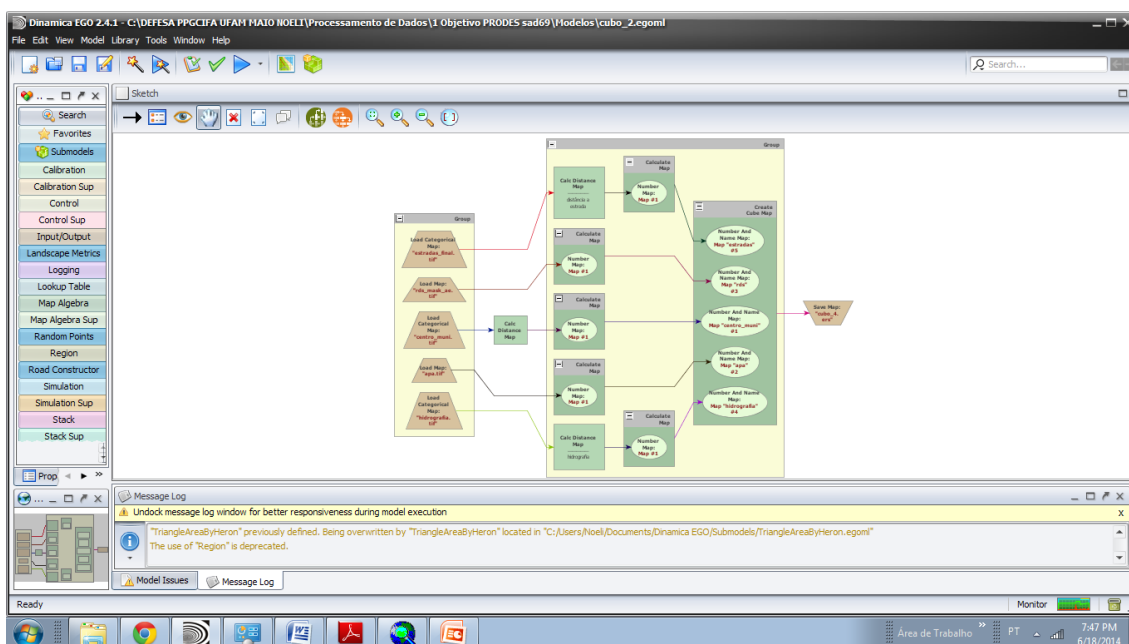


Figura 15: Modelo para criação do cubo de variáveis a serem utilizados na modelagem.

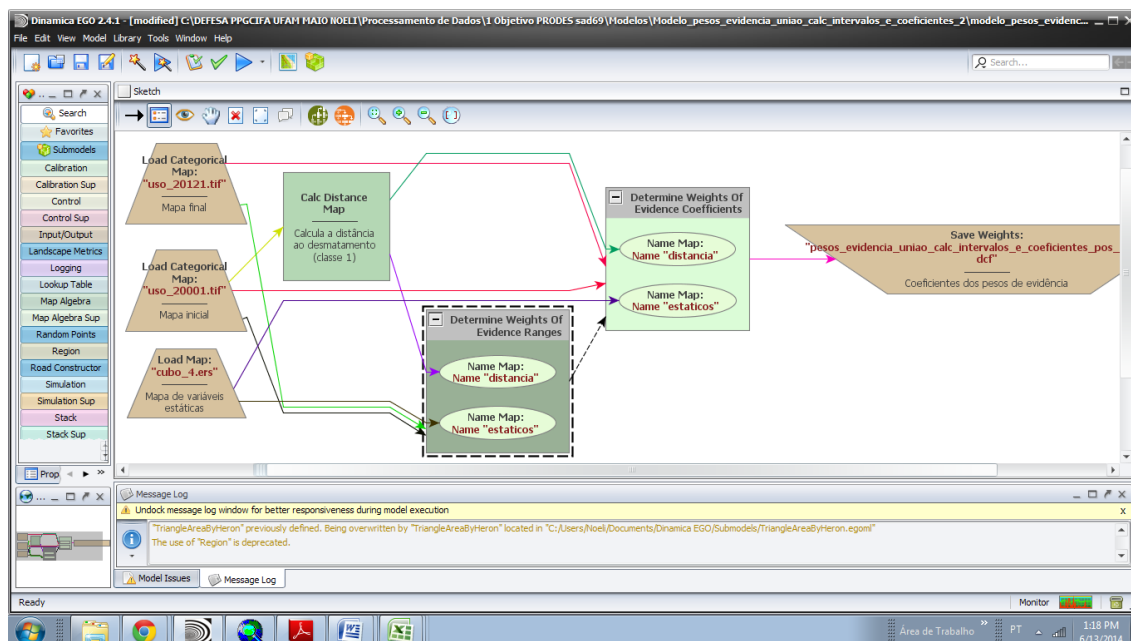


Figura 16: Interface gráfica para realização do fatiamento no Dinâmica Ego, calculando os pesos de evidência das variáveis independentes.

Após a criação do cubo de variáveis, foi realizado o processo de fatiamento destas variáveis, demonstrado pela figura 16, com a finalidade de obter as faixas de distância (Weight Coefficient: $W+$ e $W-$) ou fatias (ranges) para a transição floresta para desflorestamento, cujo resultado dessa etapa do modelo, será utilizado para o cálculo do peso de evidência.

Para o tamanho de célula (pixel) foi utilizado 67 metros. Os pesos de evidência definem as células com maior ou menor probabilidade de transição de cobertura da terra (NOVAES, 2010). Sendo assim, quanto maior o valor para $W+$, maior é a probabilidade de ocorrência de desflorestamento (favorece o desflorestamento) e, valores entorno de 0 (zero) não tem efeito para desflorestamento e, valores abaixo de 0 (negativos) repelem o desflorestamento. Áreas próximas às estradas, hidrografia e nas proximidades de áreas já desflorestadas obtiveram valores acima de 0 no processo de modelagem, indicando maiores taxas de ocorrência de desflorestamento nas proximidades destas variáveis. O produto desta etapa foi utilizado nas etapas seguintes para a simulação. Os resultados desta etapa de análise podem ser visualizados no item 5.

Posterior à etapa de fatiamento das variáveis foi realizado o procedimento do calculo dos mapas de correlação espacial destas variáveis estáticas com o calculo do Índice de Crammer e Join Information, entre outros, que colaboram de forma definitiva de seleção das variáveis de influenciam no modelo. Valores superiores a 0,5 são desconsiderados no modelo e com valores inferiores são consideradas (BONHAM-

CARTER, 1994). A interface gráfica para o cálculo dos pesos de evidência é demonstrada na Figura 17. Neste processo foram excluídas as variáveis estradas e hidrografia por serem dependentes da classe desflorestamento, evidenciando que ocorre desflorestamento ao longo das estradas e de hidrografias e, mantê-las no processo deixaria redundante as análises seguintes.

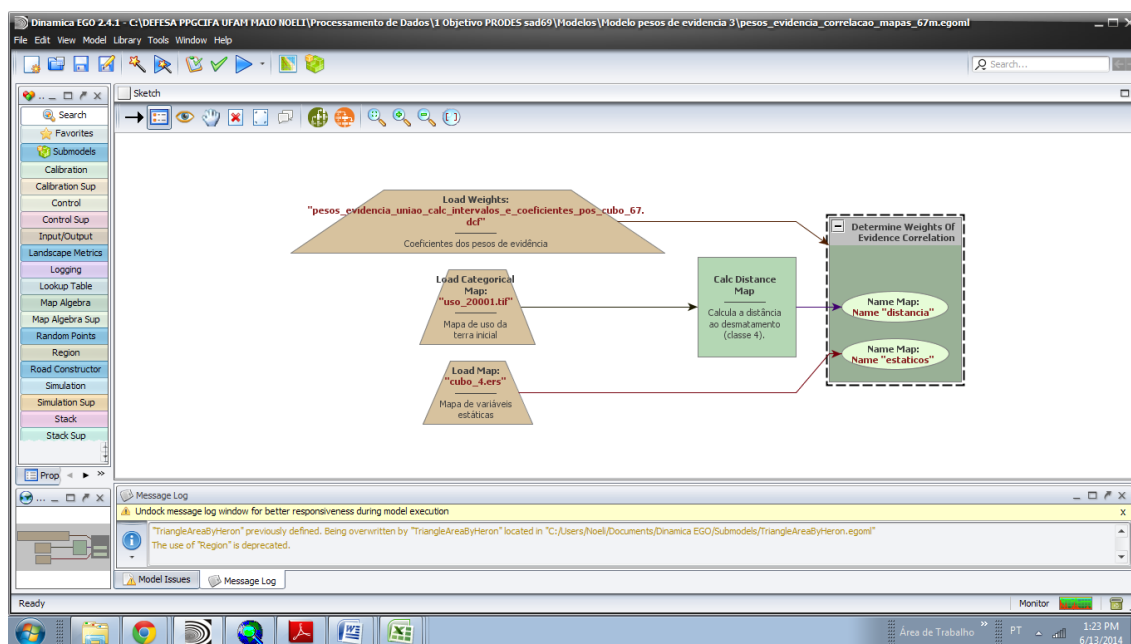


Figura 17: Interface gráfica para calculo dos pesos de evidência no Dinâmica Ego.

Para realização do modelo de calibração foi realizado a simulação do mapa de uso do ano de 2012 com o intuito de comparação deste (simulado de 2012) com o mapa de uso real de 2012. Este comparativo foi realizado de forma visual, com o intuito de verificar se a simulação superestimou ou se subestimou os dados simulados. Caso o modelo tenha sofrido algum destes dois processos, se faz necessário realizar um novo ajuste dos parâmetros.

Parâmetros como *patcher* e *expander* foram ajustados no processo de calibração. Utilizou-se a média de 70% para *expander* e 30% para *patcher* após ajustes na calibração. Para média foi utilizado 4,5, variância 9,0 e 1,5 para isometria de manchas. A interface gráfica no processo de modelagem para a calibração pode ser visualizada na Figura 18.

Após realizada a calibração do modelo, comparando o mapa de uso simulado com o mapa de uso real, foi realizado a projeção futura do desflorestamento em passos de tempo anual, do ano de 2012 à 2024.

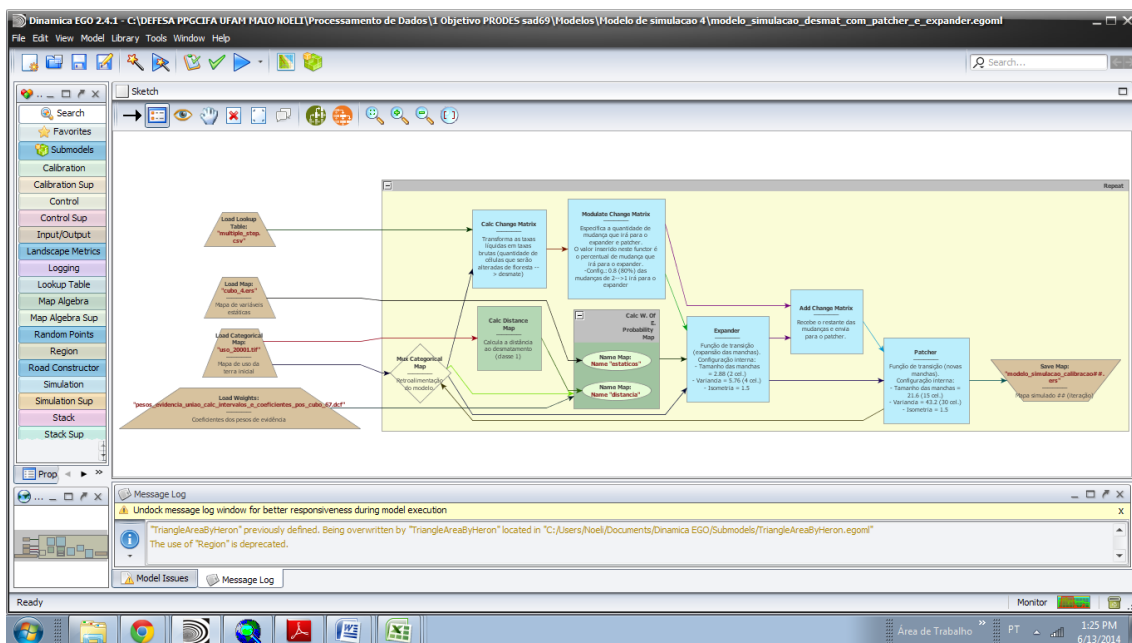


Figura 18: Interface gráfica para a calibração do modelo no Dinâmica Ego.

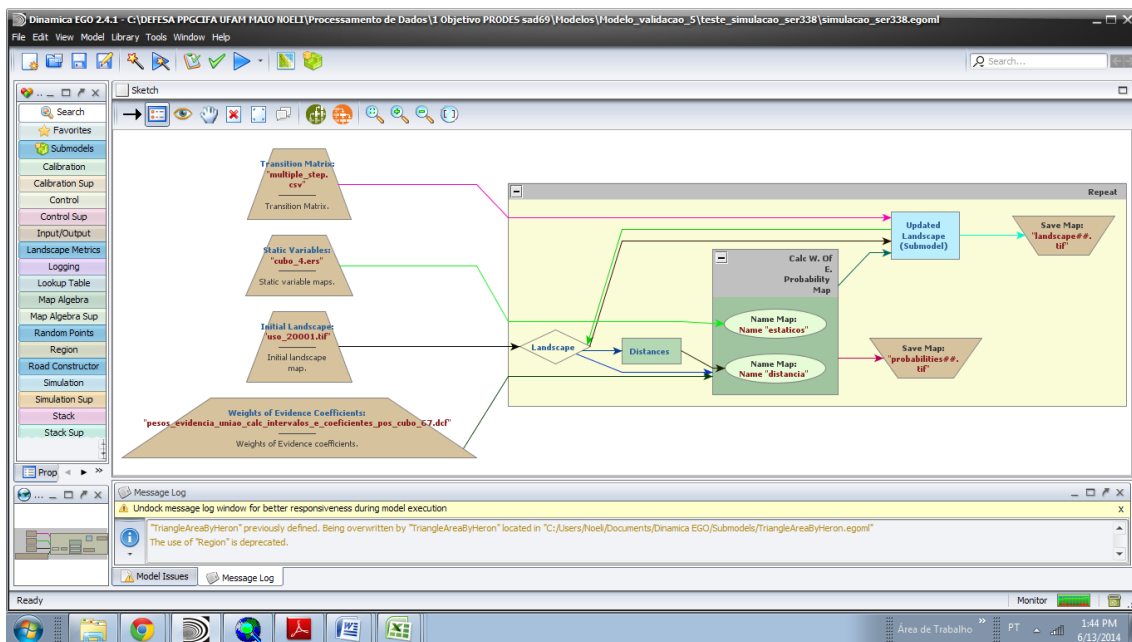


Figura 19: Interface gráfica para a execução do modelo de simulação de probabilidade e paisagem anual no Dinâmica Ego.

Após realizada a validação do modelo foi realizada a simulação de desflorestamento para os anos 2016, 2020 e 2024, através do modelo demonstrado na Figura 19.

Os dados de saída desta etapa final consiste em mapas de probabilidades no formato tif. ano a ano, o que possibilitou a realização do terceiro objetivo, ao qual consiste em quantificar os valores de incremento de 2012 a 2024, no software ArcGis.

A figura 20 sintetiza as etapas acima citadas com a demonstração dos passos da modelagem em formato de fluxograma .

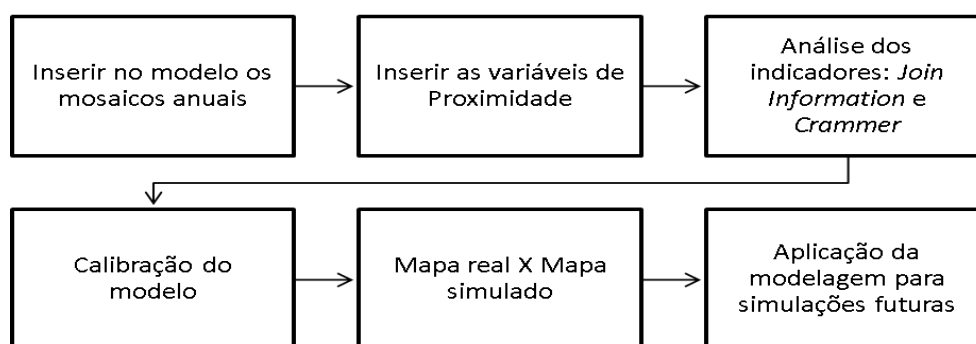


Figura 20. Fluxograma das etapas realizadas no software Dinâmica EGO

3) Análise dos dados e confecção dos mapas

Após obtenção dos mapas temporais simulados dos anos de 2016, 2020 e 2024, no software Dinâmica-EGO, foi realizado, no software ArcGis, a conversão de *raster* para polígono, com o intuito de quantificar, em km², as áreas que supostamente irão sofrer desflorestamento futuro.

Foram construídos Mapas de transição dos futuros desflorestamentos, de cada ano base (2016, 2020 e 2024) e suas respectivas áreas de transição da classe floresta para desflorestamento.

Após o processamento destes polígonos, realizou-se a quantificação em km² para os anos de simulação, tanto para a classe floresta como para classe de desflorestamento.

5. RESULTADOS

5.1 ANÁLISE MULTITEMPORAL PRODES/INPE

Os resultados da análise do avanço do desflorestamento até o ano de 2012, para os municípios de Iranduba e Manacapuru, obtidos através do processamento vetorial cartográfico do mosaico PRODES de referência 2012, podem ser observados especializados pela Figura 21 e quantitativamente em km² pela Tabela 2.

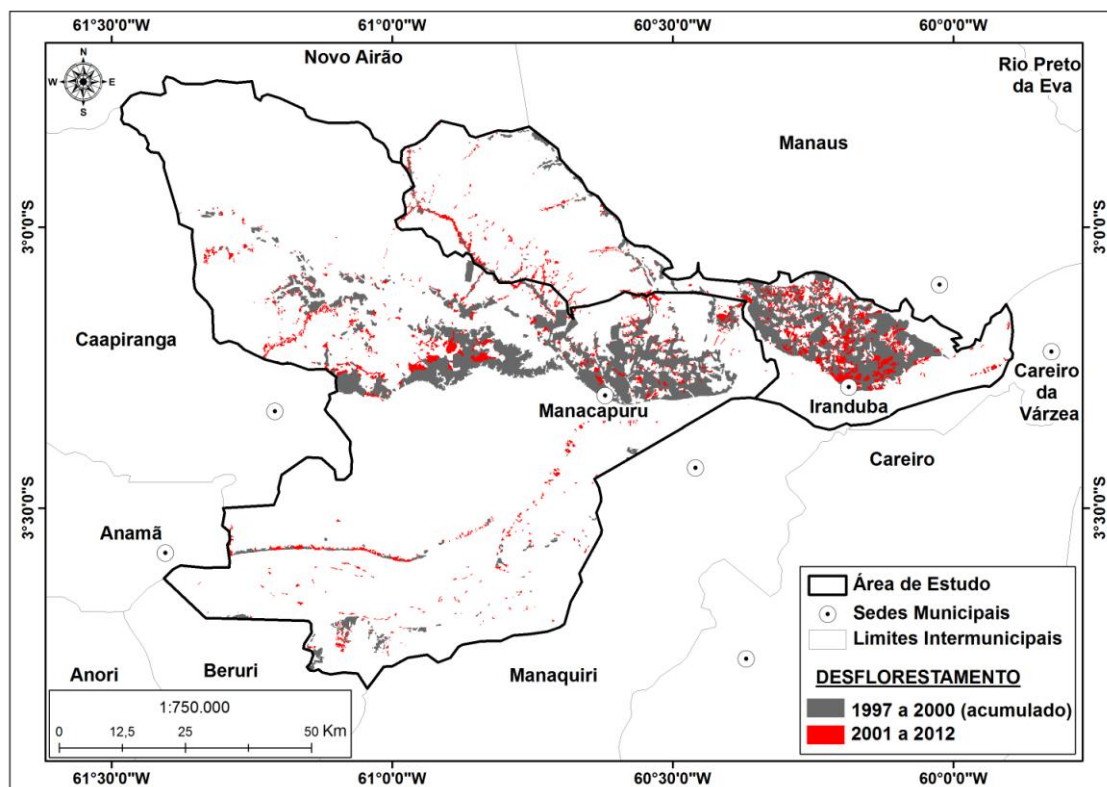


Figura 21: Mapa de desflorestamento dos municípios de Iranduba e Manacapuru comparados com o ano de 2000 acumulado até o ano de 2012.

Pode-se observar aumento de 139 km² de desflorestamento para o município de Iranduba, do ano de 2000 para o ano de 2012, o que corresponde a um incremento de 42% relativo às taxas quantificadas para o ano de 2000 (Tabela 3).

Para o município de Manacapuru observou aumento de 158,23 km² de desflorestamento, do ano de 2000 para o ano de 2012, o que corresponde a um incremento de 27% relativo às taxas quantificadas para o ano de 2000 (Tabela 3).

Tabela 2: Área total de desflorestamento dos anos de 2000 a 2012, nos municípios de Iranduba e Manacapuru.

Município	Área total de desflorestamento até 2000 (km ²)	Área total de desflorestamento em 2012 (km ²)
Iranđuba	328,46	467,75
Manacapuru	586,01	744,23

Tabela 3: Incremento relativo ao desflorestamento no município de Iranduba e Manacapuru.

Município	Incremento do desflorestamento de 2000 a 2012 (km ²)	% relativa de aumento do desflorestamento de 2000 a 2012
Iranđuba	139,29	42
Manacapuru	158,23	27

As figuras 22, 23, 24 e 25 indicam as alocações espaciais de desflorestamento nos intervalos do ano de 1997 a 2000, que se referem a dados acumulados de desflorestamento e a incrementos temporais de desflorestamento para os anos de 2001 a 2004, 2005 para 2008 e 2008 para 2012.

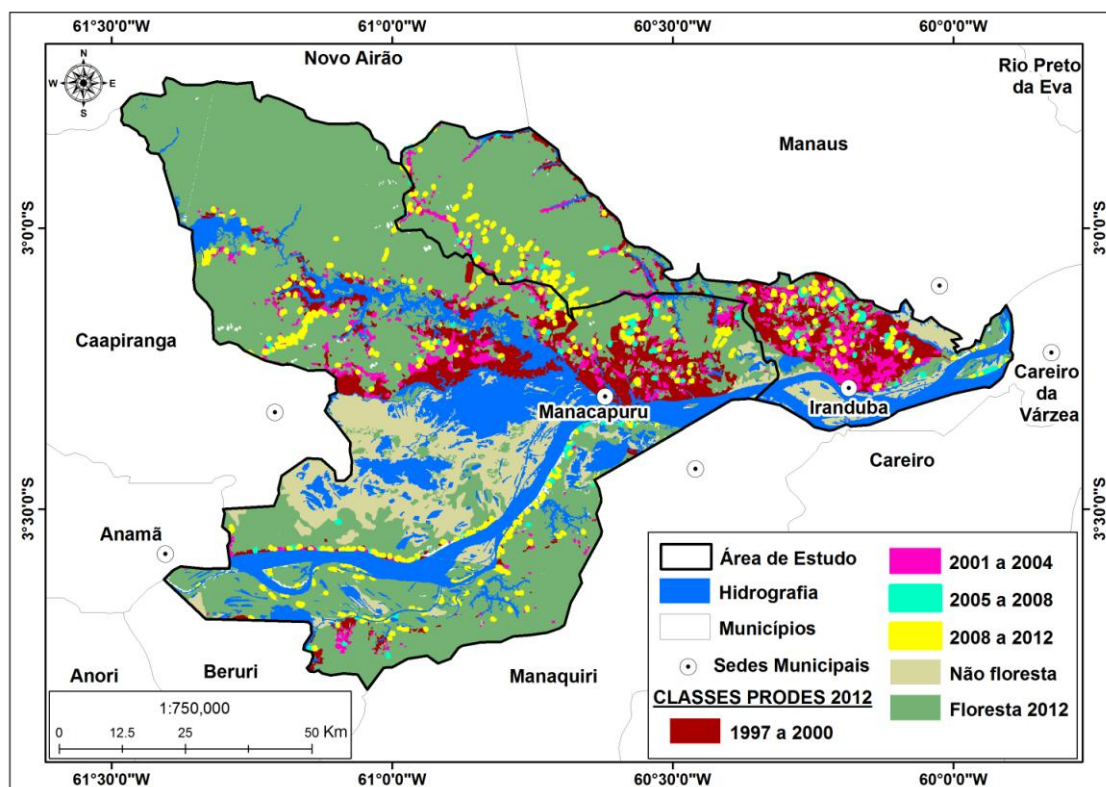


Figura 22: Distribuição espacial das áreas de desflorestamento no intervalo de 4 anos para a área de estudo.

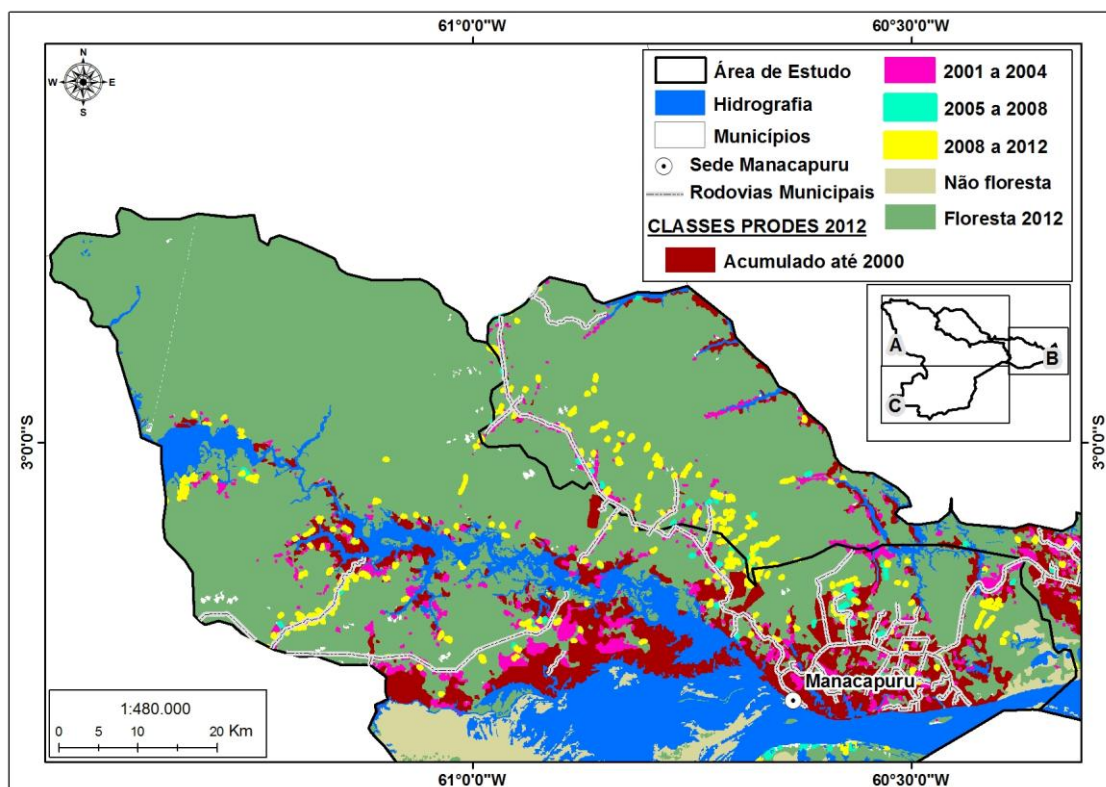


Figura 23: Distribuição espacial das áreas de desflorestamento no intervalo de 4 anos com maior escala para a parte A.

As áreas de desflorestamento estão alocadas em maior concentração nas proximidades da sede do município de Manacapuru. Já na parte Noroeste do município podemos observar a presença de maior parte de floresta primária. Isso ocorre também para o município de Iranduba, onde a parte leste, representada pela Figura 23, concentra maior parte da perda de vegetação.

Outro fator observado é a redução da perda de cobertura florestal (desflorestamento) após o ano de 2004, onde obtivemos menores áreas de desflorestamento, porém em polígonos mais fragmentados comparados a taxas anteriores que apareciam em sua maioria sob forma de incremento.

Em comparação aos anos anteriores, o ano de 2005 a 2012, representada pela cor azul e turquesa e amarela, resultaram maior quantidade de polígonos de desflorestamento na parte noroeste dos dois municípios estudados. Isso pode ser relacionado ao asfaltamento da rodovia AM-352, que interliga Manacapuru à Novo Airão, no ano de 2005.

Outro fator de causa importante relacionado ao desflorestamento para este município é a expansão do desflorestamento relacionado a prática agropecuária. De acordo com dados do IBGE, realizados no ano de 2011, o município de Manacapuru

ocupa a 23ª posição em relação a todos os municípios do Brasil, sendo o 1º no ranking para o estado do Amazonas, ao valor adicionado bruto pela Agropecuária (PIB Agropecuário). Em 2010 o mesmo município ocupava a posição 57ª no mesmo indicador de pesquisa, e o 1º no ranking para o estado do Amazonas. Isso indica um significativo aumento em relação às práticas de agricultura e pecuária.

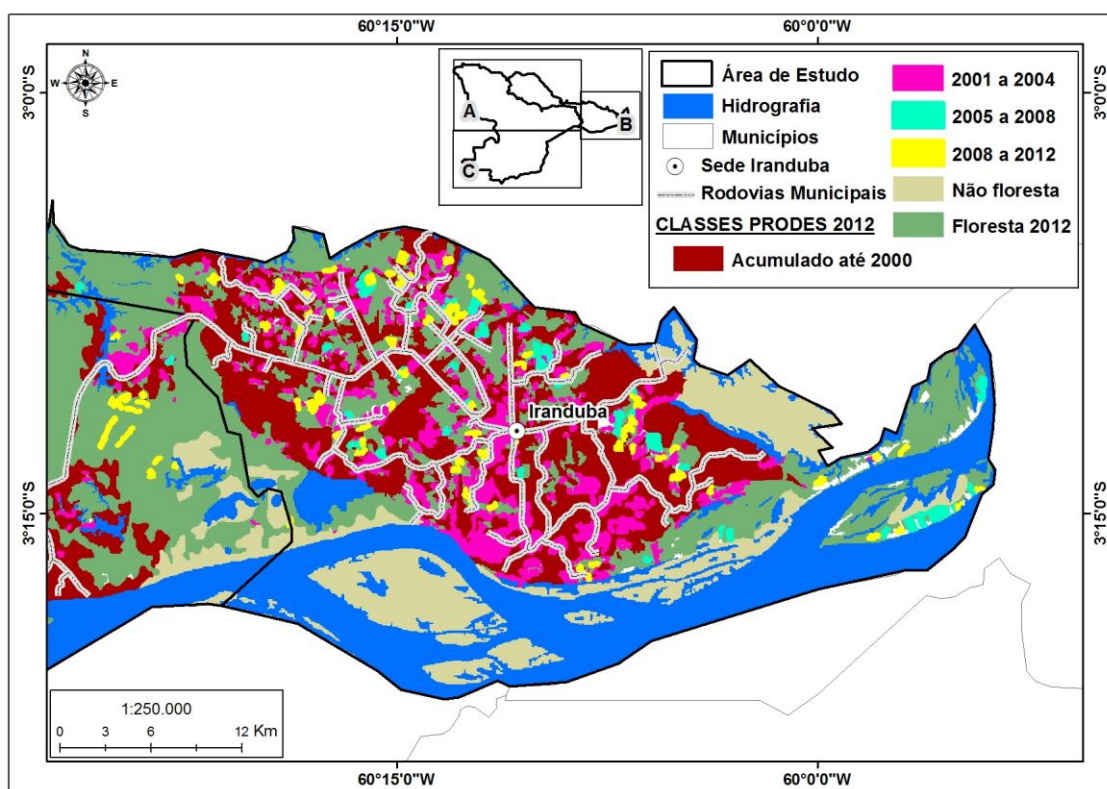


Figura 24: Distribuição espacial das áreas de desflorestamento no intervalo de 4 anos com maior escala para a parte B.

No entorno da sede do município de Iranduba, foi observada maior concentração de perda da cobertura florestal até o ano de 2012, e presença até este ano, de fragmentos florestais urbanos, representados pela cor verde na Figura 24. Gonçalves *et al.* (2004) afirma que as regiões metropolitanas das grandes cidades do Amazonas sofrem nos últimos anos de um processo acelerado e desordenado de ocupação urbana. Tal processo acaba por resultar em antropização de áreas ocupadas anteriormente por florestas.

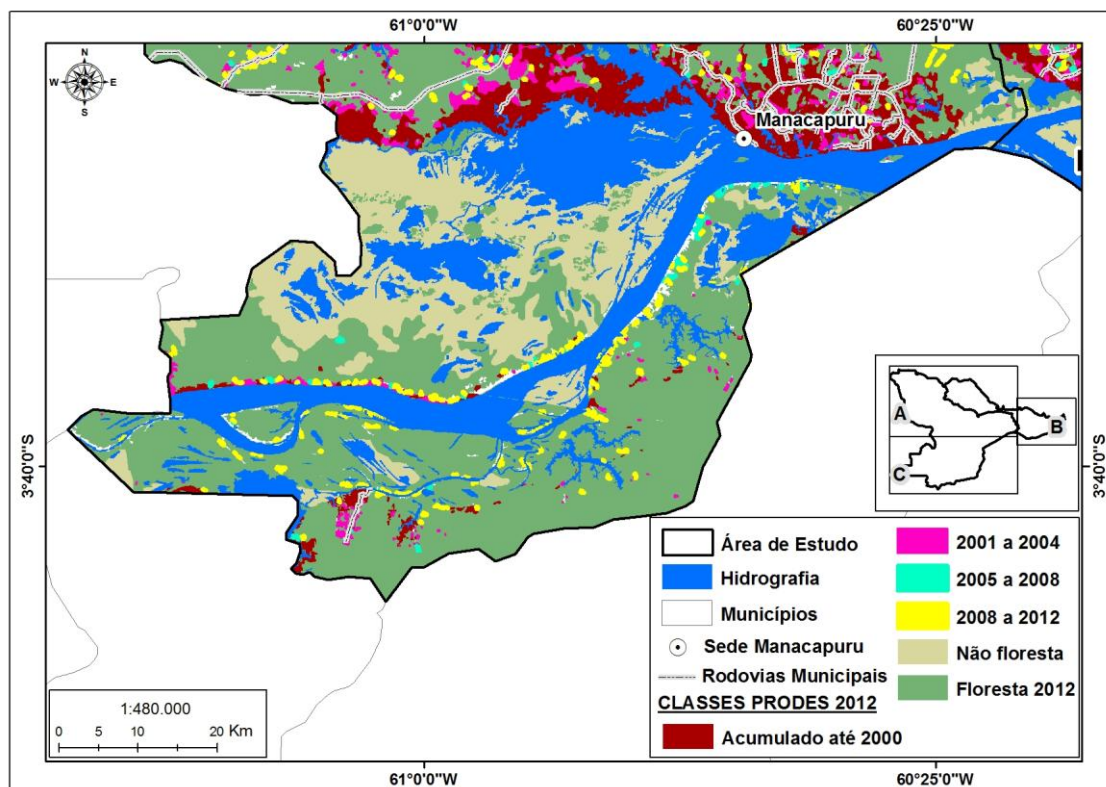


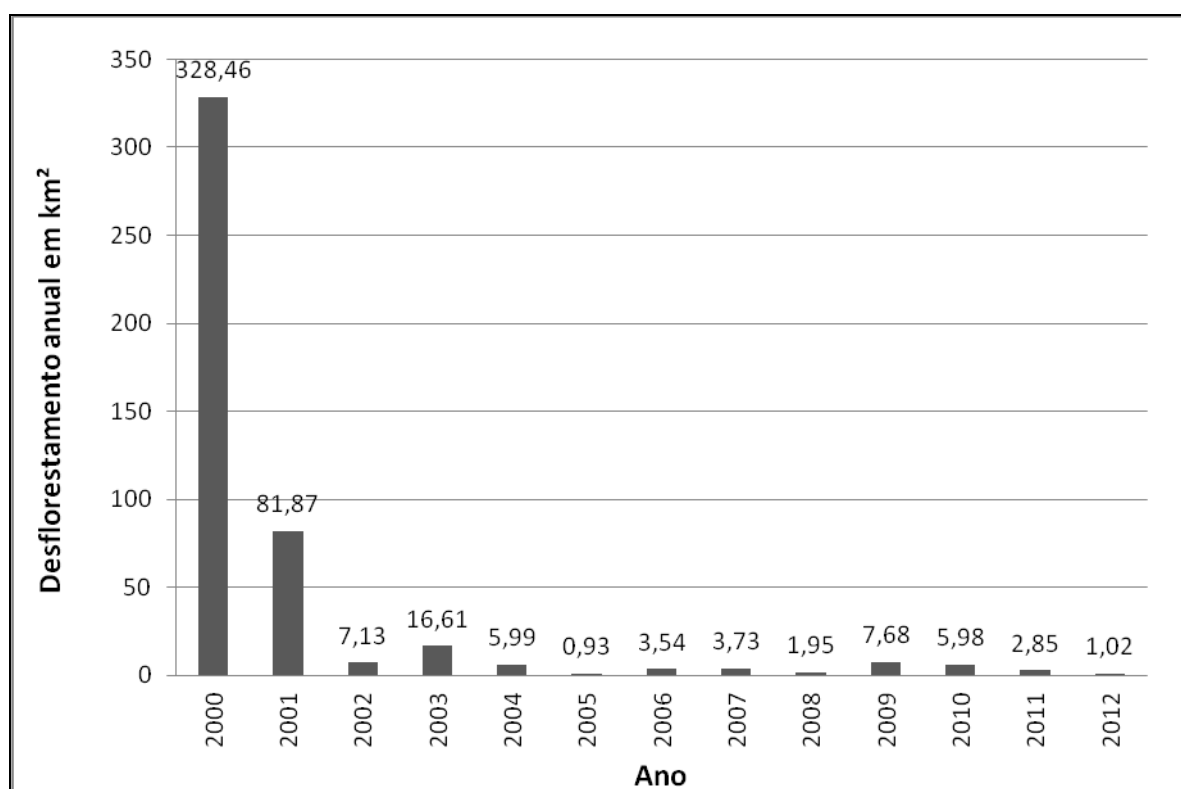
Figura 25: Distribuição espacial das áreas de desflorestamento no intervalo de 4 anos com maior escala para a parte C.

Ao analisarmos os resultados da análise temporal de desflorestamento para a parte sul do município de Manacapuru podemos identificar que do ano de 2008 para 2012 teve um aumento de desflorestamento, comparado ao ano de 2004 a 2008. Observou-se também que, a parte sul não há ocorrência de estradas, sendo assim, a hidrografia surge como uma tendência ao surgimento do desflorestamento.

A Tabela 4 demonstra a quantificação de desflorestamento relativo ao tamanho da área dos municípios analisados. No ano 2000, que traz valores acumulados, o município de Iranduba já havia um valor de quase 15% de perda de cobertura florestal, e Manacapuru com 8%. Para o ano de 2012, Iranduba teve um aumento de quase 6% de perda de cobertura floresta, totalizando 21% no ano de 2012 e, Manacapuru, um aumento de 2% de perda de cobertura florestal, totalizando 10% de desflorestamento no ano de 2012.

Tabela 4: Taxas históricas de desflorestamento dos anos de 2000 (acumulado) a 2012.

Área total do Município (km ²):	Iranduba: 2.224,25		Manacapuru: 7.367,90	
Ano Referente	Total Desflorestamento em km ²	Proporção relativa ao tamanho do município em %	Total Desflorestamento em km ²	Proporção relativa ao tamanho do município em %
Acumulado até 2000	328,46	14,8	586,01	8,0
2001	81,87	3,7	59,77	0,8
2002	7,13	0,3	9,15	0,1
2003	16,61	0,7	34,45	0,5
2004	5,99	0,3	7,85	0,1
2005	0,93	0,0	3,07	0,0
2006	3,54	0,2	3,90	0,1
2007	3,73	0,2	2,17	6,3
2008	1,95	0,1	2,12	0,0
2009	7,68	0,3	14,84	0,2
2010	5,98	0,3	10,68	0,1
2011	2,85	0,1	8,75	0,1
2012	1,02	0,0	1,47	0,0
Total geral até 2012	467,75	21,0	744,23	10,1

Figura 26: Taxa de desflorestamento anual em km² para o município de Iranduba (ano de 2000 acumulado).

O gráfico representado pela figura 26 foi elaborado com a finalidade de analisar ano a ano as taxas de desflorestamento, o que demonstrou que após o ano de 2001 houve uma queda nas taxas para o município de Iranduba, porém, com um pequeno aumento para o ano de 2009 e 2010.

As taxas de desflorestamento em Iranduba é bastante antigo e tem influência além das estradas, o acesso fácil pelo rio Solimões e rio Negro aumentando a pressão sobre a área (MOREIRA et al. 2009).

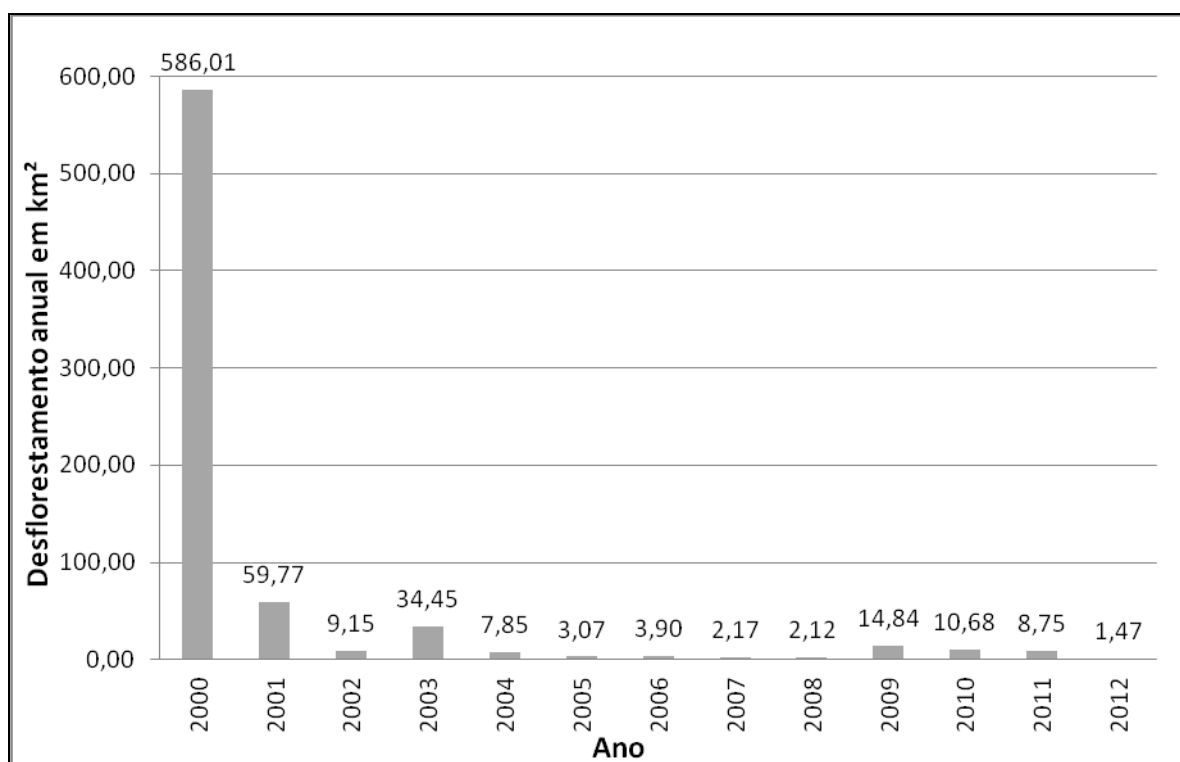


Figura 27: Taxa de desflorestamento anual em km² para o município de Manacapuru (ano de 2000 acumulado).

Ao analisar as taxas anuais de incremento obtidos pela análise para Manacapuru, estes demonstram um pequeno aumento para os anos de 2003, 2009 e 2010, e um menor valor para o ano de 2012.

A expansão do desflorestamento, tem um agravante futuro que é implementação de grandes projetos governamentais em andamento e finalizados, como a construção da ponte sobre o rio Negro entre Manaus e Iranduba, extensão da zona franca de Manaus para Iranduba, gasoduto Coari-Manaus e a possível pavimentação da BR-319. Essas ações podem acelerar drasticamente o processo de ocupação se não forem bem planejadas (MOREIRA et al. 2009).

De acordo com Rivero (2009), as principais causas do desflorestamento na Amazônia Brasileira são a pecuária, a agricultura de larga escala e a agricultura de corte e queima. Dessas causas a pecuária bovina é a mais importante. Fatores diversos como questões climáticas, cotação das *commodities* agrícolas, avanço da pecuária, migrações, políticas públicas, dentre outras, contribuem no comportamento desse número.

Tais mudanças do terra da são dirigidas por processos econômicos que as sustentam. Essas causas mais profundas do processo de desmatamento são chamadas pelos autores de *causas subjacentes* e estão associadas com o crescimento de mercados para os produtos que produzem a mudança de uso do solo, com a urbanização e com o crescimento populacional, com fatores estruturais, culturais e com políticas governamentais.

O estudo das causas do desmatamento realizado por Geist & Lambim (2002) apontam que as causas diretas do desmatamento estão associados com o uso do solo e afeta diretamente o ambiente e a cobertura vegetal. Esses autores associam as causas próximas do desmatamento em três categorias: expansão das pastagens e áreas agrícolas, extração de madeira e expansão da Infraestrutura. Para Ambos os municípios estas causas são condizentes com a realidade tendo em vista a forte ascendência da Agropecuária em Manacapuru, extração de madeiras para Olarias para ambos os municípios e urbanização crescente em Iranduba devido a descentralização de Manaus incentivada a partir da interligação à Manaus pela Ponte.

5.2 MODELAGEM ESPACIAL PARA OS ANOS DE 2016, 2020 E 2024

Na aplicação da modelagem espacial para a presente pesquisa, houve a necessidade de elaboração cartográfica de um mapa de uso da terra inicial, referente ao ano de 2000 e final, referente ao ano de 2012.

A probabilidade global de ocorrência de transição da classe floresta para desflorestamento foi calculada através de tabulação cruzada, realizada no Dinâmica Ego (Figura 13 da metodologia), que produziu como saída uma matriz de transição entre os mapas de cobertura inicial e final.

A matriz de transição resultante da tabulação cruzada entre os mapas de uso inicial (2000) e final (2012) os quais fornecem os percentuais de conversão da classe floresta para desflorestamento estimou um total de 5% de alteração da floresta (classe 1) para desflorestamento (classe 4) em relação a área total analisada (*single step*).

Os mapas construídos com a finalidade de realizar a modelagem podem ser analisados pelas Figuras 26 e 27. O mapa de uso inicial (Figura 28) indica a paisagem verificada no ano de 2000 e o mapa de uso final indica a paisagem verificada no ano de 2012.

Foi quantificado para o uso inicial um total de 328,46 km² de desflorestamento para o ano de 2000 e 467,75 km² para o ano de 2012, para o município de Iranduba e, 586,01 km² no ano de 2000 e 744,23km² para o município de Manacapuru.

A classe floresta obteve um total de 1437,45 km² para o ano de 2000 e 1299,18 km² para o ano de 2012 no município de Iranduba e 4481,34 km² para o ano de 2000 e 4324,59 km² para o ano de 2012 para Manacapuru. Tais valores podem ser observados na Tabela 5.

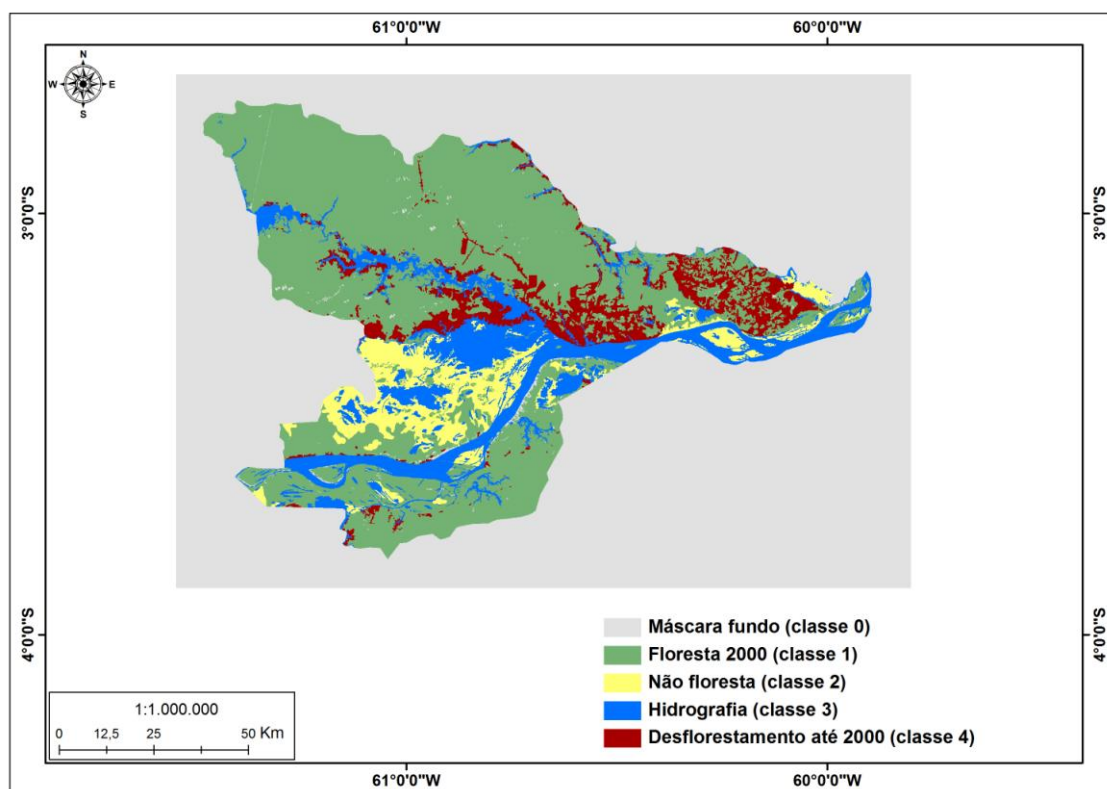


Figura 28: Mapa de uso inicial para modelagem no software Dinâmica Ego, referente ao ano de 2000.

Para o processamento de modelagem para cada classe de uso da terra foi necessário atribuir um valor, onde, para máscara de fundo foi atribuído a classe 0, para Floresta classe 1, para não floresta classe 2, para hidrografia classe 3 e, por fim, para desflorestamento a classe 4. Sendo assim, todos os passos descritos na metodologia, referentes à modelagem foi analisado apenas a transição da classe 1 para classe 4.

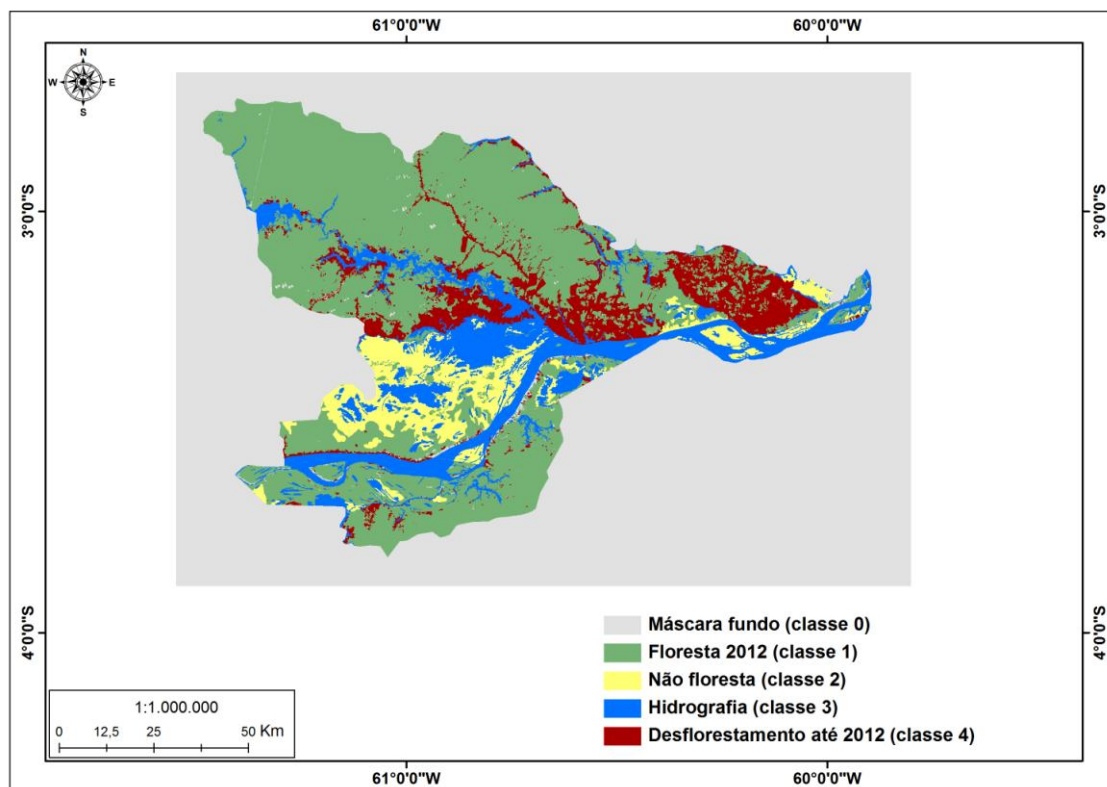


Figura 29: Mapa de uso final para modelagem no software Dinâmica Ego, referente ao ano de 2012.

A Tabela 5 quantifica cada classe utilizado no processo de modelagem tanto para o ano inicial quanto para o final.

Tabela 5: Taxas de mudanças de uso e cobertura utilizadas para modelagem em km².

Município	Floresta ano de 2000	Floresta ano de 2012	Total de desflorestamento ano de 2000 (acum.)	Total de desflorestamento ano de 2012 (acum.)
Iranduba	1437,45	1299,18	328,46	467,75
Manacapuru	4481,34	4324,59	586,01	744,23
Total para Modelagem	5918,8	5623,77	914,47	1211,98

Tabela 6: Taxas de floresta e desflorestamento utilizadas para modelagem em % relativa à área total do município.

Município	Área Município em km ²	% relativa de Floresta ano de 2000	% relativa de Floresta ano de 2012	% relativa de desflorestamento ano de 2000	% relativa de desflorestamento ano de 2012
Iranduba	2224,25	64,63	58,41	14,77	21,03
Manacapuru	7367,9	60,82	58,70	7,95	10,10

Depois de gerada a matriz de transição, obteve resultados do processo de fatiamento das variáveis, com a finalidade de obter as faixas de distância ou fatias (ranges) para a transição floresta para desflorestamento. Os resultados deste processamento são chamados de *Weight Coefficient* ou peso de evidência (representados pelas letras W+ e W-) e são demonstrados pelas Figuras 30 a 33.

Os pesos de evidência definem as células com maior ou menor probabilidade de transição de cobertura da terra (NOVAES, 2010). Sendo assim, quanto maior o valor para W+, maior é a probabilidade de ocorrência de desflorestamento (favorece o desflorestamento) e, valores entorno de 0 (zero) não tem efeito para desflorestamento e, valores abaixo de 0 (negativos) repelem o desflorestamento.

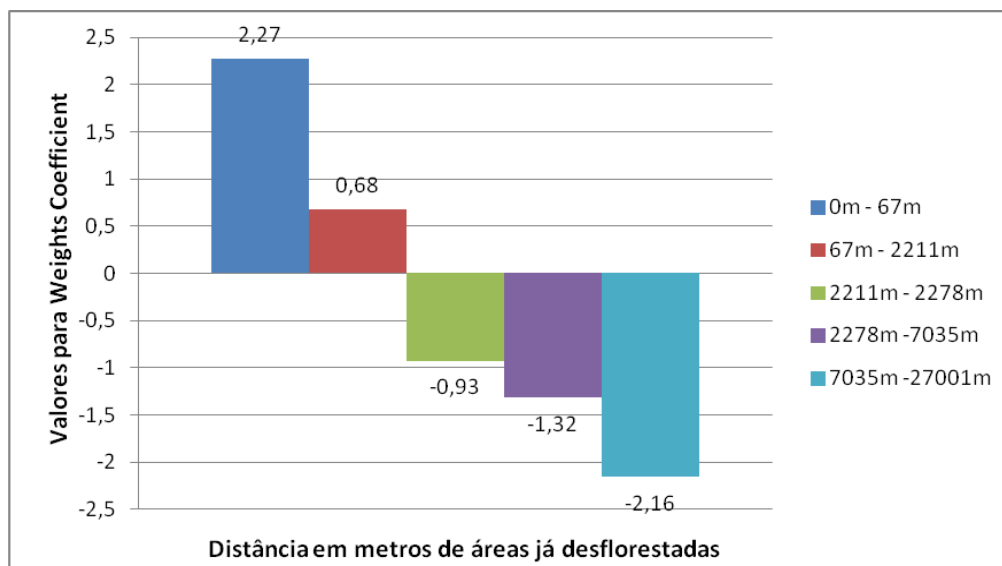


Figura 30: Weights Coefficient obtidos para distância à áreas já desflorestadas.

Podem-se verificar valores para W+ positivos a uma faixa de distância de até 2221 m (2,2 km) e, valores negativos após este. Isso significa que a modelagem considerou, para os cenários simulados (de 2012 a 2024), faixas significativas com o valor até 2,221m de distância a áreas já desflorestadas.

Para Distância à APA o valor obtido acima de 0 foi de 0,88. Isso afirma que ao longo da extensão da APA ocorre desflorestamento sem repelir ou atrair o significativamente.

Para a Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Negro, obteve-se valor negativo de -0,697762. Isso afirma que a Unidade de Conservação está levemente repelindo o desflorestamento por não ter muitos polígonos de desflorestamento no interior de seus limites.

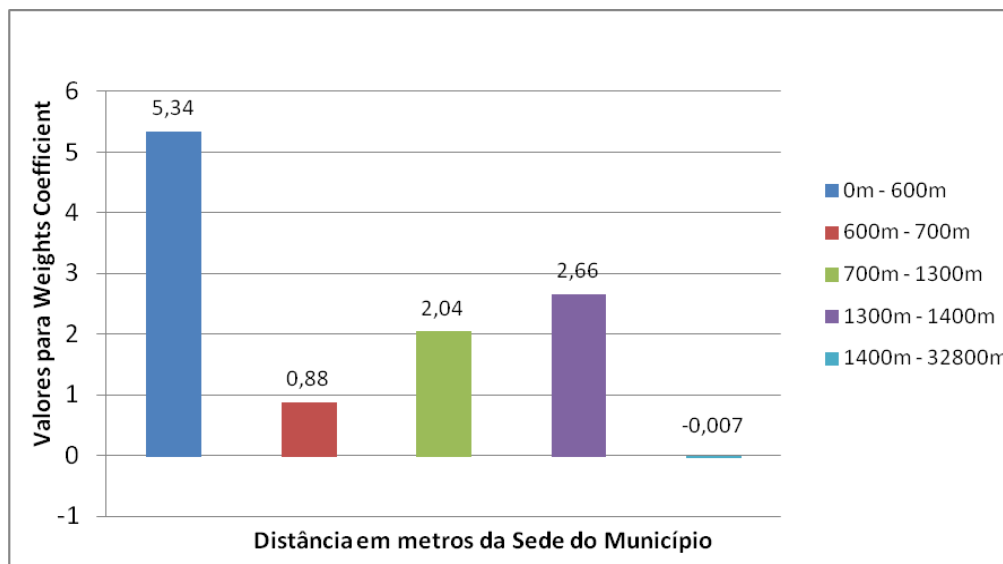


Figura 31: Weights Coefficient obtidos para distância à Sede do Município.

Pode-se verificar valores para $W+$ positivos a uma faixa de distância de até 1400 m (1,4 km) e, valores negativos após este. Isso significa que a modelagem considerou, para os cenários simulados (de 2012 a 2024), faixas significativas com o valor até 1.400m de distância ao centro dos municípios (Sede).

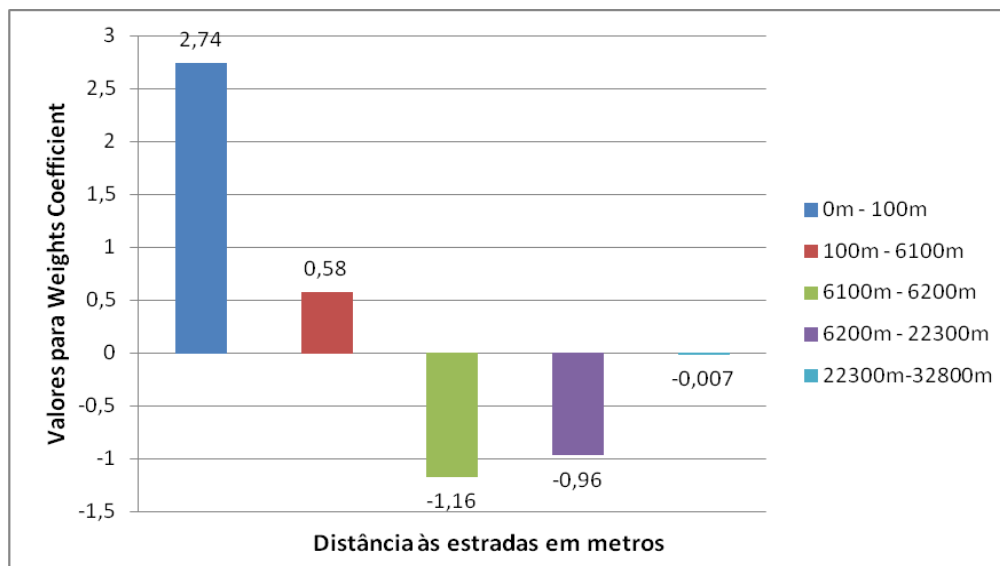


Figura 32: Weights Coefficient obtidos para distância à estradas.

Podem-se verificar valores para $W+$ positivos a uma faixa de distância de até 6100 m (6,1 km) e, valores negativos após este. Isso significa que a modelagem considerou, para os cenários simulados (de 2012 a 2024), faixas significativas com o valor até 6100 m de distância ao longo das estradas.

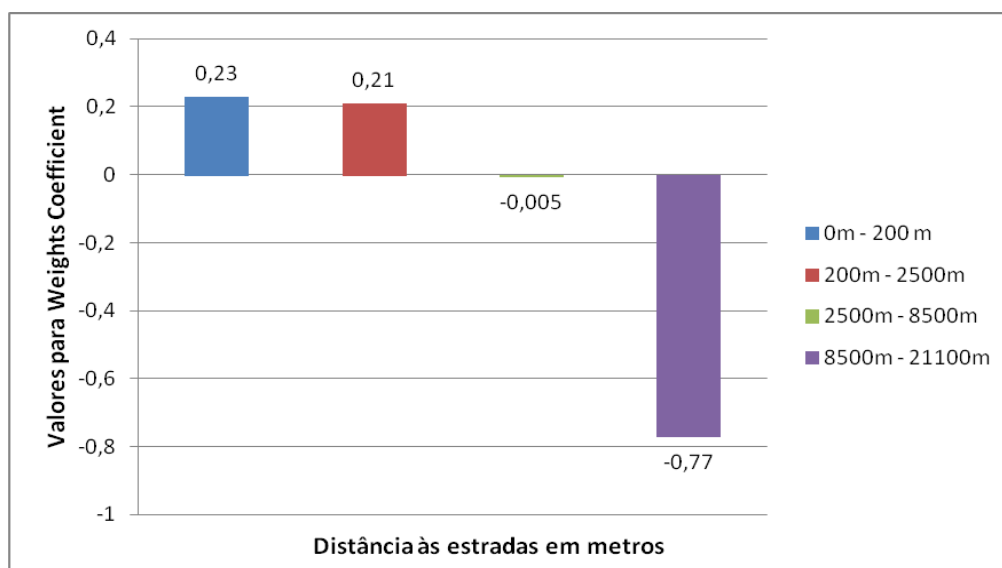


Figura 33: Weights Coefficient obtidos para distância à hidrografia.

Pode-se verificar valores para $W+$ positivos a uma faixa de distância de até 2500 m (2,5 km) e, valores negativos após este. Isso significa que a modelagem considerou, para os cenários simulados (de 2012 a 2024), faixas significativas com o valor até 2500m de distância ao cursos d'água presentes na área de estudo.

Tabela 7: Variáveis independentes utilizadas para o cálculo de faixas de distância.

Identificador no Mapa	Notação	Variáveis de mudança de uso e cobertura da terra
Distância	distance_to_4	Distância a áreas de desflorestamento
Estáticos	Centro municipal	Distância ao centro do município (sede)
Estáticos	Hidrografia	Distância aos cursos d'água
Estáticos	Estradas	Distância às estradas
Estáticos	Apa	Presença de desflorestamento na UC
Estáticos	RDS	Presença de desflorestamento na UC

Os resultados da análise de dependência espacial foram realizados para identificar a existência de variáveis a ser desconsideradas do modelo. Estes valores referem-se a taxas percentuais de sobreposição de categorias para faixas de distância de dois mapas (primeira e segunda variável) visando avaliar a associação e dependência espacial entre estas duas categorias (FERRARI, 2008).

Bonham-Carter (1994) mencionam que valores inferiores a 0,5, tanto para o índice de Crammer (V) como para a Incerteza de Informação Conjunta (U), sugerem dependência espacial entre as variáveis consideradas, o que não leva a desconsideração

de nenhuma delas no modelo. Assim, adota-se a limiar de 0,5 para decidir sobre a inclusão (V ou $U < 0,5$) ou exclusão (V ou $U > 0,5$) das variáveis no modelo.

Em relação a análise exploratória na modelagem observou-se que a combinação de pares de variáveis distância a desflorestamento e estradas e, os pares distância a desflorestamento e hidrografia obtiveram valores acima de 0,5%, indicando que as variáveis associadas e com maior interação espacial, e deixa-las no modelo haveria uma redundância de informações. Isso indica que, onde a ocorre geograficamente os desflorestamentos (variável 1) também ocorre geograficamente estradas (variável 2), ou seja, elas estão associadas espacialmente. Sendo assim, excluir uma delas se faz necessário devido ao fato que desflorestamentos estão no mesmo local de estradas, assim também para a variável hidrografia.

Sendo assim, após a análise da Tabela 8 no processo de modelagem a variável estradas e a variável hidrografia foram descartadas desta etapa de análise. Os valores abaixo de 0,5 foram simultaneamente considerados no processo de simulações para os anos de 2012 a 2024. Valores relacionados aos indicadores de dependência entre os mapas de variáveis podem ser verificados na Tabela 8.

Tabela 8: Apresentação dos dados de análise exploratória de variáveis através dos índices Crammer, Contingency e Join Information.

Transição Floresta para Desflorestamento		Crammer	Contingency	Join Information
Primeiras variáveis	Segundas variáveis			
distancia/distance_to_4	estaticos/apa	0,4780	0,4313	0,0981
distancia/distance_to_4	estaticos/centro_muni	0,0428	0,0739	0,0035
distancia/distance_to_4	estaticos/estradas	0,3678	0,5925	0,2183
distancia/distance_to_4	estaticos/hidrografia	0,4087	0,6746	0,2659
distancia/distance_to_4	estaticos/rds	0,2105	0,2060	0,0293
estaticos/apa	estaticos/centro_muni	0,0301	0,0300	0,0014
estaticos/apa	estaticos/estradas	0,5250	0,4648	0,1641
estaticos/apa	estaticos/hidrografia	0,1764	0,1737	0,0227
estaticos/apa	estaticos/rds	0,0500	0,0500	0,0112
estaticos/centro_muni	estaticos/estradas	0,0352	0,0703	0,0040
estaticos/centro_muni	estaticos/hidrografia	0,0133	0,0265	0,0007
estaticos/centro_muni	estaticos/rds	0,0112	0,0112	0,0010
estaticos/estradas	estaticos/hidrografia	0,2191	0,4013	0,0758
estaticos/estradas	estaticos/rds	0,1479	0,1463	0,0257
estaticos/hidrografia	estaticos/rds	0,1261	0,1252	0,0120

Para a realização da simulação para o ano de 2012 e posteriormente para os anos seguintes até o de 2024, foi necessário utilizar dois algoritmos de transição que o Dinâmica EGO apresenta o *patcher* e *expander*, cuja determinação do tamanho das manchas de desflorestamento foi estabelecido a partir de uma análise visual através das simulações do modelo (Figura 28) com diferentes tamanhos de manchas. O *patcher* caracteriza novas áreas isoladas de desflorestamento e *expander* caracteriza a taxa de aumento de manchas de desflorestamento já existentes.

Inicialmente utilizou-se para *expander* o valor de 80% e 20% para *patcher*. Após utilizar tais valores foi feito uma verificação do mapa de uso simulado de 2012 (figura 28), com poucas manchas de desflorestamento isoladas comparado ao mapa de uso real de 2012. Sendo assim adotou-se o valor de 70% para *expander* e 30% para *patcher*.

O resultado da simulação pode ser observado na Figura 34, onde apresenta o mapa de uso real de 2012 (mapa de entrada, Figura 27) com o mapa da simulação para o ano de 2012.

O modelo comporta também outro parâmetro, chamado índice de isometria de manchas. Para tal foi utilizado o valor 1,5, o que caracteriza um equilíbrio entre compacidade e fragmentação das mesmas. Este valor é o indicado pelo Guia prático do Dinâmica EGO, de Britaldo S. Soares Filho, elaborado pela Universidade Federal de Minas Gerais.

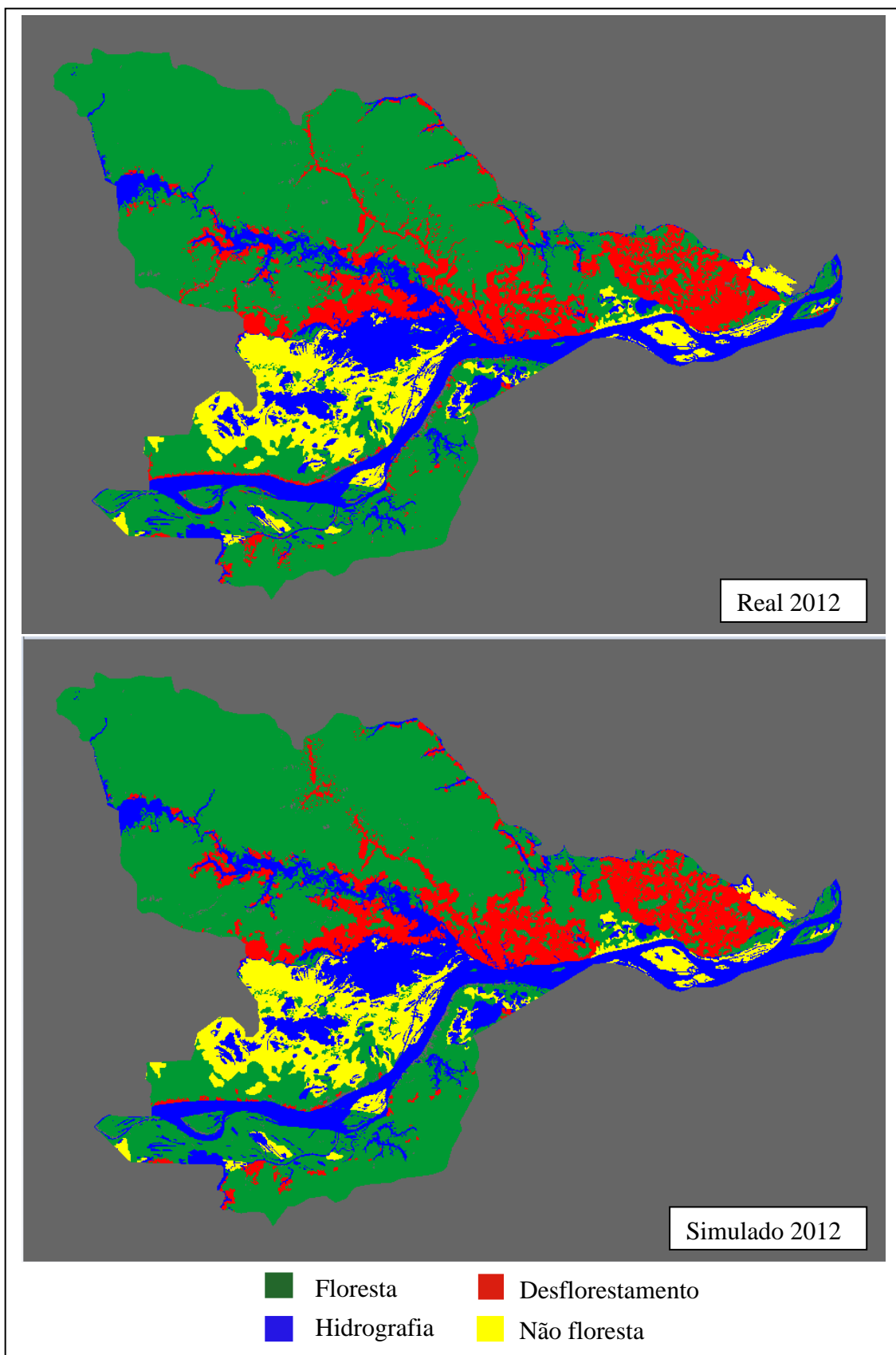


Figura 34: Comparação dos mapas de uso real e simulado pela modelagem, referente ao ano de 2012.

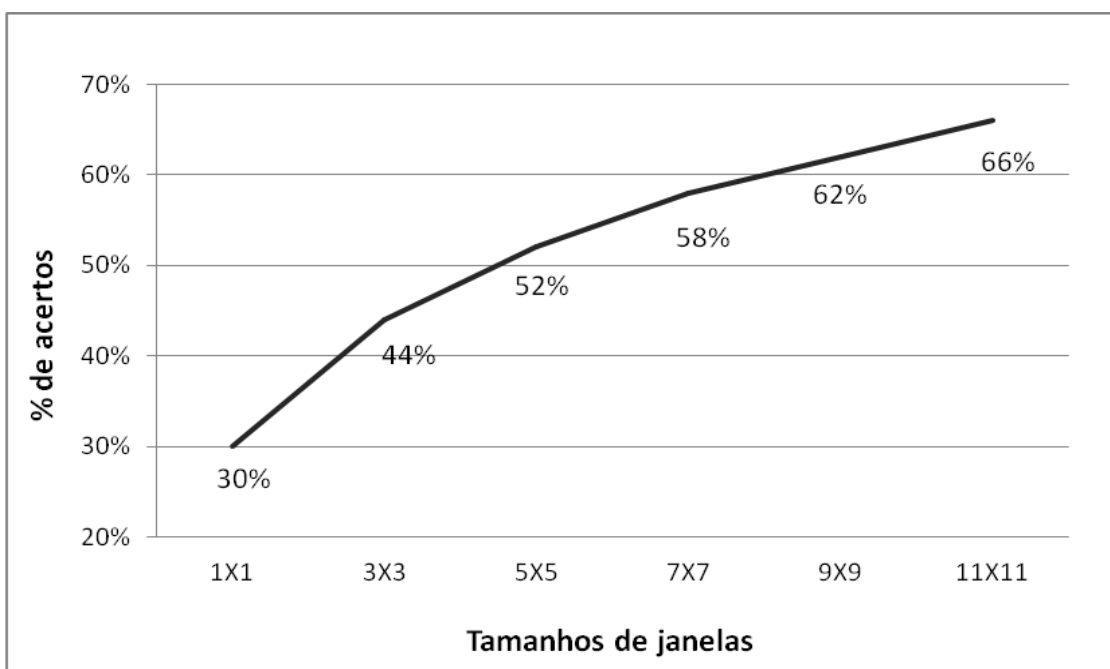


Figura 35: Variação do índice de similaridade fuzzy (ISF), em função de diferentes tamanho de janelas de amostragem comparando o mapa de uso real e simulado.

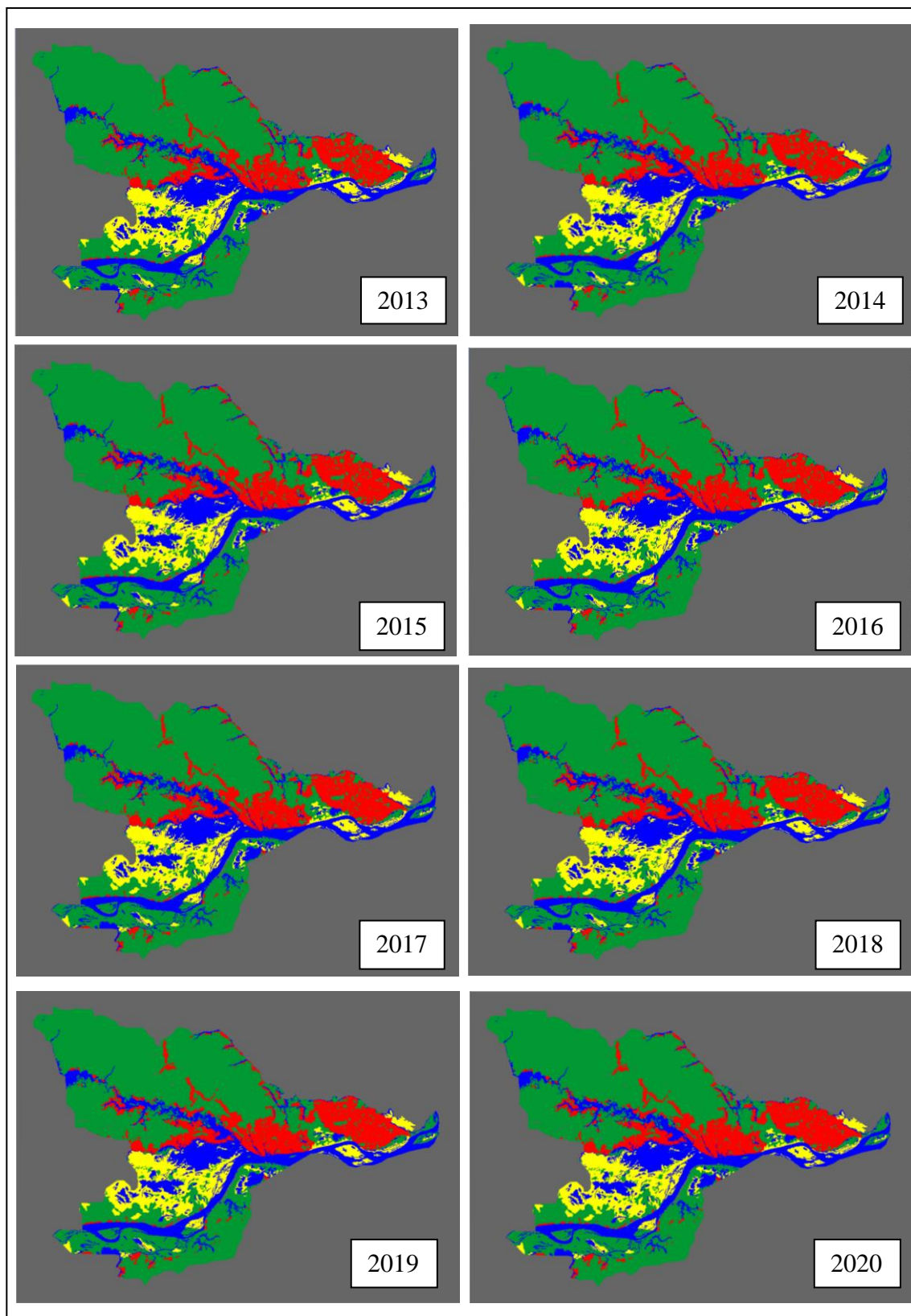
Em relação à validação do modelo, pode-se observar, levando em consideração o método de índice de similaridade fuzzy (ISF), utilizando a função de decaimento exponencial, que o modelo gerado para 2012 (mapa simulado de 2012) apresentou uma média de similaridade de 52%.

Pesquisas no âmbito da modelagem espacial, realizada por Ferrari (2008) obteve resultados similares em se tratando de % de acertos em relação ao tamanho de janela. Para Janelas de 3x3 pixel foi identificado uma porcentagem de 44,8 e para janelas de 5x5 pixels obteve 59%. Para Ferrari, estes valores são considerável satisfatório para aplicação dos cenários futuros.

De acordo com Yanai (2010) aponta que valores acima de 50% de ajuste de similaridade são considerados aceitáveis desde que, a distribuição espacial do desmatamento nos mapas comparados seja similar.

5.3 PROJEÇÃO FUTURA DO DESFLORESTAMENTO

Após a aplicação da modelagem para os municípios estudados, foram gerados mapas de cobertura da terra, identificando as áreas a serem desflorestadas ano a ano. Os mapas podem ser observados na Figura 36.



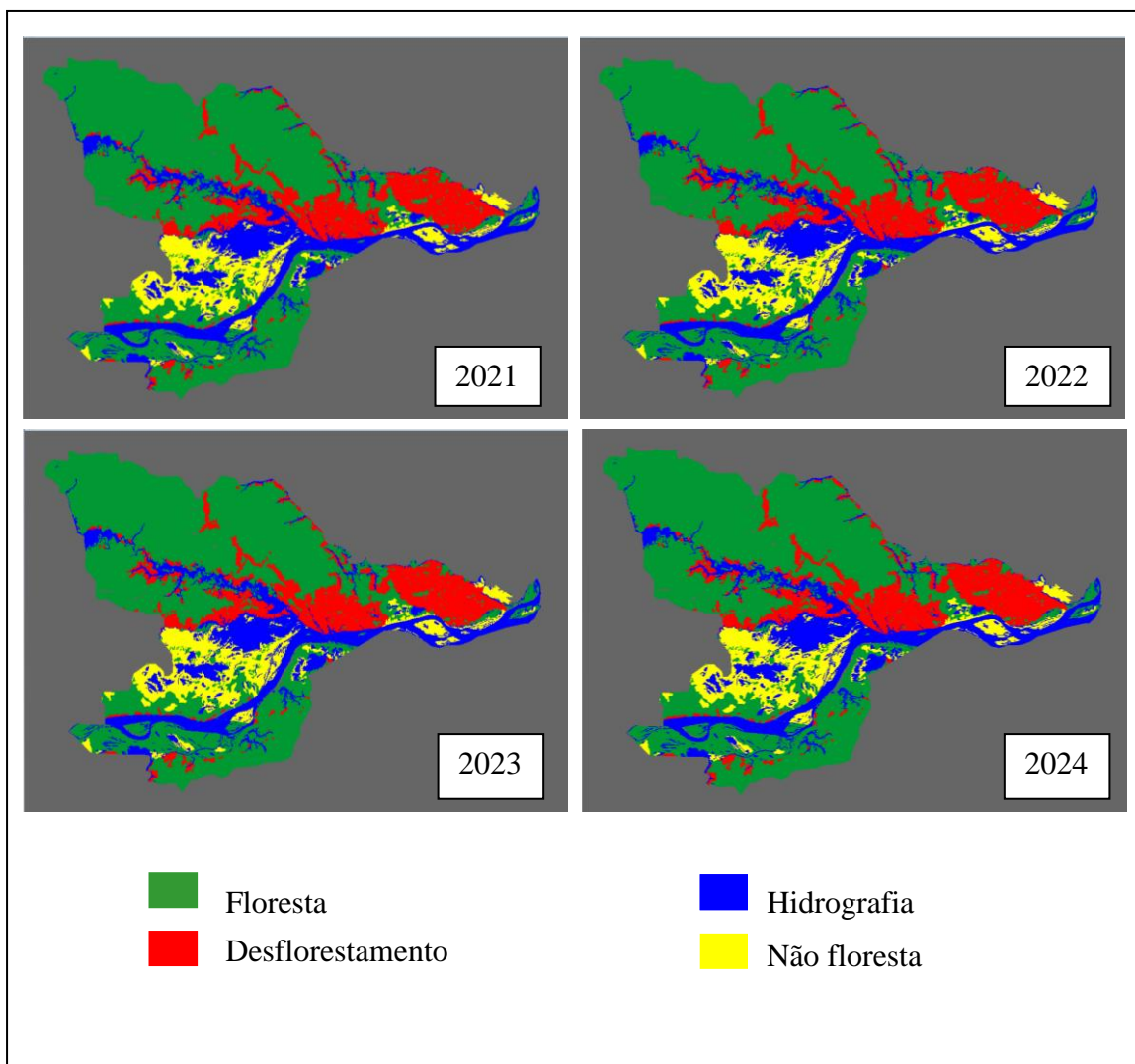


Figura 36: Simulação do avanço de desflorestamento na área de estudo dos anos de 2013 a 2024.

Através da análise evolutiva do desflorestamento, assim como levantamento histórico, bem como a previsão da localização geográfica destas áreas podem ser observadas nas Figuras 37 a 40.

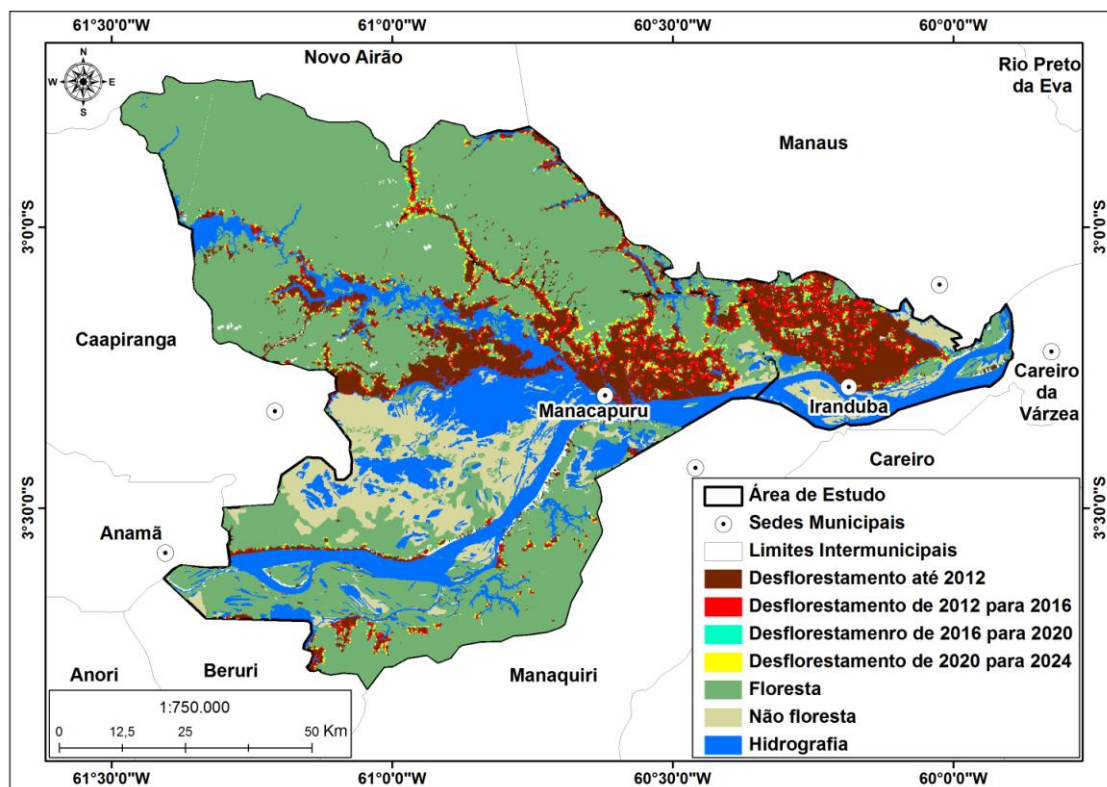


Figura 37: Mapa de simulação do desflorestamento em intervalos de 4 anos para os municípios de Iranduba e Manacapuru.

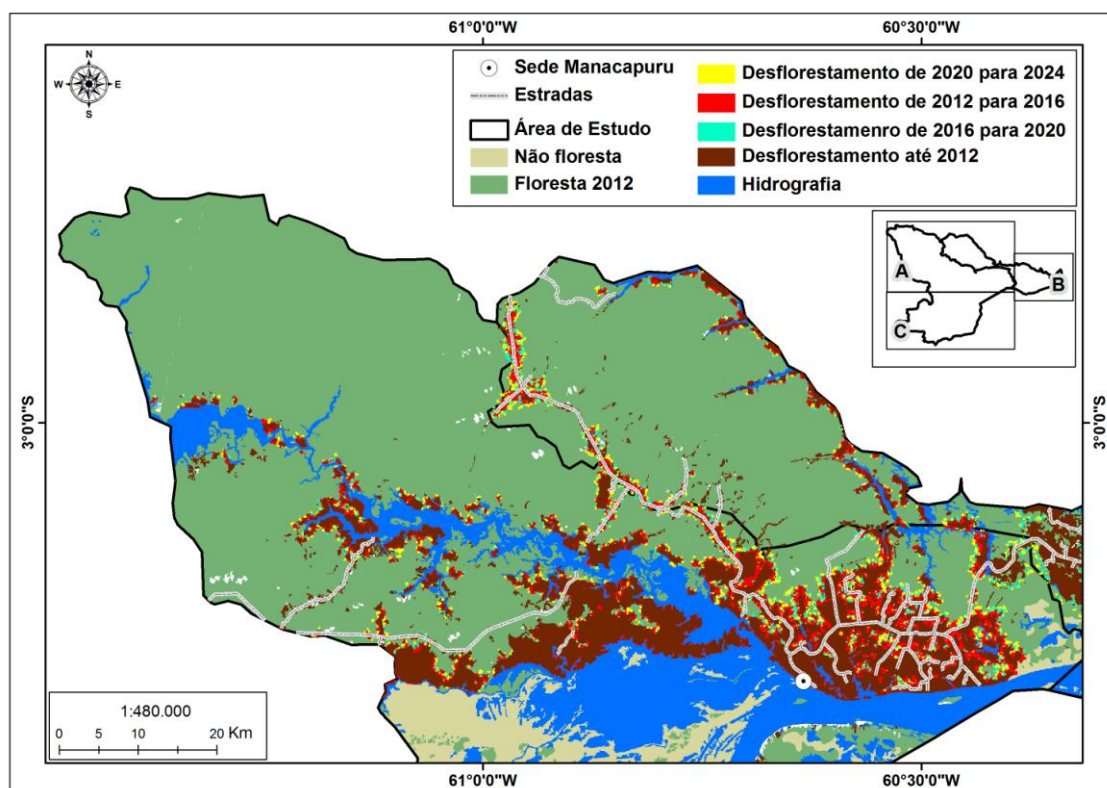


Figura 38: Mapa de simulação do desflorestamento em intervalos de 4 anos para a parte A em maior escala.

Os avanços de desflorestamento para a parte A da área de estudo projetam em sua maioria novas áreas de remoção de cobertura florestal ao longo das estradas já existentes. Isso afirma estudos anteriores que apontam que na Amazônia Brasileira aproximadamente 90% do desmatamento tem ocorrido dentro de um buffer de 100 km ao longo de estradas construídas pelo governo federal, Alves (2002).

Outra observação identificada foi que o processo de modelagem não detectou futuras áreas de desflorestamento na parte Noroeste de Iranduba, o que pode estar relacionada a uma subestimação das possíveis mudanças. Nesta área está alocada a Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Negro, o que indicaria que esta UC estaria diretamente contribuindo para contenção parcial de novas áreas de desflorestamento.

As Unidades de conservação que garantam a preservação integral dos recursos naturais (parques nacionais e estaduais, estações ecológicas, reservas biológicas, entre outras) e áreas protegidas que permitam o uso desses recursos (terras indígenas, reservas extrativistas, reservas de desenvolvimento sustentável e florestas nacionais) são também componentes importantes da estratégia de controle do desmatamento (SOARES FILHO et al. 2002).

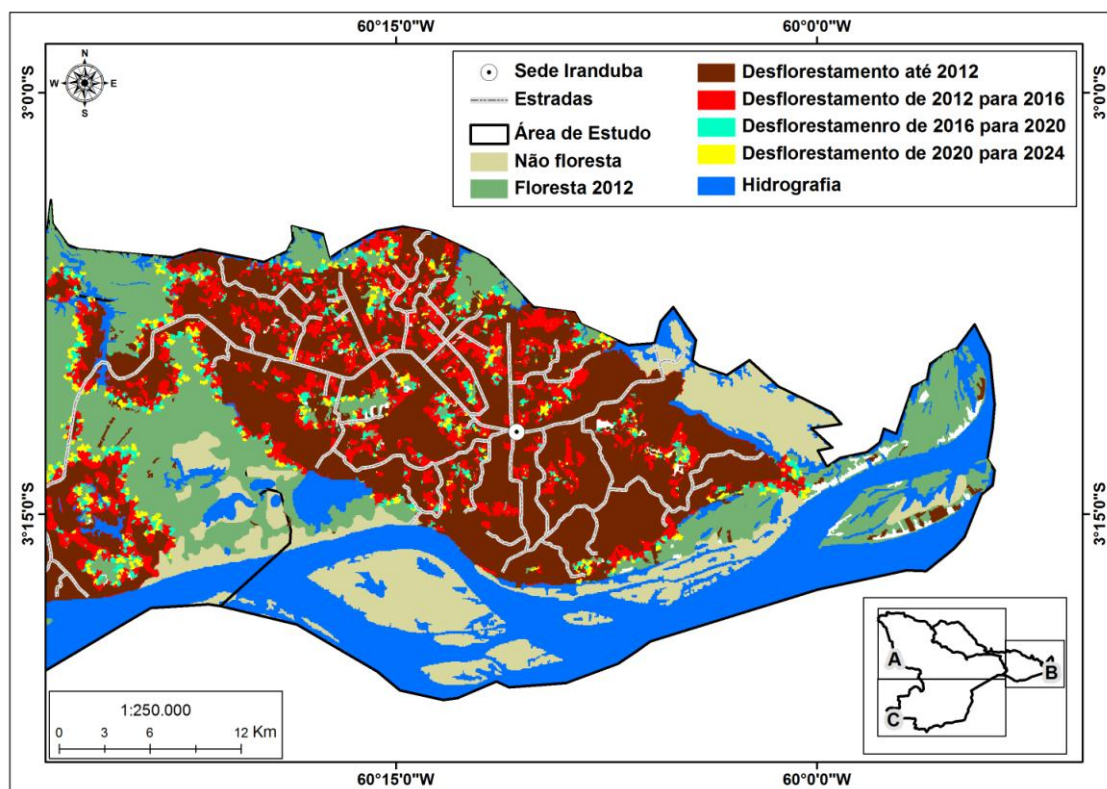


Figura 39: Mapa de simulação do desflorestamento em intervalos de 4 anos para a parte B em maior escala.

Analisando o entorno da sede do município de Iranduba (figura 39), foi observada grande concentração de perda da cobertura florestal até o ano de 2012 e, significativo aumento de áreas desflorestadas até 2024, com probabilidade de redução de áreas de fragmentos florestais urbanos, o que afetaria diretamente moradores locais se tratando de qualidade de vida.

O acelerado processo de crescimento das cidades tem acarretado em graves prejuízos à qualidade ambiental nas áreas de expansão urbana, pois a ocupação urbana desordenada ocasiona a substituição do espaço natural pelo construído, muitas vezes sem contemplar um planejamento ambiental urbano que considere a vegetação como parte essencial em uma cidade. Neste sentido, é essencial que o planejamento urbano, através do Plano Diretor Municipal, inclua a vegetação local e manutenção das áreas verdes públicas, auxiliando assim em uma melhor qualidade de vida para a população residente (SANTOS, 2012).

A modernização/urbanização de Iranduba e Manacapuru, bem como de localidades situadas no interior da Amazônia modifica a configuração da paisagem e os hábitos dos seus moradores. A urbanização introjeta novos valores e outros modos de organizar a vida pessoal e social (PINHEIRO, 2011).

Sobre o processo de urbanização das cidades, Santos (2004) diz que não limita à construção de uma paisagem urbana, mas é também a reorganização social, política e econômica da sociedade em torno de novos parâmetros de espaço e tempo. É importante destacar que para o autor, o conceito de espaço corresponde à própria vida em movimento com suas particularidades geográficas, naturais e sociais.

Oliveira (2003) assinala que a urbanização das cidades amazônicas tem suas especificidades, uma vez que estão situadas no meio da floresta amazônica e são habitadas por homens que estabelecem uma íntima relação com o ambiente natural. Contudo, a formação do espaço urbano é essencialmente contraditória, tendo em vista que é produzida em meio a sociedade capitalista, a qual é intrinsecamente desigual.

A formação do espaço urbano da cidade de Manaus é um exemplo que não foge a regra, caracterizando-se pelo que Oliveira (2003) denomina de *urbanismo pretensamente moderno*, ou seja, uma forma de construir o espaço urbano sem considerar as particularidades da natureza do lugar e da cultura dos moradores, visando apenas o atendimento das demandas de expansão capitalista. A construção de pontes e o aterro de igarapés traduzem a tentativa de imprimir na cidade uma forma européia de esquadramento urbano.

A construção da ponte sobre o rio Negro é mais exemplo de construção que causará profundas mudanças na vida dos habitantes tanto da cidade de Manaus como do município de Iranduba. Há de se salientar também que, o RIMA, elaborado a partir do Estudo Prévio de Impacto Ambiental – EPIA, apresenta como conclusão a viabilidade social e ambiental da obra. Nesse documento, no aspecto social foi concluído que a qualidade de vida das populações residentes nas áreas afetadas diretamente irá melhorar em decorrência da facilidade de acesso à cidade e aos recursos disponíveis. No que concerne ao meio ambiente, foi constatado pelos especialistas que a área já se encontra em degradação e por isso durante e após a construção da ponte serão executados projetos que visem o uso sustentável dos recursos naturais (OLIVEIRA, 2011).

SANTOS (2012) realizou a listagem dos impactos que vem afetando os remanescentes naturais e que vem alterando a qualidade ambiental da área e desconfigurando a paisagem. Os que apresentaram os maiores escores foram: novos loteamentos/condomínios/residências, retirada de vegetação, retirada de barro para construção, lixo nos remanescentes florestais, lixo em terrenos baldios, são as atividades que mais se destacam na área.

Em se tratando de novos empreendimentos, de acordo com Gomes (2012), depois que a ponte Rio Negro foi inaugurada os olhares da construção Civil se voltaram para Iranduba. No segundo semestre de 2012, das 254 unidades ofertadas no município de Iranduba, 90% foram vendidas segundo dados do Sindicato das Industrias da Construção Civil do Amazonas (Sinduscon/AM).

Em se tratando de alocação dos futuros desflorestamentos para a parte C da área de estudo, verificada na figura 40, podemos observar uma maior concentração a áreas já desflorestadas e ao longo da hidrografia. Tais áreas já desflorestadas, em sua maioria, se concentram ao longo da Rodovia AM-070 de Iranduba até Manacapuru e AM-352 de Manacapuru até Novo Airão. Isso é explicado à preferência de estabelecimento de propriedades em torno de estradas (o que ocasiona no padrão espacial conhecido como “espinha de peixe”), devido principalmente à facilidade de acesso.

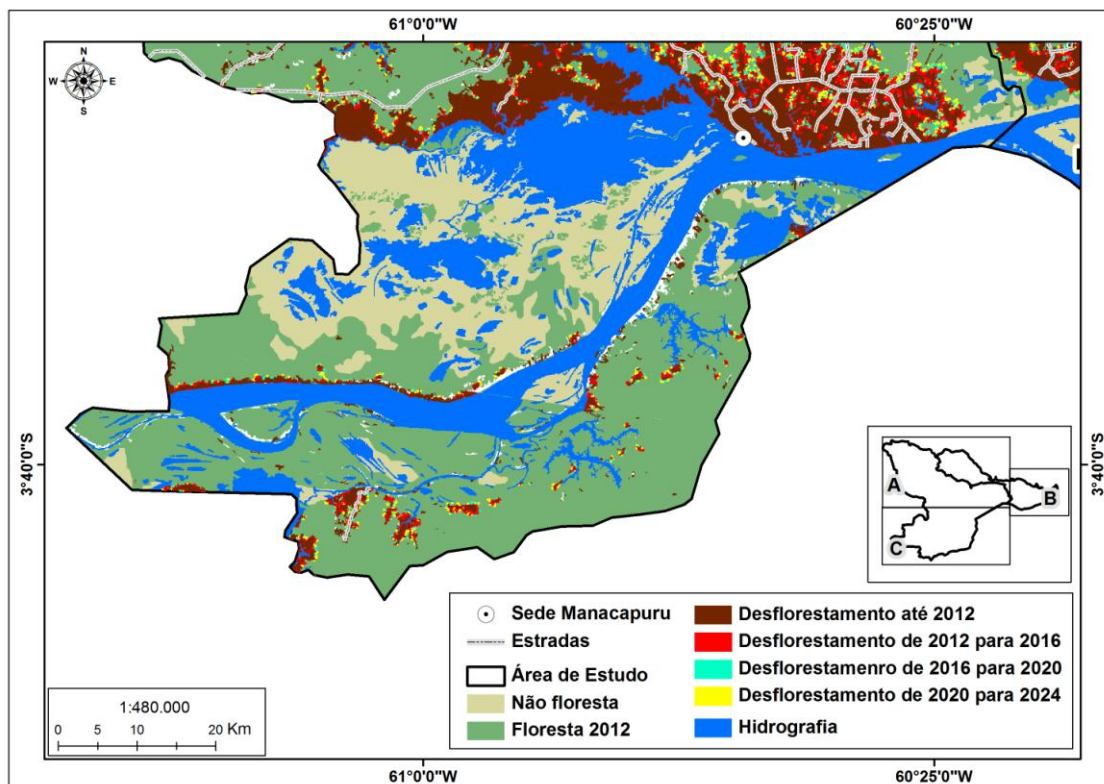


Figura 40: Mapa de simulação do desflorestamento em intervalos de 4 anos para a parte C em maior escala.

Para a realização de uma análise com maiores especificidades gerou-se a quantificação de mudança da classe desflorestamentos futuros para cada município, em um intervalo de 4 anos, como pode ser visualizado na tabela 9.

Tabela 9: Análise quantitativa dos cenários futuros de desflorestamento por município.

Município	2000 (acumulado)	Incremento do desflorestamento em km ²					
		2004	2008	2012	2016	2020	2024
Irاندuba	328,46	111,60	10,15	17,54	120,83	27,1	23,28
Manacapuru	586,01	111,22	11,26	35,75	166,45	45,36	52,09

Tabela 10: Taxa de probabilidade de aumento de desflorestamento em % relativa ao tamanho de desflorestamento de 2012 para o ano de 2024.

Município	Total de Desflorestamento em 2012 (km ²)	Total de Desflorestamento em 2024 (km ²)	Aumento relativo em % ate 2024	% do município de desflorestamento em 2024
Irاندuba	467,75	638,96	37	29
Manacapuru	744,23	1008,13	35	23

De acordo com a análise da tabela 10 pode-se verificar como probabilidade de incremento até 2024 em torno de 37% de desflorestamento para Iranduba (171,21 km² de incremento), bem como de 35% para Manacapuru (263,90 km² de incremento), comparado à taxa total já existente no ano de 2012 nestes dois municípios. Estes valores correspondem a 29% da área total do município de Iranduba e 23% de Manacapuru previsto para o ano de 2024 de área de floresta removida. Vale ressaltar que muitas áreas desflorestadas estão em estágio de regeneração (capoeira).

Já relacionado a perdas de cobertura florestal, a simulação até o ano de 2024 indicou uma redução de 7% de floresta para Iranduba e 4% para o município de Manacapuru.

Tabela 11: Taxa de probabilidade da perda de floresta do ano de 2012 até o ano de 2024.

Município	Área Município	Área total de floresta em 2012	% relativa de Floresta ano de 2012	Área total de floresta em 2024	% relativa de floresta ao ano de 2024
Iranduba	2224,25	1299,18	58	1127,97	51
Manacapuru	7367,9	4324,59	59	4060,69	55

Segundo SANTOS (2012), os principais fatores para a aceleração da perda de floresta no município de Iranduba é a retirada de madeira para ser utilizada como lenha nas olarias, retirada de argila e também as áreas de agricultura e pecuária.

Em se tratando de qualidade ambiental para a área de estudo, o Índice de cobertura vegetal obtido para o ano de 2024 estaria entorno de 51% para Iranduba e 55% para Manacapuru. De acordo com Melazo (2008) a vegetação é caracterizada como um indicador de qualidade ambiental e atua associada a outros indicadores (qualidade do ar, da água, solos, fauna e clima).

Lombardo (2008) afirma que Índices de Cobertura Vegetal (ICV) acima de 30% são capazes de proporcionar um adequado balanço térmico. Seguindo esta afirmativa, ambos os municípios estudados estão acima desta % relativa, porém, as áreas já antropizadas próximas aos centros urbanos, de acordo com os cenários futuros oriundos da modelagem, perderão parte de seus fragmentos florestais urbanos, o que poderia acarretar uma redução direta no valor relativo de cobertura vegetal ao analisar apenas as áreas urbanas, afastada da parte noroeste destes dois municípios.

As grandes mudanças na cobertura florestal têm importantes implicações quanto à perda de biodiversidade e outros serviços ambientais, emissão de gases que contribuem para o efeito estufa e à prosperidade da sociedade da Amazônia a longo prazo (SOARES FILHO, 2005).

Segundo Nepstad (et al. 2001) a Amazônia tem a previsão de aumento no ritmo de desmatamento, em consequência dos investimentos em pavimentação de estradas e em outros projetos de infraestrutura.

Podemos citar como exemplo prático de projeto de infraestrutura a interligação do município de Manaus à Iranduba através da Ponte, inaugurada em dezembro de 2011, o que acarretou um aumento populacional significativo comparando com o aumento de dados do IBGE onde de 2011 para 2012 houve um aumento populacional de 573 pessoas (estimado) e de 2012 para 2013 um aumento populacional estimando em 2.556 (IBGE, 2013).

Soares Filho (et al. 2002) realizou um estudo para cenários futuros de desflorestamento para toda a Amazônia e, comparou os avanços de desflorestamento com e sem governança. Os resultados mostraram que no cenário de governança poderia reduzir o desmatamento previsto em até 62% para a Amazônia brasileira mesmo que se completassem todos os projetos planejados de asfaltamento para as rodovias da região norte. Seu resultado se expressa, portanto, pela expansão (de 34 para 41%) e preservação completa das áreas protegidas, aliadas à manutenção de um arranjo de paisagens rurais ecologicamente sustentáveis.

De acordo com Moreira e colaboradores, 2006, também afirma que uma estratégia imediatista ao avanço do desmatamento para Iranduba e Manacapuru é a criação de unidades de conservação que pode ser potencializada pelos municípios e o estado. Outra oportunidade é exigir das empresas contratadas para as grandes obras em andamento a implementação de ações mitigadoras. O planejamento e ordenamento territorial dessa região são fundamentais para estabelecer estratégias de crescimento e conservação, melhorando a qualidade de vida e garantindo assim um futuro mais adequado para essa região tão importante biologicamente e economicamente.

6. CONCLUSÕES

Através de técnicas de modelagem espacial é possível verificar cenários futuros de desflorestamento para áreas que vem sofrendo perdas de cobertura florestal.

O modelo de simulação para os municípios estudados foi satisfatório e, estimou um incremento de desflorestamento de 37% para o município de Iranduba e, 35% para o município de Manacapuru comparado ao desflorestamento já existente até o ano de 2024.

As taxas de desflorestamento, a partir dos cenários estimados permanecem crescentes para ambos os municípios e, as principais variáveis de expansão serão ao longo de áreas já desflorestadas, centro municipal (Sedes) e ao longo de estradas e hidrografias.

Os resultados da simulação demonstraram que, até 2024, a cobertura florestal reduziria 7% (171,21 km²) para o município de Iranduba e 4% (263,90 km²) para o município de Manacapuru. A perspectiva resulta em 29% do total do município de Iranduba de áreas desflorestadas e 23% para o município de Manacapuru.

Medidas de planejamento urbano devem ser adotadas para o centro de Iranduba e Manacapuru tendo em vista que fragmentos florestais urbanos estão sendo removidos devido à crescente expansão urbana nestes municípios.

A Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Negro tem um papel fundamental de conservação no município de Iranduba, pois, no processo de modelagem, foi verificada que a mesma contribui geograficamente na diminuição de áreas desflorestadas. Sendo assim, a estratégia imediatista ao avanço do desmatamento é a criação de unidades de conservação, inclusive de UC's municipais com o intuito de coibir a perda de fragmentos florestais urbanos, que pode ser potencializada pelos municípios e o estado.

Os mapas temáticos gerados nesse estudo podem servir como subsídios ao tomador de decisão no processo de gestão de ambos os municípios estudados.

Uma vez estimado o avanço espacial do desflorestamento, nos municípios estudados, se faz necessário medidas aplicadas no que diz respeito à gestão dos recursos naturais, ordenamento territorial, políticas públicas e futuras estratégias de Conservação para as áreas supostamente indicadas a sofrer os processos de perda de cobertura florestal (desflorestamento).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, D. S. Space-time dynamics of deforestation in Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 14, p. 2903-2908, 2002.

YANAI, A. M. **Desmatamento no sul do Amazonas: Simulação do efeito da criação da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Juma**. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. INPA. 2010.127p.

AZEVEDO, C. P. de; ROSSI, L. M. B., ATAYDE, C. M. de; LIMA, R. M. de; SOUZA, C. R. de; **Produção de lenha na região de Iranduba e Manacapuru – Amazonas. *Acacia mangium* e *Acacia auriculiformis***. Embrapa. Circular Técnica, 16. ISSN: 1517-2449. Ano 2002.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for geoscientists: modelling with GIS**. Ontario: Pergamon, 1994, 305 p. BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic Information for Geoscientists: Modelling with GIS**. Ontario: Pergamon, 1994, 305p.

BURROUGH, P. **Dynamic Modelling and Geocomputation**. Geocomputation: A Primer. P. Longley, M. Batty and R. McDonnel. London, John Wiley & Sons, 1998.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.; MEDEIROS, C.M.B.M.; MAGALHÃES, G.C. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. UNICAMP IX Escola de Computação, 1996 (1a. ed.). SAGRES Editora, Curitiba, 1997 (2a. ed.).

CÂMARA, G.; PEDROSA, B.M.; **Modelagem Dinâmica e Geoprocessamento**. Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais INPE-8561-PRE/4305. São José dos Campos, 2002. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/>. Acesso em 22. Jun. 2013

COUCLELIS, H. (1997). “From Cellular Automata to Urban Models: New Principle for Model Development and Implementation.” *Environment and Planning B: Planning and Design* 24: 165-174.

COSTA, L. A. **Proposta de Zoneamento de Áreas Rurais utilizando Sistema de Informações Geográficas**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. 2001. 158pp.

DINÂMICA-EGO PROJECT. Disponível em< <http://www.csr.ufmg.br/dinamica/>> Acesso em 11. Mar. 2013

FERRARI, R. **Modelagem Dinâmica do Uso e Cobertura da Terra da Quarta Colônia, RS**. Dissertação de mestrado. 2008. Programa de Pós Graduação em Geomática, Área de Concentração em Sensoriamento Remoto, da Universidade Federal de Santa Maria.

GEIST, H. J.; LAMBIN, E. F. **Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation.** *BioScience*, v. 52, p. 143-150, 2002.

GONÇALVES, C. D. A. B., *et al.* **Análise do ambiente residencial urbano visando a inferência de população utilizando dados de sensoriamento remoto orbital de alta resolução.** In: XIV Encontro Nacional de Estudos Populacionais - ABEP, *Proceedings*. Caxambu (MG), 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/dtbs/amazonas/iranduba.pdf>> Acesso em 17. Mar. 2013

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. Disponível em <<http://www.cidades.ibge.gov.br/>> Acesso em 13. Jun.2014

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Pecuária Municipal 2012.** Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 05 jun. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto Interno Bruto Agropecuário dos Municípios do Brasil 2011.** Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Pib_Municípios/2011/pdf/tab03.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE), **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite Projeto Prodes.** Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital>>. Acesso em 25. Jun. 2013; 29. Jun.2013; 16. Jul.2013.

LAMBIN, E. F. Modeling Deforestation Processes - A Review, **Trees series B: Research Report.** European Commission, Luxembourg, 1994.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas metrópoles.** O exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985, 244p.

MOREIRA, P. M.; SANTOS, C. J; FERREIRA, O. J. M. R. **Desflorestamento ao longo das estradas AM – 070 (Manaus/Iranduba/Manacapuru) e AM – 352 (Manacapuru/Novo Airão) na Amazônia Central: subsídios para o planejamento.** INPE. Anais - SBSR, Natal: 2009. p.747-754.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação.** 3ª Edição. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 320p, 2005.

NEPSTAD, D.; CARVALHO, G.; BARROS, A. C.; ALENCAR, A.; CAPOBIANCO, J.; BISHOP, J.; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, P. e SILVA, U. **“Road Paving, Fire**

Regime Feedbacks, and the Future of Amazon Forests". *Forest Ecology and Management*, n. 5524, 2001, pp.1-13.

SANTOS, R.M.S. 2012. **Estudo do desflorestamento e qualidade ambiental no município de Iranduba, Amazonas**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais e Ambientais – PPGCIFA/UFAM. Manaus, 94p.

MOUTINHO et al. As oportunidades para a Amazônia com a redução das emissões de gases do efeito estufa. IPAM-Belém. Disponível em: http://www3.ufpa.br/ciez/material/oportunidades_amazonia.pdf> Acesso em 18. Jun. 2014

NOVAES, M.R. **Análise da Redução da Queima na Colheita de Cana-De-Açúcar por meio de Modelagem Dinâmica Espacial**. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE-16696-TDI/1640) . 153 p. Mar. 2010;

OLIVEIRA, José Aldemir de. Manaus 1920-1967. A cidade doce e dura em excesso. Manaus: Editora Valer/Governo do Estado do Amazonas/Editora da Universidade Federal do Amazonas, 2003.

PINHEIRO, H.A. **Políticas Públicas, urbanização e desenvolvimento na Amazônia: construção da Ponte sobre o Rio Negro e as consequências para o Distrito Cacau Pirêra/Iranduba (AM)**. In: V Jornada Internacional de Políticas Públicas. 2011.

RIVEIRO, S; ALMEIDA, O; AVILA, S; OLIVEIRA, W. **Pecuária e desmatamento: Uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia**. Nova Economia. 2009. Belo Horizonte. v.19. n.1, p 41-66.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. 4ªed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

SOARES FILHO et al. Cenários de Desmatamento para Amazônia e suas implicações futuras. *Estudos Avançados* 19 (54), 2005.

SOARES FILHO, B. S.; ASSUNÇÃO, R. M.; PANTUZZO, A. E. Modeling the spatial transition probabilities of landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *BioScience*, v. 51, n. 12, p. 1059-1067, 2001.

SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; ARAÚJO, W. L.; Voll, E. 2003. Modelagem de Dinâmica de Paisagem: Concepção e Potencial de Aplicação de Modelos de Simulação baseado em Autômato Celular.

SOARES FILHO, B. S. e CERQUEIRA, G. C. Projeto DINAMICA. 2005. <http://www.csr.ufmg.br/dinamica>

SOUZA et al. **Seleção de espécies florestais para produção de energia**. Manaus. Embrapa. Circular Técnica, 31. ISSN: 1517-2449. Ano 2008.

XIMENES et al. **Modelagem Dinâmica do Desmatamento na Amazônia**. Estudo de caso no município de São Félix do Xingu – Pará, 2008. Disponível em < http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17%4080/2007/05.09.14.53/doc/SBGFA_Ari.PDF > Acesso em 11. Mar. 2013