



**MODELAGEM DA DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA  
DO ESTADO DE RONDÔNIA ATÉ 2050**

**VALDERLI JORGE PIONTEKOWSKI**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**MODELAGEM DA DINÂMICA DO USO E COBERTURA  
DA TERRA DO ESTADO DE RONDÔNIA ATÉ 2050**

**VALDERLI JORGE PIONTEKOWSKI**

**ORIENTADOR: ERALDO APARECIDO TRONDOLI MATRICARDI**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL - UnB**

**PUBLICAÇÃO: PPGEFL. DM-226/2014**

**BRASÍLIA/DF: FEVEREIRO DE 2014**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB  
FACULDADE DE TECNOLOGIA - FT  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL - EFL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

MODELAGEM DA DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA  
DO ESTADO DE RONDÔNIA ATÉ 2050

VALDERLI JORGE PIONTEKOWSKI

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS FLORESTAIS.

**PUBLICAÇÃO: PPGEFL.DM-226/2014**

APROVADO POR:

---

Prof. Dr. ERALDO APARECIDO TRONDOLI MATRICARDI (Departamento de Engenharia Florestal, UnB)  
(ORIENTADOR)

---

Prof. Dr. REGINALDO SÉRGIO PEREIRA (Departamento de Engenharia Florestal, UnB)  
(EXAMINADOR INTERNO)

---

Prof. Dr. MARCOS ANTONIO PEDLOWSKI (Universidade Estadual do Norte Fluminense, UENF)  
(EXAMINADOR EXTERNO)

---

Prof.Dr. ILDEU SOARES MARTINS (Departamento de Engenharia Florestal, UnB)  
(EXAMINADOR SUPLENTE)

**Brasília, 20 de fevereiro de 2014**

## FICHA CATALOGRÁFICA

P662m Piontekowski, Valderli Jorge.  
Modelagem da dinâmica do uso e cobertura da terra do estado de Rondônia até 2050 / Valderli Jorge Piontekowski. -- 2014.  
88 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, 2014.

Inclui bibliografia.

Orientação: Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi.

1. Sensoriamento remoto - Rondônia. 2. Desmatamento - Rondônia. 3. Solo - Uso - Rondônia. 4. Amazônia Legal - Rondônia. I. Matricardi, Eraldo A. T.. II. Título.

CDU 528.8:634.0

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PIONTEKOWSKI, V. J. 2014. **Modelagem da dinâmica do uso e cobertura da terra do estado de Rondônia até 2050**. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM-226/2014. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília - UnB, Brasília/DF. 2014. 88p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Valderli Jorge Piontekowski

TÍTULO: Modelagem da dinâmica do uso e cobertura da terra do estado de Rondônia até 2050

GRAU: MESTRE

ANO: 2014

É concedido à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Valderli Jorge Piontekowski  
*derlikowski@gmail.com*

## **Agradecimentos**

Primeiramente a Deus e minha família por todo o apoio.

Ao meu orientador professor Eraldo Matricardi, pelo auxílio, orientação e atenção em todas as fases do mestrado.

Aos professores do curso de mestrado em Ciências Florestais do departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília.

À universidade de Brasília, especialmente ao departamento de Engenharia Florestal, por proporcionar a oportunidade.

À coordenação do departamento de Engenharia Florestal, pela atenção e disposição na prestação de seus serviços.

À Fabiana, pelo seu incentivo e, especialmente por sua companhia.

Aos colegas do mestrado.

Enfim, a todos que de uma forma ou outra contribuíram e apoiaram para que se tornasse possível essa pesquisa e concluísse o mestrado.

## **RESUMO**

### **MODELAGEM DA DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA DO ESTADO DE RONDÔNIA ATÉ 2050**

**Autor: Valderli Jorge Piontekowski**

**Orientador: Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi**

**Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais**

**Brasília, 20 de fevereiro de 2014.**

A expansão e as mudanças no uso e cobertura da terra no estado de Rondônia estão vinculadas principalmente às atividades do extrativismo madeireiro e a agropecuária, o que resultou na conversão de cerca de 7,6 milhões de hectares de florestas nativas em outros usos da terra até 2011. O monitoramento do processo de expansão agropecuária na região somente é possível mediante o uso de ferramentas de geoprocessamento para o estudo e melhor compreensão dessa problemática, envolvendo base de dados georreferenciada e a modelagem espacial, que permitem representar o desmatamento, simulando as suas possíveis trajetórias futuras. No presente estudo, estimou-se acurácias das bases de dados do desmatamento conduzido pelo PRODES-INPE (Programa de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e pela SEDAM (Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental). Com base nos resultados dessa pesquisa, a base de dados do desmatamento da SEDAM foi escolhida e utilizada como entrada de dados para o programa Dinamica EGO na modelagem futura do desmatamento em Rondônia. Três cenários de desmatamento até o ano de 2050 foram construídos para o Estado: cenário tendencial, otimista e pessimista. No cenário otimista, assumiu-se pleno sucesso na implementação da política ambiental, baixas taxas (0,4% a.a.) de desmatamento (observadas entre 2009 a 2011) e efetividade total na execução do Zoneamento Socioeconômico-Ecológico de Rondônia (ZSEE-RO). No cenário tendencial assumiu-se a manutenção dos padrões atuais de implementação da política ambiental, alguns problemas para implementação do ZSEE-RO e baixas taxas (0,4% a.a.) de desmatamento. No cenário pessimista assumiu-se as mesmas condições do cenário anterior, exceto altas taxas (0,7% a.a.) de desmatamento (observadas entre 2007 a 2011). Com base nos cenários otimista, tendencial e pessimista um total de 32%, 37% e 47% da cobertura florestal de Rondônia estará totalmente desmatado até o ano de 2050, respectivamente. Os resultados de todos os cenários deste estudo revelam ainda que o desmatamento em Rondônia no futuro estará concentrado na parte Norte do Estado. E, com base nos cenários tendencial e pessimista, a fragmentação florestal deverá ter aumento substancial no Estado. Finalmente, os resultados dos cenários construídos neste estudo podem servir de referência aos tomadores de decisão e contribuir para o melhor entendimento e definição de estratégias futuras de redução do desmatamento em Rondônia e na região Amazônica.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, Cenário, Desmatamento, Floresta Amazônica.

## **ABSTRACT**

### **MODELING THE DYNAMICS OF USE AND LAND COVER OF THE STATE OF RONDÔNIA BY 2050**

**Author: Valderli Jorge Piontekowski**

**Advisor: Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi**

**Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais**

**Brasília, 20 de fevereiro de 2014.**

Most of the land use and land cover changes in the state of Rondônia are linked to selective logging and agriculture activities, which had affected more than 7 million hectares of tropical forest through its conversion into other land use types by the year 2011. Deforestation monitoring is feasible only if using geoprocessing tools to study this land occupation process, involving a geodatabase and spatial modeling software, which may allow to predict and simulate future deforestation trajectories in that region. In this study, accuracy assessment of deforestation datasets was conducted for the PRODES-INPE (Amazon Deforestation Monitoring Program - Institute for Space Research) and SEDAM (Environmental State Secretariat) datasets. Based on this research results, the SEDAM deforestation dataset was chosen and used as input for the DYNAMIC EGO program. Three deforestation scenarios up to 2050 were developed for the state of Rondônia: business as usual, optimistic, and pessimist scenarios. In the optimist scenario it was assumed successful environmental policy enforcement, low annual deforestation rates (0.4%) observed between 2009 and 2011, and successful Ecological-Economical zoning implementation. In the business as usual scenario it was assumed the current status of the environmental law and policy enforcements, issues implementing the Ecological-Economical zoning, and low annual deforestation rates (0.4%). In the pessimist scenario it was assumed high annual deforestation rates (0.7%) observed between 2007 and 2011, and further assumptions from the previous scenario. By 2050, 47%, 37%, and 32% of Rondônia forest cover will be cleared according to the pessimist, business as usual, and optimist scenarios, respectively. These research results showed that deforestation rates are likely to increase in the North of the State at the pessimist and business as usual scenarios. Forest fragmentation is likely to substantially increase according to the business as usual and Pessimist scenarios. Finally, the scenarios results may be an important contribution for decision makers to a better understand and curb deforestation in the state of Rondônia and Amazon region.

**Keywords:** Remote Sensing, Scenarios, Deforestation, Amazon forest.

## Sumário

<b>1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS</b> .....	13
1.1 INTRODUÇÃO .....	13
1.2 PROBLEMA.....	14
1.3 QUESTÕES DE PESQUISA .....	15
1.4 OBJETIVOS .....	15
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	17
2.1 HISTÓRICO E CAUSAS DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA .....	17
2.2 USO E OCUPAÇÃO DAS TERRAS EM RONDÔNIA E O ZSEE.....	18
2.3 MÉTRICAS DE QUANTIFICAÇÃO DA PAISAGEM .....	23
2.4 ESTOQUE E EMISSÕES DE CARBONO POR DESMATAMENTO.....	23
2.5 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS E O SOFTWARE DINAMICA EGO.....	25
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	27
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	27
3.2 MATERIAL.....	29
3.3 MÉTODOS .....	29
3.3.1 Análise da acurácia dos mapas de desmatamento do PRODES-INPE e SEDAM .....	29
3.3.2 Dados de entrada do modelo.....	33
3.3.2.1 Preparação dos mapas da paisagem inicial e final .....	34
3.3.2.2 Preparação do mapa de regionalização.....	35
3.3.2.3 Preparação das variáveis do modelo .....	36
a) Vegetação .....	37
b) Solos.....	38
c) Áreas protegidas .....	39
d) Distância da rede viária.....	40
e) Distância da rede hidrográfica .....	41
f) Distância dos centros urbanos (atração urbana).....	42
g) Distância de Lotes e Assentamentos Rurais.....	43
h) Distância das hidrelétricas.....	44
i) Altitude .....	45
j) Declividade .....	46
3.3.3 Modelagem espacial do desmatamento no DINAMICA EGO.....	47
3.3.3.1 Geração da matriz de transição .....	48



3.3.3.2 Calibração do modelo .....	49
3.3.3.3 Criar e executar o modelo de simulação do desmatamento.....	50
3.3.3.4 Validação do modelo .....	51
3.3.3.5 Obtenção dos cenários futuros .....	53
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>54</b>
4.1 ANÁLISE DAS ACURÁCIAS DOS MAPAS DE DESMATAMENTO DE RONDÔNIA.....	54
4.2 PARÂMETROS DE ENTRADA DO MODELO .....	57
4.3 SIMULAÇÃO E VALIDAÇÃO.....	62
4.4 CENÁRIOS FUTUROS MODELADOS .....	64
4.5 FRAGMENTAÇÃO DA FLORESTA.....	73
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>79</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>81</b>

## Lista de Tabelas

Tabela 1. Classes do coeficiente <i>Kappa</i> .....	32
Tabela 2 - Matriz de confusão para a classificação do desmatamento do PRODES-INPE.	54
Tabela 3 - Matriz de confusão para a classificação do desmatamento da SEDAM. ....	55
Tabela 4 - Matriz de transição global de desmatamento no período de 2009 a 2011.....	57
Tabela 5 - Matriz de transição anual de desmatamento no período de 2009 a 2011. ....	57
Tabela 6 - Matriz de transição global de desmatamento no período de 2007 a 2011.....	58
Tabela 7 - Matriz de transição anual de desmatamento no período de 2007 a 2011.....	58
Tabela 8 - Resultado da validação do índice de similaridade <i>Fuzzy</i> com diferentes tamanhos de janela. ....	63

## Lista de Figuras

Figura 1 - Área desmatada e taxa de conversão anual do desmatamento na zona 1. ....	20
Figura 2 - Área desmatada e taxa de conversão anual do desmatamento na zona 2. ....	21
Figura 3 - Área desmatada e taxa de conversão anual do desmatamento na zona 3. ....	22
Figura 4 - Mapa de localização do Estado de Rondônia. ....	27
Figura 5 - Mapa das três grandes zonas do Estado de Rondônia (RONDÔNIA, 2007). ....	28
Figura 6 - Localização das cenas do satélite SPOT utilizadas e os pontos aleatorizados (cor vermelha) para avaliação da acurácia das classificações do desmatamento no estado de Rondônia. ....	31
Figura 7 - Fluxograma do programa DINAMICA EGO. ....	33
Figura 8 - Dinâmica do uso e cobertura da terra do estado de Rondônia em 2011, 2008 e 2006. ....	35
Figura 9 - Mapa de microbacias nível 12 do estado de Rondônia. ....	36
Figura 10 - Mapa da variável estática de tipologias florestais no estado de Rondônia. ....	38
Figura 11 - Mapa da variável estática das classes de solos no estado de Rondônia. ....	39
Figura 12 - Mapa da variável estática de áreas protegidas no estado de Rondônia. ....	40
Figura 13 - Mapas das variáveis estáticas distância das estradas principais e estradas secundárias no estado de Rondônia. ....	41
Figura 14 - Mapa da variável estática de distância dos rios principais no estado de Rondônia. ....	42
Figura 15 - Mapa da variável estática de atração urbana no estado de Rondônia. ....	43
Figura 16 - Mapa da variável estática de distância de Lotes e Assentamentos no estado de Rondônia. ....	44
Figura 17 - Mapa da variável estática de distância das principais hidrelétricas no estado de Rondônia. ....	45
Figura 18 - Mapa da variável estática de altitude no estado de Rondônia. ....	46
Figura 19 - Mapa da variável estática de declividade no estado de Rondônia. ....	47
Figura 20 - Etapas utilizadas para obtenção dos cenários simulados e projetados do desmatamento em Rondônia utilizando o sistema Dinamica EGO. ....	48
Figura 21 - Menu principal do <i>functor</i> do Dinamica EGO onde são definidos os parâmetros para o processamento das faixas e cálculo dos pesos de evidência. ....	50
Figura 22 - Método de comparação <i>Fuzzy</i> usando mapa de diferenças e uma função de decaimento constante. ....	52

Figura 23. Desmatamento anual estimado pela SEDAM e o PRODES entre 2002 e 2011.	56
Figura 24 - Valores dos pesos de evidência para as faixas de distância da variável dinâmica “distância das áreas desmatadas”.	59
Figura 25 - Mapa de probabilidade de desmatamento (transição de floresta para áreas desmatadas) no estado de Rondônia estimada para o período entre 2009 e 2011.	62
Figura 26 - Variação do índice de similaridade <i>Fuzzy</i> em relação a diferentes resoluções (tamanho das janelas).	64
Figura 27 - Mapa apresentando as áreas desmatadas obtidas com a simulação do desmatamento futuro entre 2012 e 2050 com base nas condições estabelecidas no cenário tendencial.	65
Figura 28 - Mapa com desmatamento simulado até 2050 num cenário tendencial, destacando as áreas protegidas no estado de Rondônia.	66
Figura 29 - Mapa com concentração do desmatamento simulado até 2050 pelo cenário tendencial.	67
Figura 30 - Distribuição do desmatamento nas zonas ao longo dos anos com projeção efetuada pelo cenário tendencial.	68
Figura 31 - Mapa apresentando a simulação das áreas desmatadas no contexto de um cenário otimista entre 2012 e 2050 no estado de Rondônia.	69
Figura 32 - Quantidade de propriedades privadas com passivos e ativos ambientais até 2011 e até 2050 no contexto do cenário tendencial para o estado de Rondônia.	70
Figura 33 - Mapa apresentando as áreas que seriam desmatadas entre 2012 e 2050 no estado de Rondônia no contexto do cenário pessimista.	71
Figura 34 - Quantidades de áreas desmatadas e taxas médias de desmatamento anual para cada cenário estudado.	72
Figura 35 - Fragmentação da floresta em classes de diferentes tamanhos (hectares) até o ano de 2011.	74
Figura 36 - Fragmentação da floresta em classes de diferentes tamanhos (hectares) até o ano de 2050 em Rondônia, simuladas no contexto previsto no cenário tendencial.	75
Figura 37 - Fragmentação da floresta em classes de diferentes tamanhos (hectares) até o ano de 2050 em Rondônia, simuladas no contexto previsto no cenário otimista.	76
Figura 38 - Fragmentação da floresta em classes de diferentes tamanhos (hectares) até o ano de 2050 em Rondônia, simuladas no contexto previsto no cenário pessimista.	76
Figura 39 - Distribuição da soma das áreas em hectares nas diferentes classes em 2011 e 2050 - nos cenários tendencial, otimista e pessimista.	77

## **Lista de Quadros**

Quadro 1 - Pesos de Evidência derivados dos mapas de variáveis e aplicados na construção dos cenários futuros do desmatamento em Rondônia. ....	60
---	----

# 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

## 1.1 INTRODUÇÃO

O processo de uso e ocupação do solo na região Amazônica brasileira são resultados da interação de diversos fatores, como a conversão direta de floresta em áreas de agricultura ou para criação de gado, a abertura de estradas, os incêndios florestais, a exploração madeireira, a limitação de fiscalização e outros (MOUTINHO et al. 2011; FERREIRA et al., 2005). É uma problemática que tem sido amplamente debatida com propósito de compreender a dinâmica dos processos via integração de análises técnicas e científicas (NASCIMENTO, 2011). Para esse entendimento tem-se tornado indispensável o uso das técnicas de Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e Sistema de Informações Geográficas (SIG), que são capazes de fornecer informações que promovam a integração, possibilitando mitigar perdas de recursos naturais e minimizar a degradação ambiental e, ao mesmo tempo, estabelecer condições sustentáveis de produção (PAZINI; MONTANHA, 2005).

Ao converter áreas de floresta para áreas antrópicas, não só são ocasionadas mudanças da fisionomia do ambiente, como também são perdidos diversos benefícios proporcionados pela floresta em pé, como, por exemplo, estoque de carbono, conservação do solo, manutenção do clima, fauna e populações tradicionais, entre outros (AMAZONAS, 2009; HOUGHTON, 1994).

Na região Amazônica, Rondônia é um dos Estados que apresenta maiores índices de alteração da paisagem original (PRODES-INPE, 2013). Seu histórico é marcado por políticas públicas de desenvolvimento do governo, elemento indutor para ocupação produtiva, que deu início a expressivas mudanças na paisagem natural da região, fator responsável não só pela devastação de extensas áreas de floresta, como também pela acelerada degradação dos solos e, portanto, pela crescente insustentabilidade ecológica e econômica (MMA, 2010). Além de responsável por ocasionar diretamente grandes emissões de gases do efeito de estufa (MMA, 2010).

A pressão sobre a floresta no Estado ainda é intensa. No ano de 2011 foram desflorestados cerca de 74.000 hectares. A maior parte das áreas desmatadas está intensamente relacionada às atividades agrícola e pecuária que conduziram a substituição de extensas áreas de floresta (SEDAM, 2011).

Estudos sobre a cobertura e uso da terra com utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto, geoprocessamento e SIG têm promovido contribuições consideráveis no gerenciamento territorial e avaliação de impactos sobre os recursos naturais, possibilitando diferentes análises e geração de bons resultados em um curto prazo de tempo e com baixo custo (FIGUEIREDO, 2005). Os resultados possibilitam a criação de alternativas para promover o desenvolvimento em bases sustentáveis, para melhor conservação da natureza e convívio do homem.

Assim, o presente estudo implica em desenvolver modelos com diferentes cenários futuros da dinâmica de uso e cobertura da terra para estado de Rondônia. Os resultados dessa modelagem podem contribuir para entender os efeitos de atividades sobre os recursos naturais, como forma de traçar trajetórias de mudanças e análise de impactos no espaço e no tempo futuro, utilizando informações das práticas do passado. As análises dos possíveis impactos sobre os recursos naturais deverão servir ainda para os agentes públicos e privados interessados em promover o uso adequado da terra na região.

## 1.2 PROBLEMA

O processo de desmatamento em Rondônia ganhou forças, principalmente a partir de 1970 (SARAIVA, 2009), período em que foi iniciada a implantação de projetos de colonização e os assentamentos no Estado, implementados pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) (TOURNEAU; BURSZTYN, 2010; BRANDÃO; SOUZA, 2006). Nesse período, houve um grande fluxo migratório de pessoas para a região, que, com os incentivos do Governo Federal expandiram a fronteira agropecuária, substituindo as áreas de floresta por áreas para agricultura e pecuária bovina (TOURNEAU; BURSZTYN, 2010; FIATEC, 2007), refletindo em altas taxas de desmatamento no Estado (FIATEC, 2007). Em virtude disso, diversos efeitos, como, por exemplo, a fragmentação da floresta, perda de biodiversidade e influência sobre o clima foram observados.

Visando melhor gerenciar os processos de ocupação no Estado foi implantado o Programa Integrado de Desenvolvimento do Noroeste (POLONOROESTE), iniciado em 1982 e extinto em 1992. O POLONOROESTE trouxe grandes benefícios aos agricultores, porém contribuiu fortemente com a aceleração do desmatamento na região (AGRA, 2003).

Em meados da década de 80 foi lançado um novo programa, o Plano Agropecuário e Florestal de Rondônia (PLANAFLORO). O PLANAFLORO foi concebido de forma a

considerar os aspectos humanos e ambientais (SOUZA; GROSSI, 2010), buscando assim, reduzir as altas taxas de desmatamento observadas durante a vigência do POLONOROESTE. No contexto do PLANAFLORO estava inserido o Zoneamento Socioeconômico Ecológico (ZSEE), também com objetivo principal de ordenar a ocupação territorial e reduzir o desmatamento no Estado.

Além dos programas implantados pelos governos federal e estadual foram instituídas diversas unidades de conservação da natureza, como tentativa de conter os desmatamentos em algumas fronteiras de Rondônia. Mesmo com todas as medidas do governo para frear o desmatamento, o estado de Rondônia apresentou uma das maiores taxas de desmatamentos durante e pós a vigência do PLANAFLORO, ficando atrás apenas dos estados do Pará e Mato Grosso.

Diante da ineficiência dos projetos de conter o aumento do desmatamento em Rondônia, reveladas pelas altas taxas de desmatamento observadas nas últimas décadas, torna-se crucial o entendimento da dinâmica das mudanças do uso e cobertura da terra, buscando identificar variáveis com maior influência sobre o desmatamento no Estado. A partir desses entendimentos, é relevante testar projeções futuras para o desmatamento com intuito de apoiar a definição de novas estratégias e indicar caminhos mais sustentáveis para o estado de Rondônia.

### 1.3 QUESTÕES DE PESQUISA

Quais os cenários futuros do desmatamento no estado de Rondônia? Quais os efeitos do desmatamento futuro sobre os remanescentes de vegetação natural?

### 1.4 OBJETIVOS

Elaborar prognósticos do desmatamento até o ano de 2050 para o estado de Rondônia com base em mapeamentos das mudanças da cobertura da terra feitos a partir de geoprocessamento e dados de sensoriamento remoto adquiridos na última década.

Como objetivos específicos citam-se:

- a) Avaliar as acurácias dos mapeamentos do desmatamento feitos pelo INPE e pela SEDAM para o período de análise;



- b) Desenvolver cenários futuros da dinâmica de uso e cobertura da terra no estado de Rondônia, incluindo um cenário tendencial (assumindo as tendências de taxa média de desmatamento observada na série histórica entre 2009 e 2011), um cenário otimista (assumindo a taxa média de desmatamento observada na série histórica entre 2009 e 2011 e os pressupostos de uso e ocupação da terra instituída pelo ZSEE-RO) e um cenário pessimista (assumindo taxa média de desmatamento observada na série histórica entre 2007 e 2011);
- c) Avaliar os efeitos do desmatamento sobre a fragmentação da vegetação natural nos diferentes cenários deste estudo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A presente revisão de literatura buscou o embasamento teórico sobre o processo de desmatamento, uso e ocupação das terras em Rondônia, o ZSEE-RO, as métricas de quantificação da paisagem, os efeitos do desmatamento e a elaboração de prognósticos do uso da terra usando o *software* DINAMICA EGO.

### 2.1 HISTÓRICO E CAUSAS DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA

A maior floresta tropical contínua do mundo está na região Amazônica, um ambiente considerado essencial para a manutenção dos serviços ecossistêmicos mundiais, como ciclos ecológicos e os sistemas climáticos (LADLE et al., 2010). Para tanto, atividades praticadas na região, como pecuária e a produção de soja tem ocasionado significativa alteração na paisagem, sendo responsáveis por cerca de 75% das florestas desmatadas (LADLE et al., 2010).

Com base no monitoramento do PRODES-INPE (2013), a taxa de desmatamento da região amazônica na década de 1990 foi em média de 16.342 km<sup>2</sup> ao ano. Na década de 2000 a média foi ainda maior, com 17.653 km<sup>2</sup>, apresentando picos em 2003 e 2004 de 25.396 km<sup>2</sup> e 27.772 km<sup>2</sup> respectivamente. No entanto, a partir de 2008 a taxa de desmatamento começou a diminuir rapidamente, desmatando em 2011, 6.418 km<sup>2</sup>, representando uma redução de quase 50,0% em relação ao ano de 2008.

Segundo Nepstad et al. (2008), a redução do desmatamento na Amazônia brasileira se deve a alguns fatores como: a queda dos preços de produtos dependentes de áreas desmatadas, a criação e expansão de áreas protegidas, limitação de acesso à crédito para a exploração de novas áreas e a implementação de leis ambientais com o objetivo de restringir o desmatamento. Em especial, quanto às áreas protegidas, estas desempenham papéis fundamentais tais como prestadoras de serviços ambientais, manutenção da biodiversidade e armazenamento e absorção de carbono (FEARNSIDE, 2008).

O desmatamento das florestas na Amazônia brasileira segundo Moutinho et al. (2011) constitui-se um fenômeno complexo, que resulta da interação de inúmeros fatores que variam ao longo de dois eixos: um geográfico e outro temporal (anual). Para os mesmos, nas diferentes regiões do Brasil, as causas do desmatamento e degradação florestal são aparentemente as mesmas, que se dividem em diretas e indiretas, onde as diretas estão ligadas ao desmatamento para implantação de agricultura ou criação de gado,

exploração de madeira e incêndios florestais, enquanto que as indiretas referem-se a subsídios para pecuária e agronegócios, políticas de investimento do governo, ausência de governança e fiscalização, demanda por produtos florestais e o mercado favorável a produtos como grãos e carne, por exemplo.

Ferreira et al. (2005) afirmaram que o processo de desmatamento normalmente começa com a abertura oficial ou clandestina de estradas que permitem a ocupação irregular de terras à exploração predatória de madeiras. Após a floresta ser explorada é comum a mesma ser convertida em agricultura familiar e pastagens para a criação extensiva de gado, especialmente em grandes propriedades (FERREIRA et al., 2005).

São diversas as consequências oriundas do processo de desflorestar, tais como: afetar diretamente a fauna, ocasionar mudanças no microclima, provocar mortalidade de árvores que armazenam grande quantidade de carbono e modificar outros aspectos da ecologia florestal (LAURANCE et al., 2010).

## 2.2 USO E OCUPAÇÃO DAS TERRAS EM RONDÔNIA E O ZSEE

O marco de ocupação do estado de Rondônia (que até 1981 era denominado como Território Federal) teve início entre os séculos XVII e XVIII, época em que aventureiros e exploradores holandeses, franceses e ingleses penetravam na floresta para coletar as chamadas "drogas do Sertão" (MATIAS, 2004). Um segundo momento de ocupação foi marcado com a chegada de infraestrutura no Estado, com a instalação da linha telegráfica entre 1907-1915 e a construção da Estrada de Ferro Madeira Mamoré (EFMM), que visava à escoação da borracha produzida na região (CASER; SÁ, 2011).

Já na década de 50, a principal atividade atrativa no Estado foi à extração de minério de Cassiterita (RAMOS, 2003). Esta fase determinou novos rumos e tendências de desenvolvimento socioeconômico ao Estado. O que exigiu a implementação de infraestrutura, como a construção de vias de transportes que ligassem aos polos industriais, principalmente São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais.

A principal via que hoje corta o estado de Rondônia de Leste a Oeste, a BR-364, contribui expressamente para exportação e importação de produtos para e dos grandes centros. A construção da rodovia foi essencial para a descoberta das características dos solos com boa fertilidade para produção no Estado. Essa descoberta deu início à fase agrícola, que a partir da década de 70 ganhou força com os projetos de assentamentos do

INCRA, resultando num grande fluxo migratório de pessoas, principalmente do Sul e Sudeste em direção ao estado de Rondônia (RIVERO, 2000).

A abertura da BR-364 causou grandes transformações no estado de Rondônia. Destaca-se a expansão da agropecuária, que foi a responsável por uma acentuada dinâmica de alteração da cobertura florestal, apresentando taxas anuais elevadas de desmatamento (TOURNEAU; BURSZTYN, 2010). Com o objetivo de controlar o processo de ocupação na região foi implantado o programa POLONOROESTE, financiado em grande parte por recursos do Banco Mundial.

E, para complementar e corrigir falhas do POLONOROESTE surgiu o programa PLANAFLORO, que buscava o planejamento levando em consideração dois eixos, o ecológico ambiental e o humano (SOUZA; GROSSI, 2010). O PLANAFLORO originou-se em meados da década de 80, também financiado pelo Banco Mundial, por meio de um empréstimo de 167 milhões de dólares, com contrato firmado em Março de 1992 e oficializado em 15 de Janeiro de 1993 (PEDLOWSKI, 1999).

O programa PLANAFLORO trouxe em seu contexto a proposta de elaboração da segunda aproximação do ZSEE de Rondônia. Constituiu-se, portanto, como forte instrumento na definição de políticas públicas, questões ambientais, fundiárias e de crédito agrícola (SEBRAE, 1999). A segunda aproximação do ZSEE instituída pela Lei n° 233 de 6 de maio de 2005 buscou assim ponderar algumas distorções apresentadas pela primeira aproximação elaborada durante o primeiro programa de desenvolvimento da região (POLONOROESTE) (ARAÚJO e MARQUES, 2006). O mapeamento desenvolvido na segunda aproximação do ZSEE foi a uma escala de 1:250.000, abrangeu as mais diversas áreas temáticas (ARAÚJO; MARQUES, 2006).

Os estudos realizados para subsidiar a elaboração da segunda aproximação do ZSEE de Rondônia contemplaram três grandes zonas. A zona 1, para consolidação e expansão das atividades econômicas em geral, a zona 2, indicada para recuperação ambiental ou manejo especial e uso alternativo da terra, tais como o manejo florestal, o extrativismo não madeireiro, consórcios agroflorestais e ecoturismo e a zona 3, constituída com as áreas institucionais compostas por Terras Indígenas e Unidades de Conservação de Uso Direto e Indireto (SEBRAE, 1999).

A zona 1 abrange aproximadamente 51% do estado de Rondônia. É composta de áreas de uso agropecuário, agroflorestal e florestal (RONDÔNIA, 2007). Nessa zona estão os assentamentos do estado de Rondônia, pois é nela que se encontram os solos mais férteis (RONDÔNIA, 2007). Quanto ao percentual da reserva legal (determinado pela Lei

Complementar nº 312, de 06 de maio de 2005) deve ser observado o mínimo de 80% da propriedade rural, com a ressalva de que nos caso de recomposição florestal seja de 50% da propriedade.

Com base em dados da SEDAM (2011), o desmatamento dentro da zona 1 até o ano de 2011 representava um percentual de quase 62% de sua área total. Quanto à taxa de desmatamento anual na zona 1, observou-se decréscimos sucessíveis ano a ano a partir de 2003, com exceção do ano de 2011, que apresentou um pequeno aumento em relação ao ano imediatamente anterior, ficando em aproximadamente 0,4% (SEDAM, 2011) (ver Figura 1 para mais detalhes).

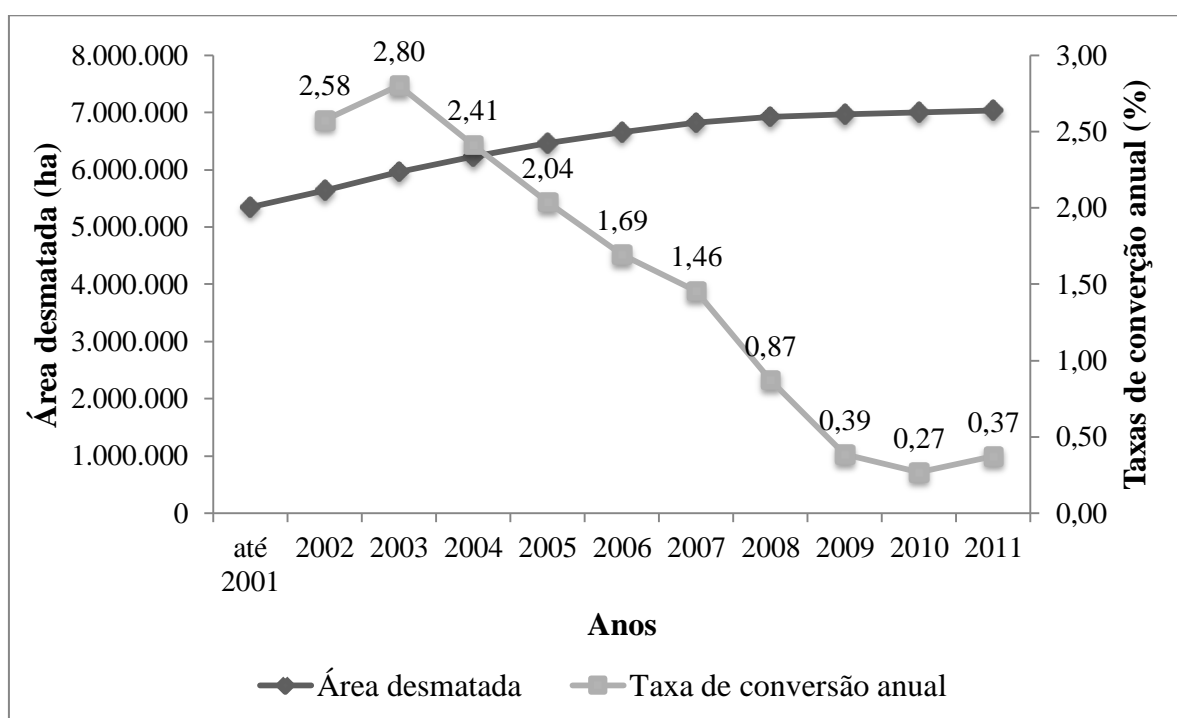


Figura 1 - Área desmatada e taxa de conversão anual do desmatamento na zona 1.

Adaptado dos dados de desmatamento da SEDAM (2011).

A zona 2 é composta por áreas destinadas aos usos especiais ou alternativos, que requerem cuidados específicos, ou seja, com a conservação dos recursos naturais, passíveis de uso sob manejo sustentável, como ecoturismo e extrativismo. Sua área total recobre aproximadamente 11% de todo o território estadual (RONDÔNIA, 2007).

Embora na zona 2 os desmatamentos sejam bem mais restritos, excetuando apenas para a subsistência familiar (RONDÔNIA, 2007), a taxa de desmatamento anual observada para o ano de 2011 foi superior à observada para a zona 1, ficando em aproximadamente 0,6% em relação a área total da zona 2 (Figura 2). O desmatamento observado nessa zona

até o ano de 2011 representou um percentual de cerca de 15% da sua área total (SEDAM, 2011).

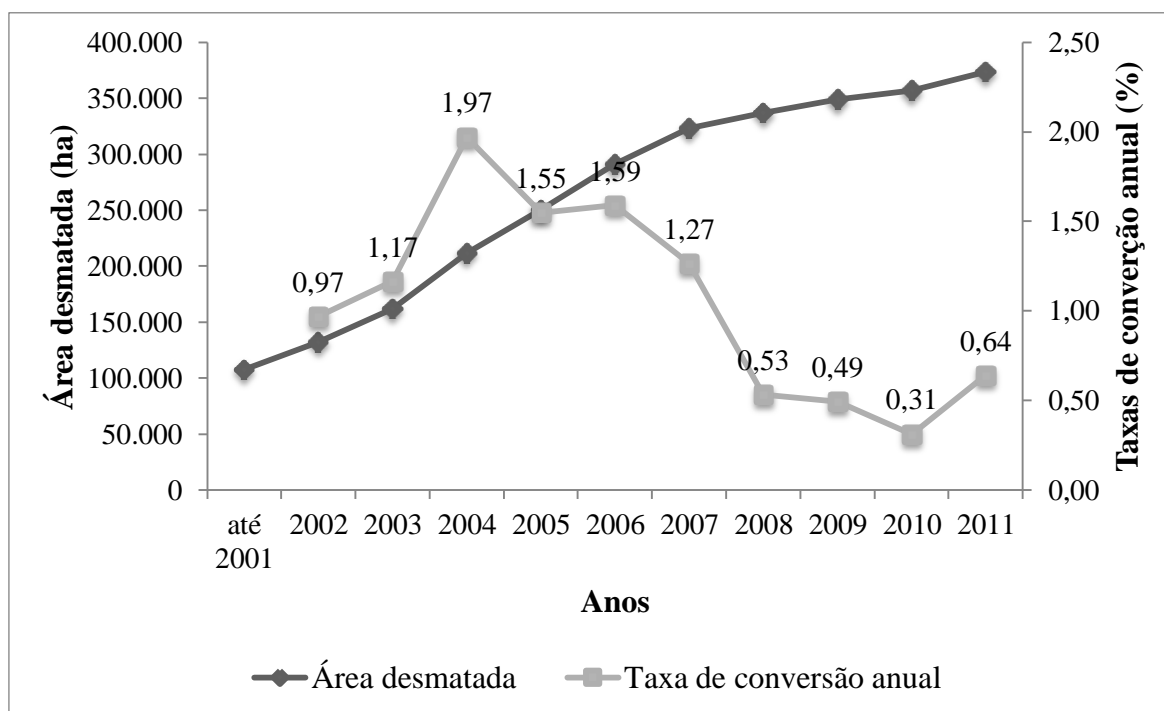


Figura 2 - Área desmatada e taxa de conversão anual do desmatamento na zona 2.

Adaptado dos dados de desmatamento da SEDAM (2011).

A zona 3 envolve todas as áreas institucionais, constituídas por áreas protegidas de uso restrito e controlado, previstos em lei e instituídas pela União, pelo Estado ou Municípios (RONDÔNIA, 2007). Estão incluídos nessa zona as Terras Indígenas, as Unidades de Proteção Integral e as Unidades de Uso Sustentável. A área total dessa zona representa cerca de 38% do Estado (RONDÔNIA, 2007).

Na zona 3 o desmatamento é em geral proibido e ilegal. Mesmo assim, foi observado um desmatamento de quase 3% do total desta zona até o ano de 2011 (SEDAM, 2011). Mais especificamente, foi observado que em 2011 houve um aumento superior a 300% na taxa anual de desmatamento em relação à média observada entre 2008 a 2010 (SEDAM, 2011) (Figura 3).

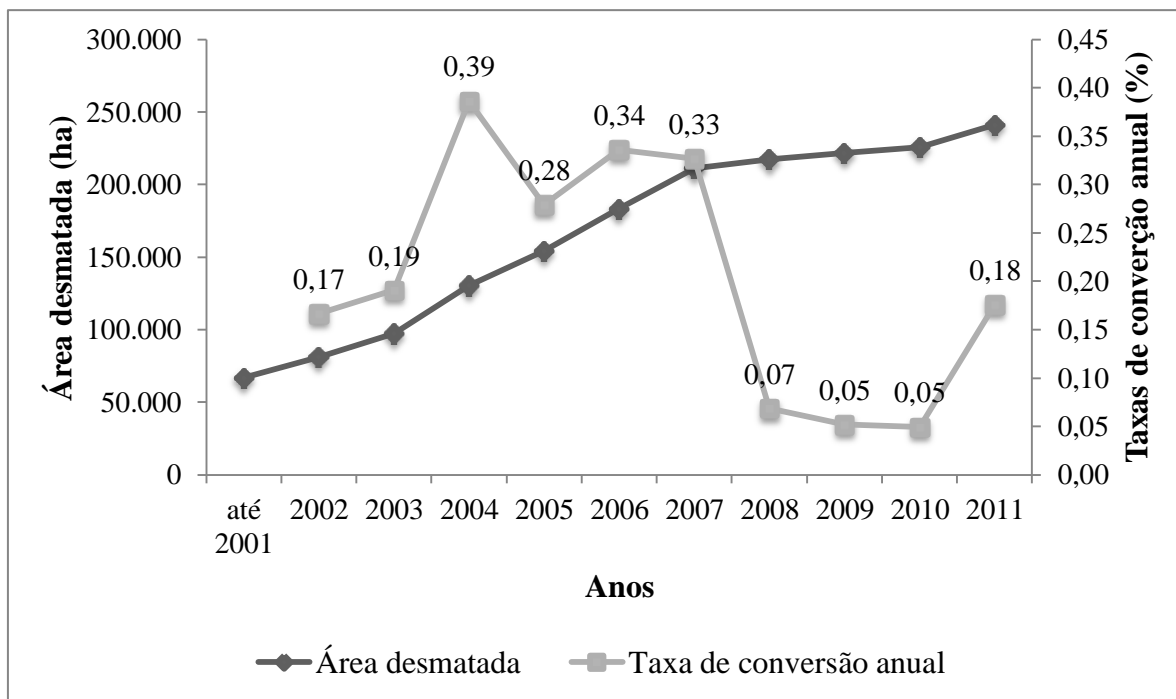


Figura 3 - Área desmatada e taxa de conversão anual do desmatamento na zona 3.

Adaptado dos dados de desmatamento da SEDAM (2011).

Para Saraiva (2009), o Zoneamento Ecológico Econômico é uma ferramenta imprescindível na efetivação da gestão territorial, pois permite o planejamento das diferenças, capaz de compatibilizar, de forma acordada, o desenvolvimento econômico com a sustentabilidade ambiental. Contudo, a falta de uma regularização fundiária adequada, conjunta com um processo de controle e monitoramento ambiental resulta em falhas e pouca eficiência no cumprimento das diretrizes do zoneamento, levando ao desmatamento e a ocupação desordenada em todo o estado de Rondônia.

Os projetos de colonização/assentamentos, a abertura/asfaltamento da BR-364 e outras importantes vias, o crescimento populacional, a mecanização da agricultura no sul e absorção de pequenas posses por grandes propriedades no sul e nordeste do Brasil, o baixo preço da terra, a política nacional foram alguns dos processos que tiveram e ainda tem um papel central no contexto de desmatamento no Estado (FEARNSIDE, 1989). Todos esses fatores resultaram em projetos agropecuários decisivos para o aumento da pressão e dos impactos sobre os ecossistemas naturais, tais como: incêndios, destruição da fauna e da flora, erosão, assoreamento e contaminação dos cursos d'água por agrotóxicos, degradação da paisagem, impactos socioeconômicos e destruição de reservas extrativistas (SÁ, 2007).

## 2.3 MÉTRICAS DE QUANTIFICAÇÃO DA PAISAGEM

A definição de paisagem está relacionada à heterogeneidade espacial, que constitui a sua base fundamental funcional (PEREIRA et al., 2001; WU, 2004). Paisagens são agrupamentos de ecossistemas interativos que se repete de forma similar pela área, mas que não necessariamente é definida pelo seu tamanho e sim por um mosaico integrado de manchas relevantes ao fenômeno considerado (PEREIRA et al., 2001).

Para Pereira et al. (2001), o interesse principal em muitos estudos da paisagem está relacionado com a quantificação e avaliação da distribuição de um tipo de classe dentro da paisagem, como, por exemplo, o estudo da fragmentação da floresta para contabilizar a quantidade e distribuição de cada tipo de fragmento presente na paisagem.

Muitas medidas quantitativas de composição da paisagem são conhecidas como métricas ou indicadores de paisagem, estas ajudam a compreender a estrutura complexa da paisagem e a forma como influenciam em determinadas relações no ecossistema (CARRÃO et al., 2001). Segundo Watrin e Venturieri (2005), várias métricas foram desenvolvidas a partir de produtos temáticos, utilizando ferramentas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, buscando descrever os padrões espaciais da paisagem.

Existe um grande número de métricas da paisagem que para a sua quantificação são propostos dados de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. Os efeitos de dados espaciais no desempenho dos estudos das métricas de paisagem têm sido estudados por alguns autores como (FROHN; HAO, 2006). Para esses autores, muitas das métricas de paisagem, assim estudadas, são altamente correlacionadas. Tornando as ferramentas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento de grande potencial para aquisição de informações detalhadas e precisas do uso do solo, importantes para subsidiar tomada de decisões, gestão e planejamento, tanto no sentido ambiental, quanto nas políticas de uso do solo.

## 2.4 ESTOQUE E EMISSÕES DE CARBONO POR DESMATAMENTO

A floresta Amazônica é importante para o equilíbrio do estoque de carbono, funciona como um reservatório enorme (NEPSTAD et al., 1999; HOUGHTON, 2005). Esse carbono é gradualmente libertado para a atmosfera quando as árvores são cortadas ou quando de alguma forma ocorre uso do solo (NEPSTAD et al., 1999; HOUGHTON, 2005).



Galford et al. (2011) mencionam que o desmatamento de ecossistemas naturais para dar lugar à agricultura ou pastagem leva a grandes emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera a partir da biomassa terrestre. Enquanto que os ecossistemas remanescentes e em regeneração, fazem o papel inverso, sequestram uma grande quantidade de carbono da atmosfera.

Na imensa floresta Amazônica, quanto à quantidade e distribuição espacial de biomassa florestal, uma das principais incertezas é a determinação do fluxo de carbono liberado por mudanças da cobertura da terra (SAATCHI et al., 2007). No entanto, pesquisadores usam de vários métodos para fazer estimativas da distribuição espacial da biomassa e do carbono florestal. E assim, relatar valores de emissão de CO<sub>2</sub> baseado no que foi modificado na floresta.

As emissões de carbono devido às mudanças na cobertura do solo tornou-se um componente importante nas últimas décadas. Onde já é considerada como de “interferências perigosas” no sistema climático global (MOUTINHO et al., 2011). Segundo Van der Werf et al. (2009), as emissões oriundas das mudanças ocasionadas com o uso da terra representam de 10-12% das emissões globais antropogênicas.

Na Amazônia, através da fotossíntese são retirados anualmente da atmosfera, de 300 a 600 milhões de toneladas de carbono, embora as emissões por desmatamentos atinjam de 200 a 400 milhões de toneladas (MANZI et al., 2007).

Segundo Nepstad et al. (2010) o estoque de carbono nas florestas da Amazônia brasileira são na ordem de 48 bilhões de toneladas. Diante desse imenso estoque, as atividades de desmatamento no País contribuem com cerca de 70% das emissões nacionais de CO<sub>2</sub> (SOARES-FILHO e HISSA, 2010; BARRETO et al., 2009).

No entanto, esse cenário está mudando. Com a redução do desmatamento até 2011 em relação à linha de base histórica entre 1996 e 2005, mais de 1 bilhão de toneladas-equivalente de CO<sub>2</sub> deixaram de ser lançados para a atmosfera, quantidade essa equivalente a duas vezes a meta do Protocolo de Quioto no período 2008-2012 (SOARES-FILHO et al., 2012). Isso demonstra que uma das principais estratégias de evitar que seja emitido o contingente de carbono da biomassa vegetal é deixando-o incorporado nas árvores, para tanto, é necessário sempre reforçar as regras de contenção ao desmatamento (CAVALLET e PAULA, 2011).

## 2.5 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS E O SOFTWARE DINAMICA EGO

Os cenários de simulação são modelos espaciais que permitem e visam auxiliar o entendimento dos mecanismos de desenvolvimento de sistemas ambientais, podendo assim determinar como eles evoluem diante de diferentes quadros socioeconômicos, políticos e ambientais (RODRIGUES et al., 2007). A criação de cenários se caracteriza como um meio de encorajar a produção de indicadores quantitativos que possam ser utilizados pelo governo e pela sociedade, através de uma avaliação dos impactos socioambientais (GEOMA, 2005). De acordo com Barni (2009), os cenários de desmatamentos futuros se prestam a um melhor entendimento dos padrões subjacentes a processos relacionados às dinâmicas de mudanças da paisagem florestal, tanto de fenômenos naturais como sociais.

Devido à grande variedade e mobilidade no tempo e no espaço dos responsáveis nos processos de desmatamento, o estudo de seus padrões resultantes por simulação se faz extremamente complexo, porém necessário para auxiliar na formulação de medidas de contenção (BARNI, 2009). Utilizando o software DINAMICA EGO (*Environment for Geoprocessing Objects*), desenvolvido pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais, pode-se estabelecer diferentes cenários de simulação do desmatamento, conforme situação de controle e de planejamento como forma de uso e alteração da cobertura florestal (SOARES-FILHO, 2005).

Para tanto, torna-se necessário que os tomadores de decisão se sensibilizem e possam utilizar as recomendações dos pesquisadores. Tais orientações técnicas podem servir de bases para definição de políticas públicas, a fim de favorecer o equilíbrio das relações sociais humanas, minimizando os prejuízos ao meio ambiente, do qual dependem as gerações presentes e futuras, tanto para sua reprodução como sobrevivência (GEOMA, 2005; BARNI, 2009).

O DINAMICA EGO é um modelador de simulação explicitamente espacial da dinâmica da paisagem, que se baseia em algoritmo de autômatos celulares e regras/funções de transição que permite, a partir de probabilidades de transição, identificar a dinâmica de formação e evolução de padrões espaciais do fenômeno (FEARNSIDE et al., 2009; LIMA, 2010; SOARES-FILHO, 2013). Modelos fundamentados em autômatos celulares, tal como no DINAMICA EGO, são entendidos como sistemas de dinâmica espacial, em que o estado de uma célula num segundo momento, dentro de um arranjo espacial, depende do seu estado atual e da condição das células de vizinhança, de acordo com um conjunto de regras de transição estabelecido (FEARNSIDE et al., 2009).

O software sobre um conjunto de dados de entrada, em que são aplicados um número finito de operações, produz como saída um novo conjunto de dados. Possibilitado, simplesmente arrastando e conectando os operadores através de suas entradas e saídas (portos), às quais representam as conexões com determinados tipos de dados, como mapas, tabelas, matrizes, expressões matemáticas e constantes (SOARES-FILHO e HISSA, 2010).

Por fim, com o DINAMICA EGO é possível desenvolver uma gama diversa de modelos espaço temporais através de operações analíticas e/ou operações dinâmicas complexas, que possibilita análise e simulação de fenômenos no tempo e espaço (SOARES-FILHO e HISSA, 2010).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo envolve todo o território do estado de Rondônia, localizado entre os meridianos 66° 37' e 60° 44' de longitude Oeste e os paralelos 7° 59' e 13° 42' de latitude Sul. O tamanho total do Estado é de 237.590 Km<sup>2</sup>, representando aproximadamente 4,5% da Amazônia Legal (Figura 4).

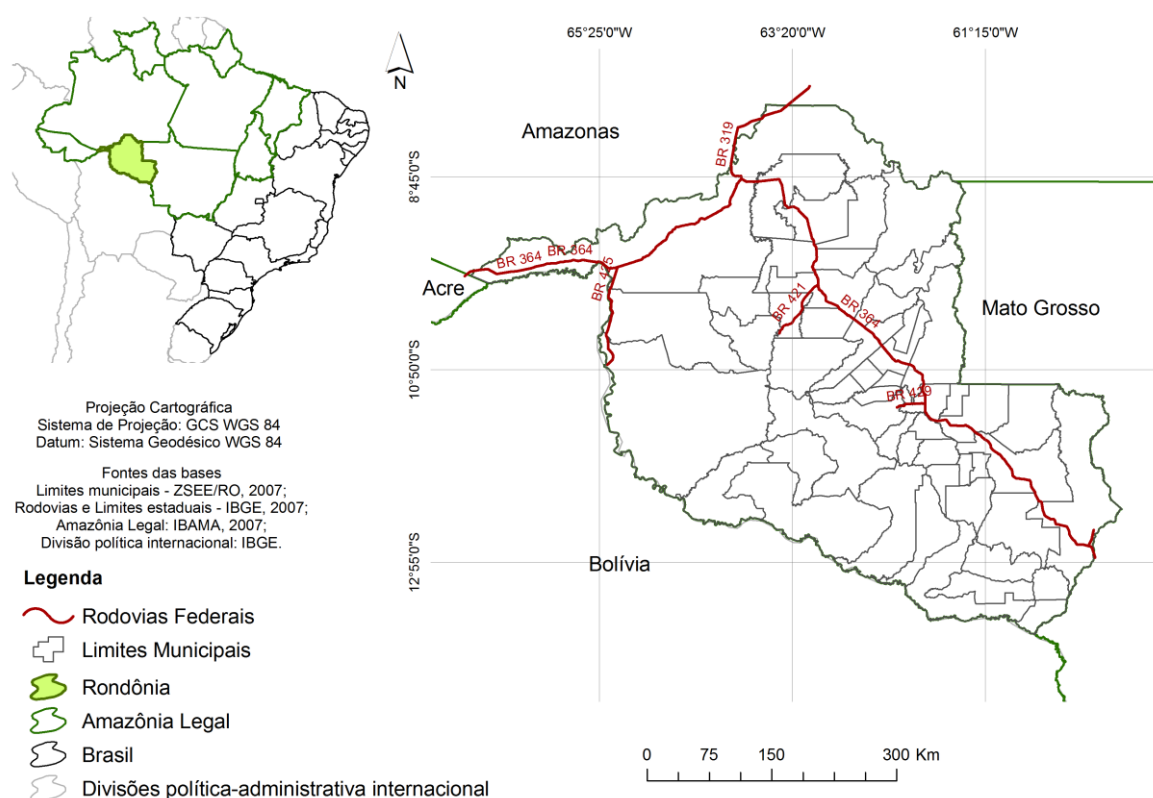


Figura 4 - Mapa de localização do Estado de Rondônia.

As áreas protegidas (Unidades de Conservação e Terras Indígenas) ocupam aproximadamente 38% do estado de Rondônia. Ao todo são 81 áreas, divididas entre 20 Terras Indígenas, 23 Áreas de Proteção Integral e 38 Áreas de Uso Sustentável (RONDÔNIA, 2007).

Na região, o clima predominante é o equatorial quente úmido, com chuvas entre os meses de setembro e maio, anualmente o total pluviométrico excede os 2.000 mm (BRASIL, 1978).

Os principais solos presentes são: Aluviais, Cambissolos, Glei, Hidromórficos, Concrecionários, Latossolos, Orgânicos, Podzólicos, Plintossolos, Areias, Litólicos, Terras Roxas e Planossolos (RONDÔNIA, 2007).

As principais formações vegetais presentes em Rondônia são: Floresta Estacional Semidecídua, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Densa, Savana e Formações Pioneiras de Influência Fluvial (RONDÔNIA, 2007).

Neste estudo, um dos elementos considerados na análise da dinâmica espacial do desmatamento foi a política de divisão do Estado em zonas com vocação e diretrizes ecológico-econômicas específicas, estabelecidas legalmente pelo ZSEE-RO, apresentado na Figura 5.

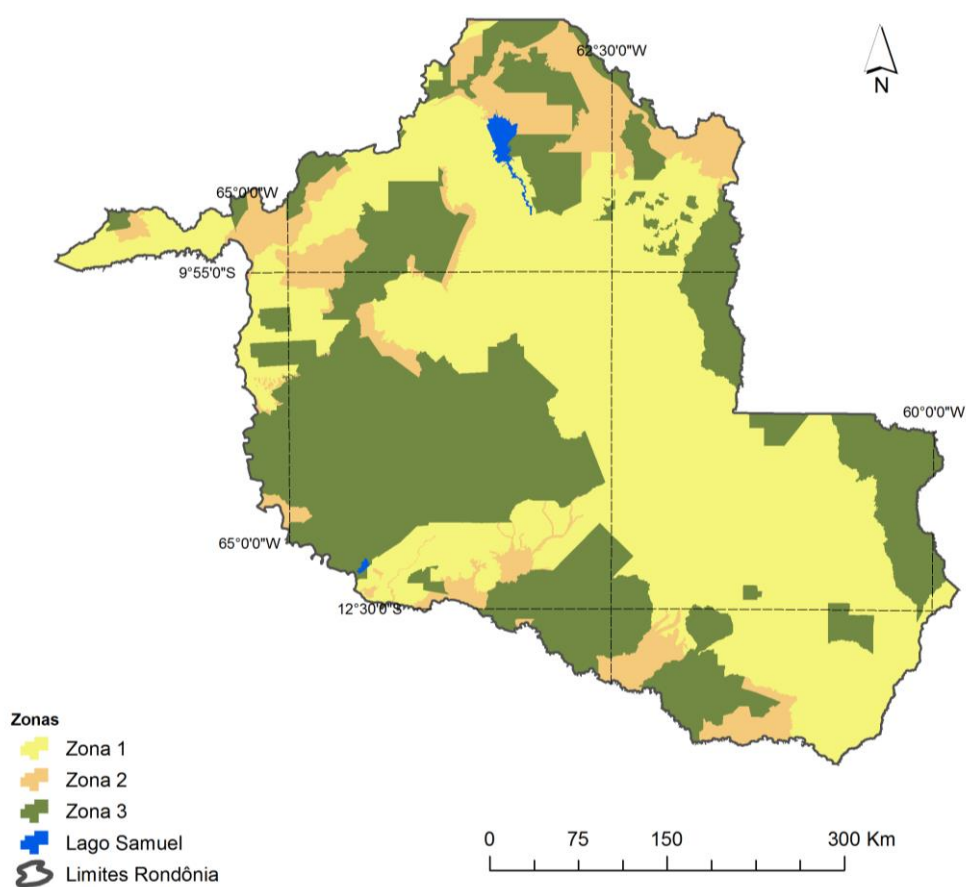


Figura 5 - Mapa das três grandes zonas do Estado de Rondônia (RONDÔNIA, 2007).

No zoneamento de Rondônia, a zona 1 envolve áreas de uso agropecuário, agroflorestal e florestal, a zona 2 áreas destinadas para uso especial, com manejo sustentável, como ecoturismo e extrativismo e a zona 3 áreas institucionais, constituídas por áreas protegidas de uso restrito e controlado (RONDÔNIA, 2007).

## 3.2 MATERIAL

Os dados temáticos contendo o limite estadual, os limites municipais, as estradas, os rios e as áreas protegidas, em formato vetorial, foram obtidos do Governo de Rondônia, oriundos da base de dados do ZSEE-RO, em escala de 1:250.000 e sistema de coordenadas UTM, Datum SAD-69.

Modelos Numéricos de Elevação Digital derivados das imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), disponibilizadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) foram utilizados para gerar mapas de declividade e altitude para toda a área de estudo.

Os limites de microbacias hidrográficas do estado de Rondônia, em escala 1:250.000, disponibilizados pela Agência Nacional de Água (ANA) foram utilizados para definir regiões na modelagem do desmatamento.

Os dados de desmatamento para o estado de Rondônia foram disponibilizados pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM) do estado de Rondônia e pelo Programa de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (PRODES-INPE).

Os aplicativos computacionais utilizados para manipulação e geração dos resultados deste estudo foram o software ArcMap®, que é a aplicação central do ArcGIS®, versão 9.3, e o software DINAMICA EGO, versão 1.8.9, um programa de domínio público, com plataforma de modelagem, desenvolvido pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (SOARES-FILHO et al., 2013).

## 3.3 MÉTODOS

Para a modelagem do desmatamento futuro no estado de Rondônia foram necessárias diferentes etapas metodológicas, envolvendo a análise das acurácias dos dados de desmatamento do PRODE-INPE e SEDAM, o processamento dos dados de entrada do modelo e modelagem espacial do desmatamento futuro no DINAMICA EGO.

### 3.3.1 Análise das acurácias dos mapas de desmatamento do PRODES-INPE e SEDAM

O mapeamento do desmatamento no estado de Rondônia conduzido pela SEDAM foi baseado em interpretação visual de imagens do satélite *LANDSAT TM5*. Para isso,

todos os polígonos de novos desmatamentos observados sobre imagens *LANDSAT* TM5 foram digitalizados anualmente em tela de computador e armazenados e disponibilizados em formato vetorial *shapefile*, classificados em duas classes: desmatamento e floresta nativa remanescente. Os dados do desmatamento do PRODES foram disponibilizados e adquiridos no sítio da Internet do INPE (<http://www.inpe.br/>). O PRODES também se baseou em imagens do satélite *LANDSAT* TM5, disponibilizando seus dados em formatos vetorial (*shapefile* e *spring*) e matricial (*geotiff*).

O PRODES desenvolveu para o mapeamento do desmatamento na Amazônia uma metodologia própria, baseada em frações de imagens (sombra, solo e vegetação) derivadas da Análise Linear de Mistura Espectral de imagens *LANDSAT* TM5, seguida pela segmentação em campos homogêneos das imagens das frações solo e de sombra e na aplicação de classificação não-supervisionada para mapear as classes de uso da terra de interesse (desflorestamento do ano, florestas remanescentes, etc.) (Câmara et al., 2006). Originalmente, os dados do PRODES contemplam sete classes: “Floresta”, “Desflorestamento até 1997”, “Incremento do Desflorestamento” (anual), “Não-Floresta” (outras formações vegetais, como o Cerrado), “Nuvens”, “Hidrografia” e “Resíduo” (desflorestamentos não detectados ocorridos em anos anteriores). Para efeito das análises no presente estudo, as classes foram agrupadas em “Desmatamento”, “Floresta”, “Hidrografia”, “Nuvens” e “Não-Floresta”. As classes “Desflorestamento até 1997”, “Incremento Anual do Desflorestamento” mapeado a cada ano e “Resíduos” foram agrupadas como “Desmatamento”. A Classe “Resíduo” foi incorporada como “Desmatamento” no ano imediatamente anterior ao do ano mapeado.

Para análise da acurácia dos dados de desmatamento foram selecionados duas cenas de imagens SPOT: cenas 1542 e 1913 localizadas no Estado conforme apresentado na Figura 6. Tais cenas foram utilizadas neste estudo como “verdade terrestre”. A escolha das duas cenas seguiram as seguintes condições: primeiro, disponibilidade das cenas e segundo, cenas localizadas em regiões de ocupações mais antigas (cena 1913) e com menores taxas atuais de desmatamento e regiões de ocupações mais recentes (cena 1542), com maiores taxas anuais de desmatamento no Estado, configurando-se assim, uma nova fronteira de ocupação. As imagens selecionadas foram adquiridas no ano de 2010, assim como os dados de desmatamento mapeados pela SEDAM e PRODES-INPE.

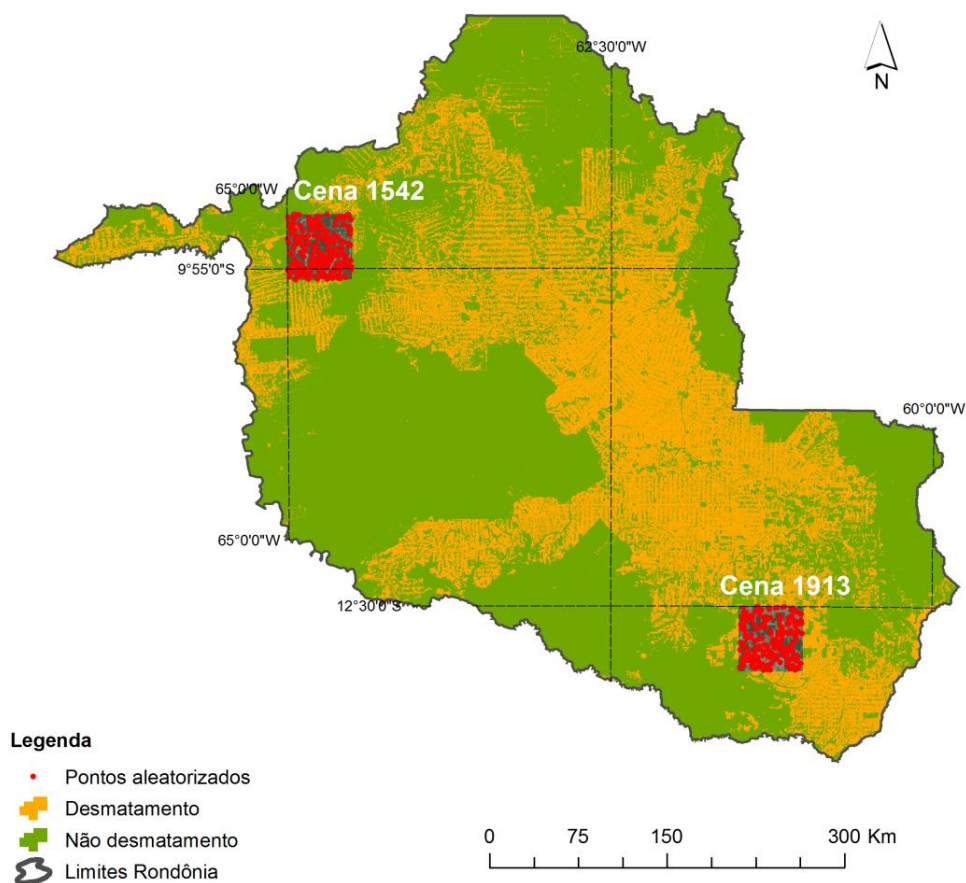


Figura 6 - Localização das cenas do satélite SPOT utilizadas e os pontos aleatorizados (cor vermelha) para avaliação da acurácia das classificações do desmatamento no estado de Rondônia.

As imagens SPOT utilizadas no presente estudo foram adquiridas pelo satélite SPOT 5, sensor *High-Resolution Geometric*, com resolução espacial de 2,5 m, incluindo as bandas 1, 2 e 3 e a banda pancromática, resolução radiométrica de 8 bits para todas as bandas. A área da cena 1913 foi de 280.481 hectares e da cena 1542 foi de 189.724 hectares. Estas imagens foram disponibilizadas pela SEDAM exclusivamente para esta análise.

Nas duas cenas SPOT foram aleatorizados 400 pontos para posterior checagem da acurácia dos mapeamentos da SEDAM e PRODES-INPE (Figura 6). Na sequência, os pontos aleatorizados foram checados sobre as imagens SPOT e comparados com as classes definidas pelo PRODES-INPE e SEDAM. Após a verificação das classes (desmatado e não desmatado) correspondentes a cada ponto aleatorizado, a quantidade de erros e acertos por classe foi inserida em duas matrizes de confusão, comparando a referência (imagens SPOT) e a classificação realizada pelo PRODES-INPE e pela SEDAM.



A partir da utilização da matriz de confusão foram então estimadas a exatidão global (Equação 1) e o coeficiente *Kappa* (Equação 2) (CONGALTON; GREEN, 1999).

$$EG = \frac{TA}{n} \times 100 \quad (1)$$

onde:

EG = exatidão global,

TA = total de acertos,

n = número total de pontos amostrados.

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})} \quad (2)$$

onde:

K = coeficiente *Kappa*,

N = número total de pontos amostrados,

r = número de linhas da matriz de erro,

$x_{ii}$  = valor na linha i e coluna i,

$x_{+i}$  = total da coluna i,

$x_{i+}$  = total da linha i.

Para avaliação do coeficiente *Kappa* foi utilizada a Tabela 1.

Tabela 1. Classes do coeficiente *Kappa*.

Coeficiente <i>Kappa</i>	Exatidão
< 0	Péssimo
0 – 0,2	Ruim
0,21 – 0,4	Razoável
0,41 – 0,6	Moderada/ Boa
0,61 – 0,8	Muito Boa
0,81 – 1,0	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

Para a escolha do mapa de desmatamento utilizado como dados de entrada na modelagem do desmatamento futuro foi adotado o que apresentou maior acurácia global.

### 3.3.2 Dados de entrada do modelo

Os procedimentos para desenvolvimento do modelo utilizando o software DINAMICA EGO apresenta a interface gráfica esquematizado na Figura 7.

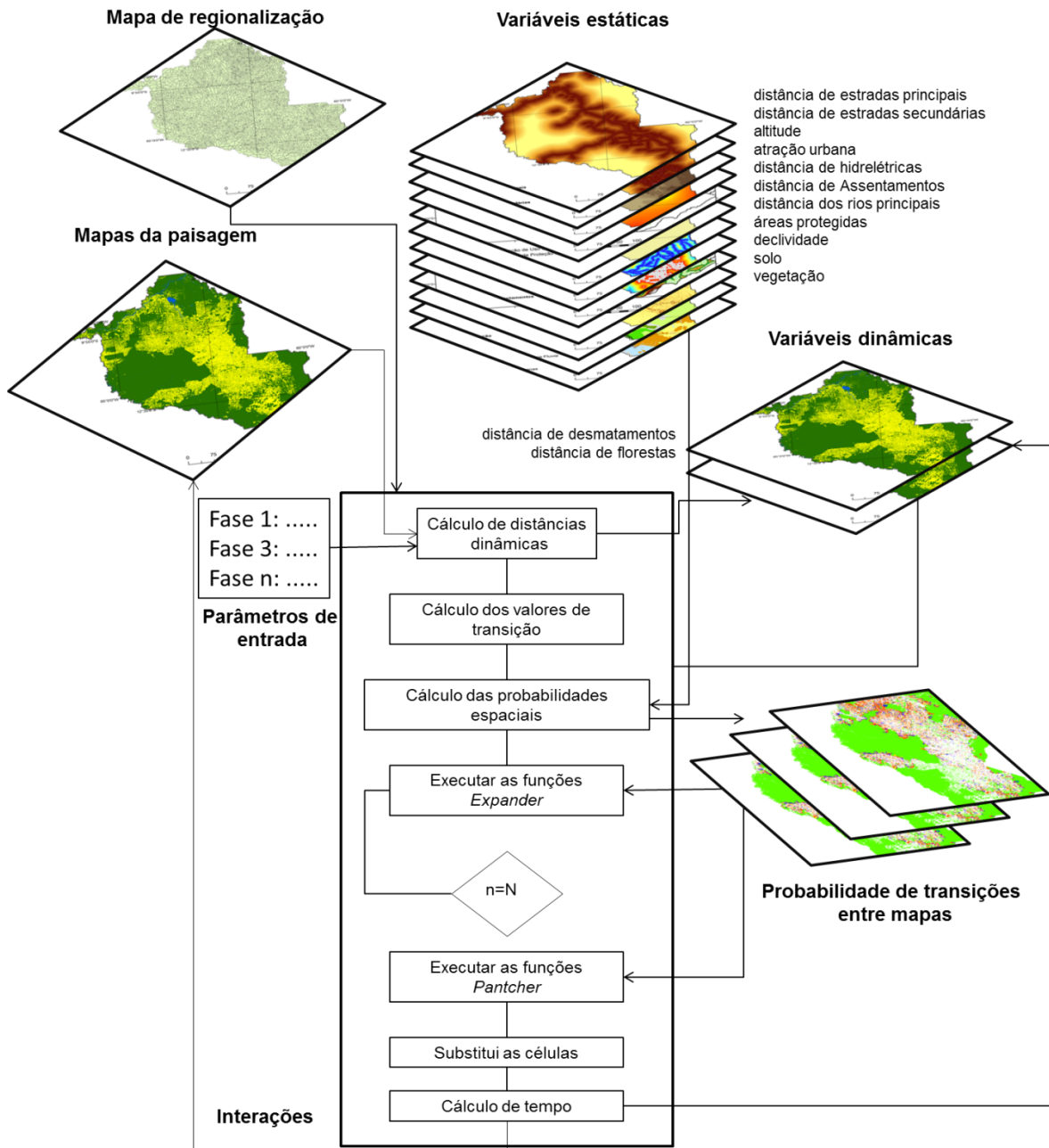


Figura 7 - Fluxograma do programa DINAMICA EGO.

Fonte: Adaptada de Soares-Filho, (2002).

No processo de modelagem, um dos requisitos básicos é que todos os mapas de entrada ao modelo estejam exatamente à mesma resolução e mesma coordenada, resultando numa matriz com mesmo valor de colunas e linhas.

### 3.3.2.1 Preparação dos mapas da paisagem inicial e final

Os mapas do desmatamento inicial e final de entrada do modelo foram utilizados para obtenção da taxa média anual de conversão do desmatamento no período desejado e juntos com as variáveis explicativas do desmatamento foram utilizados para calcular os valores de transição (pesos de evidências).

Na calibração do modelo de desmatamento para os cenários tendencial e otimista foram utilizados os mapas de desmatamento inicial e final equivalente aos anos de 2008 e 2011, respectivamente (Figura 8). Os anos 2008 e 2011 foram selecionados depois de uma avaliação do desmatamento dos últimos anos no estado de Rondônia. O total desmatado em cada ano foi: 2007 (225.000 ha), 2008 (128.000 ha), 2009 (60.000 ha), 2010 (42.000 ha) e 2011 (73.000 ha).

Para a estimativa da transição (incrementos) das áreas desmatadas no período de 2008 a 2011 foram utilizados os dados dos desmatamentos observados para os anos 2009, 2010 e 2011. Considerou-se que as taxas anuais deste período melhor representavam os cenários tendencial e otimista para efeito de modelagem futura. Observou-se também que os dados de cada ano não apresentaram valores com grande variância em relação média dos três anos.

Para o cenário pessimista foram utilizados os mapeamentos do desmatamento dos anos de 2006 e 2011 (Figura 8) como dados de entrada inicial e final do modelo, respectivamente. Este período apresentou maior taxa de desmatamento que o período de 2008 a 2011, o que justifica sua utilização na construção do “cenário pessimista”, influenciando diretamente a taxa média anual de desmatamento e os pesos de evidências, utilizados para modelagem do desmatamento futuro.

Para a geração dos mapas inicial e final de desmatamento, os mapas vetoriais (polígonos) foram convertidos para o formato matricial com resolução espacial de 120 x 120 m para cada pixel, abrangendo todo o território do estado de Rondônia. Em tais mapas foram classificadas as áreas desmatadas, de hidrografia e a vegetação nativa remanescente.

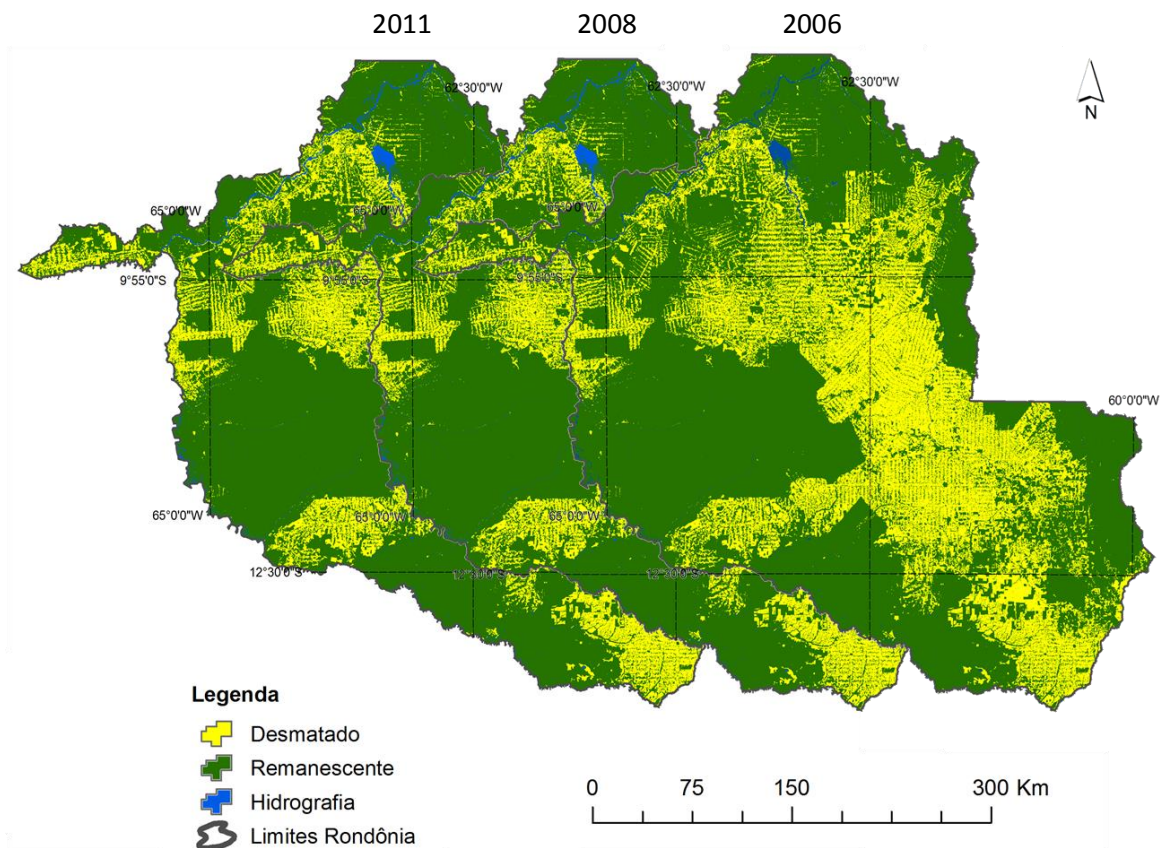


Figura 8 - Dinâmica do uso e cobertura da terra do estado de Rondônia em 2011, 2008 e 2006.

### 3.3.2.2 Preparação do mapa de regionalização

Para considerar características locais de cada sub-região da área de estudo foi utilizado um mapa de microbacias do estado de Rondônia (Figura 9). O mapa inicialmente se encontrava no formato vetorial e foi convertido, utilizando ferramentas disponíveis no ArcGis® para o formato matricial, adotando-se uma resolução espacial de 120 x 120 m para cada pixel.

A partir do mapa de limites das microbacias foi empregado no DINAMICA EGO a regionalização por cada uma dessas unidades hidrográficas, o que permitiu definir uma sequência de operações aplicadas em regiões específicas no Dinamica EGO, modelando como resultado o contexto local influenciado por fenômenos particulares (SOARES-FILHOS et al., 2009).

As microbacias foram um conjunto de otobacias das áreas de contribuição dos trechos da rede hidrográfica codificadas segundo o método de Otto Pfafstetter para classificação de bacias. As microbacias utilizadas neste trabalho foram de nível 12,

segundo a classificação baseada numa numeração crescente a partir dos rios com drenagem diretamente para o mar, seguindo seus afluentes da jusante para montante. Ao todo no estado de Rondônia envolve 4.241 ottobacias de nível 12, com tamanho médio de 5.303 hectares (Figura 9).

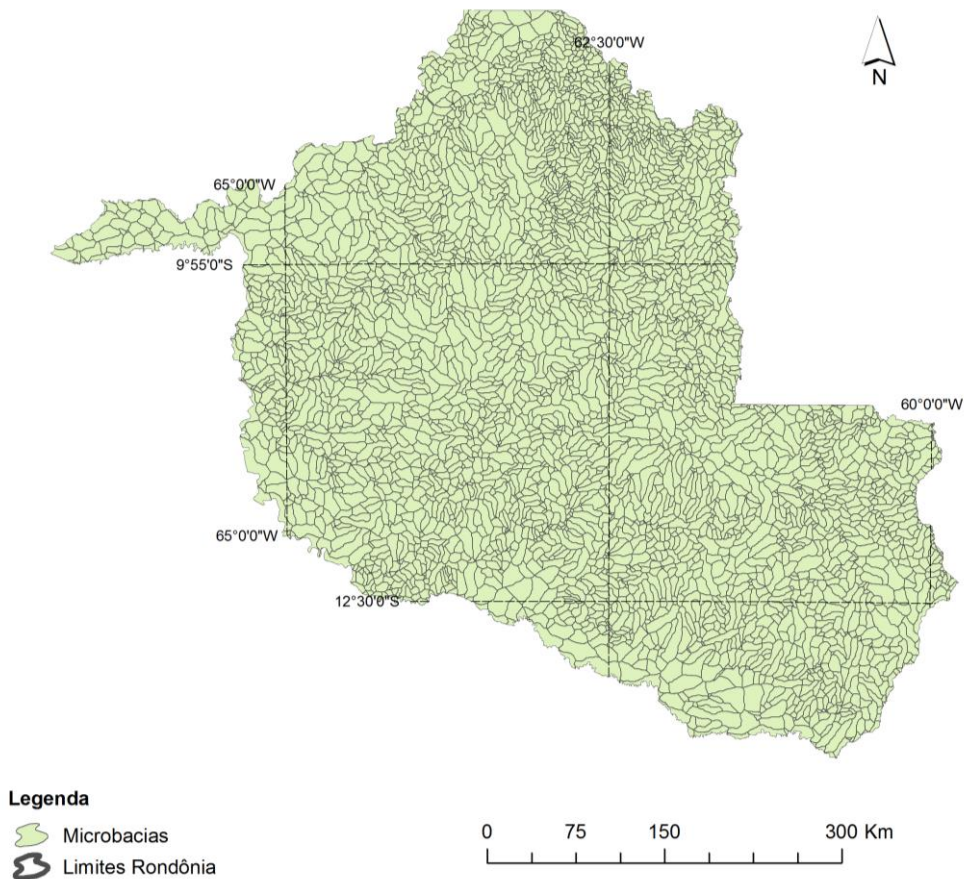


Figura 9 - Mapa de microbacias nível 12 do estado de Rondônia.

### 3.3.2.3 Preparação das variáveis do modelo

Os mapas das variáveis foram processados no ArcGis®, convertidos do formato vetorial para o formato matricial, com resolução espacial de 120 x 120 m para cada pixel.

No conjunto das variáveis estáticas categóricas foram utilizados os mapas de vegetação, solo e áreas protegidas. E, no conjunto das variáveis estáticas contínuas foram utilizados os mapas de distância de estradas principais, distância de estradas secundárias, distância dos rios principais, distâncias dos assentamentos, distância de hidrelétricas, atração urbana, altitude e declividade.

Os mapas de variáveis que tratam de distância foram construídos a partir de estimativas das distâncias Euclidianas, gerando mapas com distâncias contínuas, ou seja, cada pixel possui um valor específico que descreve uma distância no mapa em relação ao objeto de referência. Essas distâncias foram ajustadas e obtidas no próprio sistema DINAMICA EGO por calibração automática baseado no algoritmo de generalização de linhas.

Para os mapas de altitude e declividade foram determinadas as diferentes alturas e desníveis de terrenos. Por fim, o mapa de distância das áreas desmatadas, que é considerada uma variável dinâmica, onde a cada período (ano) de execução do modelo, o mapa é recalculado e a variável atualizada.

A seguir são apresentadas as variáveis utilizadas na modelagem do desmatamento futuro para o estado de Rondônia:

a) Vegetação

O mapa temático de vegetação (Figura 10) constitui-se do arranjo de classificação das principais tipologias florestais do estado de Rondônia (RONDÔNIA, 2007).

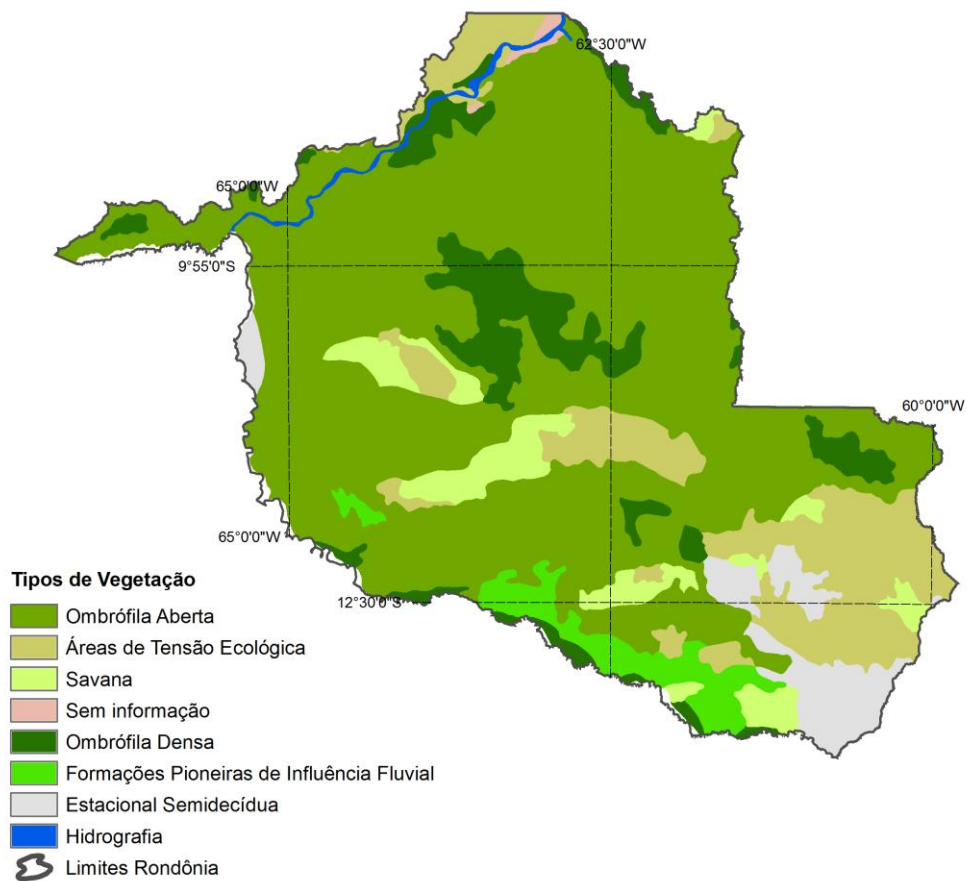


Figura 10 - Mapa da variável estática de tipologias florestais no estado de Rondônia.

## b) Solos

O mapa temático de solos (Figura 11) constitui-se do arranjo de classificação das principais classes dos solos presente no estado de Rondônia (RONDÔNIA, 2007).

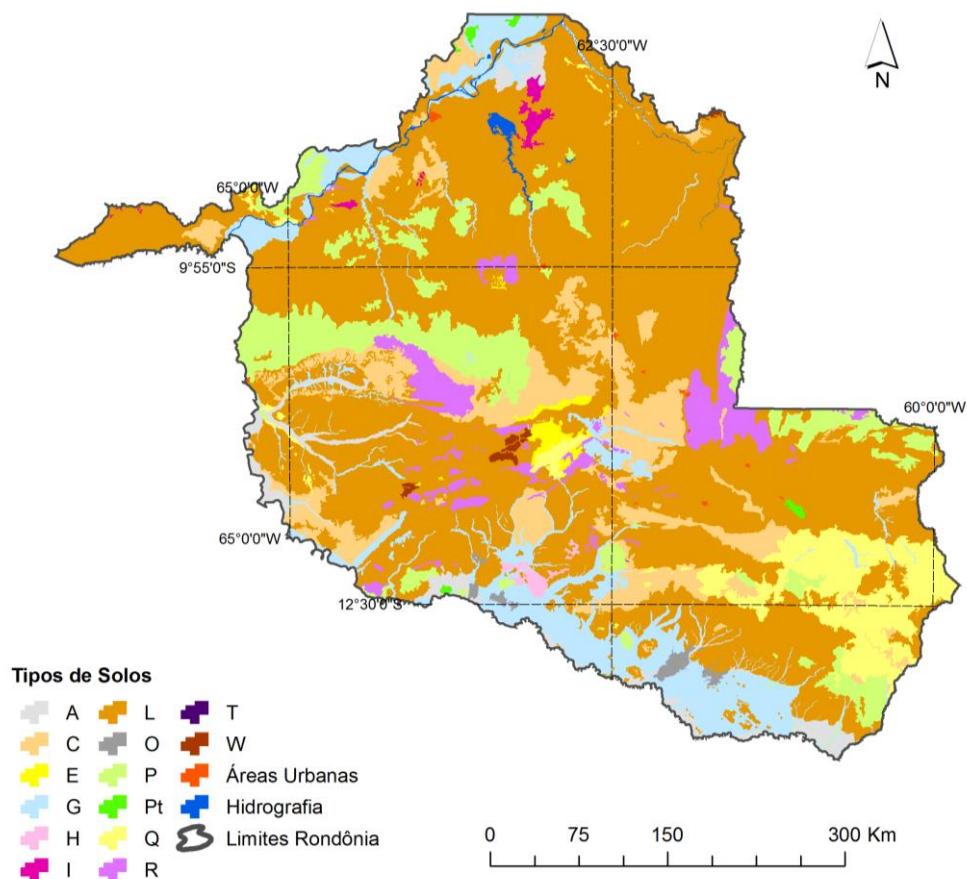


Figura 11 - Mapa da variável estática das classes de solos<sup>1</sup> no estado de Rondônia.

### c) Áreas protegidas

No mapa temático das áreas protegidas (Figura 12) foram incluídas as Terras indígenas, Unidades de conservação de Uso Sustentável e Unidade de Conservação de Proteção Integral (RONDÔNIA, 2007).

<sup>1</sup> Siglas da legenda, significados: **A** - Solos Aluviais Distróficos e Eutróficos, **C** - Cambissolos Distróficos e Eutróficos, **E** - Regossolos Distróficos e Eutróficos, **G** - Solos Glei Distróficos e Eutróficos, **H** - Solos Hidromórficos Cinzentos, **I** - Solos Concrecionários Distróficos, **L** - Latossolos, **O** - Solos Orgânicos, **P** - Podzólicos, **Pt** - Plintossolos, **Q** - Areias, **R** - Solos Litólicos Distróficos e Eutróficos, **T** - Terras Roxas Eutróficas e **W** - Planossolos Distróficos.



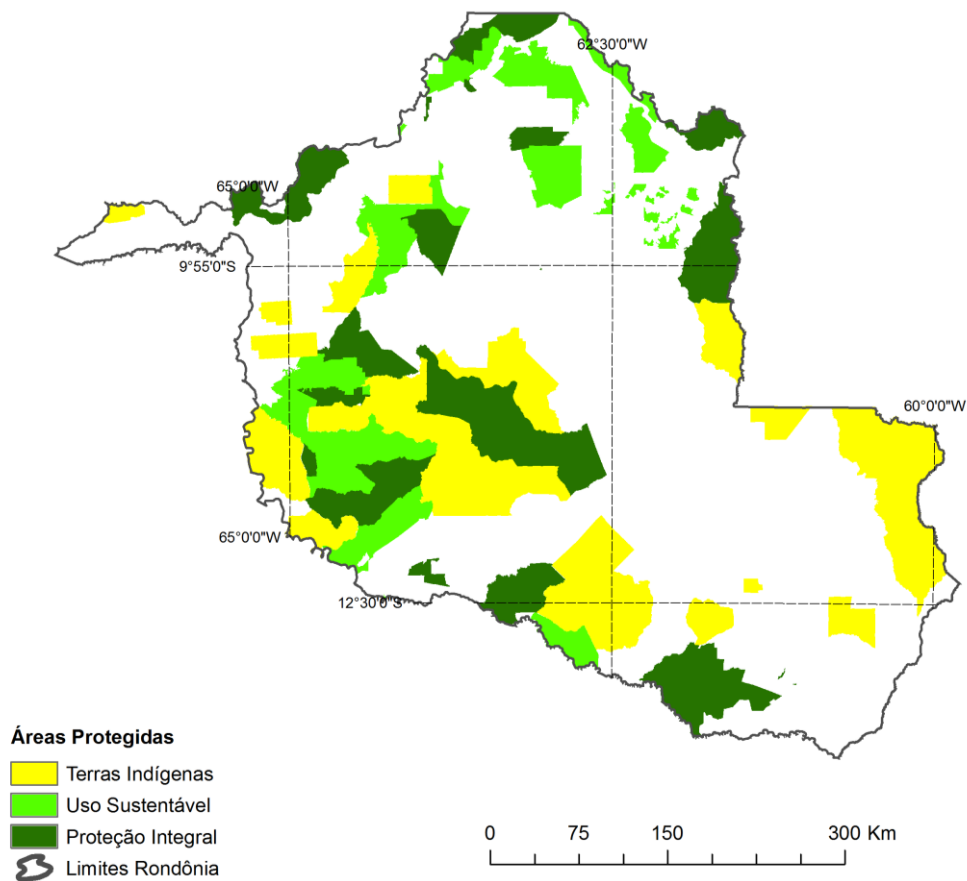


Figura 12 - Mapa da variável estática de áreas protegidas no estado de Rondônia.

d) Distância da rede viária

Para distância da rede viária, que constituem no conjunto de estradas no estado de Rondônia foram divididos em dois mapas: um contendo as distâncias das estradas principais (BR's e Rodovias) e outro contendo as distâncias das estradas secundárias - as estradas de terra (Figura 13).

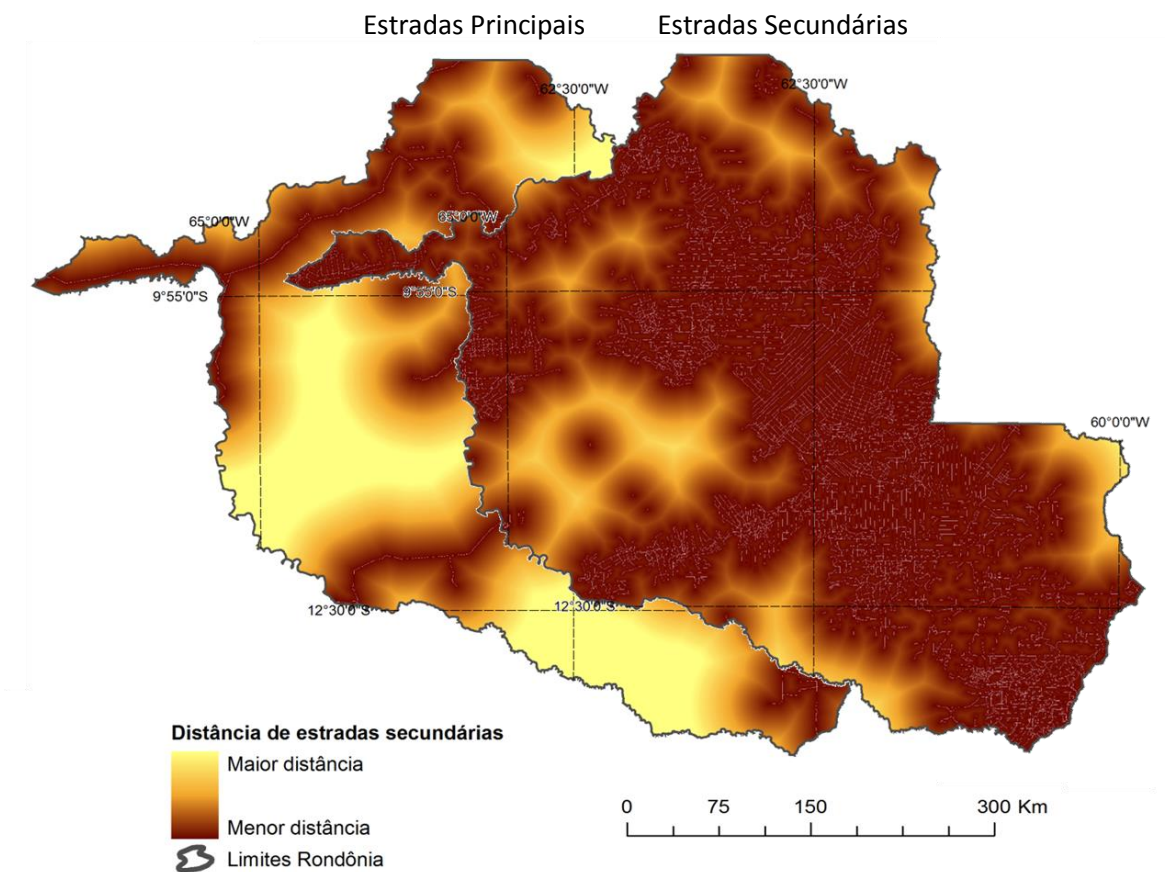


Figura 13 - Mapas das variáveis estáticas distância das estradas principais e estradas secundárias no estado de Rondônia.

e) Distância da rede hidrográfica

O mapa temático de distância de rede hidrográfica (Figura 14) constitui-se do arranjo dos principais rios no estado de Rondônia.

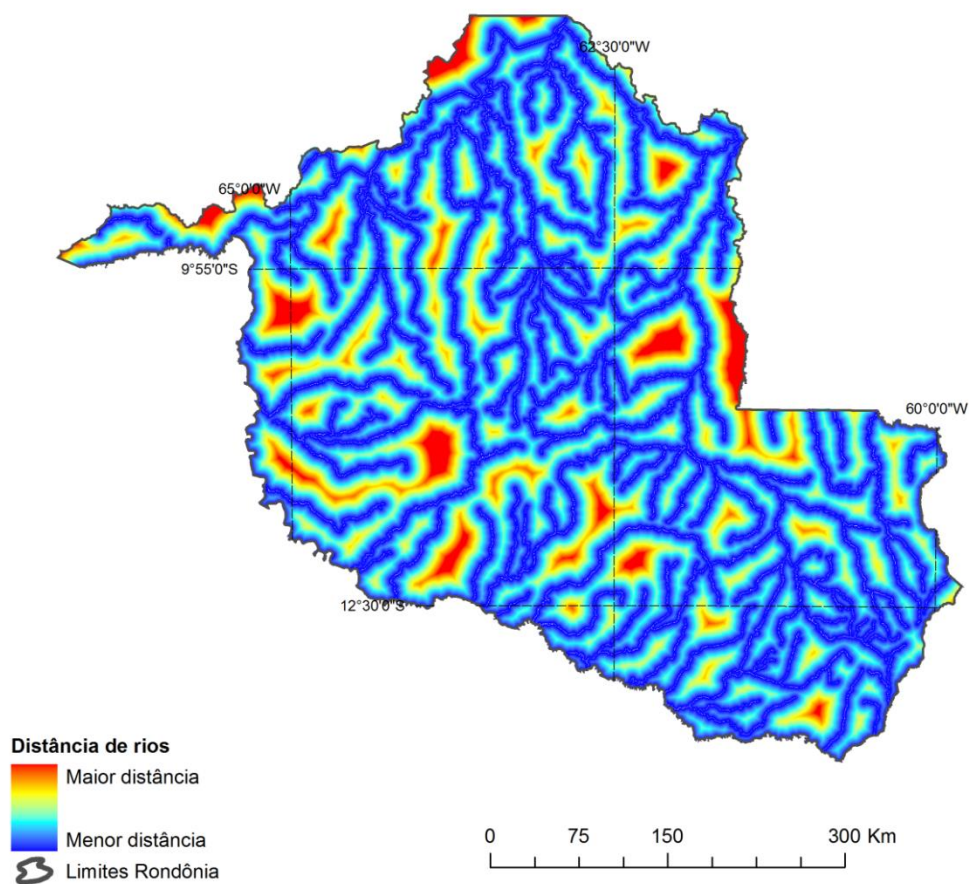


Figura 14 - Mapa da variável estática de distância dos rios principais no estado de Rondônia.

f) Distância dos centros urbanos (atração urbana)

O mapa temático de atração urbana (Figura 15) foi construído a partir das sedes municipais no estado de Rondônia. Diferente dos mapas de distância, o mapa de atração urbana apresenta valores maiores nos pixels próximos às cidades, diminuindo progressivamente conforme se afasta desses centros urbanos.

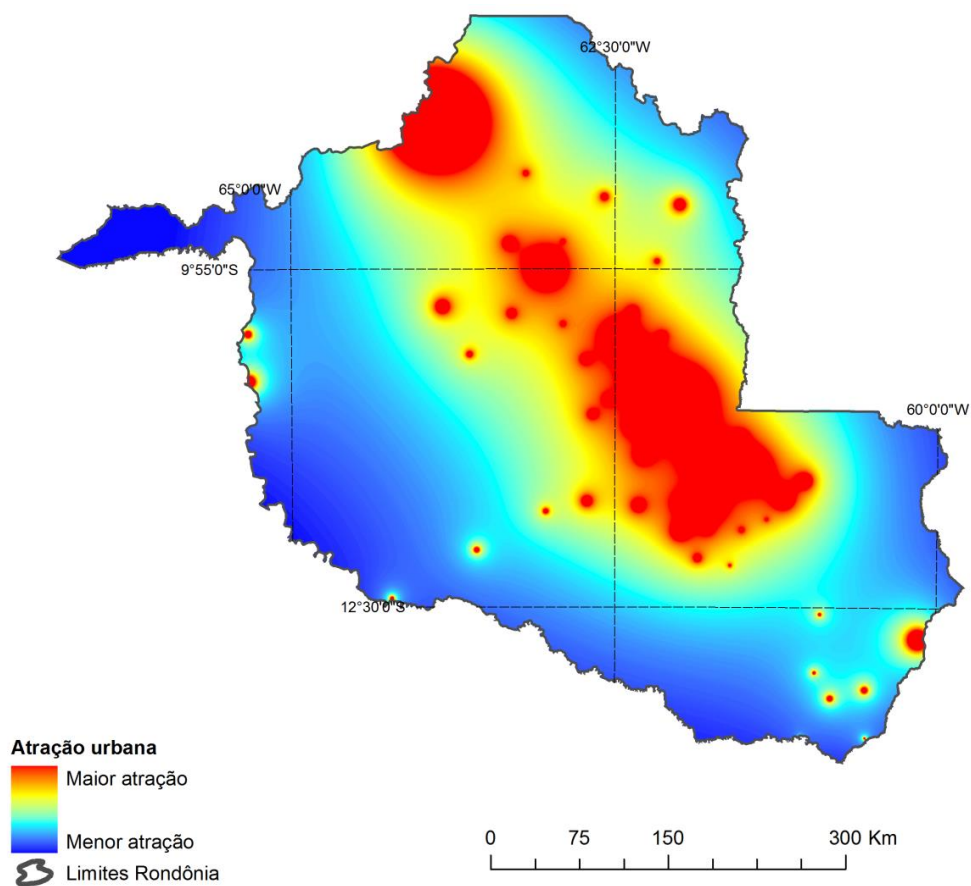


Figura 15 - Mapa da variável estática de atração urbana no estado de Rondônia.

g) Distância de Lotes e Assentamentos Rurais

O mapa temático de distância dos Lotes e Assentamentos (Figura 16) é composto pelo arranjo das propriedades particulares em geral e Assentamentos no estado de Rondônia.

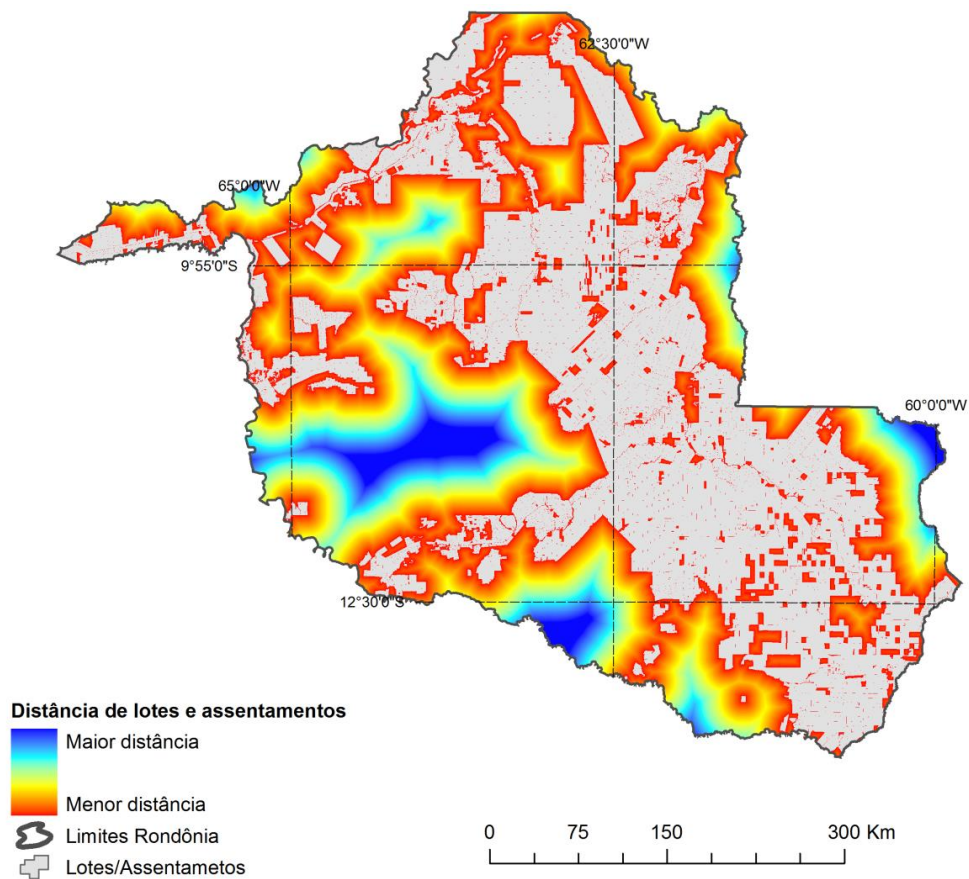


Figura 16 - Mapa da variável estática de distância de Lotes e Assentamentos no estado de Rondônia.

#### h) Distância das hidrelétricas

O mapa temático de distância de hidrelétricas (Figura 17) é representado por três hidrelétricas: Samuel (que teve sua construção iniciada em 1982 e o término em 1996), Jirau e Santo Antônio (ambas em fase de construção).

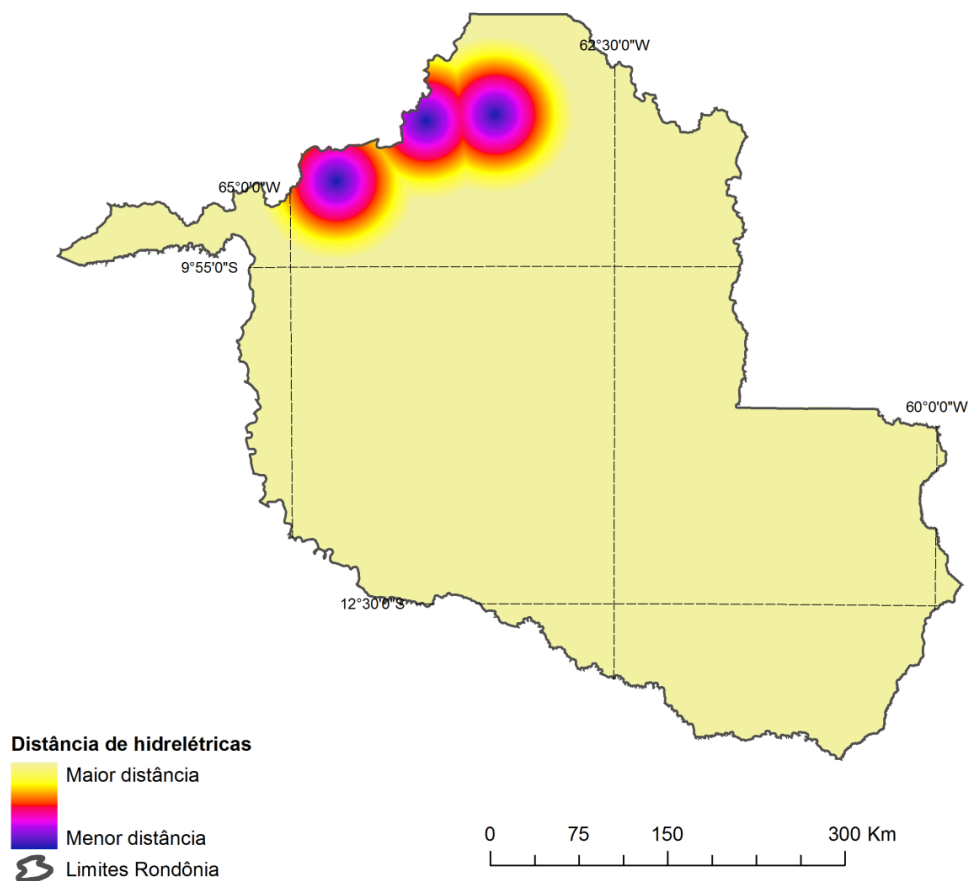


Figura 17 - Mapa da variável estática de distância das principais hidrelétricas no estado de Rondônia.

i) Altitude

O mapa de altitude foi elaborado a partir de Modelos de Elevação Digital SRTM da base de dados de relevo e da topografia do Brasil, disponibilizado pela EMBRAPA. No estado de Rondônia, as altitudes variam de 9 m a mais de 1.040 m (Figura 18).

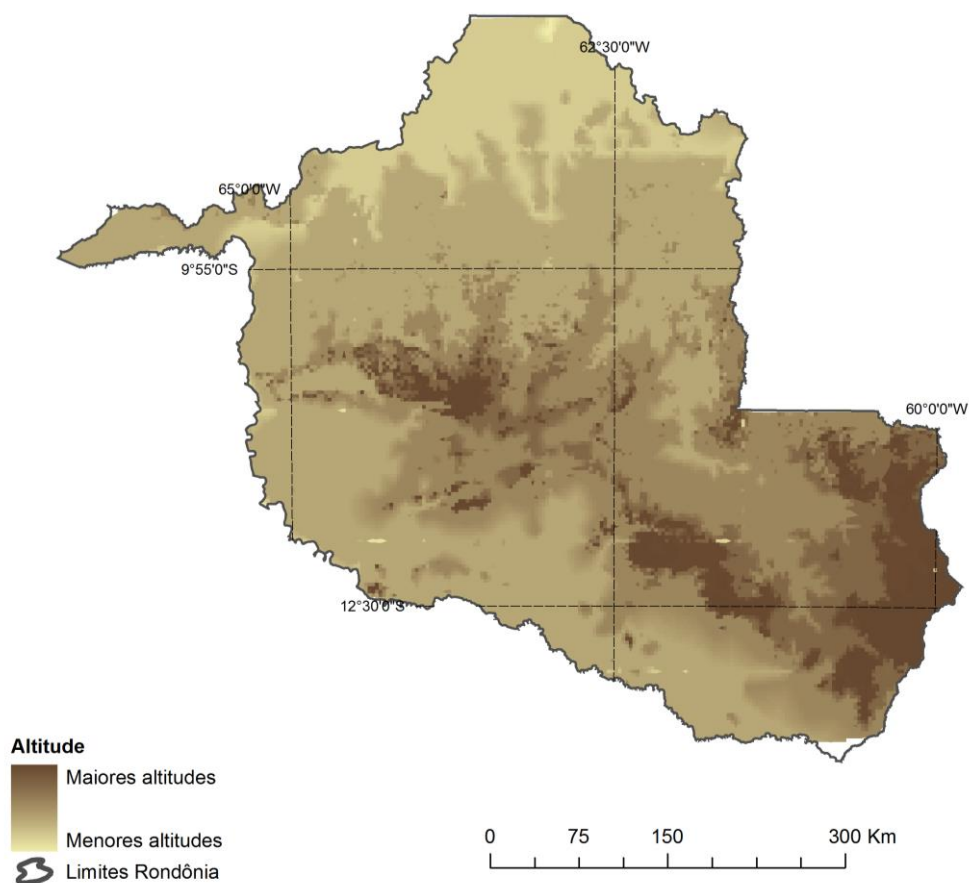


Figura 18 - Mapa da variável estática de altitude no estado de Rondônia.

#### j) Declividade

O mapa de declividade foi, assim como o de altitude, obtido a partir de Modelos de Elevação Digital SRTM. As declividades estimadas para o estado de Rondônia variam de 0 a 60 graus (Figura 19).

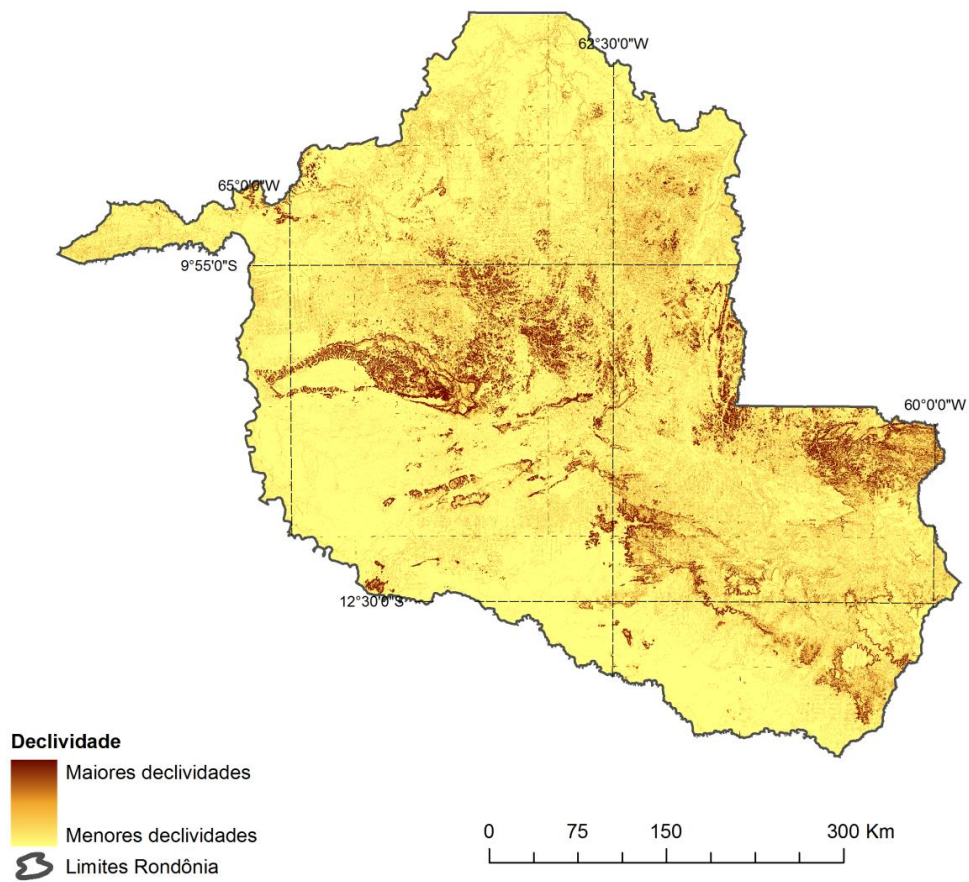


Figura 19 - Mapa da variável estática de declividade no estado de Rondônia.

### 3.3.3 Modelagem espacial do desmatamento no DINAMICA EGO

Para obtenção dos cenários simulados e projetados foram realizados os procedimentos em cinco passos (Figura 20). Visando simplificar, o processo de modelagem do desmatamento foi desenvolvido e processado em modelos separados.



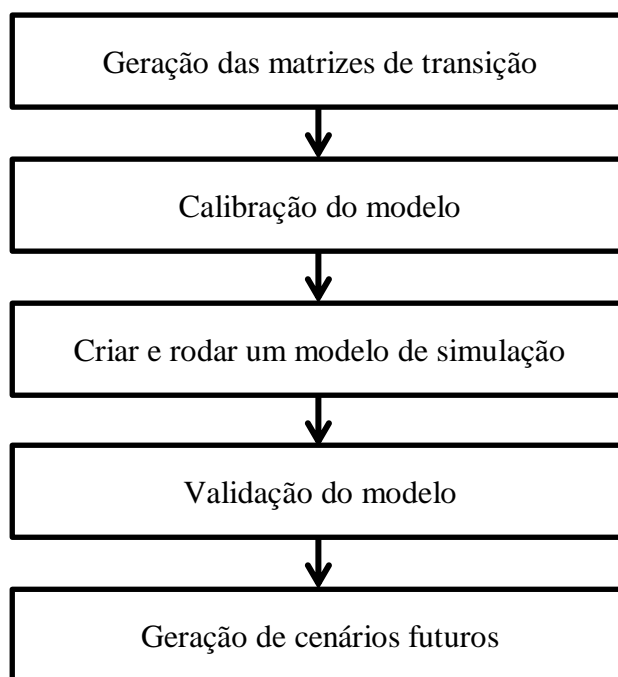


Figura 20 - Etapas utilizadas para obtenção dos cenários simulados e projetados do desmatamento em Rondônia utilizando o sistema Dinamica EGO.

Fonte: Adaptado de Soares-Filho et al., (2009).

Cada etapa explícita na Figura 20 foi responsável por produzir um resultado que funcionou como um dado de entrada das etapas seguintes na modelagem.

### 3.3.3.1 Geração da matriz de transição

A matriz de transição compreende o processo de estimativa das taxas de transição ou mudanças na paisagem ocorridas entre o ano inicial e final do período de estudo. No presente estudo, as taxas de transição corresponderam às taxas de desmatamento observadas em período de interesse e utilizadas para estimar o desmatamento em anos futuros.

Para a estimativa das taxas de transição utilizou-se a ferramenta *Determine Transition Matrix*, um *functor* da modelagem no Dinamica EGO, que permite estimar as taxas denominadas “*Single Step*” e “*Multiple Step*” (SOARES-FILHO et al., 2009). O termo “*Single Step*” refere-se à matriz de transição ocorrida durante todo período de tempo da análise (global) e o termo “*Multiple Step*” refere-se a matriz de transição gerada por intervalo de tempo durante o período da análise (anual).

### 3.3.3.2 Calibração do modelo

No processo de calibração do modelo foram estimadas faixas de distâncias para as variáveis estáticas contínuas e para cada uma dessas faixas calculado os pesos de evidências em relação ao objeto de referência dos mapas de variável.

A variável dinâmica e as variáveis estáticas contínuas requerem os parâmetros de classificação conforme ilustrado na Figura 21. Os parâmetros definidos foram: o incremento mínimo, que no caso de mapas de distância são equivalente à resolução das células (120 metros); os deltas máximos e mínimos; e ângulos de tolerância, que medem o ângulo de desvio a partir de uma reta (SOARES-FILHOS et al., 2009).

Para a estimativa das variáveis estáticas contínuas (declividade e altitude) foram reclassificadas em intervalos ou faixas de interesse. No caso da variável declividade (estimada em graus), optou-se por um incremento de 1° para cada intervalo. Para a variável altitude (em metros), o incremento definido foi de 10 m (Figura 21).

Quanto as variáveis estáticas categóricas, essas foram definidas apenas como sendo de categoria (Figura 21) e o calculado do peso evidência foi feito para cada tipo específico de categoria no mapa.

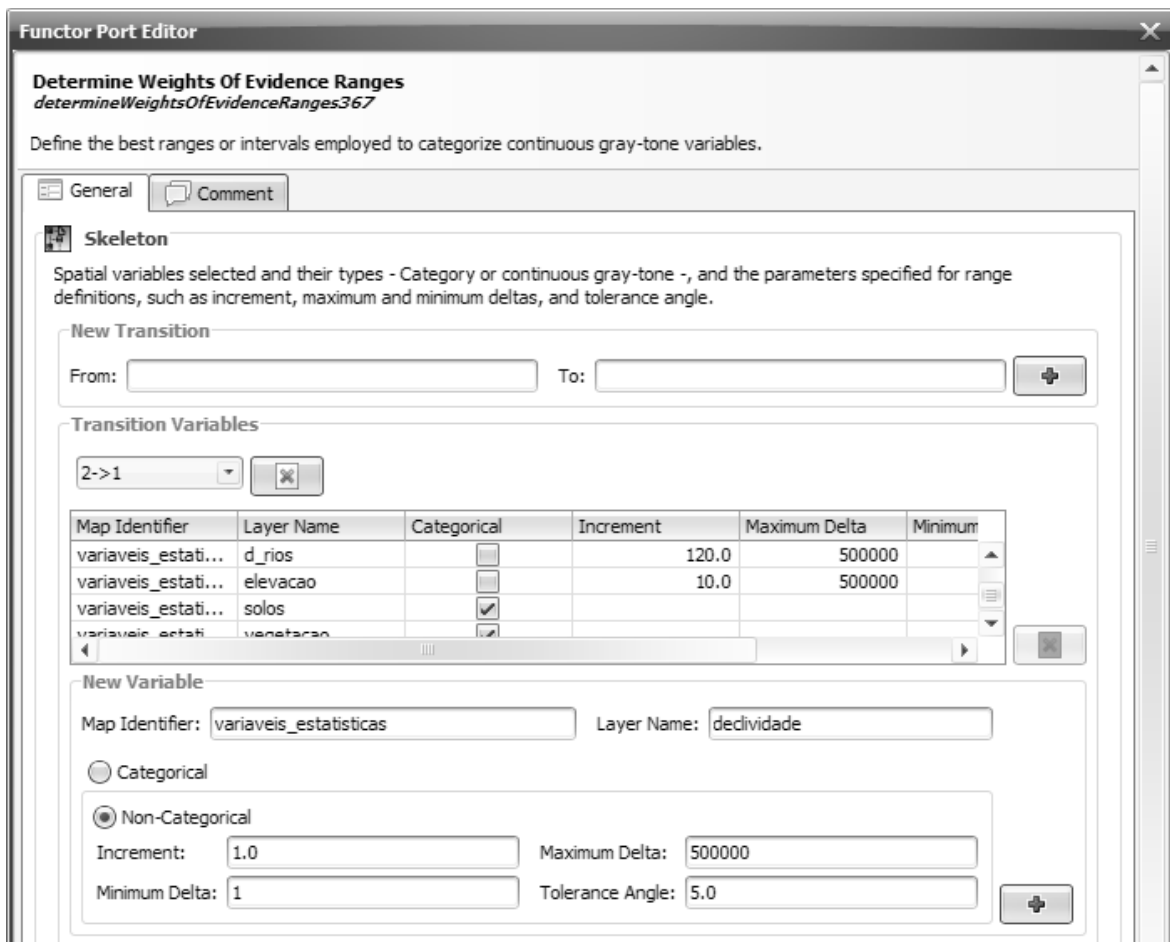


Figura 21 - Menu principal do *functor* do Dinamica EGO onde são definidos os parâmetros para o processamento das faixas e cálculo dos pesos de evidência.

Tais pesos de evidências influenciam na favorabilidade e restrição do processo de uso de novas áreas de floresta.

### 3.3.3.3 Criar e executar o modelo de simulação do desmatamento

Nesta etapa, o DINAMICA EGO recebeu como entrada: i) a matriz de transição “*Multiple Step*”; ii) os pesos de evidências calculados; iii) o mapa de uso e cobertura da terra inicial; iv) os mapas de variáveis estáticas e; v) o mapa de microbacias do Estado de Rondônia.

O modelo apresenta duas funções na plataforma do programa DINAMICA EGO que são responsáveis pelo processo de transição das células de um estado a outro. As funções são “*expander*” e “*patcher*”. O “*Expander*” tem a função de expandir o desmatamento a partir das áreas já desmatadas e a função “*patcher*” de criar novas áreas de desmatamento.

É necessário definir o percentual de células que vão sofrer mudança em cada período de tempo do cenário por “*expander*” através da função “*modulate change matrix*”, ficando automaticamente ao programa providenciar o restante para a função “*patcher*”. Neste trabalho o percentual definido para “*expander*” foi de 70%, obtido através de sucessivos testes, até atingir um resultado que evidenciou um aparente melhor resultado espacial da simulação do desmatamento na área de estudo. Complementarmente foi necessário estabelecer no modelo à média, variância e isometria nas funções “*expander*” e “*patcher*”. Para “*expander*”, a média foi de 10 hectares, a variância de 20 hectares e a isometria de 1,5 e para “*patcher*”, a média foi de 8 hectares, a variância de 16 hectares e a isometria de 1,5. Esses valores foram definidos após testes e validações sucessivas

Após a definição dos parâmetros discutidos acima, o modelo foi executado gerando como saída um mapa simulado final para o ano de 2011. De forma paralela foi gerado também o mapa de probabilidade, indicando as áreas mais susceptíveis a serem desmatadas com base nos pesos de evidências dos mapas de variáveis.

#### 3.3.3.4 Validação do modelo

O processo de validação consiste em verificar a similaridade entre o mapa simulado e um mapa de referência, neste estudo foi o de uso e cobertura da terra simulado para o ano de 2011 e o mapa de desmatamento do ano correspondente, disponibilizado pela SEDAM.

Para validação foi utilizado o método da função de decaimento constante com janelas de tamanhos variáveis de 1x1 a 13x13 pixels. Este método é denominado similaridade *Fuzzy* em um contexto de vizinhança local estabelecido por Hagen (2003). É um método que pode ser implementado na plataforma do DINAMICA EGO.

Com o método de similaridade *Fuzzy* são gerados dois mapas de diferença, obtidos a partir dos mapas da paisagem inicial e final e o mapa simulado. Os diferentes tamanhos de janela percorrem os mapas de diferença obtendo o valor *Fuzzy* para cada célula central da janela, que é ajustado sempre para 1 ao passo que as células de mudança são achadas, sem importar com sua localização (Figura 22). Soares-Filho (2009) recomenda sempre escolher o menor valor de similaridade.

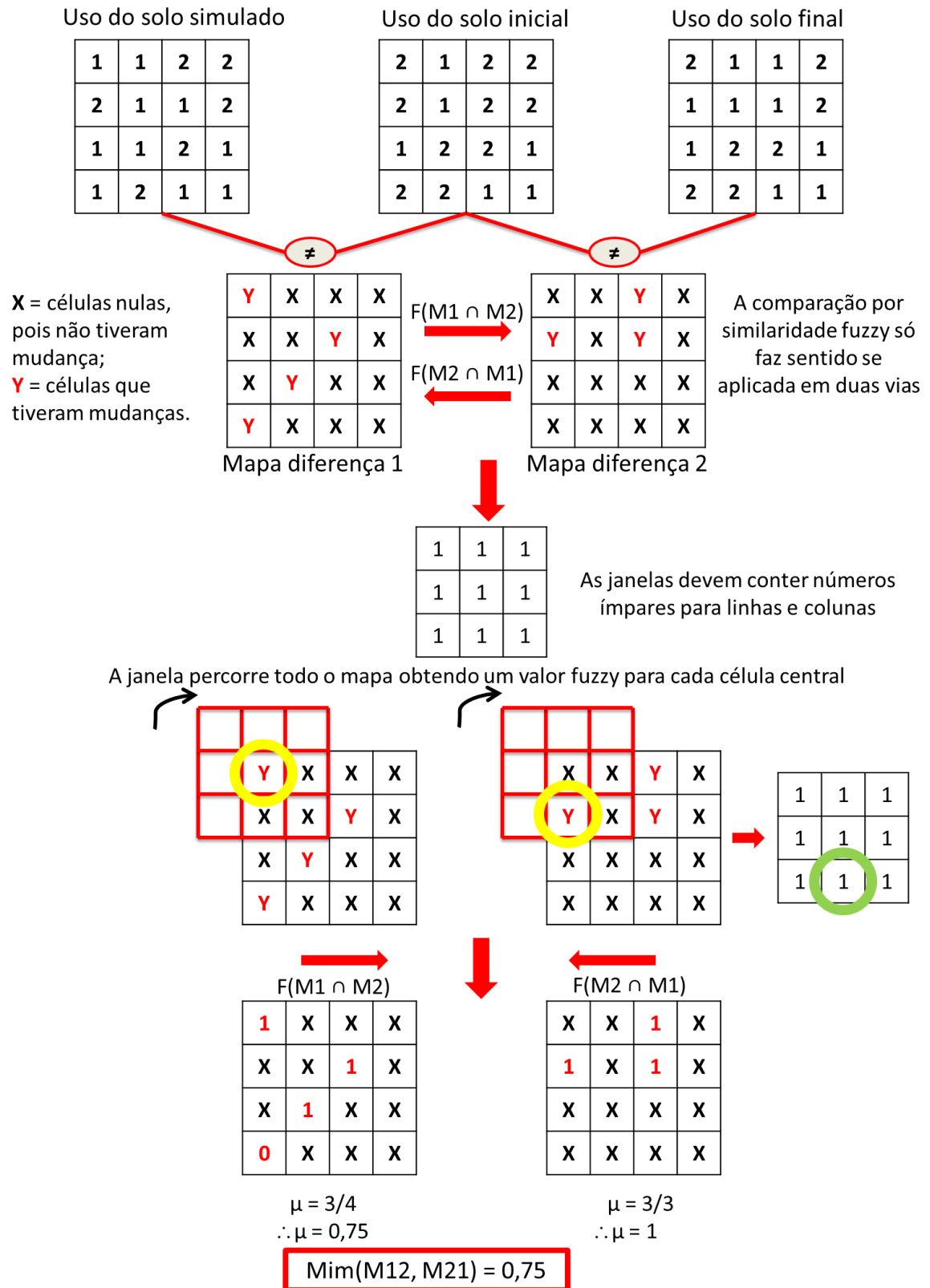


Figura 22 - Método de comparação *Fuzzy* usando mapa de diferenças e uma função de decaimento constante.

Fonte: Adaptado de Soares-Filho, (2009).

### 3.3.3.5 Obtenção dos cenários futuros

As tendências do desmatamento no estado de Rondônia foram projetadas para os três diferentes cenários:

**Cenário tendencial** - nesse cenário foram consideradas as perspectivas de manter os padrões atuais de desmatamento, sendo denominado de “o mesmo de sempre”. Em que foi utilizado como taxa média anual do desmatamento e para calibração dos pesos de evidências a série histórica de desmatamento ocorrida nos anos de 2009 a 2011;

**Cenário otimista** - nesse cenário foram consideradas as diretrizes de uso da terra propostas pelo ZSEE - RO. Assim, nas zonas 2 e 3 e numa faixa de 10 km no entorno das áreas protegidas não devem ocorrer desmatamentos, além de manter o limite de 80% de reserva legal nas propriedades privadas localizadas no contexto da zona 1.

A cada 5 anos, exceto 2011 a 2015, foi observado o desmatamento e o limite mínimo da reserva legal nas propriedades, ou seja, aquela propriedade que em 2015, 2020, 2025, assim sucessivamente até 2050, atingia o limite da reserva legal, ficaram impedidas de efetuar novos desmatamentos a partir daquele ano. As propriedades que em 2011 já estavam com passivos de reserva legal, não poderiam mais desmatar. Nesse Cenário, também foi utilizada a série histórica de desmatamento observada entre 2009 e 2011 como taxa média anual do desmatamento e para calibração dos pesos de evidências.

**Cenário pessimista** - nesse cenário foram mantidas as características do cenário tendencial, diferenciando apenas na série histórica de desmatamento. Neste caso, utilizou-se a série dos anos de 2007 a 2011 em que as taxas anuais de desmatamento foram bem superiores aos demais anos. Essas altas taxas de desmatamento observadas e utilizadas na modelagem influenciaram diretamente na quantidade desmatada no futuro e na estimativa dos pesos de evidências relacionados ao comportamento das variáveis em relação aos novos desmatamentos.

Para os três cenários, o desmatamento no estado de Rondônia foi projetado até o ano de 2050.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE DAS ACURÁCIAS DOS MAPAS DE DESMATAMENTO DE RONDÔNIA

Os resultados da acurácia dos mapeamentos foram estimados a partir da matriz de confusão dos mapeamentos do desmatamento conduzidos pelo PRODES-INPE e pela SEDAM. Para a estimativa das acurácias de tais mapas de desmatamentos tomou-se como referência ou verdade terrestre a interpretação visual das imagens SPOT do ano de 2010. Os resultados para avaliação das acurácias dos mapeamentos do desmatamento elaborado pelo PRODES-INPE e SEDAM são apresentados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 - Matriz de confusão para a classificação do desmatamento do PRODES-INPE.

		Referência			Erro de comissão (%)
		Desmatado	Não desmatado	$\Sigma$	
Dados de Desmatamento	Classe				
	Desmatado	<b>187</b>	15	202	7,4
	Não desmatado	12	<b>186</b>	198	6,1
	$\Sigma$	199	201	<b>400</b>	
Erro de omissão (%)	6,0	7,5	Erro Global (%)	<b>6,7</b>	

Exatidão Global = 93,3%; Coeficiente *Kappa* = 0,87.

Tabela 3 - Matriz de confusão para a classificação do desmatamento da SEDAM.

		Referência			Erro de comissão (%)
		Desmatado	Não desmatado	$\Sigma$	
Dados de Desmatamento	Classe				
	Desmatado	<b>185</b>	7	192	3,6
	Não desmatado	14	<b>194</b>	208	6,7
	$\Sigma$	199	201	<b>400</b>	
	Erro de omissão (%)	7,0	3,5	Erro Global (%)	<b>5,2</b>

Exatidão Global = 94,8%; Coeficiente *Kappa* = 0,89.

Os resultados da acurácia indicam que o mapeamento conduzido pela SEDAM apresentou uma acurácia global ligeiramente superior ao mapeamento do PRODES-INPE, com valores de 94,8 e 93,3%, respectivamente. Tais resultados indicam grande conformidade dos dados de detecção e estimativas do desmatamento produzido pelo INPE e SEDAM.

Tomando como referência a classificação de acurácia proposta por Lands e Koch (1977), os resultados dos dois mapeamentos do desmatamento em Rondônia avaliados neste estudo podem ser considerados excelentes (*Kappa* superior a 81%). Considerando os valores de acurácias sugeridos por Foody (2002), as classificações do desmatamento conduzidas pelo PRODES-INPE e SEDAM podem ser considerados bons, pois apresentaram uma Acurácia Global superior a 85%.

Com base nos resultados desta análise, apesar de utilizarem diferentes metodologias, as diferenças entre as acurácias dos mapeamentos da SEDAM e do PRODES foram semelhantes. Tal fato é muito relevante, pois os resultados do PRODES são baseados em metodologia semiautomática, o que dá maior rapidez ao processo de classificação e obtenção dos resultados do desmatamento. Por outro lado, a SEDAM implementa o mapeamento do desmatamento, tendo como base na técnica a interpretação visual que, além de tomar mais tempo, é intérprete-dependente.

Em relação aos resultados do desmatamento, o PRODES estimou um total desmatado 5% superior ao estimado pela SEDAM em todo o estado de Rondônia até o ano de 2011. Assim, enquanto o PRODES estimou 8.070.300 hectares, a SEDAM estimou



7.671.700 hectares desmatados (Figura 23). Neste caso, as diferenças podem estar relacionadas aos erros implícitos a cada metodologia utilizada por cada instituição.

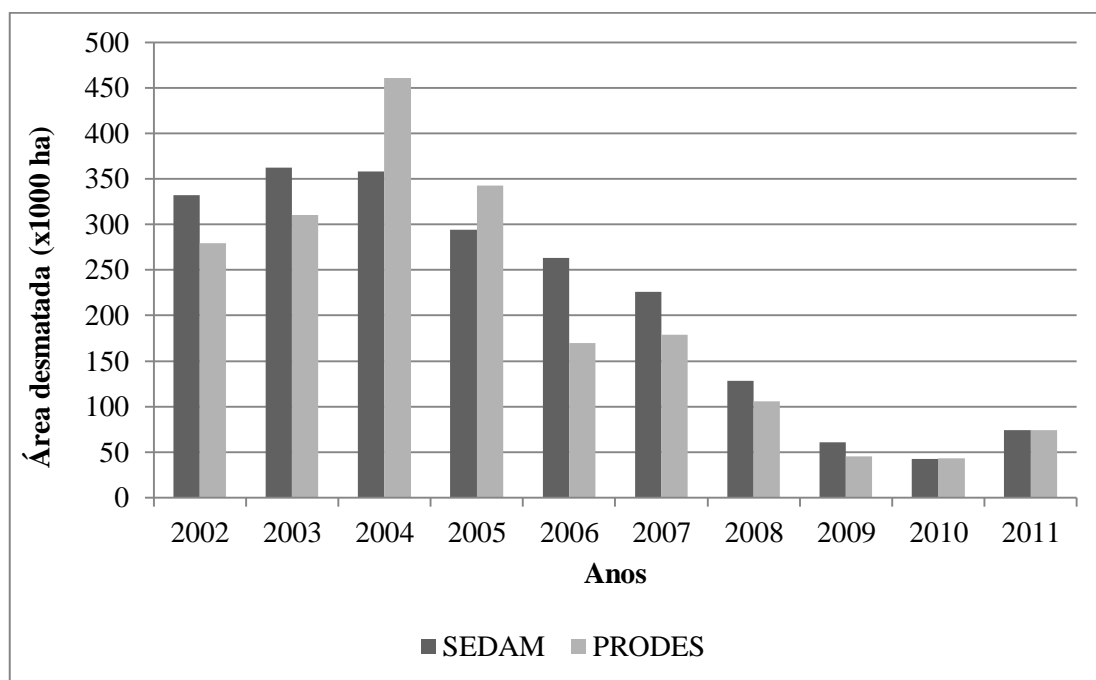


Figura 23. Desmatamento anual estimado pela SEDAM e o PRODES entre 2002 e 2011.

Os anos mais críticos de desmatamento no período estudado foram observados entre 2002 e 2005, com áreas desmatadas com valores sempre superiores a 300.000 hectares por ano estimado por pelo menos um dos programas de mapeamento estudado. Essas altas taxas de desmatamento podem estar relacionadas ao também alto crescimento econômico no período em questão. E de fato, investimentos governamentais em programas de desenvolvimento (PFAFF, 1998; KIRBY et al., 2006), construção e pavimentação de estradas e outros investimentos em infraestrutura podem contribuir com o aumento da probabilidade de uma área de floresta ser desmatada na Amazônia brasileira (KIRBY et al., 2006).

Embora o PRODES tenha estimado maior área total desmatada até 2011, a SEDAM estimou maiores taxas anuais de desmatamento, exceto para os anos de 2004 e 2005. Assim, é possível inferir que as áreas desmatadas quantificadas pelo PRODES responsáveis pelo total desmatado até 2011 foram detectadas em mapeamentos realizados em períodos anteriores ao ano de 2002.

É importante mencionar ainda que além do desmatamento analisado neste estudo, a exploração seletiva de madeira e os incêndios florestais também afetam a integridade ecológica das florestas tropicais nativas. As áreas de florestas impactadas pelo fogo e por

atividades madeireiras na região Amazônica podem alcançar dimensões semelhantes às aquelas desmatadas (Nepstad et al. 1999; Asner et al. 2005; Matricardi et al., 2010; Matricardi et al., 2013).

Embora as diferenças entre as acurácias dos mapeamentos do desmatamento conduzidos pela SEDAM e PRODES-INPE podem ser consideradas inexpressivas, o mapeamento conduzido pela SEDAM apresentou melhores resultados de acurácia global e coeficiente *Kappa* que o conduzido pelo PRODES-INPE. Com base nesses resultados, os mapas de desmatamento da SEDAM foram escolhidos e utilizados na modelagem para construção dos cenários propostos no presente estudo.

#### 4.2 PARÂMETROS DE ENTRADA DO MODELO

Inicialmente foram obtidos através de manipulações algébricas, efetuados no DINAMICA EGO, as matrizes de transição global (*Single Step*) e anual (*Multi Step*) referentes às séries históricas de desmatamento dos anos de 2009 a 2011 e 2007 a 2011. As estimativas do desmatamento se referem ao estado de Rondônia como um todo. Considerando que para a execução do modelo o território estadual foi regionalizado por microbacias hidrográficas, para cada microbacia foram estimados valor específico das matrizes de transição (taxas de desmatamento) global e anual.

De forma geral, para o período de 2009 a 2011 o valor 0.0118749 (Tabela 4) indica que foram desmatados no Estado 1,19% do remanescente de floresta natural no período de três anos e o valor 0.0039740 (Tabela 5) indica que foram desmatados aproximadamente 0,40% ao ano.

Tabela 4 - Matriz de transição global de desmatamento no período de 2009 a 2011.

De / para	Desmatamento	Floresta
Desmatamento	xxxx	-
Floresta	0.0118749	xxxx

Tabela 5 - Matriz de transição anual de desmatamento no período de 2009 a 2011.

De / para	Desmatamento	Floresta
Desmatamento	xxxx	-
Floresta	0.0039740	xxxx

Já para o período de 2007 a 2011 foram de 3,50% a quantidade desmatada do remanescente de floresta natural no Estado no período total de cinco anos (Tabela 6) e de 0,70% ao ano (Tabela 7).

Tabela 6 - Matriz de transição global de desmatamento no período de 2007 a 2011.

De / para	Desmatamento	Floresta
Desmatamento	xxxx	-
Floresta	0.0347019	xxxx

Tabela 7 - Matriz de transição anual de desmatamento no período de 2007 a 2011.

De / para	Desmatamento	Floresta
Desmatamento	xxxx	-
Floresta	0.0070388	xxxx

Em seguida foram estimadas as probabilidades de transição para as células, a partir de cálculos dos valores de pesos de evidência obtidos para as faixas de distância das variáveis estáticas e dinâmica e dos mapas categóricos.

A Figura 24 apresenta os resultados das estimativas dos pesos de evidência do mapa da variável “distância de áreas desmatadas”. A primeira coluna (*Range*) representa as diferentes faixas ou categorias, a segunda coluna (*Possible Transitions*) são os tamanhos das faixas ou categorias em células, a terceira coluna (*Executed Transitions*) mostra o número de transições ocorridas dentro de cada faixa ou categoria, a quarta coluna (*Weight Coefficient*) mostra os coeficientes dos pesos de evidências obtidos, a quinta coluna (*Contrast*) é a medida do contraste, que mede o efeito de associação/repulsão. Nessa coluna, quanto mais próximo de zero forem os valores, menores serão os efeitos e quanto maiores forem os valores, maior será a atração. Por outro lado, se esses valores forem maiores e negativo, maior será a repulsão. No caso da última coluna (*Significant*) é indicado se existe ou não significância estatística para transição.

O comportamento do peso de evidência (*Weight Coefficient*) indica se uma determinada célula que compõe a matriz da área de estudo é ou não favorável à transição ao uso da terra no período. Os valores positivos indicam que a célula é favorável e os valores negativos indicam que a célula é desfavorável à ocorrência de transição ao uso da terra (desmatamento).

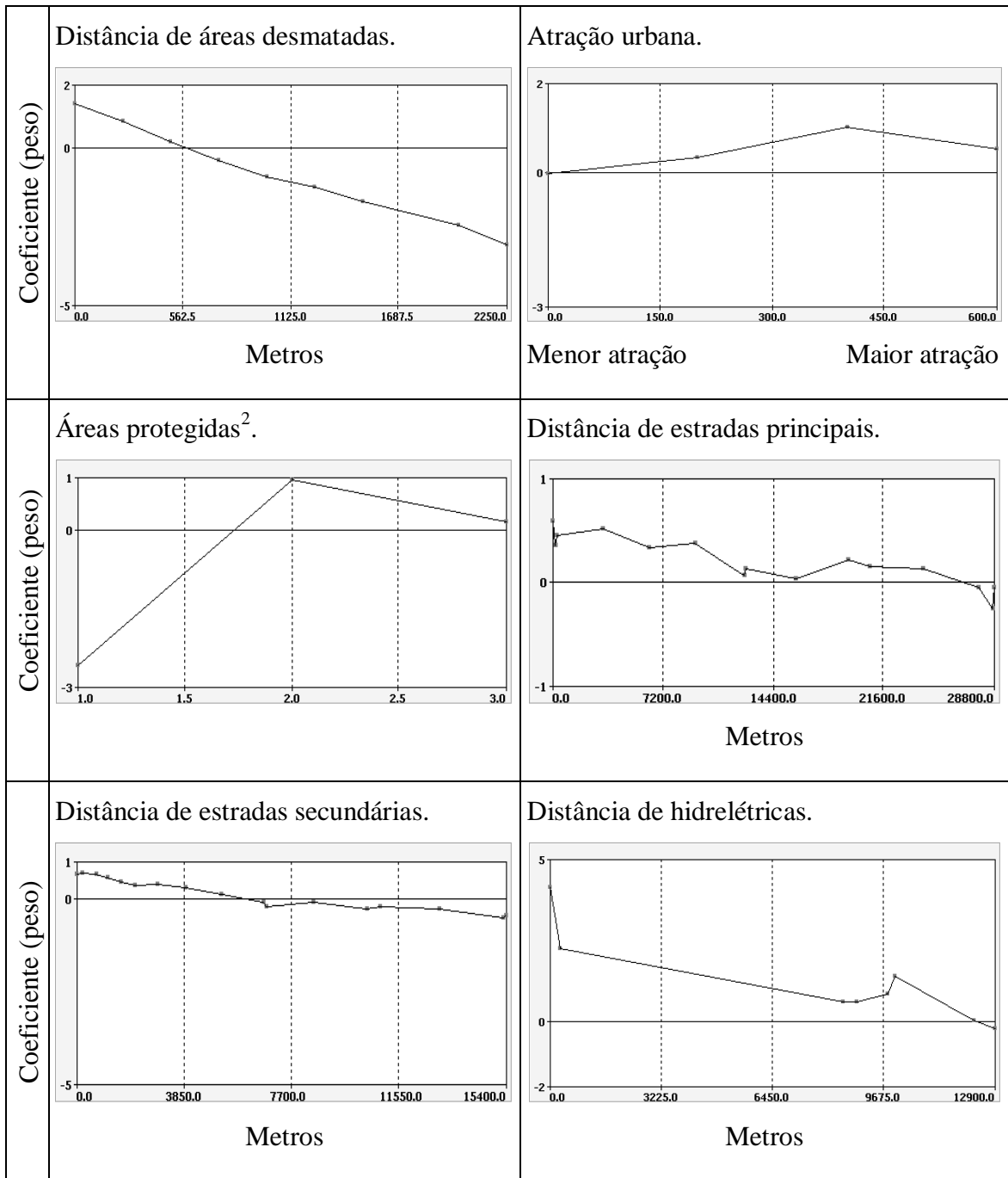
Na execução dos cenários, para cada mapa de variável e por período (2009 a 2011 e 2007 a 2011), regionalizado por microbacia foram estimados valores semelhantes aos apresentados na Figura 24.

Transition: 2->1 Variable: distance/distance_to_1					
Range	Possible Transitions	Executed Transitions	Weight Coefficient	Contrast	Significant?
0 <= v < 250	1667509	77867	1.40512	2.25404	yes
250 <= v < 500	1016541	27563	0.841188	0.995059	yes
500 <= v < 750	590240	8406	0.184146	0.196535	yes
750 <= v < 1000	475061	3704	-0.424817	-0.441555	yes
1000 <= v < 1250	352240	1655	-0.934416	-0.955936	yes
1250 <= v < 1500	295413	989	-1.2747	-1.29602	yes
1500 <= v < 2000	480727	1020	-1.73199	-1.77206	yes
2000 <= v < 2250	190499	192	-2.47751	-2.49489	yes
2250 <= v < 3250	656907	356	-3.09844	-3.16248	yes
3250 <= v < 4250	516671	63	-4.59052	-4.64231	yes
4250 <= v < 5500	531695	0	~ 0	-0.0538798	no
5500 <= v < 7000	541376	0	~ 0	-0.0548882	no
7000 <= v < 8750	500048	0	~ 0	-0.0505902	no

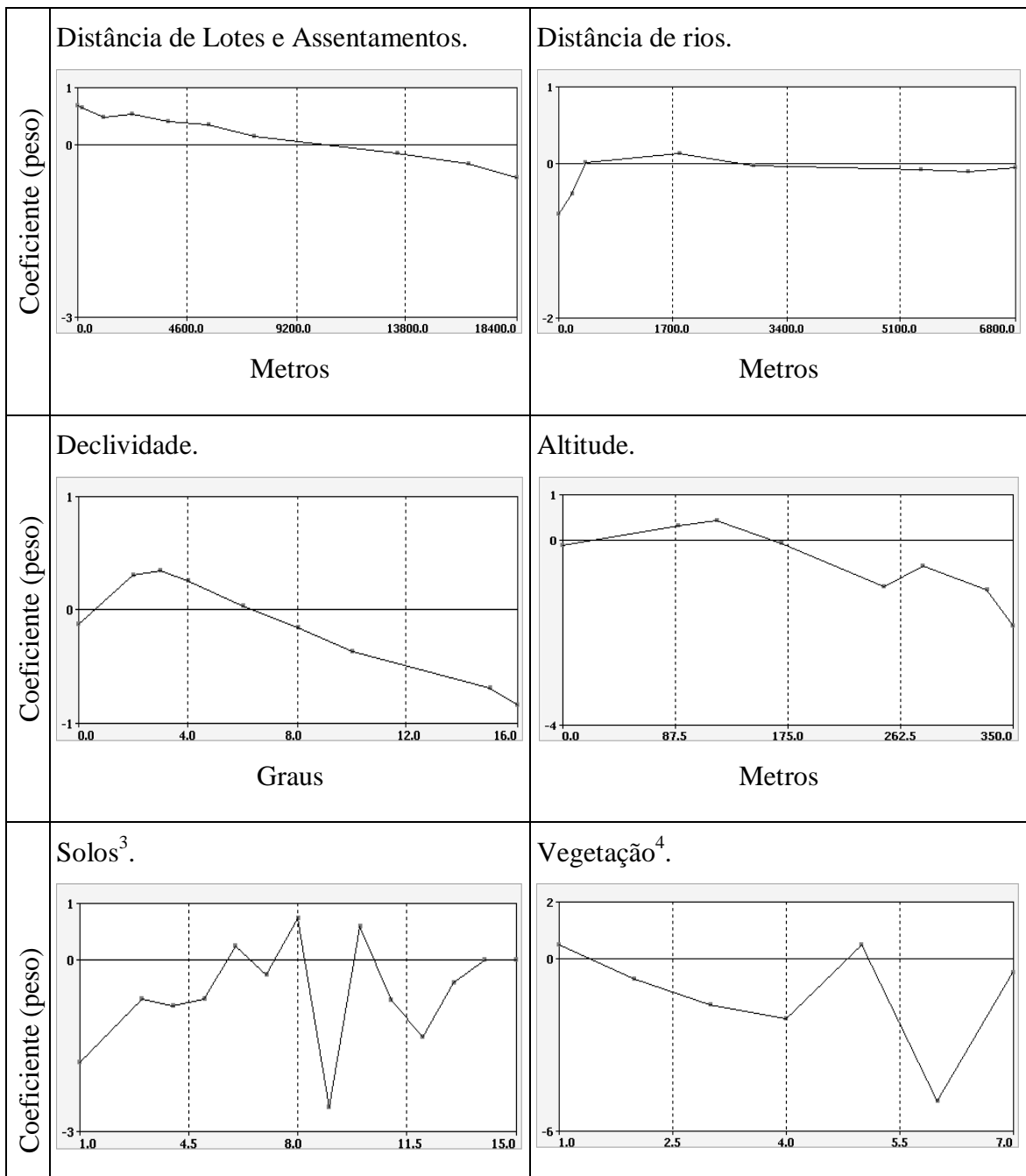
Figura 24 - Valores dos pesos de evidência para as faixas de distância da variável dinâmica “distância das áreas desmatadas”.

O Quadro 1 apresenta uma noção geral dos coeficientes dos pesos de evidência de cada mapa de variáveis aplicados nas transições, estimados com base no mapeamento do desmatamento ocorrido entre os anos de 2009 a 2011. Os resultados do Quadro 1 mostram o comportamento dos pesos extraídos de cada variável de forma geral para o estado de Rondônia. Para a calibração do modelo, os pesos foram estimados de forma regionalizada, por microbacias hidrográfica.

Quadro 1 - Pesos de Evidência derivados dos mapas de variáveis e aplicados na construção dos cenários futuros do desmatamento em Rondônia.



<sup>2</sup> Referencial das classes da esquerda para direita: 1º ponto - Terras Indígenas, 2º ponto - Áreas de Uso Sustentável e 3º ponto - Áreas de Proteção Integral.



<sup>3</sup> Referencial das classes da esquerda para direita: 1º ponto - Solos Aluviais Distróficos e Eutróficos, 2º ponto - Cambissolos Distróficos e Eutróficos, 3º ponto - Regossolos Distróficos e Eutróficos, 4º ponto - Solos Gleí Distróficos e Eutróficos, 5º ponto - Solos Hidromórficos Cinzentos, 6º ponto - Solos Concrecionários Distróficos, 7º ponto - Latossolos, 8º ponto - Solos Orgânicos, 9º ponto - Podzólicos, 10º ponto - Plintossolos, 11º ponto - Areias, 12º ponto - Solos Litólicos Distróficos e Eutróficos, 13º ponto - Terras Roxas Eutróficas e 14º ponto - Planossolos Distróficos.

<sup>4</sup> Referencial das classes da esquerda para direita: 1º ponto - Floresta Obrófila Aberta, 2º ponto - Áreas de Tensão Ecológica, 3º ponto - Savana, 4º ponto - Áreas sem informação, 5º ponto - Floresta Obrófila Densa, 6º ponto - Formações Pioneiras de Influência Fluvial e 7º ponto - Floresta Estacional Semidecídua.

### 4.3 SIMULAÇÃO E VALIDAÇÃO

Na etapa de simulação e validação foi utilizada a série histórica de desmatamento dos anos de 2009 a 2011. Para isso foram produzidos o mapa de probabilidade e o mapa simulado de transição de cobertura da terra referente ao ano de 2011.

O mapa de probabilidade contém valores diferentes em cada célula, responsáveis por indicar transições possíveis ao processo de mudança de uso da terra (Figura 31). A cor em tom avermelhado retrata áreas com alta probabilidade de transição, as cores com tons alaranjado e amarelado representam áreas com média-alta e média probabilidade de transição, as cores em tons de azul claro e azul escuro retratam áreas com baixa e muito-baixa probabilidade de transição e a cor branca indica áreas em que “não há probabilidade de transição”.

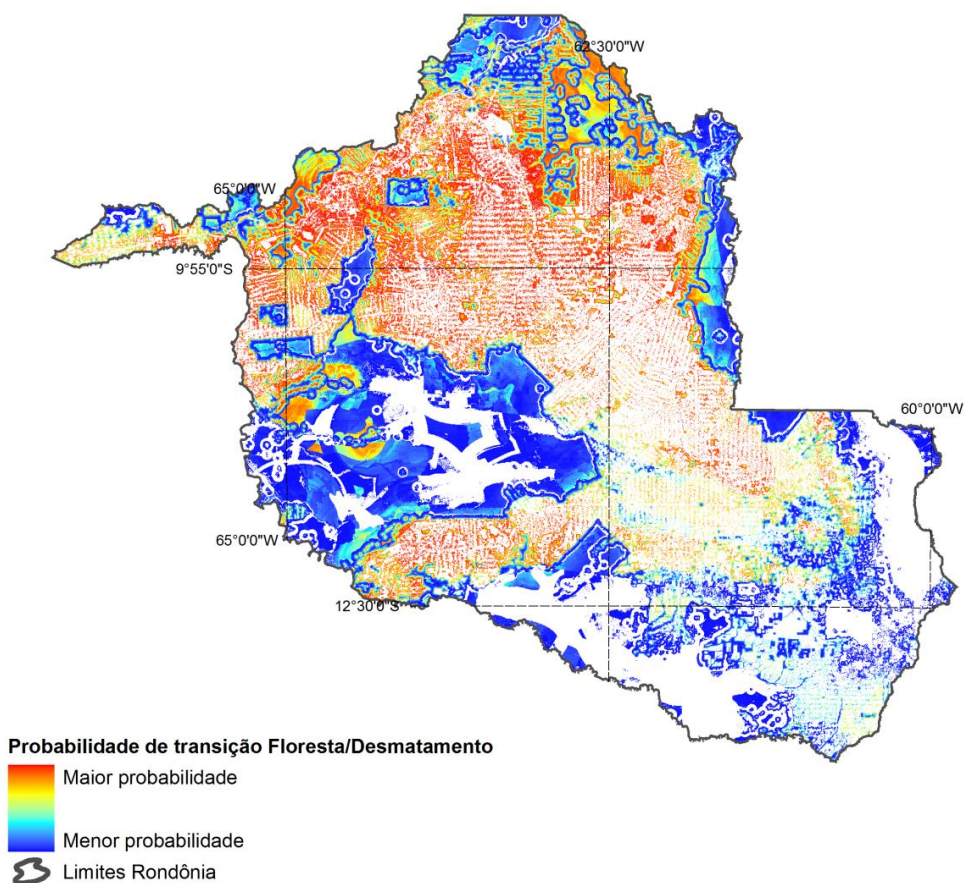


Figura 25 - Mapa de probabilidade de desmatamento (transição de floresta para áreas desmatadas) no estado de Rondônia, estimado com base na série histórica de desmatamento ocorrida entre 2009 e 2011.

O desmatamento simulado para o ano de 2011 foi construído com base nas taxas de desmatamento observadas no período de 2009 a 2011. Desse modo, o desmatamento observado até 2011 foi utilizado como base para validação do desmatamento simulado para 2011. Para isso, utilizando o índice de similaridade *Fuzzy* fez-se uma análise quantitativa das diferenças dos mapas observado e simulado, que permitiu avaliar a eficácia do modelo com as múltiplas variáveis selecionadas para representar o desmatamento na área de estudo (Tabela 8).

Com base nos resultados, numa avaliação célula a célula, 34,0% delas foram idênticas entre o mapa simulado e mapa de referência. Em janelas de 5x5 de resolução espacial, o índice de similaridade foi estimado em 58%. Segundo Barni (2009), um valor do índice de similaridade superior a 50%, em janelas de 5x5 de resolução, indica que os resultados podem ser considerados satisfatórios, desde que, os padrões de distribuição espacial do fenômeno em estudo (nessa pesquisa, o desmatamento) sejam similares no mapa de referência e no mapa simulado.

Tabela 8 - Resultado da validação do índice de similaridade *Fuzzy* com diferentes tamanhos de janela.

Modelo	Tamanho das janelas (pixel)	Índice de similaridade <i>Fuzzy</i>
Simulação 2009 a 2011	1x1	0,34
	3x3	0,49
	5x5	0,58
	7x7	0,65
	9x9	0,71
	11x11	0,75
	13x13	0,79

O índice de similaridade *Fuzzy* com função de decaimento constante tende a aumentar com o aumento da resolução (tamanho da janela) adotada na análise (Figura 32). O aumento dos valores do índice de similaridade também tende a saturar quando atingem determinadas resoluções. Esse comportamento demonstra que para janelas com resolução muito degradada (grandes), o índice de similaridade torna-se ineficiente para avaliar o ajuste entre o mapa de referência e o simulado (XIMENES et al., 2008).



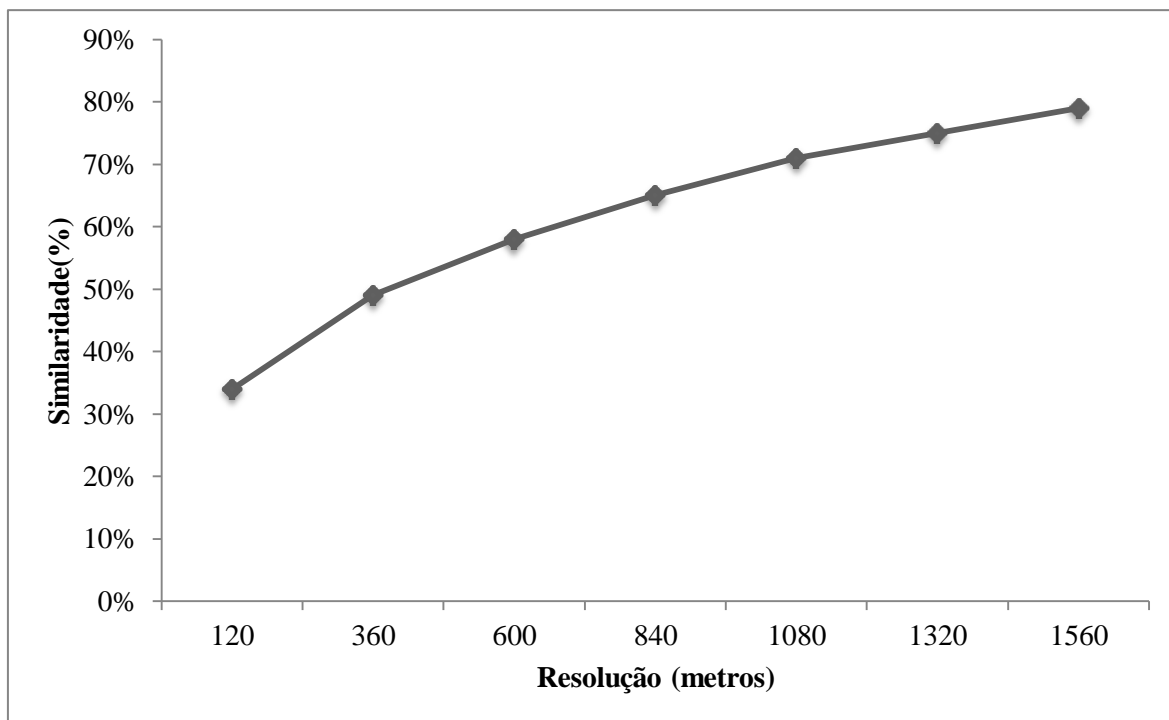


Figura 26 - Variação do índice de similaridade *Fuzzy* em relação a diferentes resoluções (tamanho das janelas).

#### 4.4 CENÁRIOS FUTUROS MODELADOS

Foram gerados três cenários para o desmatamento futuro no estado de Rondônia: cenário tendencial, cenário otimista e cenário pessimista, todos projetados até o ano de 2050.

Cenário tendencial - a característica principal desse cenário foi considerar as perspectivas de manutenção dos padrões de desmatamento, ou seja, “o mesmo de sempre”. A Figura 27 mostra as áreas desmatadas até 2050 obtidas com a simulação no cenário tendencial.

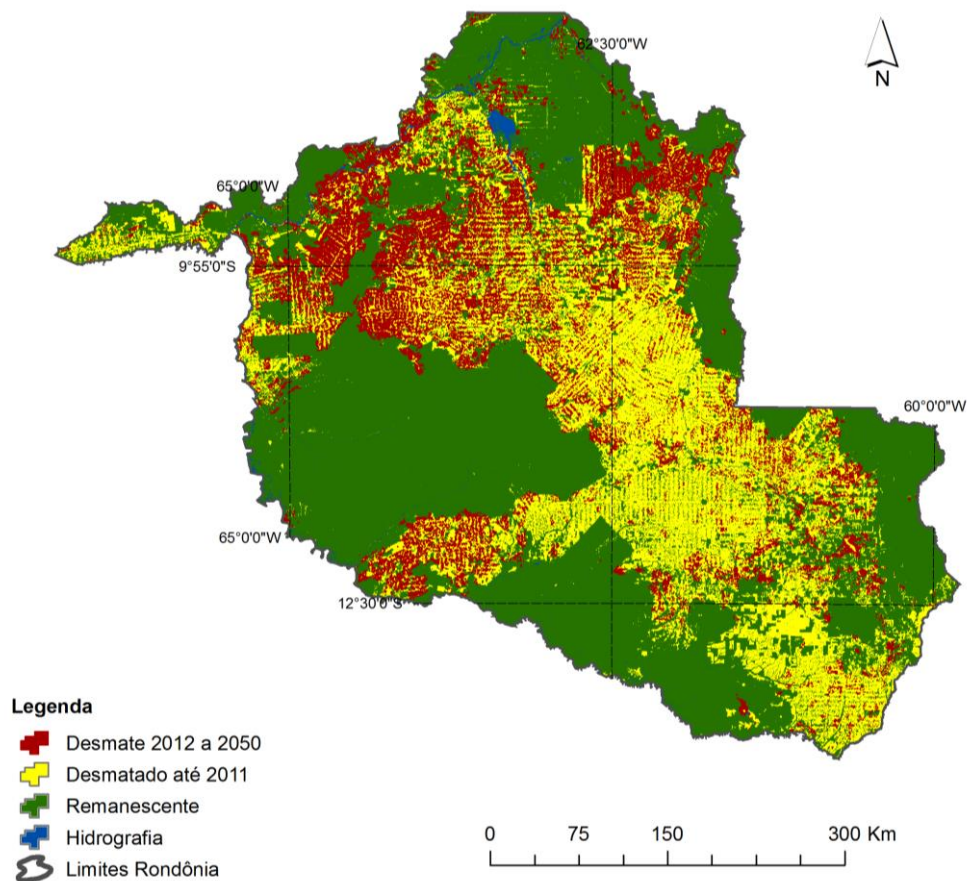


Figura 27 - Mapa apresentando as áreas desmatadas obtidas com a simulação do desmatamento futuro entre 2012 e 2050 com base nas condições estabelecidas no cenário tendencial.

Os resultados mostram que as áreas protegidas existentes no estado de Rondônia, poderiam contribuir parcialmente para conter o avanço do desmatamento no cenário tendencial. Nesse cenário, a simulação indica que fora das áreas protegidas restariam poucas áreas de vegetação natural remanescente depois de 2050 (Figura 28).

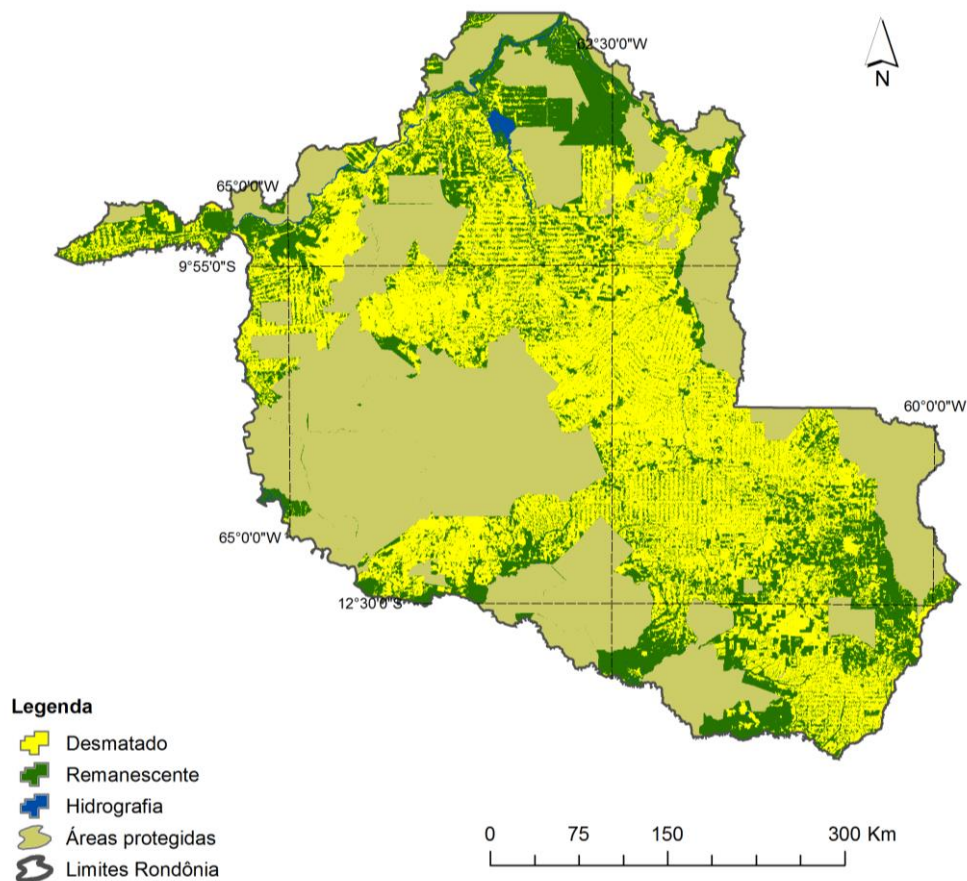


Figura 28 - Mapa com desmatamento simulado até 2050 num cenário tendencial, destacando as áreas protegidas no estado de Rondônia.

Ainda para o cenário tendencial foi gerado um mapa que mostra as regiões com maior concentração das áreas desmatadas, em tons de vermelho, e regiões com menor concentração das áreas desmatadas, em tons de azul (Figura 29).

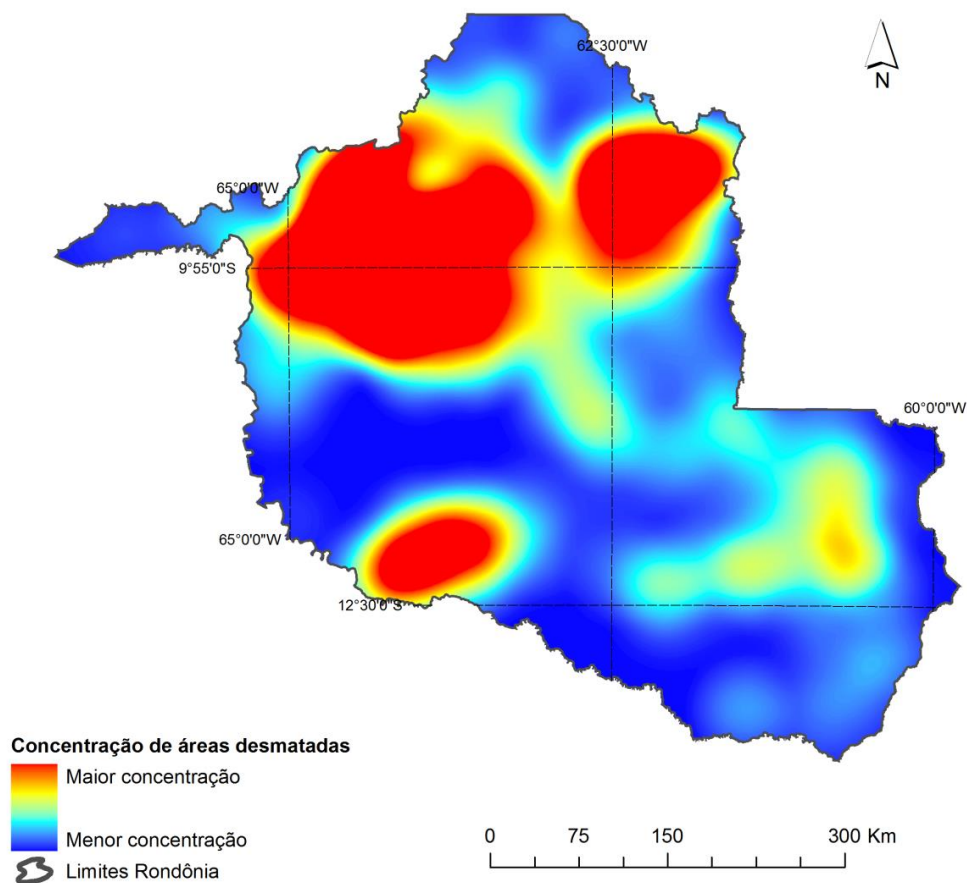


Figura 29 - Mapa com concentração do desmatamento simulado até 2050 pelo cenário tendencial.

Analisando quantitativamente o resultado do cenário tendencial, o percentual desmatado no Estado passaria de 32% em 2011 para 37% em 2050. Quando considerado apenas as áreas úteis, ou seja, todo o território estadual exceto as áreas protegidas, o percentual desmatado até 2011 foi de 54% e, em 2050 seria de 61%.

Considerando as definições zonais do ZSEE-RO, o desmatamento estaria distribuído espacialmente até 2050 conforme mostra a Figura 30. Durante todo o período simulado (2012 a 2050) com o cenário tendencial, o desmatamento na zona 1 representa entorno de 66,0% a 67,0% das áreas que seriam desmatadas no Estado. Já nas zonas 2 e 3, o cenário mostra que os percentuais variariam entre 14,0% e 20,0%, sendo que os maiores desmatamentos ocorreriam na zona 2 até 2030. A partir de 2030, os desmatamentos seriam intensificados no interior da zona 3.

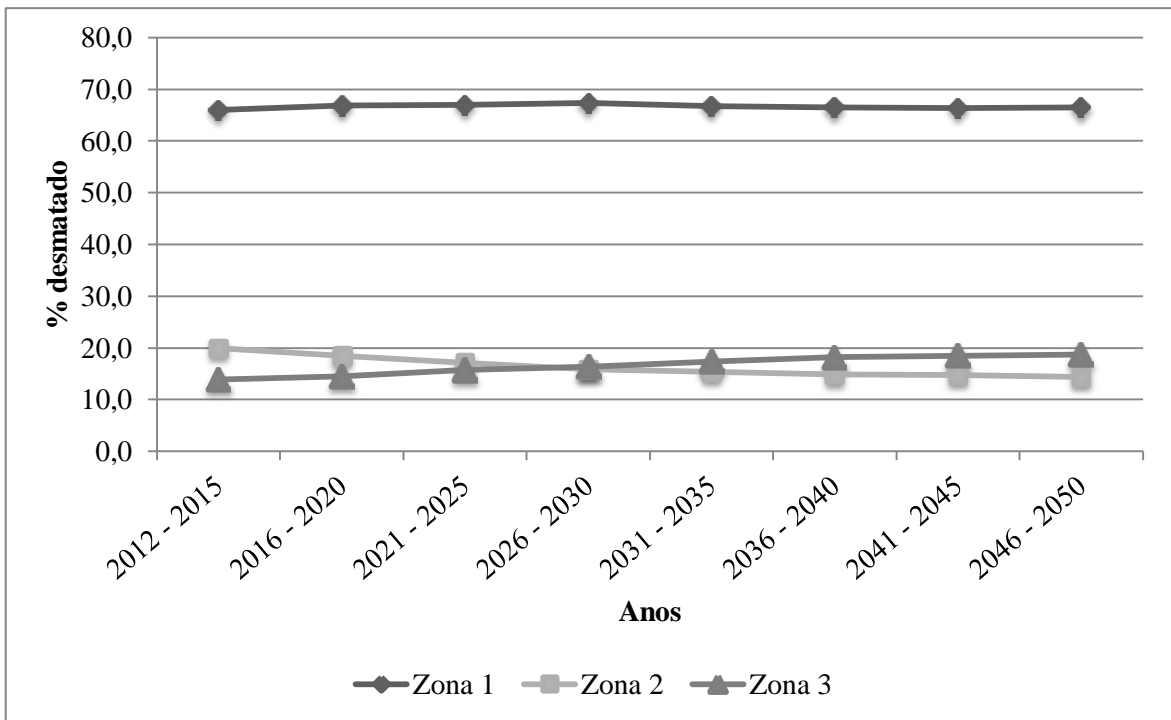


Figura 30 - Distribuição do desmatamento nas zonas ao longo dos anos com projeção efetuada pelo cenário tendencial.

Cenário otimista - sua característica principal é o que determina o ZSEE-RO, em que nas zonas 2 e 3 e numa faixa de amortecimento (10 Km) das áreas protegidas não ocorreriam desmatamentos e que na zona 1 seriam mantidos uma reserva legal de no mínimo 80,0% nas propriedades privadas. Nesse cenário, o desmatamento no Estado seria praticamente zero, ficando reduzido em mais de 99% no período de 2012 a 2050 quando comparado com os resultados obtidos no cenário tendencial (Figura 31). O cenário otimista revela que, teoricamente, o estado de Rondônia já tem esgotado as suas áreas passíveis de desmatamento.

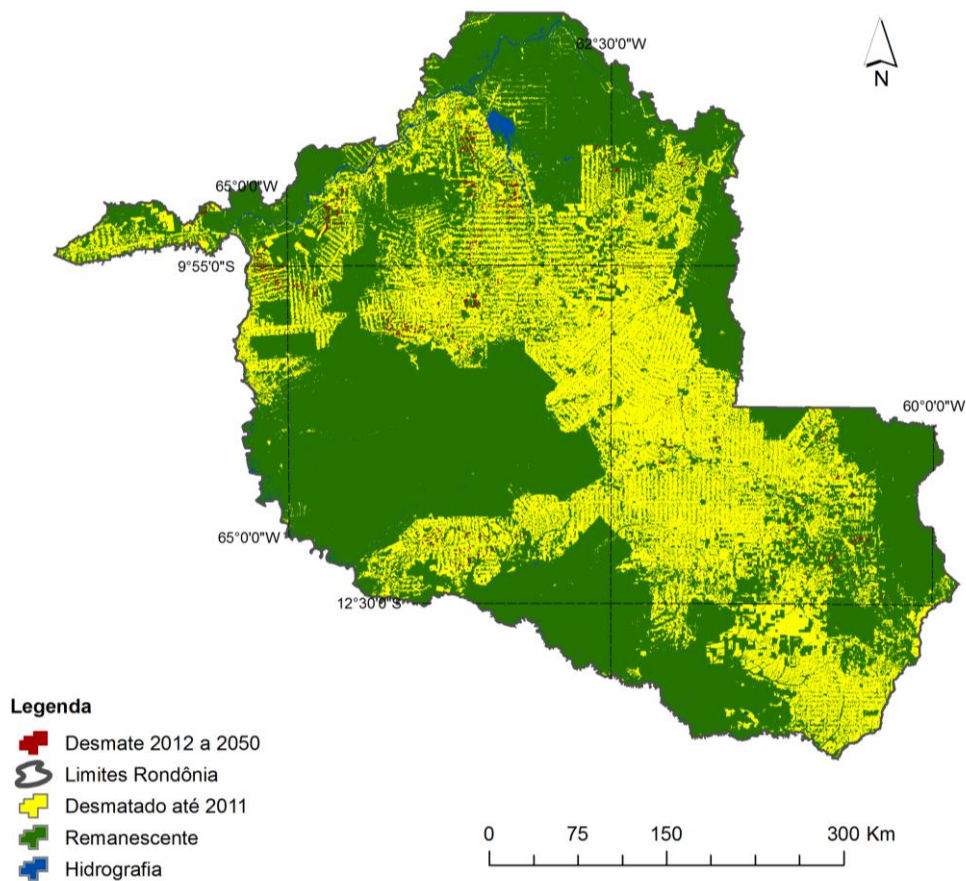


Figura 31 - Mapa apresentando a simulação das áreas desmatadas no contexto de um cenário otimista entre 2012 e 2050 no estado de Rondônia.

Vale dizer que no contexto do cenário otimista, o baixo índice de desmatamento é explicado pelo motivo de que até 2011 mais de 88% das 114.254 propriedades privadas avaliadas apresentavam percentuais iguais ou menores que 80% da reserva legal. A Figura 32 apresenta o quantitativo de propriedades com passivos e ativos ambientais (reserva legal) até 2011 e situação com a simulação do desmatamento até o ano de 2050 no cenário tendencial.

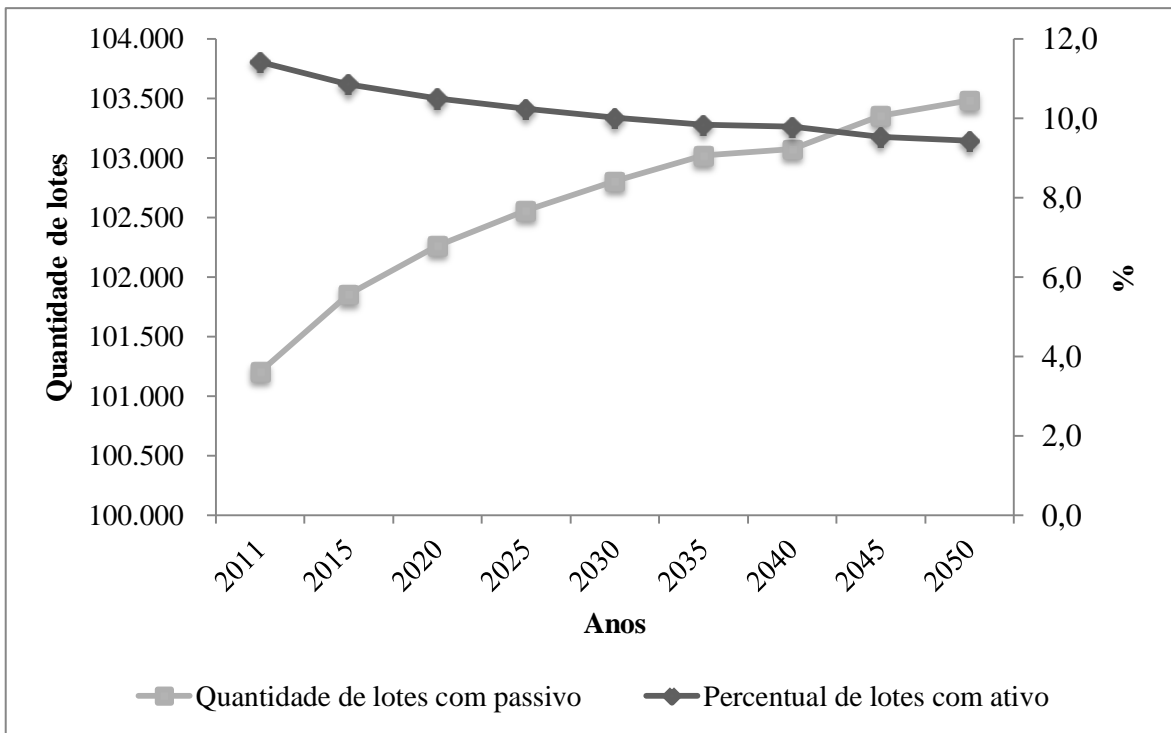


Figura 32 - Quantidade de propriedades privadas com passivos e ativos ambientais até 2011 e até 2050 no contexto do cenário tendencial para o estado de Rondônia.

Cenário pessimista - caracterizado principalmente pela série histórica de desmatamento ocorrida entre os anos de 2007 a 2011. A quantidade de áreas desmatadas é bem superior àquelas do cenário tendencial, devido principalmente às diferenças de taxas de desmatamento entre as séries históricas de cada cenário. As perspectivas de desmatamento no Estado nesse cenário estão apresentadas na Figura 33. Ao todo seriam 3.543.600 hectares de floresta desmatados entre 2012 e 2050, assim o estado de Rondônia atingiria 47% do seu território em áreas convertidas de floresta para desmatamento.

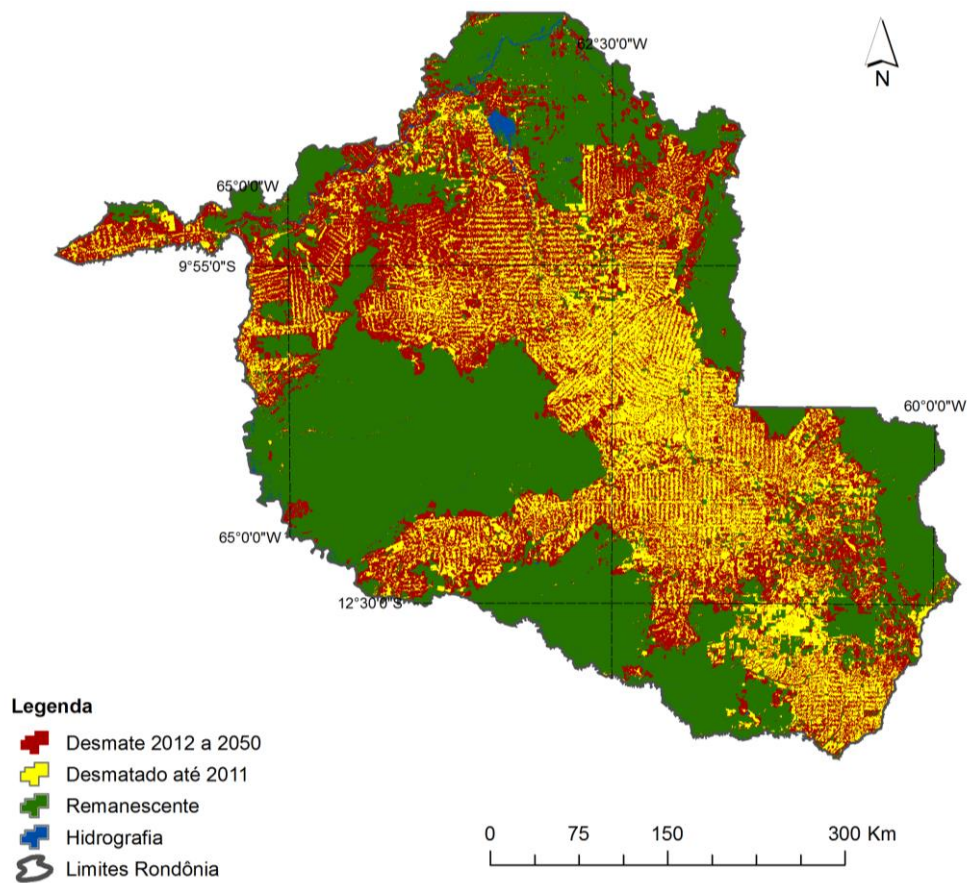


Figura 33 - Mapa apresentando as áreas que seriam desmatadas entre 2012 e 2050 no estado de Rondônia no contexto do cenário pessimista.

Na Figura 34 são apresentadas as quantidades de áreas que seriam desmatadas e as taxas médias anuais de desmatamento até o ano de 2050 no estado de Rondônia no contexto dos três cenários. As taxas anuais de desmatamento no cenário pessimista seriam quatro vezes superior a do cenário tendencial até o ano de 2025. Essa alta taxa simulada está relacionada aos elevados índices de desmatamento observados nos anos de 2007 e 2008, período que foi considerado como referência para a simulação no cenário pessimista. No ano de 2050, o total acumulado desmatado no cenário pessimista chegaria ao triplo do desmatamento simulado no cenário tendencial.



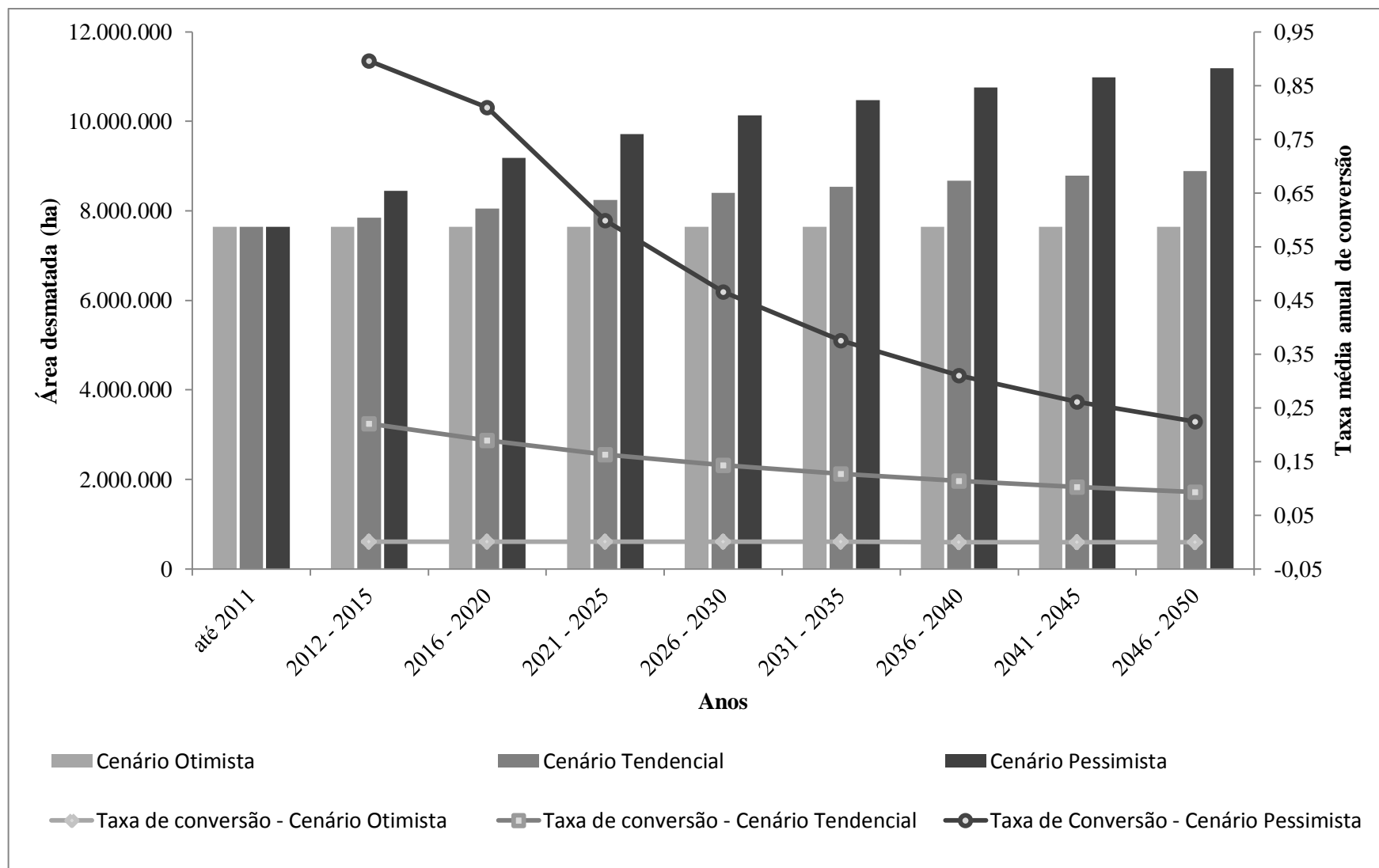


Figura 34 - Quantidades de áreas desmatadas e taxas médias de desmatamento anual para cada cenário estudado.

Embora as simulações de desmatamento não mensurem de forma precisa as ações futuras, elas são importantes no sentido de diagnosticar aquelas áreas mais vulneráveis ao desmatamento. Tais simulações podem indicar ainda os possíveis impactos sobre o meio natural. Como por exemplo, a extinção direta de diversas espécies, as emissões de CO<sub>2</sub>, as influências sobre o clima, a erosão e empobrecimento dos solos, a alteração da qualidade da água, as mudanças no nível superficial das águas, a redução da evapotranspiração, a diminuição nas taxas fotossintéticas, o aumento da vulnerabilidade da região a incêndios florestais, dentre outros problemas (COHEN et al., 2007; TISCHENDORF e FAHRING, 2000; SORRISO-VALVO et al., 1995; LIMA, 1986; WARD, 1967).

As variáveis utilizadas nesse estudo apresentaram características típicas da representação do desmatamento, que mostrou concentrar principalmente no entorno de áreas já desmatadas. Isso mostra a tendência da prevalência do avanço do desmatamento em torno das áreas previamente ocupadas (AGUIAR et al., 2007). As áreas de influência da malha viária atualmente do Estado, por estarem localizadas em áreas que guardam o reflexo direto da implantação de atividades de agropecuária e da extração de madeira, também tiveram grande peso e influência na expansão do desmatamento no Estado. Nesse sentido, destaca-se que os cenários apresentados neste estudo podem tomar outra configuração à medida que forem sendo inseridos novas estradas e ramais no território estadual. A dinâmica na rede viária não foi considerada nessa análise.

Por fim, é importante mencionar que a influência das variáveis em um modelo de desmatamento não resulta da ação individual de cada uma e sim da complexa relação de diferentes fatores da ação das distintas variáveis causais que tem sua origem em complexos processos sociais, políticos e econômicos (NOGUEIRA, 2006). Tal complexidade é de difícil representação e incorporação nas simulações e modelagens do uso da terra.

#### 4.5 FRAGMENTAÇÃO DA FLORESTA

O processo de fragmentação das florestas tem suas origens em diversos fatores, porém quase sempre resultado de ações humanas. No caso específico da área desse estudo, a fragmentação das florestas no estado de Rondônia já apresentava resultados críticos até 2011. Estimou-se quase 68% dos polígonos de floresta com áreas menores que 10 hectares e apenas cerca de 7% com áreas acima de 100 hectares e somente 0,9% apresentavam áreas maiores que 1000 hectares (Figura 35).

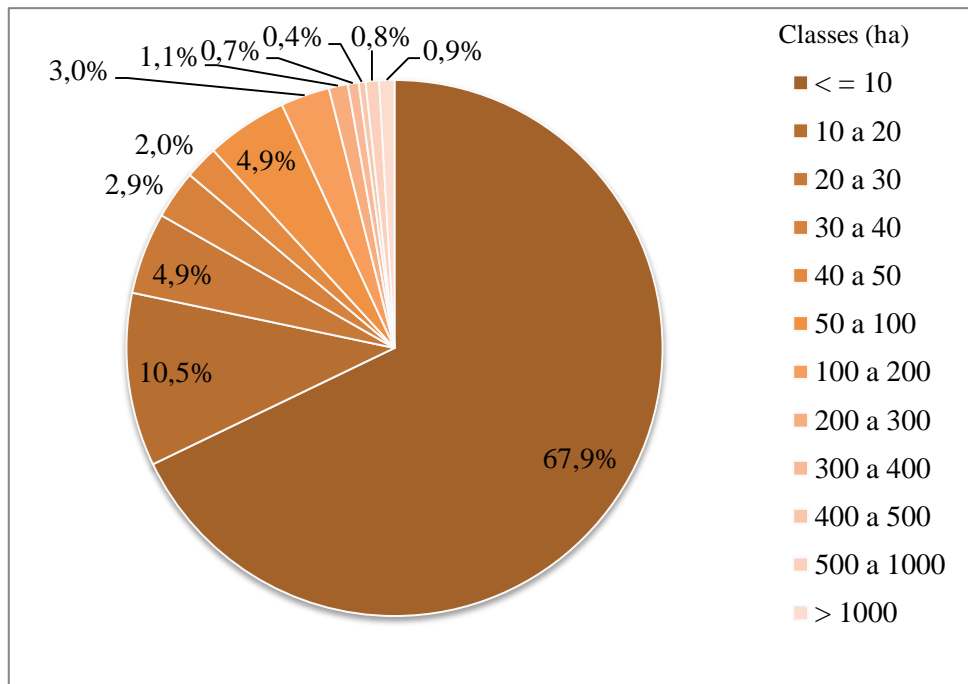


Figura 35 - Fragmentação da floresta em classes de diferentes tamanhos (hectares) até o ano de 2011.

Com base no resultado simulado para o cenário tendencial desta análise, estimou-se que haveria um aumento no número de fragmentos na ordem de 29%, passando de 42.775 em 2011 para 55.341 em 2050. As áreas com até 10 hectares passariam a representar cerca de 74% dos polígonos de floresta em 2050. Enquanto que para as classes com mais de 100 hectares o percentual seria reduzido para cerca de 5% e, às áreas com mais de 1000 hectares passariam a representar apenas 0,7% dos polígonos de floresta dentre as classes (Figura 36).

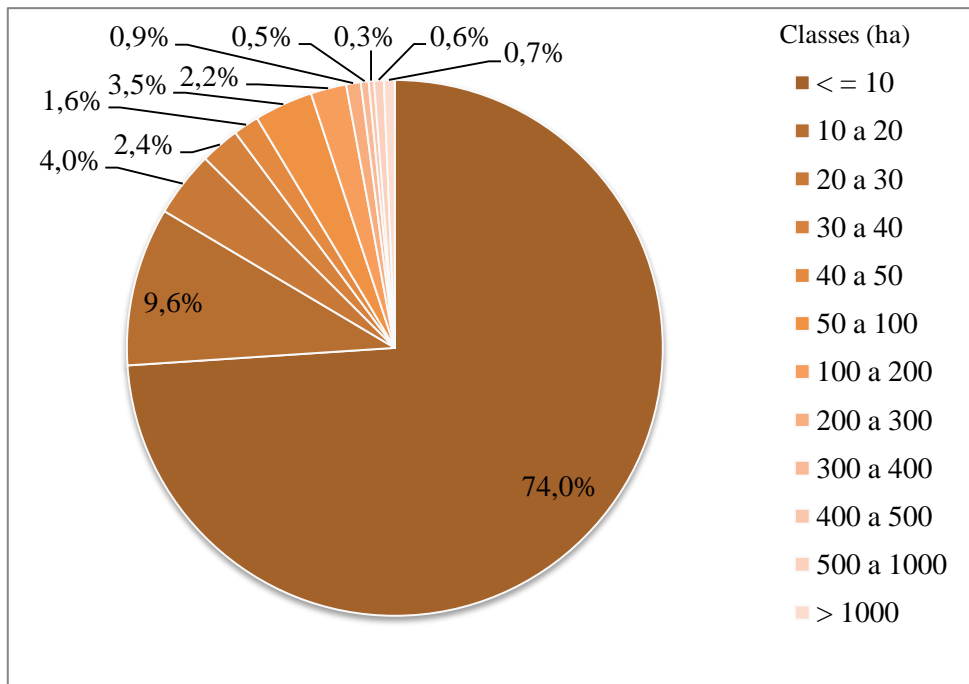


Figura 36 - Fragmentação da floresta em classes de diferentes tamanhos (hectares) até o ano de 2050 em Rondônia, simuladas no contexto previsto no cenário tendencial.

No cenário otimista seriam poucas as alterações na estrutura atual da vegetação nativa na simulação do desmatamento até o ano de 2050. Nesse caso, haveria aumento de 0,1% somente numa classe de tamanho de áreas (<=10 hectares). Em outras duas classes (de 10 a 20 hectares e a de 100 a 200 hectares) reduziriam em 0,1% o incremento do desmatamento. As demais classes se manteriam praticamente estáveis (Figura 37).

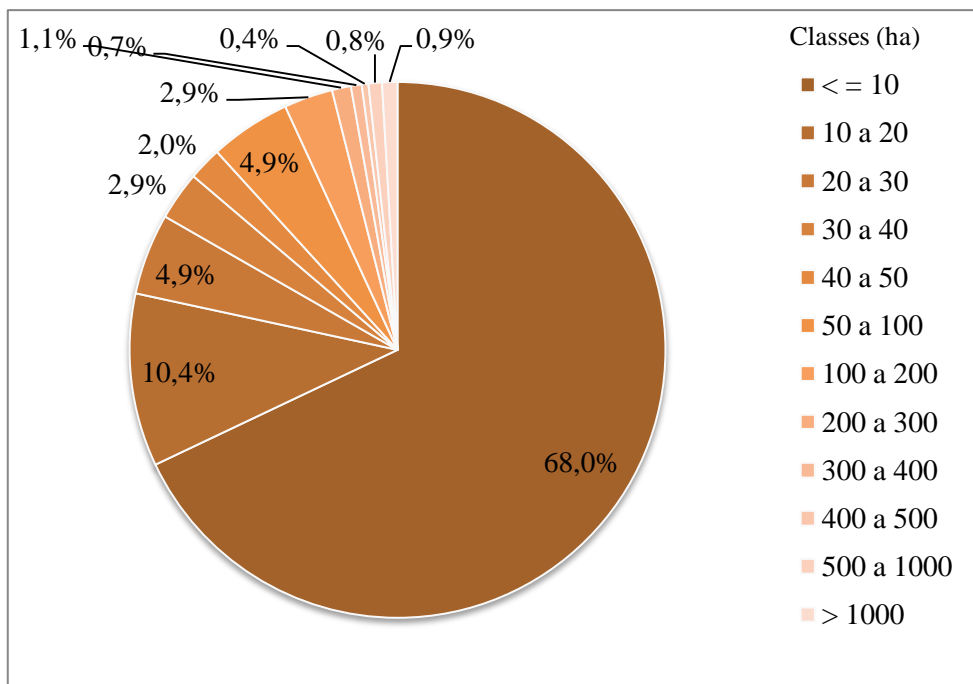


Figura 37 - Fragmentação da floresta em classes de diferentes tamanhos (hectares) até o ano de 2050 em Rondônia, simuladas no contexto previsto no cenário otimista.

A previsão pelo cenário pessimista é que em 2050 cerca de 83% dos fragmentos de florestas no Estado seriam menores que 10 hectares. Apenas 0,9% apresentariam áreas maiores que 500 hectares (Figura 38).

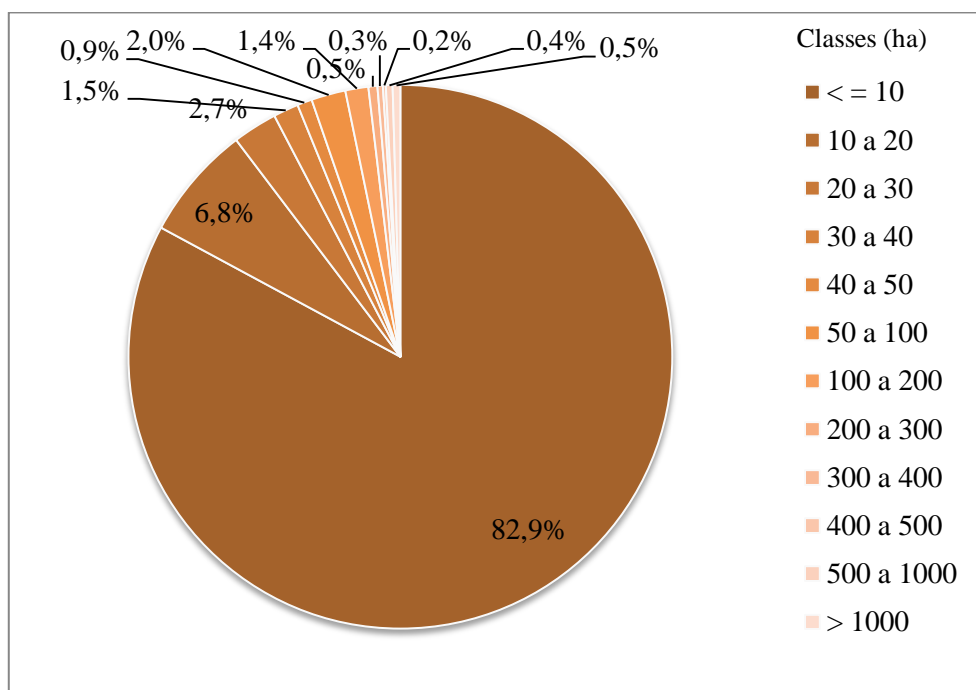


Figura 38 - Fragmentação da floresta em classes de diferentes tamanhos (hectares) até o ano de 2050 em Rondônia, simuladas no contexto previsto no cenário pessimista.

No ano de 2011, aproximadamente 92% do remanescente de floresta nativa no estado de Rondônia estavam concentrados em fragmentos maiores que 1000 hectares. Em 2050, no cenário tendencial seriam 91% e no cenário pessimista 94%.

O restante das classes está distribuído como mostra a Figura 39. Os polígonos de floresta entre 40 e 50 hectares representam o menor quantitativo em área e os polígonos variando de 500 a 1000 hectares, somam a maior quantidade da área.

Em análise mais detalhada da Figura 39, observa-se que o conjunto de polígonos até 40 hectares, em 2050 no cenário tendencial somariam uma área maior que as observadas em 2011. As demais classes se comportam de maneira inversa. No cenário otimista, poucas seriam as diferenças nas classes de tamanho de fragmentos em 2050 comparadas com 2011. Quanto ao cenário pessimista, apenas a classe de até 10 hectares envolveria maior área em 2050 que em 2011. O somatório das áreas dos fragmentos de floresta que comporiam a classe de 500 a 1000 hectares seria reduzido no cenário pessimista em mais de 41,0% até 2050 em relação a 2011.

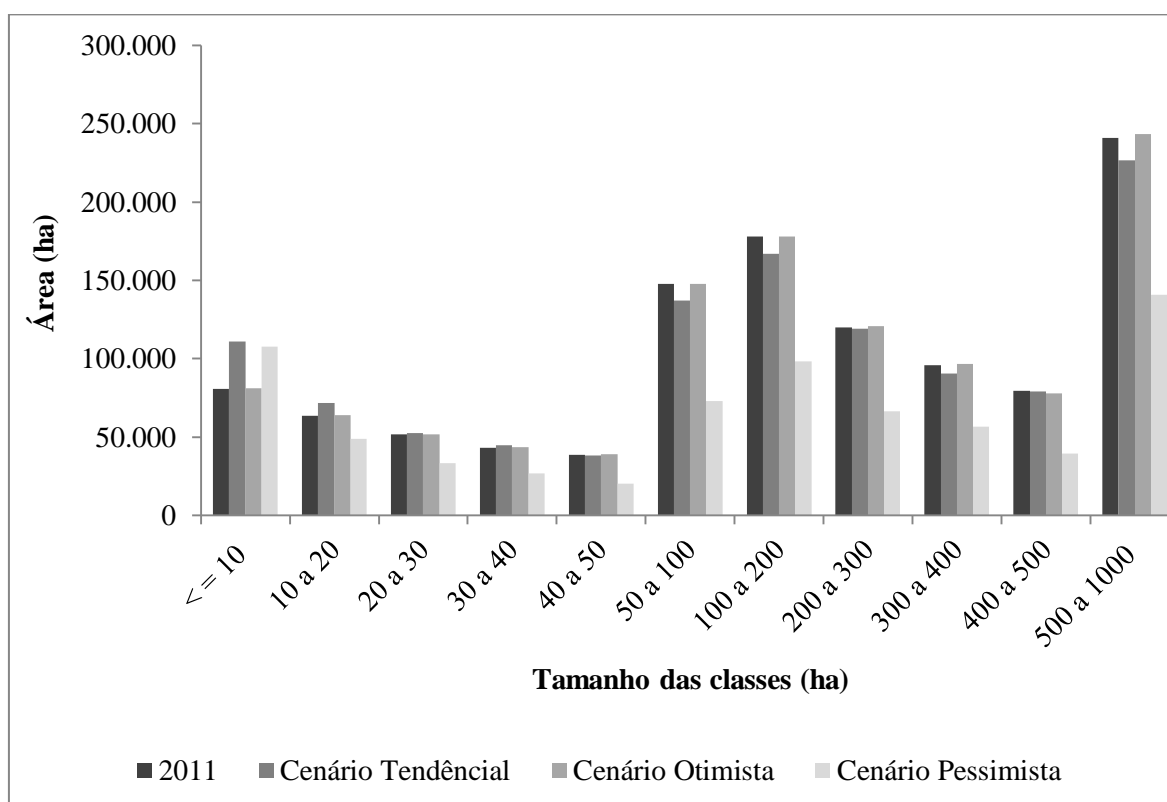


Figura 39 - Distribuição da soma das áreas em hectares nas diferentes classes em 2011 e 2050 - nos cenários tendencial, otimista e pessimista.

Os efeitos da fragmentação da paisagem afetam diretamente a biodiversidade. A modificação de habitats em pequenos remanescentes estabelece uma grande ameaça à biodiversidade (PATTANAVIBOOL, 2004), responsável por diminuir o número efetivo de árvores de uma população, bem como o número de doadores de pólen, levando a redução na taxa de frutificação (OLIVEIRA e MAUÉS, 2010; FUCHS et al., 2003). Afetando assim, diretamente as populações de animais.

Segundo Saunders et al. (1991), a dinâmica dos ecossistemas com remanescentes menores são predominantemente influenciados por fatores externos e quanto menor a mancha maior a influência. Devido diversas influências nas pequenas manchas há maior possibilidade de extinção de determinadas espécies, pois quanto menor o fragmento maior a escassez de recursos necessários à sobrevivência das mesmas (DIAMOND, 1975). Na fragmentação, um dos fatores que mais compromete as espécies são os processos de isolamento de um fragmento a outro, o que dificulta a conexão entre os habitats (COLLINGE, 1996).

Segundo Nepstad et al. (2002), os principais fatores da fragmentação dos habitats são devido a conversão de áreas de florestal para uso do solo em cultivos agrícolas, exploração madeireira, abertura de estradas e os incêndios florestais. Estes fatores são responsáveis por promover o empobrecimento da floresta, tornando-a vulnerável tanto a fogos de origem natural, bem como, de ação humana (NEPSTAD et al. 2000).

Conseqüentemente, uma floresta fragmentada influencia nos padrões locais e regionais de biodiversidade, provocando mudanças nos padrões de dispersão e migração de espécies (SOULÉ e KOHM, 1989). Scariot (1998) menciona que no planejamento e manejo de reservas naturais deve-se sempre considerar os efeitos da fragmentação da floresta relacionados à persistência das espécies e dos mecanismos ecológicos envolvidos.

Tais conseqüências do desmatamento desordenado sobre os recursos naturais devem ser apropriadamente considerados para o futuro no estado de Rondônia. Os cenários aqui apresentados devem ser apropriadamente considerados de forma a buscar alternativas para evitar ou minimizar a expansão do desmatamento aqui simulado e os seus potenciais impactos.

## 5 CONCLUSÕES

O mapeamento conduzido pela SEDAM apresentou melhores resultados de acurácia global e coeficiente *Kappa* que o conduzido pelo PRODES. As diferenças entre as acurácias dos mapeamentos do desmatamento conduzidos pela SEDAM e PRODES podem ser consideradas como sendo inexpressivas, podendo ambas serem consideradas muito boas. Essas bases de dados apresentam grande potencial para desenvolvimento de trabalhos de monitoramento e análises ambientais. Isto é comprovado pela qualidade dos dados representados pelos altos valores de acurácia do mapeamento observadas neste estudo.

Do ponto de vista da modelagem, a metodologia e conceitos utilizados, aplicados ao software DINAMICA EGO foram plausíveis para representar o desmatamento sob as três perspectivas para o Estado de Rondônia. As variáveis selecionadas e empregadas nos cenários evidenciaram com clareza suas influências tanto no sentido de restringir bem como de potencializar a conversão de áreas de floresta em novas áreas de uso agropecuário.

A expectativa assumindo o cenário tendencial desta análise é que Rondônia desmate 1.245.100 hectares de floresta no período de 2012 e 2050. No cenário otimista, apenas 1.700 hectares seriam desmatados no mesmo período. Entretanto, assumindo um cenário pessimista para Rondônia, um total de 3.543.600 hectares seriam desmatados no Estado.

No cenário tendencial e com maior intensidade no cenário pessimista, os desmatamentos previstos ao longo dos anos no período de 2012 a 2050, podem fazer com que o Estado alcance níveis de degradação elevados. As mudanças que serão provocadas na cobertura florestal original do Estado terão importantes implicações ambientais, como por exemplo, a fragmentação da floresta que diretamente comprometerá a biodiversidade existente na região. Além disso, é previsto mudanças (redução) nos serviços ambientais, bem como, emissão de gases que contribuem para poluição e o aumento do efeito estufa.

Os fragmentos dos remanescentes florestais aumentariam em mais de 29,0% no contexto do cenário tendencial e 20,0% no cenário pessimista. A quantidade menor de fragmentos no cenário pessimista em relação ao cenário tendencial é explicada pelas áreas de florestas fragmentadas que são totalmente extintas no cenário pessimista.

Para o cenário otimista, em que prevaleceu a redução de abertura de novas áreas, impedido por políticas públicas existentes no Estado, os resultados indicam que as taxas



futuras de desmatamento devem ser próximas à zero. Isto revela que o estado de Rondônia já apresentava até o ano de 2011 esgotamento das áreas passíveis de desmatamento.

E, finalmente, os resultados dos cenários aqui apresentados podem ser uma importante contribuição aos tomadores de decisão para melhor entendimento e definição de estratégias de redução do desmatamento em Rondônia e na Amazônia.

## REFERÊNCIAS

- AGRA, K. L. **Visão colonizadora e desenvolvimento de Rondônia**. Porto Velho. Universidade Federal de Rondônia, 2003. 5p.
- AGUIAR, A. P. D.; CÂMARA, G.; ESCADA, M. I. S. Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazonia: Exploring intra-regional heterogeneity. **Ecological Modelling**, v.209, p.169-188. 2007.
- AMAZONAS. Governo do Estado. **A floresta amazônica e seu papel nas mudanças climáticas / Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável**. Manaus: SDS/CECLIMA, 2009. 36p. (Série Técnica Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, n. 18).
- ARAÚJO, P. F. C.; MARQUES, R. W. da C. Uma visão macroeconômica do PLANAFLORO. In: Luiz Fernando de Paula; Léo da Rocha Ferreira; Milton Assis. (Org.). **Perspectivas para a economia brasileira**. 1 ed. Rio de Janeiro: Eduerj. v.1. p.321-349. 2006.
- ASNER, G. P.; KNAPP, D. E.; BROADBENT, E. N.; OLIVEIRA, P. J. C.; KELLER, M.; SILVA, J. N. Selective Logging in the Brazilian Amazon. **Science**, 310(5747): 480-482. 2005.
- BARNI, P. E. **Reconstrução e asfaltamento da Rodovia BR-319: Efeito “dominó” pode elevar as taxas de desmatamento no Sul do Estado de Roraima**. 2009. 136f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais.) – INPA, Universidade Federal da Amazônia, Manaus.
- BARRETO, L. V.; FREITAS, A. C. S.; PAIVA, L. C. Sequestro de Carbono. **Enciclopédia Biosfera**. Centro Científico Conhecer, Goiânia, n.7, 10p. 2009.
- BRANDÃO JR., A.; SOUZA JR., C. Desmatamento nos Assentamentos de Reforma Agrária na Amazônia. **O Estado da Amazônia**, Belém: Imazon, n.7, 4p. 2006.
- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto Radam/brasil. **Levantamento de recursos naturais**. Rio de Janeiro, 1978.
- CÂMARA, G.; VALERIANO, D. M.; SOARES, J. V. **Metodologia para o cálculo da taxa anual de desmatamento na Amazônia Legal**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos - SP. 2006. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/metodologia.pdf>. Acesso em: 28 out. 2013.
- CARRÃO, H.; CAETANO, M.; NEVES, N. LANDIC. Cálculo de indicadores de paisagem em ambiente SIG. In: **Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica**. Portugal, 28-30 nov., 2001. Anais. Lisboa: Associação dos Utilizadores de Sistemas de Informação Geográfica – USIG. 2001.

CARVALHO, L. L. de. **Ciências Cognitivas, modelagem computacional e tecnologias educacionais**. Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas. UFVJM. n.2. Ano I. 2012.

CASER, A. T.; SÁ, D. M. de. O medo do sertão: a malária e a Comissão Rondon (1907-1915). **História, Ciências, Saúde - Manguinhos**, Rio de Janeiro, v.18, n.2, p.471-497. 2011.

CAVALLET, L. E.; PAULA, E. V. de. **Estimativa de Sequestro de Carbono da Biomassa Aérea Como Indicador de Sustentabilidade em Decorrência da Adequação da Área de Preservação Permanente na Sub-Bacia do Rio Pequeno (Antonina-Pr)**. Disponível em: <<http://www.fae.edu/>>. Acesso em: 25 jan. 2013.

COHEN, Julia Clarinda Paiva; BELTRAO, Josivan da Cruz; GANDU, Adilson Wagner and SILVA, Renato Ramos da. Influência do desmatamento sobre o ciclo hidrológico na Amazônia. **Ciência Cultura**, v.59, n.3, p.36-39. 2007.

COLLINGE, S. K. Ecological consequences of habitat fragmentation: implications for landscape architecture and planning. **Landscape and Urban Planning**, v. 36, n. 1, p.59-77. 1996.

CONGALTON, R.; GREEN, K., 1999. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. CRC Press, Danvers, EUA.

DIAMOND, J. M. The island dilemma: lessons of modern biogeographic studies for the design of natural reserves. **Biological Conservation**, n. 7, p.129-146. 1975.

FEARNSIDE, P. M. **A ocupação humana de Rondônia: impactos, limites e planejamento**. SCT/PR-CNPq, Assessoria Editorial e Divulgação Científica, Brasília. 76p. 1989.

FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. de A.; KEIZER, E. W. H.; MALDONADO, F. D.; BARBOSA, R. I.; NOGUEIRA, E. M. Modelagem de Desmatamento e Emissões de Gases de Efeito Estufa na Região Sob Influência da Rodovia Manaus-Porto Velho (Br-319). **Revista Brasileira de Meteorologia**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas, v. 24, n. 2, p.208-233. 2009.

FEARNSIDE, P.M. The roles and movements of actors in the deforestation of Brazilian Amazonia. **Ecology and Society**, v. 13, n. 1, 23p. 2008.

FERREIRA, D. A. C. **Modelagem do desmatamento no noroeste mato-grossense**. 2006. 109f. Dissertação (mestrado), INPA/UFAM, Manaus.

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados**, v.19, n.53, p.157-166. 2005.

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados** [online]. 2005, vol.19, n.53, p. 157-166.

FIATEC. Fórum de Implementação das Ações do Território Central de Rondônia. **Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentado**. 135p. 2007.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. 32p. 2005.

FOODY, G. M. Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, n.1, p.185-201. 2002.

FROHN, R.C.; HAO, Y. Landscape metric performance in analyzing two decades of deforestation in the Amazon Basin of Rondônia, Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v. 100, p.237-251. 2006.

FUCHS, E. J.; LOBO, J. A.; QUESADA, M. Effects of forest fragmentation and flowering phenology on the reproductive success and mating patterns of the dry forest tree *Pachira quinata*. **Conservation Biology**, v. 17, p.149-157. 2003.

GALFORD, G. L.; MELILLO, J. M.; KICKLIGHTER, D. W.; MUSTARD, J. F.; CRONIN, T. W.; CERRI, C. E.; CERRI, C. C. Historical carbon emissions and uptake from the agricultural frontier of the Brazilian Amazon. **Ecological Applications**, v.21, n.3, p.750-763. 2011.

GEOMA. Pesquisas de Desenvolvimento de Métodos, Modelos e Geoinformação para Gestão Ambiental: **Rede Temática de Pesquisa em Modelagem Ambiental da Amazônia**. INPA, MPEG, IDSM, LNCC, INPE, IMPA e CBPF. 49p. 2004.

Hagen, A. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. **International Journal of Geographical Information Science**, v.17, n.3, p.235-249. 2003.

HOUGHTON, R. A. As florestas e o ciclo de carbono global: armazenamento e emissões atuais. In: **Emissão X Seqüestro de CO<sub>2</sub> – Uma Nova Oportunidade de Negócios Para o Brasil**, 1994.

HOUGHTON, R.A. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. **Global Change Biology**, v. 11, p.945-958. 2005.

HOUGHTON, R.A.; LAWRENCE, K. T.; HACKLER, J.; BROWN, L. S. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. **Global Change Biology**, v. 7, p.731-746. 2001.

HOUGHTON, R.A.; SKOLE, D. L.; NOBRE, C. A.; HACKLER, J. L.; LAWRENCE, K. T.; CHOMENTOWSKI, W. H. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. **Nature**, v. 403, p.301-304. 2000.

KIRBY, K. R.; LAURANCE, W. F.; ALBERNAZ, A. K.; SCHOROTH, G.; FEARNSIDE, P. M.; BERGEN. S.; VENTICINQUE, E. M.; COSTA, C. **The future of deforestation in the Brazilian Amazon**. **Futures**. 38, p. 432-453. 2006.

LADLE, R., J.; MALHADO, A. C. M.; TODD, P. A.; MALHADO, A. C. M. Perceptions of Amazonian deforestation in the British and Brazilian media. **Acta Amazônia**. v.40, n.2. 2010.

LANDIS, J.; KOCH, G. G. The measurements of agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, n.3, p.159-179. 1977.

LAURANCE, W. F.; CAMARGO, J. L. C.; LUIZÃO, R. C. C.; LAURANCE, S. G.; PIMM, S. L.; BRUNA, E. M.; STOUFFER, P. C.; WILLIAMSON, G. B.; BENÍTEZ-MALVIDO, J.; VASCONCELOS, H. L.; HOUTAN, K. S. V.; ZARTMAN, C. E.; BOYLE, S. A.; DIDHAM, R. K.; ANDRADE, A.; LOVEJOY, T. E. The fate of Amazonian forest fragments: A 32-year investigation. **Biological Conservation**, p.56-67. 2010.

LIMA, T. F. M. de. **TerraME GIMS - Uma interface gráfica para a descrição de modelos ambientais para a plataforma TerraME**. 2010. 98f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais), Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

LIMA, W.P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba; ESALQ/USP, 1986, 242p.

MANZI, A.; CORAL, S.; LUIZÃO, F. **Estoque e Sequestro de Carbono na Amazônia**. II encontro de comitê consultivo da iniciativa Amazonas, Auditório da SUFRAMA - Manaus - AM - 19 de jul. de 2007. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia INPA. 18p.

MATIAS, F. **Conhecendo a fisiografia de Rondônia**. Porto Velho, RO, 2004. Disponível em: <http://www.rondonoticias.com.br/ler.php?id=10892>. Acesso em: 27 jan. 2013.

MATRICARDI, E. A. T.; SKOLE, D. L.; PEDLOWSKI, M. A.; CHOMENTOWSKI, W.; FERNANDES, L. C. Assessment of tropical forest degradation by selective logging and fire using Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, 114. p. 1117-1129. 2010.

MATRICARDI, E. A. T.; SKOLE, D. L.; PEDLOWSKI, M. A.; CHOMENTOWSKI, W. Assessment of forest disturbances by selective logging and forest fires in the Brazilian Amazon using Landsat data. **International Journal of Remote Sensing (Online)**. , v.34, p.1057 - 1086, 2013.

MAUÉS, M. M.; OLIVEIRA, P. E. A. M. de. Consequências da Fragmentação do Habitat na Ecologia Reprodutiva de Espécies Arbóreas em Florestas Tropicais, com Ênfase na Amazônia. **Oecologia Australis**, v. 14, p.238-250. 2010.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Macrozoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia Legal**. 2010.

MOUTINHO, P.; STELLA, O.; LIMA, A.; CHRISTOVAM, M.; ALENCAR, A.; CASTRO, I.; NEPSTAD, D. **REDD no Brasil: um enfoque amazônico**. Fundamentos, critérios e estruturas institucionais para um regime nacional de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal - REDD. - Ed. rev. e atual. - Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2011. 152p.

MOUTINHO, P.; STELLA, O.; LIMA, A.; CHRISTOVAM, M.; ALENCAR, A.; CASTRO, I.; NEPSTAD, D. **REDD no Brasil: um enfoque amazônico**. Fundamentos,

critérios e estruturas institucionais para um regime nacional de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal - REDD. - Ed. rev. e atual. - Brasília, DF : Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2011. 152 p.

NASCIMENTO, N. C. C. D. **Cenários de Uso da Terra nas Mesobacias Hidrográficas dos Igarapés Timboteua e Buiuna, Pará.** (2011). 111f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia) - Núcleo de Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará. Universidade Federal do Pará.

NEPSTAD, D. C.; CAPOBIANCO, J. P.; BARROS, A. C.; CARVALHO, G.; MOUTINHO, P.; LOPES, U. & LEFEBVRE, P. **Avança Brasil: os custos ambientais para a Amazônia.** Editora Alves. Belém, PA, 24p. 2000.

NEPSTAD, D. C.; MCGRATH, D.; BARROS, A. C.; ALENCAR, A.; SANTILLI, M.; DIAZ, M. C. Frontier governance in Amazonia. **Science**, p.629-630. 2002.

NEPSTAD, D. C.; STICKLER, C. M.; SOARES-FILHO, B.; MERRY, F. Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. **Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci**, p.1737-1746. 2008.

NEPSTAD, D. C.; VERSSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P.; MENDOZA, E.; COCHRANE, M.; BROOKS, V. **Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire.** 398(6727): 505-508. 1999.

NEPSTAD, D.; SOARES-FILHO, B.; MERRY, F.; MOUTINHO, P.; RODRIGUES, H. O.; BOWMAN, M.; SCHWARTZMAN, S.; ALMEIDA, O.; RIVERO, S. **Custos e Benefícios da Redução das Emissões de Carbono do Desmatamento e da Degradação (REDD) da Amazônia Brasileira.** 32p. 2010.

NEPSTAD, D.C.; VERÍSSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P.; MENDOZA, E.; COCHRANE, M.; BROOKS, V. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature**, p.505-508. 1999.

NOGUEIRA, S. P. **Modelagem da Dinâmica de Desmatamento a diferentes escalas espaciais na região nordeste do estado de Mato Grosso.** 2006. 124f. Dissertação (Mestrado em Biologia Tropical e Recursos Naturais), Instituto Nacional de Pesquisas Ambientais em convênio com a Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

PAFF, A. S. P. What Drives Deforestation in the Brazilian Amazon? **Journal of Environmental Economics and Management**, 37, p. 26-43. 1999.

PATTANAVIBOOL, A.; DEARDEN, P.; KUTINTARA, U. Habitat fragmentation in north Thailand: a case study. **Bird Conservation International**, v. 14, p.13-22. 2004.

PAZINI, D. L. G.; MONTANHA, E. P. Geoprocessamento no ensino fundamental: utilizando SIG no ensino de geografia para alunos de 5.a a 8.a série. In Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 1329-1336. Online. Disponível em:

<<http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.22.19.05/doc/1329.pdf>>. Acesso em: 21 Fev. 2013.

PEDLOWSKI, M.; DALE, V.; MATRICARDI, E. A Criação de Áreas Protegidas e os Limites da Conservação Ambiental em Rondônia. **Ambiente & Sociedade**, ano II, n. 5, p.93-107. 1999.

PEREIRA, J. G.; BATISTA, G. T.; THALÊS, M. C.; ROBERTS, D. A.; VENTURIERI, A. Métricas da Paisagem na Caracterização da Evolução da Ocupação da Amazônia. **Geografia**, Rio Claro, v. 26, n. 1, p.59-90. 2001.

PRODES-INPE. **Projeto de Monitoramento da floresta amazônica por satélite - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Disponível em: <<http://www.inpe.gov.Br>>. Acesso em: 26 jan. 2013.

RAMOS, C. R. Estanho na Amazônia: o apogeu e o caso da produção. **Novos Cadernos NAEA**, v. 6, n. 2, p.39-60. 2003.

RIVERO, S. L. M. **Quais os Desafios para uma Agricultura Sustentável em Rondônia?** 2000.

RODRIGUES, H. O.; SOARES-FILHO, B. S.; COSTA, W. L. de S. DINAMICA EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. In Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p.3089-3096. Online. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.06.17.59/doc/3089-3096.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2013.

RONDÔNIA. Governo do Estado. **Zoneamento Socioeconômico-Ecológico do Estado de Rondônia - ZSEE: Um Instrumento de Gestão Ambiental a Serviço do Desenvolvimento Sustentável de Rondônia**. Porto Velho: SEDAM. 2007.

SÁ, T. D. de A. **Instrumentos econômicos de gestão ambiental rural na Amazônia - Perspectivas da pesquisa agropecuária**. Embrapa. 25p. 2007.

SAATCHI, S. S.; HOUGHTON, R. A.; ALVALA, R. C. dos S.; SOARES J. V.; YU Y. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. **Global Change Biology**, v. 13, p.816-837. 2007.

SANTOS, U. de M.; RIBEIRO, M. de N. G.; TANCREDI, A. C. F. N. S. Estudo Preliminar sobre a Hidroquímica da Bacia de Jaci-Paraná (RO). **Acta Amazônia**, v. 17, p.143-150. 1987.

SARAIVA, T. S. **Análise espaço-temporal do desflorestamento em Rondônia face ao zoneamento socioeconômico-ecológico**. São José dos Campos: INPE, 105p. 2009.

SAUNDERS, D. A.; HOBBS, R. J.; MARGULES, C. R. Biological consequences of ecosystem fragmentation : a review. **Conservation Biology**, v. 5, n. 1, p.18-32. 1991.

SCARIOT, A. Consequências da fragmentação da floresta na comunidade de palmeiras na Amazônia central. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 32, p.71-86. 1998.

SEBRAE. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Projeção para Nova Dimensão Econômica e Integração Comercial: Rondônia/Bolívia/Peru**. Coordenado por William José Curi; colaboradores Antônio Rocha Guedes et al.; revisão técnica por Márcio Fontes Nascimento. Porto Velho. 1999.

SEDAM. **Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental do Estado de Rondônia\_2011**.

SOARES-FILHO, B. S. **Análise de Paisagem: Fragmentação e Mudanças**. Departamento de Cartografia, Centro de Sensoriamento Remoto - Instituto de Geociências - UFMG. 1998.

SOARES-FILHO, B. S. **Dinamica Project**. Disponível em: <<http://www.csr.ufmg.br/dinamica/>>. Acesso: 26 jan. 2013.

SOARES-FILHO, B. S.; HISSA, L. **Estudo de Baixo Carbono para o Brasil: Emissões Associadas às Mudanças do Uso do Solo**. Relatório técnico. 61p. 2010.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; MCGRATH, D. Cenários de desmatamento para a Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 54, p.137–152. 2005.

SOARES-FILHO, B. S.; RODRIGUES, H. O.; COSTA, W. L. S. **Modelagem de Dinâmica Ambiental com Dinamica**. Guia prático do Dinamica Ego, Centro de Sensoriamento Remoto/UFMG. 2009.

SOARES-FILHO, B. S.; RODRIGUES, H. O.; COSTA, W. L. S.; SILVESTRINI, R. A.; FERREIRA, B. M.; LIMA, L. S.; MACHADO, R. F. **Dinamica project**. Disponível em: <[www.csr.ufmg.br/dinamica](http://www.csr.ufmg.br/dinamica/)>. Acesso em: 22 jan. 2013.

SOARES-FILHO, B.S.; LIMA, L.S.; BOWMAN, M.; HISSA, L. V. Challenges for Low-Carbon Agriculture and Forest Conservation in Brazil. **Inter-American Development Bank Environmental Safeguards Unit**. (VPS/ESG) TECHNICAL NOTES. 2012.

SORRISO-VALVO, M.; BRYAN, R.B.; YAIR, A.; IOVINO, F.; ANTRONICO, L. Impact of afforestation on hydrological response and sediment production in a small Calabrian catchment. **Catena**, v. 25, n. 1-4, p.89-104. 1995.

SOUZA, M. M. O. DE; GROSSI, S. R. D. A Regionalização do Espaço Amazônico: O Caso de Rondônia. **Revista da Católica**, Uberlândia, v. 2, n. 3, p.126-135. 2010.

TISCHENDORF, L.; FAHRING, L. On the usage and measurement of landscape connectivity. **OIKOS**, Copenhagen, p.7-19. 2000.



TOURNEAU, F. M. L.; BURSZTYN, M. Assentamentos rurais na Amazônia: contradições entre a política agrária e a política ambiental. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 13, n. 1, p.111-130. 2010.

VAN DER WERF, G. R.; MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; OLIVER J. G. J.; KASIBHATLA P.; JACKSON R. B; COLLATZ G. J.; RANDERSON, J. T. CO<sub>2</sub> emissions from forest loss. **Nature Geoscience**, v. 2, p.737-738. 2009.

WARD, R.C. **Principles of Hydrology**. New York: McGraw-Hill. 1967.

WATRIN, O. DOS S.; VENTURIERI, A. Métricas de paisagem na avaliação da dinâmica do uso da terra em projetos de assentamentos no Sudeste Paraense. In Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p.3433-3440. Online. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/>>. Acesso em: 24 jan. 2013.

WU, J. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: Scaling relations. **Landscape Ecology**, v. 19, p.125-138. 2004.

XIMENES, A. de C.; ALMEID, C M de; AMARAL, S.; ESCADA, M. I. S. AGUIAR, A. P. D. de. Modelagem Dinâmica do Desmatamento na Amazônia. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 14, n. 3, p.370-391. 2008.