



TESE DE DOUTORADO

**DEGRADAÇÃO FLORESTAL POR EXTRAÇÃO SELETIVA E FOGO
NA AMAZÔNIA LEGAL**

Olívia Bueno da Costa

Brasília, 10 de fevereiro de 2017

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**DEGRADAÇÃO FLORESTAL POR EXTRAÇÃO
SELETIVA E FOGO NA AMAZÔNIA LEGAL**

OLÍVIA BUENO DA COSTA

**ORIENTADOR: PROF. ERAALDO APARECIDO TRONDOLI
MATRICARDI**

TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PUBLICAÇÃO: PPGEFL.TD - 074/2017

BRASÍLIA/DF: FEVEREIRO - 2017.

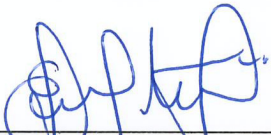
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

“DEGRADAÇÃO FLORESTAL POR EXTRAÇÃO SELETIVA E FOGO NA
AMAZÔNIA LEGAL”

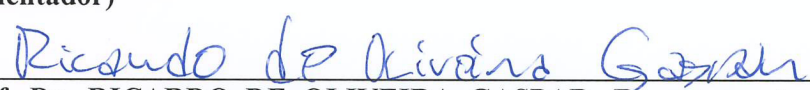
OLÍVIA BUENO DA COSTA

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL, DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR.


APROVADA POR:



Prof. Dr. ERALDO APARECIDO TRONDOLI MATRICARDI (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);
(Orientador)



Prof. Dr. RICARDO DE OLIVEIRA GASPAR (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);
(Examinador Interno)



Prof. Dr. REGINALDO SÉRGIO PEREIRA (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB).
(Examinador Externo)



Prof. Dr. MÁRIO BARROSO RAMOS NETO (The Nature Conservancy – TNC);
(Examinador Externo)



Prof. Dr. MARCOS ANTÔNIO PEDLOWSKI (Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF);
(Examinador Externo)

Prof. Dr. HUMBERTO ANGELO (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB).
(Examinador Suplente)

Brasília-DF, 10 de fevereiro de 2017.

FICHA CATALOGRÁFICA

BC837d	Bueno da Costa, Olívia DEGRADAÇÃO FLORESTAL POR EXTRAÇÃO SELETIVA E FOGO NA AMAZÔNIA LEGAL / Olívia Bueno da Costa; orientador Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi. -- Brasília, 2017. 186 p. Tese (Doutorado - Doutorado em Ciências Florestais) -- Universidade de Brasília, 2017. 1. Sensoriamento Remoto. 2. Sistemas de Informações Geográficas. 3. Amazônia Legal. 4. Extração seletiva. 5. Fogo. I. Aparecido Trondoli Matricardi, Eraldo , orient. II. Título.
--------	--

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

COSTA, B. O. (2017). Degradação Florestal por extração seletiva e fogo na Amazônia Legal. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.TD - 074/2017. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 186p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Olívia Bueno da Costa

TÍTULO: Degradação florestal por extração seletiva e fogo na Amazônia Legal

GRAU: Doutor

ANO: 2017

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta Tese de Doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Os autores reservam outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa Tese de Doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito dos autores.

Olívia Bueno da Costa
Departamento de Engenharia Florestal (EFL)-FT Universidade de Brasília(UnB)
Campus Darcy Ribeiro
CEP70919-970-Brasília-DF-Brasil

"The worldwide concern with deforestation of Brazilian Amazonia is motivated not only by the irreversible loss of this natural wealth, but also by the perception that it is a destructive process in which the social and economic gains are smaller than the environmental losses."(**Sergio Margulis**)

"Só de corte raso, nos últimos 40 anos, foram três estados de São Paulo, duas Alemanhas ou dois Japões. São 184 milhões de campos de futebol, quase um campo por brasileiro. A velocidade do desmatamento na Amazônia, em 40 anos, é de um trator com uma lâmina de três metros se deslocando a 726 km/hora – uma espécie de trator do fim do mundo. A área que foi destruída corresponde a uma estrada de 2 km de largura, da Terra até a Lua. Foram destruídas 42 bilhões de árvores em 40 anos, cerca de 3 milhões de árvores por dia, 2.000 árvores por minuto." (**Antônio Donato Nobre, 2014**).

"and admit that the waters
Around you have grown
And accept it that soon
You'll be drenched to the bone
If your time to you
Is worth savin'
Then you better start swimmin'
Or you'll sink like a stone
For the times they are a-changin'"
Bob Dylan

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Eraldo Matricardi pela incansável orientação e paciência, e principalmente pela amizade. Sempre disposto a trabalhar e ajudar seus alunos. É uma inspiração para mim e um exemplo a ser seguido. Não há palavras suficientes para expressar toda a minha gratidão de tê-lo como mestre.

Ao pesquisador Marcos Pedlowski pela sua grande contribuição científica na minha dissertação de mestrado e, agora, em minha tese de doutorado. É um professor criterioso, metódico e dedicado à pesquisa científica.

Ao Mauro Matricardi, que tive o prazer de conhecer durante a viagem de campo para Sinop. Foi extremamente atencioso e cordial, com grande disposição para mostrar e ensinar o máximo que podia, considerando o curto período de minha estadia na cidade.

À minha mãe, por estar sempre ao meu lado, me orientando e me ajudando.

À minha irmã e ao meu pai pelo apoio, diversão e companhia.

Ao meu marido, Luiz Eduardo, pelo incentivo constante e principalmente pela racionalidade ao lidar com as diversas situações. É um pai muito dedicado à família, ao trabalho e à ciência.

E, por fim, à minha filha Luísa, pelo carinho e amor diários.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	20
1. INTRODUÇÃO	20
1.1 Estudos prévios.....	21
1.2 O problema de pesquisa.....	23
1.3 Questões de pesquisa.....	24
1.4 Justificativa.....	24
1.5 Objetivo	25
1.6 Hipóteses	26
1.7 Escopo da tese	28
CAPÍTULO 2	30
2. REVISÃO DE LITERATURA	30
2.2 Mudanças climáticas	30
2.3 Desmatamento	32
2.4 Degradação	34
2.4.1 Extração seletiva.....	35
2.4.1.1 Extração seletiva convencional ou predatória.....	36
2.4.1.2 Extração seletiva de impacto reduzido.....	36
2.4.2 Impactos ambientais da extração seletiva.....	37
2.4.3 Extração seletiva e fragmentação	39
2.4.4 Extração seletiva e incêndios florestais	40
2.4.5 Incêndios Florestais	43
CAPÍTULO 3	44
3. AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA DE DETECÇÃO DE EXTRAÇÃO SELETIVA NA AMAZÔNIA LEGAL	44
3.2 Introdução.....	46
3.3 Métodos	47

3.3.1	Dados do estudo.....	50
3.4	Resultados e Discussão.....	51
3.5	Conclusões.....	55
CAPÍTULO 4		56
4.	MAPEAMENTO DA EXTRAÇÃO SELETIVA E FOGO NA AMAZÔNIA LEGAL.	56
4.1	Introdução.....	58
4.2	Material e Métodos.....	59
4.2.1	Área de estudo	59
4.2.2	Dados	60
4.2.3	Dados de extração seletiva e cicatrizes de fogo da década de 90.....	62
4.3	Estudo de campo.....	62
4.4	Análise de dados.....	63
4.4.1	Correções das imagens	63
4.4.1.1	Calibração radiométrica	63
4.4.1.2	Correção geométrica	64
4.4.2	Mapeamento semiautomático da extração seletiva - Análise de textura.....	64
4.4.2.1	Interpretação visual das áreas de extração seletiva	66
4.4.3	Detecção de cicatrizes de incêndios florestais - Análise de mistura espectral	67
4.4.3.1	Seleção dos <i>pixels</i> puros (<i>endmembers</i>).....	69
4.4.4	Avaliação da relação entre extração seletiva e desmatamento	70
4.5	Resultados.....	70
4.5.1	Estudo de campo.....	70
4.5.2	Técnicas de mapeamento da extração seletiva e fogo	73
4.5.3	Áreas de extração seletiva e fogo na Amazônia Legal	76
4.5.4	Unidades de Conservação e Terras Indígenas	83
4.6	Discussão.....	87
4.6.1	Extração seletiva e fogo.....	87

4.6.2	Degradação, desmatamento e volume de madeira extraído.....	91
4.6.3	Áreas degradadas e desmatamento	92
4.6.4	Unidades de Conservação.....	95
4.7	Conclusão	97
CAPITULO 5		98
5.	ANÁLISE ESPACIAL DA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DA EXTRAÇÃO SELETIVA E DO FOGO NA AMAZÔNIA LEGAL	98
5.2	Introdução.....	100
5.3	Métodos	101
5.3.1	Área de estudo	101
5.3.2	Base de dados	101
5.3.3	Metodologia.....	103
5.3.3.1	Krigagem ordinária	103
5.3.3.2	Probit	104
5.3.3.3	Preparação dos dados	105
5.3.3.4	Teste de Hipóteses.....	107
5.4	Resultados e Discussão.....	110
5.4.1	Análise do fogo.....	110
5.4.2	Análise da distribuição espacial das florestas impactadas pela extração seletiva de madeiras	115
5.5	Conclusões.....	118
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS DA PESQUISA	120
6.2	Estudo no contexto global	120
6.2	Revisita das questões de pesquisa	122
6.3	Revisitando as hipóteses.....	124
6.4	Estudos futuros	125
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - (a) Aumento médio das temperaturas dos oceanos e superfície terrestre (anual e por década); (c) diminuição da extensão das calotas polares; (d) aumento do nível do mar.	31
Figura 2 - Anomalias na temperatura nas décadas de 70, 80, 90 e ano 2000.	32
Figura 3 - Estimativa continental dos principais fatores que levam ao desmatamento.	33
Figura 4 - Taxas de desmatamento dos estados da Amazônia Legal no período de 2004 a 2016.	34
Figura 5 - Extração seletiva de impacto reduzido (a) e extração seletiva convencional (b)...	37
Figura 6 - Esquema representando os processos que podem ocorrer após extrações seletivas recorrentes.	40
Figura 7 - Áreas de validação do estudo na Amazônia Legal.	48
Figura 8 - Fluxograma dos procedimentos aplicados para verificação da acurácia do mapeamento das florestas afetadas pela extração seletiva de madeira no Mato Grosso, Rondônia e Pará.	50
Figura 9 -Localização da área de estudo (Amazônia Legal).	60
Figura 10 -Ponto e órbita das cenas Landsat utilizadas no estudo.	61
Figura 11 - Pré-processamentos realizados nas imagens Landsat5 TM do estudo.	63
Figura 12 - Esquema dos processamentos realizados nas imagens Landsat para mapeamento da extração seletiva de madeiras.	66
Figura 13 - Esquema dos processamentos realizados nas imagens para o mapeamento das áreas impactadas por fogo na área de estudo.	69
Figura 14 - Localização de áreas de extração seletiva nos municípios de Sinop e Feliz Natal no Mato Grosso e percurso (linha azul) para visitas a áreas de exploração madeireira e fogo na região.	71
Figura 15 - Pátio de extração seletiva de dimensões 20 m de comprimento por 15 m de largura no município de Feliz Natal, Mato Grosso.	71
Figura 16 - Abertura no dossel provocada pelo pátio de extração seletiva no município de Feliz Natal, Mato Grosso	72
Figura 17 -Área de floresta degradada pelo fogo. A área possui espécies secundárias e das árvores mais altas degradadas pelo fogo, desprendem-se galhos secos formando combustível para futuros incêndios.	73
Figura 18 - (a) Imagem textural, pátios e infraestrutura para a extração seletiva de madeiras em pontos brancos; (b) perfil espacial dos pátios e infraestrutura da extração seletiva.	74

Figura 19 - (a) Composição RGB 563 (Landsat 5 TM, 2010), cena 224/68 com polígono demarcando a área de extração seletiva; (b) união do polígono da interpretação visual com o <i>buffer</i> gerado a partir da imagem textural em torno dos pátios de extração seletiva.	75
Figura 20 - (a) composição RGB 543 (Landsat 5 TM, 2010), cena 222/63 com áreas de degradação por fogo em roxo; (b) imagem fração da vegetação não-fotossinteticamente ativa resultante da Análise de mistura espectral utilizada para o mapeamento do fogo.	75
Figura 21 - Extração seletiva nos anos de 1992 a 2014 na Amazônia Legal.	77
Figura 22 -Degradação pelo fogo nos anos 1992 a 2014 na Amazônia Legal.	78
Figura 23 - Área de extração seletiva no período de 1992 a 2014.	87
Figura 24 - Área de florestas impactadas pela ocorrência do fogo entre 1992 a 2014.	89
Figura 25 - Incremento do desmatamento e da degradação nos anos de análise na Amazônia Legal.	91
Figura 26 -Volume (em milhões de m ³) de madeira destinada a produção na Amazônia legal no período de 1992 a 2014.	92
Figura 27 - Dinâmica da extração seletiva na Amazônia Legal.	95
Figura 28 - Pontos aleatorizados na malha de 15km por 15 km.	107
Figura 29 - Probabilidade de ocorrência de florestas impactadas pelo fogo nos estados do Mato Grosso, Pará, Maranhão e Acre.	112
Figura 30 - Probabilidade de ocorrência do fogo em relação a precipitação, temperatura e às distâncias das variáveis desmatamento e estradas.	114
Figura 31 - Probabilidade de ocorrência da extração seletiva em relação às distâncias das variáveis polos madeireiros, cidades, desmatamento e do volume de madeira.	117

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Compilação dos estudos realizados na Amazônia que envolvem extração seletiva e incêndios florestais e abrangem técnicas, série temporal, local, resultados e imagens utilizadas.....	22
Tabela 2 - Cenas Landsat e <i>RapidEye</i> utilizadas no estudo no ano de 2014.....	48
Tabela 3 - Dados utilizados no estudo e suas características.	50
Tabela 4 - Acurácia do mapeamento da extração seletiva na Amazônia Legal no ano de 2014 utilizando cenas <i>RapidEye</i> do estado do Mato Grosso.	52
Tabela 5 - Acurácia do mapeamento da extração seletiva na Amazônia Legal no ano de 2014 utilizando cenas <i>RapidEye</i> do estado do Pará.	53
Tabela 6 - Acurácia do mapeamento da extração seletiva na Amazônia Legal no ano de 2014 utilizando cenas <i>RapidEye</i> do estado de Rondônia.	55
Tabela 7 - Dados utilizados no trabalho.	61
Tabela 8 - Dados de degradação por extração seletiva de madeiras para os estados da Amazônia Legal.	79
Tabela 9 - Dados da área (km ²) de degradação pelo fogo para os estados da Amazônia Legal.	80
Tabela 10 - Áreas de extração seletiva recorrentes na área e período de estudo.	81
Tabela 11 - Áreas de fogo recorrentes na área de estudo.	82
Tabela 12 - Unidades de Conservação nos anos de 1992 a 2014 na Amazônia Legal, com suas respectivas áreas e extração seletiva.	84
Tabela 13 - Terras Indígenas na Amazônia Legal e as áreas de extração seletiva de madeira detectadas entre 1992 a 2014.	85
Tabela 14 - Terras Indígenas na Amazônia Legal e a área degradada pelo fogo no período de 1992 a 2014.	86
Tabela 15 - Incremento anual da degradação do estudo de Matricardi (2007) (1992,1996 e 1999) e do período de análise deste estudo.	90
Tabela 16 - Dados utilizados no estudo de Análise espacial.....	102
Tabela 17 - Análise de regressão probit para as florestas impactadas pelo fogo na Amazônia brasileira.	110
Tabela 18 - Análise de regressão probit para a distribuição espacial das florestas impactadas pela extração seletiva de madeiras.	115

LISTA DE SIGLAS

bdmep	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
CDB	Convenção de Diversidade Biológica
CLAS	<i>Carnegie Landsat Analysis System</i>
DEGRAD	Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira
DETER	Detecção de Desmatamento em Tempo Real
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMAZON	Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia
INPE	Instituto de Pesquisas Espaciais
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ITTO	<i>The International Tropical Timber Organization</i>
IUCN	<i>International Union for Conservation of Nature</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NPV	<i>Non-photosynthetic vegetation</i>
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
PRODES	Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia
TI's	Terras Indígenas
TM	<i>Thematic Mapper</i>
UC's	Unidades de Conservação
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
FLONA	Floresta Nacional
PN	Parque Nacional
REBIO	Reserva Biológica
RESEX	Reserva Extrativista
TRFIC	<i>Tropical Rain Forest Information Center</i>

APÊNDICE

APÊNDICE A- Pontos aleatorizados nas cenas do estado do Mato Grosso em 2014.....	146
APÊNDICE B - Pontos aleatorizados nas cenas do estado do Pará em 2014.....	147
APÊNDICE C - Pontos aleatorizados nas cenas do estado de Rondônia em 2014.	148
APÊNDICE D - Mapa da vegetação da Amazônia Legal.....	149
APÊNDICE E - Pontos, órbitas e datas das imagens que foram utilizadas no estudo.....	150
APÊNDICE F - Extração seletiva (%) no ano de 1992 na Amazônia Legal (Grade de 625 km ²).	153
APÊNDICE G - Extração seletiva (%) no ano de 1996 na Amazônia Legal (Grade de 625 km ²).	154
APÊNDICE H - Extração seletiva (%) no ano de 1999 na Amazônia Legal (Grade de 625 km ²).	155
APÊNDICE I- Extração seletiva (%) do ano de 2003 na Amazônia Legal (Grade de 625km ²).	156
APÊNDICE J- Extração seletiva (%) do ano de 2006 na Amazônia Legal (Grade de 625km ²).	157
APÊNDICE K- Extração seletiva (%) do ano de 2010 na Amazônia Legal (Grade de 625km ²).	158
APÊNDICE L- Extração seletiva (%) do ano de 2014 na Amazônia Legal (Grade de 625km ²).	159
APÊNDICE M - Área de extração seletiva em 2014 e pólos madeireiros na Amazônia Legal.	160
APÊNDICE N - Eixos de transporte madeireiros, pólos madeireiros e extração seletiva em 2014.....	161
APÊNDICE O - Área do fogo (%) do ano de 1992 na Amazônia Legal (Grade 625 km ²). ..	162
APÊNDICE P - Área do fogo (%) do ano de 1996 na Amazônia Legal (Grade 625 km ²). ...	163
APÊNDICE Q - Área do fogo (%) do ano de 1999 na Amazônia Legal (Grade 625 km ²). ..	164
APÊNDICE R- Área de fogo (%) do ano de 2003 na Amazônia Legal (Grade 625 km ²).	165
APÊNDICE S - Área de fogo (%) do ano de 2006 na Amazônia Legal (Grade de 625 km ²).	166
APÊNDICE T - Área de fogo (%) do ano de 2010 na Amazônia Legal (Grade de 625 km ²).	167

APÊNDICE U - Área de fogo (%) do ano de 2014 na Amazônia Legal (Grade de 625 km ²).	168
APÊNDICE V - Área de extração seletiva, de fogo e de extração seletiva e fogo combinadas por ponto e órbita para os ano de 2003, 2006, 2010 e 2014.....	169
APÊNDICE W - Número de extrações seletivas recorrentes na Amazônia Legal no período de 1992 a 2014.	173
APÊNDICE X - Número de incêndios florestais recorrentes na Amazônia Legal no período de 1992 a 2014.	174
APÊNDICE Y -Extração seletiva de 1992 a 2014 em sobreposição ao desmatamento do TRFIC e PRODES até 2015.....	175
APÊNDICE Z - Fogo no período de 1992 a 2014 em sobreposição ao desmatamento do TRFIC e PRODES até 2015.....	176
APÊNDICE AA - Áreas de extração seletiva e fogo do período de 1992 a 2014 em sobreposição ao desmatamento do TRFIC e PRODES até 2015.	177
APÊNDICE BB - Extrações seletivas dentro de Unidades de Conservação na Amazônia Legal.....	178
APÊNDICE CC - Temperatura da Amazônia Legal no período de 1992 a 2014.....	179
APÊNDICE DD - Precipitação da Amazônia Legal no período de 1992 a 2014.	180
APÊNDICE EE - Distância Euclidiana de estradas na Amazônia Legal.....	181
APÊNDICE FF - Distância Euclidiana de Pólos madeireiros na Amazônia Legal.	182
APÊNDICE GG - Distância Euclidiana de cidades na Amazônia Legal.....	183
APÊNDICE HH - Estados da Amazônia Legal e respectivos códigos utilizados na Análise Espacial.	184
APÊNDICE II - Unidades de Conservação e Terras Indígenas na Amazônia Legal e respectivos códigos para análise.	185
APÊNDICE JJ - Volume de madeira na Amazônia Legal.....	186

RESUMO

DEGRADAÇÃO FLORESTAL POR EXTRAÇÃO SELETIVA E FOGO NA AMAZÔNIA LEGAL

Autor: Olívia Bueno da Costa

Orientador: Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais

Brasília, fevereiro de 2017

As atividades de extração seletiva, fogo e fragmentação da vegetação natural têm aumentado substancialmente em regiões de florestas tropicais nas últimas décadas. A degradação causa vários impactos na floresta, diminuindo a biodiversidade, alterando o microclima e aumentando a suscetibilidade a incêndios mais severos. Além disso, a degradação aumenta a liberação de gases do efeito estufa para atmosfera, contribuindo para as mudanças climáticas globais. Este estudo buscou avaliar a dinâmica espaço-temporal das florestas impactadas por extração seletiva de madeiras e fogo na Amazônia Legal no período de 1992 a 2014 utilizando dados e técnicas de sensoriamento remoto. A metodologia se baseou na aplicação da análise de mistura espectral (para mapeamento do fogo) e do algoritmo de textura combinado com interpretação visual (para mapeamento da extração seletiva) de imagens Landsat. A acurácia da técnica utilizada foi estimada por matrizes de confusão e cenas do satélite *RapidEye*. Além disso, foi conduzida uma análise espacial com objetivo de identificar a distribuição espacial da extração seletiva e do fogo na Amazônia Legal. Com base nos resultados desta pesquisa, estimou-se uma acurácia global de 91% (Mato Grosso) e 93% (Pará e Rondônia) para o mapeamento de áreas impactadas pela extração seletiva de madeiras. Erros de comissão e omissão foram de 11,9 % e 9,4% (Mato Grosso); 7,4% e 7,4% (Pará); e, por fim, 2% e 9,4% (Rondônia). A área total de florestas impactadas por extração seletiva e fogo nos anos 1992, 1996, 1999, 2003, 2006, 2010 e 2014 foi 11.869 km², 16.532 km², 35.697 km², 39.800 km², 49.710 km², 56.744 km² e 46.789 km², respectivamente. A extração seletiva de madeiras e o fogo foram responsáveis por 72% e 28%, respectivamente, do total das áreas de florestas impactadas e mapeadas na Amazônia no período de estudo. De maneira oposta às taxas de desmatamentos na Amazônia, as áreas impactadas pela extração seletiva de madeiras e o fogo aumentaram mais de 400% entre 1992 e 2014. As florestas impactadas pelo fogo apresentaram maior probabilidade de serem

desmatadas quando comparadas à florestas exploradas seletivamente, porém a extração seletiva contribuiu, em alguns anos, em quase 50% do incremento do desmatamento. Apesar deste fato, pequenas áreas de extração seletiva são posteriormente desmatadas. A extração seletiva de madeiras afetou 1.838 km² e 1.718 km² de florestas dentro de Unidades de Conservação e Terras Indígenas no ano 2014, respectivamente. A exploração de madeira e o fogo em áreas protegidas aumentou substancialmente nos últimos anos. As áreas de extração seletiva tenderam, de forma significativa, a ocorrerem mais próximas aos polos madeireiros, aos principais centros urbanos e mais distantes das áreas desmatadas na Amazônia. A extração seletiva variou anualmente, por Estado e de acordo com o volume de madeira disponível nas florestas. As florestas atingidas pelo fogo se mostraram distribuídas, de forma significativa, nas proximidades dos desmatamentos, cidades e estradas. As maiores áreas atingidas por fogo em florestas foram observadas em anos de maior temperatura, menor precipitação e em áreas de menor volume de madeira. O entendimento das variáveis que influenciam os processos de degradação são fundamentais para o mapeamento geográfico de áreas com maior probabilidade de ocorrência destes eventos, o que implica em maior controle dessas áreas para frear processos de desmatamento futuros.

Palavras-chave: Manejo Florestal, geoprocessamento, floresta Amazônica e desmatamento.

ABSTRACT

FOREST DEGRADATION BY SELECTIVE LOGGING AND FIRE IN BRAZILIAN LEGAL AMAZON

Author: Olívia Bueno da Costa

Supervisor: Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais

Brasília, february of 2017

Forest degradation by selective logging activities, fire and fragmentation have increased at a rapid pace in tropical forests in last decades. Forest degradation can cause several impacts in forests, including loss of biodiversity, microclimate changes and increase of forest susceptibility to severe fires. In addition, forest degradation has a contribution in the releasing of greenhouse gases to atmosphere, increasing global climate change. This study analyzed spatiotemporal dynamic of degraded forests by selective logging and fire in Legal Amazon in the period of 1992 to 2014 using data and remote sensing techniques. Methodology was based in SMA analysis (for forest fire degradation) and texture algorithm combined to a visual interpretation (for selective logging degradation) of Landsat images. Accuracy of technique was estimated by a confusion matrix and RapidEye scenes. Furthermore, a spatial analysis was conducted to verify spatial distribution of fire and selective logging throughout Legal Amazon. Results showed a great global accuracy of 91% (Mato Grosso) and 93% (Pará and Rondônia states) for selective logging mapping technique. Commission and omission errors were 11,9% and 9,4% (Mato Grosso); 7,4% and 7,4% (Pará); 2% and 9,4% (Rondônia). The total area impacted by selective logging and fire was 11.869 km², 16.532 km², 35.697 km³, 39.800 km², 49.710 km², 56.744 km², and 46.789 km² in 1992, 1996, 1999, 2003, 2006, 2010, and 2014, respectively. Furthermore, selective logging activities alone were responsible for 72% of Amazon degradation, while fire activities were responsible for 28% of all degraded forests. Forest areas impacted by selective logging and fire increase more than 400% between 1992 and 2014, as opposite to deforestation data, that decreased in the same period. Forest areas impacted by fire showed higher probability to subsequent deforestation in comparison to selective logged forests, but selective logging was responsible for almost 50% of deforestation increment in some years analyzed. Besides of this, small areas of selective logging and fire were deforested in subsequent years. Selective

logging areas impacted 1.838 km² and 1.718 km² of Conservation Units and Indigenous land in 2014, respectively. Selective logging areas occur, significantly, nearest timber centers, urban centers and distant to deforestation areas. Selective logging varied annually, by state, and volume of wood. Forests impacted by fire occurred nearest deforestation areas, cities, and roads. In addition, forest fires had a higher probability of occur at a higher temperature, low precipitation, and low wood volumes. The better understand of variables that influence forest degradation processes are crucial for geographically mapping areas with higher probability to occur these events, implying in more control of this areas to avoid future deforestation.

Key-words: forest degradation, Legal Amazon, Geoprocessing and deforestation.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira abriga a maior extensão de floresta tropical na Terra, e apresenta um terço das florestas tropicais remanescentes do mundo, com área de aproximadamente 4,1 milhões de km² (FEARNSIDE, 1997; ANWAR; STEIN, 2012). Além disso, a Amazônia possui uma imensa quantidade de recursos primários (FEARNSIDE, 1997) e a maior rede hidrográfica do planeta (SIOLI, 1991; FEARNSIDE, 1997).

Os recursos presentes na Amazônia incluem fontes de elementos minerais, solos, diferentes potenciais de usos para terra, madeira e produtos não madeireiros, além de recursos hídricos (FEARNSIDE, 1997). Por isso, a Amazônia é considerada um dos mais importantes biomas, apresentando alta biodiversidade de espécies de plantas, animais, vida microbiana (FOLEY et al., 2007; NEPSTAD et al., 2008) e alto estoque de carbono (FEARNSIDE, 1997; SOARES-FILHO et al., 2006). Por fim, a Amazônia é responsável pelo oferecimento de inúmeros serviços ecossistêmicos (MYERS, 1997), que vão desde o suprimento de produtos e materiais até a provisão de benefícios culturais (FOLEY et al., 2007) e científicos (FEARNSIDE, 1997).

Há, portanto, preocupação da comunidade científica em relação às altas taxas de desmatamento e degradação atuais na Amazônia brasileira (NEPSTAD et al., 2008; GODAR et al., 2014; AMAZON, 2014). Dados do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) (2016) apontam para o desmatamento de 4.882 km² da Amazônia Legal, no ano de 2013. Deste total desmatado, 22.664 km² correspondem a polígonos com até 0,20 km²; 1.618 km² correspondem a polígonos de 0,21 a 1,00 km²; e o restante, 1.037 km² corresponde a polígonos de 1,01 a 20,24 km². A partir desses dados infere-se que há maior quantidade de pequenos polígonos (até 0,20 km²) desmatados na Amazônia Legal.

Os estados da Amazônia Legal que mais perdem floresta para o desmatamento incluem Mato Grosso, Pará e Rondônia, com desmatamento de 1.598, 116 e 37 km² em 2015, respectivamente. Ao mesmo tempo a área plantada de soja continua crescendo nos estados da Amazônia Legal, em 2000 a área plantada era de 285,03 km² e em 2014 essa área foi de 1.478,12 km² (IBGE, 2015; COSTA et al., 2017), além da expansão do pasto e cana. O cultivo desses grãos se tornou um dos maiores agentes do desmatamento na Amazônia (SOUZA JR, 2006). De setembro de 2013 a setembro de 2014, foram observados aumentos

de 957%, 195% e 81% na área desmatada nos estados de Mato Grosso, Rondônia e Pará, respectivamente (IMAZON, 2014).

Em relação à degradação florestal, Nepstad et al. (1999) observaram, a partir de estimativas indiretas, que 15.000 km² de florestas foram degradadas por extração seletiva em 1997; e 310 km² foram degradadas pelo fogo em 1995. Matricardi et al. (2013) estimaram que 35.600 km² de florestas foram impactadas diretamente pela extração seletiva em 1999. Os estados com maior área de degradação florestal na Amazônia Legal, perceptíveis em imagens de sensoriamento remoto de média resolução espacial, foram Mato Grosso e Pará, que apresentaram em 2013 valores de 2.121 e 1.511 km² de florestas degradadas, respectivamente (INPE, 2016). Neste caso, a extração seletiva de madeiras, a fragmentação e os incêndios florestais são os principais fatores que contribuem para a degradação da floresta Amazônica (SOUZA; ROBERTS; COCHRANE, 2005).

A detecção das áreas de extração seletiva e das cicatrizes de fogo na floresta Amazônica é fundamental para a análise e entendimento da distribuição espacial da degradação florestal para a fundamentação do estudo das mudanças climáticas e desmatamento atuais. Nesse sentido, o sensoriamento remoto é um recurso determinante para o mapeamento da extração seletiva em áreas densas e inacessíveis da Amazônia, pois permite uma visão global e uma cobertura rápida da área (SOUZA; ROBERTS; COCHRANE, 2005; ANWAR; STEIN, 2012) a baixo custo (NEPSTAD; MOREIRA; ALENCAR, 1999). Desta forma, as florestas impactadas pela extração seletiva de madeira e pelo fogo são os objetos principais da presente pesquisa.

1.1 Estudos prévios

Os principais estudos conduzidos na Amazônia Legal, em sua maior parte, focaram no mapeamento da extração seletiva de madeiras e das cicatrizes do fogo utilizando para tal séries temporais em estudos de caso no estado do Pará (Tabela 1). Outros estudos foram mais abrangentes espacialmente (por exemplo, Asner et al. 2005, Matricardi et al. 2007 e DETEX do INPE 2016), mas envolveram pequenas séries temporais das áreas de extração seletiva para toda a Amazônia (Tabela 1).

Tabela 1 - Compilação dos estudos realizados na Amazônia que envolvem extração seletiva e incêndios florestais e abrangem técnicas, série temporal, local, resultados e imagens utilizadas.

Autor/ano de publicação	Técnica utilizada	Série temporal	Área/Local	Resultado
Watrin e Rocha (1992)	Interpretação visual	1988	Paragominas, Pará	2.424 km ² de florestas degradadas
Stone e Lefebvre (1998)	Máxima Verossimilhança e isodata + interpretação visual	1991, 1988, 1986	Paragominas, Pará	78km ² (1986);164km ² (1988) e 303 km ² (1991) de florestas degradadas
Cochrane e Souza (1998)	Análise de mistura espectral	1991, 1993 e 1996	1.406km ² , sul de Tailândia e (Pará)	371 km ² degradados até 1993 184km ² degradados pelo fogo de 1991 a 1993
Nepstad et al. (1999)	Estimativa indireta da área impactada com base na produção de madeiras. Entrevistas às empresas do setor.	1994, 1995, 1996, 1997	Pará, Mato Grosso, Rondônia e Acre - transecto de 2.200 km	10.000 a 15.000 km ² degradadas em 1996 e 1997; 310km ² de florestas degradados pelo fogo em 1994 e 95
Souza e Barreto (2000)	Análise de mistura espectral	1984, 1991 e 1996	Pará/32.520 hectares	2.089 em 1984, 2.585 ha em 1991 e 662 ha em 1996 extração seletiva
Souza et al. (2003)	Análise de mistura espectral SPOT (1999) Landsat TM (1988, 1991, 1995 e 1996) IKONOS (2000)	1988, 1991, 1995, 1996 1999, 2000	Paragominas/3666 km ²	1.171 km ² de florestas degradadas por extração seletiva e 185km ² de florestas degradadas pelo fogo.
Asner et al. (2005)	<i>Carnegie Landsat Analysis System (CLAS)</i>	1999, 2000, 2001, 2002	Pará, Mato Grosso, Rondônia, Roraima e Acre	12.075 a 19.823 km ² de florestas degradadas
Matricardi et al. (2005)	Classificação não supervisionada e revisão por interpretação visual e edição manual Landsat TM e ETM+; IKONOS	1992 2002	Mato Grosso	1.166 km ² (1992) 4.397 km ² (2002) de florestas degradadas
Matricardi et al. (2007)	Imagens textura/interpretação visual Semi-automática	1992, 1996, 1999	Amazônia Legal	5.980 km ² de florestas degradadas em 1992, 10.064km ² em 1996 e 26.085km ² em 1999
Souza et al.	Análise de mistura espectral,	2000	Amazônia	

(2013)	NDFI e árvore de decisão Landsat TM e ETM+	a 2010			
INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais)	Interpretação visual	2007,	Amazônia Legal	15.983	km ²
	DEGRAD– Detecção de Áreas	2008,		(2007);27.413	km ²
	Degradadas	2009,		(2008); 13.301	km ²
	DETEX – Detecção da Extração Seletiva de Madeiras	2010		(2009) e 7.508	km ² (2010)
Andersen et al. (2014)	Imagens de sobrevôos do LIDAR	2010 e 2011	Rio Branco/1000 hectares		
NASA	Terra e Aqua - MODIS MCD45A1	2000 a 2013		Cicatrizes de fogo - resolução 500 m	

A Análise de Mistura Espectral foi a técnica de mapeamento mais utilizada para detecção de incêndios florestais, em que são geradas imagens frações de solo exposto, vegetação, vegetação não-fotossinteticamente ativa e sombra. Na detecção de extração seletiva Asner et al. (2005) utilizaram o *Carnegie Landsat Analysis System (CLAS)* e Matricardi (2007) utilizaram análise de textura combinado com interpretação visual, ambos estudos apresentando resultados satisfatórios.

Os principais mapeamentos em grande escala das cicatrizes do fogo incluem o produto da NASA MODIS45A1 e do DEGRAD do INPE. O produto MODIS45A1 é baseado em imagens do sensor MODIS, com resolução espacial 500 m e não distingue as áreas de floresta nativa e de agricultura ou pecuária. Esse produto está disponível *online* para o período de 2000 a 2013 no site da NASA/USGS.

1.2 O problema de pesquisa

O mapeamento da extração seletiva, principalmente a ilegal, é fundamental para o monitoramento da degradação e para a diminuição dos índices de desmatamento na Amazônia. Vários estudos (STONE; LEFEBVRE, 1998; SOUZA et al., 2003; ASNER et al., 2005; MATRICARDI, 2007; KELLER et al., 2012; ANDERSEN et al., 2014; JOSHI et al., 2015) buscaram implementar o mapeamento de extração seletiva a partir de técnicas automáticas e semiautomáticas. A maioria dos estudos realizados foram muito relevantes para a ciência, embora bastante compartimentados (temporalmente ou espacialmente), incluindo estudos de casos em períodos isolados que não possibilitaram um entendimento do processo

de degradação em longo prazo. A maioria dos estudos realizados foram localizados nos estados do Pará e Mato Grosso. As estimativas das áreas impactadas por extração seletiva de madeiras foram conduzidas por Nepstad et al. (1999), Asner et al. (2005) e INPE (2016). Nepstad et al. (1999) estimaram a área impactada a partir de dados da produção florestal. Asner et al. (2005) estimaram a área impactada pela extração seletiva de 1999 a 2002 utilizando técnica de detecção automática. Matricardi et al. (2013) mapearam a degradação florestal na Amazônia pela extração seletiva e pelo fogo na Amazônia nos anos de 1992, 1996 e 1999; o INPE (2016) mapeou degradação do ano de 2007 a 2010, utilizando o sistema DEGRAD. No intuito de entender os processos de degradação atuais que ocorrem na Amazônia Legal é necessário complementar os mapeamentos da série temporal de degradação de Matricardi et al. (2007) e do INPE, preenchendo lacunas importantes para uma análise de todo processo de degradação florestal na Amazônia.

A partir da detecção e estimativa da área de floresta nativa impactada pela extração seletiva de madeiras e pelo fogo, que possibilitam o entendimento da dinâmica espacial e temporal desses fenômenos de grande expressividade na Amazônia brasileira, tem-se as seguintes questões de pesquisa norteadoras do presente estudo.

1.3 Questões de pesquisa

- 1- Qual a dinâmica da degradação florestal na Amazônia no período entre 1992 a 2014? Onde predominam as áreas de extração seletiva de madeira e de cicatrizes de fogo na região e período de estudo?
- 2- Porque ocorrem em determinadas áreas e não em outros locais?
- 3- Qual a destinação das áreas impactadas pela extração seletiva e pelo fogo?
- 4- Que fatores determinaram a distribuição espacial do fogo e da extração seletiva na Amazônia Legal no período de estudo?

1.4 Justificativa

A extração seletiva de madeira é uma atividade econômica de grande expressão na Amazônia brasileira, envolvendo o desdobramento de uma média anual de 25 milhões de metros cúbicos de toras entre 1990 a 2015 (IBGE, 2016). A produção florestal de espécies nativas na Amazônia é oriunda de áreas destinadas ao desmatamento e, em sua maior parte, de florestas submetidas à exploração seletiva de madeiras, ambos ocorrendo de forma legal ou ilegal na região de estudo. Por sua vez, as áreas atingidas por fogo têm aumentado nas últimas

décadas em decorrência do aumento das atividades antrópicas de forma geral na região (IMAZON, 2010). As cicatrizes de fogo detectadas na Amazônia, entretanto, não distinguem as queimadas em áreas agrícolas ou agropecuária dos incêndios florestais (fogo em florestas), hipótese em que os incêndios florestais resultam em impactos muito mais severos do ponto de vista ambiental. A compreensão da dinâmica dos impactos sobre a floresta pela extração seletiva e pelo fogo é importante na fundamentação do estudo das mudanças climáticas atuais e dos processos de degradação florestal e de desmatamento na Amazônia. Deste modo, a presente pesquisa incluiu o mapeamento e análise temporal de várias décadas (1992 a 2014) das áreas de florestas impactadas pela extração seletiva de madeira e pelo fogo, como forma de compreender a temporalidade e espacialidade destes fenômenos na Amazônia. Os resultados deste estudo contribuem com os estudos das mudanças climáticas e com as estimativas de emissões de gases do efeito estufa, incluindo mais detalhes nos dados atuais de uso e cobertura da terra, além de oferecer suporte à definição de políticas e estratégias de ação e controle.

1.5 Objetivo

Este estudo buscou o entendimento da dinâmica da degradação florestal na Amazônia Legal, a partir de uma série temporal (1992 a 2014) e dados do estudo de degradação na Amazônia Legal de Matricardi et al. (2013) dos anos de 1992, 1996 e 1999.

De forma mais específica, o presente estudo buscou:

-Avaliar a acurácia da técnica mapeamento da extração seletiva utilizada na Amazônia Legal;

-Avaliar as mudanças ocorridas em áreas degradadas na Amazônia Legal entre 1992 a 2014, de forma complementar ao estudo de Matricardi et al. (2013);

-Avaliar as relações entre extração seletiva, fogo e desmatamento na Amazônia Legal;

-Analisar a associação entre incêndios florestais e extração seletiva na Amazônia Legal;

-Analisar espacialmente as variáveis que influenciam a probabilidade de ocorrência do fogo e extração seletiva na Amazônia Legal.

1.6 Hipóteses

Hipótese 1: A degradação florestal por extração seletiva e fogo na Amazônia aumentou substancialmente nas últimas décadas.

As taxas de desmatamento caíram segundo dados do INPE (2016). No entanto, as taxas de degradação podem estar aumentando na última década. Matricardi et al. (2007) estimaram um aumento de 436% de extração seletiva no período de 1992 a 1999. Além disso, Matricardi et al. (2005) estimaram que, de 1993 a 2002, áreas de extração seletiva recorrentes aumentaram 1.442%. Nepstad et al. (1999) estimaram que 10.000 a 15.000 km² de floresta nativa foram degradadas por extração seletiva no ano de 1996 e 1997, baseados em entrevistas a serrarias na Amazônia. Asner et al. (2005) também relataram um aumento da degradação de 12.075 km² para 19.823 km² no período de 1999 a 2002 em um estudo conduzido na Amazônia Legal em que imagens Landsat 5 TM e o programa CLAS foram utilizados. Asner et al. (2005) reportaram que a extração seletiva adiciona de 60 a 123% a mais de área de floresta degradada em relação ao que tem sido relatado pelo desmatamento no mesmo período. O mapeamento da degradação conduzido neste estudo a partir de técnicas de sensoriamento remoto nos anos de 1992, 1996, 1999, 2003, 2006, 2010 e 2014 foi utilizado para testar esta hipótese, indicando as tendências de ocorrência e distribuição espacial da extração seletiva e de fogo em florestas na Amazônia Legal.

Hipótese 2: A extração seletiva e o fogo são precursores do desmatamento.

Alguns autores (NEPSTAD et al., 1999; ASNER et al., 2005; ASNER et al., 2006; RONDON et al., 2012; FAO, 2016a) afirmam que áreas impactadas por atividades de extração seletiva de madeiras e pela ocorrência de fogo são mais vulneráveis ao desmatamento na Amazônia Legal, especialmente pelo seu menor valor econômico. Matricardi et al. (2013) observaram que 123 km², 204 km² e 820 km² de florestas nativas degradadas por extração seletiva, respectivamente, em 1992, 1996 e 1999 foram desmatadas nos anos subsequentes à extração seletiva. Nepstad et al. (1999) concluíram que a extração seletiva e o fogo podem praticamente eliminar florestas nativas que passam por secas sazonais e estão localizadas em áreas de alta concentração de serrarias. Asner et al. (2005) observaram que 19% do total de áreas degradadas por extração seletiva nos anos estudados (1999 a 2002) foram desmatadas nos 3 anos subsequentes à degradação. Asner et al. (2006) também relataram que 16% das áreas de floresta nativa degradadas por extração seletiva foram desmatadas 1 ano após a degradação no período de 1999 a 2002. Além disso, essas áreas

apresentaram uma taxa de desmatamento anual de 5,4% nos 4 anos subsequentes à extração seletiva. Asner et al. (2006) concluíram que existe alta probabilidade de desmatamento após a extração seletiva (32% no período de 4 anos subsequentes à extração seletiva). Assim, no presente estudo esta hipótese foi testada para uma série temporal mais robusta (1992 a 2014), a partir da sobreposição das áreas detectadas de extração seletiva e cicatrizes de fogo com dados do desmatamento em anos posteriores aos impactos na floresta.

Hipótese 3: A extração seletiva e o fogo são processos de degradação florestal diretamente associados na Amazônia.

Diversos autores (UHL; BUSCHBACHER, 1985; UHL; KAUFFMAN, 1990; HOLDSWORTH; UHL, 1997; COCHRANE; SCHULZE, 1998; NEPSTAD et al., 1998; UHL, 1998; FEARNSIDE, 1999) observaram a relação entre a extração seletiva e os incêndios florestais em estudos de casos na Amazônia. Os estudos de caso revelaram que a abertura de clareiras em decorrência da extração de algumas espécies permite a entrada da luz do sol, o que diminui a umidade no interior da floresta e deixa grande quantidade de matéria morta, combustível na floresta que permite a ocorrência mais frequente de incêndios florestais. Além disso, Uhl e Kauffman (1990) e Gerwing (2002) observaram que a quantidade de combustível em uma floresta degradada é três vezes maior do que em florestas primárias. Uhl e Buschbacher (1985) relataram que o fogo atingiu florestas degradadas por extração seletiva em 50% das entrevistas realizadas a proprietários de terra na Amazônia. Nepstad et al. (1999) verificaram em um estudo conduzido na Amazônia que a maior parte das florestas que foram degradadas pelo fogo já tinham sido degradadas pela extração seletiva anteriormente. Matricardi et al. (2010) encontraram 1.370 km² de florestas degradadas pelo fogo em 2000 em um estudo de caso no estado do Mato Grosso, que já tinham sido degradadas anteriormente por extração seletiva. Assim, espera-se que a mesma relação observada nestes estudos de caso também seja observada para o contexto geral do presente estudo, conduzido para toda a Amazônia. Neste estudo, esta hipótese foi testada a partir da sobreposição das áreas detectadas com extração seletiva e das áreas de floresta com cicatrizes de fogo. Assumindo que a extração seletiva aumenta a susceptibilidade da floresta para ocorrência do fogo, a maior parte das florestas atingidas por fogo foram previamente exploradas seletivamente.

Hipótese 4: As características físicas e do uso e cobertura da terra (tipo de vegetação, precipitação, temperatura, desmatamento, volume de madeira, proximidade de estradas,

idades e polos madeireiros) tem relação significativa com a ocorrência e distribuição da extração seletiva e do fogo na Amazônia Legal.

Nesta etapa do estudo foram selecionadas variáveis que podem influenciar a ocorrência de extração seletiva e fogo na Amazônia Legal, como ano de ocorrência, localização geográfica, tipo de vegetação, precipitação, temperatura, desmatamento, volume de madeira, proximidade de estradas, polos madeireiros e cidades. Nepstad et al. (2001) apontaram que a construção de estradas pode levar a expansão da extração seletiva na Amazônia Legal, já que a principal limitação da expansão da extração seletiva é o custo de transporte. No estudo de Matricardi (2007), a variável estradas foi significativa para ocorrência de extração seletiva na Amazônia Legal, sendo que um aumento na proximidade das estradas de 30 km para 0 km, aumentaria a extração seletiva em 2,8%. Além disso, o autor observou que o volume de madeira, a localização geográfica e a distância de polos madeireiros também influenciaram na probabilidade de ocorrência de extração seletiva. Em relação ao fogo, alguns autores (NEPSTAD et al., 1999; COCHRANE, 2001b; NEPSTAD et al., 2001; SIEGERT et al., 2001; MORTON et al., 2013; BRANDO et al., 2014) observaram que os incêndios florestais são mais extensos durante períodos de seca severa. Dados de sensoriamento remoto derivados dessas variáveis foram utilizados em um modelo de regressão probit para testar esta hipótese. A partir dos resultados deste modelo, as relações entre fatores físicos e socioeconômicos com a ocorrência de áreas de extração seletiva de madeira e fogo foram estimadas neste estudo.

1.7 Escopo da tese

O presente estudo foi dividido em seis Capítulos que analisaram a espacialidade e temporalidade da extração seletiva de madeira e do fogo na Amazônia brasileira. O conteúdo de cada Capítulo é apresentado a seguir:

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO: Resumo geral da tese, seguida de breve introdução ao tema estudado, problema do estudo, questões de pesquisa e justificativa. Em seguida foram abordadas as principais referências que tratam da temática do estudo. Por fim, foram descritos os objetivos, metas e hipóteses do estudo.

Capítulo 2 – REVISÃO DE LITERATURA: Embasamento teórico que aborda os principais tópicos da tese. Também foram apresentados o cenário atual de mudanças climáticas e o aumento dos gases de efeito estufa e as possíveis consequências deste aumento.

Além disso, foram descritos conceitos de desmatamento, degradação pela extração seletiva, fogo e fragmentação e, por fim, as interações entre esses processos.

Capítulo 3 – Avaliação da metodologia utilizada para o mapeamento da extração seletiva na Amazônia Legal. A validação baseou-se em imagens do satélite *RapidEye* utilizadas como verdade de campo e a classificação da extração seletiva para o ano de 2014 (Capítulo 4 deste documento), abrangendo os estados de Mato Grosso, Pará e Rondônia. Por fim, analisou-se erros de comissão, omissão, acurácias do produtor e usuário, bem como o coeficiente *Kappa* gerados a partir das matrizes de confusão para cada estado.

Capítulo 4 – Mapeamento da degradação por extração seletiva e fogo na Amazônia Legal, nos anos de 2003, 2006, 2010 e 2014. Além disso, este Capítulo agregou a base de dados do mapeamento da degradação florestal conduzida por Matricardi (2007) para os anos 1992, 1996 e 1999. Nos resultados foram apresentadas a espacialidade das áreas de florestas impactadas pela extração seletiva de madeiras e pelo fogo, as relações entre a degradação florestal e o desmatamento, a periodicidade desses processos, bem como a degradação florestal dentro de Unidades de Conservação e Terras Indígenas.

Capítulo 5 - Análise da influência de variáveis espacialmente explícitas sobre a degradação florestal por extração seletiva e fogo na Amazônia Legal utilizando o modelo Probit.

Capítulo 6 - Neste capítulo foi abordada a inserção da tese no contexto global atual, bem como a revisão das questões de pesquisa e hipóteses do estudo. Por fim, foram observados pontos específicos para futuras pesquisas.

CAPÍTULO 2

2. REVISÃO DE LITERATURA

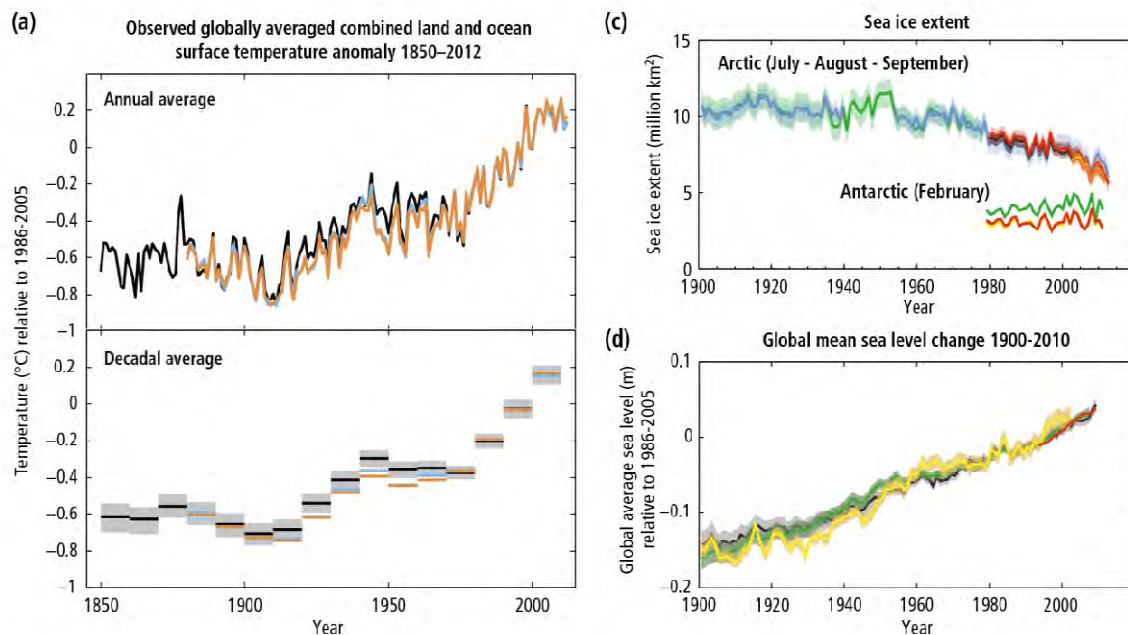
2.2 Mudanças climáticas

Mudanças climáticas representam uma alteração no clima e podem ser identificadas por meio de mudanças na média ou na variabilidade de suas propriedades. Além disso, são persistentes por períodos prolongados, como décadas. A mudança no clima pode ser ocasionada por fatores naturais internos ou forças externas como ciclos solares, erupções vulcânicas e alterações antrópicas persistentes na composição da atmosfera ou na mudança de uso da terra (IPCC, 2014a).

A expansão da agricultura leva a mudanças no uso da terra, o que provoca alterações nos ecossistemas da Amazônia. O desmatamento e a queima de biomassa resultam em injeções de volumes enormes dos gases do efeito estufa e aerossóis na atmosfera e ainda podem aumentar as mudanças climáticas naturais (MARENGO et al., 2011).

O desmatamento da Amazônia tem significativa contribuição no aquecimento global (FEARNSIDE, 2001). O Brasil possui a maior área de floresta tropical com alta quantidade de biomassa e uma das maiores taxas de emissão de gases de efeito estufa devido também ao desmatamento anual de suas florestas (FEARNSIDE, 2001).

O aquecimento do sistema climático ocorre desde a década de 1950, em que a atmosfera e os oceanos aqueceram, grandes quantidades de gelo diminuíram, perdendo massa e contribuindo para o aumento do nível do mar (IPCC, 2014b) (Figura 1). Isso ocorreu principalmente pelo efeito do aumento da concentração dos gases do efeito estufa (dióxido de carbono - 40%, metano - 150% e óxido nitroso - 20%) na atmosfera por atividades antrópicas desde 1750. Esse aumento das emissões foi devido principalmente ao crescimento da economia e da população. As emissões no período de 2000 a 2010 foram as maiores na história (IPCC, 2014b).



Fonte: (IPCC, 2014b).

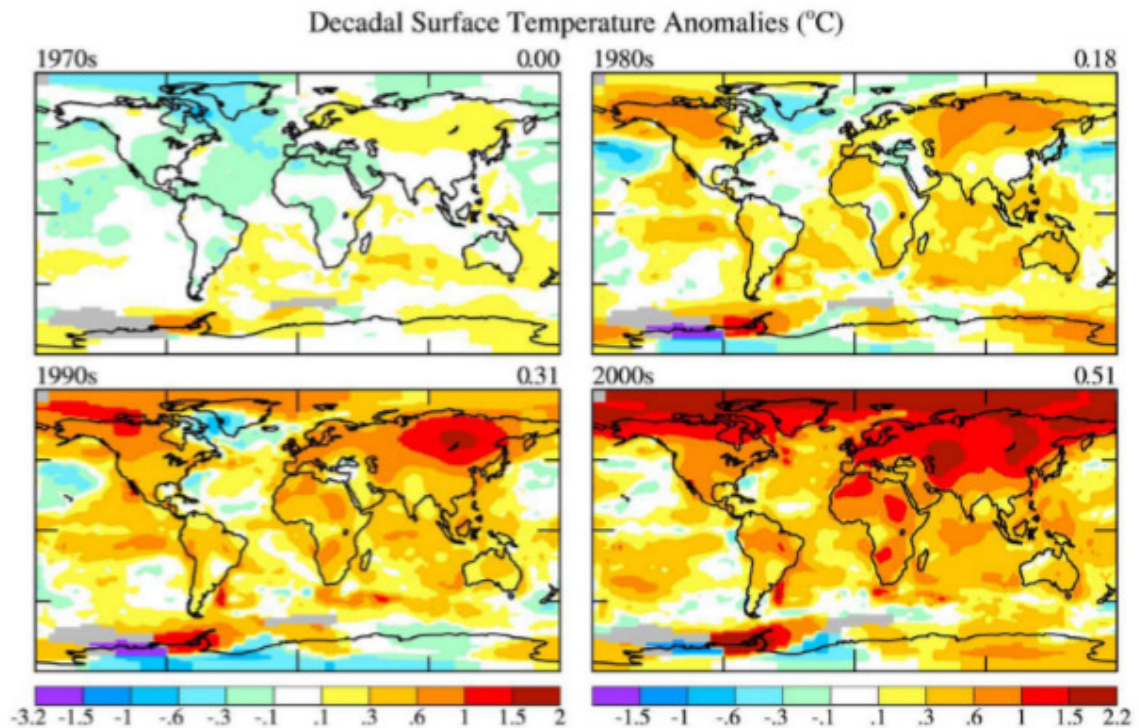
Figura 1 -(a) Aumento médio das temperaturas dos oceanos e superfície terrestre (anual e por década); (c) diminuição da extensão das calotas polares; (d) aumento do nível do mar.

A temperatura média global aumentou 0.7°C ao longo do último século. Projeções realizadas pelo INPE e INMET indicam aumento na temperatura e queda no regime de chuvas da Amazônia. Essa queda no regime de chuvas pode ser resultado do aquecimento das águas do Oceano Atlântico e do Pacífico, o que altera os padrões de ventos e o transporte de umidade pela América do Sul (MARENGO et al., 2011).

As emissões de dióxido de carbono pela combustão de combustíveis fósseis e processos industriais contribuíram em 78% do total do aumento das emissões dos gases de efeito estufa no período de 1970 e 2010 (IPCC, 2014b). Os 22% restantes são de atividades de queima de biomassa (IPCC, 2014b).

As mudanças na temperatura global terão seu maior impacto no ciclo da água (HANSEN; SATO; RUEDY, 2012). O aumento da temperatura amplificado pelo aquecimento global e o aquecimento das superfícies devido a elevada emissão de gases de efeito estufa, irão causar períodos de seca extrema. Além disso, inundações também serão intensificadas pelo aquecimento global, pois a quantidade de vapor de água na atmosfera aumenta com a temperatura (HANSEN; SATO; RUEDY, 2012).

Hansen et al. (2010) calcularam as anomalias na temperatura nas décadas de 70, 80, 90 e 2000, evidenciando o aquecimento substancial que tem ocorrido (Figura 2). O aquecimento nas últimas décadas é maior nas áreas de terra do que no oceano. Em relação aos oceanos, o aquecimento é maior no oceano Ártico, seguido do Índico e Pacífico.



Fonte: (HANSEN et al., 2010).

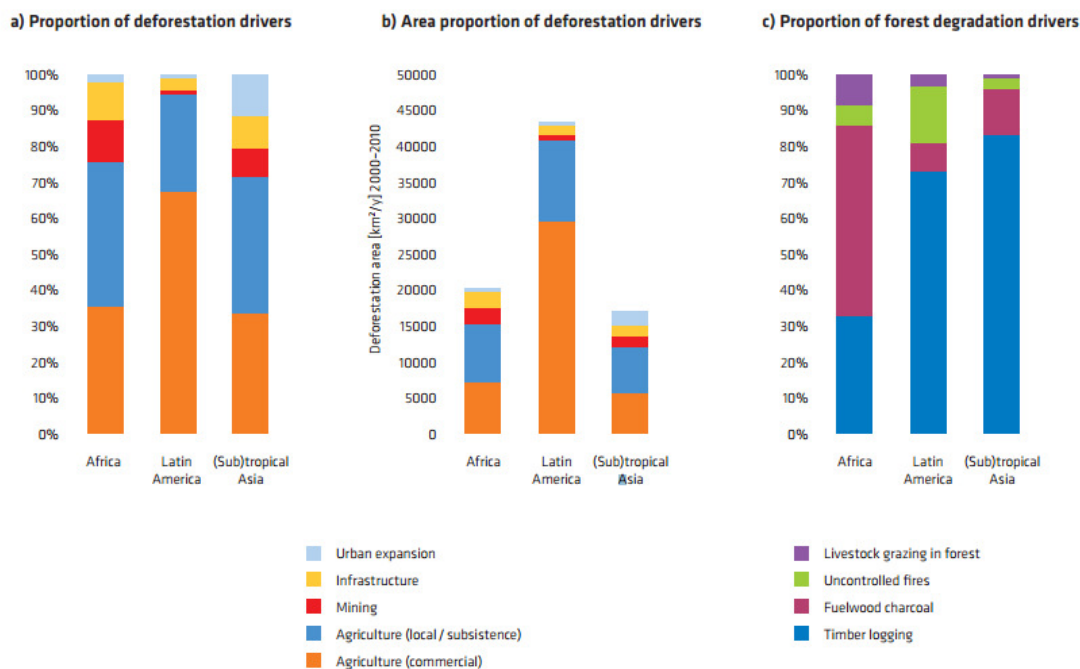
Figura 2 - Anomalias na temperatura nas décadas de 70, 80, 90 e ano 2000.

2.3 Desmatamento

Desmatamento pode ser definido como o corte raso de uma floresta madura (NEPSTAD et al., 2014). É a mudança no uso da terra da floresta para outro uso, independente se a cobertura de árvores foi removida ou não, pois a mudança de gestão ou designação da área também é considerada desmatamento (LUND, 1999). Além disso, também é definida como a mudança intencional do uso da terra de floresta para não floresta (urbanização, agricultura, pecuária, etc.) (MARTIN, 2008).

A expansão da agricultura é o principal agente do desmatamento da floresta Amazônica (Figura 3) (SKOLE; CHOMENTOWSKI; SALAS, 1994; FAO, 2005; KISSINGER; HEROLD; DE SY, 2012). Fatores comerciais tem um papel fundamental na expansão da agricultura em áreas de floresta e na Amazônia a agricultura comercial é

dominante em relação à agricultura de subsistência (BOUCHER et al., 2011). O desmatamento no Brasil vem acompanhado do crescimento econômico, o que implica em ameaças a floresta amazônica (CAVIGLIA-HARRIS et al., 2015).

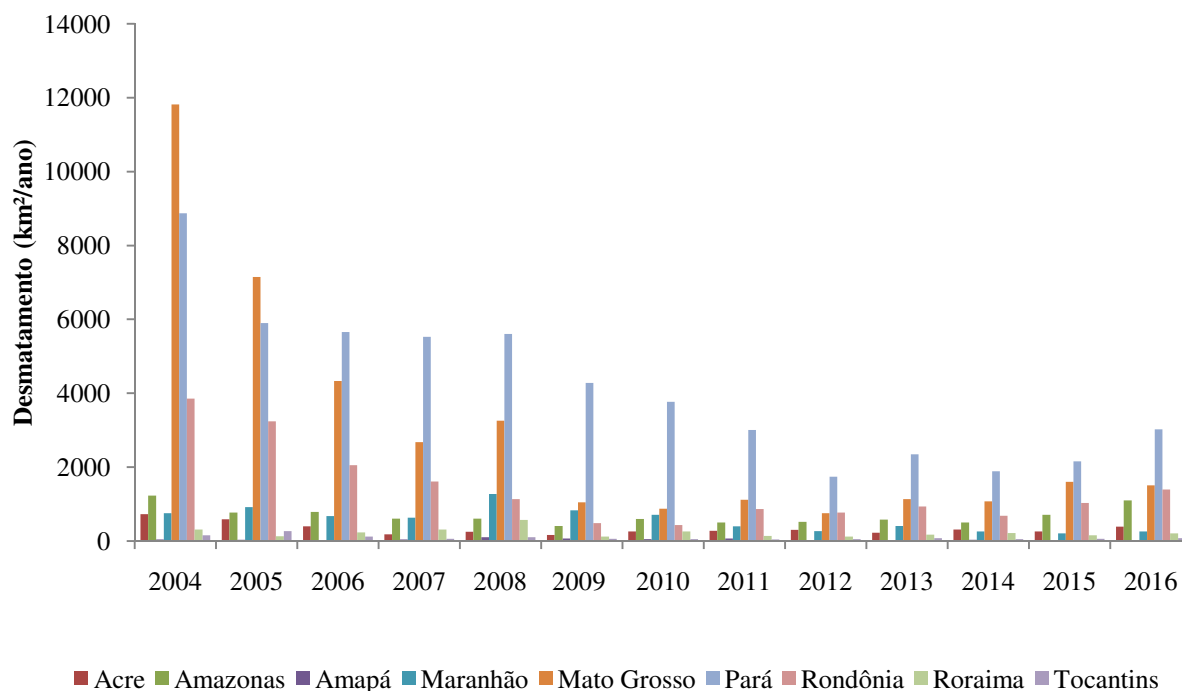


Fonte: (KISSINGER; HEROLD; DE SY, 2012)

Figura 3 - Estimativa continental dos principais fatores que levam ao desmatamento.

Ao longo da última década a taxa de desmatamento nos estados da Amazônia Legal diminuiu (INPE, 2016). Mato Grosso, desmatou quase 12 mil km²/ano em 2004, e em 2013 apresentou uma queda, com valores de 1 mil km²/ano. De um modo geral todos os estados apresentaram redução do desmatamento. Entretanto, do ano de 2012 para 2013, verificou-se um aumento da taxa de desmatamento no estado do Pará, Rondônia e Roraima (Figura 4).

O desmatamento e degradação na Amazônia brasileira são mapeados pelo INPE por meio de imagens Landsat, interpretação visual e classificação automática. O INPE possui um sistema, DEGRAD, para mapeamento da degradação na Amazônia e este sistema utiliza dados do DETER (Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real). A área mínima mapeada pelo DEGRAD é de 6,25 hectares e a degradação é dividida em Intensidade Leve, Moderada e Alta pelo INPE. Este sistema mapeou a degradação florestal na Amazônia nos anos de 2007 a 2010, utilizando 220 imagens do satélite LANDSAT utilizando contrastes nas imagens e mapeamento de cada polígono de degradação individualmente.



Fonte: Adaptado de INPE (2016).

Figura 4 - Taxas de desmatamento dos estados da Amazônia Legal no período de 2004 a 2016.

2.4 Degradação

Degradação refere-se à redução da biomassa da floresta por meio de práticas de extração de madeira, fogo, fragmentação ou pelo uso da terra de formas não sustentáveis. A degradação pode resultar em reduções substanciais do estoque de carbono pela extração seletiva, fogo e outros distúrbios (IPCC, 2003; ASNER et al., 2005). A FAO (FAO, 2000, 2002) define degradação florestal como a redução da cobertura ou estoque florestal pela extração seletiva, fogo e queda de árvores pelo vento, bem como a redução da capacidade da floresta em prover bens e serviços, desde que a cobertura do dossel se mantenha acima de 10% (floresta "fechada" ou densa é aquela que possui o mínimo de 40% de cobertura do dossel; floresta aberta possui de 10 a 40% de abertura no dossel). A capacidade de prover bens e serviços também inclui a manutenção da estrutura e função dos ecossistemas (ITTO, 2005).

A floresta degradada perde sua estrutura, função, composição de espécies e produtividade normalmente associadas aquele tipo de floresta (CDB, 2002; ITTO, 2002; CDB, 2005). A redução da cobertura florestal, degradação florestal e a fragmentação levam a perda de biodiversidade pela redução de habitat disponíveis para espécies e indiretamente pela

interrupção de processos ecológicos como polinização, dispersão de sementes e fluxo gênico (CDB, 2002, 2005).

2.4.1 Extração seletiva

A exploração madeireira é uma das principais atividades econômicas da Amazônia (LENTINI; VERISSIMO; PEREIRA, 2005). Gera lucros, empregos e tem o potencial de ser uma fonte renovável para a região (ASNER et al., 2009), já que a floresta se regenera dependendo da intensidade da extração seletiva e do tempo de extrações seletivas subsequentes na área. A extração seletiva, quando feita com cuidados, cria de 3 a 6 aberturas no dossel por hectare, o que corresponde a queda de árvores por distúrbios naturais (UHL; BUSCHBACHER, 1985). A Amazônia Legal possui 82 polos madeireiros (APÊNDICE M)(LENTINI; VERISSIMO; PEREIRA, 2005) e mais de 2.252 empresas para produção de madeira, o que gera mais de 200 mil empregos e madeira processada de mais de 5.000 milhares de m³ (SFB; AMAZON, 2010). A madeira Amazônica abastece tanto o mercado doméstico (64%), quanto o mercado externo (36%) (LENTINI; VERISSIMO; PEREIRA, 2005). Os principais eixos de transporte madeireiros foram delimitados pelo AMAZON (APÊNDICE N).

A extração seletiva consiste no desbaste de espécies com alto valor comercial e envolve técnicas de extração convencional e de impacto reduzido (JOHNS; BARRETO; UHL, 1996). A extração seletiva pode apresentar diferentes intensidades, o que implica em enorme dificuldade de estabelecer generalizações sobre os efeitos dessa atividade. A magnitude de exploração pode ser menor que 1 m³/ha até maior que 10 m³/ha (PUTZ et al., 2001). Outros autores assumem que esta magnitude varia de 5 a 30 m³/ha (ASNER et al., 2005). Além disso, são muitas as variáveis que definem a intensidade da extração seletiva, como acesso a estradas, distâncias das madeiras economicamente importantes, etc. (PUTZ et al., 2001).

O método utilizado na extração seletiva pode ser ambientalmente e silviculturamente menos destrutivo ou pode ser extremamente destrutivo (PUTZ et al., 2001). Diante disso, o impacto pode ser afetado tanto pela escolha do equipamento utilizado para extração quanto pelo cuidado tomado na operação (PUTZ et al., 2001). A utilização de equipamentos mais sofisticados para a extração não reduz, necessariamente, seu impacto na biodiversidade. Além disso, todos os tipos de extração terão impactos (PUTZ et al., 2001). Em florestas tropicais o padrão em escala empresarial é a utilização da motosserra para o corte de árvores e

seccionamento de fuste; para movimentação de toras do local de corte até o pátio de estocagem de madeira é utilizado o trator florestal arrastador (*skidder*); e, por fim, o trator de esteira equipado com lâmina para abertura de estradas, pátios e trilhas de arraste (SESSIONS; HEINRICH, 1993).

Em florestas tropicais o volume comercial de madeira extraído exige grandes áreas, o que provoca distúrbios em extensas áreas de floresta, devido principalmente à necessidade de estradas de acesso (DYKSTRA, 2001). E as estradas vêm acompanhadas de todos os problemas associados ao aumento de acesso na floresta (PUTZ et al., 2001).

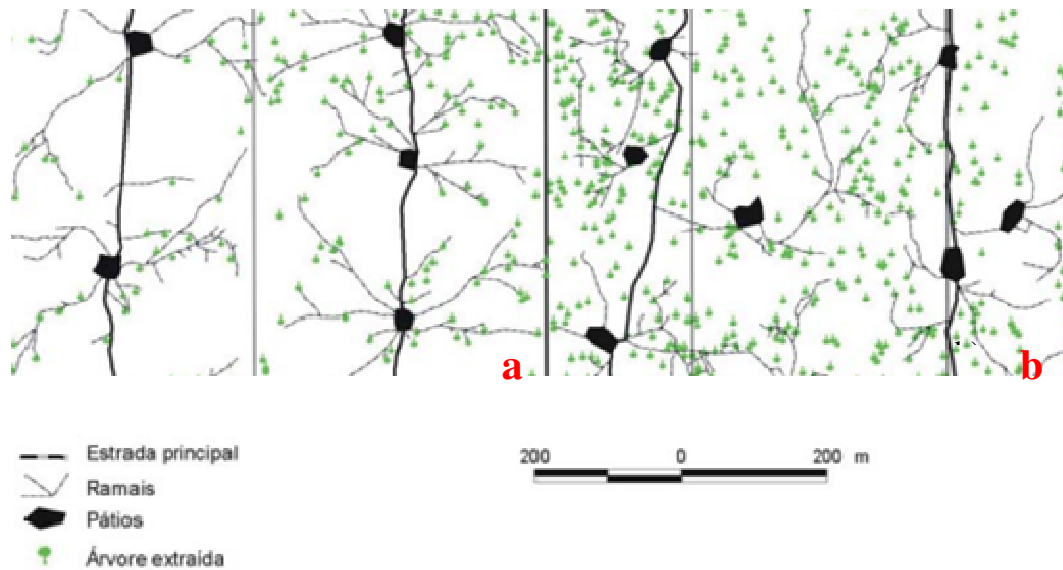
2.4.1.1 Extração seletiva convencional ou predatória

A extração seletiva convencional (Figura 5b) é um método amplamente utilizado na Amazônia em que os madeireiros retiram da floresta espécies de alto valor (AMARAL et al., 1998), com a retirada de até 43 m³/ha e inclui qualquer variedade de 50 ou mais espécies (ASNER et al., 2009); e, em seguida, em intervalos cada vez mais curtos, retornam a área para retirar o restante das árvores de valor econômico. Isso resulta em florestas com grandes clareiras e árvores danificadas, aumentando o risco de incêndios e dificultando a regeneração de espécies madeireiras (AMARAL et al., 1998).

Schneider et al. (2002) afirmam que a extração seletiva predatória é caracterizada por danos severos à floresta, pressão excessiva em espécies de alto valor e aumento da suscetibilidade ao fogo.

2.4.1.2 Extração seletiva de impacto reduzido

A extração de impacto reduzido é um processo que utiliza princípios científicos e da engenharia em combinação com treino e educação no intuito de melhor utilizar a força de trabalho, equipamento e operação dos métodos de extração de madeira (DYKSTRA, 2001) (Figura 5a). Esta técnica envolve inventários de pré-corte para as árvores individuais; planejamento de estradas, de trilhas de arraste e locais que promovem acesso às áreas de corte e árvores individuais com o intuito de minimizar os distúrbios no solo e proteger rios e canais; corte de cipós das árvores que serão extraídas e vizinhas; uso apropriado de técnicas de queda, incluindo direcionamento de queda para evitar desperdícios e corte transversal ideal para maximizar a madeira útil; e, por fim, realizar avaliações pós-colheita para avaliar o grau em que foram aplicadas as orientações desta técnica e o enriquecimento (PINARD et al., 1995; SIST; DYKSTRA; FIMBEL, 1998; PUTZ et al., 2008).



Fonte: Adaptado de (SILVA, 2004).

Figura 5 - Extração seletiva de impacto reduzido (a) e extração seletiva convencional (b).

A extração de impacto reduzido é planejada com o intuito de reduzir os danos à floresta e rios causados pela construção de estradas e pela extração das árvores (FELDPAUSCH et al., 2005). Essa técnica prevê o corte de cipós um ou dois anos antes da extração (PINARD et al., 1995) e isso reduz a queda não intencional de árvores que estão presas umas as outras pelos cipós. Além disso, essa técnica, quando bem planejada, limita o número de *skidders* na extração para reduzir danos (FELDPAUSCH et al., 2005). Os impactos da extração seletiva são mais detalhados no próximo item.

2.4.2 Impactos ambientais da extração seletiva

Os impactos causados pela extração seletiva são relacionados diretamente à intensidade de extração (ZIMMERMAN; KORMOS, 2012) e a técnica utilizada para exploração de madeira (ASNER et al., 2006). A extração convencional causa mais danos ao dossel do que a de impacto reduzido, tanto pelo corte inicial das árvores quanto pela queda de árvores nos anos seguintes a extração (PEREIRA et al., 2002; SCHULZE; ZWEEDE, 2006). E, portanto, produz frações de coberturas maiores (PEREIRA et al., 2002). Além disso, a extração seletiva convencional pode causar duas vezes mais danos ao solo do que a de impacto reduzido (PEREIRA et al., 2002).

Na extração de impacto reduzido, a maior parte dos danos ao solo ocorre em trilhas de arraste (4-12%), sendo que pátios e estradas contribuem menos significativamente (ASNER et al., 2004; FELDPAUSCH et al., 2005). No entanto, Feldpausch et al. (2005) chegaram à

conclusão de que os efeitos positivos da extração de impacto reduzido são observados apenas em grandes volumes de extração de madeira, caso contrário, os danos são semelhantes à extração convencional.

Os impactos ecológicos da extração seletiva são mais severos em casos onde é mais lucrativo extrair todas as espécies de madeiras. Normalmente, 40% ou mais do dossel é retirado, dezenas de árvores jovens são mortas para cada tronco retirado e o risco de incêndio aumenta (VERISSIMO et al., 1992). Em áreas de alta densidade de espécies desejáveis para extração seletiva, mais de 20% da superfície do solo é removida pela construção de estradas e o dossel é totalmente eliminado (UHL; VIEIRA, 1989). Embora as operações de extração seletiva retirem apenas de 5 a 6 árvores comerciais por hectare, um adicional de 200 árvores por hectare com mais de 10 cm de diâmetro são acidentalmente danificadas (GERWING; JOHNS; VIDAL, 1996).

A extração seletiva tende a eliminar as características genéticas mais desejáveis das espécies extraídas, pois remove sistematicamente indivíduos que contenham essas características (UHL; VIEIRA, 1989). Além disso, extrai árvores frutíferas que são fontes de alimentos para várias espécies de animais. A perda desta fonte de alimentação pode reduzir a produtividade secundária e levar a extinção de diversas espécies de animais (UHL; VIEIRA, 1989).

A perda de biomassa pela extração seletiva (GATTI et al., 2015) é devida ao dano imediato que ocorrem pela queda das árvores selecionadas. Ao cair, a árvore provoca danos nas árvores em sua volta. Além disso, a infraestrutura construída para retirar as árvores da floresta também causa perda de biomassa (PEARSON; BROWN; CASARIM, 2014).

Inúmeras são as consequências da extração seletiva, dentre elas podem ser destacadas: altera as propriedades biofísicas da floresta (KOLTUNOV et al., 2009); provoca *stress* hídrico; altera o microclima das florestas, diminui o estoque de carbono (FOLEY et al., 2007), altera a composição de espécies (YAMADA et al., 2013) e diminui a produção dos produtos não madeireiros (RIST et al., 2012). Além disso, a extração seletiva causa impactos ecológicos severos em áreas onde muitas espécies agregam alto valor. Nestes casos, dúzias de árvores jovens são removidas, aumentando significativamente o risco de incêndios e extinção de espécies raras (NEPSTAD et al., 1999; ASNER et al., 2006). Por fim, a extração seletiva aumenta a fragmentação de florestas, como detalhado a seguir (NEPSTAD et al., 2008).

2.4.3 Extração seletiva e fragmentação

A degradação de florestas também influencia nos processos de fragmentação e efeitos de bordas (NEPSTAD et al., 2008). A extração seletiva pode criar diferentes padrões espaciais de fragmentos na floresta (RONDON et al., 2012) e reduzir sua biodiversidade (LAURANCE et al., 1997). A formação de bordas causa uma série de mudanças no microclima que pode levar a morte de árvores altas, que são responsáveis pela estrutura da floresta (FEARNSIDE, 1999).

Outro efeito está relacionado ao tamanho dos fragmentos, que determina a viabilidade das populações remanescentes, incluindo dependência por alimento, polinização e dispersão de sementes (FEARNSIDE, 1999). E um terceiro efeito da fragmentação envolve as distâncias entre os fragmentos da floresta e a habilidade dos diferentes organismos de cruzar as barreiras que separam esses fragmentos (FEARNSIDE, 1999).

Além disso, processos de fragmentação também são responsáveis pelo aumento das emissões de carbono (NUMATA et al., 2011). Numata et al. (2011) estimaram que o carbono liberado pelos processos de fragmentação resulta em um adicional de 3,5% do desmatamento do período de 2001 a 2010.

Os distúrbios provocados pela extração seletiva na floresta não são tão severos quanto aqueles causados pela transição de floresta para pastos e culturas, porém, também resultam em aumento de bordas. A diferença é que a borda na extração seletiva é mais suave, porém bordas suaves podem se tornar maiores se a extração seletiva for transformada em corte raso. Isso ocorre após intensas extrações seletivas, quando a floresta atinge o pico de fragmentação, as manchas desaparecem e a paisagem se torna completamente desmatada (RONDON et al., 2012). Assim, a extração seletiva pode produzir efeitos na velocidade dos processos de fragmentação, acelerando ou desacelerando a transição da floresta para o desmatamento (RONDON et al., 2012) e estudos (VEDOVATO et al., 2016) relatam seu aumento na Amazônia Brasileira.

Broadbent et al. (2008) estudaram os efeitos da extração seletiva na fragmentação em uma região que cobre quatro estados da Amazônia (Acre, Mato Grosso, Pará e Rondônia) e observaram que ocorreu um aumento significativo de bordas (48%). Além disso, a extração seletiva contribuiu para o aumento no número de fragmentos, de 15.229 para 26.516. Repetidas extrações seletivas na área aumentaram ainda mais o número de fragmentos. Os

autores também observaram a que a maior parte dos fragmentos (90%) era menor que 4km². A extração seletiva além de aumentar a fragmentação da floresta também aumenta o risco de incêndios, item que será discutido no próximo tópico.

2.4.4 Extração seletiva e incêndios florestais

A extração seletiva também possui relação direta com incêndios florestais. A abertura de clareiras em decorrência da extração das árvores permite a entrada da luz do sol, o que diminui a umidade no interior da floresta e deixa enormes quantidades de matéria morta, combustível na floresta que perpetua incêndios frequentes (Figura 6) (UHL; BUSCHBACHER, 1985; UHL; KAUFFMAN, 1990; HOLDSWORTH; UHL, 1997; COCHRANE; SCHULZE, 1998; NEPSTAD et al., 1998; UHL, 1998; FEARNSIDE, 1999).

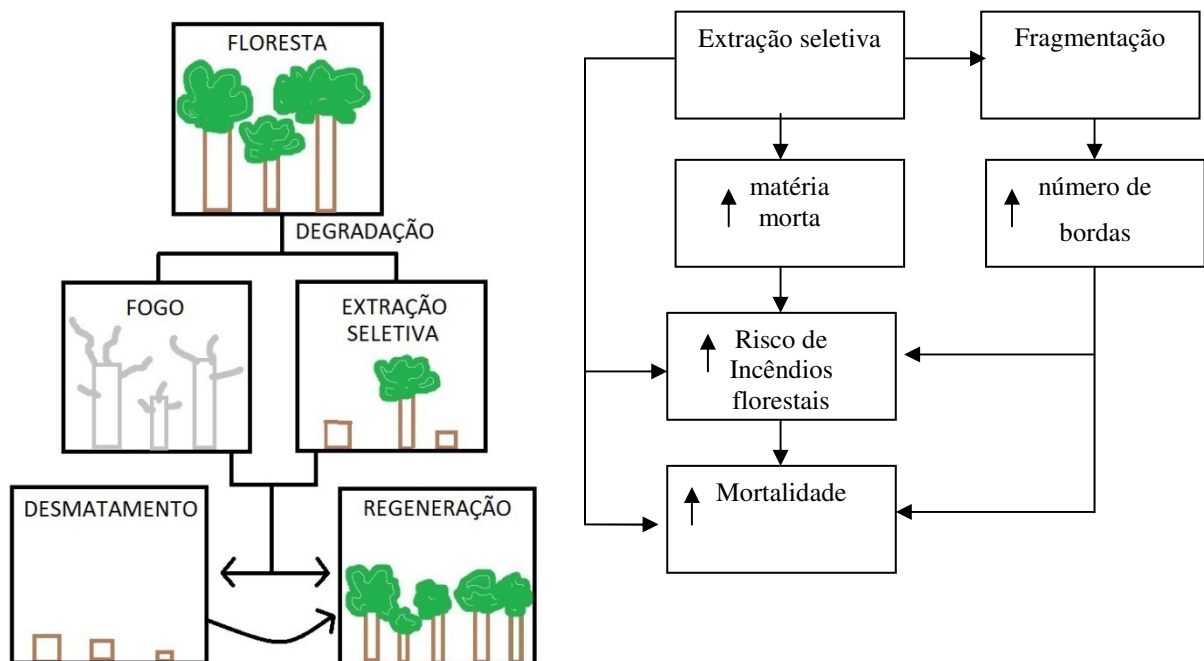


Figura 6 - Esquema representando os processos que podem ocorrer após extrações seletivas recorrentes.

Macedo e Anderson (1993) encontraram no sub-bosque da floresta, uma densa comunidade secundária dominada por herbáceas após 5 anos de extração seletiva. O índice de área foliar no sub-bosque da floresta que passou por extração seletiva foi maior que o dobro do encontrado em uma floresta intacta (MACEDO; ANDERSON, 1993).

As áreas da floresta que sofreram extração seletiva deixam falhas no dossel da vegetação aumentando a suscetibilidade a incêndios (HOLDSWORTH; UHL, 1997). Cada árvore que morre acaba deixando uma abertura na cobertura do dossel, o que permite a

entrada de luz do sol, alterando a temperatura no interior da floresta (NEPSTAD et al., 2008). Dessa forma, a suscetibilidade ao fogo é inversamente relacionada com a densidade e altura do dossel (RAY; NEPSTAD; MOUTINHO, 2005). Áreas degradadas pelo fogo após extrações seletivas intensas resultam em maiores taxas de mortalidade (GERWING, 2002).

Uhl e Kauffman (1990) e Gerwing (2002) observaram que a quantidade de combustível em uma floresta degradada é três vezes maior do que em florestas primárias. Além disso, a mortalidade de árvores é maior após um incêndio em áreas que sofreram extração seletiva em comparação com áreas virgens (HOLDSWORTH; UHL, 1997). Essa enorme quantidade de matéria morta resulta em incêndios mais severos que acabam destruindo até mesmo árvores com cascas mais grossas. (COCHRANE; SCHULZE, 1998; COCHRANE et al., 1999; NEPSTAD et al., 1999; COCHRANE, 2003).

A suscetibilidade ao fogo também pode variar em função do tipo de extração seletiva utilizada, se convencional ou de impacto reduzido. Tanto a extração seletiva convencional, quanto a de impacto reduzido aumentam a possibilidade de incêndios, porém a extração convencional pode provocar a queima em proporções muito maiores que a extração de impacto reduzido (HOLDSWORTH; UHL, 1997). A abertura deixada no dossel pela extração seletiva de impacto reduzido é 50% menor do que a deixada pela extração convencional, pois a quantidade de radiação solar que atinge o solo da floresta é menor, reduzindo a probabilidade de incêndios ocorrerem (HOLDSWORTH; UHL, 1997).

Eventos climáticos severos combinados com fragmentação florestal e fontes de ignição antrópicas aumentam a mortalidade de árvores pelo fogo e aumentam a degradação florestal (BRANDO et al., 2014). Devem ser considerados o efeito de fenômenos naturais que facilitam a ocorrência de incêndios florestais, como o *El Niño* (HOLDSWORTH; UHL, 1997; UHL, 1998; NEPSTAD; MOREIRA; ALENCAR, 1999; NEPSTAD et al., 1999; COCHRANE, 2001b; ALENCAR; SOLÓRZANO; NEPSTAD, 2004). As secas severas provocadas pelo *El Niño* podem deixar um terço ou mais das florestas da Amazônia suscetíveis ao fogo e isso aumenta a probabilidade de recorrência de incêndios (NEPSTAD et al., 2001).

A fragmentação dos ambientes naturais também favorece a ocorrência de incêndios florestais (LAURANCE et al., 1997; COCHRANE; SOUZA JR, 1998; COCHRANE, 2001a; COCHRANE, 2003; BROADBENT et al., 2008; NEPSTAD et al., 2008) porque o microclima de florestas com bordas é mais quente e seco (HARRIS, 1984). Em florestas que

não sofreram distúrbios de extração seletiva e fragmentação, o fogo não é capaz de avançar muitos metros dentro da floresta (UHL; BUSCHBACHER, 1985).

A degradação na Amazônia provoca intensa fragmentação dos remanescentes florestais e aumenta a suscetibilidade a incêndios (Figura 7)(COCHRANE; SOUZA JR, 1998; NEPSTAD et al., 2008). Florestas fragmentadas são mais suscetíveis aos efeitos do fogo em suas bordas (LAURANCE et al., 1997; COCHRANE, 2001b; ALENCAR et al., 2004; BALCH et al., 2015), já que as bordas de um fragmento de floresta podem ser diferentes do interior desta floresta em vários aspectos (COCHRANE, 2001b). E esse processo ocorre pela mortandade de árvores nas bordas, o que leva a uma mudança estrutural na floresta (LAURANCE et al., 1997). Além disso, as bordas na floresta apresentam alto estoque de carbono no solo (BARROS; FEARNSSIDE, 2016), o que implica em aumento das emissões após incêndios florestais.

Os incêndios em fragmentos também estão relacionados pela paisagem local. O tipo de uso da terra que circunda o fragmento pode determinar a ocorrência mais frequente de incêndios, como é o caso de áreas de pasto e agricultura adjacentes a fragmentos de florestas. Essas áreas são frequentemente submetidas a queimadas, facilitando a ocorrência de incêndios em fragmentos próximos (UHL; BUSCHBACHER, 1985; UHL; KAUFFMAN, 1990; HOLDSWORTH; UHL, 1997; NEPSTAD; MOREIRA; ALENCAR, 1999; BROADBENT et al., 2008; NEPSTAD et al., 2008; BARLOW et al., 2012).

Cochrane (2001b) estudando a ocorrência de incêndios em Paragominas observou que a ocorrência de incêndios em todos os anos do estudo se concentrou em áreas próximas às bordas de floresta, comprovando o sinergismo entre fragmentação e fogo. Portanto, a distribuição espacial dos incêndios florestais é altamente correlacionada com as bordas da floresta e, além disso, a frequência destes incêndios varia em função da distância das bordas da floresta (COCHRANE, 2003). Uhl e Kauffman (1990) observaram que a sustentação da chama da combustão ocorre em uma zona de até 80 metros dentro de florestas com bordas, e que a 100 metros da borda a floresta permanecia em um estado não inflamável.

Importante mencionar, que apesar dos processos de degradação, a floresta apresenta resiliência, o que permite a sua regeneração após distúrbios (Figura 6).

2.4.5 Incêndios Florestais

Os incêndios nas florestas tropicais alteram a composição e estrutura da floresta, podendo levar a extinção local de espécies raras (COCHRANE; SCHULZE, 1998; COCHRANE; SCHULZE, 1999). Em florestas que sofreram incêndios duas vezes ocorre rápida colonização por gramíneas e videiras de ervas daninhas, que são potencialmente inflamáveis mesmo verdes (COCHRANE; SCHULZE, 1998; COCHRANE; SCHULZE, 1999; SILVÉRIO et al., 2017).

Cochrane e Schulze (1998) descrevem a ação do fogo em uma floresta e atentam ao fato de que em um primeiro incêndio aproximadamente 40% das árvores DAP<10 cm morrem. O primeiro incêndio, portanto, reduz em 10% a biomassa viva, pois causa pouca ou nenhuma mortalidade em árvores com diâmetro maior que 40cm. Já incêndios subsequentes e severos causam mortalidade de árvores com caules mais grossos (BALCH et al., 2015). Apesar da resistência das florestas tropicais a propagação do fogo, elas também são extremamente vulneráveis aos seus danos, pois suas árvores possuem a casca fina (UHL; KAUFFMAN, 1990) e, por isso, o fogo provoca maior mortalidade em árvores com menor diâmetro.

A mortalidade das árvores após um incêndio pode provocar a morte de árvores nos anos seguintes ao incêndio florestal (HOLDSWORTH; UHL, 1997). O maior problema do primeiro incêndio é o aumento das cargas de combustível pelas árvores mortas que caem ou lançam galhos (COCHRANE; SCHULZE, 1998) e isso favorece incêndios subsequentes mais severos (NEPSTAD et al., 2001; COCHRANE, 2003).

A intensidade do fogo pode variar em função do tipo de floresta. Florestas densas queimam três vezes menos que florestas abertas e de transição (ALENCAR et al., 2015) e possuem microclimas úmidos e maior área basal, por isso o fogo se restringe a superfície do terreno, e mata, na maioria das vezes, árvores com caules menores que 5 cm e regenerações (UHL; BUSCHBACHER, 1985; UHL; KAUFFMAN, 1990). Áreas que sofreram incêndios de grandes intensidades ou ainda de repetição, podem sofrer perda de biomassa viva maior que 75% (COCHRANE; SOUZA JR, 1998). Por fim, os incêndios florestais na Amazônia representam uma grande ameaça a biodiversidade e a integridade dos habitats (ANDRADE et al., 2014).

CAPÍTULO 3

3. AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA DE DETECÇÃO DE EXTRAÇÃO SELETIVA NA AMAZÔNIA LEGAL

Resumo

A validação de técnicas de mapeamento em sensoriamento remoto é fundamental para o conhecimento da qualidade e limitações dos resultados obtidos. Na Amazônia Legal, várias técnicas foram desenvolvidas para o mapeamento da extração seletiva. O objetivo do presente estudo foi avaliar a acurácia da classificação que combinou interpretação visual e classificação semiautomática baseada em análise de textura para detecção de florestas com atividades de extração seletiva de madeiras. Foram utilizadas três imagens classificadas para extração seletiva (a partir de imagens do satélite Landsat 8) dos estados de Mato Grosso, Pará e Rondônia em 2014; e, 12 imagens do satélite *RapidEye* dos 3 estados para ano de 2014 como verdade de campo. Pontos foram aleatorizados nas cenas do *RapidEye* e comparados a classificação da extração seletiva desenvolvidas a partir de cenas do Landsat 8. A acurácia Global, do produtor e usuário foram calculadas, bem como os erros de omissão e comissão para cada classe. Os resultados apontaram acurácias globais de 91% (no Mato Grosso) e 93% (no Para e Rondônia) da técnica de classificação. A técnica, portanto, apresentou resultados de acurácia satisfatórios para o mapeamento de degradação por extração seletiva na Amazônia Legal.

Palavras-chave: Acurácia, imagens *RapidEye*, degradação, Amazônia Legal.

Abstract

Validation of mapping techniques in remote sensing is essential to understand quality and limitations of results. Different classification techniques were developed in Brazilian Legal Amazon to map selective logging. The aim of this study was to validate a visual interpretation and a semi-automated technique of mapping selective logging using Landsat images. We used 3 selective logging classified images (based on Landsat 8 scenes) of Mato Grosso, Pará and Rondônia states in 2014; and, 12 RapidEye scenes of the states for 2014, used as ground truth for 2014. We random a significant number of points in RapidEye scenes and these points were compared to an image of selective logging classification. Global accuracy, producer's and user's accuracy, commission and omission errors were reported for each class. Results showed a great global accuracy of 91% (Mato Grosso) and 93% (Pará and Rondônia states) for selective logging mapping technique. This technique presented satisfactory results for mapping forest degradation by selective logging in Brazilian Legal Amazon.

Key-words: Accuracy, RapidEye images, forest degradation, Legal Amazon.

3.2 Introdução

A classificação temática de imagens de satélite é umas das análises mais frequentes em Sensoriamento Remoto. A análise de acurácia destas classificações é fundamental na determinação da qualidade do produto para o fim proposto e, além disso, é o critério mais importante para avaliar a concordância da classificação com a verdade de campo (FOODY, 1992).

Além disso, medidas significativas e consistentes de acurácia são necessárias para avaliar se o mapa poderá ou não ser utilizado para uma determinada aplicação (POWELL et al., 2004). A acurácia de mapas é fundamental para análise das fontes de erros e determinação dos pontos fracos de classificações e para comparação de 2 ou mais classificações (POWELL et al., 2004).

A matriz de confusão (CONGALTON, 1991) é uma das técnicas mais utilizadas em sensoriamento remoto para medir a acurácia de mapeamentos (POWELL et al., 2004). A matriz de confusão consiste basicamente em uma tabela em que são comparados os resultados do mapeamento com a verdade de campo para cada classe e analisada a concordância entre esses dados. Nela são relatados erros de comissão, omissão, acurácias do produtor e usuário e ainda a acurácia global do mapeamento (CONGALTON, 1991).

O mapeamento da degradação por extração seletiva na Amazônia Legal é importante na determinação da dinâmica deste processo. A área de extração seletiva aumentou em 800% no período de 1992 a 2014 (Cap.4 deste documento), o que significa grande impacto na biodiversidade (IMAZON, 2010), intensificação da vulnerabilidade a incêndios (UHL; BUSCHBACHER, 1985; UHL; KAUFFMAN, 1990; HOLDSWORTH; UHL, 1997; COCHRANE; SCHULZE, 1998; NEPSTAD et al., 1998; UHL, 1998; FEARNSIDE, 1999) e aumento da liberação de carbono na atmosfera (NEPSTAD et al., 1999; HUANG; ASNER, 2010; BERENGUER et al., 2014).

Diferentes técnicas de mapeamento da degradação por extração seletiva na Amazônia Legal foram descritas na literatura, como interpretação visual, análise de mistura espectral, filtro de textura e o CLASlite (WATRIN; ROCHA, 1992; SOUZA JR; BARRETO, 2000; SOUZA et al., 2003; ASNER et al., 2005; MATRICARDI et al., 2010; INPE, 2016). Dentre esses estudos, Matricardi (2007) objetivando mapear a extração seletiva na Amazônia Legal aplicou um método que combinou interpretação visual e uma técnica semiautomática para

detecção da extração seletiva em 37 cenas do satélite Landsat 5 e 7. Esse método apresentou acurácia global de 92,8% e foi aplicado para os anos 1992, 1996 e 1999.

Dando continuidade ao estudo de Matricardi (2007), no presente trabalho de pesquisa foi feita uma avaliação de acurácia complementar, mais ampla e mais detalhada do método de classificação de florestas impactadas pela extração seletiva desenvolvido por Matricardi (2007). A avaliação da acurácia envolveu a classificação feita utilizando três cenas do Landsat 8 adquiridas em 2014, no Mato Grosso, Rondônia e Pará. Estes estados foram escolhidos por apresentarem as maiores áreas de florestas impactadas pela extração seletiva no período deste estudo.

3.3 Métodos

A avaliação da acurácia do mapeamento de florestas afetadas pela extração seletiva de madeira envolveu três cenas do satélite Landsat-8 adquiridas em 2014, localizadas nos estados de Mato Grosso (municípios de Santa Carmen, Nova Ubitatã e Feliz Natal), Pará (municípios de Paragominas, Goianésia do Pará, Dom Eliseu e Ulianópolis) e Rondônia (município Porto Velho) no ano de 2014 (Figura 7). A classificação feita a partir das imagens Landsat-8 foi checada visualmente sobre doze cenas do satélite *RapidEye*, com resolução espacial de 5m. Foram feitas observações complementares em campo no Mato Grosso e Rondônia para certificação dos padrões espectrais das feições de interesse observadas nas imagens de satélite.

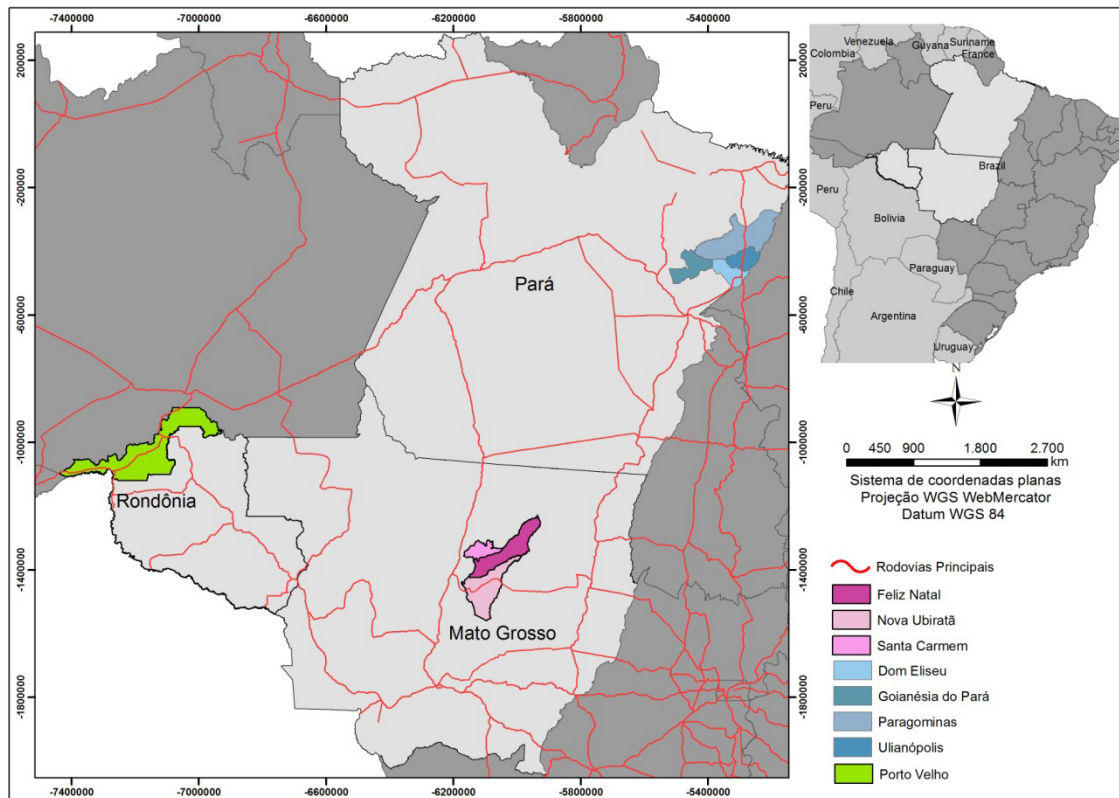


Figura 7 - Áreas de validação do estudo na Amazônia Legal.

A partir do mapeamento da degradação florestal nas três cenas Landsat de 2014 e das doze cenas *RapidEye* (resolução de 5 metros) foi elaborada uma matriz de confusão contendo a acurácia global, erros de comissão e omissão, acurácia do produtor e usuário e ainda os pontos de acertos e erros (CONGALTON, 1991).

No estado do Mato Grosso utilizou-se 6 cenas do satélite *RapidEye* (Tabela 2). Um polígono englobando as cenas foi construído em ambiente ArcGIS® e 260 pontos foram aleatorizados sobre ele com distância mínima dos pontos de 500 metros (APÊNDICE A). Este procedimento garantiu que os pontos fossem distribuídos com maior eficiência nas cenas. Buscou-se as datas mais próximas possíveis entre as imagens Landsat-8 e *RapidEye*, reduzindo assim os efeitos na variação da resposta espectral causada pela variação sazonal nas imagens.

Tabela 2 - Cenas Landsat e *RapidEye* utilizadas no estudo no ano de 2014.

	Mato Grosso		Pará		Rondônia	
	Cena	Data	Cena	Data	Cena	Data
Landsat	226/68	23 out	223/62	21 dez	232/66	1 out
	226/69	20 ago	223/63	21 dez		

	2133426	6 maio	2237328	26 jun	2035216	24 jun
	2133527	6 maio	2237427	26 jun	2035215	24 jun
<i>RapidEye</i>	2133427	5 jul	2237428	26 jun		
	2133526	5 jul	2237327	26 jun		
	2133525	1 maio				
	2133425	13 ago				

Por fim, comparou-se os pontos com as cenas *RapidEye* e com a imagem da classificação da extração seletiva elaborada com base nas cenas Landsat 8 226/68 e 226/69. O fluxo metodológico para avaliação da acurácia do mapeamento da extração seletiva é apresentado em detalhes na Figura 8.

No estado do Pará foram utilizadas 4 cenas do satélite *RapidEye* (Tabela 2). Os mesmos procedimentos descritos acima foram adotados, porém, para estas cenas foram aleatorizados 200 pontos (APÊNDICE B). Esses pontos foram comparados com as cenas *RapidEye* e a classificação da extração seletiva elaborada com base nas cenas do Landsat 8 223/62 e 223/63.

No estado de Rondônia, foram utilizadas 2 cenas do satélite *RapidEye* (Tabela 2) na validação da acurácia do mapeamento da extração seletiva de madeira. Para estas cenas foram aleatorizados 100 pontos (APÊNDICE C), que em seguida foram comparados com as cenas do *RapidEye* e a classificação da extração seletiva baseada na cena 232/66 do Landsat-8.

Por fim, o coeficiente *Kappa* foi calculado para cada matriz de confusão (COHEN, 1960):

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})} \quad (3.1)$$

onde: k = coeficiente *Kappa*; N = número total de pontos amostrados; r = número de linhas da matriz de erro; x_{ii} = valor da linha i e coluna i; x_{+i} = total da coluna i; x_{i+} = total da linha i.

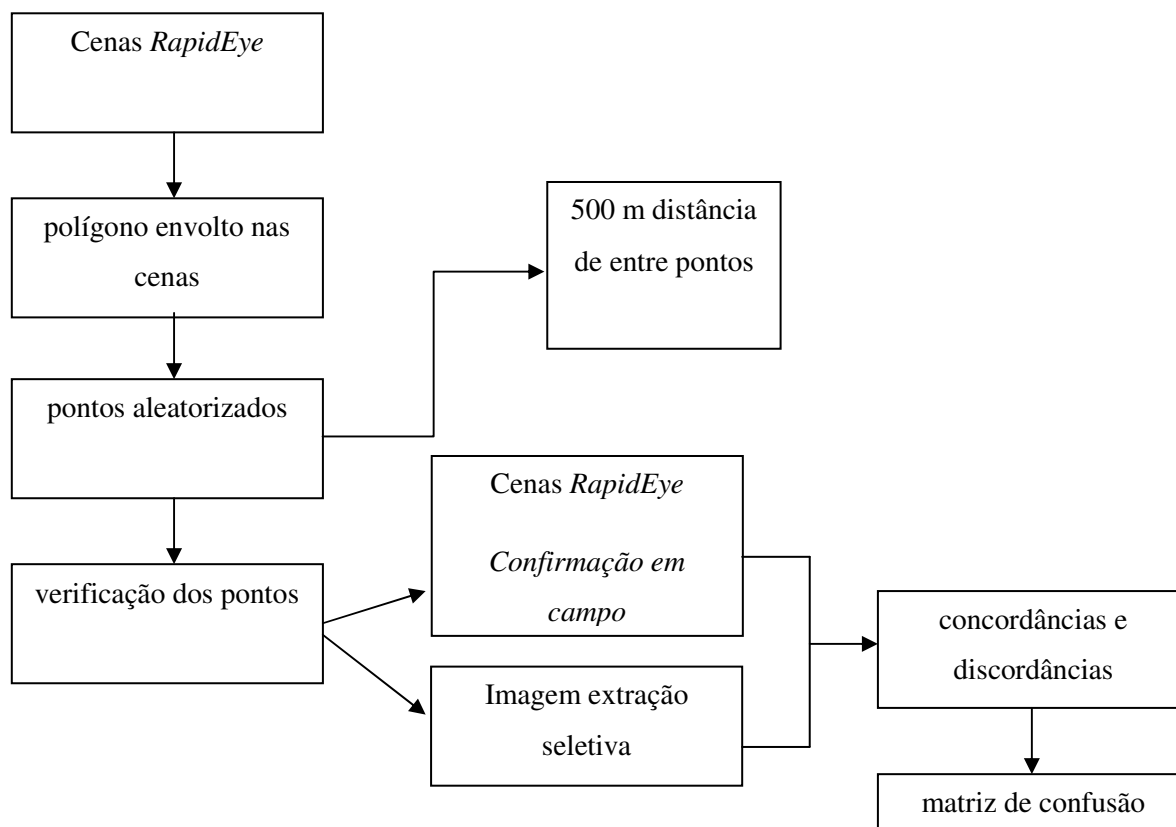


Figura 8 – Fluxograma dos procedimentos aplicados para verificação da acurácia do mapeamento das florestas afetadas pela extração seletiva de madeira no Mato Grosso, Rondônia e Pará.

3.3.1 Dados do estudo

Dados de degradação por extração seletiva produzidos no Cap.4 deste documento no ano de 2014 e cenas do satélite *RapidEye* foram necessárias para a validação do estudo (Tabela 3). Além disso, outros *shapes* utilizados no estudo foram descritos abaixo:

Tabela 3 - Dados utilizados no estudo e suas características.

Dado	Feição	Formato	Resolução	Projeção	Fonte/data
Cenas RapidEye	<i>raster</i>	.tiff	5 m	WGS 84	GEO Catálogo/MMA (2014)
Ponto e órbita Landsat - grade	polígonos	.shp	-	WGS 84	INPE (2016)
Degradação Amazônia	<i>raster</i>	.tiff	30 m	Sinusoidal	Cap.4 deste documento

Legal					
Rodovias	linhas	.shp	-	WGS 84	MMA/2016
estados da					
Amazônia	polígonos	.shp	-	WGS 84	MMA/2016
Legal					
UF's Brasil	polígonos	.shp	-	WGS 84	MMA/2016
Municípios	polígonos	.shp	-	WGS 84	MMA/2016
Brasil					

3.4 Resultados e Discussão

Os resultados mostraram ótima acurácia do método de mapeamento da extração seletiva. Para o estado do Mato Grosso, a acurácia global foi de 91% e para os estados do Pará e Rondônia as acurácias foram de 93%. Estes resultados foram similares ao obtido por Matricardi et al. (2007), de 92,8% e estão acima de 85%, recomendado por Foody (2002) como o limite mínimo para uma boa acurácia de mapeamento (FOODY, 2002). Os resultados indicam, portanto, boa concordância entre a classificação da extração seletiva e as cenas *RapidEye* observações de campo.

Em relação ao estado do Mato Grosso, foram omitidos 12% dos pontos de extração seletiva e 9,4% dos pontos foram comissionados. Estes resultados refletiram em 88,1% de acurácia do produtor, o que significa que 88,1% dos pontos identificados como extração seletiva realmente pertencem a esta classe (Tabela 4). O coeficiente Kappa apresentou valor de 82% para a técnica, com boa concordância entre a cena tomada como verdade de campo e a classificação da extração seletiva (LANDIS; KOCH, 1977).

Tabela 4 - Acurácia do mapeamento da extração seletiva na Amazônia Legal no ano de 2014 utilizando cenas *RapidEye* do estado do Mato Grosso.

		Imagem <i>RapidEye</i>			Acurácia do Produtor	Acurácia do usuário
		Extração seletiva	Outros usos	Total		
Imagem classificada	Extração seletiva	96	10	106	88,1%	91%
	Outros usos	13	141	154	93%	92%
	Total	109	151	260		
Erros de omissão		11,9%	7%			
Erros de comissão		9,4%	8,4%			
Acurácia Global		91%				

Em relação ao estado do Pará, as estimativas da avaliação da acurácia indicam que foram omitidas 7,4% das áreas de extração seletiva de madeiras e comissionados 7,4% das mesmas áreas. Portanto, em termos gerais, considerando os erros de subestimativas e superestimativas, 92,6% das áreas classificadas como extração seletiva foram corretamente mapeados (Tabela 5). O coeficiente *Kappa* apresentou o valor de 82%, considerado como uma concordância muito boa entre a verdade de campo e a classificação da imagem.

Tabela 5 - Acurácia do mapeamento da extração seletiva na Amazônia Legal no ano de 2014 utilizando cenas *RapidEye* do estado do Pará.

		Imagem <i>RapidEye</i>			Acurácia do Produtor	Acurácia do usuário
		Extração seletiva	Outros usos	Total		
Imagem classificada	Extração seletiva	87	7	94	92,6%	92,6%
	Outros usos	7	99	106	93%	93%
	Total	94	106	200		
Erros de omissão		7,4%	7%			
Erros de comissão		7,4%	7%			
Acurácia Global		93%				

As fontes de erros de omissão e comissão são oriundas, principalmente, da resolução espacial da imagem Landsat-8 (30m). Considerando essa resolução espacial, 1 pixel da imagem Landsat-8 envolve 900 m² na superfície, o que leva a misturas espectrais de feições na superfície da terra. Tal mistura espectral provoca erros na classificação automática e confusões na interpretação visual, reduzindo a acurácia do mapeamento da extração seletiva. Isso ocorre porque o pixel representará a mistura dos alvos presentes na área de 900 m², o que pode englobar diferentes usos.

Outro fator interferente é o ajuste dos valores de máximo e mínimo do perfil espacial no momento da classificação semiautomática. Esses valores são ajustados com base nas feições representativas dos pátios de extração seletiva e, em alguns casos, pode ocorrer adição de feições similares, porém, que não representam a feição correta. Ou então, pode ocorrer a omissão de feições de representativas dos pátios, intencionalmente, no sentido de preservar a classificação e não superestima-la.

Outro ponto a ser destacado é em relação a data das imagens utilizadas como verdade de campo e as utilizadas no processo de classificação. A diferença de meses na extração

seletiva praticada na Amazônia Legal é crucial e, além disso, a disponibilidade de imagens em datas específicas (mesmo ano de imagens classificadas e utilizadas na validação) é restrita. Portanto, podem aparecer sítios classificados como extração seletiva, mas que podem não ser detectados na imagem utilizada para validação (no caso, a *RapidEye*) se esta for de data anterior a utilizada na classificação. Esta é mais uma fonte potencial de erros na estimativa da acurácia.

A acurácia de mapeamentos também é problematizada pela transformação de um dado, que é contínuo, em um mapa classificado, em que limites precisos são estabelecidos. Muito alvos podem ter suas bordas com limites precisos, mas também há casos em que as bordas são áreas de transição de alvos, o que dificulta a delimitação do alvo e, por conseguinte, sua acurácia (GOPAL; WOODCOCK, 1994), como é o caso das áreas de extração seletiva.

Por fim, para o mapeamento referente ao estado de Rondônia, dos 100 pontos aleatorizados, 59 representavam a classe extração seletiva. Apenas 1 ponto foi computado como outros usos, gerando um erro de omissão de 2% (Tabela 6). No mesmo raciocínio, 6 pontos que pertenciam a classe "outros usos" foram computados como extração seletiva, gerando um erro de comissão de 9,4% para esta classe. Por fim, a acurácia do produtor para a classe extração seletiva foi de 98%, portanto, essa porcentagem representa os acertos da classificação da extração seletiva. O coeficiente *Kappa* apresentou valor de 85,3%.

Tabela 6 - Acurácia do mapeamento da extração seletiva na Amazônia Legal no ano de 2014 utilizando cenas *RapidEye* do estado de Rondônia.

		Imagem <i>RapidEye</i>			Acurácia do Produtor	Acurácia do usuário
		Extração seletiva	Outros usos	Total		
Imagem classificada	Extração seletiva	58	6	64	98%	90,6%
	Outros usos	1	35	36	85,4%	97%
	Total	59	41	100		
Erros de omissão		2%	14,6%			
Erros de comissão		9,4%	3%			
Acurácia Global		93%				

3.5 Conclusões

A técnica de mapeamento da extração seletiva na Amazônia Legal que combina interpretação visual de imagens do satélite Landsat e técnica semiautomática baseada no algoritmo de textura, apresentou ótima acurácia global e coeficiente *Kappa*. A técnica apresenta boa qualidade na detecção da extração seletiva de madeiras e, portanto, pode ser adotada para o mapeamento da extração seletiva na Amazônia.

É importante salientar, que a escolha de imagens (para classificação e validação) deve priorizar a maior proximidade de datas, principalmente quando o alvo de classificação é a extração seletiva (alvo com elevada mudança de um mês para outro). Finalmente, os resultados demonstram a importância da avaliação de acurácia do mapeamento, pois permite que o usuário identifique o grau de confiança na classificação adotada, bem como identificar as fontes de erro da classificação. E, conseqüentemente, se necessário, o usuário deverá redefinir suas classes e repetir a classificação.

CAPÍTULO 4

4. MAPEAMENTO DA EXTRAÇÃO SELETIVA E FOGO NA AMAZÔNIA LEGAL

Resumo

A degradação florestal pela extração seletiva de madeiras e pelo fogo causa vários impactos em florestas tropicais, incluindo a redução da biodiversidade, destruição de habitats, alteração do microclima e aumento da suscetibilidade a incêndios mais severos. Além disso, a degradação florestal aumenta a liberação de gases do efeito estufa para atmosfera, contribuindo com as mudanças climáticas globais. Este estudo buscou entender a dinâmica espaço-temporal da degradação florestal na Amazônia brasileira causada pela extração seletiva de madeiras e pelo fogo no período de 1992 a 2014. O estudo incluiu a análise de 431 cenas dos satélites Landsat 5 e 8 utilizando a metodologia de análise de mistura espectral e uma combinação de algoritmo de textura com interpretação visual. Com base nos resultados desta pesquisa, estima-se que a área total de florestas impactadas por extração seletiva e fogo detectadas em 1992, 1996, 1999, 2003, 2006, 2010 e 2014 foi 11.869 km², 16.532 km², 35.697 km², 39.800 km², 49.710 km², 56.744 km² e 46.789 km², respectivamente. A extração seletiva foi responsável por 72% das florestas impactadas enquanto o fogo foi responsável por 28% de toda a degradação no período estudado. Dentro de Unidades de Conservação e Terras Indígenas, a área de extração seletiva impactou 1.838 km² e 1.718 km² de florestas nativas no ano 2014, respectivamente. Por fim, conclui-se que, ao contrário das taxas de desmatamento, a degradação florestal segue uma tendência de aumento na região e período de estudo. A tendência de aumento inclui a extração seletiva de madeiras e o fogo dentro de áreas protegidas. Por fim, o estudo mostrou que as áreas impactadas pelo fogo são as mais prováveis de serem desmatadas nos anos subsequentes ao evento que causou a degradação florestal.

Palavras-chave: degradação, Amazônia Legal, Geoprocessamento e desmatamento.

Abstract

Forest degradation by selective logging and fire can cause several impacts in tropical forests, including loss of biodiversity, microclimate changes and increase of forest susceptibility to severe fires. In addition, forest degradation has a contribution in the releasing of greenhouse gases to atmosphere, increasing climate change. This study analyzed spatiotemporal dynamic of degraded forests by selective logging and fire in Legal Amazon in the period of 1992 to 2014. Data analysis comprehended 431 Landsat 5 and 8 scenes using a methodology of SMA analysis and texture algorithm combined to a visual interpretation. Results showed an increase in area of degraded forests of Legal Amazon. The total area impacted by selective logging and fire was 11.869 km², 16.532 km², 35.697 km², 39.800 km², 39.800 km², 49.710 km², 56.744 km², and 46.789 km² in 1992, 1996, 1999, 2003, 2006, 2010 and 2014, respectively. Furthermore, selective logging activities alone were responsible for 72% of Amazon degradation, while fire activities were responsible for 28% of all degraded forests. Inside Conservation Units, selective logging area was 1.838 km² in 2014 and 1.718 km² in Indigenous land in the same year. We concluded that in opposite to deforestation area, forest degradation increased in the region during study period. In addition, results showed an increase of forest degradation inside protected areas. Finally, study results showed that impacted areas by fire had higher probability of occurrence in subsequent years of deforestation.

Key words: forest degradation, Legal Amazon, Geoprocessing and deforestation.

4.1 Introdução

A extração seletiva e o fogo representam uma preocupação ambiental na Amazônia Brasileira devido aos seus efeitos negativos nas florestas naturais (MATRICARDI et al., 2010) e o seu potencial de expansão nas próximas décadas (ASNER et al., 2005; MATRICARDI et al., 2007; SOUZA JR. et al., 2013). Alguns autores afirmam que extensão das áreas degradadas pelo fogo e extração seletiva podem ser similares a área do desmatamento (NEPSTAD et al., 1999; ASNER et al., 2005; SOUZA JR. et al., 2013). Dados mais atuais do INPE (2016) revelam que 102.923 km² de floresta tropical foram degradados na Amazônia Legal entre 2007 e 2013 por diferentes tipos de ações antrópicas, o que representou o dobro do desmatamento (55.906 km²) observado no mesmo período.

A degradação na Amazônia têm diversas consequências nos processos ecológicos (SKOLE; TUCKER, 1993; KOLTUNOV et al., 2009; BERENGUER et al., 2014). As aberturas deixadas no dossel pela extração seletiva combinadas a grande quantidade de material orgânico de árvores mortas deixa a floresta vulnerável a incêndios subsequentes (UHL; BUSCHBACHER, 1985; UHL; KAUFFMAN, 1990; HOLDSWORTH; UHL, 1997; COCHRANE; SCHULZE, 1998; NEPSTAD et al., 1998; UHL, 1998; FEARNSIDE, 1999). Além disso, as degradações pelo fogo e extração seletiva provocam a liberação de quantidade significativa de carbono para atmosfera (NEPSTAD et al., 1999; HUANG; ASNER, 2010; BERENGUER et al., 2014). Em 1996, a extração seletiva na Amazônia foi responsável por liberar 4 a 7% de carbono para atmosfera (NEPSTAD et al., 1999).

Os processos de degradação na Amazônia levam ao empobrecimento da biodiversidade das florestas (IMAZON, 2010). A maioria dos processos de degradação por extração seletiva na Amazônia segue o mesmo curso: as espécies de maior valor comercial são retiradas e quando acabam a próxima espécie com maior valor comercial passa a ser retirada. Esse processo ocorre até a maioria das espécies madeireiras acabem e a terra tenha mais valor com a agricultura ou pasto do que floresta em si (GERWING; JOHNS; VIDAL, 1996; SCHNEIDER et al., 2002; ASNER et al., 2006).

Alguns estudos buscaram o mapear a extração seletiva na Amazônia Legal, os mais recentes incluem: Nepstad et al. (1999), que estimaram a degradação por extração seletiva a partir de entrevistas à serrarias nos estados do Mato Grosso, Pará, Rondônia e Acre no período de 1994 a 1997; Souza e Barreto (2000) utilizaram análise de mistura espectral para estimar a extração seletiva no estado do Pará; Asner et al. (2005) desenvolveram o CLAS

(*Carnegie Landsat Analysis System*) para mapear a degradação por extração seletiva em Rondônia, Pará, Mato Grosso, Roraima e Acre; e Matricardi et al. (2007) desenvolveram uma classificação semi-automática que combina interpretação visual de imagens Landsat com filtro textura nos anos 1992, 1996 e 1999 para toda a Amazônia Legal.

A literatura científica discute a hipótese de que a degradação por extração seletiva e pelo fogo na Amazônia são precursores do desmatamento. Em um estudo de degradação desenvolvido na Amazônia Legal, Asner e seus colaboradores (2005) observaram que grande parte das áreas degradadas por extração seletiva foi desmatada nos anos subsequentes à degradação. Apesar disso, ainda não foi feito de forma sistemática a detecção das áreas de florestas impactadas pela extração seletiva e pelo fogo, que poderia contribuir de forma mais consistente com o entendimento da relação da degradação florestal e do desmatamento na Amazônia.

No intuito de avaliar a evolução da degradação na Amazônia, este estudo envolveu o mapeamento de florestas impactadas pela extração seletiva e pelo fogo em toda a Amazônia Legal no período de 1992 a 2014. E, com isso, foi possível observar as tendências do processo de degradação florestal e subsequentes alterações do uso e cobertura da terra na Amazônia.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Área de estudo

A área de estudo compreendeu os estados da Amazônia Legal: Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima, Mato Grosso, Maranhão e Tocantins (Figura 9). A Amazônia Legal possui aproximadamente 5 milhões de km² e é uma região político-administrativa criada pela Lei Federal nº 1.806 de 6 de janeiro de 1953. A criação da Amazônia Legal teve a finalidade de aumentar o desenvolvimento econômico dos estados da Amazônia.

A Amazônia está situada na região equatorial, portanto possui clima quente e úmido. A precipitação média é de aproximadamente 2.300 mm por ano (MCTI, 1996). A vegetação (APÊNDICE D) é composta principalmente de Floresta e Savana, com manchas de campinarana, reflorestamento e vegetação secundária (MMA, 2016).

Este estudo envolveu a análise de 1.920 imagens do satélite Landsat 5 e 8 em toda a Amazônia legal. Entretanto, foi concentrado em 80 cenas do satélite Landsat que

apresentavam evidências de extração seletiva e fogo nos anos de 1992, 1996, 1999, 2003, 2006, 2010 e 2014.

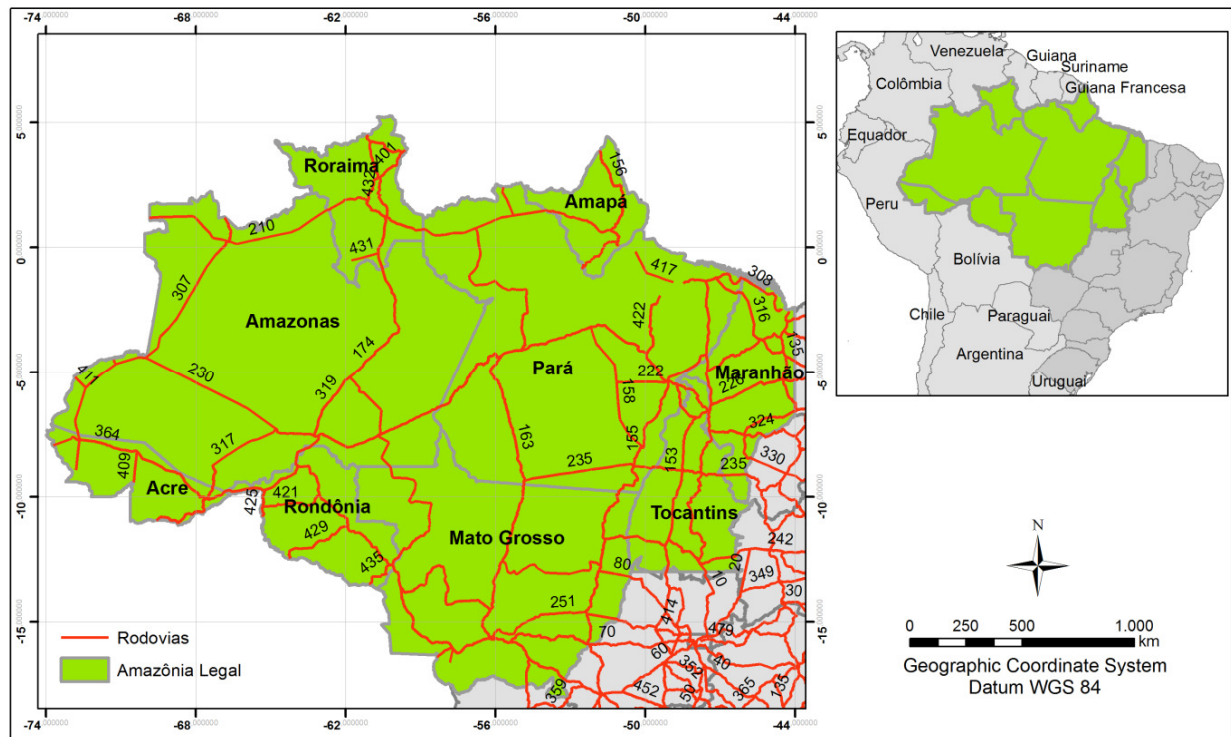


Figura 9–Localização da área de estudo (Amazônia Legal).

4.2.2 Dados

Os dados de imagens de sensoriamento remoto foram adquiridos no sítio do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e no Serviço Geológico Americano (USGS). Dados de degradação dos anos 1992, 1996 e 1999 da Amazônia Legal foram cedidos do estudo conduzido por Matricardi (2007)(Figura 10).

As cenas Landsat utilizadas neste estudo apresentaram sinais aparentes de degradação florestal pela extração seletiva e fogo (pátios e estradas de extração seletiva), envolvendo, portanto, 80 cenas em toda a Amazônia legal (Figura 10) (APÊNDICE E).

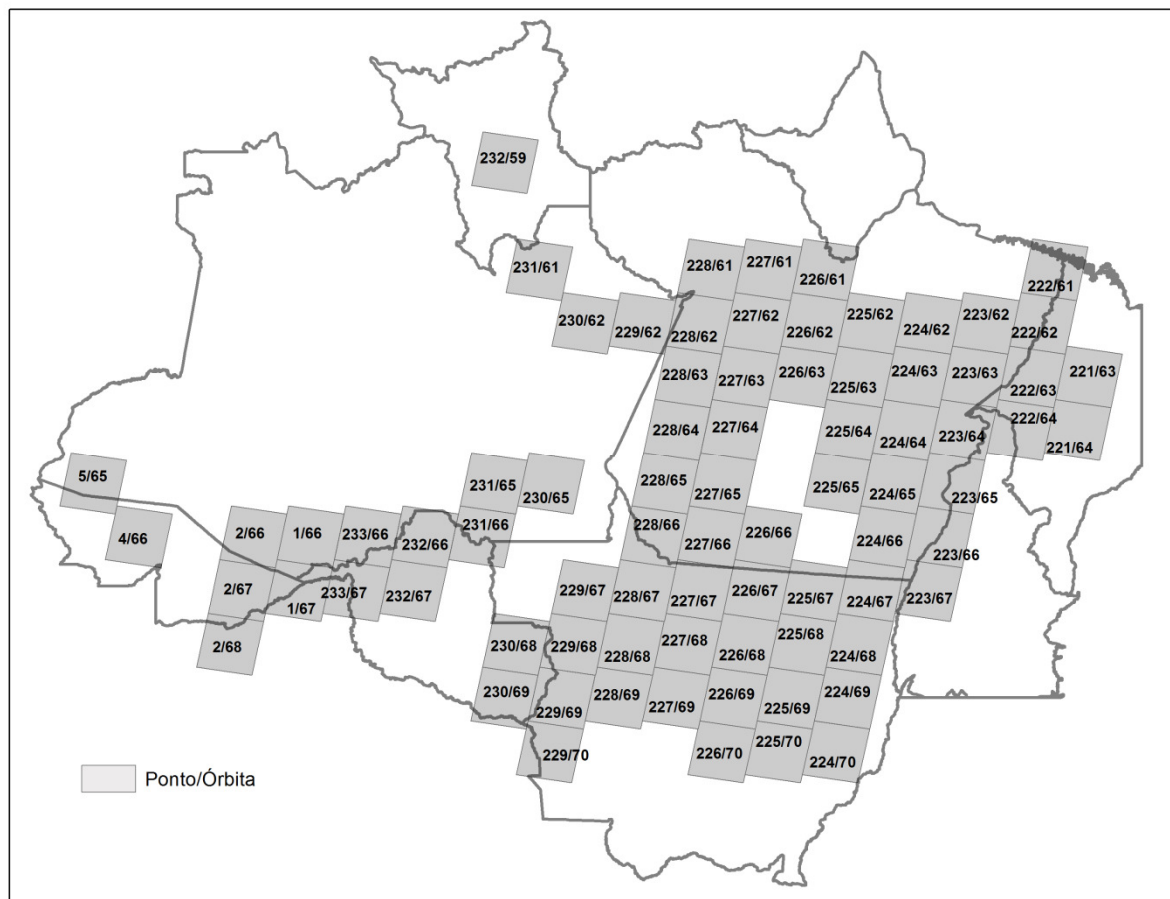


Figura 10 -Ponto e órbita das cenas Landsat utilizadas no estudo.

Os limites das áreas protegidas (Unidades de Conservação e Terras Indígenas), vegetação e estados da Amazônia Legal foram obtidos do Ministério do Meio Ambiente (2016). Dados dos desmatamento foram obtidos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2000 a 2014) e do *Tropical Rain Forest Information Center* - TRFIC (1992 a 1999). Polos madeireiros, eixo de transportes de madeiras foram obtidos do Imazon (2013). Mais detalhes da base de dados utilizada neste estudo estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Dados utilizados no trabalho.

Dado	Feição	Formato	Resolução	Projeção	Fonte/data
Imagens Landsat	<i>raster</i>	.tiff	30 m	WGS 84	INPE(2003, 2006, 2010) e USGS (2014)
Ponto e órbita Landsat - grade	polígonos	.shp	-	WGS 84	INPE (2016)
Degradação Amazônia Legal	<i>raster</i>	.tiff	30 m	Sinusoidal	Matricardi (1992, 1996 e 1999)
Desmatamento na Amazônia Legal	polígonos e tabelas	.shp e dbf.	60m	WGS84	INPE/2003, 2006 e 2010

Desmatamento da Amazônia Legal	<i>raster</i>	Img.	30m	Sinusoidal	TRFIC (92, 96, 99)
TI's e UC's	polígonos	.shp	-	WGS 84	MMA/2010
Rodovias	polígonos	.shp	-	WGS 84	MMA/2016
Vegetação da Amazônia Legal	polígonos	.shp	60m	WGS 84	MMA/2016
Volume de madeira	tabelas	xml.	-	-	IBGE/2016
Pólos madeireiros e áreas de influência	pontos	.shp	-	WGS 84	Imazon/2013
Eixos de transporte madeireiros	polígonos	.shp	-	WGS 84	Imazon/2013
estados da Amazônia Legal	polígonos	.shp	-	WGS 84	MMA/2016
UF's Brasil	polígonos	.shp	-	WGS 84	MMA/2016

4.2.3 Dados de extração seletiva e cicatrizes de fogo da década de 90

Matricardi et al. (2013) mapearam as áreas degradadas por extração seletiva e fogo na Amazônia Legal nos anos 1992, 1996, 1999 a partir de interpretação visual e imagens textura utilizando 38 cenas do Landsat 5 TM. A partir destes dados e dados espaciais da degradação florestal pela extração seletiva e fogo dos anos de 2003, 2006, 2010 e 2014, produzidos neste estudo, foi construída uma série temporal de 22 anos, possibilitando analisar a dinâmica espacial e temporal destes fenômenos e das mudanças do uso da terra em toda a Amazônia brasileira.

4.3 Estudo de campo

O estudo de campo incluiu observações nos estados de Rondônia (municípios de Porto Velho, Ariquemes e Corumbiara) e Mato Grosso (municípios de Feliz Natal e Sinop) realizadas em 2013 e 2016, respectivamente. Outras informações de campo foram obtidas em 2000, 2002 e 2006 por Matricardi (2007) nos estados do Acre, Rondônia, Pará e Mato Grosso. As atividades de campo consistiram na visita e observação in loco de áreas de florestas detectadas como extração seletiva de madeira (submetidas a manejo florestal) e cicatrizes de fogo. Foram observadas também áreas de floresta nativa sem impactos e outras áreas com impactos causados por eventos naturais (ventos fortes). Nas visitas a sítios de interesse, foram observados os impactos causados pelo fogo e pela extração seletiva, incluindo a abertura do dossel, mortalidade de plantas, infraestrutura para a extração seletiva, a alteração na quantidade de material orgânico nos dois tipos de degradação e na floresta virgem. Também foram observados os efeitos do fogo na floresta e comparados aos efeitos da extração

seletiva. Todos os locais visitados foram localizados com Sistema de Posicionamento Global (GPS) e verificados nas imagens de satélite e classificação digital em laboratório.

4.4 Análise de dados

Neste estudo foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5 e 8 bandas de 1 a 5 e 7 (Landsat-5 TM) e bandas 2 a 7 (Landsat-8 OLI). As cenas Landsat utilizadas apresentaram evidências de degradação florestal pela extração seletiva de madeiras ou pelo fogo nos anos de 1992, 1996, 1999, 2003, 2006, 2010 e 2014, totalizando 80 cenas. As imagens foram pré-processadas a partir de correções radiométricas e geométricas descritas a seguir (Figura 11).

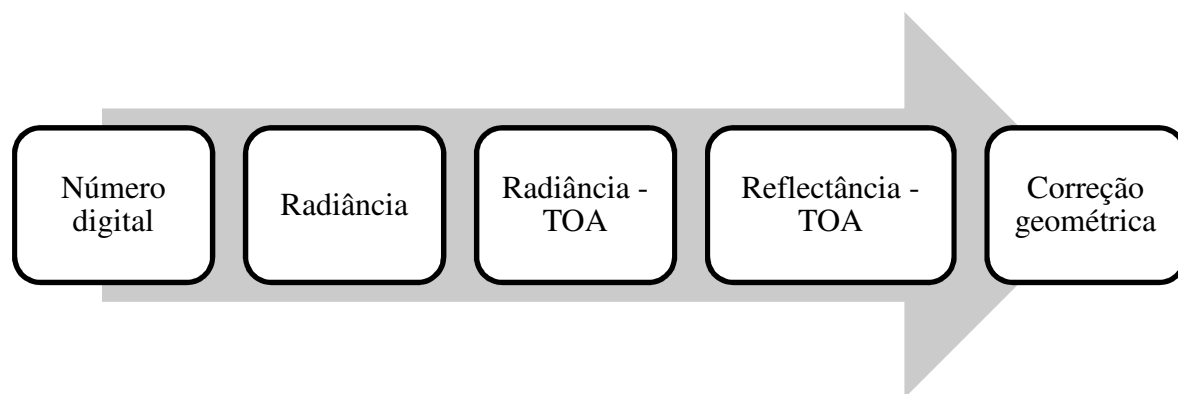


Figura 11 - Pré-processamentos realizados nas imagens Landsat5 TM do estudo.

4.4.1 Correções das imagens

4.4.1.1 Calibração radiométrica

A calibração radiométrica objetiva normalizar dados de imagens de satélites para fatores como degradação do sensor, variação da distância da Terra-Sol, ângulo de incidência, ângulo de visada e tempo da aquisição dos dados (MATRICARDI et al., 2007).

A calibração radiométrica envolve a transformação de valores de números digitais para valores físicos de reflectância no topo da atmosfera das imagens adquiridas pelo sensor Landsat5 TM, adotando os parâmetros (data, banda, elevação do sol, L_{max} , $L_{mín}$) para cada cena, disponibilizados no sítio do Serviço Geológico Americano (USGS) e de acordo com a metodologia proposta por Chander, Markham e Helder (2009) para correção radiométrica de imagens Landsat. Os autores (CHANDER; MARKHAM; HELDER, 2009) propõem primeiro a conversão de número digital para valores físicos de radiância:

$$L_r = \left(\frac{L_{MAX} - L_{MIN}}{Q_{calmax}} \right) Q_{cal} + L_{MIN} \quad (4.1)$$

onde:

$L\lambda$ = radiância espectral de abertura do sensor em $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu)$,

Q_{cal} = valor do *pixel* quantizado e calibrado em unidades de números digitais.

Por fim, convertem-se os valores de radiância no topo da atmosfera para reflectância usando a equação a seguir:

$$\rho^p = \left(\frac{\prod L\lambda \cdot d^2}{ESUN\lambda \cdot \cos \theta_s} \right) Q_{cal} + LMIN\lambda \quad (4.2)$$

Onde:

ρ^p = reflectância planetária,

$L\lambda$ = radiância espectral de abertura do sensor,

d = distância da Terra - Sol em unidades astronômicas,

$ESUN\lambda$ = médias das irradiâncias solares exoatmosféricas,

θ_s = ângulo do zênite solar em graus.

4.4.1.2 Correção geométrica

A correção geométrica foi feita a partir de imagens ortorretificadas do sítio do Serviço Geológico Americano (USGS). As imagens do sensor TM e OLI utilizadas foram georreferenciadas no sistema de projeção UTM, Datum WGS 84 no *software* ERDAS®. O registro foi feito a partir de pontos em comum entre a imagem ortorretificada e as imagens adquiridas no sítio do INPE e do USGS. Seis pontos foram utilizados para retificação da imagem com polinômio de primeira ordem e a reamostragem pelo vizinho mais próximo. A correção geométrica individual foi aceita apenas se o *RMS* apresentasse o valor menor que 0,5 *pixels* (DAI; KHORRAM, 1998; JENSEN, 2005).

Após as correções, as imagens foram mapeadas quanto à extração seletiva e em relação aos incêndios florestais. Estas duas análises são discutidas mais detalhadamente a seguir.

4.4.2 Mapeamento semiautomático da extração seletiva - Análise de textura

A demanda por técnicas mais eficientes e acuradas para análise de imagens no sensoriamento remoto tem levado ao uso cada vez mais frequente da análise de textura (CLAUSI; ZHAO, 2002). O uso de imagens resultantes da aplicação do filtro de textura tem ampla aplicação na classificação de áreas urbanas (HAMBURGUER; FORESTI, 1997;

TRIANNI et al., 2004; BOSCHI; GALO, 2007; ZHANG; ZHU, 2011); mapeamento de áreas úmidas (CHIU; COULOIGNER, 2004); discriminação de usos do solo (LLOYD et al., 2004; LOCK; KIRCHNER, 2004; ELHADI; ZOMRAWU, 2009); classificação da composição florística (FRANKLIN; MAUDLE; LAVIGNE, 2001; MOSKAL; FRANKLIN, 2002); identificação de culturas agrícolas (PEÑA-BARRAGÁN et al., 2011), além do mapeamento florestal (KIM; MADDEN; WARNER, 2009), da degradação (ASNER et al., 2002; MATRICARDI et al., 2007) e estudos ecológicos (PEDDLE; FRANKLIN, 1991).

Textura se refere à variação espacial de tons em uma imagem (HARALICK; SHANMUGAM; DINSTEN, 1973) em função da escala (ENVI, 2004). A ferramenta *Occurrence Measures* (programa ENVI) permite a aplicação de cinco filtros de textura baseados em medidas de ocorrência: intervalo de dados, média, variância entropia e assimetria. Esta ferramenta utiliza o número de ocorrências de cada nível de cinza dentro da janela de processamento (ENVI, 2004). Já a ferramenta *Co-occurrence measures* permite o cálculo de vários outros filtros e utiliza a matriz de co-ocorrência para calcular os valores de textura. Esta matriz é função da relação angular e distância entre dois *pixels* vizinhos e mostra o número de ocorrências em relação ao *pixel* e o seu vizinho (ENVI, 2004; THAKARE; PATIL; SONAWANE, 2013).

A matriz de co-ocorrência de níveis de cinza é ao método mais utilizado para a análise de texturas (MENESES et al., 2012). A abordagem estatística para a análise da textura pelo filtro de co-ocorrências utiliza um conjunto de medidas estatísticas locais para representar uma imagem texturizada. Essas medidas estatísticas de textura, extraídas da matriz de co-ocorrência, incluem a média, variância, homogeneidade, contraste, segundo momento, correlação, e outras (MENESES et al., 2012).

Nos pátios identificados na análise de textura foram construídos *buffers* de 180 m. Esse valor foi estipulado em campo por Matricardi (2007) como a área afetada pela extração seletiva em torno do pátio (Figura 12).

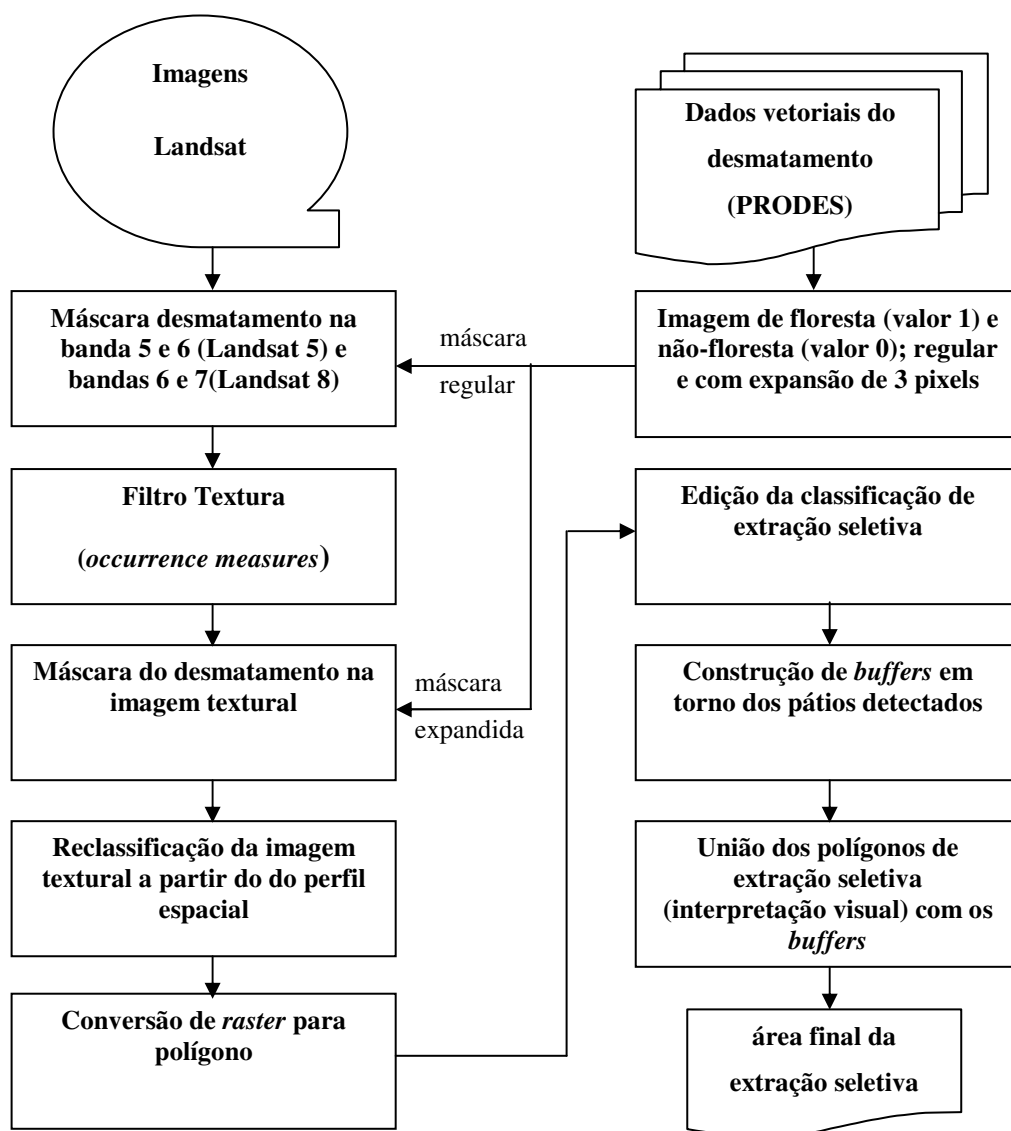


Figura 12 - Esquema dos processamentos realizados nas imagens Landsat para mapeamento da extração seletiva de madeiras.

4.4.2.1 Interpretação visual das áreas de extração seletiva

A extração seletiva foi digitalizada manualmente para cada imagem nos anos de 2003, 2006, 2010 e 2014, utilizando para tal a combinação (RGB) das faixas espectrais (sensores TM 5 e OLI) IV próximo, IV distante e Vermelho (Figura 13). Os anos de 1992, 1996 e 1999 foram feitos por Matricardi (2007) utilizando a mesma metodologia. Esta combinação de bandas permite o realce dos pátios e estradas de extração seletiva. As feições representativas de extração seletiva são de geometria espinha de peixe, em que pátios e locais de queda de árvores se apresentam na imagem como pontos brancos, além de estradas que aparecem como linhas brancas.

A análise de textura e a interpretação visual das áreas de extração seletiva foram unidas em um só mapa vetorial (*shapefile*) e então foram transformados para *raster* (Figura 13). Essa transformação foi necessária para realizar uma matemática de matrizes. A utilização desses dois métodos de mapeamento da extração seletiva apresentou ótima acurácia global de 92.9% (MATRICARDI et al., 2007). E, numa avaliação de acurácia mais ampla e detalhada feita posteriormente, o método apresentou acurácia global de 91% para o estado do Mato Grosso e 93% para os estados do Pará e Rondônia, considerados ótimos valores.

Uma grade de polígonos de 625 km² de área foi construída no ArcGIS®, versão 10.1 a fim de favorecer a visualização da extensão da extração seletiva na Amazônia Legal. Para cada polígono, calculou-se a porcentagem de extração seletiva presente. Além disso, os dados de extração seletiva foram sobrepostos aos vetores (*shapefiles*) de Unidades de Conservação e Terras Indígenas no intuito de observar a área degradada no interior destas áreas.

4.4.3 Detecção de cicatrizes de incêndios florestais - Análise de mistura espectral

As imagens dos satélites Landsat5 e 8, sensores TM e OLI, possuem resolução espacial de 30m. Por isso, a reflectância do *pixel* não pode ser interpretada em termos da propriedade de apenas um tipo de cobertura (WULDER; FRANKLIN, 2003). Entende-se assim, que dentro de cada *pixel* podem ocorrer mais de um tipo de cobertura e/ou uso da terra, e o perfil espectral daquela região representará a mistura das diferentes respostas espectrais dos diferentes elementos que compõe o *pixel* (WESSMAN; BATESON; BENNING, 1997; WULDER; FRANKLIN, 2003; LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004; SCHOTT, 2007; PONZONI; SHIMABUKURO, 2009). Com o objetivo de estimar a proporção de cada elemento dentro do *pixel*, utiliza-se o Modelo Linear de Mistura Espectral.

Este modelo envolve técnicas em que as assinaturas espectrais misturadas são comparadas com um conjunto de espectros de *pixels* “puros” de referência. Esses *pixels* “puros” representam os membros finais, que são as respostas espectrais individuais de cada elemento de compõe o *pixel*. Eles representam os casos em que 100% do IFOV do sensor são ocupados por apenas um tipo de cobertura (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004). São chamados de membros finais porque durante a coleta desses *pixels*, que é feita no gráfico de dispersão (eixo x, banda 3, vermelho; eixo y, banda 4, infravermelhos próximo), os *pixels* selecionados são os últimos da nuvem de *pixels*, isto é, os finais. Normalmente são coletadas quatro nuvens de *pixels* “puros”, são eles: vegetação não-fotossinteticamente ativa, vegetação,

solo exposto e sombra. Esses *pixels* “puros” são utilizados no modelo (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004).

O resultado do modelo linear de mistura espectral é uma estimativa aproximada da proporção de cada *pixel* na imagem das classes de referência (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004; PONZONI; SHIMABUKURO, 2009). A informação está em nível de sub *pixel*, já que vários tipos de cobertura podem ser detectados em apenas um *pixel*. Como muitos tipos de coberturas tendem a ocorrer como misturas heterogêneas, esse método permite uma representação mais realista da natureza da superfície que pode ser obtida pela designação de uma classe dominante em cada *pixel* (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004).

A aplicação do modelo linear de mistura espectral (Equação 4.3) implica na satisfação de duas condições básicas para cada *pixel* na imagem. A primeira, é que a soma das proporções de todos os potenciais membros finais incluídos no *pixel* deve ser igual a 1 (um). A segunda condição é que para uma dada banda espectral de comprimento de onda determinado, o número digital observado para cada *pixel* representa a soma dos números digitais que devem ser obtidos de um *pixel* que é completamente coberto por um dado peso do membro final (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004; PONZONI; SHIMABUKURO, 2009).

Estudos multitemporais da degradação por extração seletiva na Amazônia apontam que o uso do mapeamento a partir do SMA gera imagens frações mais sensíveis à mudanças em ambientes florestais de transição devido a extração seletiva e fogo (BARRETO; SOUZA C.M, 2000; SOUZA; ROBERTS; COCHRANE, 2005).

O modelo de mistura espectral pode ser descrito como (PONZONI; SHIMABUKURO, 2009):

$$\begin{aligned} r_1 &= a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n + e_1 \\ r_2 &= a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2n} x_n + e_2 \\ &\dots \\ r_m &= a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + \dots + a_{mn} x_n + e_m \\ r_i &= \text{soma}(a_{ij}x_j) + e_i \end{aligned} \tag{4.3}$$

onde:

r_i = reflectância espectral média para a i -ésima banda espectral

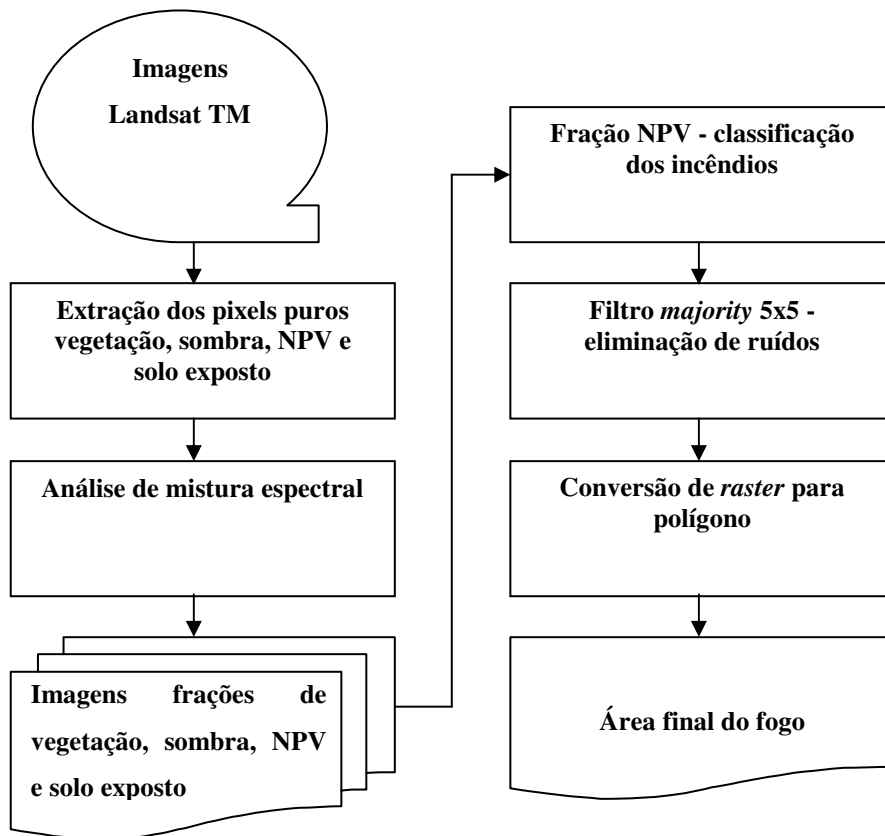


Figura 13 - Esquema dos processamentos realizados nas imagens para o mapeamento das áreas impactadas por fogo na área de estudo.

4.4.3.1 Seleção dos *pixels* puros (*endmembers*)

O mapeamento pela análise de mistura espectral exige a seleção de *pixels* puros (*endmembers*) para calcular a proporção de cada elemento dentro do *pixel*. A acurácia do mapeamento depende da seleção rigorosa dos membros finais (MATRICARDI, 2007).

Os *pixels* puros representam a assinatura única de cada elemento presente na cena e são os *pixels* dos extremos do gráfico de dispersão da imagem (RENCZ, 1999). Para este estudo, foram utilizados 4 membros finais: vegetação, solos, sombra e vegetação não-fotossinteticamente ativa.

A partir dos gráficos de dispersão de cada cena trabalhada (bandas vermelho no eixo “x” e infravermelho no eixo “y”), os *pixels* puros foram manualmente selecionados.

A partir de um modelo desenvolvido no *modelmaker* do ERDAS® os incêndios em florestas foram classificados. Para tal, a banda de vegetação não-fotossinteticamente ativa (NPV) resultante da análise de mistura espectral foi utilizada no modelo.

Áreas degradadas simultaneamente por extração seletiva e fogo foram contabilizadas pela sobreposição desses dois fenômenos.

4.4.4 Avaliação da relação entre extração seletiva e desmatamento

Dados de extração seletiva dos anos de 92, 96, 99 (MATRICARDI et al., 2013) e os dados de degradação gerados neste estudo nos anos 2003, 2006, 2010 e 2014 foram sobrepostos aos dados de desmatamento do TRFIC (período 92 a 99) e do PRODES (período 2000 a 2015). Essa sobreposição permitiu quantificar a área de extração seletiva que foi desmatada nos anos posteriores à degradação. Além disso, também foram sobrepostos dados de fogo e dados de áreas degradadas pela extração seletiva e fogo simultaneamente com o desmatamento, pois o impacto das duas degradações combinadas é maior.

4.5 Resultados

Neste estudo foram mapeadas áreas de florestas impactadas por extração seletiva e por fogo na Amazônia Legal nos anos de 2003, 2006, 2010 e 2014 em continuação a pesquisa de Matricardi (2007), que mapeou os mesmos fenômenos para 1992, 1996 e 1999. A metodologia fundamentou-se na aplicação da técnica de mapeamento elaborada por Matricardi (2007), que consiste na técnica combinada de filtro de textura no mapeamento de pátios e na interpretação visual das imagens do satélite Landsat-5, sensor TM (2003, 2006 e 2010) e Landsat-8, sensor OLI (2014). Essa técnica apresenta ótima acurácia global (92,9%) e, portanto, foi aplicada nas 80 cenas Landsat localizadas na Amazônia para os anos 2003, 2006, 2010 e 2014 deste estudo. Os resultados desta pesquisa estão descritos a seguir.

4.5.1 Estudo de campo

As visitas à campo no ano 2016 permitiram observar maior quantidade de matéria orgânica seca produzida pela extração seletiva de madeiras em florestas tropicais. Nas estradas secundárias foram observadas árvores caídas na borda; em estradas mais antigas já estava ocorrendo regeneração, com a presença de espécies secundárias. Os pátios de estocagem da madeira (que são reconhecidos e identificados nas imagens de satélite) apresentavam 20 m de comprimento por 15 m de largura (Figura 15) e apresentavam grande abertura no dossel (Figura 16). A Figura 14 mostra o percurso entre a cidade de Sinop e uma das áreas visitadas de extração seletiva e fogo no município de Feliz Natal, no estado do Mato Grosso.

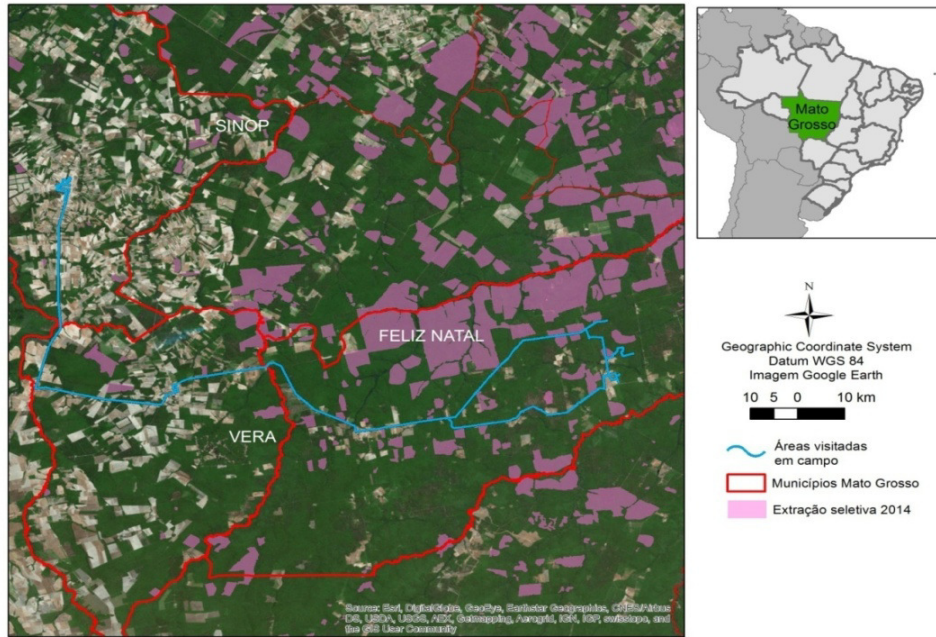


Figura 14 - Localização de áreas de extração seletiva nos municípios de Sinop e Feliz Natal no Mato Grosso e percurso (linha azul) para visitas a áreas de exploração madeireira e fogo na região.



Figura 15 - Pátio de extração seletiva de dimensões 20 m de comprimento por 15 m de largura no município de Feliz Natal, Mato Grosso.



Figura 16 - Abertura no dossel provocada pelo pátio de extração seletiva no município de Feliz Natal, Mato Grosso

Áreas de florestas degradadas pelo fogo observadas em campo apresentaram maiores impactos que as áreas de extração seletiva de madeiras. Os maiores impactos observados ocorreram na abertura do dossel, na mortalidade de indivíduos arbóreos e de regeneração natural. Em áreas afetadas pelo fogo mais antigas, observou-se grande quantidade de vegetação secundária e mortalidade ainda maior de indivíduos arbóreos. As áreas impactadas pelo fogo, entretanto, apresentavam quantidade bem menor de matéria orgânica no solo quando comparada com as áreas de extração seletiva de madeiras sem impactos do fogo. As árvores secas, em decorrência do fogo (Figura 17), apresentavam maior risco de ocorrência de um novo incêndio do que a pequena quantidade de material combustível presente sobre o solo.



Figura 17 -Área de floresta degradada pelo fogo. A área possui espécies secundárias e das árvores mais altas degradadas pelo fogo, desprendem-se galhos secos formando combustível para futuros incêndios.

O solo da área queimada apresentava-se exposto, seco e compactado. Outro ponto a ser destacado é que na floresta degradada pelo fogo podem ser observados processos de sequestro de carbono (regeneração) e emissão de carbono pelas árvores degradadas, e isto deve ser considerado no cômputo das mudanças climáticas.

Por fim, as observações das áreas impactadas pela extração seletiva e pelo fogo durante os trabalhos de campo, foram utilizadas para a validação das técnicas de classificação. Os resultados da avaliação da acurácia da classificação das florestas degradadas foram apresentados no capítulo anterior deste documento.

4.5.2 Técnicas de mapeamento da extração seletiva e fogo

A detecção dos pátios de extração seletiva foi executada a partir da identificação de pontos brancos presentes nas imagens submetidas ao filtro textura (Figura 18a). A partir do perfil espacial (Figura 18b) (ferramenta do ERDAS®, versão 9.0) da imagem textural derivada da banda 5 do Landsat 5 TM e da banda 6 do Lansat 8 OLI foi determinado os valores máximo e mínimo (Figura 18b) para detecção automática dos pátios e outras infraestruturas necessária para a extração seletiva de madeiras em florestas tropicais. Por fim, as imagens foram classificadas e transformadas em polígonos para a construção dos *buffers* de 180 m ao redor desses pátios.

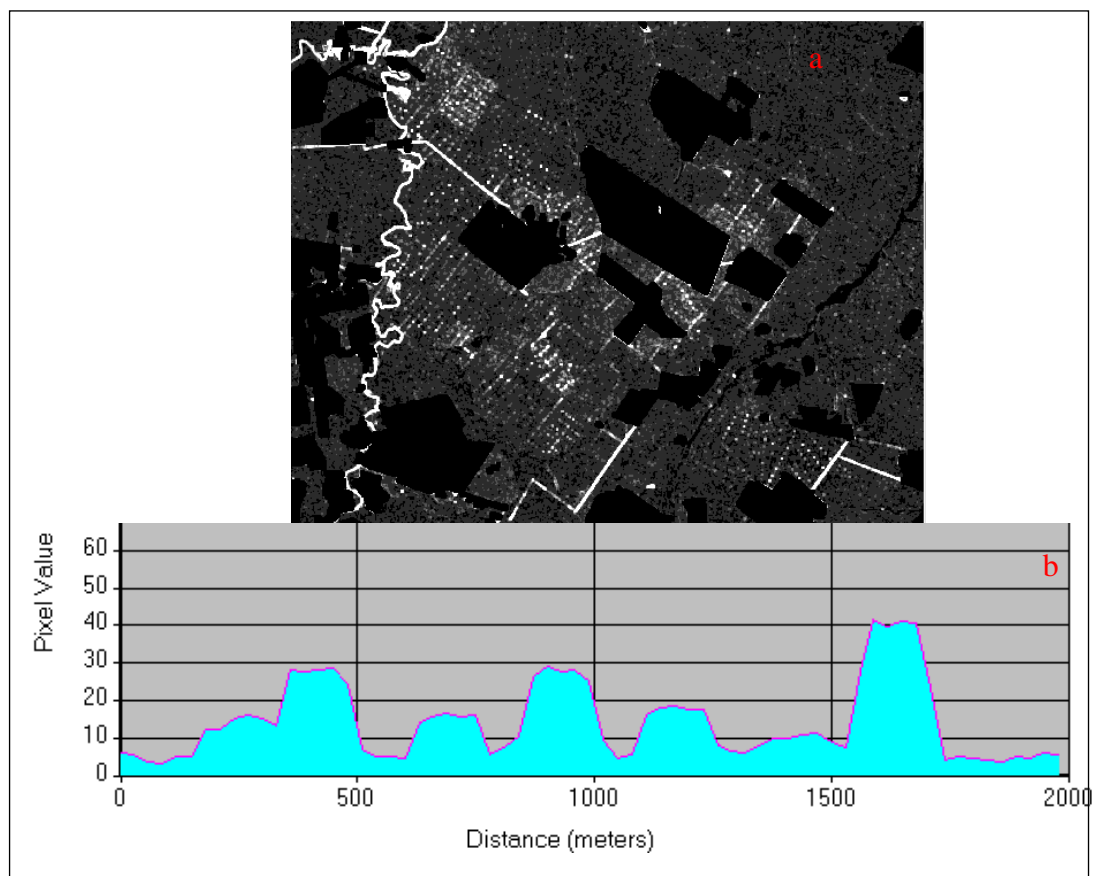


Figura 18 - (a) Imagem textural, pátios e infraestrutura para a extração seletiva de madeiras em pontos brancos; (b) perfil espacial dos pátios e infraestrutura da extração seletiva.

Na interpretação visual, o procedimento utilizado foi a combinação de bandas RGB IV médio/IV distante/Vermelho eleita como a melhor para visualização dos pátios e estradas da extração seletiva. O método adotado envolveu a digitalização visual de polígonos em torno das áreas de extração seletiva em tela de computador (Figura 19a). A união da interpretação visual (polígonos em volta das áreas de extração seletiva) com os *buffers* gerados a partir da imagem filtro de textura resultou na área final de extração seletiva (Figura 19b).

O tamanho da zona (*buffer*) (180 m) adotado foi determinado em campo por Matricardi et al. (2005) e aplicado em todos os pátios detectados pela imagem de textura deste estudo. Essa área do *buffer* representa a área de floresta que foi afetada pela extração seletiva, mas que não é necessariamente visível na imagem de satélite (MATRICARDI et al., 2005).

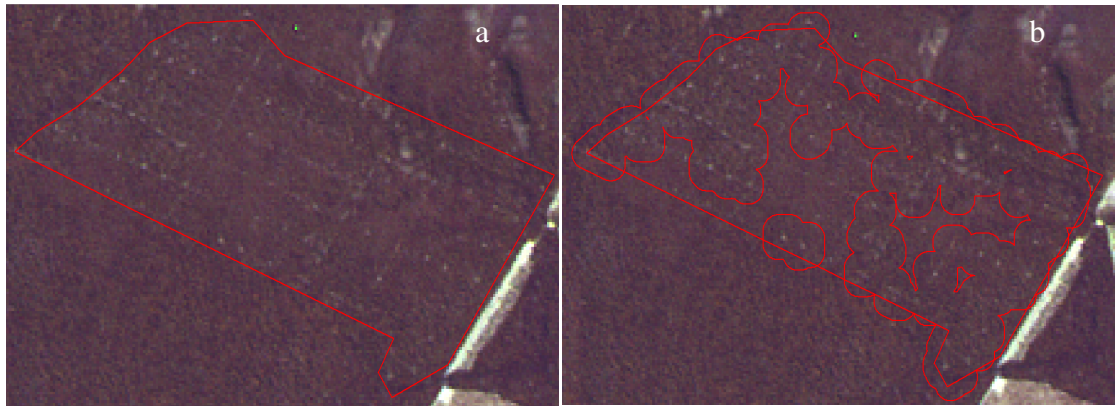


Figura 19 - (a) Composição RGB 563 (Landsat 5 TM, 2010), cena 224/68 com polígono demarcando a área de extração seletiva; (b) união do polígono da interpretação visual com o *buffer* gerado a partir da imagem textural em torno dos pátios de extração seletiva.

A análise de mistura espectral resultou em imagens fração de vegetação, vegetação não-fotossinteticamente ativa (Figura 20b), sombra e solo exposto. O fogo foi identificado com a utilização da fração vegetação não-fotossinteticamente ativa. As cenas (ponto/órbita) com porcentagens altas de nuvens foram substituídas por cenas de outros meses e/ou anos para que análise não fosse comprometida. Nos anos 2003, 2006 e 2010 algumas cenas foram substituídas sem o comprometimento da análise. Porém, o mapeamento da degradação por fogo no ano de 2014 pode ter sido subestimado devido a grande quantidade de nuvens nas cenas, que impossibilitaram a visualização das imagens. Para estas cenas não foram encontradas imagens que pudessem ser usadas alternativamente.



Figura 20 - (a) composição RGB 543 (Landsat 5 TM, 2010), cena 222/63 com áreas de degradação por fogo em roxo; (b) imagem fração da vegetação não-fotossinteticamente ativa resultante da Análise de mistura espectral utilizada para o mapeamento do fogo.

O mapeamento da extração seletiva e fogo deste estudo foi realizado em intervalos de 3 a 4 anos, pois a cobertura florestal impactada pela extração seletiva leva 3 anos para

recuperação (MATRICARDI et al., 2007). Portanto, a extração seletiva detectada nestes anos não corresponde exclusivamente aos anos considerados, mas também aos anos que não foram amostrados neste estudo (2004, 2005, 2007, 2008, 2009, 2011, 2012 e 2013). Além disso, considerando a limitação da resolução espacial das imagens dos sensores utilizados no estudo, extrações seletivas de baixa intensidade não puderam ser detectadas. Portanto, a análise deste estudo foi conservadora em relação a extensão da degradação na Amazônia Legal.

4.5.3 Áreas de extração seletiva e fogo na Amazônia Legal

No estudo de Matricardi et al. (2007), a área de extração seletiva mapeada nos anos 1992, 1996 e 1999 foi 5.980, 10.064 e 26.085 km² (Figura 21)(APÊNDICE F, G e H), respectivamente. Os resultados deste estudo mostraram que, apesar da grande extensão de florestas nativas envolvidas, houve um aumento discreto da extração seletiva nos anos de 2003 e 2006, passando de 33.557 km² para 34.739 km², respectivamente. Em 2010 ocorreu uma diminuição das áreas de extração seletiva (33.350 km²) quando comparado com 2003 e 2006. E, por fim, o ano de 2014 apresentou a maior área, 39.709 km² (APÊNDICE I, J, K e L). As áreas de influência dos principais polos madeireiros (APÊNDICEM) e os principais eixos de transporte da madeira (APÊNDICEN) coincidem com a espacialidade da extração seletiva detectada neste estudo. Os eixos de transporte da madeira aumentam de acordo com a expansão da madeira neste momento.

A degradação florestal pelo fogo atingiu 5.889, 6.177, 9.038 (MATRICARDI et al., 2013), 6.243, 14.971, 23.394 e 7.080 km² em 1992, 1996, 1999, 2003, 2006, 2010 e 2014, respectivamente (Figura 22) (APÊNDICE O, P, Q, R, S, T e U). A área total de florestas impactadas por extração seletiva e fogo nos anos 1992, 1996, 1999, 2003, 2006, 2010 e 2014 foi 11.869 km², 16.532 km², 35.697 km², 39.800 km², 49.710 km², 56.744 km² e 46.789 km², respectivamente.

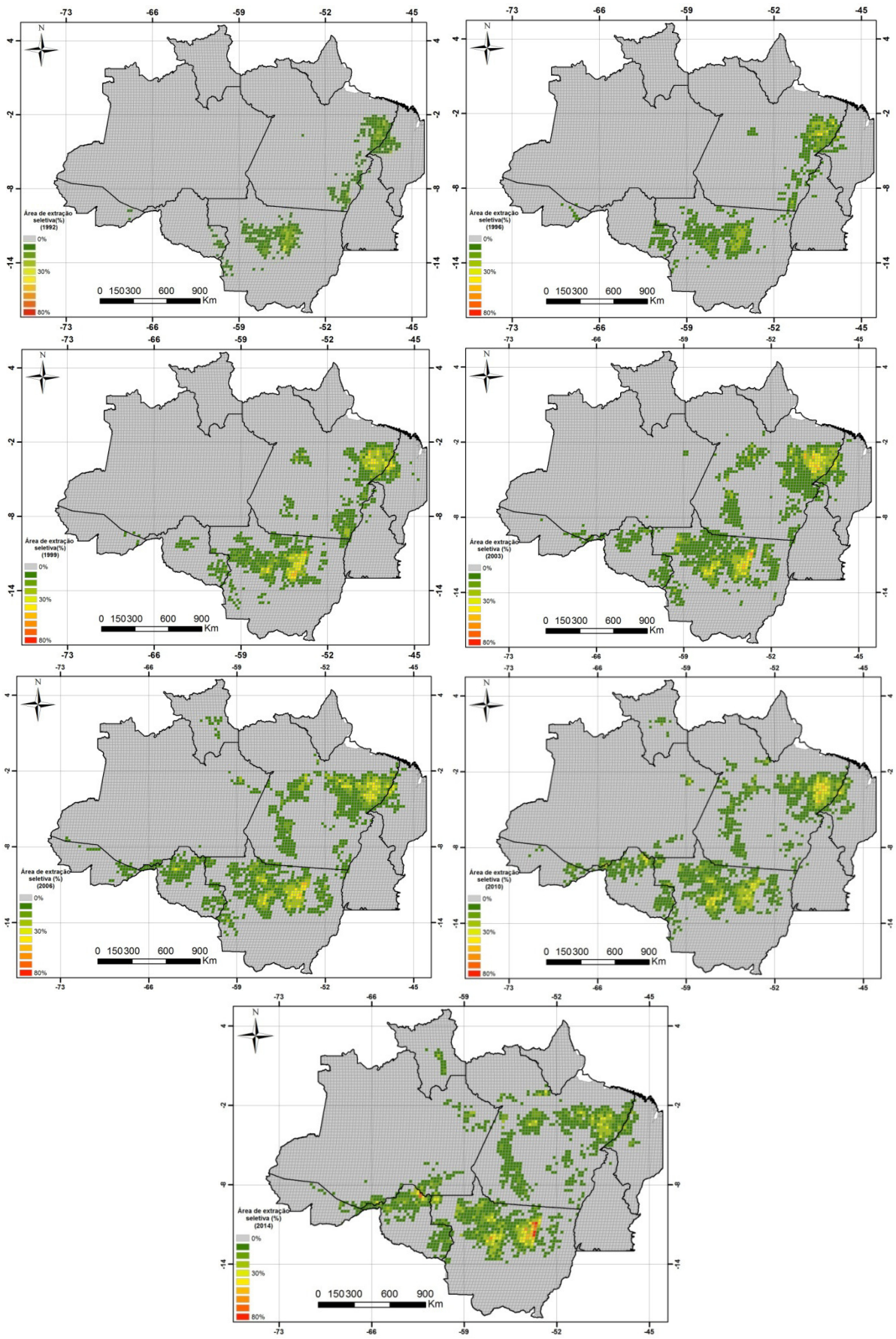


Figura 21 - Extração seletiva nos anos de 1992 a 2014 na Amazônia Legal.

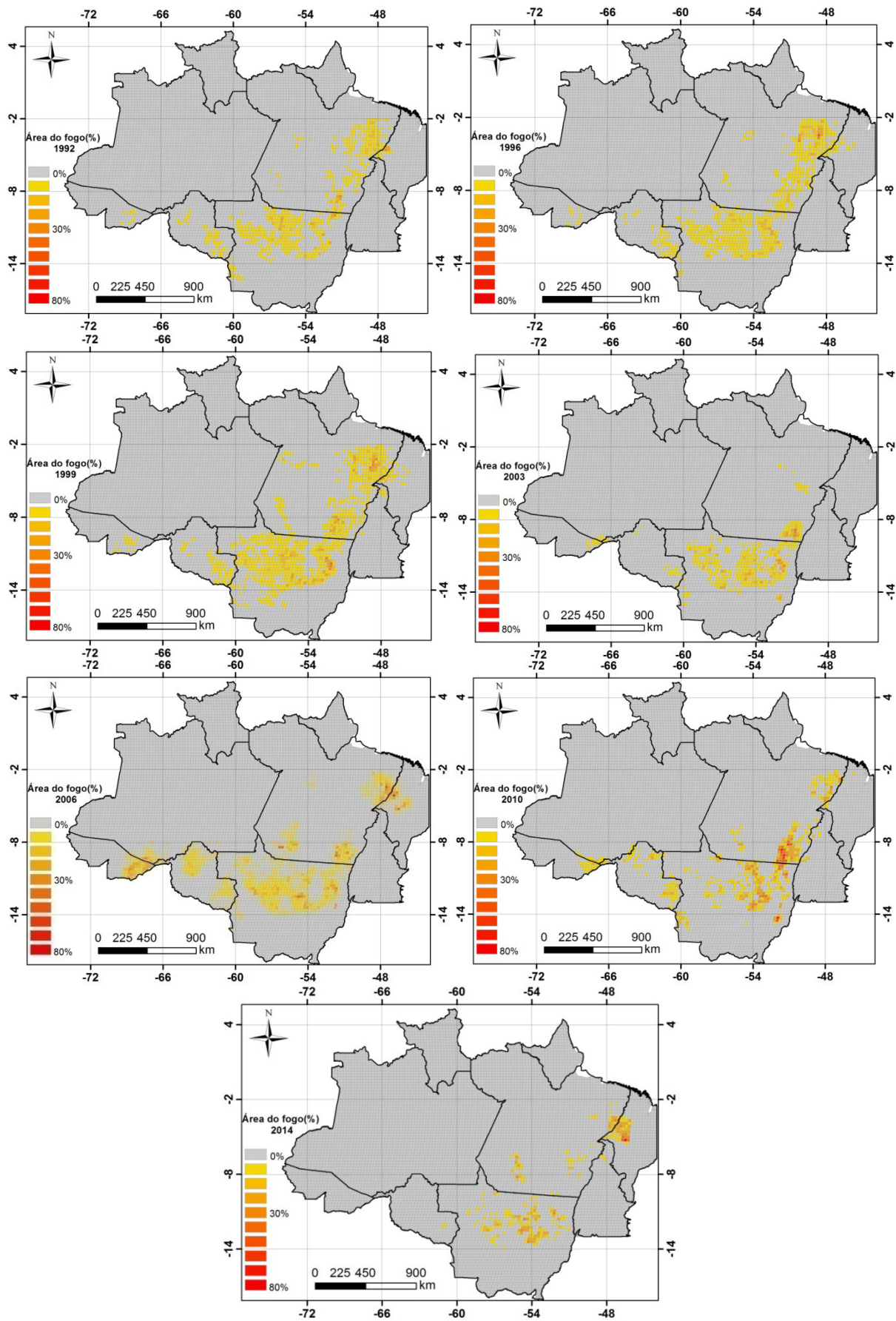


Figura 22-Degradação pelo fogo nos anos 1992 a 2014 na Amazônia Legal.

A extração seletiva foi responsável pela degradação de 71,6% de florestas nativas no período de 1992 a 2014; o fogo foi responsável por 28,4% da degradação das florestas no mesmo período. Áreas degradadas por ambos (fogo e extração seletiva) representaram 1,4% da área degradada no período de estudo. Porém, vale destacar que as áreas impactadas pela extração seletiva e pelo fogo são consideradas as mais degradadas (MATRICARDI et al., 2013).

Nos anos de 2003 a 2010, Mato Grosso e Pará apresentaram maior concentração da extração seletiva no período de estudo (APÊNDICE F, G, H, I, J, K e L)(Tabela 8). Em seguida, Rondônia e Maranhão também apresentaram valores mais altos de extração seletiva que os outros estados. Em geral, os dados apresentaram uma tendência de aumento até 2003, seguida de uma estabilização da área até 2014.

Tabela 8 - Dados de degradação por extração seletiva de madeiras para os estados da Amazônia Legal.

Estado/ano	Área da extração seletiva (km ²)						
	1992	1996	1999	2003	2006	2010	2014
Mato Grosso	3.002,4	4.183,1	12.625,7	15.820,2	15.729,6	14.945,3	20.964,2
Pará	2.409	5.093	10.858,1	15.931,3	15.441,7	13.139,1	10.760,3
Amazonas	0	1,3	6	128,5	372	847,3	2.007
Rondônia	33,3	168,5	307,2	685,6	1.875	2.626,4	4.803
Roraima	0	0	0	0	41	110,9	233
Acre	7,7	29,3	20	58,2	153	315,1	184,5
Maranhão	496	547,1	2.194,3	1.457,7	1.116,7	1.353,6	756,6
Tocantins	5,3	11,7	12,6	19,2	0	7	1,22
Amapá	0	0	0	0	0	2,7	0
Total	5.980	10.064	26.085	33.557	34.739	33.350	39.709

* valores que correspondem ao valor "0", são áreas em que a técnica de mapeamento não detectou presença de extração seletiva.

Os estados do Pará e Mato Grosso também apresentaram a maior área de incêndios florestais em todo o período de estudo (APÊNDICE O, P, Q, R, S, T e U) (Tabela 9). Para os estados do Mato Grosso, Pará e Maranhão foi observada uma tendência de aumento do fogo até o ano de 2010 (Tabela 9). Porém, o ano de 2014 não seguiu o mesmo padrão,

apresentando valores mais baixos para todos os estados, isso pode ter ocorrido pela alta porcentagem de nuvens presente nas imagens deste ano, o que subestimou a área real do fogo.

Tabela 9- Dados da área (km²) de degradação pelo fogo para os estados da Amazônia Legal.

Estado/ano	Área do fogo (km ²)						
	1992	1996	1999	2003	2006	2010	2014
Mato Grosso	3.521,8	3.222,6	5.221,9	4.958,5	5.763,5	10.935,5	2.951,5
Pará	1.486,6	2.295,1	3.078,9	1.689,8	4.663,3	10.670,6	1.190,5
Amazonas	0	0	0	5,4	624,3	209,9	0
Rondônia	71	90,8	186,4	34,1	710,3	915,8	17,4
Roraima	0	0	0	0	0	0	0
Acre	2,9	11,5	24,7	19,5	2.227,4	238,7	0
Maranhão	772	380,2	489,7	0	2.066,2	64,4	2.984,4
Tocantins	35,1	177,5	36,9	0	0	207,6	26,3
Amapá	0	0	0	0	0	0	0
Total	5.889	6.177	9.038	6.243	14.971	23.394	7.080

* valores que correspondem ao valor "0", são áreas em que a técnica de mapeamento não detectou presença de fogo.

A área de extração seletiva, fogo, e extração seletiva e fogo simultâneos para cada ponto/órbita (Satélite Landsat 5 e 8) utilizados no estudo estão no APÊNDICE V. Em 2003, a cena ponto/órbita que apresentou maior área de extração seletiva foi a 226/68 (Mato Grosso), com 4.900 km² de madeira explorada. Seguida das cenas 223/63 e 223/62 (Pará), que apresentaram 4.308 e 4.030 km² de extração seletiva, respectivamente. Em 2006, a cena 226/68 novamente apresentou a maior área de madeira explorada, com 5.191 km². Seguida das cenas 223/62 e 223/63, com área de 3.660 e 3.208 km² de madeira explorada. No ano de 2010, a cena 223/62 apresentou a maior área de extração seletiva (4.868 km²), seguida da 226/68 (3.508 km²) e 223/63 (3.500 km²). Por fim, no ano de 2014, a cena 226/68 apresentou maior área explorada, 6.180 km². Na sequência, a cena 231/66 (Rondônia/Amazonas) apresentou 2.548 km² e a cena 223/62 com 2.354 km² de extração seletiva.

A cena (ponto/órbita) do ano de 2003 com maior área de fogo foi a 222/63 (Maranhão), em que foi estimada uma área de 2.087 km² degradados de floresta nativa. Para o ano de 2006, a mesma cena também apresentou a maior área degradada pelo fogo, com 2.026 km². Já o ano de 2010, as cenas 224/66 (Pará), 224/67 e 225/68 (Mato Grosso) apresentaram

áreas ainda maiores de fogo, com 5.240 km², 3.249 km² e 2.366 km² degradados. Por fim, no ano de 2014, a cena 224/66 apresentou a maior área degradada pelo fogo, com 1.537 km² degradados.

Florestas impactadas por extração seletiva e fogo simultaneamente somaram área de 371 km², 1.169 km², 745 km² e 431 km², no ano 2003, 2006, 2010 e 2014, respectivamente. Essas áreas merecem mais atenção pois a perda de cobertura florestal quando fogo e extração seletiva ocorrem combinados na área de floresta é de 27,5% (MATRICARDI et al., 2013).

A sobreposição das áreas de extração seletiva dos anos analisados revelou as áreas que são revisitadas pela extração seletiva (Tabela 10). O APÊNDICE W representa o número de anos em que as áreas de extração seletiva foram revisitadas. O ano 2006 e 2010 apresentaram a maior área de extração seletiva recorrente, seguido dos anos 2010 e 2014, pois são os anos com os maiores incrementos desse tipo de degradação. O ano 1992 em sobreposição aos demais, foi o ano com menor área degradada recorrente, provavelmente porque os valores de degradação ainda eram baixos e a extensão da degradação ainda não era tão expressiva comparada com as áreas atuais. Além disso, a extração seletiva recorrente apresenta maiores valores entre anos mais próximos, provavelmente porque as áreas antigas não estão mais aptas à extração.

Tabela 10 - Áreas de extração seletiva recorrentes na área e período de estudo.

		Extração seletiva (km²)					
		96	99	2003	2006	2010	2014
Ano de recorrência	92	374	818	686	670	589	452
	96	-	3.783	1.706	1.667	1.661	1.249
	99	-	-	6.060	4.338	4.099	3.832
	2003	-	-	-	9.282	7.380	6.007
	2006	-	-	-	-	11.623	7.262
	2010	-	-	-	-	-	8.906

Áreas degradadas pelo fogo foram sobrepostas com todos os anos do período de estudo. A partir da sobreposição, foram verificadas as áreas degradadas periodicamente pelo fogo em toda a Amazônia Legal (Tabela 11). O APÊNDICE X mostra o número de vezes em que a área foi degradada por fogo. Essas áreas necessitam grande atenção, pois Matricardi et al. (2013) verificaram que o impacto do fogo na perda da cobertura florestal é de 19,8%. Além disso, florestas densas da Amazônia podem sustentar um incêndio inicial, mas não repetidos ou associados a outros distúrbios (BALCH et al., 2015).

Áreas degradadas pelo fogo mantiveram-se constantes, com alguns picos em 2006 e 2010, em que a área de florestas degradadas pelo fogo foi de aproximadamente 6 e 10 mil km², respectivamente. Tal resultado indicam que alguns fatores, provavelmente climáticos, que ocorrem periodicamente podem elevar a propagação dos incêndios florestais, impactando maiores extensões de florestas na Amazônia.

Tabela 11 - Áreas de fogo recorrentes na área de estudo.

		Fogo (km²)					
		96	99	2003	2006	2010	2014
Ano de recorrência	92	964	710	156	223	99	71
	96	-	1.572	99	605	393	148
	99	-	-	820	1.060	815	409
	2003	-	-	-	1.024	1.108	168
	2006	-	-	-	-	2.420	1.334
	2010	-	-	-	-	-	958

As áreas de extração seletiva de todo o período do estudo mapeadas foram sobrepostas ao desmatamento identificado pelo TRFIC (período de 92 a 99) e pelo INPE (PRODES - período de 2000 a 2014) no intuito de verificar se as áreas de extração seletiva estão sendo desmatadas nos anos subsequentes à degradação (APÊNDICE Y). Os resultados mostraram que os anos que apresentaram maior desmatamento subsequente à degradação por extração seletiva foram o de 2003, 2006 e 2010. A maior área de extração seletiva detectada em 1996

foi desmatada 6 anos após a extração seletiva. Em 1999, a maior área desmatada foi observada 4 anos depois da extração seletiva de madeiras. Já as áreas de extração seletiva detectadas em 2003 foram desmatadas em sua maioria 3 e 6 anos depois da extração de madeiras.

Áreas degradadas pelo fogo foram sobrepostas ao desmatamento do TRFIC (período de 92 a 99) e pelo INPE (PRODES - período de 2000 a 2015) (APÊNDICE Z). Em 1992 estimou-se que 2.456 km² foram desmatadas 4 anos após a degradação. Já em 1999, estimou-se que 2.600 km² foram desmatados 4 anos após a degradação pelo fogo. Em 2010 e 2014 observou-se a redução de áreas de florestas desmatadas quando comparados com anos anteriores. Tal fato indica que o desmatamento pode estar diminuindo gradativamente em áreas de florestas exploradas seletivamente em função da implementação dos planos de manejo florestal aprovados e controlados pelos órgãos ambientais.

O fogo pode causar danos ao dossel mais intensos que a extração seletiva. Neste estudo, observou-se que as florestas impactadas por extração seletiva ocupam áreas superiores às áreas impactadas pelo fogo. No entanto, foi observado que as florestas degradadas pelo fogo são mais prováveis de serem desmatadas que as impactadas pelas atividades de extração seletiva de madeiras. Portanto, as consequências do fogo na floresta além de ser mais severas, torna a floresta mais pobre ecológica e economicamente e, portanto, mais suscetível ao posterior desmatamento.

Áreas de fogo e extração seletiva simultâneos foram sobrepostas ao desmatamento do TRFIC (período de 92 a 99) e pelo INPE (PRODES - período de 2000 a 2015) (APÊNDICE AA). Os resultados mostraram que o desmatamento de áreas degradadas por extração seletiva e fogo simultâneos é relativamente pequeno comparado com a área total degradada. Isto indica que embora a extração seletiva aumente a susceptibilidade da floresta à ocorrência do fogo, existem outros fatores que impedem a efetividade de eventos do fogo, que causariam impactos mais severos às florestas.

4.5.4 Unidades de Conservação e Terras Indígenas

Áreas de extração seletiva de madeiras dentro de Unidades de conservação (incluindo municipais, estaduais e federais) somaram 3,6 km², 11,1 km², 44,7 km² (MATRICARDI et al., 2007), 1.147 km², 1.407 km², 1.429 km² e 1.838 km² nos anos 1992, 1996, 1999, 2003, 2006, 2010 e 2014, respectivamente (APÊNDICE BB). A Reserva Extrativista Rio Preto - Jacundá e

a Floresta Nacional de Humaitá apresentaram maior área degradada pela extração seletiva (Tabela 12), expressando uma tendência de aumento nos próximos anos. Algumas unidades, entretanto, como é o caso da Flona do Jamari em Rondônia, a Flona Jacundá também em Rondônia e a Flona de Altamira no Pará tratam-se de concessões florestais feitas pelo Governo Federal e controladas pelo Serviço Florestal Brasileiro.

Tabela 12- Unidades de Conservação nos anos de 1992 a 2014 na Amazônia Legal, com suas respectivas áreas e extração seletiva.

Unidade de Conservação	Área da UC km ²	Extração seletiva (km ²)						
		1992	1996	1999	2003	2006	2010	2014
FLONA de Itaituba II	3.977	0	0	0	4,5	17	42,5	94
FLONA Humaitá	4.738	0	0	0	0	5,4	0	150
FLONA do Jamari	2.223	0	0	0	0,5	2,7	19,5	131
FLONA do Trairão	2.573	0	0	0	93	18,4	65	27
FLONA do Jamanxin	13.014	0	0	35,64	171,2	127	42,3	76
FLONA de Altamira	7.219	0	0	0	72,2	138,4	6	0
REBIO Gurupi	2.712	83,5	111,4	573,4	317	303	299	111
RESEX Rio Preto - Jacundá	1.013	0	0	0	8,2	28	271	290
RESEX Jaci-Paraná	2.001	0	0	0,23	12	284	129	24,4
RESEX Renascer	2.096	0	0	0	90	127	75,3	1,4
PN dos Campos Amazônicos	9.613	0	0	0	0	2,7	16,2	148
PN do Jamanxin	8.598	0	0	0	147	113	145	95

* foram apresentadas apenas as UC's com maior área impactada pela extração seletiva de madeiras no período de estudo.

Em terras indígenas, a área de extração seletiva foi 106,5 km², 216,6 km², 1.189,8 km² (MATRICARDI et al., 2007), 1.818 km², 1.516 km², 1.658 km² e 1.718 km² em 1992, 1996, 1999, 2003, 2006, 2010 e 2014, respectivamente. As Terras indígenas que apresentaram maior área de madeira extraída foram a Alto Rio Guamá e Alto Turiagu (Tabela 13). As Terras Indígenas Anambé e Pacajá, apesar de apresentarem áreas menores de extração seletiva, alertam pelo fato de possuírem pequena área territorial. A TI Anambé possui quase metade de seu território degradado pela extração seletiva (Tabela13).

Tabela 13 - Terras Indígenas na Amazônia Legal e as áreas de extração seletiva de madeira detectadas entre 1992 a 2014.

Terra Indígena	Área da TI (km ²)	Extração seletiva (km ²)						
		1992	1996	1999	2003	2006	2010	2014
Alto Rio Guamá	2.821	0,95	0	3	14,4	152,4	186	137
Alto Turiagu	5.295	0	1,2	2,7	37	2	156,2	150
Anambé	85	0	0	0,6	2	0	2,1	41
Araribóia	4.138	3,78	3,5	9	114,2	47,4	187	100
Batelão	1.171	16,72	8	31,5	62,3	63,5	55	101
Kaiapó	32.833	8,07	0,5	103,4	110,2	137	24	72
Manoki	2.519	0	0	0	250	179	257,3	53
Pacajá	103	0	0	0	0	0	15	28
Roosevelt	2.300	0	4	4,4	44,2	9	154	87
Vale do Guapor	2.406	0	0,8	0	93,5	146	0,5	0

* foram apresentadas apenas as TIs com maior área degradada ao longo do período de estudo.

Áreas degradadas pelo fogo dentro de Unidades de Conservação na Amazônia Legal somaram áreas de 2,8 km², 0,5 km², 17,3 km² (MATRICARDI et al., 2013), 1km², 731 km²,

290 km², 212 km² nos anos 1992, 1996, 1999, 2003, 2006, 2010 e 2014, respectivamente. As Unidades de Conservação atingidas pelo fogo no ano de 2010 foram a Área de Proteção Ambiental Ilha do Bananal que apresentou 138 km² de degradação; e a Floresta Nacional do Jamanxin, com 38 km² de florestas degradadas pelo fogo. No ano 2014, a única Unidade de Conservação na Amazônia Legal que foi degradada pelo fogo foi a Reserva Biológica de Gurupi, com 195 km² de florestas degradadas. Essa Reserva também foi degradada pela extração seletiva neste ano, somando 306 km² de florestas degradadas.

Áreas de 33,3 km², 193,2 km², 574,3 km² (MATRICARDI et al., 2013), 614 km², 1.459 km², 6.018 km² e 2.269 km² foram degradadas pelo fogo dentro de Terras Indígenas nos anos 1992, 1996, 1999, 2003, 2006, 2010 e 2014, respectivamente. No ano 2010, a TI Parque do Xingu apresentou a maior área degradada pelo fogo, seguida da TI Kayapó (Tabela 14). No ano 2014, a Terra Indígena Parque do Xingu voltou a apresentar degradação pelo fogo, com 432,4 km² degradados.

Tabela 14 - Terras Indígenas na Amazônia Legal e a área degradada pelo fogo no período de 1992 a 2014.

Terra Indígena	Área da TI (km ²)	Fogo (km ²)						
		1992	1996	1999	2003	2006	2010	2014
Areoes	1.802	0	0	0	181,5	0	847	787
Araribóia	4.138	3,25	0	59,1	0	590	0	1.699
Kayapó	32.833	0	0	6,9	0	86,3	1.105	13,6
Maraiwatsede	1.806	0	123	383,4	276,3	300,3	134,2	26,8
Parque do Xingu	26.388	18,7	19,7	24	159	13,3	2.597	432,4
Pimentel Barbosa	3.376	0	0	0	0	204	183	0
Urubu Branco	1.675	0,7	0	3,6	0	0	450	0

* foram apresentadas apenas as TI's com maior área degradada pela ocorrência de fogo no período de estudo.

Os dados de extração seletiva e fogo em UC's e TI's revelam um aumento destas degradações. Apesar das populações indígenas utilizarem o fogo e extração seletiva como

prática de sustento, as áreas degradadas apresentam valores altos. Parece, portanto, existir uma tendência de aumento das degradações nestas áreas, o que exige a tomada de medidas mais expressivas em relação à fiscalização e educação ambiental destas populações e dentro de UC's.

4.6 Discussão

4.6.1 Extração seletiva e fogo

Matricardi et al. (2007) encontraram 5.980 km² de áreas exploradas pela extração seletiva no ano de 1992; 10.064 km² no ano de 1996 e 26.085 km² no ano de 1999. Nos anos subsequentes (2003, 2006 e 2010) a extração seletiva na Amazônia se manteve constante, com poucas alterações. Já no ano de 2014 ocorreu um aumento na degradação de 6.000 km² aproximadamente (Figura 23). A curva de crescimento da extração seletiva (Figura 23) apresenta tendência exponencial, portanto, a tendência da área de extração seletiva para os próximos anos é aumentar. A cena 226/68 (Mato Grosso) apresentou maior área de extração seletiva na década de 90. No ano de 1999, esta cena apresentou valor de 4.241 km² de florestas degradadas pela extração seletiva. Nos anos de análise deste estudo, esta cena também apresentou as maiores áreas de extração seletiva.

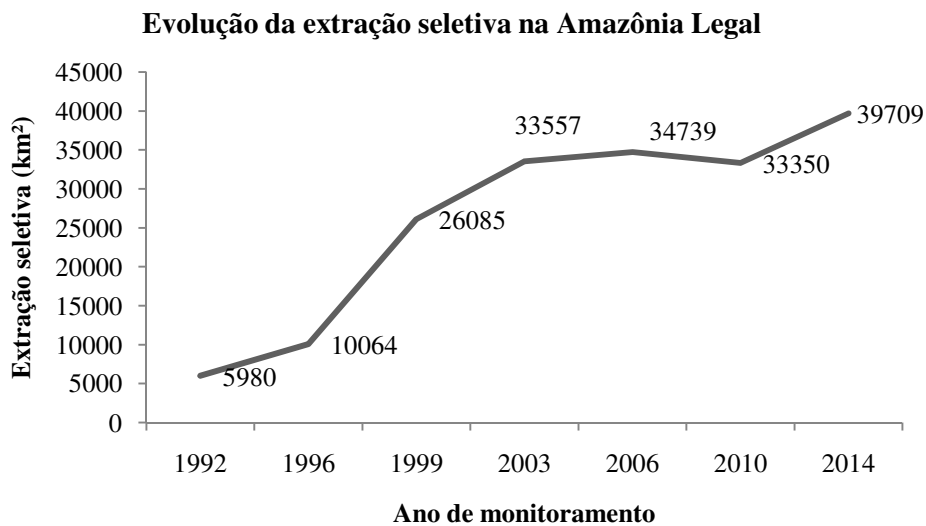


Figura 23- Área de extração seletiva no período de 1992 a 2014.

Os resultados deste estudo revelaram áreas que passam por extrações seletivas periódicas. As atividades de revisita para extração seletiva têm grande impacto na fragmentação florestal, já que extrações seletivas recorrentes levam ao aumento significativo na fragmentação das florestas (BROADBENT et al., 2008).

Os dados de desmatamento após extração seletiva e fogo mostraram que o desmatamento mais intenso ocorre 4 a 6 anos após a degradação. Depois desse período, pequenas áreas degradadas são desmatadas. Neste estudo, porém, não pode-se afirmar que a degradação pelo fogo e extração seletiva são precursores do desmatamento, já que a área degradada posteriormente desmatada é muito pequena em relação a área total degradada para cada ano.

O aumento da extração seletiva no ano de 2014 traz consequências na ocorrência de incêndios florestais, aumentando a quantidade de material combustível e criando ambiente mais seco e favorável à ocorrência do fogo nas florestas. Este processo, diminui umidade no interior da floresta e o material vegetal seca, aumentando combustível para incêndios posteriores (UHL; BUSCHBACHER, 1985; UHL; KAUFFMAN, 1990; HOLDSWORTH; UHL, 1997; COCHRANE; SCHULZE, 1998; NEPSTAD et al., 1998; UHL, 1998; FEARNSSIDE, 1999). Além disso, a mortalidade das árvores após um incêndio em áreas que sofreram extração seletiva é maior do que em áreas virgens (HOLDSWORTH; UHL, 1997). Incêndios frequentes de baixa intensidade aumentam a carga de combustível para incêndios subsequentes severos (BALCH et al., 2015).

A degradação florestal pelo fogo foi mais extensa em 2006 e 2010 no período de análise, superiores às áreas estimadas por Matricardi et al. (2007) em 1999 (ano com efeito severo do fenômeno *El Niño* ocorrido entre 1997/98 (Figura 24). Em 2005 ocorreu um longo período de seca que levou a um aumento dramático do fogo na Amazônia, o que corrobora com os resultados obtidos neste estudo (ZENG et al., 2008; JOLLY et al., 2014). No ano 2010, as florestas de crescimento antigas representaram um aumento de 38% das emissões ocasionadas pelo fogo (ANDERSON et al., 2015). Nesse ano (2010) foram registradas grandes quantidades de liberação de carbono pelos incêndios florestais (GATTI et al., 2014). A cena Landsat 222/63 (Maranhão) apresentou a maior área degradada pelo fogo em 1992 e a 224/68 (Mato Grosso) em 1996 e 1999. No presente estudo, esta cena apresentou maior área degradada pelo fogo no ano de 2003 e 2006.

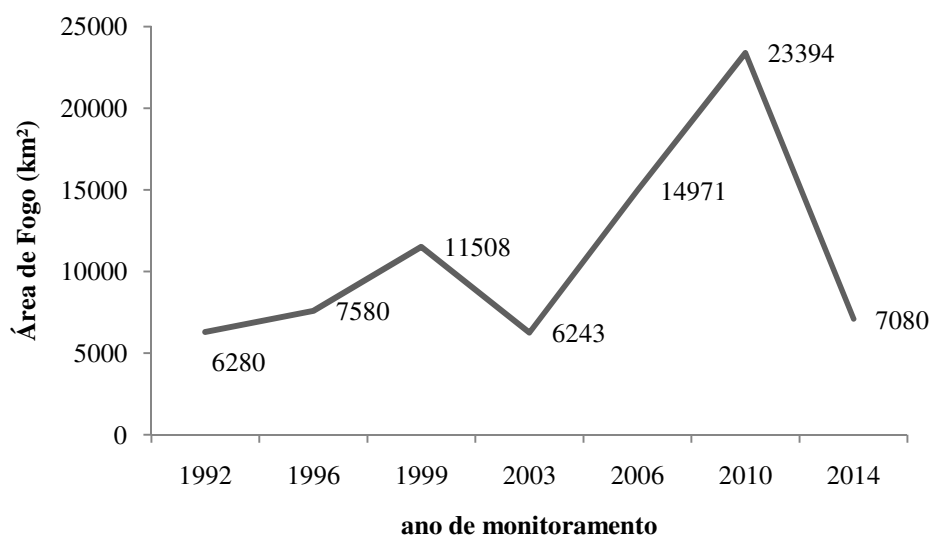


Figura 24 - Área de florestas impactadas pela ocorrência do fogo entre 1992 a 2014.

O mapeamento anual da extração seletiva e fogo em florestas tropicais seria ideal para estimar com precisão a degradação no período, porém este processo demandaria mais tempo e recursos humanos e financeiros. Como a extração seletiva de madeiras e as cicatrizes de fogo permanecem detectáveis por 2 a 3 anos, utilizou-se no presente estudo uma série temporal com intervalo de 3/4 anos, de forma a permitir a detecção da maior parte das florestas impactadas pelo fogo e extração seletiva.

O incremento dos anos estudados neste trabalho foi estimado a partir do incremento médio da extração seletiva como a porcentagem do total de florestas degradadas detectadas, de acordo com a intensidade da extração realizada em cada cena no período de 1992 a 1999 (MATRICARDI et al., 2005). Os autores verificaram no estudo que nas cenas em que foram detectadas áreas de extração seletiva maiores que 100 km²/ano eram áreas de extração de alta intensidade; e áreas com extração seletiva de impacto reduzido apresentavam poucas árvores extraídas, menos infraestrutura construída e conseqüentemente menos distúrbios foram detectados na floresta. Nessas áreas foram detectadas menos de 100 km² de áreas de extração seletiva. Por fim, o incremento médio considerado foi de 39,5% e 91,4% da área detectada de extração seletiva para representação de cenas com alta e impacto reduzido de extração seletiva, respectivamente.

O incremento de florestas degradadas pelo fogo foi calculado como a porcentagem da área total de florestas degradadas pelo fogo detectadas no estudo de Matricardi et al. (2010) no período de 1992 a 1999. Neste caso, áreas intensamente degradadas pelo fogo

apresentaram um incremento maior que 20 km²/ano da área total detectada como degradada pelo fogo. Portanto, os autores observaram que para as cenas com maior intensidade de incêndios florestais, o incremento era de 41%; e para áreas degradadas por fogo e extração seletiva também maiores que 20 km², foi observado o incremento de 50,4% do total de degradação da cena.

Em cenas que apresentavam florestas menor revisita de incêndios, observou-se uma média do total de áreas degradadas por extração seletiva menor que 20 km²/ano. Para essas áreas um aumento de 100% de florestas degradadas pelo fogo foi observado, assim como para florestas degradadas apenas pelo fogo.

Os resultados obtidos por Matricardi et al. (2005) e Matricardi et al. (2010) foram extrapolados para toda a Amazônia Legal no intuito de obter o incremento médio anual da extração seletiva e fogo (Tabela 15). Os resultados mostraram um aumento no incremento de 800% da extração seletiva no período de 1992 a 2014. Estes resultados corroboram com estudos prévios que reportaram o aumento da degradação de floresta nativas na Amazônia Legal por extração seletiva (STONE; LEFEBVRE, 1998; NEPSTAD et al., 1999; SOUZA JR; BARRETO, 2000; ASNER et al., 2005; MATRICARDI et al., 2005; MATRICARDI et al., 2010) e pelo fogo (UHL; KAUFFMAN, 1990; NEPSTAD et al., 1998; COCHRANE, 2001b).

Tabela 15 - Incremento anual da degradação do estudo de Matricardi (2007) (1992,1996 e 1999) e do período de análise deste estudo.

Incremento anual (km²)				
Ano	Extração seletiva	Fogo	Extração seletiva e fogo*	total
1992	2.391	2.883,6	193,5	5.468,2
1996	3951,6	3.018,6	649,4	7.619,6
1999	11.767,9	4.514,4	1.156,9	17.439,2
2003	13.754,1	2.993,5	215,3	16.962,9
2006	14.274,2	6.601,1	659,4	21.534,8
2010	13.812,9	9.566,8	414,7	23.794,3
2014	16.193,5	2.819,2	239,5	19.252,25

*Áreas de extração seletiva e fogo simultâneas foram obtidas pela sobreposição das áreas de extração seletiva e áreas de fogo mapeadas.

**O incremento deste estudo foi calculado com base no estudo de caso no estado do Mato Grosso de Matricardi et al. (2005). Neste estudo os autores estimaram 2 médias de extração seletiva (39,5% para cenas com mais de 100 km² degradados; e 91,4% para cenas com menos de 100 km² degradados por extração seletiva);

Cenas que apresentavam extração seletiva e fogo simultaneamente foram usadas as médias de: 50,4% (para cenas com mais de 20 km² degradados) e 100% (para cenas com menos de 20 km² degradados).

Cenas degradadas apenas por fogo utilizaram-se as seguintes médias: 41% (para cenas com mais de 20 km² degradadas por fogo) e 100% (para cenas com menos de 20 km² degradadas pelo fogo).

Essas médias foram calculadas como a área de total de floresta com extração seletiva e/ou degradadas pelo fogo pela primeira vez, divididos pelo total de área de floresta em que a extração seletiva e/ou fogo foram detectados.

4.6.2 Degradação, desmatamento e volume de madeira extraído

O incremento do desmatamento vinha diminuindo significativamente segundo dados do programa PRODES do INPE até o ano 2014. Simultaneamente, os dados deste estudo revelam o aumento do incremento da degradação por fogo e extração seletiva no período de análise (Figura 25). Entretanto, dados do IBGE (2016) mostram que o volume de madeira extraída na Amazônia Legal tem diminuído desde 1992 até os dias atuais (Figura 26).

O incremento do desmatamento foi de 23.462 km² em 2003 para 4.567 km² em 2014. Ao mesmo tempo o incremento da degradação foi de 16.963 km² em 2003 para 19.252 km² em 2014. Já o volume de madeira extraído foi de 17,1 milhões de m³ para 11,7 milhões de m³ de 2003 a 2014. A degradação em 2014 foi muito superior ao desmatamento, 4 vezes maior.

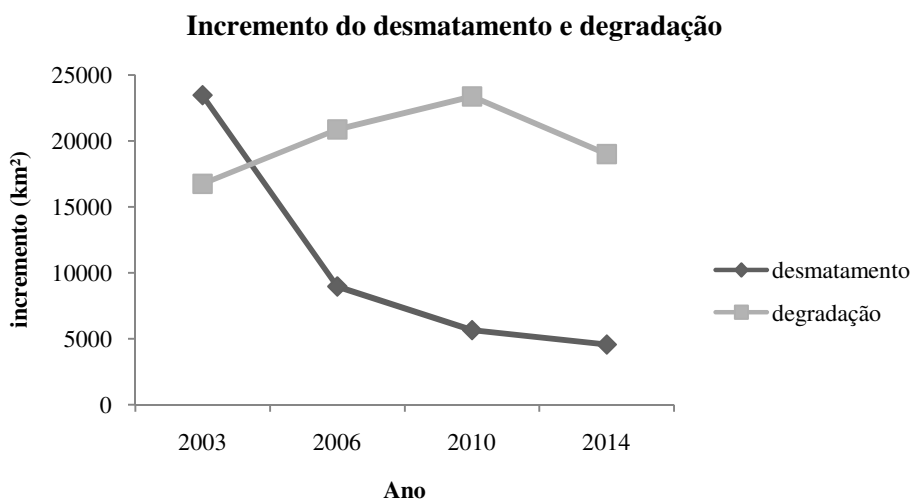


Figura 25 - Incremento do desmatamento e da degradação nos anos de análise na Amazônia Legal.

Portanto, a diminuição do volume de madeira pode estar ligada a diminuição da madeira obtida pelo desmatamento (Figura 25), que tem diminuído nas últimas décadas. A maior fonte de madeira na Amazônia tem sido oriunda da extração seletiva em florestas nativas. Além disso, o volume de madeira deve ter sido subestimado devido a extração ilegal

de madeira que não é formalmente declarada e registrada pelas instituições públicas controladoras.

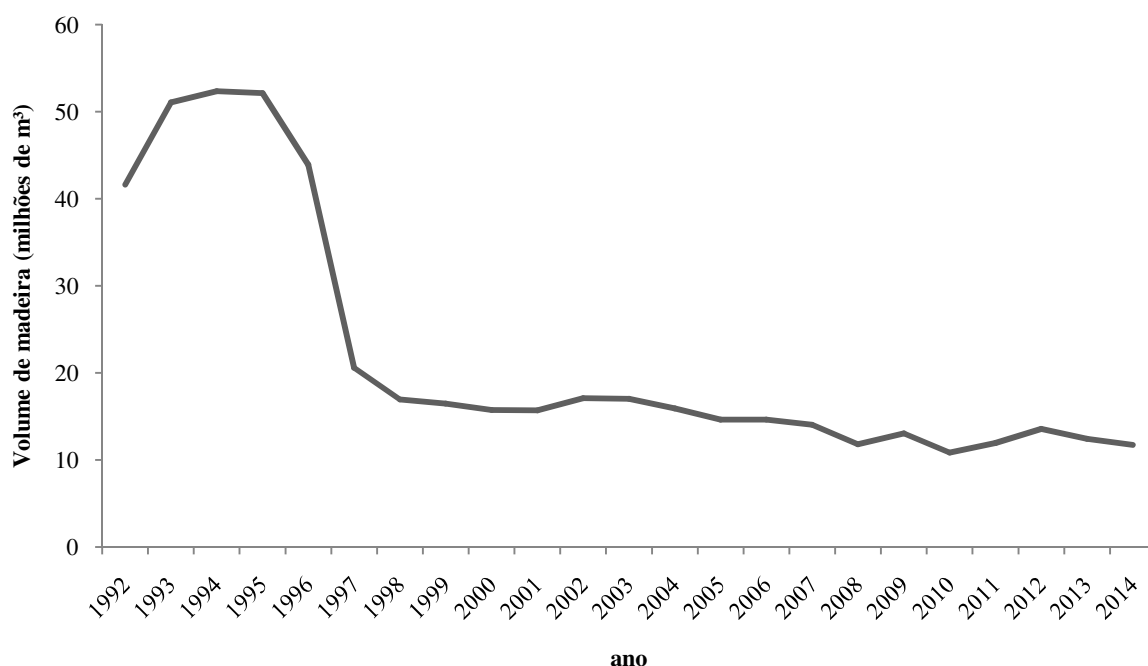


Figura 26 -Volume (em milhões de m³) de madeira destinada a produção na Amazônia legal no período de 1992 a 2014.

Quando comparado o aumento do incremento médio anual das áreas de extração seletiva de madeira (do presente estudo) com os dados de produção de madeira em tora do (IBGE, 2016) (Figura 26) para o mesmo período e região de estudo, observa-se enquanto a área de florestas exploradas aumentou, a produção foi reduzida substancialmente. Tal fato indica que houve uma redução da produtividade das florestas causada pelas sucessivas explorações seletivas e/ou o aumento da ilegalidade na produção florestal, com a consequente redução dos registros oficiais da produção de madeira na região.

4.6.3 Áreas degradadas e desmatamento

Diversos autores afirmam que a degradação por extração seletiva e fogo na Amazônia Legal podem levar ao desmatamento destas áreas (NEPSTAD et al., 1999; ASNER et al., 2005; ASNER et al., 2006; RONDON et al., 2012). Nepstad et al. (1999) entrevistaram 1.393 operadores de serrarias, que são responsáveis por mais de 90% da produção na Amazônia. Foram obtidos os registros de extração da madeira nos anos de 1996 e 1997. Os autores estimaram que 10.000 a 15.000 km² de florestas foram degradadas por extração seletiva e

concluíram que a extração seletiva e o fogo podem levar a eliminação de florestas de regiões com secas sazonais e alta concentração de serrarias.

Asner et al. (2005) estimaram a área de extração seletiva em cinco estados da Amazônia legal no período de 1999 a 2002, utilizando para tal o programa CLAS e imagens Landsat 7, sensor ETM+. Os autores estimaram um aumento de 12.075 km² para 19.823 km² de florestas degradadas por extração seletiva. A área de extração seletiva foi sobreposta ao PRODES e os autores observaram que 19% da área total de extração seletiva encontrada no estudo foi desmatada nos 3 anos subsequentes à degradação. Além disso, os autores afirmaram que as áreas de extração seletiva coincidem e até excediam as áreas de desmatamento.

Asner et al. (2006) quantificaram a extração seletiva nos estados do Acre, Pará, Rondônia e Mato Grosso no período de 1999 a 2004 a partir de imagens do satélite Landsat 7 e o programa CLAS. Os autores encontraram que pelo menos 76% de todas as práticas de extração seletiva resultaram em altos níveis de danos ao dossel, suficientes para deixarem as florestas suscetíveis à seca e a incêndios. Os resultados encontrados revelaram que 16% das áreas degradadas por extração seletiva foram desmatadas 1 ano depois da degradação, e com desmatamento subsequente anual de 5,4% nos 4 anos seguintes à extração.

Diferente do observado pelos autores acima, neste estudo verificou-se que pequenas áreas de extração seletiva estão sendo desmatadas nos anos subsequentes à extração. Vale lembrar, entretanto, que as taxas e áreas totais de desmatamento reduziram nesta última década. Ao contrário, as áreas de extração seletiva aumentaram substancialmente nos últimos anos. Assim, foi também observado que áreas degradadas por extração seletiva, em alguns anos, constituíram 47,5% (2010) e 38,4%(2014) (APÊNDICE Y) do incremento do desmatamento nos mesmos anos. Isso significa que quase a metade do que foi desmatado em 2010 é proveniente de áreas degradadas por extração seletiva. Considerando esta proporção, as áreas degradadas por extração seletiva parecem ser precursoras do desmatamento. Além disso, o desmatamento parece ter seus próprios fatores socioeconômicos que decidem no processo de conversão das florestas em áreas de agricultura e pecuária e, portanto, precisam ser melhor investigados.

Por fim, a degradação florestal pelo fogo constituiu 35,3% do desmatamento em 2010. Em 2014, o fogo constituiu 30,8% do desmatamento (APÊNDICE Z). Assim, o fogo parece ser um fator relevante como precursor do desmatamento na Amazônia legal. Além disso,

existem indícios que muitos proprietários de terra na região de estudo provocam incêndios intencionais como forma de degradar as florestas e assim facilitar a justificativa de futuros desmatamentos em áreas degradadas consideradas “improdutivas”, convertidas facilmente em plantios de *commodities* agrícolas ou pastagens.

Os estados da Amazônia Legal passam por um ciclo de "*boom*" (grande intensidade de exploração) e "*bust*" (declínio, falência, colapso) na exploração madeireira. O rápido crescimento nos primeiros anos será seguido de um declínio severo nos anos seguintes, como já ocorreu em Paragominas. Com o esgotamento de recursos madeireiros nessas regiões (Sinop-MT e Vilhena, Ji Paraná-RO), surge uma alternativa baseada na agricultura (SCHNEIDER et al., 2002) e pasto.

A fronteira da extração seletiva acompanha a expansão da fronteira da agricultura. A extração seletiva predatória já exauriu os recursos das florestas de antigos centros de extração seletiva. A extração seletiva então migra para o estado do Amazonas e oeste do Pará, frequentemente em áreas indígenas e protegidas (SCHNEIDER et al., 2002). Isso é observado nos mapas de evolução temporal da extração seletiva da Amazônia apresentados (APÊNDICES F, G, H, I, J, K e L) e no mapa abaixo (Figura 27). Em que podemos observar que a extração seletiva entra em colapso em antigas áreas de fronteiras (áreas em azul - arco do desmatamento) (KELLER et al., 2002; VERÍSSIMO; COCHRANE, 2003) e se expande para novas fronteiras (áreas em vermelho), as áreas a oeste dos estados do Pará e Mato Grosso, norte do estado de Rondônia, sudeste e nordeste do estado do Amazonas, centro do estado de Roraima e leste do estado do Acre.

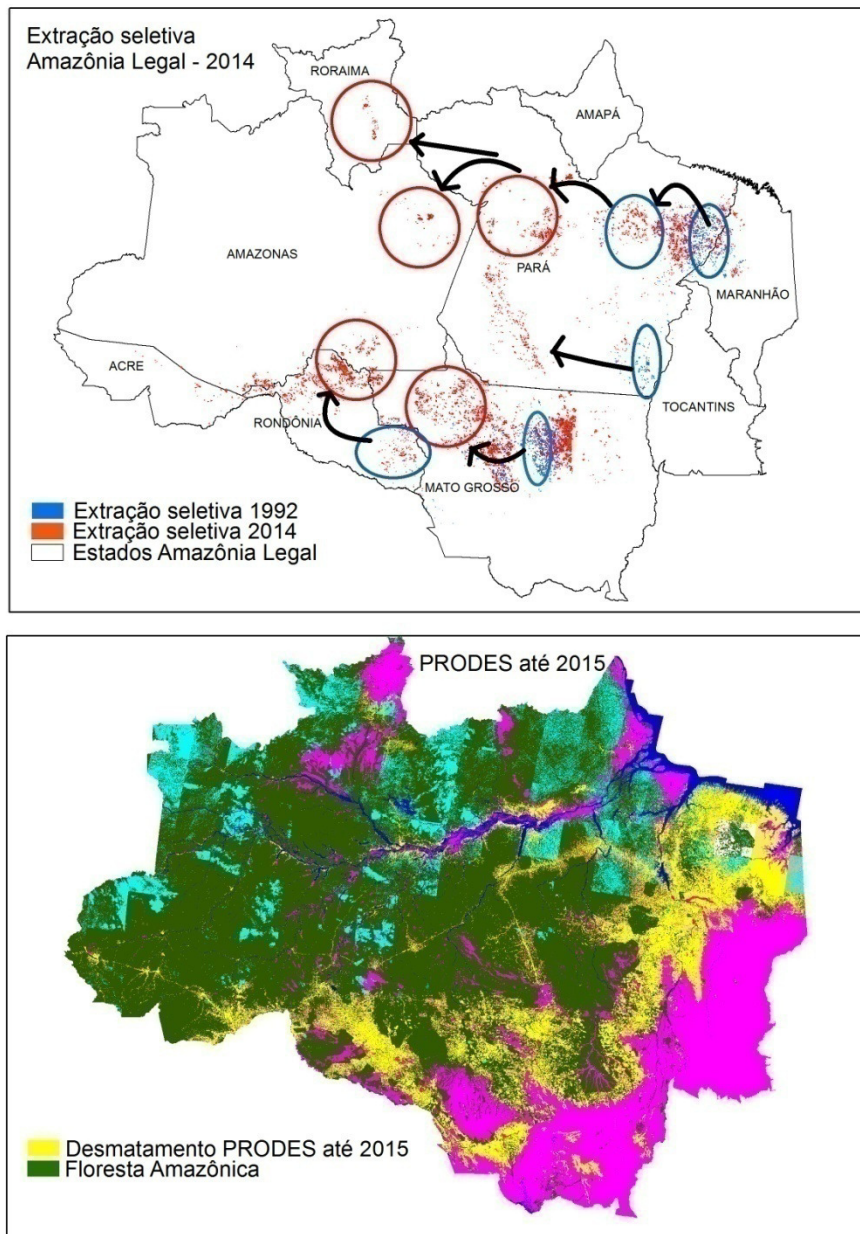


Figura 27 - Dinâmica da extração seletiva na Amazônia Legal.

4.6.4 Unidades de Conservação

Terras indígenas somavam 1.512 km² de degradação por extração seletiva nos em 1992, 1996 e 1999. Entretanto, apenas em 2003, a extração seletiva de madeiras impactou 1.818 km² dentro de terras indígenas. Unidades de conservação somavam 59 km² de extração seletiva nos anos de 1992, 1996 e 1999. Em contraste com 1.147 km² apenas para o ano de 2003. Apesar das áreas protegidas apresentarem uma incidência de fogo significativamente menor que as áreas não-protegidas (NELSON; CHOMITZ, 2011), a área degradada pelo fogo no ano 2003 foi 510 vezes maior que a em 1992.

A degradação por extração seletiva dentro de Terras indígenas aumentou mais de 300 km², enquanto dentro de Unidades de Conservação aumentou 1.100 km². Apesar da área degradada por extração seletiva e fogo em Unidades de Conservação e Terras Indígenas somarem 6.037 km² em 2014, essa área representa 15% de toda a degradação florestal pela extração seletiva na Amazônia. Portanto, as áreas protegidas ainda são um instrumento legal, efetivo e necessário para preservação da floresta Amazônia e dos territórios indígenas (NOLTE et al., 2013).

Neste estudo foi observado que três Unidades de Conservação de Proteção Integral (Reserva Biológica de Gurupi, Parque Nacional dos Campos Amazônicos e Parque Nacional do Jamanxin) apresentaram áreas de extração seletiva similares ao observado em Unidades de Uso Sustentável. Apesar das Unidades de Proteção Integral na Amazônia Legal serem mais restritivas do que as Unidades de Uso Sustentável, elas estão localizadas em áreas de maior pressão de desmatamento e de outras ações antrópicas na região (NOLTE et al., 2013). As UC's estão intimamente ligadas com os habitats circunjacentes e a degradação desses habitats pode aumentar a perda de biodiversidade dessas áreas protegidas (LAURANCE et al., 2012).

O aumento dessas degradações em áreas protegidas é preocupante, já que as áreas protegidas são o abrigo de 54% do total de florestas remanescentes na Amazônia e contém 56% do carbono (SOARES-FILHO et al., 2010). Além disso, se corretamente implementadas, as Áreas protegidas têm capacidade de reduzir as emissões de carbono (SOARES-FILHO et al., 2010).

A TI Sete de Setembro, com um território de 2.478 km², apresentou 100 km² de áreas degradadas pela extração seletiva. Nesta TI, os índios de etnia Paiter-Suruí praticam a exploração ilegal de madeira desde meados da década de 80 (ABI-EÇAB, 2011).

A degradação ambiental nos territórios indígenas é fruto tanto de pressões internas, em sua maior parte, para a satisfação das necessidades básicas de sobrevivência (NOLTE et al., 2013) e de pressões externas, como o aumento de obras de infraestrutura, o avanço de indústrias extrativas, expansão da fronteira agrícola, do desmatamento e atividades ilegais que, em última análise, levam a perda de biodiversidade e conectividade das terras indígenas (FILHO, 2011; NELSON; CHOMITZ, 2011). Além disso, os povos indígenas crescem em taxas superiores à média nacional, de 294 mil para 817 mil no período de 1991 a 2010 (IBGE, 2010), aumentando a demanda por recursos naturais e econômicos de forma geral.

4.7 Conclusão

As áreas de florestas impactadas pela extração seletiva de madeiras e pelo fogo aumentaram substancialmente entre 1992 e 2014 na Amazônia legal. Estimou-se um aumento do incremento médio anual das florestas impactadas por tais atividades de mais de 400% no período analisado. Considerando que o incremento do desmatamento foi 4 vezes menor que a extração seletiva em 2014, a madeira proveniente da extração seletiva parece ser o maior contribuinte para o volume da produção de madeira atual registrado pelo IBGE.

As áreas de florestas impactadas pelo fogo parecem ser as mais prováveis para a conversão em áreas de agricultura ou pecuária. Do mesmo modo, as áreas impactadas pelo fogo apresentam os maiores impactos ambientais e, por isso, são consideradas as florestas mais severamente degradadas. Apesar do desmatamento subsequente em áreas degradadas pela extração seletiva ter envolvido pequenas proporções do total detectado, a extração seletiva constituiu quase metade do incremento do desmatamento observado em 2010, o que indica uma maior probabilidade de serem desmatadas.

A extração seletiva e fogo simultâneos envolveram pequenas áreas na Amazônia legal em todo o período de estudo. As áreas de florestas impactadas pelo fogo variaram muito nos anos estudados. Tal fato indica que, embora as áreas exploradas seletivamente fiquem mais vulneráveis ao fogo, existem outros fatores mais decisivos que influenciam na ocorrência e propagação do fogo em florestas tropicais. Tais fatores ainda precisam ser melhor investigados.

A área de florestas impactadas pela extração seletiva e o fogo dentro das UC não foram muito expressivas em relação a dimensão da Amazônia Legal. Entretanto, observou-se um aumento expressivo (510 vezes) nos período de análise (1992 a 2014). As UC's representam importantes formas de preservação da floresta Amazônica Brasileira e, portanto, tal aumento da degradação florestal nestas unidades devem ser devidamente considerados. Do mesmo modo, as áreas de extração seletiva e fogo aumentaram dentro de algumas TI's.

CAPITULO 5

5. ANÁLISE ESPACIAL DA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DA EXTRAÇÃO SELETIVA E DO FOGO NA AMAZÔNIA LEGAL

Resumo

A ocorrência da extração seletiva e fogo na Amazônia Legal está condicionada a vários fatores biofísicos e socioeconômicos. O entendimento da distribuição espacial desses fenômenos é essencial para a definição de estratégias de comando e controle e para a definição de políticas de sustentabilidade no setor florestal na Amazônia brasileira. O presente estudo buscou analisar as variáveis espacialmente explícitas que influenciam a ocorrência e distribuição espacial das florestas impactadas pelo fogo e pela extração seletiva de madeiras na Amazônia Legal. Para tal, foram utilizados dados dos tipos de vegetação, limite estaduais, distância de estradas, cidades, desmatamento e polos madeireiros, precipitação, temperatura, volume de madeira de espécies nativas e os limites de unidades de conservação e terras indígenas. Os dados espaciais foram amostrados e utilizados como entrada para o modelo de regressão Probit para estimar a probabilidade do efeito de cada variável estudada na ocorrência das florestas impactadas pelo fogo e pela extração seletiva na Amazônia Legal. Os resultados mostraram que a proximidade de estradas aumenta a probabilidade de incêndios, mas não tem interferência, entretanto, na extração seletiva. A proximidade dos polos madeireiros aumenta a probabilidade de ocorrência de incêndios e extração seletiva. A proximidade ao desmatamento também aumenta a probabilidade de ocorrência destas degradações. O conhecimento das variáveis que influenciam na ocorrência destas degradações é fundamental para o mapeamento geográfico de áreas com maior risco de degradação e modelagem futura destes processos na Amazônia Legal.

Palavras - chave: distribuição espacial, Floresta Amazônica e degradação.

Abstract

Selective logging and forest fire occurrences are connected to biophysical and socioeconomic factors in Legal Amazon. The understanding of spatial distribution of these phenomena is essential to define sustainability policies of forest sector in Brazilian Amazon. The aim of this study was analyze spatially explicit variables that influence selective logging and forest fire occurrences in the Legal Amazon. The analysis was developed by using different data, such as vegetation types, geographic location, distance to roads, timber volume, conservation units, indigenous land, temperature, precipitation, and deforestation. Spatial data was sampled and used as input to Probit regression model, to estimate the probability of the effect of each variable in occurrence of selective logging and fire forests in Legal Amazon. Results showed that proximity to roads increase the probability to forest fires, but do not had an effect in selective logging. We also observed that proximity to timber centers increased the probability of forest fires and selective logging. The same result was observed to proximity to deforestation, that increased both kinds of degradation. The understanding of variables that influence the occurrence of these degradation processes is essential to geographically mapping areas that present great risks of degradation and modeling these processes in Legal Amazon.

Key - words: Spatial analysis, Legal Amazon, selective logging and forest fire.

5.2 Introdução

A degradação pelo fogo e extração seletiva na Amazônia pode ser influenciada por diversas variáveis, como a distância de estradas (NEPSTAD et al., 2001; MATRICARDI, 2007), secas mais severas (NEPSTAD et al., 1999; ALENCAR; NEPSTAD; VERA DIAZ, 2006; BRANDO et al., 2014; ALENCAR et al., 2015), *El Niño* (NEPSTAD et al., 1999; COCHRANE, 2001b; NEPSTAD et al., 2001; HAUGAASEN; BARLOW; PERES, 2003; BALCH et al., 2008), o tipo de vegetação (UHL; BUSCHBACHER, 1985; NELSON, 2001; ALENCAR; NEPSTAD; VERA DIAZ, 2006; ALENCAR et al., 2015), distância do desmatamento (UHL; BUSCHBACHER, 1985; COCHRANE, 2001b; MORTON et al., 2013), ocorrência de déficits hídrico (NELSON, 2001; MATRICARDI, 2007; ALENCAR et al., 2015) e grau de fragmentação da vegetação nativa (COCHRANE, 2001b; ALENCAR; NEPSTAD; VERA DIAZ, 2006; SOARES-FILHO et al., 2012; ARMENTERAS; GONZÁLEZ; RETANA, 2013; ALENCAR et al., 2015).

Matricardi et al. (2007) encontraram alta correlação entre incêndios florestais e a proximidade de áreas desmatadas. Segundo os autores, isso ocorre porque as áreas desmatadas são ocupadas por pastos e terras agriculturáveis onde o uso do fogo é bastante comum. Com a prática de queimadas mais frequentes, as áreas desmatadas são consideradas as principais fontes de ignição de fogo em toda a Amazônia Brasileira (UHL; BUSCHBACHER, 1985; COCHRANE, 2001b; BARLOW et al., 2012; CANO-CRESPO et al., 2015).

Secas severas também são consideradas cruciais na ocorrência e propagação do fogo em vegetação nativa. Vários autores (NEPSTAD et al., 1999; COCHRANE, 2001b; NEPSTAD et al., 2001; SIEGERT et al., 2001; MORTON et al., 2013; BRANDO et al., 2014) relataram que os incêndios são mais extensos durante períodos de seca severa. Eventos do *El Niño* também se relacionam com o fogo, por causa do aumento dos período secos em extensas áreas da floresta Amazônica (NEPSTAD et al., 1999).

A densidade das florestas também influencia na ocorrência de incêndios florestais. Em uma floresta densa, o fogo se restringe a superfície do solo e queima caules com menos de 5 cm de diâmetro (UHL; BUSCHBACHER, 1985; ALENCAR et al., 2015). Além disso, as florestas densas queimam quase sempre durante anos de grandes secas, como os anos de ocorrência do *El Niño* (ALENCAR et al., 2015). No entanto, florestas abertas e de transição

podem queimar mesmo durante os anos que não ocorrem secas severas (ALENCAR et al., 2015).

Estradas e cidades também estão relacionadas com a distribuição do fogo e extração seletiva. Alencar et al. (2015) relataram que 78% dos incêndios florestais recorrentes ocorram a 10 km de assentamentos. Matricardi (2007) observou que há possibilidade de fatores biofísicos e socioeconômicos, como matéria-prima para serrarias e alterações nas leis ambientais em 1996, contribuírem para aumentar a intensidade de extração seletiva. Além disso, Matricardi afirma que o volume de madeira, a rede de transporte e a localização geográfica de polos madeireiros são os principais fatores que influenciam a degradação por extração seletiva (MATRICARDI, 2007).

Assim, o presente estudo buscou uma análise espaço temporal baseada em uma longa série temporal de dados (1992 a 2014) de florestas impactadas por extração seletiva de madeiras e fogo em toda a Amazônia brasileira. Estimou-se a influência de cada variável espacialmente explícita na ocorrência das florestas impactadas pelo fogo e extração seletiva na região de estudo utilizando o modelo de regressão não linear Probit. Utilizou-se as variáveis mais comuns mencionadas na literatura científica que influenciam na ocorrência do fogo e da extração seletiva de madeiras.

5.3 Métodos

5.3.1 Área de estudo

A área de estudo envolveu toda a Amazônia Legal, que engloba os estados de Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima, Mato Grosso, parte do Tocantins e Maranhão. A análise espaço-temporal se concentrou, entretanto, nas cenas que apresentavam feições de extração seletiva e fogo.

5.3.2 Base de dados

Os dados utilizados no estudo compreenderam dados climáticos de estações meteorológicas, dados de vegetação, distância de estradas, distância de cidades, volume de madeira, distância de polos madeireiros, unidades de conservação (proteção integral e uso sustentável), terras indígenas, limites dos estados, anos do estudo e por fim, a degradação por extração seletiva e fogo na Amazônia Legal nos anos de 1992, 1996, 1999, 2003, 2006, 2010 e 2014 (Tabela 16).

Os dados de extração seletiva e fogo dos anos 1992, 1996 e 1999 foram produzidos pelo estudo de Matricardi (2007) e os dados de degradação dos anos de 2003 a 2014 foram produzidos no Capítulo 4 deste estudo. A detecção e mapeamento da extração seletiva nos dois estudos foi feita pela combinação de uma técnica semiautomática (imagens textura) e interpretação visual de imagens Landsat 5 e 8. Essa técnica apresentou acurácia de 92% e foi aplicada para todas as cenas que continham feições de extração seletiva, totalizando 38 cenas para os anos de 92 a 99, e 80 cenas para os demais. A detecção do fogo, contudo, foi conduzida a partir da Análise de mistura espectral, em que são obtidos dados das proporções de solo exposto, sombra, vegetação e vegetação não-fotossinteticamente ativa dentro de cada *pixel* da imagem. Os *raster's* de extração seletiva receberam código 1 para áreas degradadas e código 0, para áreas não degradadas. O mesmo procedimento foi adotado para áreas degradadas pelo fogo.

Os dados climáticos utilizados no estudo englobaram dados de Precipitação (mm) e Temperatura Média (°C) obtidos no site do INMET (projeto bdmep), que correspondem a dados climáticos históricos.

A feição de estradas abrangeu várias classificações, como estradas pavimentadas, em pavimentação, duplicadas, em duplicação, implantadas e leito natural.

Tabela 16 - Dados utilizados no estudo de Análise espacial.

Dado	Feição	Formato	Resolução	Projeção	Fonte/data
Dados climáticos	tabela	.xls	-	-	INMET - bdmep (1992 a 2014)
Ponto e órbita Landsat - grade	polígonos	.shp	-	WGS 84	INPE (2016)
Degradação Amazônia Legal	<i>raster</i>	.tiff	30 m	Sinusoidal	Matricardi (1992, 1996 e 1999)
Degradação Amazônia Legal	<i>raster</i>	.tiff	30 m	Sinusoidal	Costa (2003, 2006, 2010 e 2014)
TI's e UC's	polígonos	.shp	-	WGS 84	MMA/2010
Rodovias	polígonos	.shp	-	WGS 84	MMA/2016
Vegetação da Amazônia Legal	polígonos	.shp	60m	WGS 84	SIVAM/2004
Solos da Amazônia Legal	polígonos	.shp	-	WGS 84	MMA/2016
Volume de madeira	pontos	.shp	-	-	SIVAM/2004
Pólos madeireiros e áreas de influência	pontos	.shp	-	WGS 84	Imazon/2013
estados da	polígonos	.shp	-	WGS 84	MMA/2016

Amazônia Legal					
UF's Brasil	polígonos	.shp	-	WGS 84	MMA/2016
Cidades	pontos	.shp	-	WGS 84	SIVAM/IBGE

5.3.3 Metodologia

5.3.3.1 Krigagem ordinária

A krigagem foi utilizada neste estudo para interpolação de dados vetoriais (pontos) de temperatura e precipitação de estações meteorológicas obtidos no site do INMET (bdmep).

A krigagem é uma técnica de regressão de mínimos quadrados generalizados que permite contabilizar a dependência espacial entre as observações, revelado pelo semivariograma em previsão espacial (GOOVAERTS, 2000). Para estimar esses valores, o algoritmo leva em consideração o peso médio linear das amostras disponíveis (ROSSI; DUNGAN; BECK, 1994). Além disso, a krigagem utiliza funções matemáticas para acrescentar pesos maiores às posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores às posições mais distantes e cria, por fim, novos pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados (CARVALHO; ASSAD; PINTO, 2012). Por fim, os métodos de krigagem utilizam a dependência expressa no semivariograma entre amostras vizinhas para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima (MACHADO et al., 2010).

Algumas características da krigagem a torna única em relação a outros métodos de interpolação. Primeiro, a krigagem provê uma estimativa que ao mesmo tempo é maior ou menor que os valores das amostras. As interpolações tradicionais se limitam a variação dos dados das amostras conhecidas. Em segundo lugar, enquanto os métodos de interpolação utilizam a distância euclidiana para dar o peso às amostras, a krigagem utiliza, além da distância euclidiana, a geometria entre as amostras. Em terceiro lugar, a krigagem tende a minimizar a variância do erro esperado. A krigagem aplica um modelo probabilístico discreto dos valores reais (ROSSI; DUNGAN; BECK, 1994).

Do mesmo modo que o método do inverso da distância ao quadrado, a interpolação geoestatística estima o parâmetro desconhecido a partir de uma combinação linear de observações dos vizinhos. Para a Krigagem ordinária é assumido que a média é constante nos vizinhos locais para cada ponto estimado.

$$Z_{OK}^*(u) = \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}^{OK}(u) Z(u_{\alpha}) \quad (\text{GOOVAERTS, 2000}) \quad (5.1)$$

com $\sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}^{OK}(u) = 1$ (estimador não-viesado, em média o estimador é correto)

$n(u)$ = número de pontos de dados nos vizinhos locais usados para estimar $z^*(u)$;

λ_{α} = peso da krigagem atribuído a $z^*(u)$ para estimar a localização u .

5.3.3.2 Probit

O modelo Probit foi utilizado nesta pesquisa para estimar a influência de cada variável (temperatura, precipitação, distância de polos, estradas, desmatamento, UC's e TI's, tipologias florestais e volume de madeira) na ocorrência do fogo e extração seletiva na Amazônia Legal.

Probit, ou probabilidade unitária é um modelo de regressão binário que implica na estimativa de probabilidades que variam entre 0 e 1. Este modelo utiliza a curva normal de distribuição e seu uso é indicado quando a variável dependente é discreta e o efeito parcial de qualquer uma das variáveis independentes é potencialmente não constante (WOOLDRIDGE, 2000).

O modelo probit foi utilizado neste estudo na identificação de fatores que influenciam a probabilidade da extração seletiva e do fogo ocorrerem na área de estudo, baseando-se na distribuição espacial destas degradações, nas características biofísicas e em fatores socioeconômicos.

De acordo com Wooldridge (2000), o modelo probit pode ser definido como:

$$y^* = \beta_0 + x\beta + \varepsilon, y = 1 [y^* > 0] \quad (5.2)$$

em que:

y^* = variável latente ou não-observada (neste estudo representa o pixel de fogo ou extração seletiva) que satisfaz uma distribuição normal com a média linear condicional.

x =vetor de variáveis independentes;

β = vetor de coeficientes não-conhecidos;

ε = erro de distribuição independente em que assume-se ser normal com média zero e variância constante.

$$y = 1 \text{ se } y^* > 0 \text{ e}$$

$$y = 0 \text{ se } y^* \leq 0$$

Baseando-se no que foi dito, a probabilidade de ocorrência de fogo e extração seletiva na área de estudo pode ser definida pela equação abaixo:

$$P(y = 1|x) = P(y > 0|x) = P(\varepsilon > -x\beta|x) = \Phi(x\beta) \quad (5.3)$$

onde:

$\Phi(.)$ é a função de distribuição normal cumulativa;

x é o vetor de variáveis independentes;

β é o vetor de coeficientes desconhecidos.

5.3.3.3 Preparação dos dados

Os dados climáticos foram tabulados no Microsoft Office® - Excel 2007 e, com as devidas coordenadas, transformados em pontos no Arcgis®, pela ferramenta adicionar dados X e Y. Ao todo foram contabilizadas 76 estações, totalizando 76 pontos para cada ano de análise (1992, 1996, 1999, 2003, 2006, 2010 e 2014). Estes pontos foram então transformados em *shapefile* e por fim foram georreferenciados no sistema de coordenadas planas, Sinusoidal, Datum WGS 84.

Em ambiente Arcgis, os pontos das estações meteorológicas foram submetidos a um algoritmo de interpolação (Krigagem ordinária) para a variável temperatura e para a precipitação, gerando uma superfície contínua. O tipo de krigagem foi a de predição. Foi utilizada a anisotropia em alguns casos, pois os dados apresentavam grande desvio padrão. Ao final, foram gerados *raster's* de temperatura (APÊNDICE CC) e de precipitação (APÊNDICE DD) para cada ano da análise.

Os polígonos de vegetação (APÊNDICE D) foram transformados em *raster* e cada tipo de vegetação recebeu um código. Vegetações densas e abertas tendem a influenciar o fogo de formas diferentes.

Nas feições de estradas (APÊNDICE EE) (do tipo linha) foi utilizado o algoritmo distância euclidiana, que retoma a distância euclidiana de cada célula do *raster* a origem mais próxima. O mesmo procedimento foi adotado para a polos madeireiros (APÊNDICE FF) e para a feição cidades (APÊNDICE GG). A distância de estradas, polos e cidades foram utilizadas por conta da relação delas com os custos de transporte da madeira e porque ficou

evidente que a extração seletiva se concentra em áreas próximas aos polos madeireiros (APÊNDICE M).

Feições de estados (APÊNDICE HH) foram transformadas em *raster*, atribuindo valor de 1 para os diferentes estados presentes na Amazônia Legal. Alguns estados da Amazônia Legal apresentaram maior área degradada pela extração seletiva, como foi o caso do Pará e Mato Grosso, por isso a variável estados foi considerada.

Polígonos de Unidades de Conservação de Uso Sustentável, Integral e Terras Indígenas (APÊNDICE II) também foram transformados em *raster* e atribuídos códigos 0 para áreas fora de áreas protegidas e Terras Indígenas e 1 correspondendo ao interior destas áreas. A proximidade de Unidades de Conservação tem relação inversa (esperada) com a extração seletiva, pois a expectativa é de que essas áreas cumprem com o papel de utilização previstos em lei (PEDLOWSKI et al., 2005).

Por fim, foi criado um *raster* de volume de madeira na Amazônia Legal (APÊNDICE JJ). Esta variável foi utilizada pela possível atração de áreas com maior volume de madeira para exploração.

Após a preparação dos *raster's*, foi criada uma malha (*fishnet*) de 15 km x 15 km englobando todo o *shape* da Amazônia Legal e 1 ponto foi aleatorizado em cada quadrado de 225 km² (Figura 28). Em seguida, utilizou-se a ferramenta *zonal statistics as table* para extrair os dados de cada *raster* que foi preparado anteriormente no estudo.

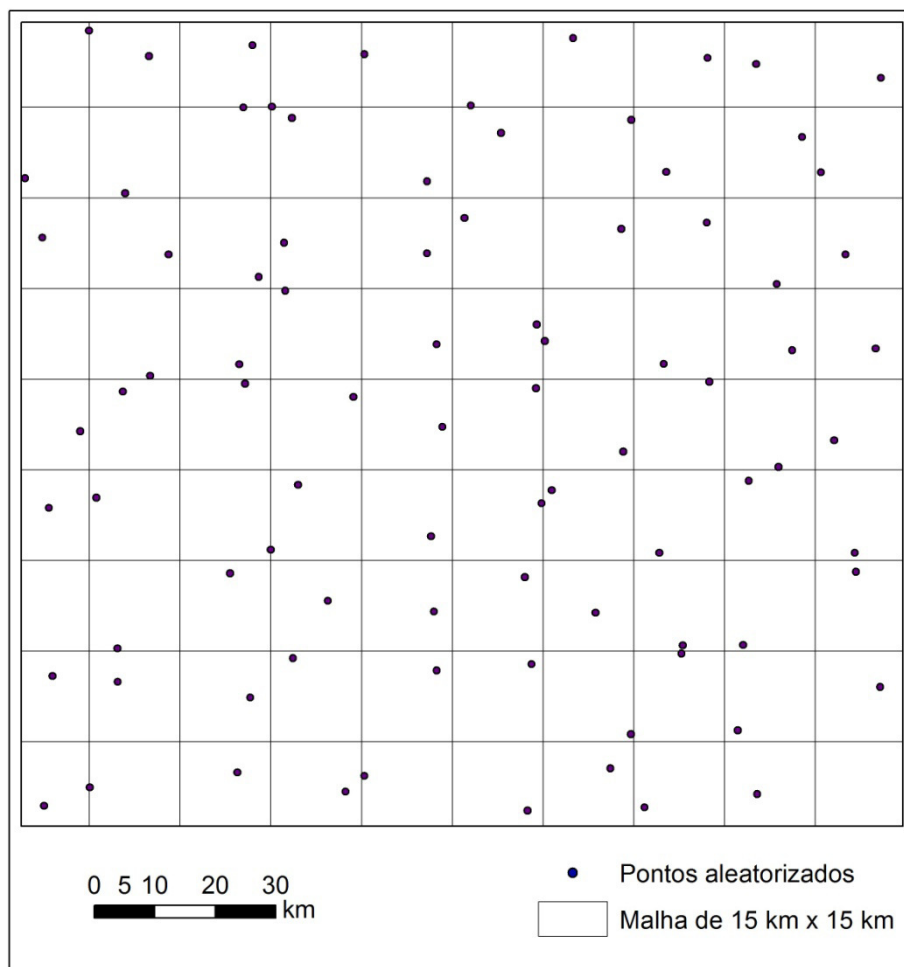


Figura 28 - Pontos aleatorizados na malha de 15km por 15 km.

A partir dos dados extraídos de cada *raster* foi então montada uma tabela do programa Excel 2007® e posteriormente esta tabela foi importada pelo programa StataSE®. Os dados da tabela foram então utilizados para execução do modelo de regressão não linear Probit. A regressão foi executada distintamente para a distribuição espacial das florestas impactadas pelo fogo e para as florestas impactadas pela extração seletiva de madeiras.

5.3.3.4 Teste de Hipóteses

Para execução o modelo de regressão não linear Probit foram elaboradas hipóteses para cada variável independente do modelo para as áreas de florestas impactadas pelo fogo e pela extração seletiva (as variáveis dependentes para cada modelo testado). As hipóteses a serem testadas incluem:

Hipóteses nulas para a ocorrência de florestas impactadas pelo fogo:

- **Variáveis de mudanças no uso da terra ou uso do solo**

β_1 : diferentes tipologias florestais não têm efeito na ocorrência do fogo.

β_2 : distância de estradas não tem efeito na ocorrência do fogo.

β_3 : distância de polos madeireiros não tem efeito na ocorrência do fogo.

β_4 : distância do desmatamento não tem efeito na ocorrência do fogo.

β_5 : volume de madeira não tem efeito na ocorrência do fogo.

β_6 : UC's de uso sustentável não tem efeito na ocorrência do fogo.

β_7 : UC's de uso integral não tem efeito na ocorrência do fogo.

β_8 : TI's não tem efeito na ocorrência do fogo.

β_9 : distância de cidades não tem efeito na ocorrência do fogo.

- **Variáveis temporais**

β_{10} : variações temporais do ano 1992 não tem efeito na ocorrência do fogo.

β_{11} : variações temporais do ano 1996 não tem efeito na ocorrência do fogo.

β_{12} : variações temporais do ano 1999 não tem efeito na ocorrência do fogo.

β_{13} : variações temporais do ano 2003 não tem efeito na ocorrência do fogo.

β_{14} : variações temporais do ano 2006 não tem efeito na ocorrência do fogo.

β_{15} : variações temporais do ano 2010 não tem efeito na ocorrência do fogo.

β_{16} : variações temporais do ano 2014 não tem efeito na ocorrência do fogo.

β_{17} : variações na temperatura não tem efeito na ocorrência do fogo.

β_{18} : variações na precipitação não tem efeito na ocorrência do fogo.

- **Variáveis espaciais**

β_{19} : A localização geográfica (estados de ocorrência) não tem efeito na ocorrência da extração seletiva.

Hipóteses nulas para a ocorrência espacial das florestas impactadas pela extração seletiva de madeiras:

- **Variáveis de mudanças no uso da terra ou uso do solo**

β_1 : diferentes tipologias florestais não têm efeito na ocorrência de extração seletiva.

β_2 : distância de estradas não tem efeito na ocorrência da extração seletiva.

β_3 : distância de polos madeireiros não tem efeito na ocorrência da extração seletiva.

β_4 : distância do desmatamento não tem efeito na ocorrência da extração seletiva.

β_5 : volume de madeira não tem efeito na ocorrência da extração seletiva.

β_6 : UC's não tem efeito na ocorrência da extração seletiva.

β_7 : TI's não tem efeito na ocorrência da extração seletiva.

β_8 : distância de cidades não tem efeito na ocorrência da extração seletiva.

- **Variáveis temporais**

β_9 : variações temporais do ano 1992 não tem efeito na ocorrência da extração seletiva.

β_{10} : variações temporais do ano 1996 não tem efeito na ocorrência da extração seletiva.

β_{11} : variações temporais do ano 1999 não tem efeito na ocorrência da extração seletiva.

β_{12} : variações temporais do ano 2003 não tem efeito na ocorrência da extração seletiva.

β_{13} : variações temporais do ano 2006 não tem efeito na ocorrência da extração seletiva.

β_{14} : variações temporais do ano 2010 não tem efeito na ocorrência da extração seletiva.

β_{15} : variações temporais do ano 2014 não tem efeito na ocorrência da extração seletiva.

- **Variáveis espaciais**

β_{16} : A localização geográfica (estados de ocorrência) não tem efeito na ocorrência da extração seletiva.

5.4 Resultados e Discussão

5.4.1 Análise do fogo

A análise de dados da distribuição espacial das florestas impactadas pelo fogo indicam uma probabilidade incondicional de 0,3% para a ocorrência deste fenômeno de degradação florestal na Amazônia Legal. Trata-se de um fenômeno que, embora tenha impactado mais de 9 mil km² em 2010 e quase 3 mil km² em 2014, é relativamente pequeno para as dimensões da Amazônia brasileira (5 milhões de km²).

A influência de cada variável na probabilidade de ocorrência do fogo foi estimada a partir da regressão probit (Tabela 17).

Tabela 17 - Análise de regressão probit para as florestas impactadas pelo fogo na Amazônia brasileira.

Variável	β	Coefficiente	Erro padrão	z	P>z
Ano 1996	β_{11}	0,1659	0,0894	1,8600	0,064
Ano 1999	β_{12}	0,2683	0,0884	3,0400	0,002
Ano 2003	β_{13}	0,0330	0,1041	0,3200	0,751
Ano 2006	β_{14}	0,5386	0,0809	6,6600	0,000
Ano 2010	β_{15}	0,6681	0,0792	8,4300	0,000
Ano 2014	β_{16}	0,3277	0,0975	3,3600	0,001
Pará		0,8133	0,1375	5,9100	0,000
Tocantins		0,0622	0,2173	0,2900	0,775
Amazonas		0,2200	0,1719	1,2800	0,201
Acre	β_{19}	0,6727	0,1655	4,0600	0,000
Mato Grosso		0,5640	0,1231	4,5800	0,000
Maranhão		0,597	0,1545	3,8600	0,000
Floresta Pioneira		-0,1787	0,1743	-1,0300	0,305
Savana		-0,5861	0,1187	-4,9300	0,000
Área de Tensão					
Ecológica	β_1	-0,1637	0,0771	-2,1200	0,034
Floresta Aberta		-0,2771	0,0666	-4,1600	0,000
Floresta Estacional					
Semidecidual		-0,5915	0,1536	-3,8500	0,000
Estradas	β_2	-0,000002	0,0000009	-3,1200	0,002
Cidades	β_9	0,000002	0,000001	2,2600	0,024
Volume de madeira	β_5	-0,0055	0,0008	-6,2400	0,000

UC sustentável	β_6	-0,4652	0,1593	-2,9200	0,004
UC integral	β_7	-0,1585	0,1765	-0,9000	0,369
Terras Indígenas	β_8	0,3094	0,0653	4,7400	0,000
Polos madeireiros	β_3	-0,0000005	0,0000	-2,5000	0,012
Temperatura	β_{17}	0,0616	0,0309	1,9900	0,046
Precipitação	β_{18}	-0,0053	0,0008	-6,3600	0,000
Desmatamento	β_4	-0,00008	0,000008	-10,9300	0,000
Constante		-3,1414	0,1140	-27,5600	0,000

**Log Likelihood* = -1982,8796; Pseudo R² = 0,2331

** Ano 1992 omitido; estado de Rondônia omitido; Floresta Densa omitida;

Dentre os anos de análise, apenas 1999, 2006, 2010 e 2014 foram significativos e apresentaram relação positiva com a ocorrência do fogo (Tabela 17). Assim, as hipóteses nulas β_{12} , β_{14} , β_{15} e β_{16} foram rejeitadas. O ano 2010 apresentou maior probabilidade de ocorrência do fogo, 0,92%, seguido por 2006, 0,91%. As hipóteses β_{11} e β_{13} não foram rejeitadas, pois variações específicas ocorridas em 1999 e 2006 influenciaram significativamente o aumento da ocorrência do fogo em florestas na região de estudo.

Os estados do Pará, Acre, Mato Grosso e Maranhão apresentaram influência positiva e significativa na ocorrência do fogo em florestas. O estado do Acre apresentou a maior probabilidade de ocorrência do fogo (Figura 29), o que indica que peculiaridades estão influenciando positivamente a ocorrência de incêndios florestais naquele estado. A hipótese nula β_{16} foi rejeitada, já que a localização geográfica (estados de ocorrência) teve influência na ocorrência de incêndios na Amazônia Legal, indicando que as florestas impactadas pelo fogo ocorrem em algumas áreas (a maioria na região do arco do desmatamento na Amazônia) em detrimento de outras.

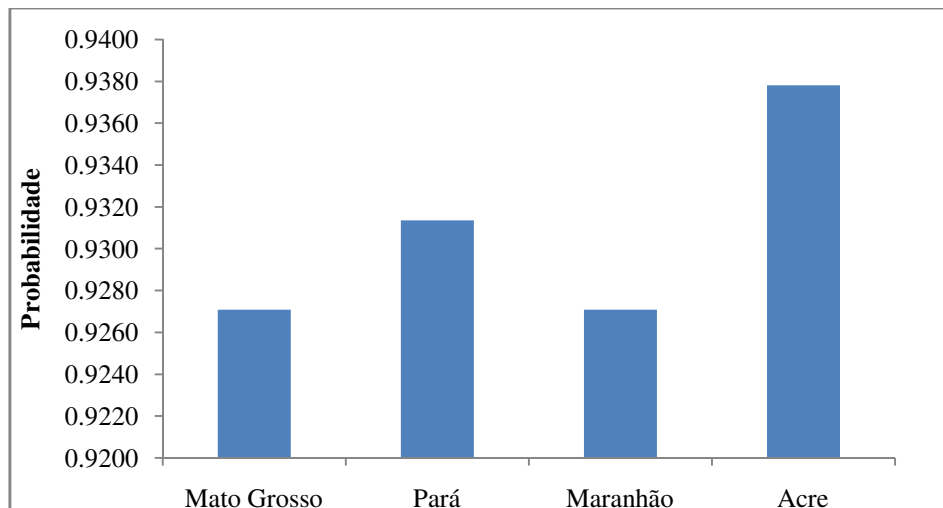


Figura 29 - Probabilidade de ocorrência de florestas impactadas pelo fogo nos estados do Mato Grosso, Pará, Maranhão e Acre.

As áreas de Savana, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Aberta foram significativas e apresentaram relação negativa com a ocorrência do fogo. A hipótese β_1 , portanto, foi rejeitada. Este resultado está relacionado ao método utilizado no mapeamento das florestas impactadas pelo fogo, que prioriza as formações florestais, excluindo a maior parte das Savanas e Florestas Estacionais semidecidual da análise. Floresta pioneira não apresentou diferença estatística comparado com a variável Floresta Densa omitida.

Estradas tem relação inversa significativa com o fogo. Ou seja, os incêndios florestais são mais prováveis de ocorrerem nas proximidades das estradas. Assim, a hipótese nula β_2 foi rejeitada. Para exemplificar, diminuindo a distância de 60 km para 0 km das estradas, ocorre um aumento de 2,5% (com $\alpha = 95\%$) na probabilidade de ocorrência de incêndios. Esse resultado corrobora com estudos anteriores que identificaram a distância de estradas como uma das principais variáveis que influenciam na ocorrência de incêndios florestais (SILVESTRINI et al., 2011; URIARTE et al., 2012). Gutiérrez-Vélez et al. (2014), entretanto, não encontraram correlação significativa entre distância de estradas e ocorrência de fogo em um estudo conduzido na Amazônia (GUTIÉRREZ-VÉLEZ et al., 2014).

Unidades de Conservação de uso sustentável apresentaram relação inversa com o fogo e, portanto, a hipótese nula β_6 foi rejeitada. Nas UC de uso sustentável, a probabilidade de ocorrência do fogo foi 0,14% maior dentro desta UC do que fora. Terras Indígenas apresentaram relação positiva com a ocorrência de fogo e a probabilidade de ocorrência do fogo dentro delas (0,9%) foi maior do que fora (0,79%), portanto a hipótese nula β_7 também foi rejeitada.

A variável precipitação (Figura 30) tem relação inversa com a ocorrência do fogo, sendo maior a probabilidade de ocorrência do mesmo quanto menor a precipitação, rejeitando-se assim a hipótese nula β_{17} . A diminuição da precipitação de 100 mm para 0 mm, aumenta em 5,3% a probabilidade de ocorrência do fogo. Já a temperatura apresentou relação positiva com o fogo, quanto maior a temperatura, maior a ocorrência do fogo, rejeitando-se também a hipótese nula β_{16} . Um aumento de 20°C para 28°C na temperatura, aumenta a ocorrência de incêndios em 9,5%. Esses resultados corroboram com a literatura que afirma que secas severas aumentam a probabilidade de ocorrência de incêndios na Amazônia (UHL; BUSCHBACHER, 1985; NEPSTAD et al., 2001).

As hipóteses nulas β_3 e β_9 foram rejeitadas, visto que a variável cidades e polos madeireiros foram significativas na ocorrência do fogo. Cidades apresentaram relação positiva com o fogo. Aumentando a distância das cidades, aumenta a probabilidade de ocorrência de incêndios, este fato foi contrário, entretanto, ao observado por Alencar et al. (2015), que observaram 78% dos incêndios ocorrem a 10 km de assentamentos urbanos. A justificativa para isso é que não há floresta para degradação nas proximidades das cidades. Já a variável polos madeireiros apresentou relação inversa, isto é, aumentando-se a distância dos polos, diminui a probabilidade de ocorrência do fogo. Ou seja, os incêndios florestais tendem a ocorrer nas áreas mais afastadas de centros urbanos e mais próximas dos polos madeireiros onde as áreas de florestas nativas ocorrem com maior abundância, com o consequente aumento da probabilidade de ocorrência dos incêndios florestais.

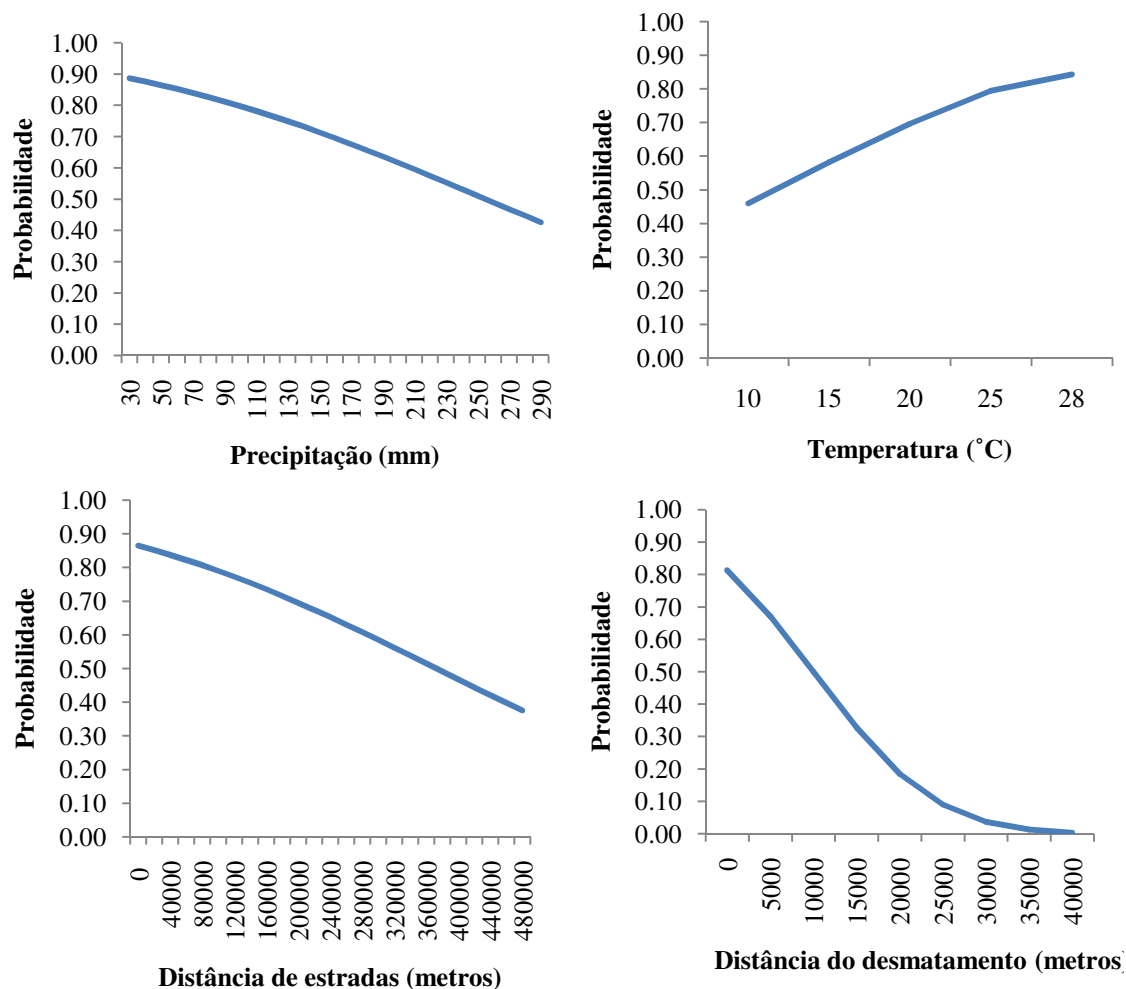


Figura 30 - Probabilidade de ocorrência do fogo em relação a precipitação, temperatura e às distâncias das variáveis desmatamento e estradas.

As áreas de florestas impactadas pelo fogo tendem a ocorrer nas proximidades de áreas desmatadas. A proximidade dos desmatamentos aumenta a probabilidade de ocorrência do fogo, já que o uso do fogo é uma prática comum de manejo em áreas desmatadas e, muitas vezes, o fogo ultrapassa os limites das propriedades e causa incêndios em áreas nas florestas adjacentes. A hipótese nula β_4 foi então rejeitada. A probabilidade de ocorrência do fogo chega a 0 com a distância de 40 km do desmatamento. Este resultado vai ao encontro de observações de estudos realizados na Amazônia Legal que afirmam que áreas desmatadas passam por queimas periódicas e são fontes de ignição de incêndios florestais na Amazônia (UHL; BUSCHBACHER, 1985; UHL; KAUFFMAN, 1990; HOLDSWORTH; UHL, 1997; NEPSTAD; MOREIRA; ALENCAR, 1999; BROADBENT et al., 2008; NEPSTAD et al., 2008).

5.4.2 Análise da distribuição espacial das florestas impactadas pela extração seletiva de madeiras

A extração seletiva também foi identificada como atividade de probabilidade incondicional de 0,7% para ocorrência na Amazônia Legal, mesmo considerando grandes extensões de florestas impactadas por esta atividade (por exemplo, em 2014 quase 40 mil km² de florestas foram detectadas como áreas de extração seletiva de madeiras).

Os anos de 1999 a 2014 foram significativos e apresentaram relação positiva com a ocorrência da extração seletiva (Tabela 18), sendo que o ano 2014 apresentou maior probabilidade (0,44%) e foi o ano com maior área de extração seletiva comparado com 1992, a variável omitida.

Tabela 18 - Análise de regressão probit para a distribuição espacial das florestas impactadas pela extração seletiva de madeiras.

Variável	β	Coefficiente	Erro padrão	z	P>z
Ano 1996	β_{10}	0.1430	0.0897	1.5900	0.1110
Ano 1999	β_{11}	0.4963	0.0799	6.2100	0.0000
Ano 2003	β_{12}	0.6713	0.0770	8.7200	0.0000
Ano 2006	β_{13}	0.6811	0.0770	8.8500	0.0000
Ano 2010	β_{14}	0.6860	0.0773	8.8700	0.0000
Ano 2014	β_{15}	0.8399	0.0763	11.0100	0.0000
Pará		-0.2938	0.0723	-4.0600	0.0000
Tocantins		-0.6665	0.3006	-2.2200	0.0270
Roraima		-0.6677	0.2242	-2.9800	0.0030
Amazonas	β_{16}	-0.6632	0.1071	-6.1900	0.0000
Acre		-0.7881	0.2381	-3.3100	0.0010
Mato Grosso		0.5022	0.0610	8.2300	0.0000
Maranhão		-0.0018	0.0971	-0.0200	0.9850
Floresta Pioneira		0.3997	0.0910	4.3900	0.0000
Savana	β_1	-0.7569	0.1842	-4.1100	0.0000
Área de Tensão Ecológica		0.2277	0.0555	4.1000	0.0000
Floresta Aberta		-0.3992	0.0549	-7.2700	0.0000
Floresta Estacional Semidecidual		-0.1123	0.1351	-0.8300	0.4060
Estrada	β_2	0.00000027	0.0000006	0.3900	0.6950
Cidades	β_8	0.00000499	0.0000009	5.4300	0.0000

Volume de madeira	β_5	0.0070	0.0006	12.3900	0.0000
UC sustentável	β_6	-0.4640	0.0842	-5.5100	0.0000
UC integral	β_6	-0.3943	0.1117	-3.5300	0.0000
Terras Indígenas	β_7	-0.3602	0.0661	-5.4500	0.0000
Polos madeireiros	β_3	-0.00000468	0.00000034	-13.9100	0.0000
Desmatamento	β_4	-0.00001910	0.00000324	-5.9000	0.0000
Constante		-3.1414	0.1140	-27.5600	0.0000

**Log Likelihood = -3665,3698; Pseudo R² = 0,2770

** Ano 1992 omitido; estado de Rondônia omitido; Floresta Densa omitida;

Todos os estados foram significativos na análise, excetuando Maranhão. O estado do Mato Grosso apresentou relação positiva (Tabela 18) com probabilidade de 0,32% de ocorrência de extração seletiva. O estado do Pará, apesar de apresentar grande área de extração seletiva, tem grande extensão territorial e, por isso, a probabilidade de ocorrência da extração seletiva foi negativa e inferior (0,14%) ao Mato Grosso. Assim, a hipótese nula β_{16} foi rejeitada.

Área de Tensão Ecológica e Floresta Pioneira apresentaram relação positiva com a extração seletiva (Tabela 18). Entretanto, Savana e Floresta Aberta tiveram resultados de relação negativa, já que nestes tipos de vegetação não são implementadas a extração seletiva de madeiras típica de florestas tropicais. Floresta Estacional Semidecidual não apresentou diferença significativa em relação a variável Floresta Densa omitida.

A variável estradas não foi significativa na análise, apesar da literatura afirmar (NEPSTAD et al., 2001) que esta variável tem grande peso na ocorrência de extração seletiva na Amazônia Legal, principalmente pelo alto custo de transporte das toras de madeira. A hipótese nula β_2 não foi, então, rejeitada. É possível que as estradas secundárias tenham maior efeito na ocorrência das florestas exploradas seletivamente. No presente estudo foram utilizadas apenas as estradas principais da Amazônia.

Em relação aos polos madeireiros, quanto mais próximo deles, maior a probabilidade de ocorrência da extração seletiva. Afastando-se 80 km dos polos, a probabilidade diminui em 13% para ocorrência de áreas de extração seletiva. A hipótese nula β_3 foi rejeitada. Já a variável cidades apresentou relação positiva, quanto maior a distância de cidades, maior a probabilidade de ocorrência de extração seletiva (Figura 31), portanto a hipótese nula β_8 foi

rejeitada. Isso ocorre porque nas áreas próximas às cidades não há floresta disponível para extração seletiva.

Unidades de conservação de uso sustentável e integral apresentaram probabilidade de 0,1 % de ocorrência de extração seletiva dentro dessas áreas. A hipótese nula β_6 foi rejeitada. Este resultado indica que as UC's diminuem a velocidade da degradação e por consequência, o desmatamento. Porém elas também apresentam tendência crescente da degradação por extração seletiva, como observado no capítulo 4. Além disso, essas as UC's estão sob forte pressão pela demanda de novas áreas para extração seletiva e pasto (PEDLOWSKI et al., 2005), o que indica que é imperativo a fiscalização para evitar futuros desmatamentos em áreas que preservam grande biodiversidade (Tabela 18).

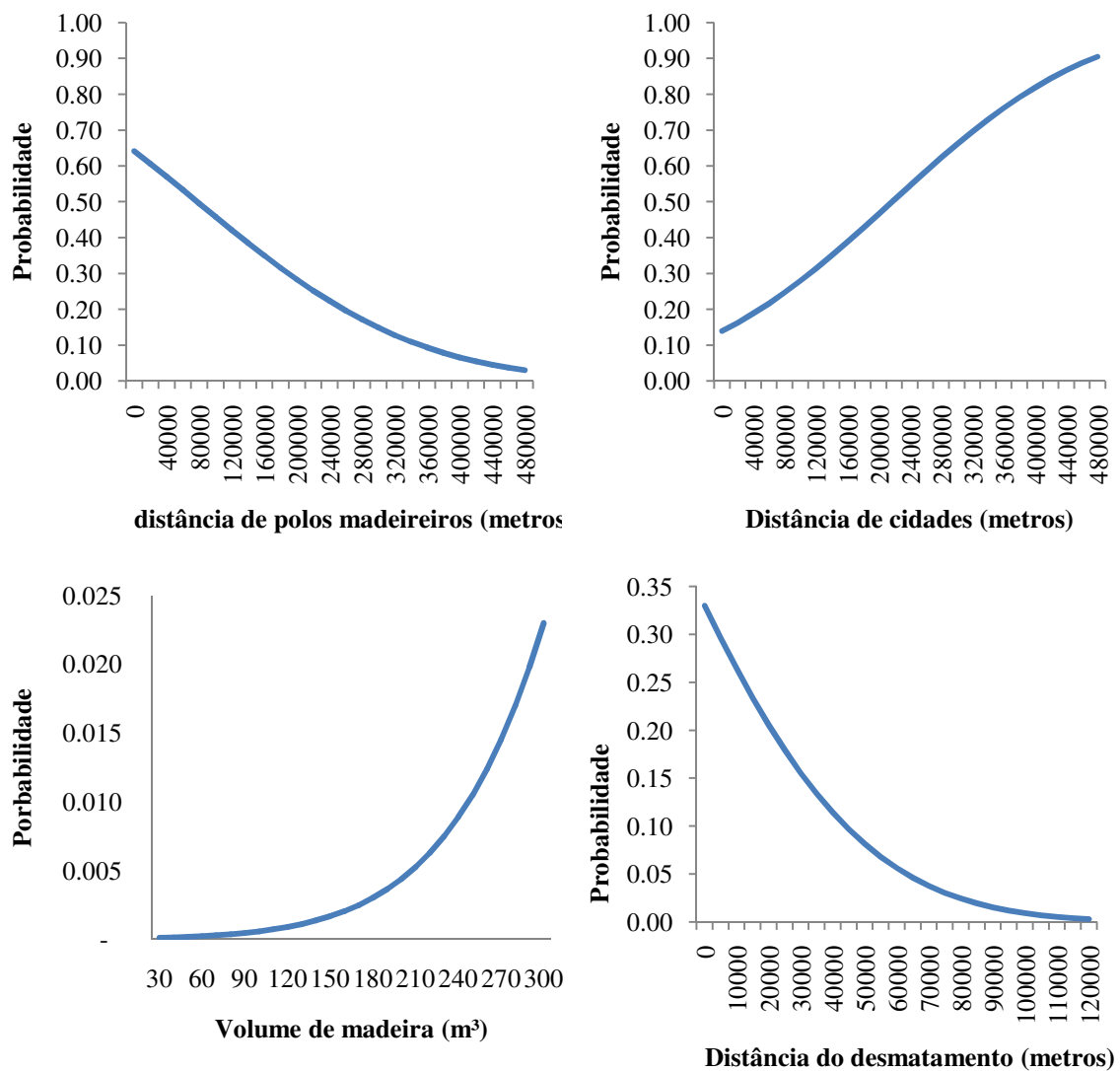


Figura 31 - Probabilidade de ocorrência da extração seletiva em relação às distâncias das variáveis polos madeireiros, cidades, desmatamento e do volume de madeira.

O volume de madeira apresentou relação positiva com a probabilidade de ocorrência de extração seletiva, sendo que quanto maior o volume, maior a ocorrência de extração seletiva. Porém o efeito desta variável no aumento da probabilidade é pequeno (Figura 31).

Ao contrário do observado por Matricardi (2007), em que a variável desmatamento não foi significativa, o desmatamento foi significativo neste estudo e apresentou relação negativa com a ocorrência de extração seletiva. O aumento da distância de áreas desmatadas, diminui a probabilidade de ocorrência de extração seletiva. O aumento de 5 km da distância do desmatamento diminui em 10% a probabilidade de ocorrência de extração seletiva. A hipótese nula β_4 foi rejeitada. No estudo de Matricardi (2007), o autor relata que a escassez de madeira nas antigas fronteiras forçaram a expansão da fronteira do desmatamento em busca de novas fontes de madeira em florestas intactas. Porém, no período atual, observou-se que esses locais de florestas intactas já estão circundados de manchas de desmatamento, diferente do que se observava na década de 90. Portanto, o desmatamento já está próximo as áreas de florestas que são degradadas pela extração seletiva.

5.5 Conclusões

A análise da influência de variáveis espacialmente explícitas (biofísicas e socioeconômicas) na ocorrência de fogo e extração seletiva na Amazônia Legal no período de 1992 a 2014, indicam uma série de efeitos na ocorrência de florestas impactadas pela extração seletiva de madeiras. Todos os anos de análise apresentaram influência na ocorrência da extração seletiva, exceto o ano 1996. Já as áreas de florestas impactadas pelo fogo, apenas os anos 1999, 2006 e 2010 foram significativos. Isto indica que as áreas de florestas impactadas pela extração seletiva na Amazônia foram sequencialmente ampliadas no período de estudo e as áreas de florestas impactadas pelo fogo sofrem efeitos sazonais que podem alterar a sua destruição espacial conforme as peculiaridades de cada ano.

O estado do Mato Grosso apresentou grande relevância na análise da extração seletiva e fogo. A distância de estradas principais foi significativa apenas para a ocorrência do fogo, com pouco efeito sobre as áreas de florestas com extração seletiva de madeiras. O volume de madeira e desmatamento foram significativos na influência para a ocorrência de extração seletiva, sendo que maior o volume, maior a probabilidade de ocorrência destas degradações. A distância de polos madeireiros também apresentou influência significativa para a extração seletiva, sendo que a proximidade com os polos, aumentou a probabilidade de ocorrência da extração seletiva. A precipitação e temperatura foram significativas na ocorrência do fogo,

corroborando com teorias de escassez hídrica e aumento dos incêndios; bem como o aumento da temperatura, que também aumenta a probabilidade de incêndios.

O estudo das variáveis que influenciam na ocorrência dos eventos de degradação por extração seletiva de madeiras e fogo na Amazônia Legal são fundamentais para o mapeamento geográfico das áreas com maior "risco" de serem degradadas por estes processos. O que implica em maior controle dessas áreas, com o propósito de frear possíveis degradações que levem a um futuro desmatamento de florestas nativas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS DA PESQUISA

6.2 Estudo no contexto global

A área mundial de florestas na década de 90 era de 41.300.000 km² (31,8%). No ano de 2015 essa área diminuiu para 40 milhões de km² (30,8%)(BANK, 2016). Deste valor, 50% pertencem a Florestas tropicais, que apresentam as maiores taxas de desmatamento (4 a 8%). A América Central e América do Sul concentram 60% das florestas tropicais, que são o habitat de aproximadamente 80% das espécies de todo o mundo (IUCN, 1997).

As florestas tropicais são responsáveis pelo estoque de 20% do carbono, o que corresponde a 440 bilhões de toneladas de estoque de carbono global (FAO, 2016b). Porém, a FAO (2016b) estima que a perda de cobertura florestal de florestas tropicais tenha sido de quase 1.600.000 km² no período de 2000 a 2012 pela degradação. O desmatamento e a degradação são atualmente responsáveis pela emissão de 7 a 14% do total de emissões de carbono provindas de atividades humanas (HARRIS et al., 2012; ACHARD et al., 2014). A perda de carbono em função do desmatamento e degradação, somado ao aumento da liberação de gases do efeito estufa estão levando a mudanças na temperatura em todo o mundo (IPCC, 2014b).

Este estudo englobou 22 anos de análise de dados, período de 1992 a 2014, em que foram mapeados degradação pelo fogo e extração seletiva na Amazônia Legal. O estudo envolveu a análise de 37 cenas do satélite Landsat 5 TM para os anos 1992, 1996 e 1999; e 80 cenas dos satélites Landsat 5 e 8, sensores TM e OLI, respectivamente, para os anos 2003, 2006, 2010 e 2014, totalizando 431 cenas. Este estudo foi mais abrangente que estudos prévios de degradação na Amazônia brasileira, pois incluiu um extenso período de análise e incluiu todos os estados da Amazônia Legal. Além disso, foi estimado o total de áreas degradadas que foram desmatadas nos anos subsequentes à degradação, que revelou que as áreas degradadas têm preferência ao desmatamento. Desta forma, a degradação parece ser precursora do desmatamento na Amazônia. Este fato gera grande preocupação, já que uma floresta tropical pode levar mais de 200 anos para recuperação após distúrbios severos (COLE; BHAGWAT; WILLIS, 2014).

Os resultados encontrados com o presente estudo mostraram um aumento expressivo da degradação florestal na Amazônia, de 11.800 km² para 46.789 km² no período de 1992 a 2014. A extração seletiva foi responsável por 72% de toda a degradação, enquanto o fogo foi responsável por 28%. Tais fenômenos precisam ser devidamente considerados em estudos de

mudanças climáticas, pois ainda são processos pouco quantificados nas emissões dos gases de efeito estufa (PEARSON; BROWN; CASARIM, 2014). Esses fenômenos de degradação também devem ser considerados na definição de políticas de comando e controle para a Amazônia, pois são áreas expressivamente grandes que estão se expandindo para diversas áreas fora do arco do desmatamento na região de estudo, que servem como orientação para o alcance do desmatamento na Amazônia brasileira. Além disso, estas informações são relevantes para a orientação de políticas públicas e aumento da fiscalização das áreas degradadas ilegalmente na Amazônia brasileira.

A floresta Amazônica tem um papel importante no aumento da eficácia dos esforços de mitigação do clima (VENTER; KOH, 2012). Estudos mostram (BRANDO et al., 2014; BEDIA et al., 2015; DUFFY et al., 2015) que as mudanças do clima irão afetar a frequência dos períodos de seca e umidade em diferentes regiões da Amazônia, o que aumentará a intensidade de incêndios florestais, da mortalidade de árvores e das emissões de carbono. Neste contexto, a umidade tem papel importante na determinação do balanço de carbono na Amazônia e com o aumento de extremos na precipitação e, ainda, o aumento da temperatura em função das mudanças do clima, a Amazônia pode diminuir o sequestro do carbono (GATTI et al., 2014).

Em comparação com as emissões provenientes do desmatamento, a extração seletiva tem grande significância como fonte de emissão de gases do efeito estufa, o equivalente a 12% o desmatamento (PEARSON; BROWN; CASARIM, 2014) e, em um outro estudo conduzido no período de 2007 a 2013 (AGUIAR et al., 2016), a extração seletiva e o fogo foram responsáveis por 47% (média bruta das emissões) do desmatamento ocorrido no mesmo período na Amazônia. De acordo Aguiar et al. (2016) a regeneração dessas florestas pode compensar parcialmente essas emissões. O fogo também tem papel importante, aumentando a perda de biomassa e as emissões de gases de efeito estufa, principalmente nos períodos de seca (VASCONCELOS et al., 2013). Portanto, a redução das emissões de carbono provenientes de degradação e também de desmatamentos constituem importantes estratégias para mitigação do clima, principalmente na Amazônia que representa uma floresta extensa inserida em um país em desenvolvimento (ARIMA et al., 2014).

A implementação do REDD+ (*Reducing Emissions from Forest Deforestation and Forest Degradation*) se torna, portanto, importante na Amazônia, devido a dimensão dessa floresta, do aumento da degradação no período de análise e o alto potencial para sequestro de

carbono. Além disso, o REDD+ tem o potencial de proteção da floresta e melhora da implementação do manejo florestal (PELLETIER; KIRBY; POTVIN, 2012).

Deve ser considerado também a extração seletiva de impacto reduzido, que tem potencial significativo de reduzir o impacto das emissões causadas pelo desmatamento, pois estudos comprovaram que áreas de extração seletiva submetidas a técnicas de impacto reduzido causam menos emissão de gases de efeito estufa que a extração convencional (MILLER et al., 2011; MARTIN et al., 2015). Por fim, a extração de impacto reduzido é uma estratégia para o manejo de florestas tropicais, pois minimiza os riscos potenciais do clima (MILLER et al., 2011).

6.2 Revisita das questões de pesquisa

1- Qual a dinâmica da degradação florestal na Amazônia no período entre 1992 e 2014?

Os resultados encontrados no estudo mostraram que a degradação por extração seletiva e fogo na Amazônia Legal aumentou no período analisado. Os incrementos de fogo e extração seletiva obtidos revelaram aumento de 5.468 km² para 23.794 km² nos anos 1992 e 2010, respectivamente. O incremento apenas da extração seletiva aumentou de 2.391 km² para 16.194 km², nos anos de 1992 e 2014, respectivamente. Em relação ao fogo, o incremento se manteve constante, com exceção ao ano de 2010, em que o incremento subiu para 9.567 km².

2-Existe uma tendência das florestas degradadas serem desmatadas?

Apesar de estudos (NEPSTAD et al., 1999; ASNER et al., 2006) relatarem a degradação de florestas nativas como precursoras do desmatamento, os resultados deste estudo mostraram que pequenas áreas degradadas por fogo e extração seletiva foram desmatadas nos anos subsequentes à degradação. Este fato não elimina os efeitos deletérios da degradação nas florestas nativas, nem o impacto causado nas mesmas. Além disso, observou-se que, em alguns anos, a extração seletiva contribuiu com mais de 45% para o incremento do desmatamento na Amazônia Legal. Portanto, as áreas degradadas por extração seletiva têm preferência para o desmatamento subsequente. A extração seletiva pode aumentar a suscetibilidade ao fogo, já que deixa abertura no dossel e grande quantidade de matéria morta (UHL; BUSCHBACHER, 1985; UHL; KAUFFMAN, 1990; HOLDSWORTH; UHL, 1997; COCHRANE; SCHULZE, 1998; NEPSTAD et al., 1998; UHL, 1998; FEARNSIDE, 1999); bem como pode aumentar a fragmentação dos habitats e aumento de bordas, o que deixa as

manchas de florestas mais vulneráveis à ação do fogo (BROADBENT et al., 2008). Além disso, a degradação por fogo tem grande impacto na cobertura florestal, com diminuição de até 28% do dossel (MATRICARDI et al., 2013).

3- Por que a degradação florestal ocorre em alguns locais e não em outros?

As maiores áreas de degradação por extração seletiva foram localizadas nos estados de Mato Grosso, Pará e Rondônia, próximo aos principais eixos de transporte madeireiro da Amazônia, aos polos madeireiros e as estradas. As atividades florestais estão relacionadas, provavelmente, ao custo de transporte da madeira (MATRICARDI, 2007). A extração seletiva está se expandindo na Amazônia Legal, avançando dentro do estado do Amazonas e se inserindo em áreas de fronteiras. O fogo também se expandiu, em menor escala, dentro da Amazônia Legal. Essa tendência de expansão pode levar, em um futuro breve, o surgimento de novos arcos do desmatamento a oeste do estado do Pará e Mato Grosso e ao norte do estado de Rondônia.

4- A degradação florestal aumentou no período de estudo?

A degradação por extração seletiva aumentou 6.000 km² no período de 2010 a 2014. Os estados de Mato Grosso e Pará juntos foram responsáveis por 80% da degradação por extração seletiva ocorrida no ano de 2014. Apesar da extração seletiva ter aumentado no período no ano 2014, a degradação como um todo (extração seletiva e fogo somados) diminuiu, pois o ano de 2010 apresentou valor de áreas de incêndios florestais muito superior ao ano de 2014, de 23.394 km².

5 - Quais são as variáveis que influenciam na probabilidade de ocorrência do fogo e extração seletiva na Amazônia Legal?

As variáveis mais importantes para ocorrência do fogo em florestas na Amazônia Legal foram o desmatamento, precipitação, temperatura, os estados do Mato Grosso, Acre e Pará e ainda os anos 2006 e 2010. Já para a ocorrência da extração seletiva, as variáveis mais importantes foram distância de polos madeireiros e de cidades, volume de madeira e desmatamento. Todos os anos, com exceção ao ano 1996, apresentaram relação positiva com a ocorrência de extração seletiva, bem como o estado do Mato Grosso. Estas variáveis indicam, portanto, as áreas da Amazônia Legal mais suscetíveis aos processos de degradação e que devem ter maior controle no intuito de minimizar futuros desmatamentos.

6.3 Revisitando as hipóteses

Hipótese 1: A degradação na Amazônia aumentou substancialmente na última década.

Esta hipótese pode ser considerada como verdadeira, pois os resultados obtidos apontam um aumento de 800% das áreas de floresta nativa que foram degradadas por extração seletiva entre 1992 e 2014. Considerando os dados obtidos neste estudo, pode-se afirmar que ocorreu um aumento significativo da extração seletiva em todo o período de análise. O ano mais expressivo em relação ao aumento da extração seletiva ocorreu em 2014, em que 6 mil km² de floresta nativa foram degradados. Além disso, a extensão da degradação está aumentando na Amazônia Legal. No estudo conduzido por Matricardi (2007) foram detectadas atividades de extração de madeira e fogo em 37 cenas do satélite Landsat 5 TM; no presente estudo, a degradação por extração seletiva e fogo foram detectadas em 80 cenas do satélite Landsat 5 e 8.

Hipótese 2: A extração seletiva é precursora do desmatamento.

Apesar de estudos afirmarem que áreas de extração seletiva estão sendo desmatadas nos anos seguintes à degradação (NEPSTAD et al., 1999; ASNER et al., 2005; ASNER et al., 2006), este estudo mostrou resultados contrários. Portanto, esta hipótese não pode ser aceita, pois os resultados revelaram que pequenas áreas de extração seletiva e fogo estão sendo desmatadas nos anos subsequentes à degradação. Apesar disso, áreas de extração seletiva têm preferência ao desmatamento, como foi observado pela contribuição da extração seletiva no incremento do desmatamento. A estimativa de florestas impactadas por corte seletivo e fogo convertidas em áreas de agricultura ou pecuária para o período deste estudo indicaram com maior robustez a relação entre estes fenômenos de degradação florestal como precursores do desmatamento.

Hipótese 3: A extração seletiva e o fogo são processos de degradação que estão associados na Amazônia.

Esta hipótese não pode ser aceita, pois os resultados obtidos neste estudo mostraram que a extensão de áreas que são degradadas simultaneamente por fogo e extração seletiva é pequena em relação à degradação total na Amazônia Legal. Essas áreas representaram apenas 2% de toda a área degradada, pouco relevante em relação à área total degradada, não representam, portanto, um padrão na Amazônia Legal. No entanto, a extração seletiva pode

aumentar a suscetibilidade ao fogo, como relatado na literatura (UHL; BUSCHBACHER, 1985; UHL; KAUFFMAN, 1990; HOLDSWORTH; UHL, 1997; COCHRANE; SCHULZE, 1998; NEPSTAD et al., 1998; UHL, 1998; FEARNSIDE, 1999). E o fogo tem grande influência de outras variáveis, como secas severas (*El Niño*), fragmentação e áreas de pecuária adjacentes submetidas à queimas periódicas. Por fim, neste estudo, a extração seletiva não parece ser o fator de maior importância no aumento dos incêndios em florestas, devido à pequena extensão de áreas que sofreram os dois processos de degradação simultaneamente.

Hipótese 4: Variáveis que representam características físicas e de ocupação do solo (tipo de vegetação, precipitação, temperatura, desmatamento, volume de madeira, proximidade de estradas, cidades e polos madeireiros) explicam a probabilidade de ocorrência e a distribuição da extração seletiva e do fogo na Amazônia Legal.

Esta hipótese não pode ser rejeitada. Os resultados da análise de regressão probit mostraram que a maioria das variáveis estudadas consideradas neste estudo tem efeito significativo para explicar a ocorrência do fogo e extração seletiva na Amazônia Legal. Os resultados obtidos na análise espacial são fundamentais para a definição de estratégias de comando e controle e para a definição de políticas de sustentabilidade do setor florestal na Amazônia brasileira, pois implicam no conhecimento das variáveis que influenciam na ocorrência dos processos de degradação. Além disso, o conhecimento destas variáveis é fundamental para a modelagem futura de áreas de risco de degradação e desmatamento na Amazônia e estudos de mudanças climáticas.

6.4 Estudos futuros

Neste estudo foram analisados 22 anos de degradação por extração seletiva e fogo na Amazônia Legal e ainda o desmatamento dessas áreas nos anos subsequentes à degradação. Além disso, foram analisadas áreas que passaram por extrações seletivas e fogo periodicamente. Novos estudos abrangendo melhor resolução temporal, espacial e espectral podem ser úteis para mapeamento da degradação que não pode ser detectada pelo satélite Landsat. Isso inclui a utilização de novas tecnologias, como o Lidar que tem sido atualmente utilizado para mapeamento da degradação por extração seletiva (KELLER et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2012; ANDERSEN et al., 2014) e ainda o uso de radar (JOSHI et al., 2015). O mapeamento e análise da degradação anualmente também podem auxiliar no melhor

entendimento da interação entre o fogo e a extração seletiva, determinando se esses processos estão realmente associados como descrito na literatura.

A análise das variáveis que influenciam na ocorrência da extração seletiva e do fogo no período de 1992 a 2014 possibilitou o entendimento da dinâmica destes processos, e podem servir de base para estudo de modelagem do desmatamento, considerando os processos de degradação. Além disso, o cenário atual de mudanças climáticas deve considerar de forma mais significativa a influência dos processos de degradação por extração seletiva e fogo. Por fim, a simulação de cenários futuros da degradação por extração seletiva e fogo pode auxiliar no suporte a políticas públicas no intuito de equilibrar a extração madeireira e desenvolvimento da Amazônia com a sustentabilidade das florestas nativas que restam nesta região.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABI-EÇAB, P.C. Principais ameaças ao meio ambiente em terras indígenas. **Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas**, n. 3, p. 01-17, 2011.

ACHARD, F., BEUCHLE, R., MAYAUX, P., STIBIG, H.J., BODART, C., BRINK, A., CARBONI, S., DESCLÉE, B., DONNAY, F., EVA, H.D., LUPI, A., RASI, E., SELIGER, R., SIMONETTI, D. Determination of tropical deforestation rates and related carbon losses from 1990 to 2010. **Global Change Biology**, v. 20, n. 8, p. 2540-2554, 2014.

AGUIAR, A.P.D., VIEIRA, I.C.G., ASSIS, T.O., DALLA-NORA, E., TOLEDO, P.M., SANTOS-JÚNIOR, R.A.O., BATISTELLA, M., COELHO, A.S., SAVAGET, K.E., ARAGÃO, L.E.O.C., NOBRE, C.A., OMETTO, J.P.H. Land use change emission scenarios: anticipating a forest transition process in the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 22, p. 1821-1840, 2016.

ALENCAR, A., NEPSTAD, D., VERA DIAZ, M.D.C. Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO and non-ENSO years: are burned and committed carbon emissions. **Earth Interactions**, v. 10, p. 1-18, 2006.

ALENCAR, A., NEPSTAD, D.C., MCGRATH, D., MOUTINHO, P., PACHECO, P., DIAZ, M.D.C.V., FILHO, B.S. **Desmatamento na Amazônia: Indo além da "Emergência Crônica"**. Belém, PA: IPAM, 2004. 89p.

ALENCAR, A.A., BRANDO, P.M., ASNER, G.P., PUTZ, F.E. Landscape fragmentation, severe drought, and the new Amazon forest fire regime. **Ecological Applications**, v. 25, n. 6, p. 1493-1505, 2015.

ALENCAR, A.A.C., SOLÓRZANO, L.A., NEPSTAD, D.C. Modeling forest understory fires in an eastern Amazonian landscape. **Ecological Applications**, v. 14, n. 4, p. S139-S149, 2004.

AMARAL, P., VERISSIMO, A., BARRETO, P., VIDAL, E. **Floresta para sempre: um manual para a produção de madeira na Amazônia**. Belém: IMAZON, 1998. 130p.

ANDERSEN, H.-E., REUTEBUCH, S.E., MCGAUGHEY, R.J., AMP, AMP, APOS, OLIVEIRA, M.V.N., KELLER, M. Monitoring selective logging in western Amazonia with repeat lidar flights. **Remote Sensing of Environment**, v. 151, p. 157-165, 2014.

ANDERSON, L.O.,ARAGÃO, L.E.O.C.,GLOOR, M.,ARAI, E.,ADAMI, M.,SAATCHI, S.S.,MALHI, Y.,SHIMABUKURO, Y.E.,BARLOW, J.,BERENGUER, E.,DUARTE, V. Disentangling the contribution of multiple land covers to fire-mediated carbon emissions in Amazonia during the 2010 drought. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 29, p. 1739-1753, 2015.

ANDRADE, R.B.,BARLOW, J.,LOUZADA, J.,VAZ-DE-MELLO, F.Z.,SILVEIRA, J.M.,COCHRANE, C.M. Tropical forest fires and biodiversity: dung beetle community and biomass responses in a northern Brazilian Amazon forest. **Journal of Insect Conservation**, v. 18, p. 1097-1104, 2014.

ANWAR, S.,STEIN, A. Detection and spatial analysis of selective logging with geometrically corrected Landsat images. **International Journal Of Remote Sensing**, v. 33, n. 24, p. 7820-7843, 2012.

ARIMA, E.Y.,BARRETO, P.,ARAÚJO, E.,SOARES-FILHO, B. Public policies can reduce tropical deforestation: Lessons and challenges from Brazil. **Land Use Policy**, v. 41, p. 465-473, 2014.

ARMENTERAS, D.,GONZÁLEZ, T.M.,RETANA, J. Forest fragmentation and edge influence on fire occurrence and intensity under different management types in Amazon forests. **Biological Conservation**, v. 159, p. 73-79, 2013.

ASNER, G.P.,BROADBENT, E.N.,OLIVEIRA, P.J.C.,KELLER, M.,KNAPP, D.E.,SILVA, J.N.M. From the Cover: Condition and fate of logged forests in the Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 103, n. 34, p. 12947-12950, 2006.

ASNER, G.P.,KELLER, M.,LENTINI, M.,MERRY, F.,SOUZA C.M, J. Selective Logging and its relation to deforestation. **Amazonia and Global Change**, v. 186, p. 25-42, 2009.

ASNER, G.P.,KELLER, M.,PEREIRA, R.,ZWEDE, J.C. Remote sensing of selective logging in Amazonia: Assessing limitations based on detailed field observations, Landsat ETM+, and textural analysis. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, n. 3, p. 483-496, 2002.

ASNER, G.P.,KELLER, M.,PEREIRA, R.,ZWEDE, J.C.,SILVA, J.N.M. Canopy Damage and Recovery after Selective Logging in Amazonia: Field and Satellite Studies. **Ecological Applications**, v. 14, n. 4, p. S280-S298, 2004.

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**, v. 310, n. 5747, p. 480-482, 2005.

BALCH, J.K., BRANDO, P., NEPSTAD, D., COE, M.T., SILVÉRIO, D., MASSAD, T.J., DAVIDSON, E.A., LEFEBVRE, P., OLIVEIRA-SANTOS, C., ROCHA, W., CURY, R.T.S., PARSONS, A., CARVALHO, K.S. The susceptibility of southeastern Amazon forests to fire: insights from a large-scale burn experiment. **BioScience**, v. 65, n. 9, p. 894-906, 2015.

BALCH, J.K., NEPSTAD, D., BRANDO, P., CURRAN, L.M., PORTELA, O., CARVALHO JR, O., LEFEBVRE, P. Negative fire feedback in a transitional forest of southeastern Amazonia. **Global Change Biology**, v. 14, p. 2276-2287, 2008.

BANK, W. Global Forest area. 2016. Disponível em: <
<http://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.FRST.K2?end=2015&start=1990&view=chart>
>. Acesso em: 08/08/2016.

BARLOW, J., PARRY, L., GARDNER, T.A., FERREIRA, J., ARAGÃO, L.E.O.C., CARMENITA, R., BERENQUER, E., VIEIRA, I.C.G., SOUZA C.M, J., COCHRANE, C.M. The critical importance of considering fire in REDD+ programs. **Biological Conservation**, v. 154, p. 1-8, 2012.

BARRETO, P., SOUZA C.M, J. An alternative for detecting and monitoring selectively logging forests in the Amazon. **International Journal Of Remote Sensing**, v. 21, n. 1, p. 173-179, 2000.

BARROS, H.S., FEARNSIDE, P. Soil carbon stock changes due to edge effects in central Amazon forest fragments. **Forest Ecology And Management**, v. 379, p. 30-36, 2016.

BEDIA, J., HERRERA, S., GUTIÉRREZ, J.M., BENALI, A., BRANDS, S., MOTA, B., MORENO, J.M. Global patterns in the sensitivity of burned area to fire-weather: implications for climate change. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 214-215, p. 369-379, 2015.

BERENQUER, E., FERREIRA, J., GARDNER, T.A., ARAGÃO, L.E.O.C., CAMARGO, P.B., CERRI, C.C., DURIGAN, M., OLIVEIRA, R.C.J., VIEIRA, I.C.G., BARLOW, J. A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forests. **Global Change Biology**, v. 20, n. 12, p. 3713-3726, 2014.

BOSCHI, L.S., GALO, M.D.L.B.T. Análise da incerteza na representação de classes de cobertura do solo urbano resultantes da aplicação de uma rede neural artificial. **Boletim de Ciências Geodesicas**, v. 13, n. 1, p. 22-41, 2007.

BOUCHER, D., ELIAS, P., LININGER, K., MAY-TOBIN, C., ROQUEMORE, S., SAXON, E. **The Root of the Problem: What's Driving Tropical Deforestation Today?** Cambridge, MA: SCIENTISTS, U.O.C., 2011. 113p.

BRANDO, P.M.,BALCH, J.K.,NEPSTAD, D.C.,MORTON, D.C.,PUTZ, F.E.,COE, M.T.,SILVÉRIO, D.,MACEDO, M.N.,DAVIDSON, E.A.,NÓBREGA, C.C.,ALENCAR, A.,SOARES-FILHO, B.S. Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought- fire interactions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 111, n. 17, p. 6347, 2014.

BROADBENT, E.N.,ASNER, G.P.,KELLER, M.,KNAPP, D.E.,OLIVEIRA, P.J.C.,SILVA, J.N. Forest fragmentation and edge effects from deforestation and selective logging in the Brazilian Amazon. **Biological Conservation**, v. 141, n. 7, p. 1745-1757, 2008.

CANO-CRESPO, A.,OLIVEIRA, P.J.C.,BOIT, A.,CARDOSO, M.,THONICKE, K. Forest edge burning in the Brazilian Amazon promoted by escaping fires from managed pastures. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 120, p. 2095-2107, 2015.

CARVALHO, J.R.P.,ASSAD, E.D.,PINTO, H.S. Interpoladores geoestatísticos na análise da distribuição espacial da precipitação anual e de sua relação com altitude. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1235-1242, 2012.

CAVIGLIA-HARRIS, J.,SILLS, E.,BELL, A.,HARRIS, D.,MULLAN, K.,ROBERTS, D. Bustinb the boom-bust pattern of development in the Brazilian Amazon. **World Development**, v. 79, p. 82-96, 2015.

CDB. **Review of the status and trends of, and major threats to, the forest biological diversity**. Montreal, Quebec: Convention on Biological Diversity, 2002. 168p. (Technical Series N. 7).

CDB. **Report of the Inter-Sessional (second) meeting of the AHTEG on the review of implementation of the programme of work on forest biological diversity**. Montreal, Quebec: DIVERSITY, C.O.B., 2005. (UNEP/CDB/SBSTTA/11/INF/2).

CHANDER, G.,MARKHAM, B.L.,HELDER, D.L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, n. 5, p. 893-903, 2009.

CHIU, W.Y.,COULOIGNER, I. Evaluation of incorporating texture into wetland from multispectral images. **EARSel eProceedings**, v. 3, p. 8, 2004.

CLAUSI, D.A.,ZHAO, Y. Rapid extraction of image texture by co- occurrence using a hybrid data structure. **Computers and Geosciences**, v. 28, n. 6, p. 763-774, 2002.

COCHRANE, C.M.,SCHULZE, M.D. Fire as a Recurrent Event in Tropical Forests of the Eastern Amazon: Effects on Forest Structure, Biomass, and Species Composition. **Biotropica**, v. 31, n. 1, p. 2-16, 1999.

COCHRANE, M. Fire science for rainforests. **Nature**, v. 421, n. 6926, p. 913-9, 2003.

COCHRANE, M.A. In the line of fire Understanding the Impacts of Tropical Forest Fires. **Environment**, v. 43, n. 8, p. 28, 2001a.

COCHRANE, M.A. Synergistic Interactions between Habitat Fragmentation and Fire in Evergreen Tropical Forests **Conservation Biology**, v. 15, n. 6, p. 1515-1521, 2001b.

COCHRANE, M.A.,ALENCAR, A.,SCHULZE, M.D.,SOUZA C.M, JR.,NEPSTAD, D.C.,LEFEBVRE, P.,DAVIDSON, E.A. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. **Science**, v. 284, n. 5412, p. 1832, 1999.

COCHRANE, M.A.,SCHULZE, M.D. Forest Fires in the Brazilian Amazon. **Conservation Biology**, v. 12, n. 5, p. 948-950, 1998.

COCHRANE, M.A.,SOUZA JR, C.M. Linear mixture model classification of burned forests in the Eastern Amazon. **International Journal Of Remote Sensing**, v. 19, n. 17, p. 3433-3440, 1998.

COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scales. **Education and Psychological Measurement**, v. 20, p. 37-46, 1960.

COLE, L.E.S.,BHAGWAT, S.A.,WILLIS, K.J. Recovery and resilience of tropical forests after disturbance. **Nature communications**, v. 5, p. 1 - 7, 2014.

CONGALTON, R.G. A Review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 37, p. 35-46, 1991.

COSTA, O.B.,MATRICARDI, E.A.T.,PEDLOWSKI, M.,COCHRANE, C.M.,FERNANDES, C. Spatiotemporal mapping of soybean plantations in Rondônia, Western Brazilian Amazon. **Acta Amazônia**, v. 47, n. 1, p. 29-38, 2017.

DAI, X.,KHORRAM, S. The effects of image misregistration on the accuracy of remotely sensed change detection. **IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 5, p. 1566-1577, 1998.

DUFFY, P.B.,BRANDO, P.,ASNER, G.P.,FIELD, C.B. Projections of future meteorological drought and wet periods in the Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States**, v. 112, n. 43, p. 13172 - 13177, 2015.

DYKSTRA, D.P. **Reduced impact logging: concepts and issues**. In: ENTERS, T., DURST, P.B., APLEGATE, G.B., KHO, P.C.S., MAN, G., International conference on the application of Reduced Impact Logging to Advance Sustainable Forest Management: constraints, challenges and opportunities, 2001, Kuching, Malaysia. FAO. p.526.

ELHADI, E.M., ZOMRAWU, N. Object-based land use/cover extraction from Quick-Bird image using decision tree. **Nature and Science**, v. 7, n. 10, p. 32-36, 2009.

ENVI. **ENVI's users guide. Chapter 8, texture**: 1150 p. 2004.

FAO. **Global Ecological Zoning for the Global Forest Resources Assessment 2000**. Rome: STATES, F.A.A.O.O.T.U., 2000. 211p. (Forest Resources Assessment- WP56).

FAO. **Second Expert Meeting on Harmonizing forest-related definitions for use by various stakeholders** Rome: FAO: 201 p. 2002.

FAO. **Global Forest Resources Assessment 2005: Progress towards sustainable forest management**. Rome: STATES, F.A.A.O.O.T.U., 2005. 320p. (FAO Forestry Paper 147).

FAO. **Global forest resources assessment 2015**. Roma: FAO, 2016a. 54p.

FAO. The role of forests in the global carbon budget. 2016b. Disponível em: < www.fao.org/ >. Acesso em: 08/08/2016.

FEARNSIDE, P. The Potential of Brazil's Forest Sector for Mitigating Global Warming under the Kyoto Protocol. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 6, n. 3, p. 355-372, 2001.

FEARNSIDE, P.M. **The main resources of Amazonia**. Latin American Studies Association (LASA) XX International Congress Guadalajara, Mexico: 3 p. 1997.

FEARNSIDE, P.M. Biodiversity as an environmental service in Brazil's Amazonian forests: risks, value and conservation. **Environmental Conservation**, v. 26, n. 4, p. 305-321, 1999.

FELDPAUSCH, T.R., JIRKA, S., PASSOS, C.A.M., JASPER, F., RIHA, S.J. When big trees fall: Damage and carbon export by reduced impact logging in southern Amazonia. **Forest Ecology And Management**, v. 219, n. 2, p. 199-215, 2005.

FILHO, H.T.B. Terras Indígena na Amazônia hoje: fraturas na narrativa hegemônica. In: BRASÍLIA, E.U.D. (Ed.). **Terras e territórios na Amazônia: demandas, desafios e perspectivas**. Brasília: Universidade de Brasília, 2011. cap. 10, p.426.

FOLEY, J.A.,ASNER, G.P.,COSTA, M.H.,COE, M.T.,DEFRIES, R.,GIBBS, H.K.,HOWARD, E.A.,OLSON, S.,PATZ, J.,RAMANKUTTY, N.,SNYDER, P. **Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin**. 5: 25-32 p. 2007.

FOODY, G.M. On the compensation for chance agreement in image classification accuracy assessment. . **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 58, n. 10, p. 1459-1460, 1992.

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

FRANKLIN, S.E.,MAUDLE, A.J.,LAVIGNE, M.B. Using Spatial Co-occurrence Texture to Increase Forest Structure and Species Composition Classification Accuracy. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 67, n. 7, p. 6, 2001.

GATTI, L.V.,GLOOR, M.,MILLER, S.D.,DOUGHTY, C.E.,MALHI, Y.,DOMINGUES, L.G.,BASSO, L.S.,MARTINEWSKI, A.,CORREIA, C.S.C.,BORGES, V.F.,FREITAS, S.,BRAZ, R.,ANDERSON, L.O.,ROCHA, H.,GRACE, J.,PHILIPS, O.L.,LLOYD, J. Drought sensitivity of Amazonian carbon balance revealed by atmospheric measurements **Nature**, v. 506, p. 76-80, 2014.

GATTI, R.C.,CASTALDI, S.,LINDELL, J.A.,COOMES, D.A.,MARCHETTI, M.,MAESANO, M.,DI PAOLA, A.,PAPARELLA, F.,VALENTINI, R. The impact of selective logging and clearcutting on forest structure, tree diversity and above-ground biomass of African tropical forests. **Ecological Research**, v. 30, p. 119-132, 2015.

GERWING, J.,JOHNS, J.,VIDAL, E. Reducing waste during logging and log processing: forest conservation in Eastern Amazonia. **UNASYLVA - FAO**, p. 17-25, 1996.

GERWING, J.J. Degradation of forests through logging and fire in the eastern Brazilian Amazon. **Forest Ecology And Management**, v. 157, n. 1, p. 131-141, 2002.

GODAR, J.,GARDNER, T.A.,TIZADO, E.J.,PACHECO, P. Actor- specific contributions to the deforestation slowdown in the Brazilian Amazon.(Report)(Author abstract). **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States**, v. 111, n. 43, p. 15591, 2014.

GOOVAERTS, P. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. **Journal of Hydrology**, v. 228, p. 113-129, 2000.

GOPAL, S., WOODCOCK, C. Theory and methods for accuracy assessment of thematic maps using fuzzy sets. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 60, p. 181-188, 1994.

GUTIÉRREZ-VÉLEZ, V., URIARTE, M., DEFRIES, R., PINEDO-VÁSQUEZ, M., FERNANDES, K., CECCATO, P., BAETHGEN, W.E., PADOCH, C. Land cover change interacts with drought severity to change fire regimes in Western Amazonia. **Ecological Applications**, v. 24, n. 6, p. 1323-1340, 2014.

HAMBURGUER, D.S., FORESTI, C. Utilização de atributos, de textura e da morfologia matemática na definição de classes de uso do solo urbano. **Revista Brasileira de Ecologia**, v. 1, n. 2, p. 1997.

HANSEN, J., RUEDY, R., SATO, M., LO, K. Global Surface temperature change. **Reviews of Geophysics**, v. 48, p. 29, 2010.

HANSEN, J., SATO, M., RUEDY, R. Perception of climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States**, v. 109, n. 37, p. E2415-E2423, 2012.

HARALICK, R.M., SHANMUGAM, K., DINSTEN, I.H. Textural Features for Image Classification. **IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics**, v. SMC-3, n. 6, p. 11, 1973.

HARRIS, L.D. **The Fragmented Forest: Island Biogeography Theory and the Preservation of Biotic Diversity** Chicago and London: University of Chicago Press, 1984. 230p.

HARRIS, L.N., BROWN, S., HAGEN, S.C., SAATCHI, S.S., PETROVA, S., SALAS, W., HANSEN, M.C., POTAPOV, P.V., LOTSCH, A. Baseline map of carbon emissions from deforestation in tropical regions. **Science**, v. 336, n. 6088, p. 1573-1576, 2012.

HAUGAASEN, T., BARLOW, J., PERES, C.A. Surface wildfires in central Amazonia: short-term impact on forest structure and carbon loss. **Forest Ecology And Management**, v. 179, p. 321-331, 2003.

HOLDSWORTH, A.R., UHL, C. Fire in Amazonian selectively logged rain forest and the potential for fire reduction. **Ecological Applications**, v. 7, n. 2, p. 713-725, 1997.

HUANG, M., ASNER, G.P. Long-term carbon loss and recovery following selective logging in Amazon forests. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 24, n. 3, p. 1-15, 2010.

IBGE. Estatísticas de populações indígenas. Brasil, 2010. Disponível em: < www.ibge.gov.br >. Acesso em: 06/07/2016.

IBGE. Área plantada de soja na Amazônia Legal. 2015. Disponível em: < www.ibge.gov.br/ >. Acesso em: 25/08/2016.

IBGE. Volume de madeira na Amazônia Legal., 2016. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/> >. Acesso em: 29/10/2016.

IMAZON. Desmatamento e Degradação florestal no Bioma Amazônia 2000 - 2010. Brasil, 2010. Disponível em: < www.imazon.org.br >. Acesso em: 28/06/2016.

IMAZON. **Boletim do desmatamento da Amazônia Legal** Belém, PA: IMAZON, 2014. 10p. (Boletim do Desmatamento SAD, setembro 2014).

Autor. Dados do desmatamento e degradação na Amazônia. São José dos Campos, SP: Date.

IPCC. **Good Practice Guidance for Land use, Land-use change and forestry**. Japan: STRATEGIES, I.F.T.G.E., 2003. 590p.

IPCC. **Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)**. Cambridge: PRESS, C.U., 2014a. 112p.

IPCC. **Climate Change 2014**. New York: PRESS, C.U., 2014b. 169p.

ITTO. **ITTO guidelines for the restoration, management and rehabilitation of degraded and secondary tropical forests**. Japan: ITTO, 2002. 86p. (ITTO Policy Development Series N. 13).

ITTO. **Restoring Forests Landscapes: An introduction to the art and science of forest landscape restoration**. Japan: ITTO, 2005. 142p. (Technical Series N.23).

IUCN. **A global overview of forest protected areas on the world heritage list**. Switzerland: 1997. 46p.

JENSEN, J.R. **Introductory Digital Image Processing: a remote sensing perspective**. Ed.3. Prentice Hall, 2005. 544p.

JOHNS, J.S., BARRETO, P., UHL, C. Logging damage during planned and unplanned logging operations in the eastern Amazon. **Forest Ecology And Management**, v. 89, n. 1, p. 59-77, 1996.

JOLLY, W.M., COCHRANE, C.M., FREEBORN, P.H., HOLDEN, Z.A., BROWN, T.J., WILLIAMSON, G.J., BOWMAN, D.M.J.S. Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. **Nature communications**, v. 6, n. 7537, p. 1-11, 2014.

JOSHI, N., MITCHARD, E.T.A., WOO, N., TORRES, J., MOLL-ROCEK, J., EHAMMER, A., COLLINS, M., JEPSEN, M.R., FENSHOLT, R. Mapping dynamics of deforestation and forest degradation in tropical forests using radar satellite data. **Environmental Research Letters**, v. 10, p. 1-13, 2015.

KELLER, M., ASNER, G.P., SILVA, N., PALACE, M. Sustainability of selective logging of upland forests in the Brazilian Amazon: carbon budget and remote sensing as tools for evaluation of logging effects. In: ZARIN, D., ALAVALAPATI, J.R.R., PUTZ, F.E., SCHMINK, M. (Ed.). **Working Forests in the Tropics: Conservation through Sustainable Management?** New York: Columbia University Press, 2002. p.416.

KELLER, M., OLIVEIRA, M.V.N., TAKEMURA, C.M., VITORIA, D., ARAUJO, L.S., MORTON, D.C. **Automated detection of selective logging in Amazon forests using airborne Lidar data and pattern recognition algorithms**. AGU FALL MEETING, 2012 - ALICE San Francisco: EMBRAPA 2012.

KIM, M., MADDEN, M., WARNER, T.A. Forest type mapping using object-specific texture measures from multispectral Ikonos imagery: segmentation quality and image classification issues. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 75, n. 7, p. 10, 2009.

KISSINGER, G., HEROLD, M., DE SY, V. **Drivers of deforestation and forest degradation: A synthesis report for REDD + policymakers**. Vancouver, Canada: CONSULTING, L., 2012. 48p.

KOLTUNOV, A., USTIN, S.L., ASNER, G.P., FUNG, I. Selective logging changes forest phenology in the Brazilian Amazon: Evidence from MODIS image time series analysis. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, n. 11, p. 2431-2440, 2009.

LANDIS, J.R., KOCH, G.G. The measurement of Observer Agreement for Categorical Data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

LAURANCE, W., LAURANCE, S., FERREIRA, L., RANKIN-DE MERONA, J. Biomass collapse in Amazonian forest fragments. **Science**, v. 278, n. 5340, p. 1117-1118, 1997.

LAURANCE, W.F., USECHE, D.C., RENDEIRO, J., KALKA, M., BRADSHAW, J.A. Averting biodiversity collapse in tropical forest protected areas. **Nature**, v. 489, p. 291-294, 2012.

LENTINI, M., VERISSIMO, A., PEREIRA, D. A expansão madeireira na Amazônia. IMAZON, 2005. Disponível em: <amazon.org.br>. Acesso em: 13/06/2016.

LILLESAND, T.M., KIEFER, R.W., CHIPMAN, J.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. John Wiley & Sons, 2004. 756p.

LLOYD, C., BERBEROGLU, S., CURRAN, P., ATKINSON, P. A comparison of texture measures for the per- field classification of Mediterranean land cover. **International Journal Of Remote Sensing**, v. 25, n. 19, p. 3943-3965, 2004.

LOCK, R.E.M., KIRCHNER, F.F. Classificação de imagens multiespectrais de landsat TM e feições de textura: mapeamento da cobertura da terra. **Floresta**, v. 27, n. 12, p. 17, 2004.

LUND, H.G. A ' forest' by any other name. **Environmental Science and Policy**, v. 2, n. 2, p. 125-133, 1999.

MACEDO, D.S., ANDERSON, A.B. Early Ecological Changes associated with logging in an Amazon Floodplain. **Biotropica**, v. 25, n. 2, p. 151-163, 1993.

MACHADO, R.L., CEDDIA, M.B., CARVALO, D.F., CRUZ, E.S., FRANCELINO, M.R. Spatial variability of maximum annual daily rain under different return periods at the Rio de Janeiro state, Brazil. **Bragantia**, v. 69, p. 77-84, 2010.

MARENGO, J.A., NOBRE, C.A., CHOU, S.C., TOMASELLA, J., SAMPAIO, G., ALVES, L.M., OBREGÓN, G.O., SOARES, W.R., BETTS, R., KAY, G. **Dangerous Climate Change in Brazil: a Brazil-UK analysis of climate change and deforestation impacts in the Amazon**. Brazil: INPE, 2011. 56p.

MARTIN, P.A., NEWTON, A.C., PFEIFER, M., KHOO, M., BULLOCK, J.M. Impacts of tropical selective logging on carbon storage and tree species richness: a meta-analysis. **Forest Ecology And Management**, v. 356, p. 224-233, 2015.

MARTIN, R.M. Deforestation, land-use change and REDD. **Unasylva** 230, v. 59, p. 2008.

MATRICARDI, E., SKOLE, D., COCHRANE, M., PEDLOWSKI, M., CHOMENTOWSKI, W. Multi-temporal assessment of selective logging in the Brazilian Amazon using Landsat data. **International Journal Of Remote Sensing**, v. 28, n. 1, p. 63-82, 2007.

MATRICARDI, E., 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**, v. 34, n. 4, p. 1057-1086, 2013.

MATRICARDI, E.A.T. **Spatiotemporal Dynamics of Forest degradation by selective logging and forest fire in the Brazilian Amazon**. 2007. 270p. (PhD in Geography). Department of Geography, University of Michigan, EUA, 2007.

MATRICARDI, E.A.T.,SKOLE, D.L.,COCHRANE, M.A.,QI, J.,CHOMENTOWSKI, W. Monitoring selective logging in tropical evergreen forests using landsat: Multitemporal regional analyses in Mato Grosso, Brazil. **Earth Interactions**, v. 9, n. 24, p. 2005.

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**, v. 114, n. 5, p. 1117-1129, 2010.

MCTI. **Climanálise - Boletim de monitoramento e análise climática**. São Paulo: CPTEC/INPE, 1996.

MENESES, P.R.,ALMEIDA, T.A.,ROSA, A.N.C.S.,SANO, E.E.,SOUZA, E.B. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: CNPQ, 2012. 276p.

MILLER, S.D.,GOULDEN, M.L.,HUTYRA, L.R.,KELLER, M.,SALESKA, S.R.,WOFSY, S.C.,FIGUEIRA, A.M.S.,ROCHA, H.R.,CAMARGO, P.B. Reduced impact logging minimally alters tropical rainforest carbon and energy exchange. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States**, v. 108, n. 48, p. 19431 - 19435, 2011.

MMA. Vegetação da Amazônia Brasileira. 2016. Disponível em: < <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm> >. Acesso em: 09/08/2016.

MORTON, D.C.,LE PAGE, Y.,DEFRIES, R.,COLLATS, G.J.,HURTT, G.C. Understorey fire frequency and the fate of burned forests in southern Amazonia. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 368, p. 1-8, 2013.

MOSKAL, L.M.,FRANKLIN, S.E. Multi-layer forest stand discrimination with spatial co-occurrence texture analysis of high spatial detail airborne imagery. **Geocarto International**, v. 17, n. 4, p. 55-68, 2002.

MYERS, N. The world's forests and their ecosystem services. In: GRETCHEN, D. (Ed.). **Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems**. Washington, DC: Island Press, 1997. p.412.

NELSON, A.,CHOMITZ, K.M. Effectiveness of strict vs. multiple use protected areas in reducing tropical forest fires: a global analysis using matching methods. **PlosOne**, v. 6, n. 8, p. 1-14, 2011.

NELSON, B. **Fogo em florestas da Amazônia Central em 1997**. X Simpósio de Sensoriamento Remoto Foz do Iguaçu, PR, Brasil 2001.

NEPSTAD, D.,CARVALHO, G.,CRISTINA BARROS, A.,ALENCAR, A.,PAULO CAPOBIANCO, J.,BISHOP, J.,MOUTINHO, P.,LEFEBVRE, P.,LOPES SILVA, U.,PRINS, E. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. **Forest Ecology And Management**, v. 154, n. 3, p. 395-407, 2001.

NEPSTAD, D.,MCGRATH, D.,STICKLER, C.,ALENCAR, A.,AZEVEDO, A.,SWETTE, B.,BEZERRA, T.,DIGIANO, M.,SHIMADA, J.,DA MOTTA, R.,ARMIJO, E.,CASTELLO, L.,BRANDO, P.,HANSEN, M.C.,MCGRATH-HORN, M.,CARVALHO, O.,HESS, L. Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. **Science**, v. 344, p. 1118-1123, 2014.

NEPSTAD, D.,MOREIRA, A.,VERÍSSIMO, A.,LEFEBVRE, P.,SCHLESINGER, P.,POTTER, C.,NOBRE, C.,SETZER, A.,KRUG, T.,BARROS, A.C.,ALENCAR, A.,PEREIRA, J.R. Forest Fire Prediction and Prevention in the Brazilian Amazon. **Conservation Biology**, v. 12, n. 5, p. 951-953, 1998.

NEPSTAD, D.C.,MOREIRA, A.G.,ALENCAR, A.A. **Flames in the rain forest: origins, impacts, and alternatives to Amazonian fires**. Brasilia, Brazil: World Bank, 1999. 190p.

NEPSTAD, D.C.,STICKLER, C.M.,MERRY, F.,SOARES-FILHO, B. **Interactions among Amazon land use, forests and climate: Prospects for a near- term forest tipping point**. 363: 1737-1746 p. 2008.

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**, v. 398, n. 6727, p. 505, 1999.

NOLTE, C.,AGRAWAL, A.,SILVIUS, K.M.,SOARES-FILHO, B. Governance regime and location influence avoided deforestation success of protected areas in the Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States**, v. 110, n. 13, p. 4956-4961, 2013.

NUMATA, I.,COCHRANE, C.M.,SOUZA JR, C.M.,SALES, M.H. Carbon emissions from deforestation and forest fragmentation in the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, v. 6, p. 1 - 7, 2011.

OLIVEIRA, M.V.N.,REUTEBUCH, S.E.,MCGAUGHEY, R.J.,ANDERSEN, H.-E. Estimating forest biomass and identifying low-intensity logging areas using airborne scanning

lidar in Antimary State Forest Acre State, Western Braziliam Amazon. **Remote Sensing of Environment**, v. 124, p. 479-491, 2012.

PEARSON, T.R.H.,BROWN, S.,CASARIM, F.M. Carbon emissions from tropical forest degradation caused by logging. **Environmental Research Letters**, v. 9, p. 1 - 11, 2014.

PEDDLE, D.R.,FRANKLIN, S.E. Image texture processing and data integration for surface pattern discrimination. **Pthotogrammetric engineering and remote sensing**, v. 57, n. 4, p. 413-420, 1991.

PEDLOWSKI, M.,MATRICARDI, A.,SKOLE, D.,CAMERON, W.H.,CHOMENTOWSKI, W.,FERNANDES, C.,LISBOA, A. Conservation units: a new deforestation frontier in the Amazon state of Rondônia, Brazil. **Environmental Conservation**, v. 32, n. 2, p. 149-155, 2005.

PELLETIER, J.,KIRBY, K.R.,POTVIN, C. Significance of carbon stock uncertainties on emission reductios from deforestation and forest degradation in developing countries. **Forest Policy and Economics**, v. 24, p. 3-11, 2012.

PEÑA-BARRAGÁN, J.M.,NGUGI, M.K.,PLANT, R.E.,SIX, J. Object- based crop identification using multiple vegetation indices, textural features and crop phenology. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 6, p. 1301-1316, 2011.

PEREIRA, R.,ZWEEDE, J.,ASNER, G.P.,KELLER, M. Forest canopy damage and recovery in reduced-impact and conventional selective logging in eastern Para, Brazil. **Forest Ecology And Management**, v. 168, n. 1, p. 77-89, 2002.

PINARD, M.A.,PUTZ, F.E.,TAY, J.,SULIVAN, T.E. Creating timber harvest guidelines for a reduced-impact logging project in Malaysia. **Journal of Forestry**, v. 93, n. 10, p. 41-45, 1995.

PONZONI, F.J.,SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. Ed.2. São José dos Campos, SP: 2009. 127p.

POWELL, R.L.,MATZKE, N.,SOUZA JR., C.,CLARK, M.,NUMATA, I.,HESS, L.,ROBERTS, D.A. Soucers of error in accuracy assessment of thematic land-cover maps in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, p. 221-234, 2004.

PUTZ, F.E.,BLATE, G.M.,REDFORD, K.H.,FIMBEL, R.,ROBINSON, J. Tropical forest management and conservation of biodiversity: an overview. **Conservation Biology**, v. 15, n. 1, p. 7-20, 2001.

PUTZ, F.E.,SIST, P.,FREDERICKSEN, T.,DYKSTRA, D. Reduced- impact logging: Challenges and opportunities. **Forest Ecology And Management**, v. 256, n. 7, p. 1427-1433, 2008.

RAY, D.,NEPSTAD, D.,MOUTINHO, P. Micrometeorological and canopy controls of fire susceptibility in a forested Amazon landscape. **Ecological Applications**, v. 15, n. 5, p. 1664-1678, 2005.

RENCZ, A.N. **Remote Sensing of the Earth Sciences: Manual of Remote Sensing**. Wiley, 1999. 728p.

RIST, L.,SHANLEY, P.,SUNDERLAND, T.,SHEIL, D.,NDOYE, O.,LISWANTI, N.,TIEGUHONG, J. The impacts of selective logging on non- timber forest products of livelihood importance. **Forest Ecology And Management**, v. 268, p. 57-69, 2012.

RONDON, X.J.,CUMMING, G.S.,COSSÍO, R.E.,SOUTHWORTH, J. The Effects of Selective Logging Behaviors on Forest Fragmentation and Recovery. **International Journal of Forestry Research**, v. 2012, p. 10, 2012.

ROSSI, R.E.,DUNGAN, J.L.,BECK, L.R. Kriging in the shadows: geostatistical interpolation for Remote Sensing. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, p. 32-40, 1994.

SCHNEIDER, R.R.,ARIMA, E.,VERÍSSIMO, A.,SOUZA C.M, J.,BARRETO, P. **Sustainable Amazon: Limitation and Opportunities for Rural Development**. Washington, D.C.: 2002. 68p.

SCHOTT, J.R. **Remote Sensing: The image chain Approach**. Ed.1. New York: Oxford University Press, 2007. 666p.

SCHULZE, M.,ZWEDE, J. Canopy dynamics in unlogged and logged forest stands in the eastern Amazon. **Forest Ecology And Management**, v. 236, n. 1, p. 56-64, 2006.

SESSIONS, J.,HEINRICH, R. Tropical Forestry Handbook. In: PANCEL, L. (Ed.). Berlin: Springer, v.2, 1993.

SFB,IMAZON. Produção Florestal na Amazônia Legal. Brasil, 2010. Disponível em: < www.florestal.gov.br/snif >. Acesso em: 14/06/2016.

SIEGERT, F.,RUECKER, G.,HINRICHS, A.,HOFFMANN, A. Increased damage from fires in logged forests during droughts caused by El Nino. **Nature**, v. 414, n. 6862, p. 437-40, 2001.

SILVA, E.J.V. **Dinâmica de florestas manejadas e sob exploração convencional na Amazônia oriental**. 2004. 171p. Tese (Doutorado) (Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo - São Carlos, 2004.

SILVÉRIO, D.,BRANDO, P.,BALCH, J.K.,PUTZ, F.E.,NEPSTAD, D.,OLIVEIRA-SANTOS, C.,BUSTAMANTE, M.M.C. Testing the Amazon savannization hypothesis: fire effects on invasion of a neotropical forest by native cerrado and exotic pasture grasses. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 368, p. 1-8, 2017.

SILVESTRINI, R.A.B.,SOARES-FILHO, B.,NEPSTAD, D.,COE, M.T.,RODRIGUES, H.,ASSUNÇÃO, R. Simulating fire regimes in the Amazon in response to climate change and deforestation. **Ecological Applications**, v. 21, p. 1573-1590, 2011.

SIOLI, H. Introduction to the symposium: Amazonia — deforestation and possible effects. **Forest Ecology And Management**, v. 38, n. 3, p. 123-132, 1991.

SIST, P.,DYKSTRA, D.,FIMBEL, R. **Reduced-Impact Logging Guidelines for Lowland and Hill Dipterocarp Forests in Indonesia**. Jakarta, Indonesia: Center for International Forestry Research, 1998. 8p. (Occasional Paper N.15).

SKOLE, D.,TUCKER, C. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988. **Science**, v. 260, n. 5116, p. 1905-1910, 1993.

SKOLE, D.L.,CHOMENTOWSKI, W.H.,SALAS, W.A. Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. **BioScience**, v. 44, n. 5, p. 1994.

SOARES-FILHO, B.,MOUTINHO, P.,NEPSTAD, D.,ANDERSON, A.B.,RODRIGUES, H.,GARCIA, R.A.,DIETZSCH, L.,MERRY, F.,BOWMAN, M.,HISSA, L.,SILVESTRINI, R.,MARETTI, C. Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States**, v. 107, n. 24, p. 10821 - 10826, 2010.

SOARES-FILHO, B.,SILVERSTRINI, R.,NEPSTAD, D.,BRANDO, P.,RODRIGUES, H.,ALENCAR, A.,COE, M.T.,LOCKS, C.,LIMA, L.,HISSA, L.,STICKLER, C. Forest fragmentation, climate change and understory fire regimes on the Amazonian landscapes of the Xingy headwaters. **Landscape Ecology**, v. 27, p. 585-598, 2012.

SOARES-FILHO, B.S.,NEPSTAD, D.C.,CURRAN, L.M.,CERQUEIRA, G.C.,GARCIA, R.A.,RAMOS, C.A.,VOLL, E.,MCDONALD, A.,LEFEBVRE, P.,SCHLESINGER, P. Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v. 440, n. 7083, p. 520, 2006.

SOUZA, C., FIRESTONE, L., SILVA, L.M., ROBERTS, D. Mapping forest degradation in the Eastern Amazon from SPOT 4 through spectral mixture models. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, n. 4, p. 494-506, 2003.

SOUZA, C.M., ROBERTS, D.A., COCHRANE, M.A. Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. **Remote Sensing of Environment**, v. 98, n. 2, p. 329-343, 2005.

SOUZA JR, C., BARRETO, P. An alternative approach for detecting and monitoring selectively logged forests in the Amazon. **International Journal Of Remote Sensing**, v. 21, n. 1, p. 173-179, 2000.

SOUZA JR, C.M. Mapping land use of tropical regions from space. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 103, n. 39, p. 14261-14262, 2006.

SOUZA JR., C.M., SIQUEIRA, J.V., SALES, M.H., FONSECA, A.V., RIBEIRO, J.G., NUMATA, I., COCHRANE, C.M., BARBER, C.P., ROBERTS, D., BARLOW, J. Ten-Year Landsat classification of deforestation and forest degradation in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing**, v. 5, p. 5493-5513, 2013.

STONE, T.A., LEFEBVRE, P. Using multi-temporal satellite data to evaluate selective logging in Para, Brazil. **International Journal Of Remote Sensing**, v. 19, n. 13, p. 2517-2526, 1998.

THAKARE, V.S., PATIL, N.N., SONAWANE, J.S. Survey on Image Texture Classification Techniques. **International Journal of advancements in Technology**, v. 4, n. 1, p. 97-104, 2013.

TRIANNI, G., TOSI, M., DELL'ACQUA, F., GAMBA, P. **Fusion of texture measures or urban area characterization**. Proceedings of the Seventh International Conference on Information Fusion: 991-998 p. 2004.

UHL, C. Perspectives on Wildfire in the Humid Tropics. **Conservation Biology**, v. 12, n. 5, p. 942-943, 1998.

UHL, C., BUSCHBACHER, R. A disturbing synergism between cattle ranch burning practices and selective tree harvesting in the Eastern Amazon. **Biotropica**, v. 17, n. 4, p. 265-268, 1985.

UHL, C., KAUFFMAN, J.B. Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the eastern Amazon. **Ecology**, v. 71, n. 2, p. 1990.

UHL, C.,VIEIRA, I.C.G. Ecological Impacts of selective logging in the Brazilian Amazon: a case study from the Paragominas region of the state of Para. **Biotropica**, v. 21, n. 2, p. 98-106, 1989.

URIARTE, M.,PINEDO-VÁSQUEZ, M.,DEFRIES, R.,FERNANDES, C.,GUTIÉREZ-VÉLEZ, V.,BAETHGEN, W.E.,PADOCH, C. Depopulation of rural landscapes exacerbates fire activity in the western Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States**, v. 109, p. 21546-21550, 2012.

VASCONCELOS, S.S.D.,FEARNSIDE, P.M.,GRAÇA, P.M.L.D.A.,NOGUEIRA, E.M.,OLIVEIRA, L.C.D.,FIGUEIREDO, E.O. Forest fires in southwestern Brazilian Amazonia: Estimates of area and potential carbon emissions. **Forest Ecology And Management**, v. 291, p. 199-208, 2013.

VEDOVATO, L.B.,FONSECA, M.G.,ARAI, E.,ANDERSON, L.O.,ARAGÃO, L.E.O.C. The extent of 2014 forest fragmentation in the Brazilian Amazon. **Regional Environmental Change**, v. 16, p. 1485-2490, 2016.

VENTER, O.,KOH, L.P. Reducing emissions from deforestation and forest degradation (REDD+): game changer or just another quick fix? **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1249, p. 137-150, 2012.

VERISSIMO, A.,BARRETO, P.,MATTOS, M.,TARIFA, R.,UHL, C. Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazonia frontier. The case of Paragominas. **Forest Ecology And Management**, v. 55, p. 169-199, 1992.

VERÍSSIMO, A.,COCHRANE, C.M. Concessions: catching a tiger by its tail? **Tropical Forest**, v. 13, n. 3, p. 1-6, 2003.

WATRIN, O.S.,ROCHA, A.M.A. **Levantamento de vegetação natural e do uso da terra no município de Paragominas (PA) utilizando imagens TM/LANDSAT.EMBRAPA**, 1992. 40p.

WESSMAN, C.A.,BATESON, C.A.,BENNING, T.L. Detecting Fire And Grazing Patterns In Tallgrass Prairie Using Spectral Mixture Analysis. **Ecological Applications**, v. 7, n. 2, p. 493-511, 1997.

WOOLDRIDGE, J.M. **Introductory Econometrics: A modern approach**. . Ed.2. USA: 2000. 824p.

WULDER, M.A.,FRANKLIN, S.E. **Remote Sensing of forest environments**. Kluwer Academic Publishers, 2003. 556p.

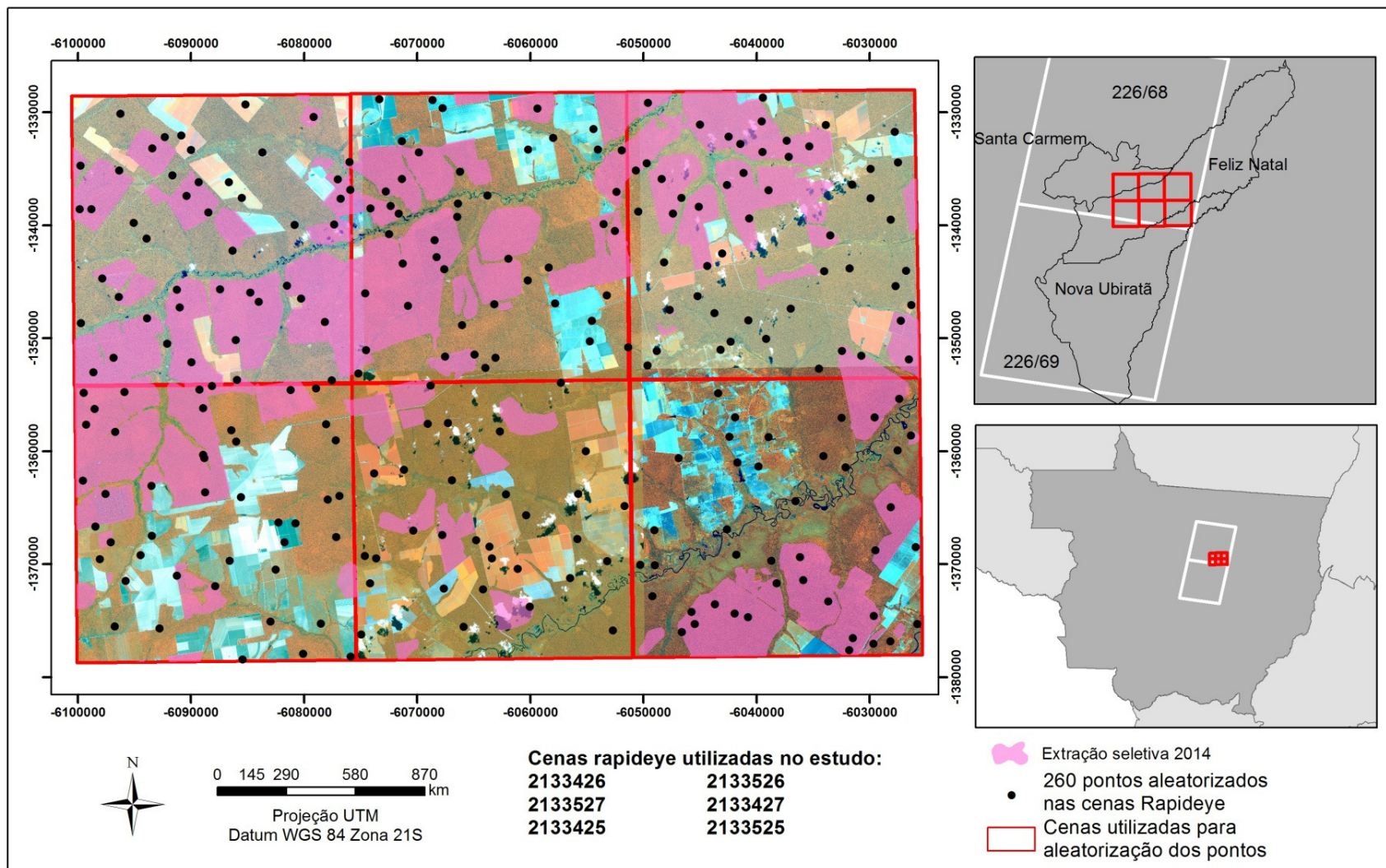
YAMADA, T.,HOSAKA, T.,OKUDA, T.,KASSIM, A.R. Effects of 50 years of selective logging on demography of trees in a Malaysian lowland forest. **Forest Ecology And Management**, v. 310, p. 531-538, 2013.

ZENG, N.,YOON, J.-H.,MARENGO, J.A.,SUBRAMANIAM, A.,NOBRE, C.,MARIOTTI, A.,NEELIN, J.D. Causes and impacts of the 2005 Amazon drought. **Environmental Research Letters**, v. 3, p. 1-9, 2008.

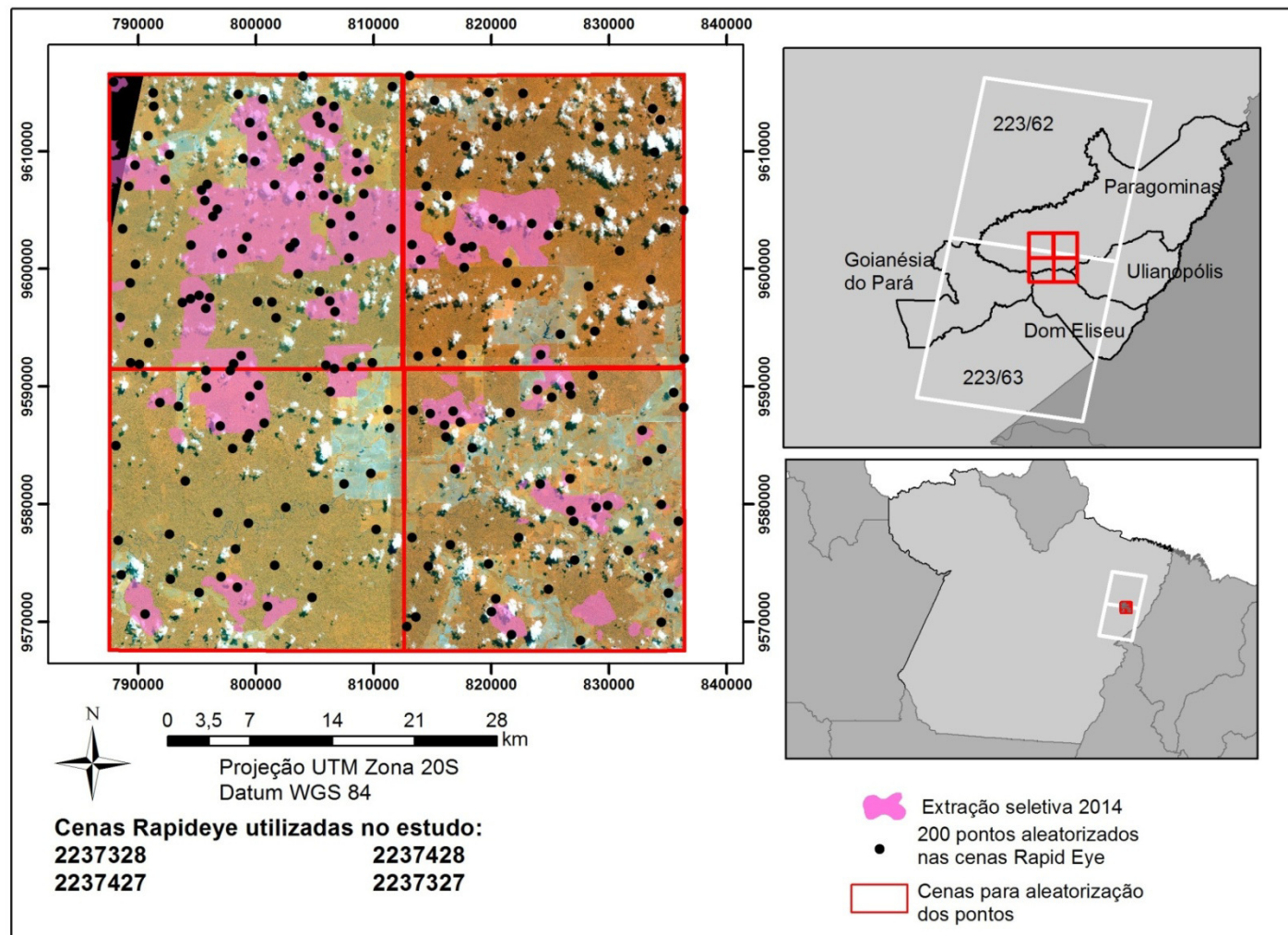
ZHANG, R.,ZHU, D. Study of land cover classification based on knowledge rules using high-resolution remote sensing images. **Expert Systems With Applications**, v. 38, n. 4, p. 3647-3652, 2011.

ZIMMERMAN, B.L.,KORMOS, C.F. Prospects for sustainable logging in tropical forests. **BioScience**, v. 62, n. 5, p. 479-487, 2012.

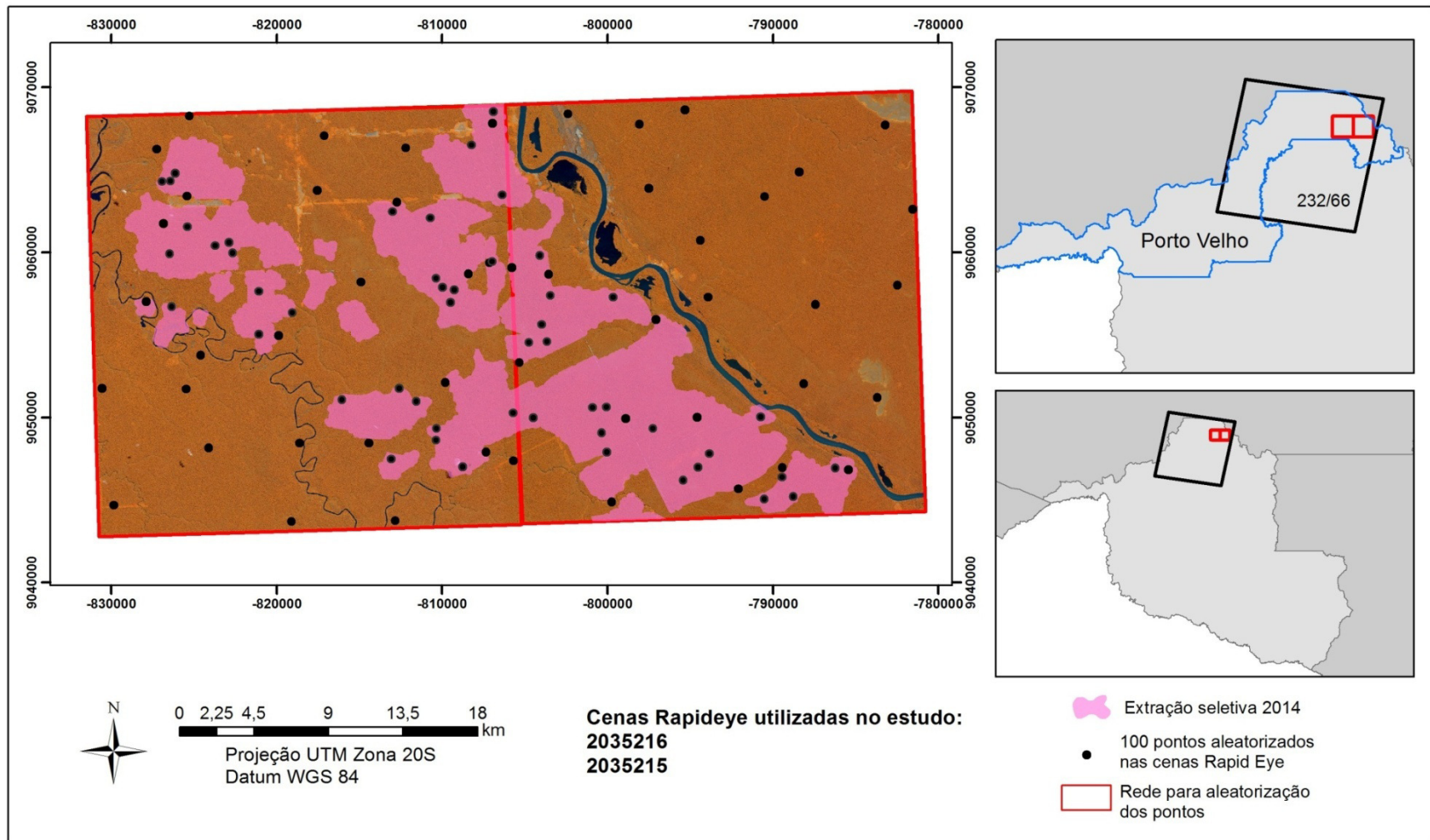
APÊNDICE A- Pontos aleatorizados nas cenas do estado do Mato Grosso em 2014.



APÊNDICE B - Pontos aleatorizados nas cenas do estado do Pará em 2014.

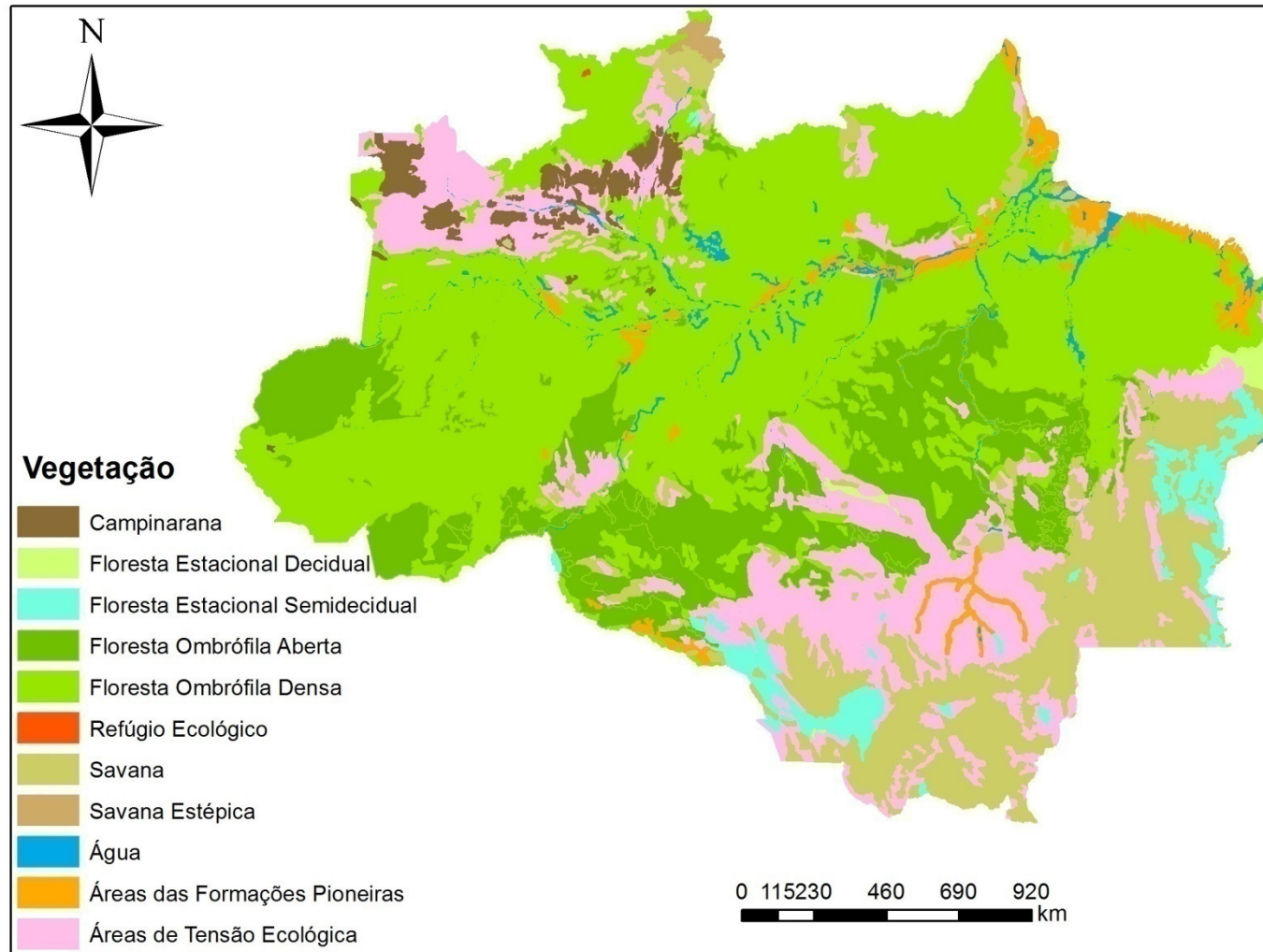


APÊNDICE C - Pontos aleatorizados nas cenas do estado de Rondônia em 2014.



APÊNDICE D - Mapa da vegetação da Amazônia Legal.

Fonte de dados: MMA/2016



APÊNDICE E - Pontos, órbitas e datas das imagens que foram utilizadas no estudo.

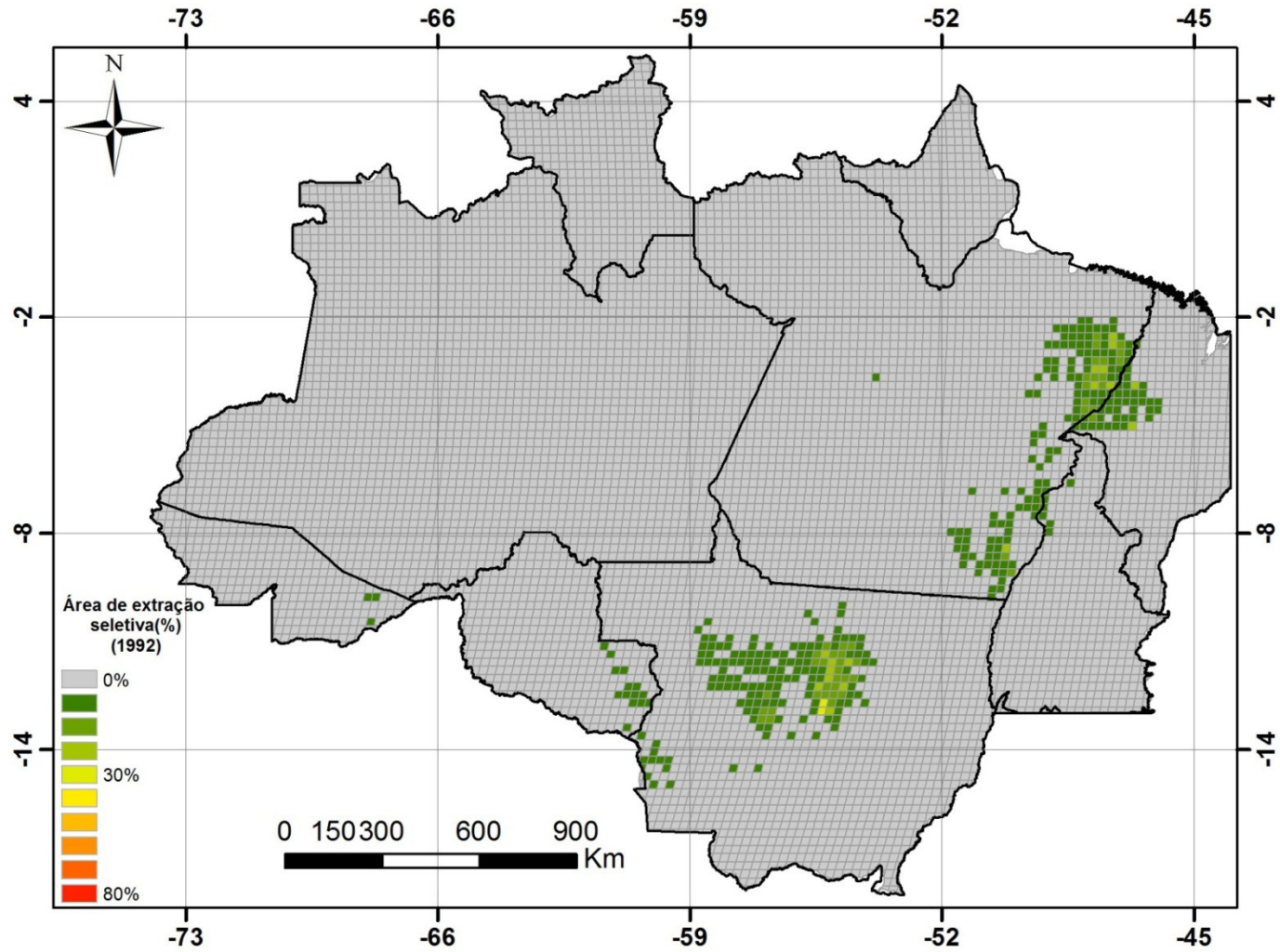
Ponto/órbita	Data de aquisição			
	2003	2006	2010	2014
001/066	14 ago.	5 jul.	30 jun.	29 set.
001/067	14 ago.	21 jul.	14 jun.	29 set.
002/066	4 jul.	12 jul.	24 ago.	19 ago.
002/067	4 jul.	26 jun.	23 jul.	19 ago.
002/068	20 jul.	26 jun.	23 jul.	10 out.
004/066	19 ago.	24 jun.	6 ago.	26 ago.
005/065	12 ago. (2004)	14 maio	30 set.	17 ago.
221/063	7 jun. (2000)	24 jun.	5 jul.	17 ago.
221/064	18 jun. (2004)	24 jun.	5 jul.	17 ago.
222/061	14 nov.	21 out.	28 jul.	27 out.
222/062	4 ago. (2001)	14 jul. (2005)	26 jun.	27 out.
222/063	4 ago. (2001)	14 jul. (2005)	26 jun.	1 dez. (2015)
222/064	25 jun. (2004)	1 jul.	26 jun.	8 ago.
223/062	4 set. (2004)	22 jun.	17 ago. (2009)	21 dez.
223/063	16 jul.	22 jun.	17 ago. (2009)	21 dez.
223/064	30 jun.	25 jun. (2007)	3 jul.	21 out.
223/065	30 jun.	9 ago.	5 set.	15 ago.
223/066	30 jun.	24 jul.	21 set.	15 ago.
223/067	30 jun.	6 jun.	5 set.	5 dez.
224/062	2 ago. (2001)	12 jul. (2005)	26 jul.	10 nov.
224/063	25 jul. (2004)	12 jul. (2005)	26 jul.	5 jul.
224/064	23 jul.	12 jul. (2005)	26 jul.	5 jul.
224/065	08 ago.	1 set.	26 jul.	9 out.
224/066	7 jul.	13 jun.	21 jun. (2009)	28 dez.
224/067	7 jul.	31 jul.	8 jun.	28 dez.
224/068	7 jul.	17 set.	23 maio	28 dez.
224/069	23 jul.	31 jul.	8 jun.	28 dez.
224/070	23 jul.	12 maio	26 jul.	28 dez.
225/062	1 ago. (2004)	20 jun.	4 jul. (2011)	28 dez.
225/063	4 ago. (2005)	20 jun.	15 jun.	16 ago. (2015)
225/064	30 jul.	23 ago.	21 out.	13 ago.
225/065	30 jul.	7 ago.	21 out.	14 set.
225/067	17 ago. (2004)	22 jul.	14 maio	16 out.
225/068	15 ago.	22 jul.	15 jun.	16 out.
225/069	30 jun. (2004)	22 jul.	3 set.	16 out.
225/070	15 ago.	4 jun.	14 maio	17 nov.

226/061	23 set.	17 out.	28 out.	5 set.
226/062	22 ago.	26 jul.	24 jul.	20 ago.
226/063	22 ago.	17 ago. (2007)	24 jul.	20 ago.
226/066	21 jul.	27 jun.	22 jun.	7 out.
226/067	6 ago.	27 jun.	22 jun.	7 out.
226/068	21 jul.	27 jun.	22 jun.	23 out.
226/069	21 jul.	27 jun.	22 jun.	20 ago.
226/070	21 jul.	13 jul.	22 jun.	7 out.
227/061	16 out.	9 set.	4 set. (2011)	30 out.
227/062	16 out.	5 ago.	12 jul. (2009)	14 ago. (2015)
227/063	12 jul.	5 ago.	28 jul. (2009)	26 jul.
227/064	12 jul.	5 ago.	31 jul.	12 set.
227/065	12 jul.	18 jun.	31 jul.	12 set.
227/066	28 jul.	5 ago.	13 jun.	12 set.
227/067	28 jul.	18 jun.	31 jul.	12 set.
227/068	13 ago.	18 jun.	29 jun.	14 out.
227/069	26 jun.	18 jun.	29 jun.	12 set.
228/061	7 out.	15 out.	10 out.	18 ago.
228/062	19 jul.	31 out.	10 out.	18 ago.
228/063	4 ago.	31 out.	22 jul.	18 ago.
228/064	5 set.	28 ago.	24 set.	18 ago.
228/065	5 set.	13 set.	10 out.	18 ago.
228/066	4 ago.	25 jun.	3 jul.(2009)	21 out.
228/067	5 set.	28 ago.	24 set.	21 out.
228/068	19 jul.	25 jun.	20 jun.	21 out.
228/069	3 jul.	25 jun.	20 jun.	21 out.
229/062	15 nov.	22 out.	14 ago.	29 set. (2015)
229/067	26 jul.	18 jul.	27 jun.	12 out.
229/068	11 ago.	3 ago.	27 jun.	10 set.
229/069	11 ago.	3 ago.	27 jun.	9 ago.
229/070	12 ago.	18 jul.	29 jun.	9 ago.
230/062	24 dez.	29 out.	3 set. (2009)	9 dez. (2015)
230/065	19 set.	29 out.	8 out.	16 ago.
230/068	15 jun.	23 jun.	4 jul.	17 set.
230/069	15 jul.	23 jun.	4 jul.	1 set.
231/061	9 ago.	4 out.	28 ago.	11 set. (2015)
231/065	25 ago.	4 out.	28 ago.	10 out.
231/066	24 jul.	30 jun.	25 jun.	10 out.
232/059	22 dez.	25 set.	6 out.	4 dez.
232/066	15 jul.	21 jun.	2 jul.	1 out.

232/067	15 jul.	21 jun.	15 maio	1 out.
233/066	22 jul.	14 jul.	25 jul.	6 set.
233/067	22 jul.	31 ago.	27 set.	6 set.

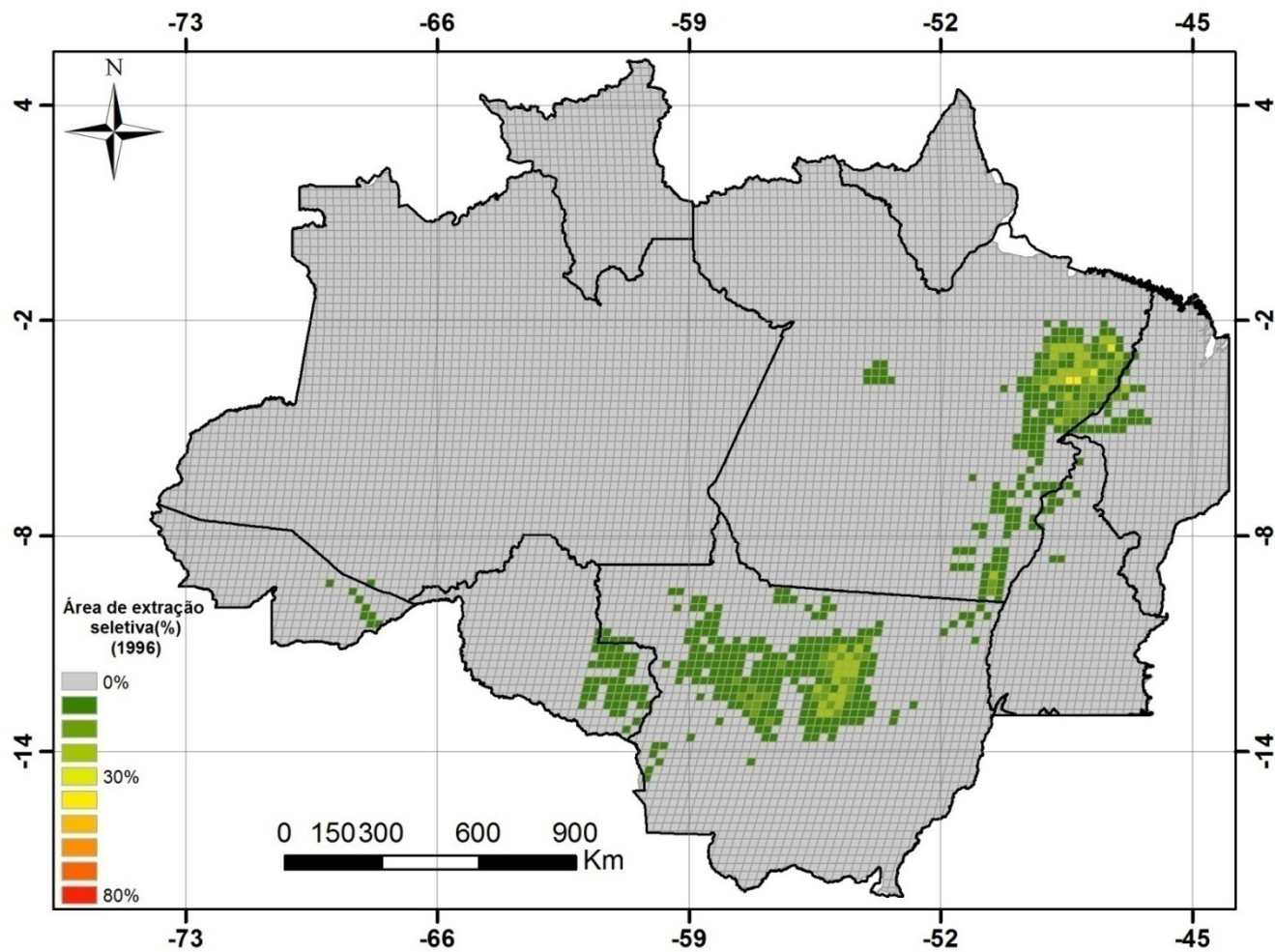
APÊNDICE F - Extração seletiva (%) no ano de 1992 na Amazônia Legal (Grade de 625 km²).

Fonte de dados: Matricardi et al. (2010).



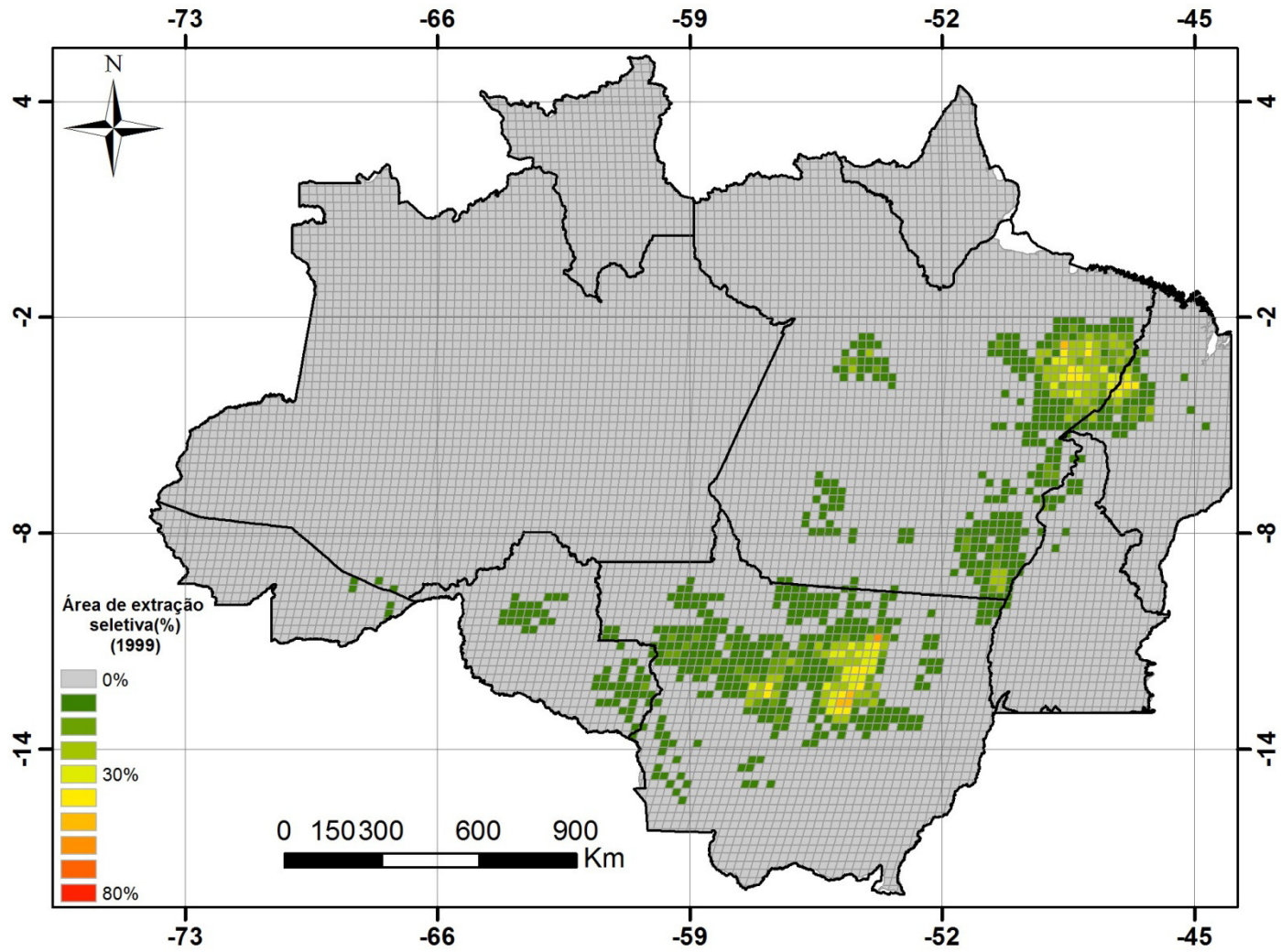
APÊNDICE G - Extração seletiva (%) no ano de 1996 na Amazônia Legal (Grade de 625 km²).

Fonte de dados: Matricardi et al. (2010).

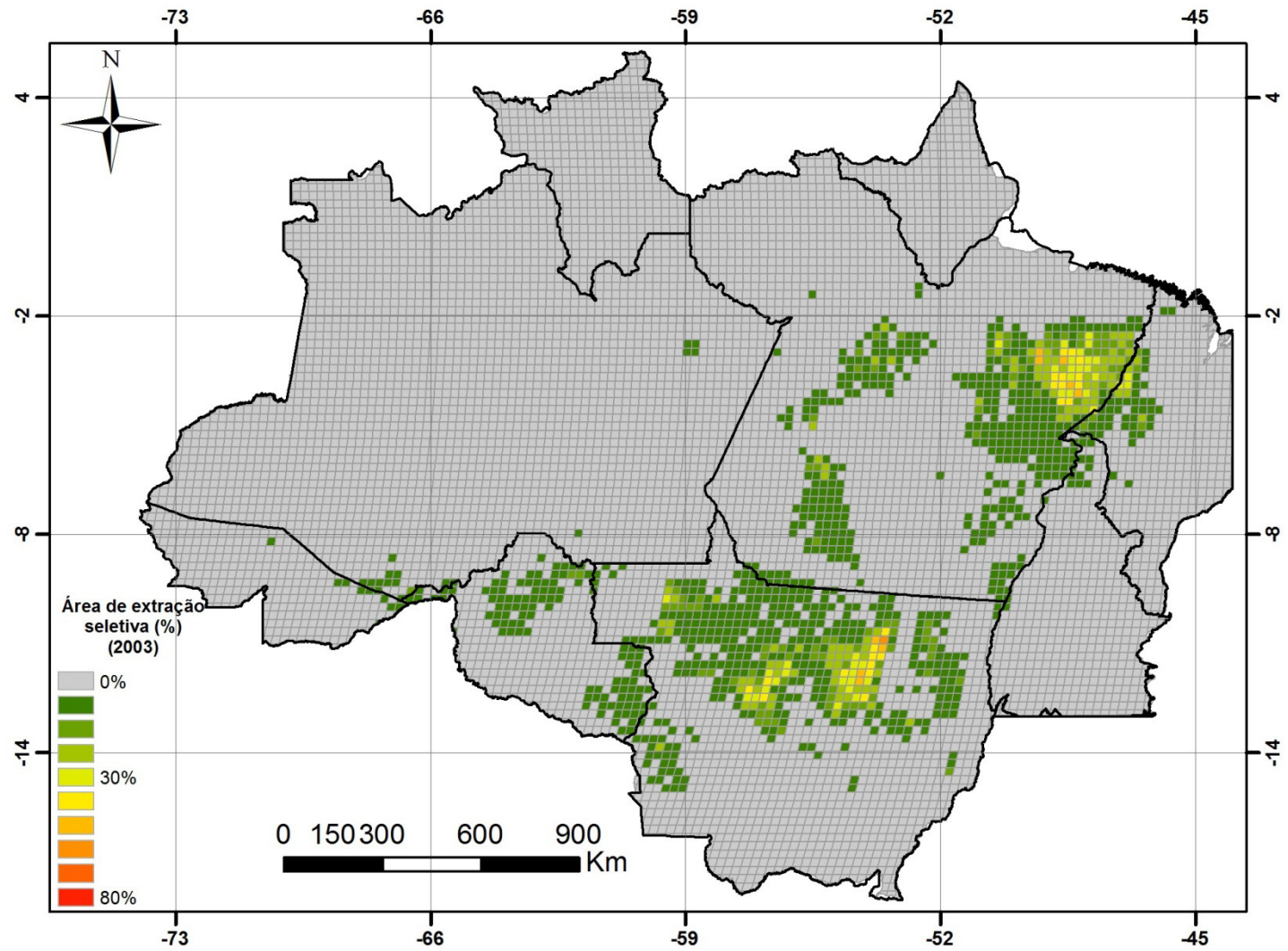


APÊNDICE H - Extração seletiva (%) no ano de 1999 na Amazônia Legal (Grade de 625 km²).

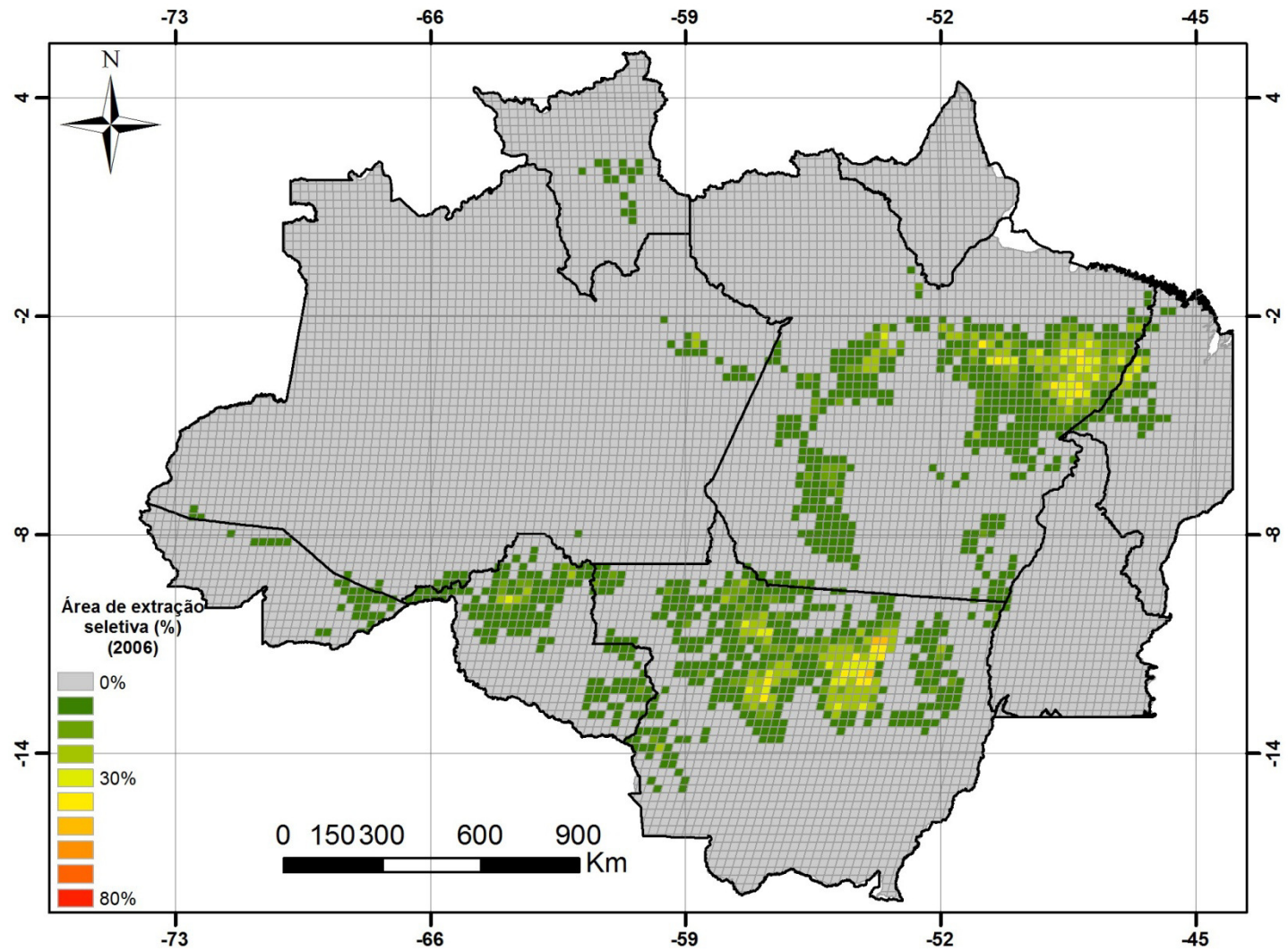
Fonte de dados: Matricardi et al. (2010).



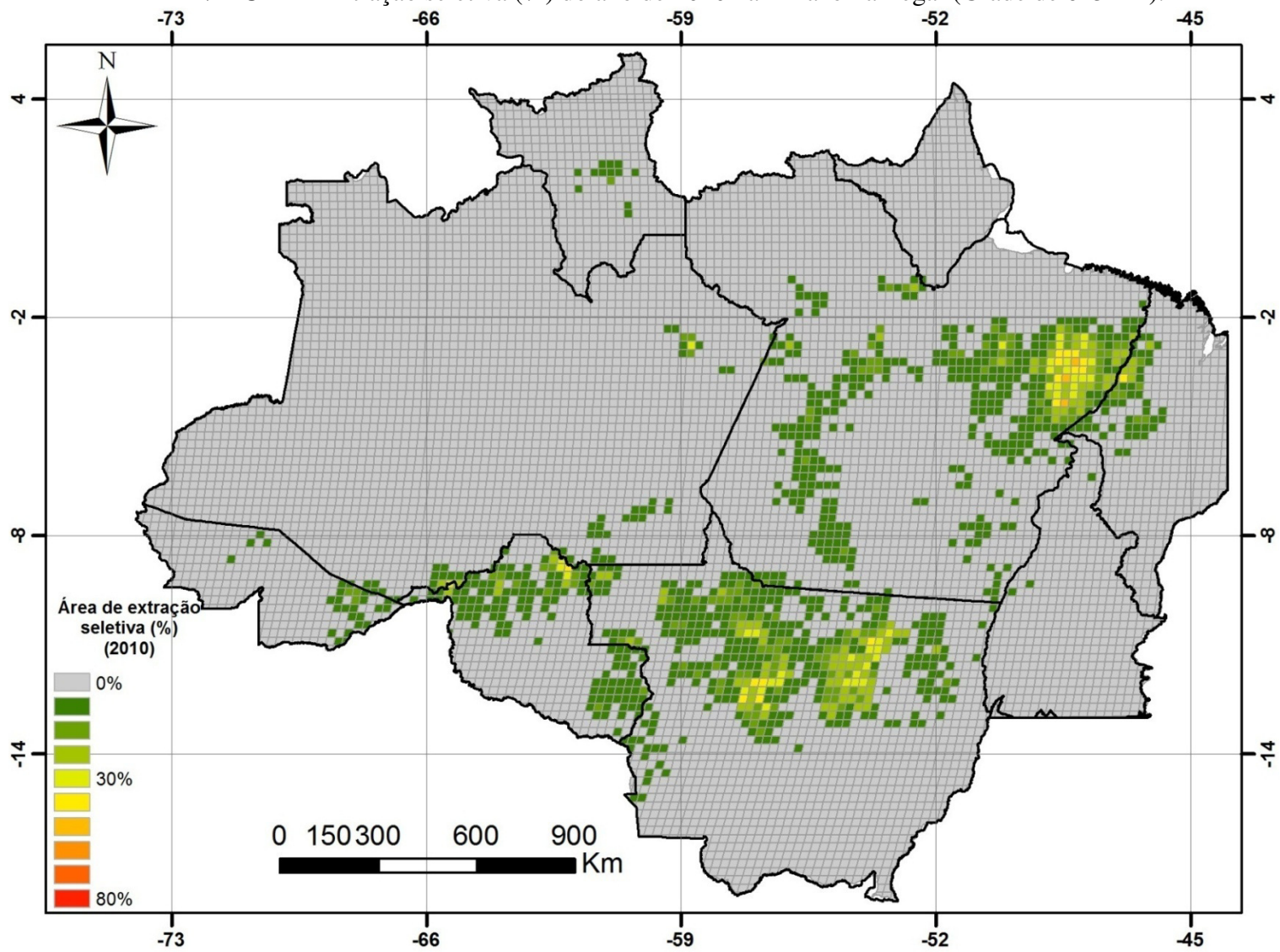
APÊNDICE I- Extração seletiva (%) do ano de 2003 na Amazônia Legal (Grade de 625km²).



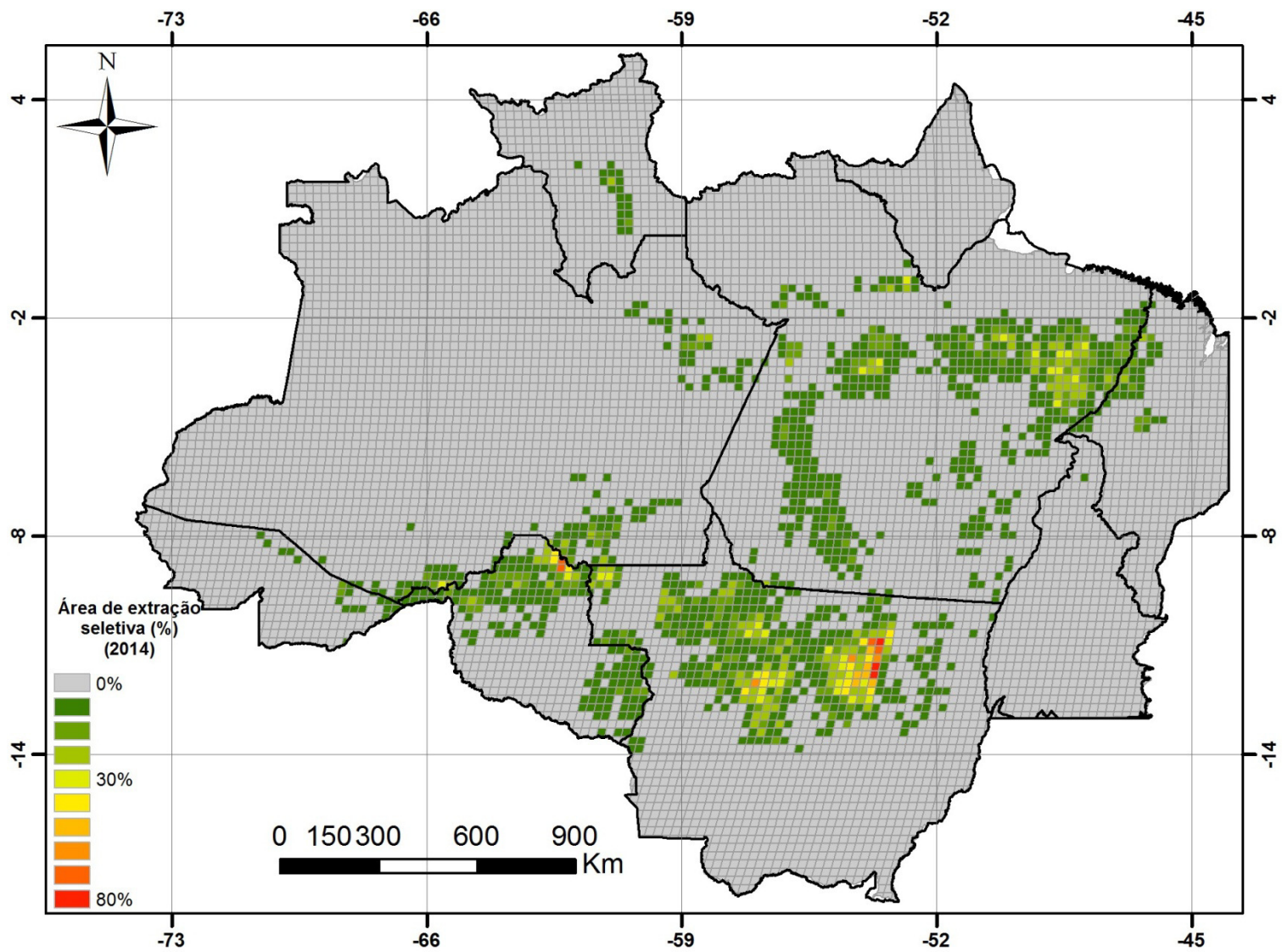
APÊNDICE J- Extração seletiva (%) do ano de 2006 na Amazônia Legal (Grade de 625km²).



APÊNDICE K- Extração seletiva (%) do ano de 2010 na Amazônia Legal (Grade de 625km²).

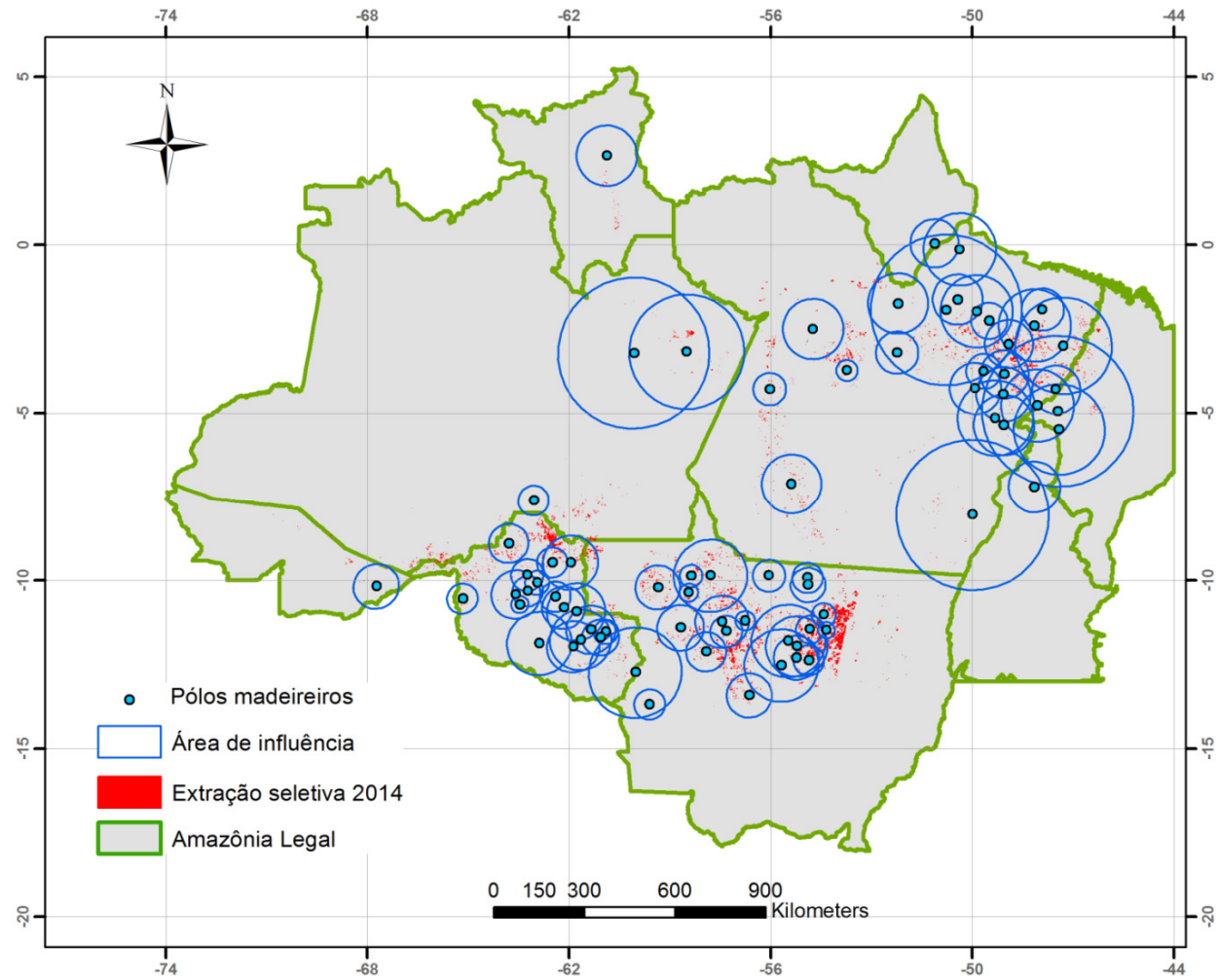


APÊNDICE L- Extração seletiva (%) do ano de 2014 na Amazônia Legal (Grade de 625km²).

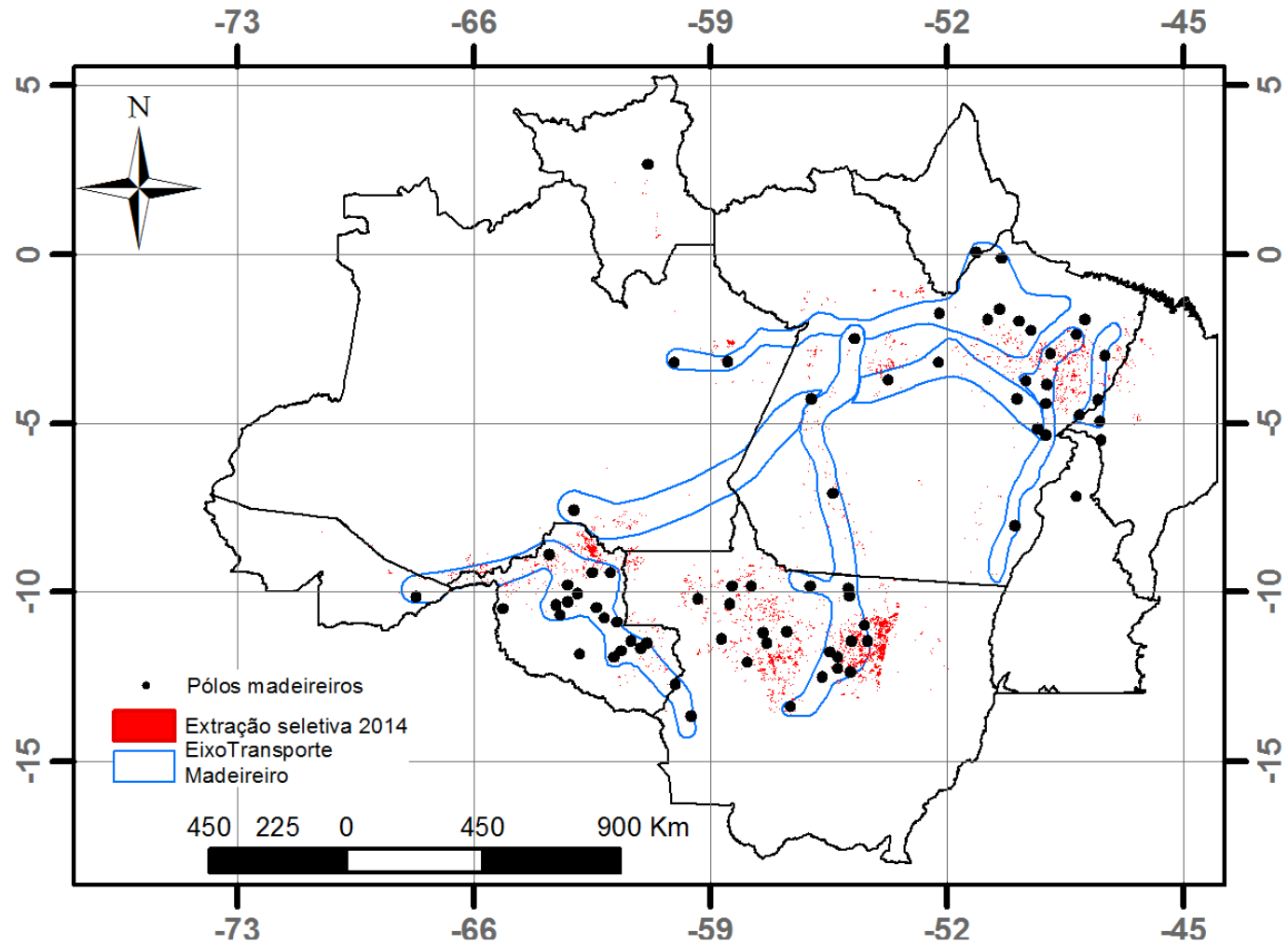


APÊNDICE M - Área de extração seletiva em 2014 e pólos madeireiros na Amazônia Legal.

Fonte de dados: Imazon (2013).

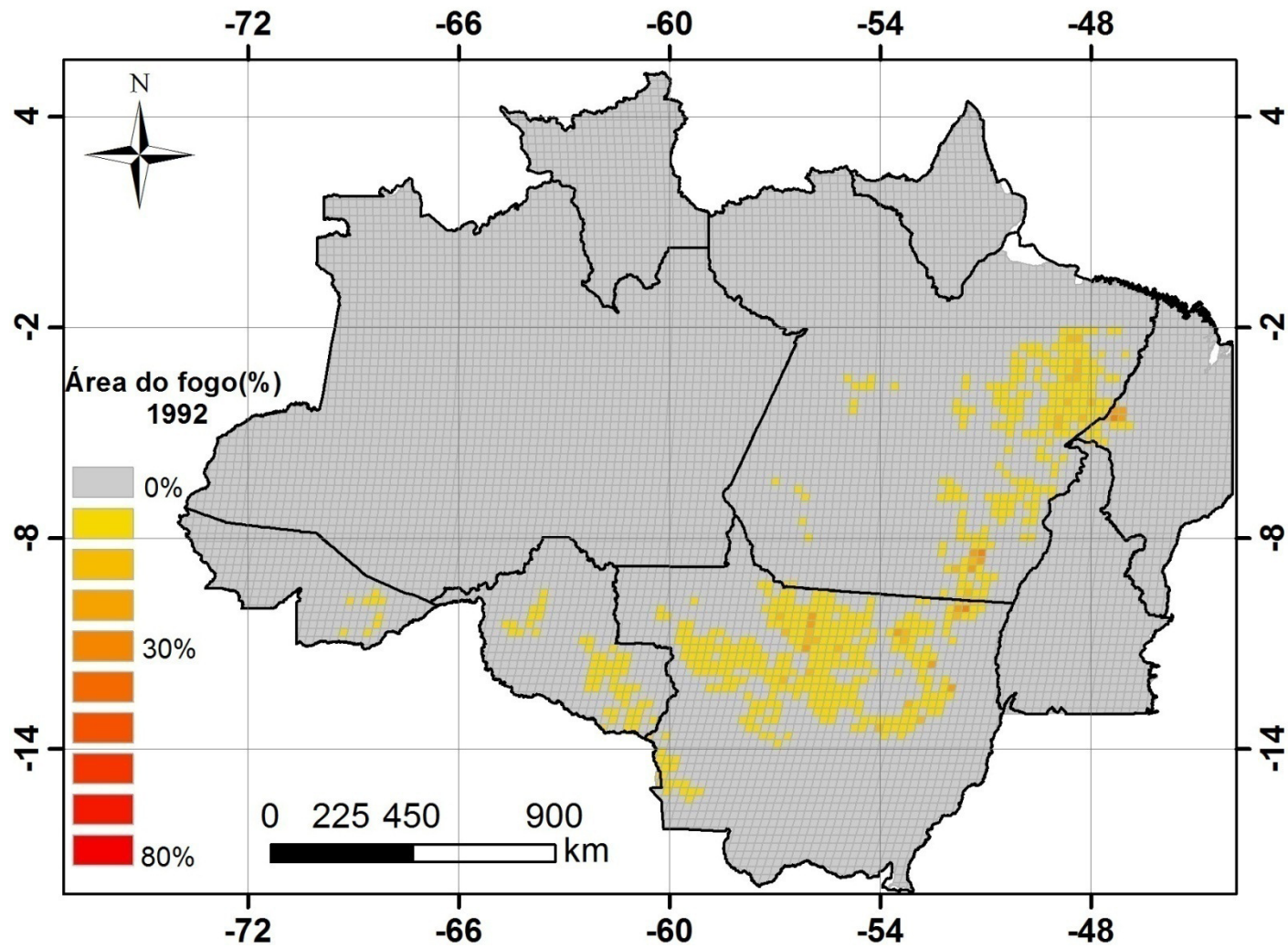


APÊNDICE N - Eixos de transporte madeireiros, pólos madeireiros e extração seletiva em 2014.
Fonte de dados: Imazon (2013).



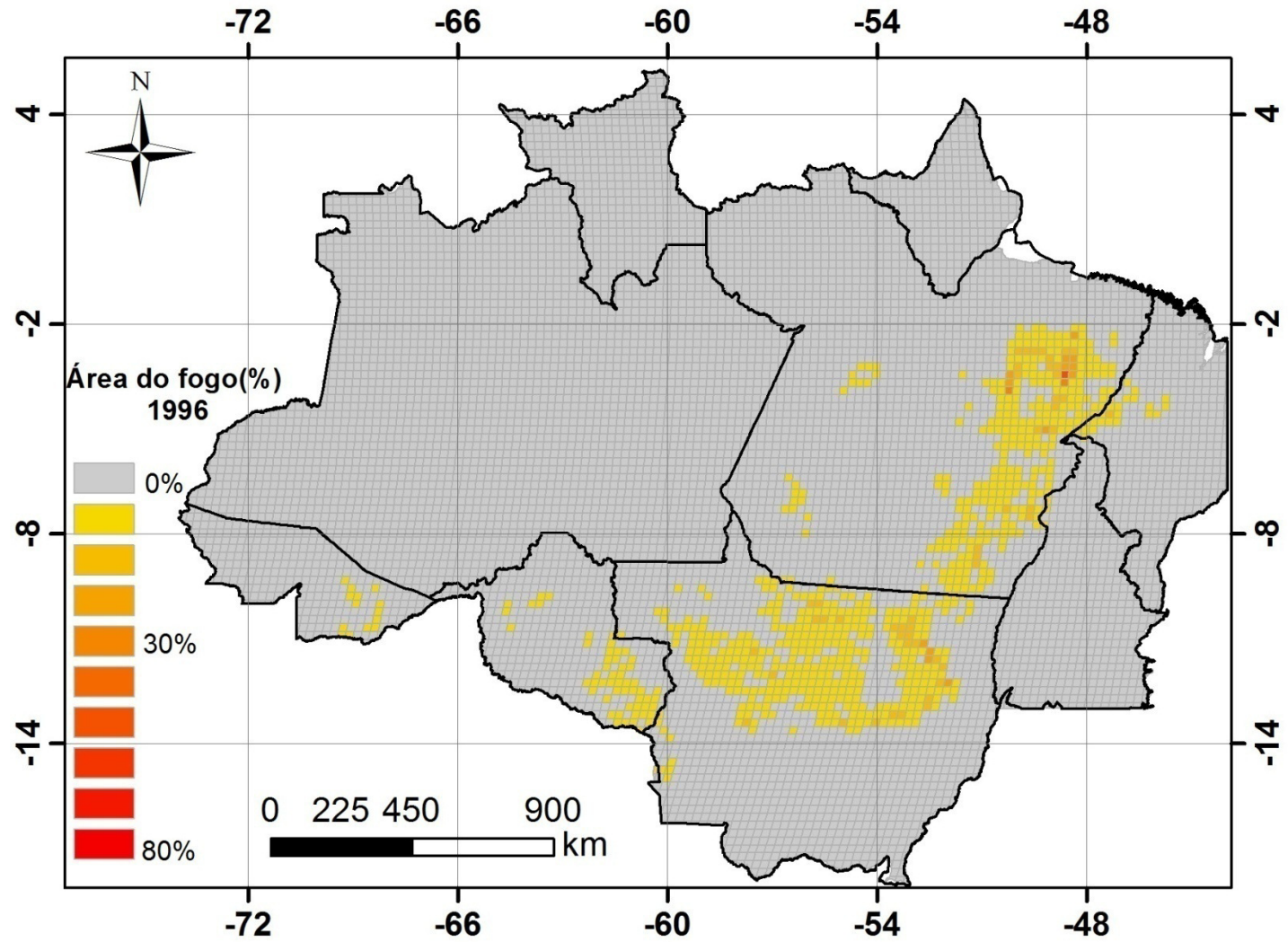
APÊNDICE O - Área do fogo (%) do ano de 1992 na Amazônia Legal (Grade 625 km²).

Fonte de dados: Matricardi et al. (2010).



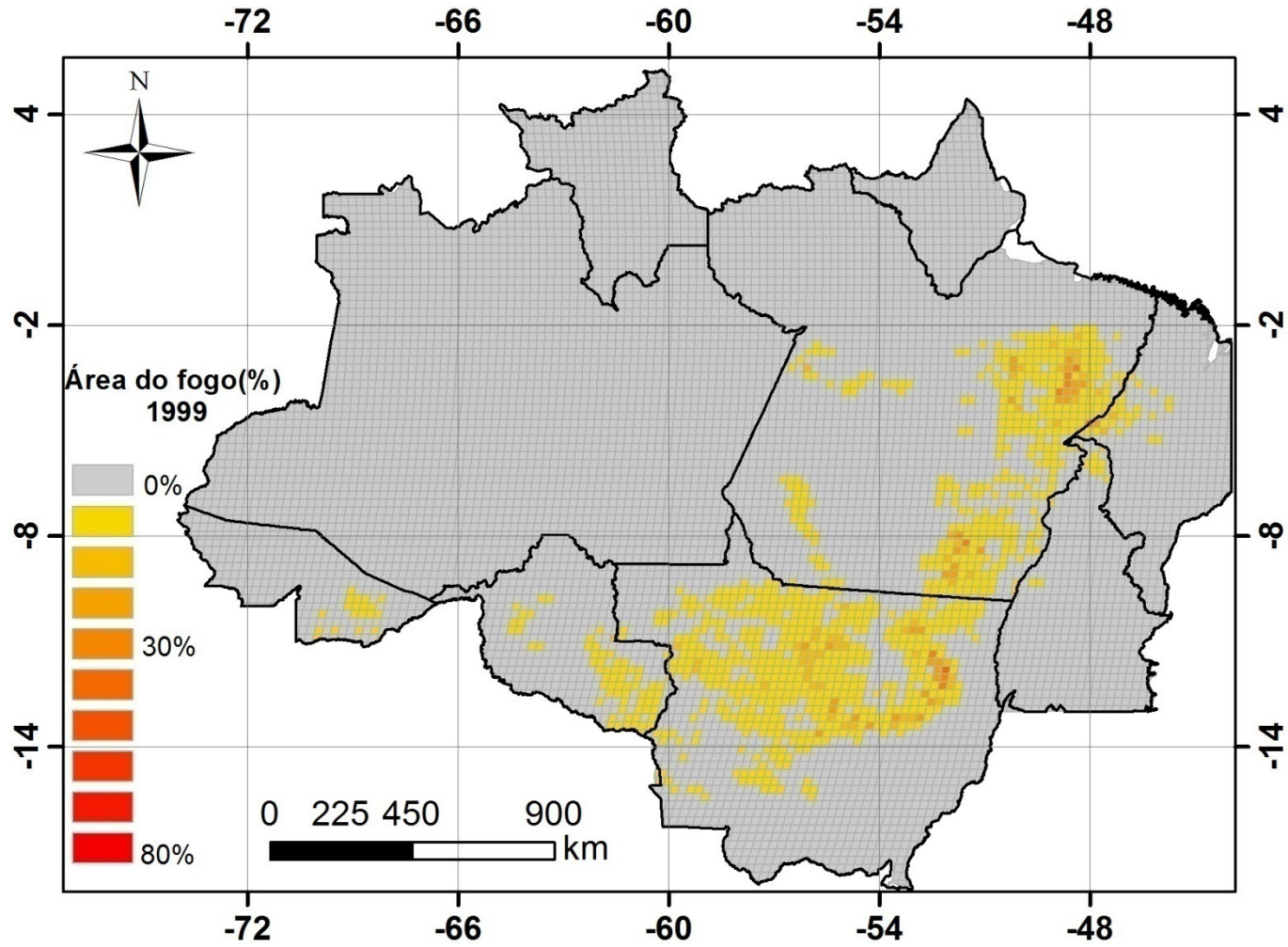
APÊNDICE P - Área do fogo (%) do ano de 1996 na Amazônia Legal (Grade 625 km²).

Fonte de dados: Matricardi et al. (2010).

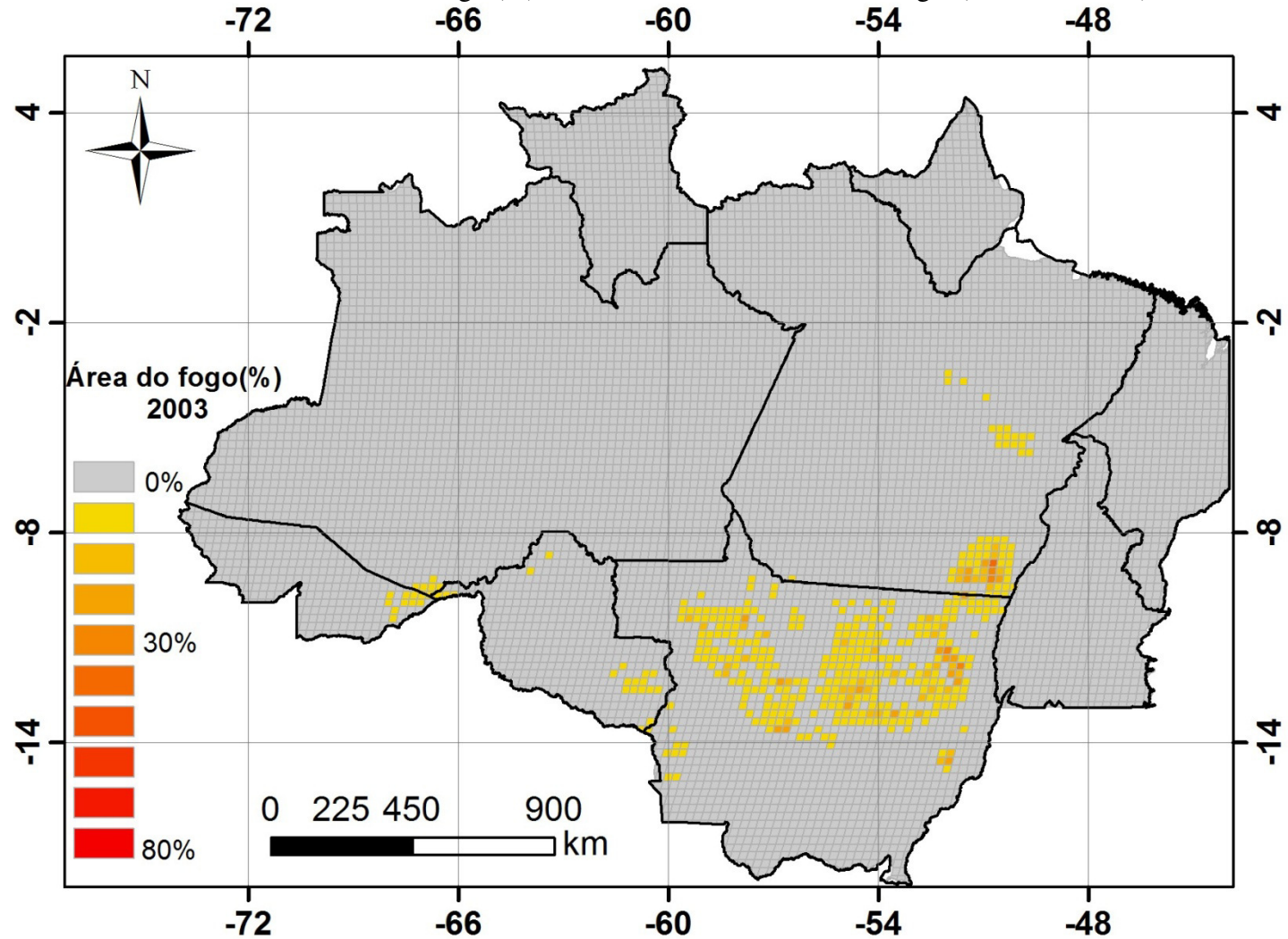


APÊNDICE Q - Área do fogo (%) do ano de 1999 na Amazônia Legal (Grade 625 km²).

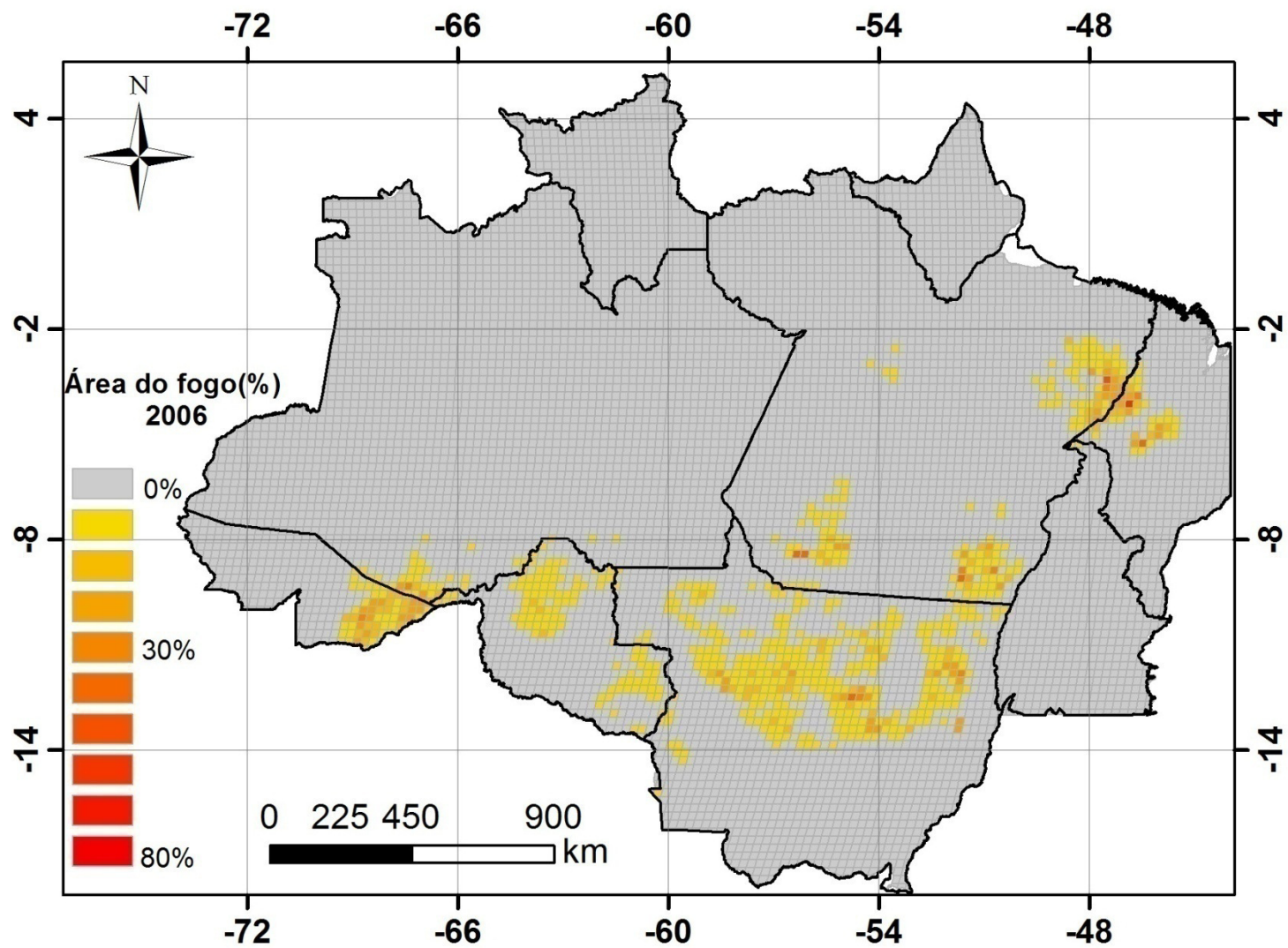
Fonte de dados: Matricardi et al. (2010).



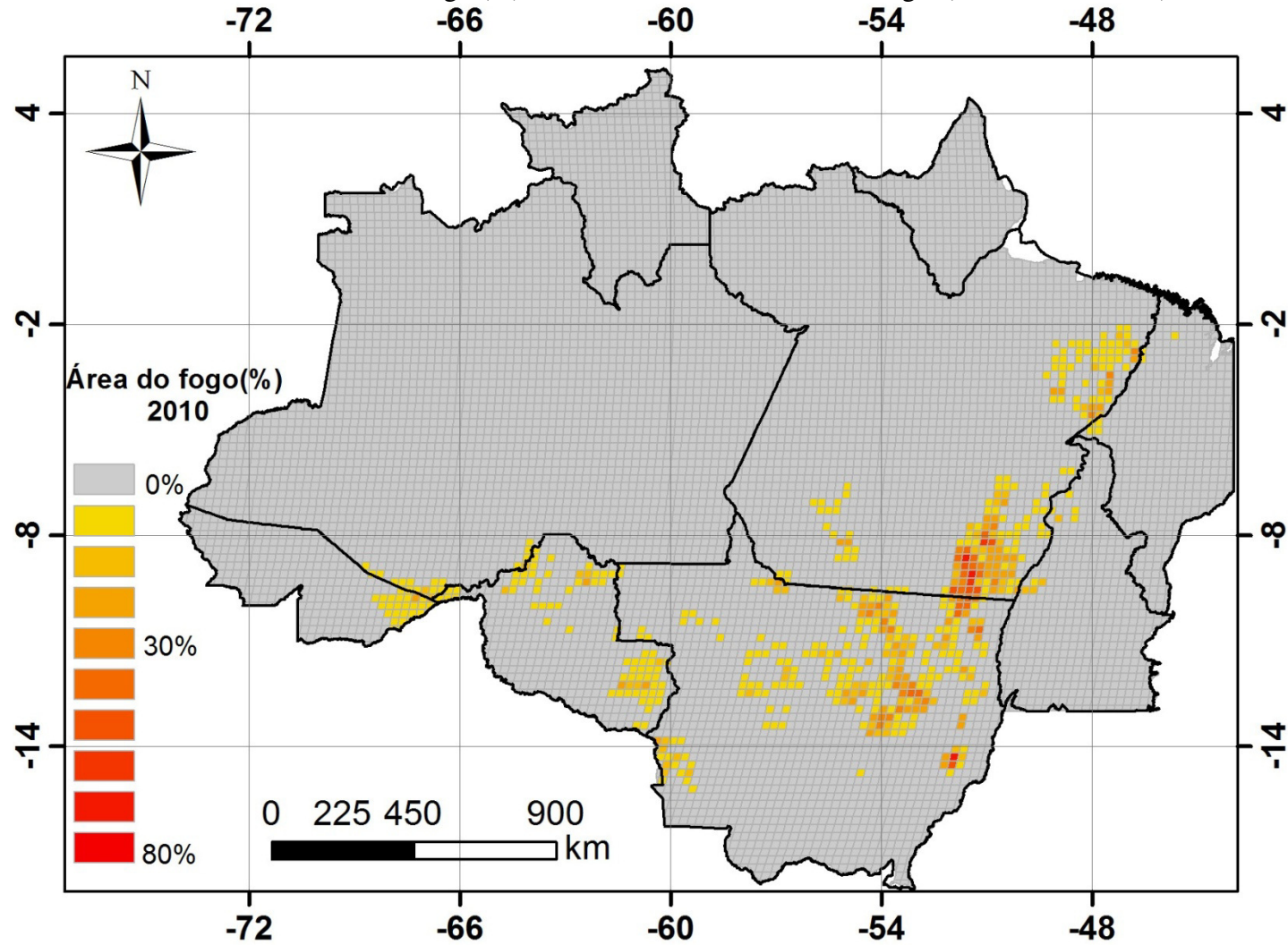
APÊNDICE R- Área de fogo (%) do ano de 2003 na Amazônia Legal (Grade 625 km²).



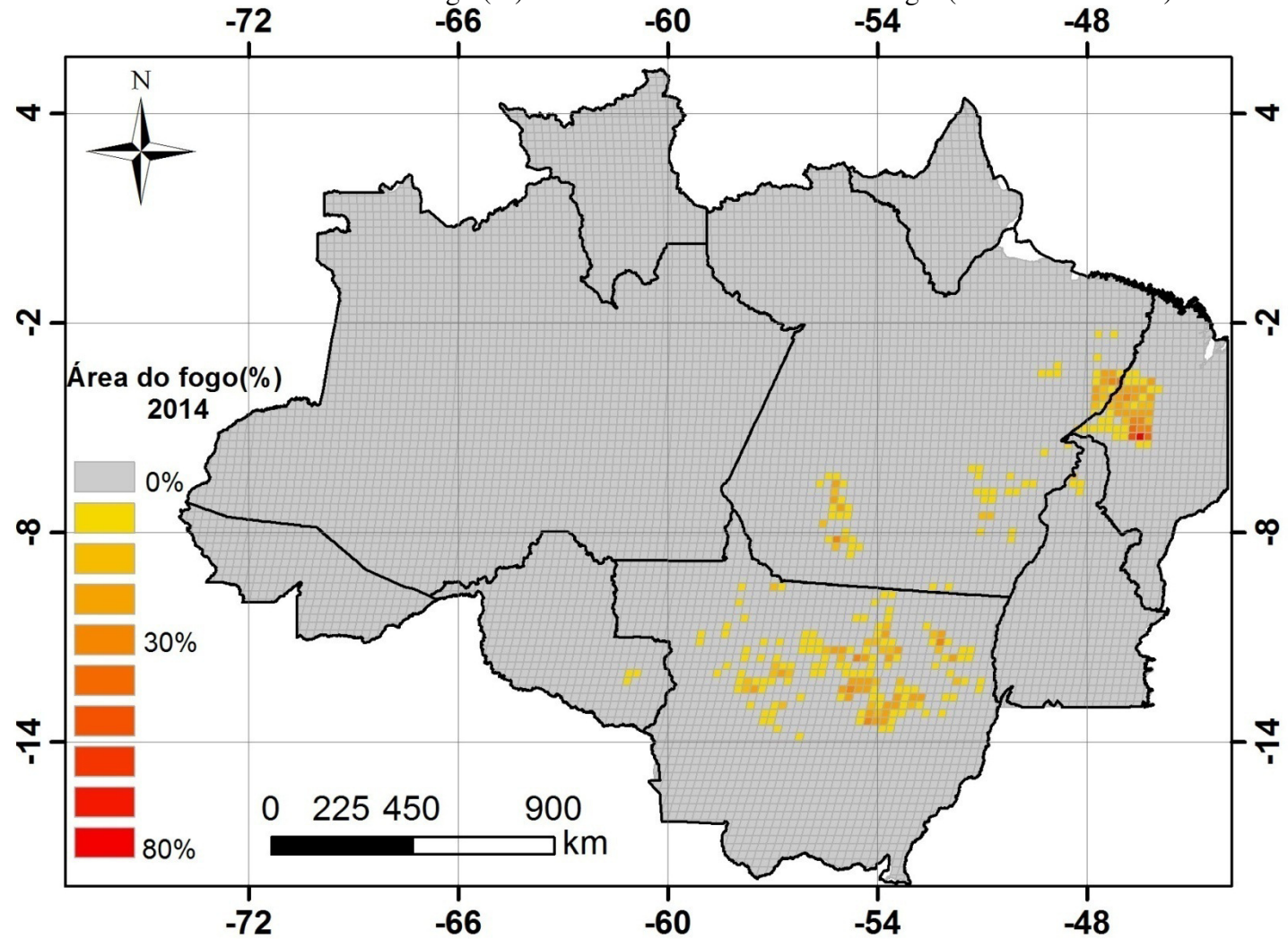
APÊNDICE S - Área de fogo (%) do ano de 2006 na Amazônia Legal (Grade de 625 km²).



APÊNDICE T - Área de fogo (%) do ano de 2010 na Amazônia Legal (Grade de 625 km²).



APÊNDICE U - Área de fogo (%) do ano de 2014 na Amazônia Legal (Grade de 625 km²).



APÊNDICE V - Área de extração seletiva, de fogo e de extração seletiva e fogo combinadas por ponto e órbita para os anos de 2003, 2006, 2010 e 2014.

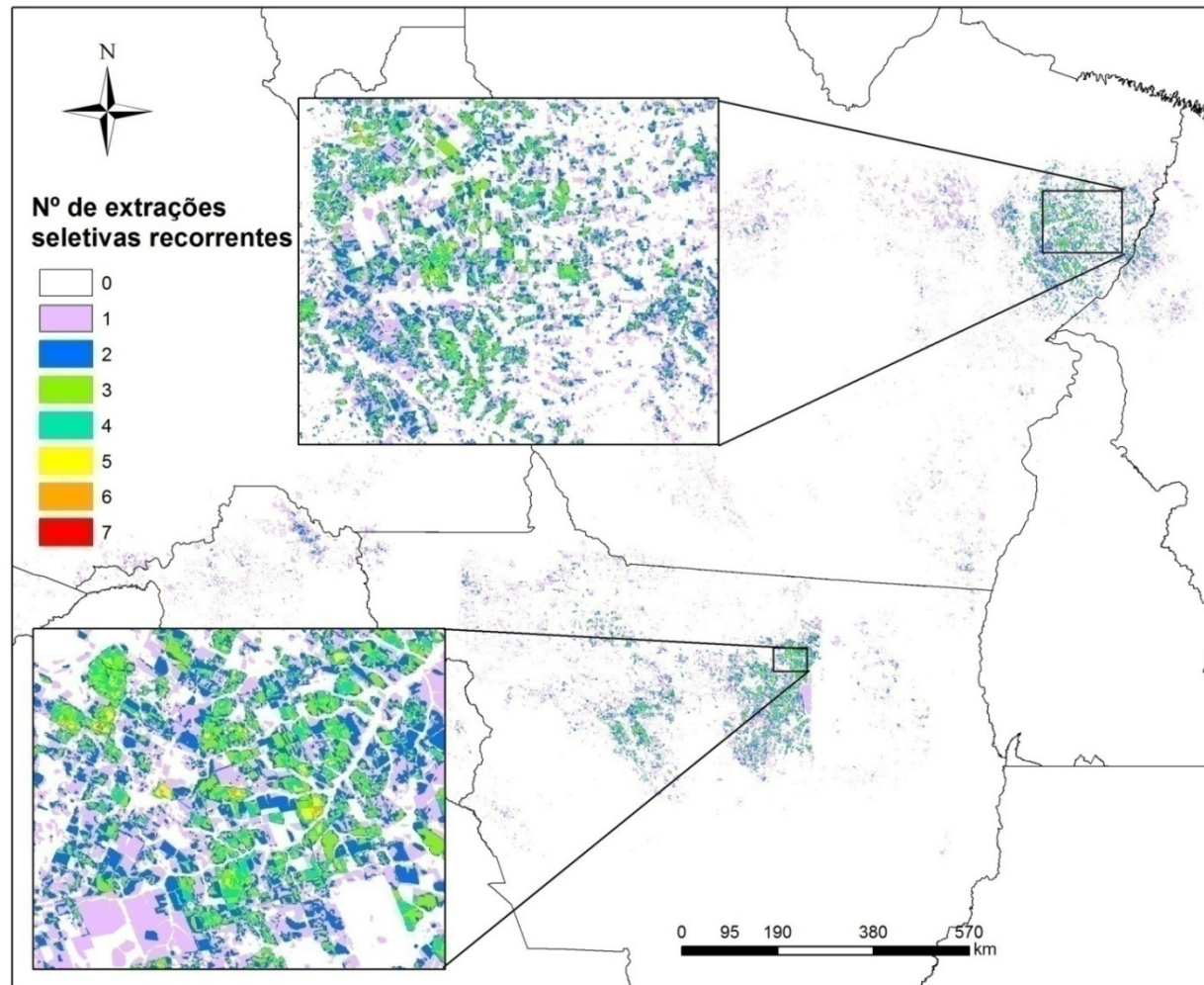
	Extração seletiva (km ²)				Fogo (km ²)				Fogo e Extração seletiva (km ²)			
	2003	2006	2010	2014	2003	2006	2010	2014	2003	2006	2010	2014
1_66	9,01	21,50	65,20	326,98	0,00	112,02	6,70	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
1_67	114,91	93,13	27,91	209,36	0,00	815,69	304,83	14,09	0,00	26,93	0,00	0,00
2_66	24,85	26,37	61,91	5,90	0,00	271,77	41,27	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00
2_67	18,42	95,38	240,87	125,94	0,00	1530,62	60,76	14,52	0,00	19,58	0,99	0,00
2_68	0,00	0,00	5,22	1,92	0,00	154,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
221_63	34,64	19,51	67,23	23,35	47,22	317,33	0,31	0,00	0,00	5,60	0,00	0,00
221_64	4,30	14,33	2,20	9,59	401,57	97,69	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00
222_61	19,70	28,45	9,36	32,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
222_62	1305,77	1440,41	1367,73	778,57	95,09	423,03	613,45	0,00	0,00	56,94	14,30	8,32
222_63	1451,58	898,78	935,77	582,81	2087,91	2026,85	284,01	0,00	0,00	257,56	31,98	107,59
222_64	12,97	0,51	38,53	0,00	822,26	359,61	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
223_62	4030,18	3660,04	4868,13	2354,13	69,29	519,01	294,52	0,00	0,00	124,63	92,57	6,25
223_63	4308,55	3208,79	3500,80	1623,99	128,17	398,53	713,75	0,00	0,00	108,29	191,77	6,34
223_64	267,59	23,21	32,66	18,28	32,76	0,55	12,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
223_65	12,81	0,00	0,00	0,00	6,71	0,00	145,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
223_66	4,84	0,00	6,76	9,97	11,21	35,10	133,24	8,26	0,00	0,00	0,00	0,00
223_67	9,29	1,20	1,46	0,00	0,00	0,03	179,23	6,05	0,00	0,00	0,70	0,00
224_62	2111,28	2052,14	1106,34	1555,37	4,58	20,91	11,75	0,00	0,00	0,89	1,09	0,74
224_63	446,72	404,81	183,12	25,52	0,00	2,13	0,00	0,00	0,00	0,76	0,00	0,00
224_64	214,23	287,82	45,38	19,63	11,18	0,00	1,29	14,76	0,91	0,00	0,00	0,53
224_65	139,66	75,50	26,03	70,74	79,40	25,73	911,31	0,00	0,00	0,40	6,15	0,00

224_66	96,01	121,25	21,22	42,51	8,10	1300,37	5240,51	1537,64	7,31	7,14	8,88	0,00
224_67	76,32	121,60	38,08	14,71	0,00	181,58	3249,77	309,03	7,57	3,90	5,91	0,00
224_68	183,55	231,77	198,50	55,96	278,81	740,83	431,67	900,27	44,45	23,93	4,05	0,54
224_69	77,19	101,52	37,28	27,37	43,06	419,67	278,01	206,36	2,97	13,84	0,00	3,61
224_70	70,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1013,59	215,82	0,01	0,00	0,00	0,00
225_62	126,04	1277,38	349,17	618,78	0,00	0,00	0,00	2,01	0,00	0,00	0,00	0,00
225_63	210,49	203,93	43,00	38,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
225_64	12,26	40,31	8,07	30,64	0,00	3,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
225_65	1,42	2,18	5,54	18,88	54,07	65,59	663,45	151,98	0,00	0,00	0,00	0,00
225_67	387,72	287,95	532,87	379,02	261,46	132,75	1396,50	281,05	50,52	4,80	7,24	0,94
225_68	855,30	795,01	681,48	1948,28	655,26	469,18	2366,07	472,98	31,17	6,31	35,88	3,10
225_69	281,84	192,32	179,88	402,94	0,00	0,00	77,49	0,00	13,77	4,26	10,17	8,06
225_70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
226_61	7,90	70,84	179,45	366,65	0,00	2,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
226_62	334,32	349,43	176,70	437,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
226_63	24,22	6,59	11,64	58,71	13,70	0,00	5,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
226_66	21,17	16,81	42,68	164,18	77,51	71,42	1434,47	96,71	0,00	0,00	0,00	0,27
226_67	696,86	493,02	628,62	1041,89	531,25	343,47	242,17	355,62	4,07	5,31	28,52	0,11
226_68	4900,62	5191,74	3508,14	6180,41	541,95	1114,22	526,31	687,51	35,53	95,99	34,07	150,47
226_69	1220,35	1394,50	1067,18	613,43	0,00	2,28	0,32	6,81	105,24	136,27	117,85	55,26
226_70	2,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
227_61	5,29	0,00	62,30	197,16	0,00	13,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
227_62	370,49	1013,59	296,62	890,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,76	0,00	0,00
227_63	132,06	192,89	182,57	64,10	2,99	3,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
227_64	469,79	347,37	98,50	66,59	203,63	97,33	76,88	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00
227_65	341,58	336,43	116,86	375,10	160,53	841,99	194,68	0,00	0,00	0,06	0,00	0,01

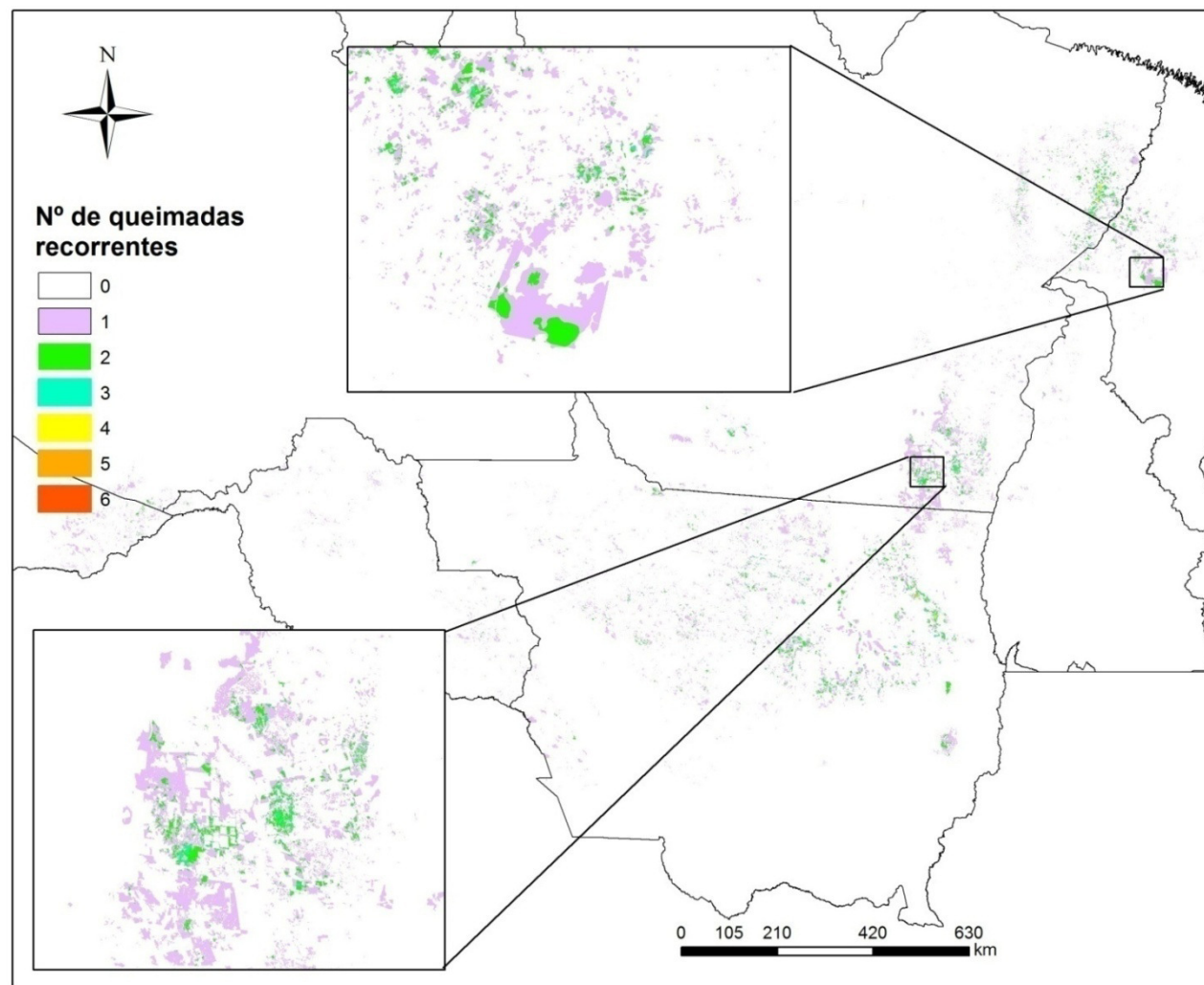
227_66	209,30	152,22	126,21	91,52	0,00	69,00	46,47	43,63	0,00	0,92	0,28	0,06
227_67	194,72	223,50	135,76	164,93	233,64	662,00	207,15	50,76	0,79	1,35	0,00	0,00
227_68	2100,41	1841,90	1742,00	2017,74	71,49	284,36	59,78	427,54	1,57	107,25	26,03	72,03
227_69	1041,54	900,11	1088,59	1422,12	0,00	0,00	0,00	0,00	46,30	17,61	1,98	4,75
228_61	3,31	0,00	84,41	155,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
228_62	5,88	64,98	225,43	295,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
228_63	49,82	61,91	60,77	203,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
228_64	4,07	71,91	164,37	208,65	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
228_65	2,89	25,90	15,27	25,05	3,96	214,50	232,65	6,01	0,00	0,00	0,00	0,00
228_66	93,59	131,25	262,15	332,29	44,37	24,81	81,61	235,72	0,00	1,61	20,84	0,00
228_67	257,44	1788,16	1679,06	1883,87	50,90	593,15	27,52	278,44	4,02	0,18	8,76	0,30
228_68	1092,29	860,73	1054,85	1834,45	106,02	194,47	82,60	60,29	6,90	88,95	1,51	1,34
228_69	506,60	405,11	568,13	254,55	0,00	0,00	0,00	0,00	1,87	18,12	5,40	0,06
229_62	0,00	44,84	6,99	51,10	2,54	125,68	18,64	226,65	0,00	0,00	0,00	0,00
229_67	1119,46	304,24	704,31	1247,13	9,28	135,04	0,14	25,86	4,40	2,62	2,29	0,00
229_68	172,80	164,33	220,69	206,55	0,00	50,63	9,23	15,11	0,67	4,16	0,00	0,00
229_69	30,11	44,73	65,41	22,36	0,00	68,48	551,89	24,77	0,00	0,00	0,66	0,00
229_70	251,37	182,63	42,05	5,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59	3,69	2,97	0,00
230_62	16,16	210,93	293,77	437,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
230_65	45,03	23,43	62,72	91,46	17,42	209,41	240,73	12,60	0,00	0,00	0,00	0,00
230_68	325,13	162,49	542,48	828,57	0,00	20,67	269,20	15,79	0,00	1,39	3,04	0,00
230_69	98,99	79,78	164,13	155,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	0,00	0,00
231_61	0,00	9,32	5,73	73,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
231_65	0,00	0,00	26,87	291,92	0,00	38,96	256,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
231_66	138,96	333,83	1242,34	2548,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,70	49,13	0,00
232_59	0,00	34,23	97,03	171,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

232_66	43,54	209,39	470,00	1745,07	0,00	106,95	66,28	1,72	0,00	1,85	3,38	0,00
232_67	249,74	967,17	281,35	244,66	0,00	308,11	47,29	0,00	0,00	5,52	0,98	0,00
233_66	6,72	98,03	344,12	219,11	0,00	4,80	82,83	0,00	0,00	0,01	9,52	0,00
233_67	27,60	135,70	479,26	557,62	0,00	0,00	43,92	0,00	0,00	0,00	15,66	0,00
3_66	0,00	1,68	0,00	32,18	0,00	26,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4_66	2,92	4,66	19,01	8,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5_65	0,00	4,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
total	33.538	34.684	33.334	39.635	7.169	16.053	23.237	6.706	371	1.169	745	431

APÊNDICE W - Número de extrações seletivas recorrentes na Amazônia Legal no período de 1992 a 2014.



APÊNDICE X - Número de incêndios florestais recorrentes na Amazônia Legal no período de 1992 a 2014.



APÊNDICE Y -Extração seletiva de 1992 a 2014 em sobreposição ao desmatamento do TRFIC e PRODES até 2015.

		Desmatamento TRFIC e PRODES (km²)						
		96	99	2003	2006	2010	2014	2015
Extração seletiva (km²)	92	746,1	841,2	740	240	205	72	31,3
	96	-	922	1.222	429,1	336	140,2	39
	99	-	-	3.090	964	974,4	397	105
	2003	-	-	-	1.337	1.087,2	504	179
	2006	-	-	-	-	723,3	499	196,1
	2010	-	-	-	-	-	313	133
	2014	-	-	-	-	-	-	143,4
	Total desmatado	746,1	1.763	5.052	2.970	3.326	1.924,3	827
	Total detectado de extração seletiva	10.064	26.085	33.557	34.739	33.350	39.709	-
% do incremento do desmatamento	4.1%	10.2%	19.9%	20.8%	47.5%	38.4%	13%	

APÊNDICE Z - Fogo no período de 1992 a 2014 em sobreposição ao desmatamento do TRFIC e PRODES até 2015.

Desmatamento TRFIC e PRODES (km²)

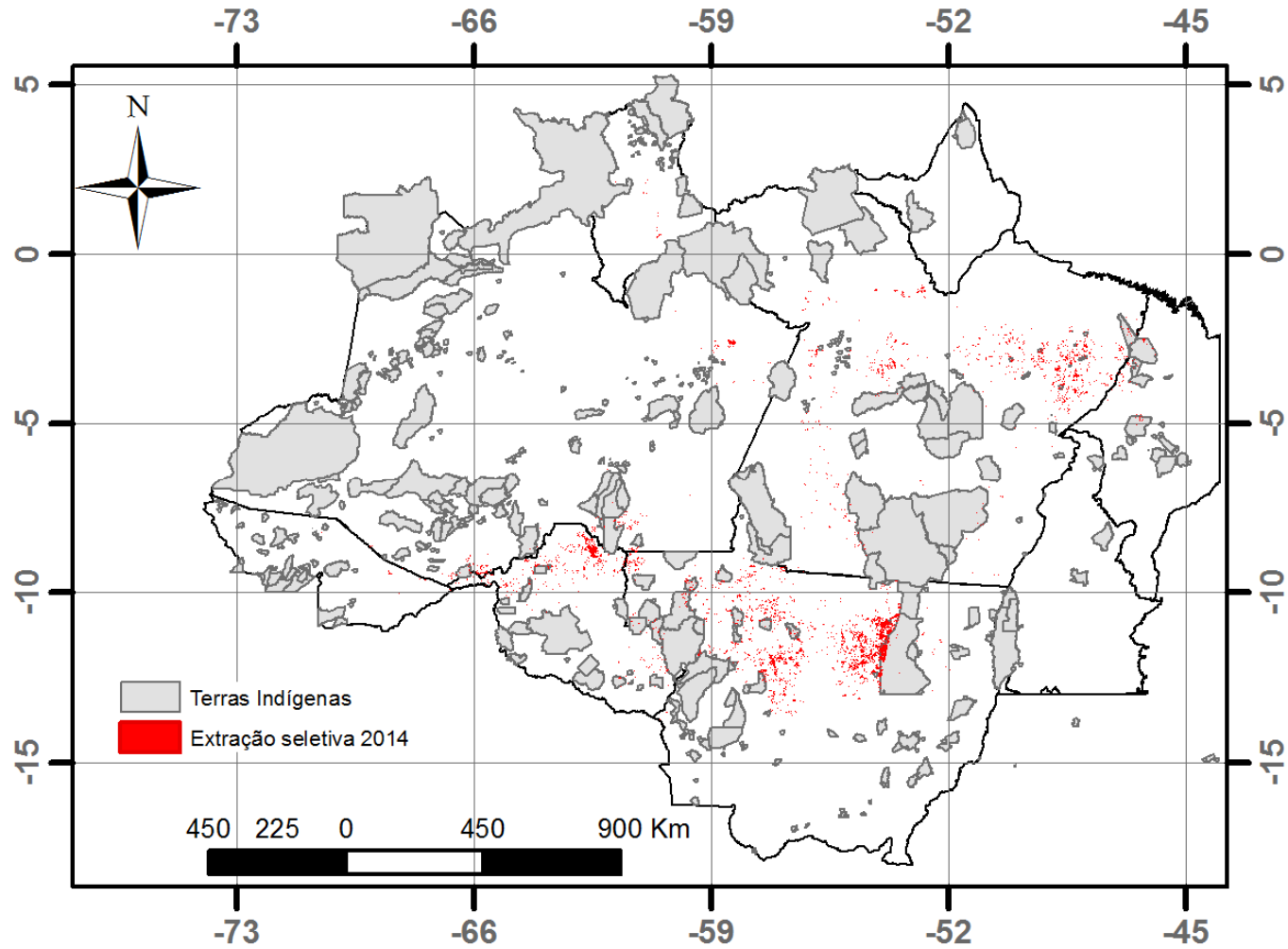
	Até 96	Até 99	Até 2003	Até 2006	Até 2010	Até 2014	Até 2015
92	2.457	1.195,2	395	0	133	32,3	6
96	-	1.318	1.120	230	167	43,4	12
99	-	-	2.602,2	485	506	182	45
2003	-	-	-	863,4	411,4	188	43,1
2006	-	-	-	-	1.243	525,3	127
2010	-	-	-	-	-	572	213
2014	-	-	-	-	-	-	241
total	2.457	2.513	4.117,2	1.578,4	2.460	1.543	687,1
Total detectado de fogo	7.580	11.508	6.243	14.971	23.394	7.080	-
% do incremento do desmatamento	13.52%	14.56%	16.21%	11%	35.14%	30.78%	11.07%

APÊNDICE AA - Áreas de extração seletiva e fogo do período de 1992 a 2014 em sobreposição ao desmatamento do TRFIC e PRODES até 2015.

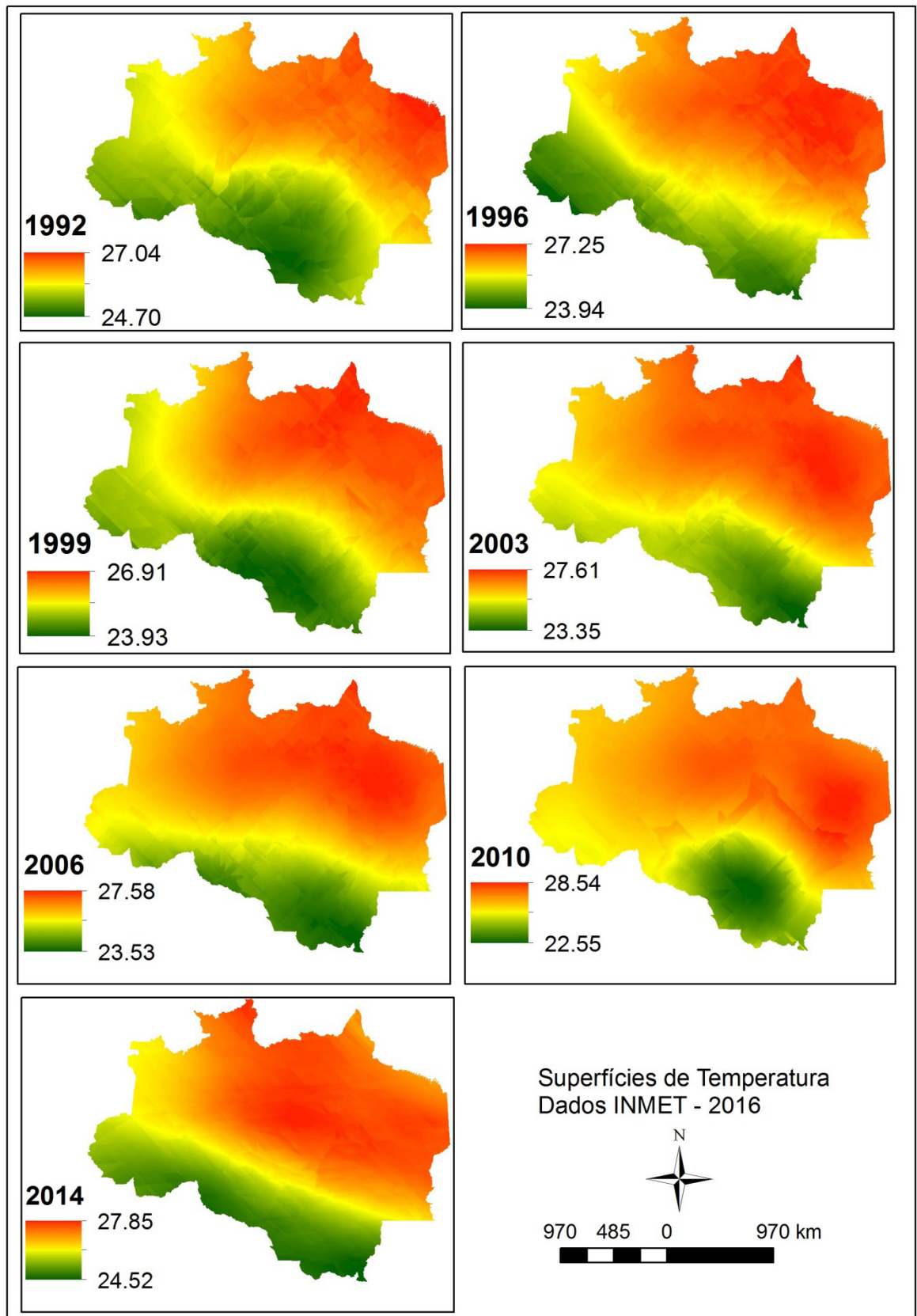
		Desmatamento TRFIC e PRODES (km²)						
		Até 96	Até 99	Até 2003	Até 2006	Até 2010	Até 2014	Até 2015
Fogo extração seletiva simultâneos (km²)	92	113,3	79	43	9,4	9,2	2,6	0,35
	96	-	179	144	53	36	11	3,1
	99	-	-	558	100	118,3	31	10,1
	2003	-	-	-	852,1	26,3	15,4	6
	2006	-	-	-	-	147	45	19,1
	2010	-	-	-	-	-	53	17
	2014	-	-	-	-	-	-	17
	total	113,3	258	745	1.014,5	336,3	158	73
	Total detectado de fogo e extração	1.403,3	2.470,7	371	1.169	745	431	-
	% do incremento do desmatamento	0.62%	1.5%	2.93%	7.1%	4.8%	3.15%	1.2%

APÊNDICE BB - Extrações seletivas dentro de Unidades de Conservação na Amazônia Legal.

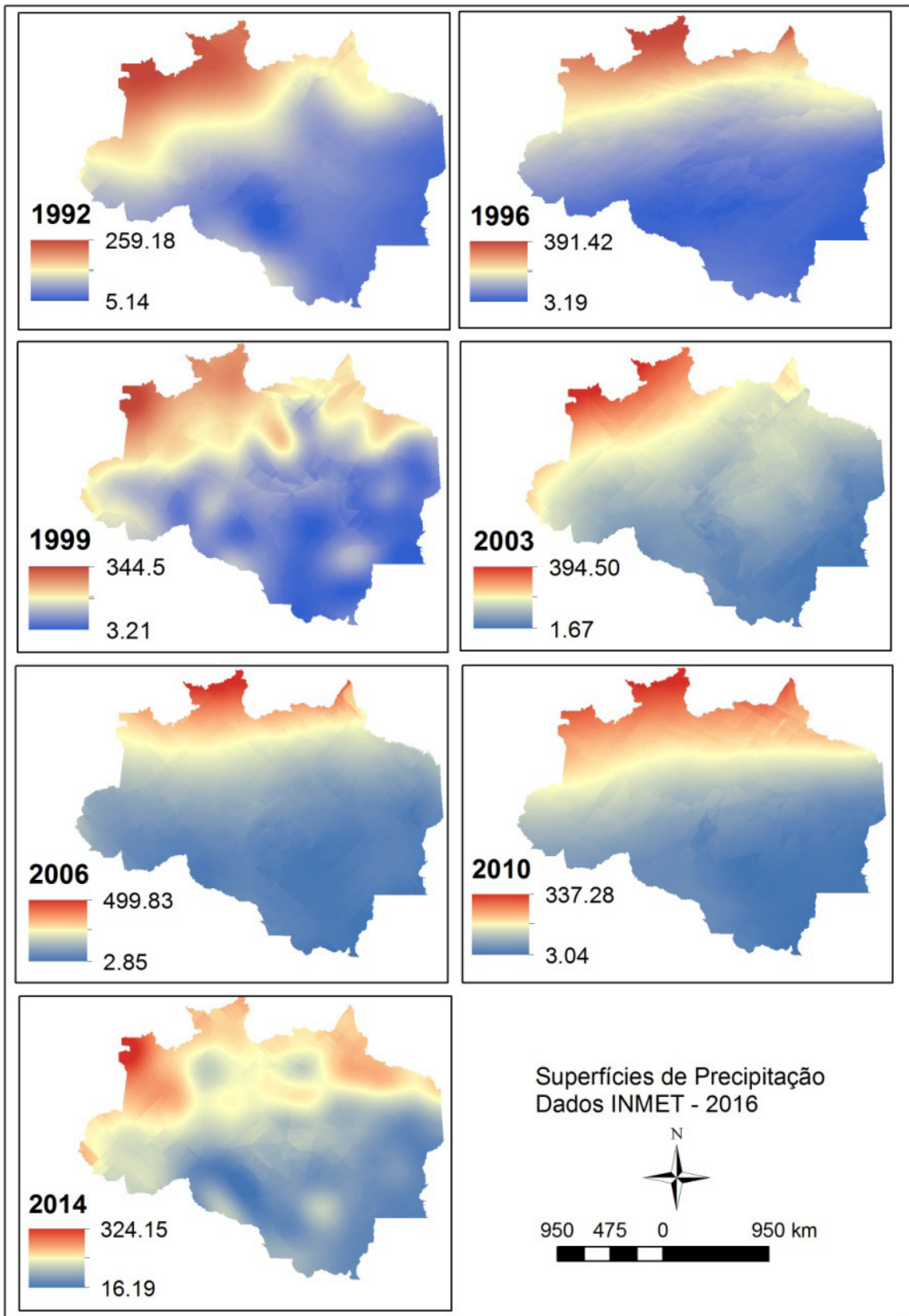
Fonte de dados: MMA (2010)



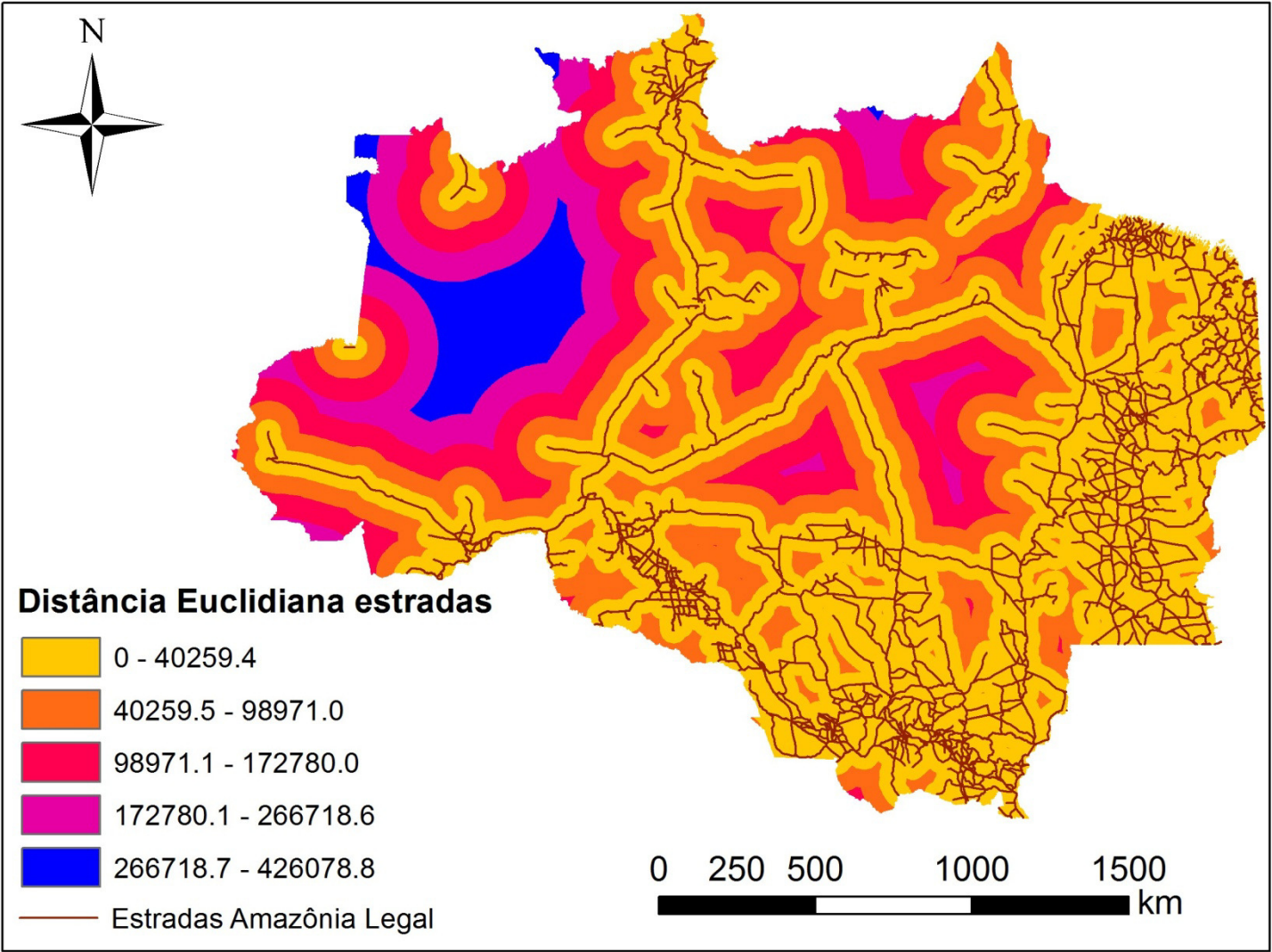
APÊNDICE CC - Temperatura da Amazônia Legal no período de 1992 a 2014.



APÊNDICE DD - Precipitação da Amazônia Legal no período de 1992 a 2014.

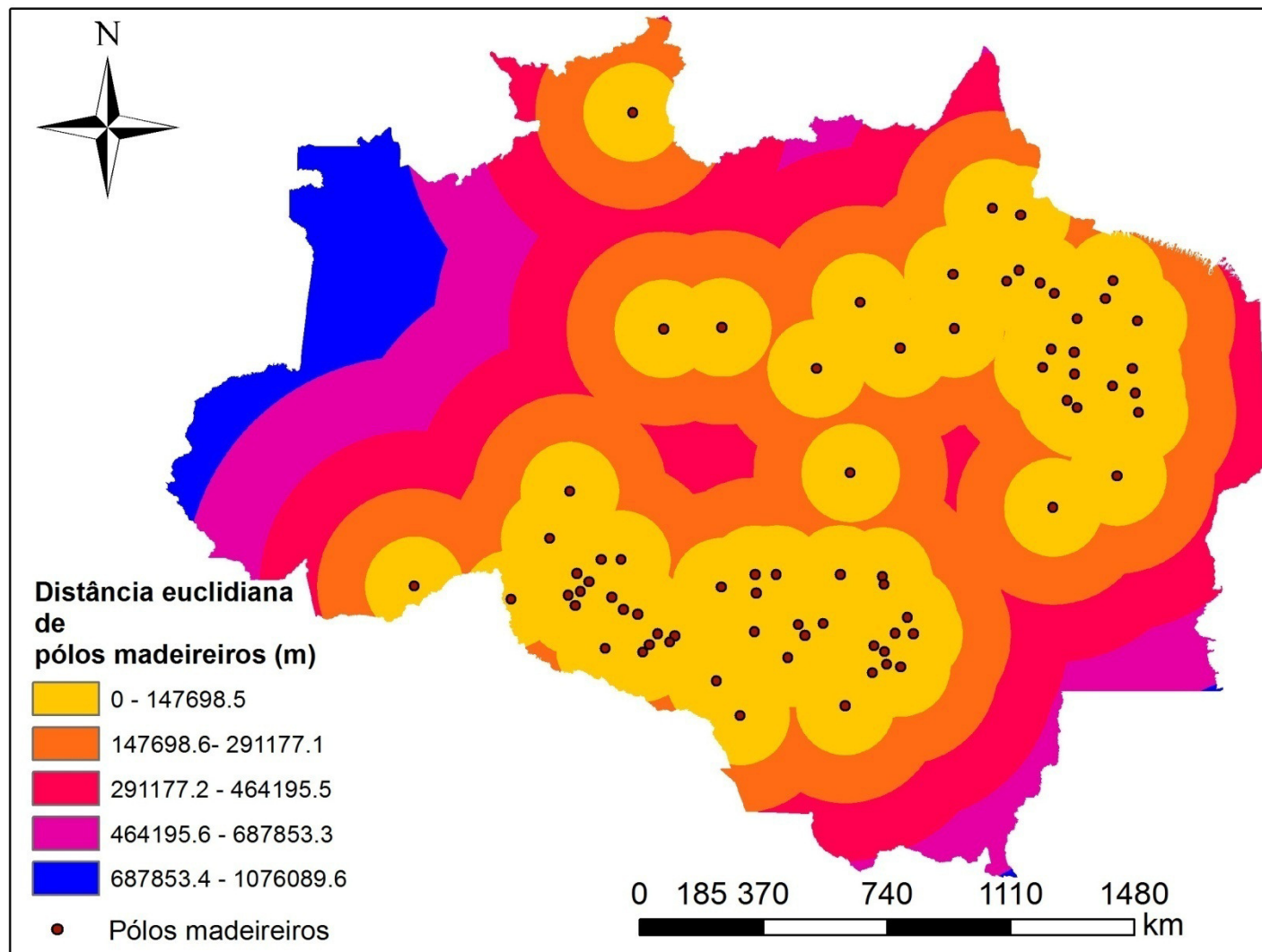


APÊNDICE EE - Distância Euclidiana de estradas na Amazônia Legal.
Fonte de dados: MMA (2016).

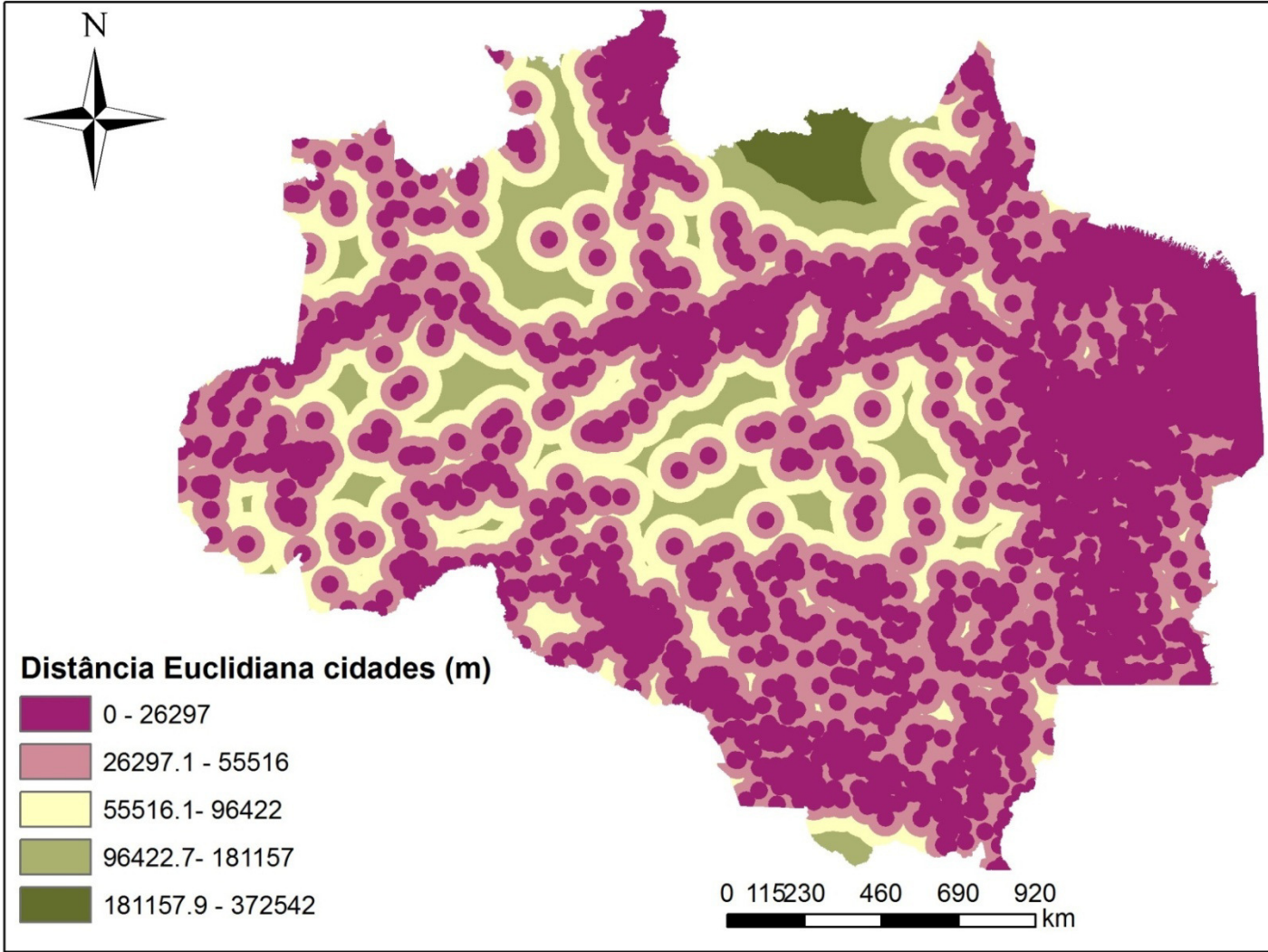


APÊNDICE FF - Distância Euclidiana de Pólos madeireiros na Amazônia Legal.

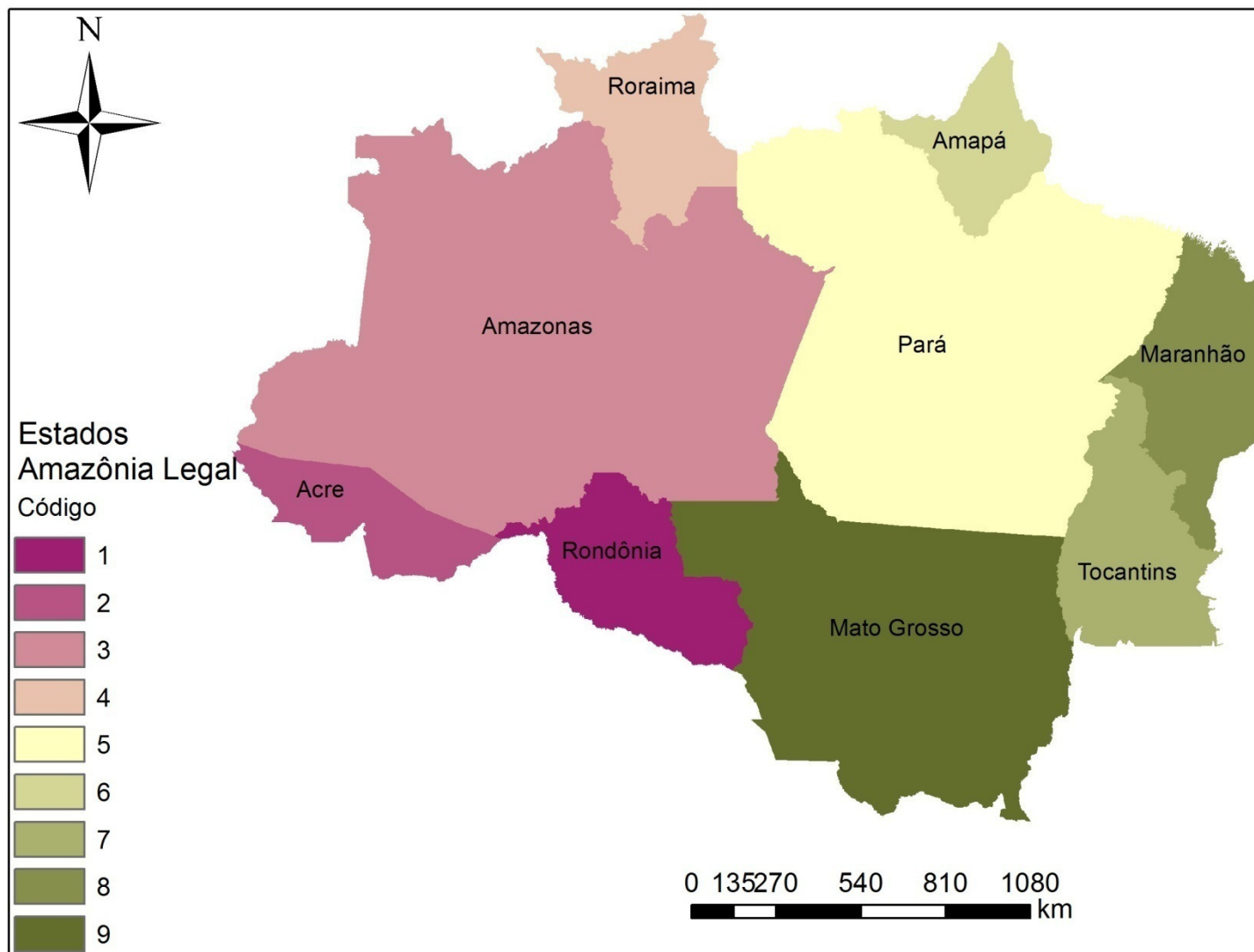
Fonte de dados: Imazon (2013).



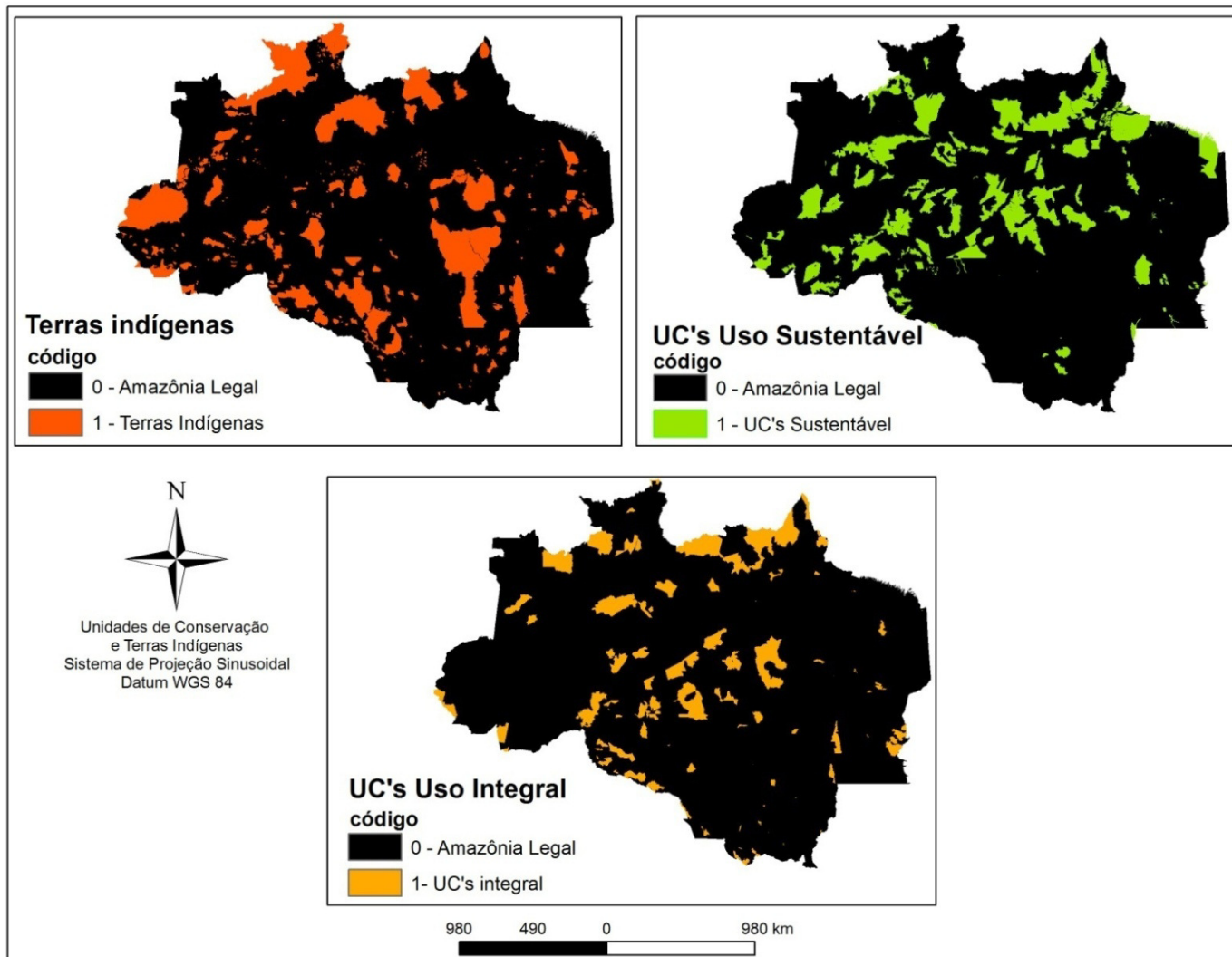
APÊNDICE GG - Distância Euclidiana de cidades na Amazônia Legal.
Fonte de dados: MMA (2016).



APÊNDICE HH - Estados da Amazônia Legal e respectivos códigos utilizados na Análise Espacial.
Fonte de dados: MMA (2016).



APÊNDICE II - Unidades de Conservação e Terras Indígenas na Amazônia Legal e respectivos códigos para análise.
Fonte de dados: MMA (2016).



APÊNDICE JJ - Volume de madeira na Amazônia Legal.

Fonte de dados: IBGE (2016).

